



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 228 502**

⑤① Int. Cl.7: **F03D 7/00**  
**F03D 11/00**

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧⑥ Número de solicitud europea: **00922513 .7**

⑧⑥ Fecha de presentación: **11.03.2000**

⑧⑦ Número de publicación de la solicitud: **1192355**

⑧⑦ Fecha de publicación de la solicitud: **03.04.2002**

⑤④ Título: **Instalación de energía eólica con regulación del nivel acústico.**

③⑩ Prioridad: **10.06.1999 DE 199 26 437**  
**11.06.1999 DE 199 26 553**

④⑤ Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.04.2005**

④⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.04.2005**

⑦③ Titular/es: **Aloys Wobben**  
**Argestrasse, 19**  
**26607 Aurich, DE**

⑦② Inventor/es: **Wobben, Aloys**

⑦④ Agente: **Roeb Díaz-Álvarez, María**

ES 2 228 502 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).

# ES 2 228 502 T3

## DESCRIPCIÓN

Instalación de energía eólica con regulación del nivel acústico.

5 En la planificación y realización de parques eólicos, las emisiones de ruido esperadas desempeñan un papel cada vez más importante para la aprobación y la aceptación. Los cálculos de inmisiones acústicas necesarias para ello se basan normalmente en niveles de potencia de ruido ( $L_w$ ) medidos de la instalación de energía eólica, y se llevan a cabo con programas de software corrientes. También, cada vez tienen lugar mediciones más frecuentes de las inmisiones acústicas, de manera que en un determinado punto de inmisión (en el exterior o en el interior del parque eólico) se puede determinar el nivel acústico de una instalación individual, o el nivel acústico de todo un parque eólico. En el caso de que el punto de inmisión sea una casa individual, un poblado o similar, entonces se ha de cumplir allí, de modo conforme a las prescripciones legales y políticas, con un cierto nivel de potencia acústica, al menos durante determinadas horas, por ejemplo entre las diez de la noche y las seis de la mañana. Tampoco está permitido dejar crecer el nivel de potencia acústica en un punto de inmisión, como por ejemplo un poblado, durante el día por encima de todas las medidas.

Al interés de mantener el nivel de potencia acústica requerido en uno o varios puntos de inmisión se contraponen el interés del operador del parque eólico de conseguir con el parque eólico el mayor rendimiento energético. Es cierto que por medio de un apagado total por la noche de todas las instalaciones de energía eólica del parque eólico se conseguiría cumplir suficientemente con los valores límites acústicos, si bien en este caso el funcionamiento del parque eólico sería muy inefectivo.

Debido a esto, el objetivo de la presente invención es maximizar el rendimiento energético del parque eólico dependiendo de la hora, de la dirección del viento y/o de la fuerza del viento, a pesar de cumplir con los valores límites de potencia acústica en uno o varios puntos de inmisión. El objetivo se consigue por medio de un procedimiento según la reivindicación 1. En las reivindicaciones subordinadas están descritas variantes ventajosas.

La invención se basa en el conocimiento de que la emisión acústica de una instalación de energía eólica depende de diferentes parámetros y categorías. A grandes rasgos, el desarrollo acústico se puede dividir en dos categorías. Una categoría son los elementos tonales, es decir, el desarrollo acústico de la maquinaria (parte de accionamiento) de la instalación de energía eólica. Esto también se designa como el denominado ruido mecánico. La otra categoría es un ruido de banda ancha de la instalación de energía eólica, provocado por el ruido aerodinámico de las hojas de rotor y por otros ruidos de banda ancha de la maquinaria, por ejemplo, de los ventiladores.

El denominado ruido mecánico puede proceder de diferentes componentes mecánicos, como por ejemplo el generador y/o la transmisión. El ruido se transmite, por ejemplo, a lo largo de la estructura de la instalación y es irradiado por sus superficies. Este ruido tiene normalmente un carácter con elementos tonales, es decir, la irradiación acústica se puede asignar a una frecuencia determinada. Las fuentes de ruido se pueden determinar, de manera que se puedan tomar las contramedidas correspondientes (por ejemplo, desacoplamiento del ruido del cuerpo).

Sin embargo, el nivel de potencia acústica de una instalación de energía eólica está determinado fundamentalmente por los ruidos aerodinámicos, que son provocados por los flujos de aire en las hojas del rotor. Puesto que el desarrollo se comporta aproximadamente a la quinta potencia respecto a la velocidad de las puntas de las hojas, un mayor número de revoluciones significa siempre también una mayor emisión acústica. Este ruido presenta un espectro de frecuencia de banda ancha. Para un diámetro del rotor de 40 m se ha determinado una variación del nivel de potencia acústica en torno a 1 dB(A) por cada revolución del rotor por minuto. En este caso hay que tener en cuenta que una reducción del nivel de potencia acústica de 3dB(A) ya se corresponde con la mitad (audible acústicamente) de esta magnitud.

La dependencia del nivel de potencia acústica (en decibelios) respecto al número de revoluciones de una instalación de energía eólica está representada en la Fig. 1. En este caso, se trata de una instalación de energía eólica del tipo E-66 de la empresa Enercon. En este caso, se reconoce que en una instalación de energía eólica de este tipo, para un número de revoluciones de 22 revoluciones por minuto, el ruido irradiado tiene un valor que va de aproximadamente 104 a 105 dB, mientras que el nivel de potencia acústica para un número de revoluciones de aproximadamente 20 revoluciones por minuto ya se reduce a aproximadamente 101 dB.

Las prescripciones legales para el cumplimiento de los valores límites acústicos requieren valores determinados dependiendo de la localización (zona residencial, mixta o industrial) y la hora del día. Normalmente, entre las diez de la noche y las seis de la mañana se ha de cumplir con valores claramente inferiores que durante el día.

Debido a ello, se propone reducir la eficiencia del sistema de una instalación de energía eólica, es decir, conseguir la potencia deseada del generador con un menor número de revoluciones (otra línea característica de número de revoluciones-potencia) o, en caso de que esto no sea suficiente, reducir el número de revoluciones, y con ello también de modo indirecto la potencia del generador. Las dos posibilidades se pueden emplear por medio de un control eléctrico durante la noche o en otros momentos críticos.

Una instalación de energía eólica sin transmisión con un número variable de revoluciones con una línea característica de número de revoluciones-potencia (por ejemplo del tipo E-12, E-30, E-40, E-58, E-66 de la empresa Enercon) conjuntamente con el control flexible conforme a la invención ofrece la posibilidad de poner en funcionamiento las

## ES 2 228 502 T3

instalaciones de energía eólica independientemente de la hora con números limitados máximos de revoluciones, y con ello con menores niveles de potencia acústica.

5 En un parque eólico con un grupo de varias instalaciones de energía eólica que están dispuestas en varias filas, el viento incide en primer lugar, en determinadas condiciones de la dirección del viento, sobre la primera fila de instalaciones de energía eólica. Éstas extraen al viento la energía cinética, y con ello se reduce la velocidad del viento. La segunda fila de instalaciones, que están dispuestas detrás de la primera fila (siempre viéndolo en la dirección del viento) experimentan, así pues, una menor velocidad del viento que la primera fila. La siguiente fila (etc.) experimenta una velocidad del viento todavía menor. El número de revoluciones también se comporta de modo correspondiente a la altura y a la velocidad del viento en instalaciones con número variable de revoluciones, y conjuntamente con ello, se reduce la potencia eléctrica generada con un viento más débil en aquellas instalaciones que están colocadas por detrás de la primera línea.

15 Con ello, ya a partir de la disposición de las instalaciones en el parque eólico, se produce un escalonado de los niveles de potencia acústica de cada una de las instalaciones.

20 En el caso de que se haya de cumplir ahora en uno o varios puntos de inmisión en el exterior del parque eólico con la prescripción legal para el cumplimiento de niveles acústicos máximos, según la invención, para el control de las instalaciones individuales del parque eólico se propone que éstas se pongan en funcionamiento de tal manera que en el punto de inmisión (o en los puntos de inmisión) los niveles de ruido totales que llegan sean lo suficientemente bajos como para cumplir con los valores límites prescritos.

25 La Fig. 2 muestra un ejemplo de un parque eólico, en el que tres instalaciones de energía eólica están dispuestas, respectivamente, en tres filas. Como punto de inmisión A se toma una casa aislada, y se considera que el viento incide en el parque eólico desde la dirección de la casa, es decir, desde el punto de inmisión A. Por las razones mencionadas anteriormente, la velocidad del viento es máxima para las instalaciones de la primera fila (nº 1, 4, 7), mientras que el viento incide con una menor velocidad del viento en las instalaciones de las filas posteriores. Debido a la mayor velocidad del viento, sin el control conforme a la invención, también el número de revoluciones de las instalaciones de la primera fila será mayor que el número de revoluciones de las instalaciones de la segunda fila. Por lo que se ha comentado anteriormente, esto tiene como consecuencia que las instalaciones de energía eólica de la primera fila generen el nivel de ruido más elevado, lo cual, por lo que se refiere al punto de inmisión, es más grave, ya que las instalaciones de la primera fila son aquéllas que están más cerca del punto de inmisión A.

30 Tal y como se desprende de la Fig. 2, el parque eólico 10 con las instalaciones de energía eólica 1-9 se controla por medio de un dispositivo de procesamiento de datos (por ejemplo un ordenador) 11. El dispositivo de procesamiento de datos también procesa, entre otros, los valores relativos a la dirección del viento, a la velocidad del viento, a la hora del día así como al nivel de ruido, que han sido medidos en el punto de inmisión A o que se pueden suponer allí a partir de medidas precedentes. Los valores para la velocidad del viento o para la dirección del viento también se pueden determinar a partir de dispositivos de medida correspondientes en las instalaciones de energía eólica. Por medio del dispositivo de procesamiento de datos es posible el control total de todas las instalaciones de energía eólica del parque eólico (o de una parte de ellas), y el dispositivo de procesamiento de datos, dependiendo de la determinación de los datos para la hora del día, la dirección del viento, la velocidad del viento y/o el nivel de potencia acústica en el punto de inmisión A controla las unidades de control de las instalaciones de energía eólica 1-9, de manera que se reduce su número de revoluciones, o bien la instalación que se ha de controlar se pone en funcionamiento en otra línea característica de número de revoluciones-potencia. Una reducción del número de revoluciones de una instalación de energía eólica puede significar que también se reduce la potencia de un modo correspondiente. Es perfectamente posible que con un número reducido de revoluciones se mantenga constante la potencia de la instalación de energía eólica, ya que al mismo tiempo, por medio de una regulación del tono de las hojas del rotor (se conoce en instalaciones de energía eólica del tipo E-40), también es posible poner en funcionamiento las instalaciones de energía eólica con otra línea característica de número de revoluciones-potencia.

45 En el control del parque eólico conforme a la invención, en las instalaciones de la primera línea se reduce su potencia y/o número de revoluciones de modo drástico, ya que la distancia respecto a la casa A es la más cercana, y por lo tanto, esta instalación entrega la máxima contribución al nivel de inmisión acústico. Las instalaciones de la segunda fila (nº 2, 5, 8) reciben gracias a ello una mayor velocidad del viento, y producen gracias a ello una mayor potencia. Sin la regulación conforme a la invención, se produciría una potencia que se iría reduciendo, o bien un nivel de potencia acústica que se iría reduciendo de las instalaciones de energía eólica en la dirección del viento. Con el control (regulación) conforme a la invención de la instalación de energía eólica, la división natural se refleja más o menos, sin perder con ello un trabajo (kWh) eléctrico significativo, ya que la potencia a la que se cortan las instalaciones de la primera fila es proporcionada por las instalaciones de las siguientes filas de viento.

60 Esto se explica con más detalle a partir de un ejemplo de cálculo. En este caso, se toma el escenario representado en la Fig. 2 con un parque eólico con nueve instalaciones de energía eólica del tipo E-40 (Enercon), una velocidad del viento en la fila 1 (instalaciones 1, 4, 7) de 12 m/s, con una distancia de las instalaciones entre ellas de 300 m, respectivamente, y una distancia de la instalación 2 al punto de inmisión A de 400 m. A partir de ello, con un modo de funcionamiento estándar, se produce la siguiente distribución de potencia y de nivel de potencia acústica.

## ES 2 228 502 T3

	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Número de instalación	1/4/7	2/5/8	3/6/9
Viento a la altura del cubo (m/s)	12	10,7	9,2
Potencia [kW]	462	365	235
Nivel de potencia acústica [dB(A)]	100,4	99,4	98,3

El nivel acústico que se produce en el punto de inmisión A tendría en este caso un valor de aproximadamente 42 dB(A). Para el caso de que durante la noche se tuviera que cumplir un nivel acústico de 40 dB(A) en el punto de inmisión, entonces existe la siguiente posibilidad.

En las instalaciones puestas en funcionamiento con un número variable de revoluciones, por ejemplo, se ha de apagar la instalación (nº 2) más cercana al punto de inmisión A. Debido a esto se produce la pérdida de la potencia que de otro modo generaría esta instalación.

En el caso de instalaciones que se hayan de poner en funcionamiento con un número variable de revoluciones del tipo E-40 (estas instalaciones también se pueden utilizar con diferentes líneas características de número de revoluciones-potencia), y con el control del parque eólico conforme a la invención, en toda la fila 1 del parque eólico se puede reducir el número de revoluciones (y dado el caso también la potencia), mientras que, correspondientemente, las otras dos filas se ponen en funcionamiento con una mayor potencia debido a las mayores velocidades del viento que se ajustan en este caso. Los niveles de potencia acústica que debido a ello son más elevados, así mismo, de las instalaciones de la segunda y de la tercera fila, contribuyen, sin embargo, debido a su distancia, de un modo no relevante al nivel acústico en el punto de inmisión A. En este caso se ajustan, por ejemplo, los siguientes valores:

Parque eólico según invención	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Número de instalación	1/4/7	2/5/8	3/6/9
Viento a la altura del cubo (m/s)	12	11,4	10,7
Potencia [kW]	210	280	365
Nivel de potencia acústica [dB(A)]	98,0	98,5	99,4

Con ello, en el punto de inmisión A se produce un nivel acústico de aproximadamente 40 dB(A) sin realizar un apagado de una instalación.

La ventaja particular del procedimiento de puesta en funcionamiento conforme a la invención de un parque eólico viene dada por el hecho de que en la planificación de parques eólicos con niveles de inmisión acústicos con los que apenas se puede cumplir (o difícilmente) se puede planificar de un modo más generoso, ya que sólo se ha de cumplir con los valores límites acústicos fundamentalmente durante la noche. Esto también permite, bajo ciertas circunstancias, la colocación de una instalación más (de lo que sería posible en otras circunstancias), lo que puede tener un efecto positivo en la rentabilidad económica de un proyecto de parque eólico, ya que se hace un mejor uso de la superficie existente del parque eólico.

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para el funcionamiento de un parque eólico (10) con al menos dos instalaciones de energía eólica (1-9), en el que dependiendo de la hora del día se ajusta el número de revoluciones de al menos una instalación de energía eólica (1-9) de tal manera que en punto de inmisión (A) predeterminado no se sobrepasa un nivel acústico predeterminado.

10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se registra la dirección del viento, y porque dependiendo de la dirección del viento y de la hora del día se ajusta el número de revoluciones de al menos una instalación de energía eólica (1-9) de tal manera que en un punto de inmisión (A) predeterminado no se sobrepasa un nivel acústico predeterminado.

15 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque se registra la fuerza del viento, y porque dependiendo de la dirección del viento, de la fuerza del viento y de la hora del día se ajusta el número de revoluciones de al menos una instalación de energía eólica (1-9) de tal manera que en un punto de inmisión (A) predeterminado no se sobrepasa un nivel acústico predeterminado.

20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque en el punto de inmisión (A) se mide el nivel acústico, y el valor medido es procesado por un sistema de procesamiento de datos (11), por medio del cual se controlan las instalaciones de energía eólica (1-9) del parque eólico (10).

25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque con una reducción del número de revoluciones de algunas instalaciones de energía eólica (1-9), la potencia total del parque eólico (10) no se reduce, o sólo se reduce ligeramente, por ejemplo, hasta un 25%.

30 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque en el caso de un viento cuya dirección del viento discurra fundamentalmente desde el punto de inmisión (A) al parque eólico (10), en la instalación o instalaciones de energía eólica (1, 4, 7) que está o están más cerca del punto de inmisión (A), se reduce su potencia y/o su número de revoluciones.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque las instalaciones de energía eólica (1-9) son instalaciones de energía eólica con un número variable de revoluciones.

35 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el número de revoluciones y/o la potencia de las primeras instalaciones de energía eólica (1, 4, 7) sobre las que incide el viento en primer lugar se ajustan a su máximo valor posible, de manera que también las segundas instalaciones (2, 5, 8), que están situadas en la dirección del viento por detrás de las primeras instalaciones, experimentan el viento con una mayor velocidad del viento.

40 9. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** porque las primeras instalaciones (1, 4, 7) están colocadas en la dirección del viento antes de las segundas instalaciones (2, 5, 8), y las primeras instalaciones (1, 4, 7) generan un menor número de revoluciones y/o una menor potencia que las segundas instalaciones (2, 5, 8).

45 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el parque eólico presenta un gran número de instalaciones de energía eólica (1-9), que están dispuestas a distancias diferentes respecto a un punto de inmisión (A), en el que el número de revoluciones de las instalaciones de energía eólica (3, 6, 9) que están situadas más lejos del punto de inmisión (A) es mayor que el número de revoluciones de las instalaciones (1, 4, 7) que están situadas más cerca del punto de inmisión (A) y/o porque la potencia generada de las instalaciones de energía eólica (3, 6, 9) que están situadas más lejos del punto de inmisión (A) es mayor que la potencia de las instalaciones de energía eólica (1, 4, 7) que están situadas más cerca del punto de inmisión (A).

50 11. Parque eólico con al menos dos instalaciones de energía eólica, en el que las instalaciones de energía eólica (1-9) del parque eólico (10) o una parte de ellas se controlan con un procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes.

Nivel de potencia acústica como función del número de revoluciones

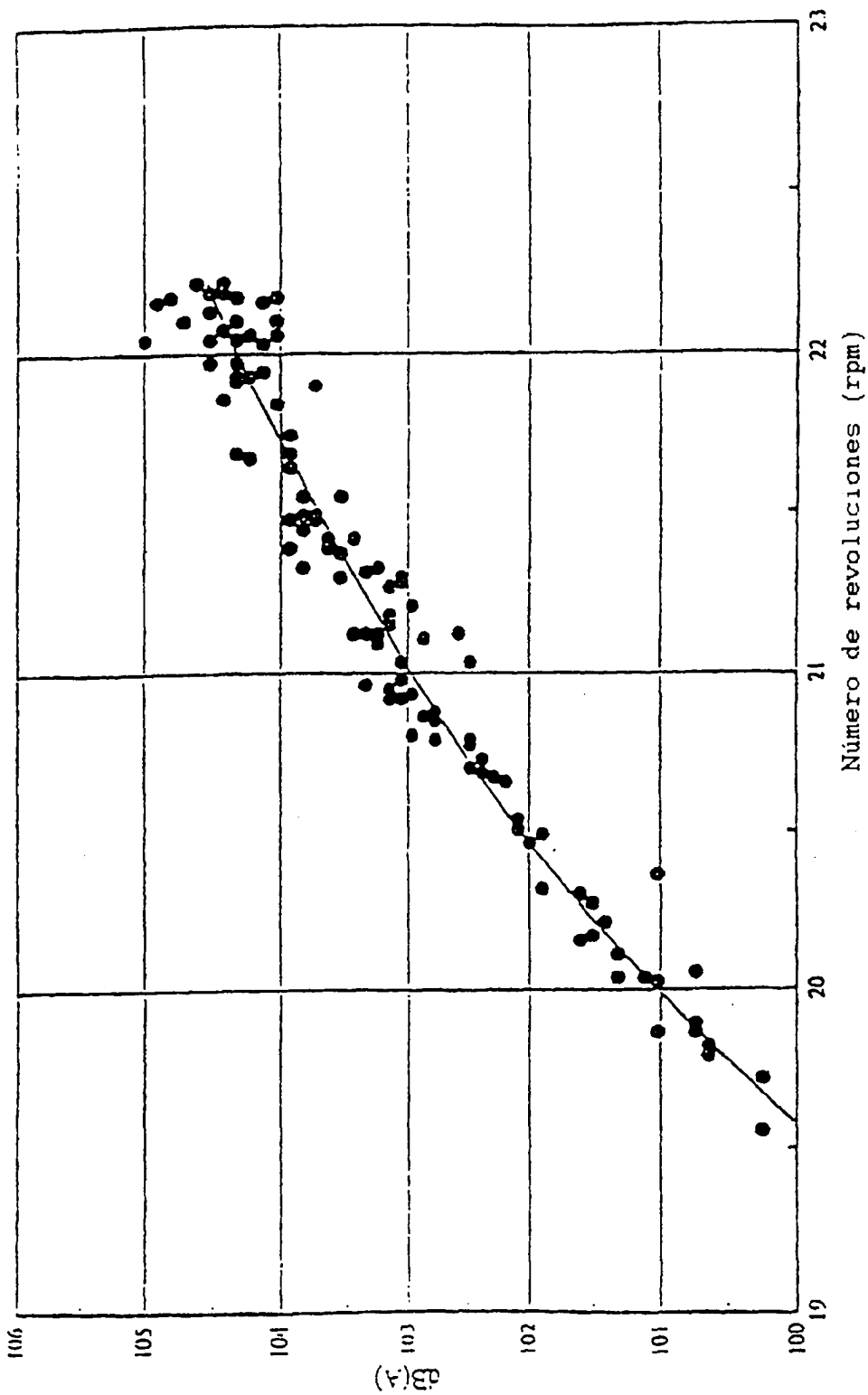


Fig. 1

Ejemplo de cálculo:

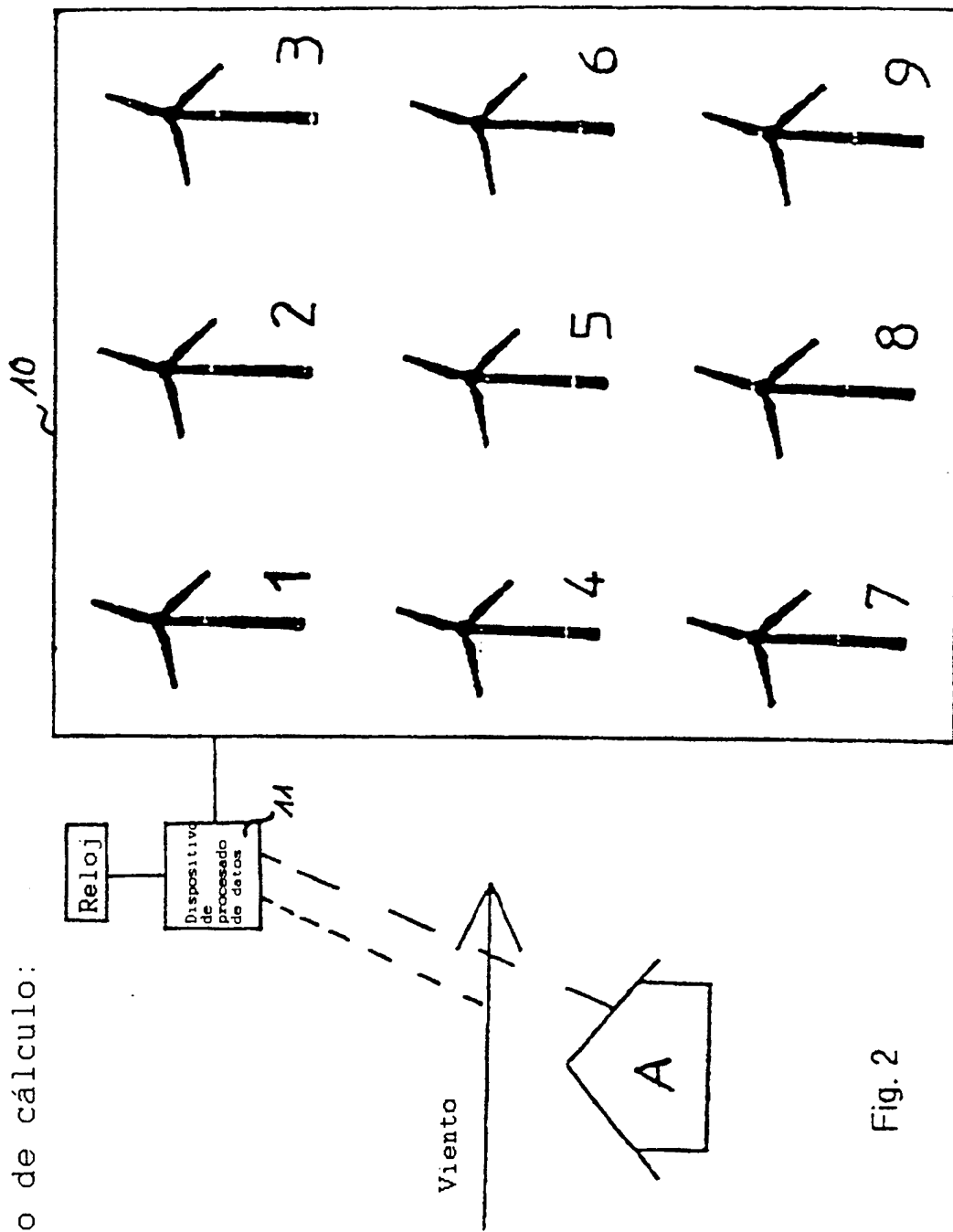


Fig. 2