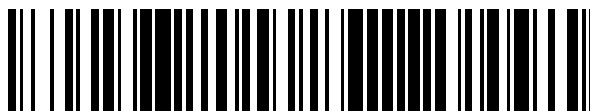


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 067**

51 Int. Cl.:

**F03D 11/00** (2006.01)

**G01M 13/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2011** **E 11183289 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015** **EP 2574778**

54 Título: **Instalación de ensayo y método para ensayar cajas de engranajes y convertidores de energía electromecánicos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.12.2015**

73 Titular/es:

**MOVENTAS GEARS OY (100.0%)**  
**Vesangantie 1, P.O. Box 158**  
**40101 Jyväskylä, FI**

72 Inventor/es:

**TOIKKANEN, JARI y**  
**RUMMAKKO, MARKKU**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 555 067 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**

Instalación de ensayo y método para ensayar cajas de engranajes y convertidores de energía electromecánicos

**Campo técnico de la invención**

5 La invención se refiere a una instalación de ensayo adecuada para cajas de engranajes y convertidores de energía electromecánicos. Un convertidor de energía electromecánico puede ser, por ejemplo, pero no necesariamente, una góndola de una estación de energía eólica. Además, la invención se refiere a un método para ensayar cajas de engranajes y convertidores de energía electromecánicos.

**Antecedentes**

10 Un convertidor de energía electromecánico, tal como, por ejemplo, una góndola de una estación de energía eólica, comprende muchas veces componentes tales como un generador para convertir energía mecánica en energía eléctrica y una caja de engranajes para adaptar la potencia mecánica recibida a una zona de velocidad rotatoria adecuada para el generador. Además, el convertidor de energía electromecánico puede comprender un dispositivo de conversión eléctrico para convertir la energía eléctrica producida por el generador en una forma adecuada para uso adicional, por ejemplo para ser suministrada a una red de energía eléctrica. El dispositivo de conversión eléctrico  
15 puede comprender, por ejemplo, un dispositivo convertidor electrónico de potencia y/o un transformador.

A pesar del progreso realizado en los últimos años con relación al análisis y la simulación, siguen siendo esenciales los experimentos para investigar si un convertidor de energía electromecánico es capaz de cumplir los requisitos establecidos para el mismo. Un modo sencillo de ensayar convertidores de energía electromecánicos es incluir el convertidor de energía electromecánico bajo ensayo en un bucle de potencia eléctricamente cerrado, como Walt Musial et al. ilustran en el documento "Wind Turbine Testing in the NREL Dynamometer Test Bed" publicado el 4 de mayo de 2000, en el que un motor de accionamiento eléctrico acciona el eje de entrada del convertidor de energía electromecánico bajo ensayo y el generador del convertidor de energía electromecánico está dispuesto para alimentar la potencia de vuelta a una red de energía eléctrica.  
20

Los requisitos establecidos para cajas de engranajes de convertidores de energía electromecánicos son muchas veces difíciles de cumplir. Las cajas de engranajes deberían ser eficientes, resistentes, suficientemente pequeñas, silenciosas y fáciles de fabricar. Además, las cajas de engranajes deberían ser eficaces desde el punto de vista económico. Existen muchos tipos de averías que pueden aparecer cuando se excede la capacidad de soportar carga de una caja de engranajes. Los problemas potenciales son la rotura de los dientes, las picaduras y micropicaduras de corrosión, así como el desgaste excesivo o, incluso, el desprendimiento de pequeñas partículas. Además de la capacidad de soportar carga, existen también otros parámetros importantes, como el rendimiento y el comportamiento dinámico, que se tienen que investigar experimentalmente. La potencia de ensayo máxima que se necesita para ensayar una caja de engranajes de un convertidor de energía electromecánico, por ejemplo una góndola de una estación de energía eólica, es de manera usual tan alta que excede significativamente la potencia máxima del generador y los dispositivos de conversión eléctricos del convertidor de energía electromecánico. Por lo tanto, la disposición de ensayo anteriormente presentada para ensayar en conjunto el convertidor de energía electromecánico no es adecuada para ensayar como un componente la caja de engranajes. No sería razonable económicamente dimensionar el generador y los dispositivos de conversión eléctricos del convertidor de energía electromecánico para que fueran capaces de producir la potencia de ensayo requerida por la caja de engranajes de dicho convertidor de energía electromecánico.  
25  
30  
35

Un modo ventajoso de ensayar cajas de engranajes como componentes es incluir la caja de engranajes bajo ensayo en un bucle de potencia mecánicamente cerrado constituido por la caja de engranajes bajo ensayo, un sistema de engranajes externo y un eje de transmisión de potencia. Se usa un motor de accionamiento para hacer girar el sistema. El motor de accionamiento se tiene que valorar solamente según la pérdida de potencia mecánica que se produce en el bucle de potencia mecánicamente cerrado. Por lo tanto, se puede conseguir una potencia de ensayo alta. El principio del bucle de potencia mecánicamente cerrado se ilustra, por ejemplo, en la publicación US3112643 y por Athanassios Mihailidis et al. en el documento "A New System for Testing Gears Under Variable Torque and Speed" publicado el 1 de noviembre de 2009.  
40  
45

Una disposición sencilla es proporcionar una plataforma de ensayo con una instalación de ensayo para ensayar en conjunto convertidores de energía electromecánicos y con otra instalación de ensayo en base al bucle de potencia mecánicamente cerrado para ensayar como componentes cajas de engranajes. No obstante, una disposición de ensayo de la clase descrita anteriormente es cara y ocupa mucho espacio. Por lo tanto, se necesitan instalaciones de ensayo que permitan ensayar cajas de engranajes como componentes y convertidores de energía electromecánicos en conjunto. La publicación US2011/0041624 describe una instalación de ensayo para ensayar una caja de engranajes de turbina eólica, en la que el generador de turbina eólica puede estar acoplado a la caja de engranajes de turbina eólica. La publicación US2009/0107255 y Hsu Wen-Ko, en el documento "Measurements on a Wind Turbine Condition Monitoring Test Rig" publicado el 1 de septiembre de 2010, describen una instalación de ensayo para ensayar el equipo de turbinas eólicas que comprende tanto la caja de engranajes como el generador.  
50  
55

**Sumario**

Se presenta en lo que sigue un sumario simplificado para proporcionar una comprensión básica de algunos aspectos de diversas realizaciones de la invención. El sumario no es una visión de conjunto amplia de la invención. Ni está destinado a identificar elementos clave o críticos de la invención ni a delimitar el alcance de la misma. El siguiente sumario presenta meramente algunos conceptos de la invención en una forma simplificada, como preludio a una descripción más detallada de realizaciones a modo de ejemplo de la invención.

De acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, se ha previsto una nueva instalación de ensayo para ensayar una caja de engranajes y un convertidor de energía electromecánico. La instalación de ensayo según la invención comprende:

- 10 - un sistema de engranajes que comprende unas interfaces de conexión primera y segunda que pueden rotar, adecuadas para ser conectadas a unos ejes de entrada y salida de la caja de engranajes bajo ensayo y una tercera interfaz de conexión que puede rotar, adecuada para ser conectada a un eje del convertidor de energía electromecánico bajo ensayo,
- 15 - un eje de transmisión de potencia que constituye, junto con el sistema de engranajes y la caja de engranajes bajo ensayo, un bucle de potencia mecánicamente cerrado cuando la caja de engranajes bajo ensayo está conectada a las interfaces de conexión primera y segunda que pueden rotar,
- un equipo de carga para imponer un par de ensayo a la caja de engranajes bajo ensayo, y
- al menos un motor de accionamiento para accionar la instalación de ensayo,

20 en la que el sistema de engranajes está dispuesto para proporcionar relaciones de engrane tales que la primera interfaz de conexión que puede rotar está dispuesta para girar muchas revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión que puede rotar y durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión que puede rotar.

25 La primera interfaz de conexión que puede rotar de la instalación de ensayo proporciona una interfaz de velocidad superior-par inferior para el lado a alta velocidad de una caja de engranajes bajo ensayo, la segunda interfaz de conexión que puede rotar proporciona una interfaz de velocidad inferior-par superior para el lado a baja velocidad de una caja de engranajes bajo ensayo y la tercera interfaz de conexión que puede rotar proporciona una interfaz de velocidad inferior-par superior para un convertidor de energía electromecánico bajo ensayo. El par máximo de la segunda interfaz de conexión que puede rotar es posible que sea significativamente mayor que el de la tercera interfaz de conexión que puede rotar, puesto que la segunda interfaz de conexión que puede rotar pertenece al bucle de potencia mecánicamente cerrado. Por lo tanto, la instalación de ensayo anteriormente descrita es adecuada tanto para ensayar como un componente una caja de engranajes como también para ensayar en conjunto un convertidor de energía electromecánico, por ejemplo una góndola de una estación de energía eólica.

35 De acuerdo con el segundo aspecto de la presente invención, se ha previsto un nuevo método para ensayar una caja de engranajes y un convertidor de energía electromecánico con una misma instalación de ensayo. El método según la invención comprende:

- conectar unos ejes de entrada y salida de la caja de engranajes bajo ensayo a unas interfaces de conexión primera y segunda que pueden rotar de la instalación de ensayo, constituyendo la instalación de ensayo, junto con la caja de engranajes bajo ensayo, al menos un bucle de potencia mecánicamente cerrado,
- 40 - accionar la instalación de ensayo a fin de suministrar pérdidas de potencia mecánica al bucle de potencia mecánicamente cerrado,
- imponer un par de ensayo a la caja de engranajes bajo ensayo,
- conectar un eje del convertidor de energía electromecánico bajo ensayo a una tercera interfaz de conexión que puede rotar de la instalación de ensayo, y
- 45 - accionar la instalación de ensayo a fin de suministrar potencia de ensayo mecánica al convertidor de energía electromecánico bajo ensayo,

en el que la primera interfaz de conexión que puede rotar gira muchas revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión que puede rotar y durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión que puede rotar.

Varias realizaciones a modo de ejemplo de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

50 Diversas realizaciones a modo de ejemplo de la invención, como construcciones y como métodos de funcionamiento, junto con objetos y ventajas adicionales de la misma, se comprenderán mejor a partir de la siguiente descripción de realizaciones a modo de ejemplo específicas, cuando se lean en relación con los dibujos que se

acompañan.

El verbo "comprender" se usa en este documento como una limitación abierta que ni excluye ni requiere la existencia de características sin enumerar. Las características enumeradas en las reivindicaciones dependientes pueden combinarse libremente entre sí a menos que se indique explícitamente de otro modo.

**5 Breve descripción de las figuras**

Las realizaciones a modo de ejemplo de la invención y sus ventajas se explican con mayor detalle en lo que sigue, en el sentido de ejemplos y con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

la figura 1 ilustra el principio de una instalación de ensayo, según una realización de la invención, para ensayar una caja de engranajes y un convertidor de energía electromecánico,

10 la figura 2a muestra una vista lateral de una instalación de ensayo, según una realización de la invención, para ensayar una caja de engranajes y un convertidor de energía electromecánico, la figura 2b muestra la instalación de ensayo vista desde arriba y la figura 2c muestra la sección tomada por la línea A-A ilustrada en las figuras 2a y 2b, y

la figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método, según una realización de la invención, para ensayar una caja de engranajes y un convertidor de energía electromecánico.

**15 Descripción de las realizaciones**

La figura 1 ilustra el principio de una instalación de ensayo según una realización de la invención para ensayar una caja de engranajes 118 y un convertidor de energía electromecánico 119, por ejemplo una góndola de una estación de energía eólica. La instalación de ensayo comprende un sistema de engranajes 101 y unos ejes de transmisión de potencia 104 y 113. El sistema de engranajes comprende unas interfaces de conexión primera y segunda 102 y 103 que pueden rotar, por ejemplo unos platos, adecuadas para ser conectadas a unos ejes de entrada y salida de la caja de engranajes 118 bajo ensayo y una tercera interfaz de conexión 112 que puede rotar, adecuada para ser conectada a un eje del convertidor de energía electromecánico 119 bajo ensayo. El sistema de engranajes 101 y los ejes de transmisión de potencia 104 y 113 constituyen, junto con la caja de engranajes 118 bajo ensayo, dos bucles de potencia mecánicamente cerrados, como se ilustra en la figura 1. La instalación de ensayo comprende unos motores de accionamiento 108, 109, 110 y 111 para accionar los bucles de potencia mecánicamente cerrados y/o el convertidor de energía electromecánico 119 bajo ensayo. La instalación de ensayo comprende un equipo de carga para imponer un par de ensayo a los bucles de potencia mecánicamente cerrados, a fin de imponer el par de ensayo a la caja de engranajes 118 bajo ensayo. Puesto que la caja de engranajes 118 bajo ensayo es una parte de los bucles de potencia mecánicamente cerrados, la suma de los valores normales de potencia de los motores de accionamiento 108-111 puede ser significativamente menor que la potencia de ensayo máxima de la caja de engranajes bajo ensayo. El sistema de engranajes 101 está dispuesto para proporcionar relaciones de engrane tales que la primera interfaz de conexión 102 que puede rotar está dispuesta para girar  $N_1$  revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión de conexión 103 que puede rotar y  $N_2$  revoluciones durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión 112 que puede rotar, donde  $N_1$  y  $N_2$  son mayores que la unidad.  $N_1$  y  $N_2$  pueden ser, por ejemplo, al menos 20 o al menos 100.

La primera interfaz de conexión 102 que puede rotar de la instalación de ensayo proporciona una interfaz de velocidad superior-par inferior para el lado a alta velocidad de la caja de engranajes 118 bajo ensayo, la segunda interfaz de conexión 103 que puede rotar proporciona una interfaz de velocidad inferior-par superior para el lado a baja velocidad de una caja de engranajes bajo ensayo y la tercera interfaz de conexión 112 que puede rotar proporciona una interfaz de velocidad inferior-par superior para un convertidor de energía electromecánico 119 bajo ensayo. El par máximo de la segunda interfaz de conexión 103 que puede rotar es posible que sea significativamente mayor que el de la tercera interfaz de conexión 112 que puede rotar, puesto que la segunda interfaz de conexión que puede rotar pertenece a los bucles de potencia mecánicamente cerrados. Por lo tanto, la instalación de ensayo anteriormente descrita es adecuada tanto para ensayar como un componente la caja de engranajes 118 como también para ensayar en conjunto el convertidor de energía electromecánico 119, por ejemplo una góndola de una estación de energía eólica.

En la instalación de ensayo ilustrada en la figura 1, hay dos bucles de potencia mecánicamente cerrados en paralelo. Así, el valor normal de potencia del mecanismo de transmisión de potencia de cada bucle de potencia mecánicamente cerrado puede ser significativamente menor que la potencia de ensayo máxima de la caja de engranajes 118 bajo ensayo. En muchas instalaciones prácticas, es más fácil, se ahorra más espacio y es más eficaz desde el punto de vista económico construir dos mecanismos de transmisión de potencia más pequeños, en vez de un único mecanismo grande de transmisión de potencia. Se debería señalar, no obstante, que el número de los bucles de potencia mecánicamente cerrados podría ser también uno o mayor que dos.

En la instalación de ensayo ilustrada en la figura 1, el equipo de carga para imponer el par de ensayo a la caja de engranajes 118 bajo ensayo comprende una etapa de engranajes diferenciales 105 que tiene unos elementos primero y segundo 114 y 115 que pueden rotar, que forman parte de los bucles de potencia mecánicamente cerrados y cuya diferencia mutua de velocidades rotatorias depende de la velocidad rotatoria de un tercer elemento

116 que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales. La instalación de ensayo está adaptada a la relación de engrane de la caja de engranajes 118 bajo ensayo, permitiendo que el tercer elemento 116 que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales gire a una velocidad tal que la diferencia de velocidades de los elementos primero y segundo 114 y 115 que pueden rotar de la etapa de engranajes diferenciales compense el efecto de las relaciones de engrane de los otros elementos, incluyendo la caja de engranajes bajo ensayo, en los bucles de potencia mecánicamente cerrados. Por consiguiente, la condición necesaria de que el producto de todas las relaciones de engrane sea la unidad en los bucles de potencia mecánicamente cerrados se cumple con la ayuda de la etapa de engranajes diferenciales. En el caso a modo de ejemplo mostrado en la figura 1, la etapa de engranajes diferenciales es un engranaje planetario. Los elementos primero y segundo 114 y 115 que pueden rotar son, respectivamente, el eje de engranajes centrales del engranaje planetario y la corona dentada del engranaje planetario. En la construcción a modo de ejemplo mostrada en la figura 1, la corona dentada tiene dientes de engrane también en su periferia exterior. El tercer elemento 116 que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales 105 es el portasatélites del engranaje planetario. Se debe señalar que el engranaje planetario no es la única elección posible para la etapa de engranajes diferenciales. La etapa de engranajes diferenciales podría ser también, por ejemplo, un diferencial de engranajes cilíndricos o un engranaje diferencial basado en engranajes cónicos.

En la instalación de ensayo ilustrada en la figura 1, el equipo de carga comprende además un dispositivo de control conectado al tercer elemento 116 que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales y dispuesto para controlar el par que actúa sobre el tercer elemento que puede rotar, cuando está girando dicho tercer elemento. Mediante el control del par que actúa sobre el tercer elemento 116 que puede rotar es posible controlar el par de ensayo impuesto a la caja de engranajes 118 bajo ensayo. El dispositivo de control comprende una máquina eléctrica 106 y un dispositivo convertidor eléctrico 107. El convertidor eléctrico está dispuesto para controlar la máquina eléctrica 106 en base a una diferencia entre el par de dicha máquina eléctrica y un par de referencia. En una instalación de ensayo según una realización a modo de ejemplo de la invención, el dispositivo convertidor eléctrico 107 está dispuesto para cambiar el par de referencia en respuesta a una situación en la que la velocidad rotatoria de la máquina eléctrica 106 cumple un límite superior de velocidad o un límite inferior de velocidad. El par de referencia se cambia en la dirección en la que la velocidad rotatoria se devuelve a una ventana de velocidades definida por los límites superior e inferior de velocidad.

La máquina eléctrica 106 puede ser una máquina eléctrica "AC" de corriente alterna y el dispositivo convertidor eléctrico 107 puede ser un convertidor de frecuencias que está conectado a una red 120 de suministro de energía trifásica. Una máquina eléctrica AC puede ser, por ejemplo, una máquina de inducción o una máquina síncrona de imanes permanentes. A fin de conseguir una buena precisión de control, el convertidor de frecuencias puede estar dispuesto usando un control de vectores que se basa en controlar no solamente las frecuencias y amplitudes de los voltajes y las corrientes sino también las fases instantáneas de los voltajes y las corrientes. Especialmente, si se usa un tacómetro, se puede conseguir una precisión muy buena de control. La máquina eléctrica podría ser, también, una máquina eléctrica "DC" de corriente continua y el dispositivo convertidor podría ser un convertidor de AC a DC, por ejemplo un convertidor de tiristores. En algunas aplicaciones, el dispositivo de control conectado al tercer elemento 116 que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales podría ser un freno sencillo, pero un inconveniente intrínseco de un freno es que puede producir solamente par que actúa contra un sentido de rotación. Una máquina eléctrica puede producir par en ambos sentidos dependiendo de si la máquina eléctrica funciona como un motor o como un generador.

En una instalación de ensayo según una realización de la invención, los motores de accionamiento 108-111 que están dispuestos para accionar la instalación de ensayo son motores eléctricos que están suministrados y controlados con un dispositivo convertidor eléctrico 117 dispuesto para controlar la velocidad rotatoria de los motores eléctricos en base a una diferencia entre la velocidad rotatoria de dichos motores eléctricos y una velocidad de referencia. En el caso a modo de ejemplo mostrado en la figura 1, los motores de accionamiento 108-111 son motores eléctricos de corriente alterna y el dispositivo convertidor eléctrico 117 es un convertidor de frecuencias. A fin de conseguir una buena precisión de control de la velocidad, el dispositivo convertidor 117 puede estar dispuesto usando un control de vectores. Especialmente, si se usa un tacómetro, es posible conseguir una precisión muy buena de control de la velocidad. Es posible también que el motor eléctrico sea un motor eléctrico AC que está conectado directamente a la red 120 de suministro de energía. En este caso, las velocidades rotatorias de los motores de accionamiento 101-111 están determinadas por la frecuencia de la red de suministro, pero puede haber fluctuaciones significativas en dichas velocidades rotatorias cuando existen cambios dinámicos en las condiciones de carga instantáneas.

En una instalación de ensayo según otra realización de la invención, el equipo de carga comprende un pistón accionado hidráulicamente para empujar una rueda oblicuamente dentada en su dirección axial con respecto a su rueda vecina, que también está dentada oblicuamente. Como la rueda y su rueda vecina están dentadas oblicuamente, un movimiento axial de la rueda con respecto a su rueda vecina causa la rotación y, así, impone un par a una caja de engranajes bajo ensayo. Es posible también generar el par de ensayo al hacer girar toda la caja de engranajes bajo ensayo, como se ilustra por la flecha 221 en la figura 1. Se puede hacer girar la caja de engranajes bajo ensayo, por ejemplo con la ayuda de un pistón accionado hidráulicamente. Este método, sin embargo, no es adecuado para una caja de engranajes cuya relación de engrane sea 1:1. Además, si los ejes de entrada y salida de la caja de engranajes bajo ensayo no están en la misma línea espacial, se necesitan juntas cardan u otros medios adecuados para compensar el movimiento radial de, al menos, uno de los ejes de entrada y salida. Es posible

también tener dos cajas de engranajes en una conexión recíproca entre las interfaces de conexión 102 y 103 que pueden rotar. El par de ensayo se puede imponer a estas dos cajas de engranajes bajo ensayo al hacer girar las cajas de engranajes en sentidos opuestos entre sí con, por ejemplo, pistones accionados hidráulicamente.

5 La figura 2a muestra una vista lateral de una instalación de ensayo, según una realización de la invención, para ensayar una caja de engranajes 218 y un convertidor de energía electromecánico 219. La figura 2b muestra la instalación de ensayo anteriormente mencionada vista desde arriba y la figura 2c muestra la sección tomada por la línea A-A ilustrada en las figuras 2a y 2b. La instalación de ensayo comprende un sistema de engranajes 201 y unos ejes de transmisión de potencia 204 y 213. El sistema de engranajes comprende unas interfaces de conexión primera y segunda 202 y 203 que pueden rotar, adecuadas para ser conectadas a unos ejes de entrada y salida de la caja de engranajes 218 bajo ensayo y una tercera interfaz de conexión 212 que puede rotar, adecuada para ser conectada a un eje del convertidor de energía electromecánico 219 bajo ensayo. El sistema de engranajes 201 y los ejes de transmisión de potencia 204 y 213 constituyen, junto con la caja de engranajes 218 bajo ensayo, dos bucles de potencia mecánicamente cerrados, como se ilustra en la figura 2b. La instalación de ensayo comprende unos motores de accionamiento 208, 209, 210 y 211 para accionar los bucles de potencia mecánicamente cerrados y/o el convertidor de energía electromecánico 219 bajo ensayo. La instalación de ensayo comprende un equipo de carga para imponer un par de ensayo a los bucles de potencia mecánicamente cerrados, a fin de imponer el par de ensayo a la caja de engranajes 218 bajo ensayo. El sistema de engranajes 201 está dispuesto para proporcionar relaciones de engrane tales que la primera interfaz de conexión 202 que puede rotar está dispuesta para girar  $N_1$  revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión 203 que puede rotar y  $N_2$  revoluciones durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión 112 que puede rotar, donde  $N_1$  y  $N_2$  son mayores que la unidad. El convertidor de energía electromecánico 219 bajo ensayo puede ser, por ejemplo, una góndola de una estación de energía eólica y la caja de engranajes 218 puede ser una caja de engranajes similar a la de la góndola. Los valores normales de dicha primera interfaz de conexión 202 pueden ser, por ejemplo, 24 MW, 1.080 revoluciones/min y 212 kNm, los valores normales de dicha segunda interfaz de conexión 203 pueden ser, por ejemplo, 24 MW, 9 revoluciones/min y 25.500 kNm, y los valores normales de dicha tercera interfaz de conexión 212 pueden ser, por ejemplo, 12 MW, 9 revoluciones/min y 12.250 kNm. La longitud total  $L$  de la zona de ensayo puede ser aproximadamente 60 m. Por consiguiente, es sencillo ver que se pueden conseguir ahorros considerables en la superficie del suelo de una plataforma de ensayo cuando se puede usar la misma instalación de ensayo tanto para ensayar como un componente una caja de engranajes como para ensayar en conjunto un convertidor de energía electromecánico.

El equipo de carga comprende una etapa de engranajes diferenciales 205 ilustrada en la sección A-A de la figura 2c, en la que los dientes de engrane están representados con líneas de trazos. La etapa de engranajes diferenciales 205 puede ser similar a la etapa de engranajes diferenciales 105 mostrada en la figura 1. El equipo de carga comprende además unas máquinas eléctricas 206 y 206a que están conectadas al portasatélites de la etapa de engranajes diferenciales 205. Las máquinas eléctricas 206 y 206a están suministradas y controladas con un dispositivo convertidor eléctrico 207. El otro extremo de la instalación de ensayo puede comprender también una etapa de engranajes diferenciales que se usa para generar el par de ensayo y/o para adaptar las relaciones de engrane y que está controlada con unas máquinas eléctricas 206b y 206c.

En principio, es posible ensayar tanto la caja de engranajes 218 como el convertidor de energía electromecánico 219 simultáneamente puesto que, debido a los bucles de potencia mecánicamente cerrados, la mayor parte de la potencia mecánica de los motores de accionamiento 208-211 se puede dirigir al convertidor de energía electromecánico bajo ensayo, incluso si la caja de engranajes también está bajo ensayo. No obstante, en muchos casos prácticos, la caja de engranajes a ensayar es la caja de engranajes del convertidor de energía electromecánico a ensayar. En estos casos, no es posible naturalmente el ensayo simultáneo de la caja de engranajes y el convertidor de energía electromecánico.

La figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método, según una realización de la invención, para ensayar una caja de engranajes y un convertidor de energía electromecánico con una misma instalación de ensayo. El método comprende:

- 50 - acción 301: conectar unos ejes de entrada y salida de la caja de engranajes bajo ensayo a unas interfaces de conexión primera y segunda que pueden rotar de la instalación de ensayo, constituyendo la instalación de ensayo, junto con la caja de engranajes bajo ensayo, al menos un bucle de potencia mecánicamente cerrado,
- acción 302: accionar la instalación de ensayo a fin de suministrar pérdidas de potencia mecánica al bucle de potencia mecánicamente cerrado,
- acción 303: imponer un par de ensayo a la caja de engranajes bajo ensayo,
- 55 - acción 304: conectar un eje del convertidor de energía electromecánico bajo ensayo a una tercera interfaz de conexión que puede rotar de la instalación de ensayo, y
- acción 305: accionar la instalación de ensayo a fin de suministrar potencia de ensayo mecánica al convertidor de energía electromecánico bajo ensayo,

en el que la primera interfaz de conexión que puede rotar gira muchas revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión que puede rotar y durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión que puede rotar.

5 Las acciones 302, 303 y 305 tienen lugar simultáneamente si la caja de engranajes y el convertidor de energía electromecánico se ensayan simultáneamente.

10 Un método, según una realización de la invención, comprende además adaptar la relación de engrane de la instalación de ensayo a fin de que se corresponda con la relación de engrane de la caja de engranajes bajo ensayo, con la ayuda de una etapa de engranajes diferenciales que tiene unos elementos primero y segundo que pueden rotar, que forman parte del bucle de potencia mecánicamente cerrado y cuya diferencia mutua de velocidades rotatorias depende de la velocidad rotatoria de un tercer elemento que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales. En el método según esta realización de la invención, el par de ensayo se impone a la caja de engranajes bajo ensayo controlando el par que actúa sobre el tercer elemento que puede rotar, cuando está girando dicho tercer elemento.

15 En un método según una realización de la invención, el par que actúa sobre el tercer elemento que puede rotar se controla con un sistema que comprende:

- una máquina eléctrica, y
- un dispositivo convertidor eléctrico que controla la máquina eléctrica en base a una diferencia entre el par de dicha máquina eléctrica y un par de referencia.

20 La etapa de engranajes diferenciales puede ser, por ejemplo, un engranaje planetario de manera que el eje de engranajes centrales y una corona dentada del engranaje planetario son los elementos primero y segundo que pueden rotar, respectivamente, y un portasatélites del engranaje planetario es el tercer elemento que puede rotar. La máquina eléctrica puede ser una máquina eléctrica de corriente alterna y el dispositivo convertidor eléctrico puede ser un convertidor de frecuencias.

25 En un método según una realización de la invención, el par de referencia se cambia en respuesta a una situación en la que la velocidad rotatoria de la máquina eléctrica cumple un límite superior de velocidad o un límite inferior de velocidad. El par de referencia se cambia en la dirección en la que la velocidad rotatoria se devuelve a una ventana de velocidades definida por los límites superior e inferior de velocidad.

30 En un método según una realización de la invención, la instalación de ensayo se acciona con uno o más motores eléctricos y la velocidad rotatoria de los motores eléctricos se controla en base a una diferencia entre la velocidad rotatoria de dichos motores eléctricos y una velocidad de referencia. Los motores eléctricos pueden ser motores eléctricos de corriente alterna que están suministrados y controlados con un convertidor de frecuencias.

Los ejemplos específicos previstos en la descripción proporcionada anteriormente no se deben interpretar como limitativos. Por lo tanto, la invención no está meramente limitada a las realizaciones descritas anteriormente.

**REIVINDICACIONES**

1. Una instalación de ensayo para ensayar una caja de engranajes y un convertidor de energía electromecánico, comprendiendo la instalación de ensayo:

- 5 - un sistema de engranajes (101, 201) que comprende unas interfaces de conexión primera y segunda (102, 103, 202, 203) que pueden rotar, adecuadas para ser conectadas a unos ejes de entrada y salida de la caja de engranajes bajo ensayo,
- un eje de transmisión de potencia (104, 204) que constituye, junto con el sistema de engranajes y la caja de engranajes bajo ensayo, un bucle de potencia mecánicamente cerrado cuando la caja de engranajes bajo ensayo está conectada a las interfaces de conexión primera y segunda que pueden rotar,
- 10 - un equipo de carga (105-107, 205-207) para imponer un par de ensayo a la caja de engranajes bajo ensayo, y
- al menos un motor de accionamiento (108-111, 208-211) para accionar la instalación de ensayo,

**caracterizada** por que el sistema de engranajes comprende además una tercera interfaz de conexión (112, 212) que puede rotar, adecuada para ser conectada a un eje del convertidor de energía electromecánico bajo ensayo, y el sistema de engranajes está dispuesto para proporcionar relaciones de engrane tales que la primera interfaz de conexión que puede rotar está dispuesta para girar muchas revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión que puede rotar y durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión que puede rotar.

2. Una instalación de ensayo según la reivindicación 1, en la que la primera interfaz de conexión que puede rotar está dispuesta para girar, al menos, 20 revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión que puede rotar y durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión que puede rotar.

3. Una instalación de ensayo según la reivindicación 1, en la que la primera interfaz de conexión que puede rotar está dispuesta para girar, al menos, 100 revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión que puede rotar y durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión que puede rotar.

4. Una instalación de ensayo según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en la que la instalación de ensayo comprende, al menos, otro eje de transmisión de potencia (113, 213) que constituye, junto con el sistema de engranajes y la caja de engranajes bajo ensayo, al menos otro bucle de potencia mecánicamente cerrado.

5. Una instalación de ensayo según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que el equipo de carga comprende:

- 30 - una etapa de engranajes diferenciales (105, 205) para adaptar la relación de engrane de la instalación de ensayo a fin de que se corresponda con la relación de engrane de la caja de engranajes bajo ensayo, comprendiendo la etapa de engranajes diferenciales unos elementos primero y segundo (114, 115) que pueden rotar, que forman parte del bucle de potencia mecánicamente cerrado y cuya diferencia mutua de velocidades rotatorias depende de la velocidad rotatoria de un tercer elemento (116) que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales, y
- 35 - un dispositivo de control (106, 107, 206, 207) conectado al tercer elemento que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales y dispuesto para controlar el par que actúa sobre el tercer elemento que puede rotar, cuando está girando dicho tercer elemento, a fin de imponer el par de ensayo a la caja de engranajes bajo ensayo.

6. Una instalación de ensayo según la reivindicación 5, en la que la etapa de engranajes diferenciales (105, 205) es un engranaje planetario, siendo un eje de engranajes centrales y una corona dentada del engranaje planetario los elementos primero y segundo que pueden rotar y siendo un portasatélites del engranaje planetario el tercer elemento que puede rotar.

7. Una instalación de ensayo según la reivindicación 5, en la que el dispositivo de control comprende una máquina eléctrica (106, 206) y un dispositivo convertidor eléctrico (107, 207) dispuesto para controlar la máquina eléctrica en base a una diferencia entre el par de dicha máquina eléctrica y un par de referencia.

8. Una instalación de ensayo según la reivindicación 7, en la que el dispositivo convertidor eléctrico está dispuesto para cambiar el par de referencia en respuesta a una situación en la que la velocidad rotatoria de la máquina eléctrica cumple un límite superior de velocidad o un límite inferior de velocidad, cambiándose el par de referencia en una dirección en la que la velocidad rotatoria se devuelve a una ventana de velocidades definida por los límites superior e inferior de velocidad.

9. Una instalación de ensayo según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en la que el motor de accionamiento (108-111) es un motor eléctrico y la instalación de ensayo comprende otro dispositivo convertidor eléctrico (117) dispuesto para controlar la velocidad rotatoria del motor eléctrico en base a una diferencia entre la velocidad rotatoria



del motor eléctrico y una velocidad de referencia.

10. Una instalación de ensayo según cualquiera de las reivindicaciones 7-9, en la que la máquina eléctrica es una máquina eléctrica de corriente alterna y el dispositivo convertidor eléctrico es un convertidor de frecuencias.

5 11. Un método para ensayar una caja de engranajes y un convertidor de energía electromecánico con una misma instalación de ensayo, comprendiendo el método:

- conectar (301) unos ejes de entrada y salida de la caja de engranajes bajo ensayo a unas interfaces de conexión primera y segunda que pueden rotar de la instalación de ensayo, constituyendo la instalación de ensayo, junto con la caja de engranajes bajo ensayo, al menos un bucle de potencia mecánicamente cerrado,
- 10 - accionar (302) la instalación de ensayo a fin de suministrar pérdidas de potencia mecánica al bucle de potencia mecánicamente cerrado, e
- imponer (303) un par de ensayo a la caja de engranajes bajo ensayo,

**caracterizado por que** el método comprende además:

- conectar (304) un eje del convertidor de energía electromecánico bajo ensayo a una tercera interfaz de conexión que puede rotar de la instalación de ensayo, y
- 15 - accionar (305) la instalación de ensayo a fin de suministrar potencia de ensayo mecánica al convertidor de energía electromecánico bajo ensayo,

en la que la primera interfaz de conexión que puede rotar gira muchas revoluciones durante una única revolución de la segunda interfaz de conexión que puede rotar y durante una única revolución de la tercera interfaz de conexión que puede rotar.

20 12. Un método según la reivindicación 11, en el que el método comprende además adaptar la relación de engrane de la instalación de ensayo a fin de que se corresponda con la relación de engrane de la caja de engranajes bajo ensayo, con la ayuda de una etapa de engranajes diferenciales que tiene unos elementos primero y segundo que pueden rotar, que forman parte del bucle de potencia mecánicamente cerrado y cuya diferencia mutua de velocidades rotatorias depende de la velocidad rotatoria de un tercer elemento que puede rotar de la etapa de engranajes diferenciales, y en el que el par de ensayo se impone a la caja de engranajes bajo ensayo controlando el par que actúa sobre el tercer elemento que puede rotar, cuando está girando dicho tercer elemento.

25 13. Un método según la reivindicación 12, en el que la etapa de engranajes diferenciales es un engranaje planetario, siendo un eje de engranajes centrales y una corona dentada del engranaje planetario los elementos primero y segundo que pueden rotar y siendo un portasatélites del engranaje planetario el tercer elemento que puede rotar.

30 14. Un método según la reivindicación 12, en el que el par que actúa sobre el tercer elemento que puede rotar se controla con un sistema que comprende una máquina eléctrica y un dispositivo convertidor eléctrico que controla la máquina eléctrica en base a una diferencia entre el par de dicha máquina eléctrica y un par de referencia.

35 15. Un método según la reivindicación 14, en el que el par de referencia se cambia en respuesta a una situación en la que la velocidad rotatoria de la máquina eléctrica cumple un límite superior de velocidad o un límite inferior de velocidad, cambiándose el par de referencia en una dirección en la que la velocidad rotatoria se devuelve a una ventana de velocidades definida por los límites superior e inferior de velocidad.

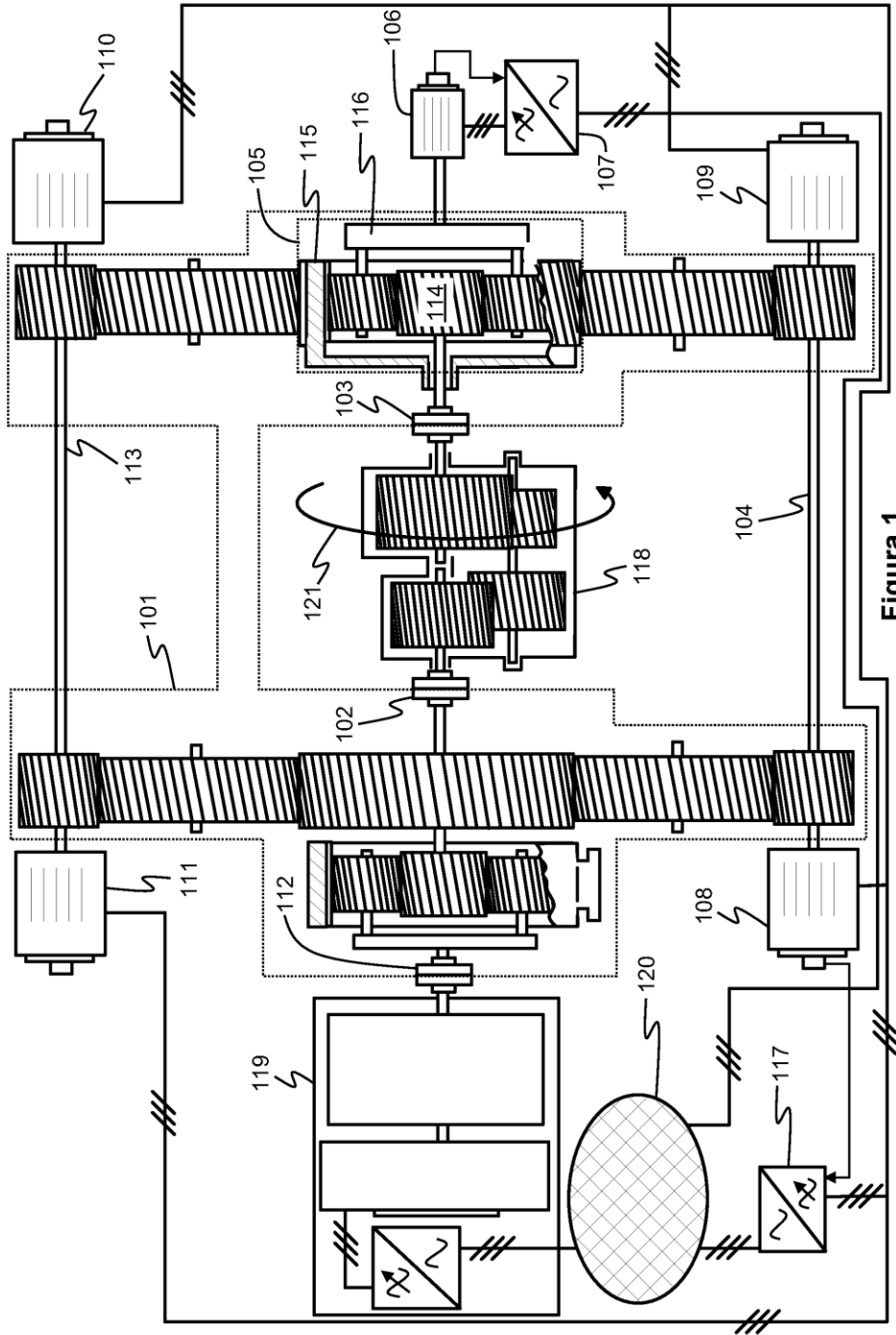


Figura 1

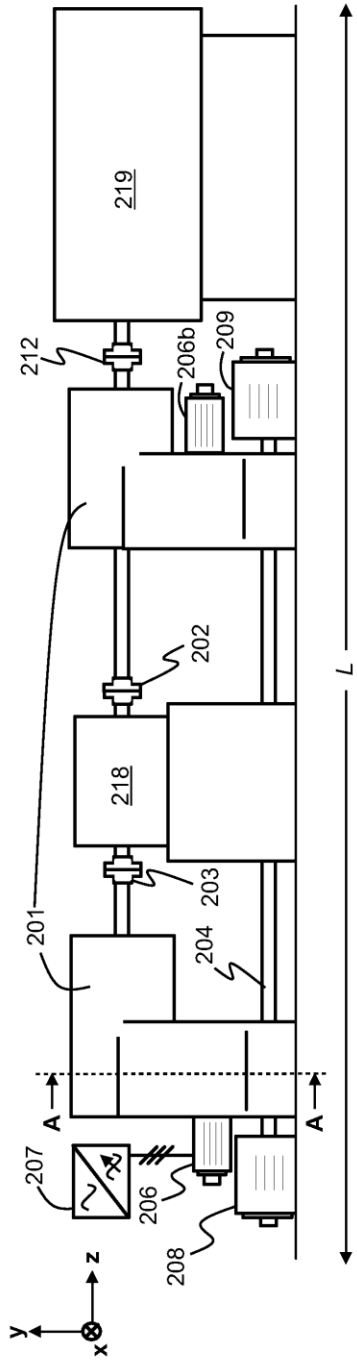


Figure 2a

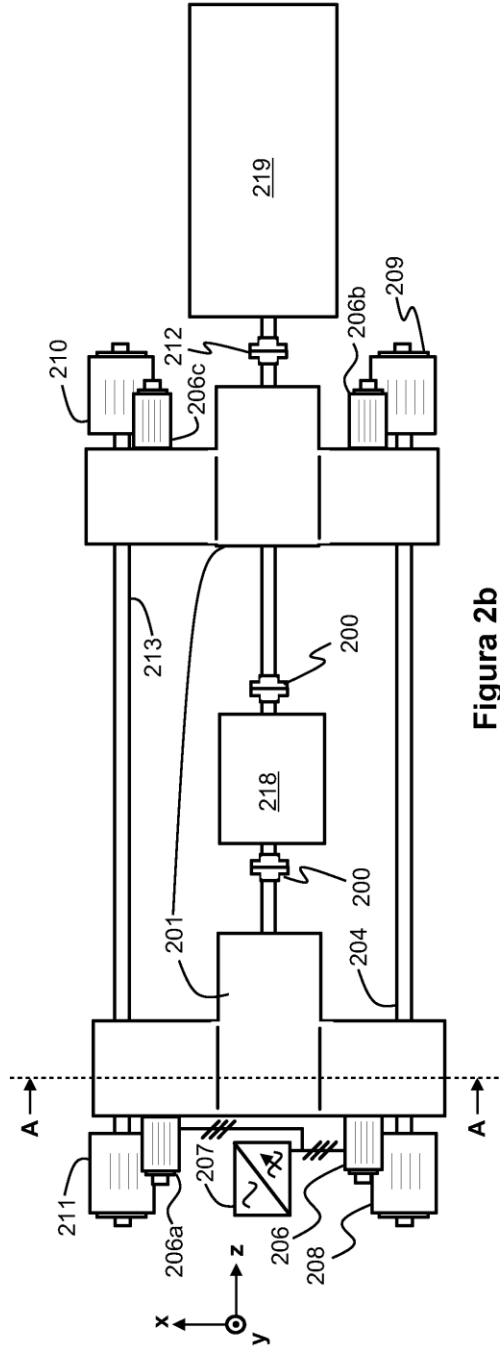


Figure 2b

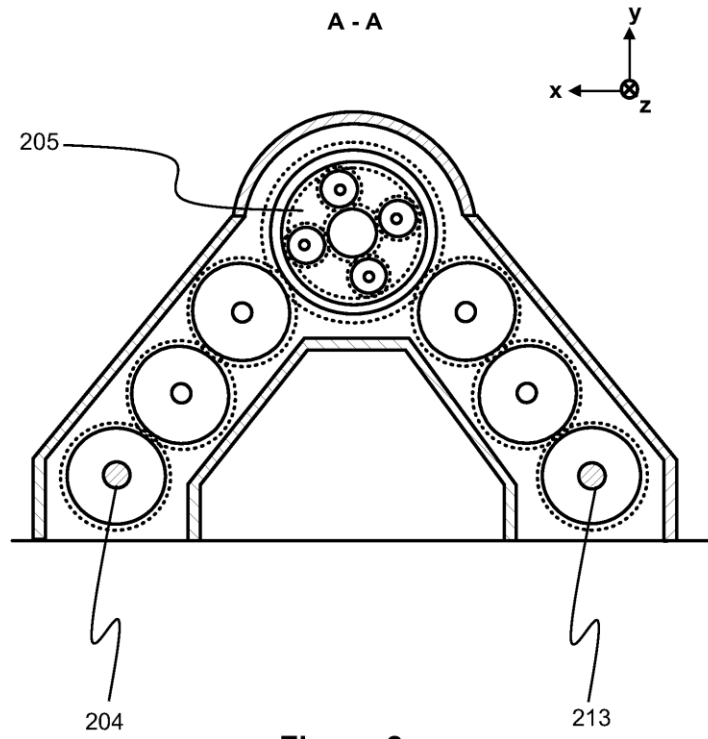


Figura 2c

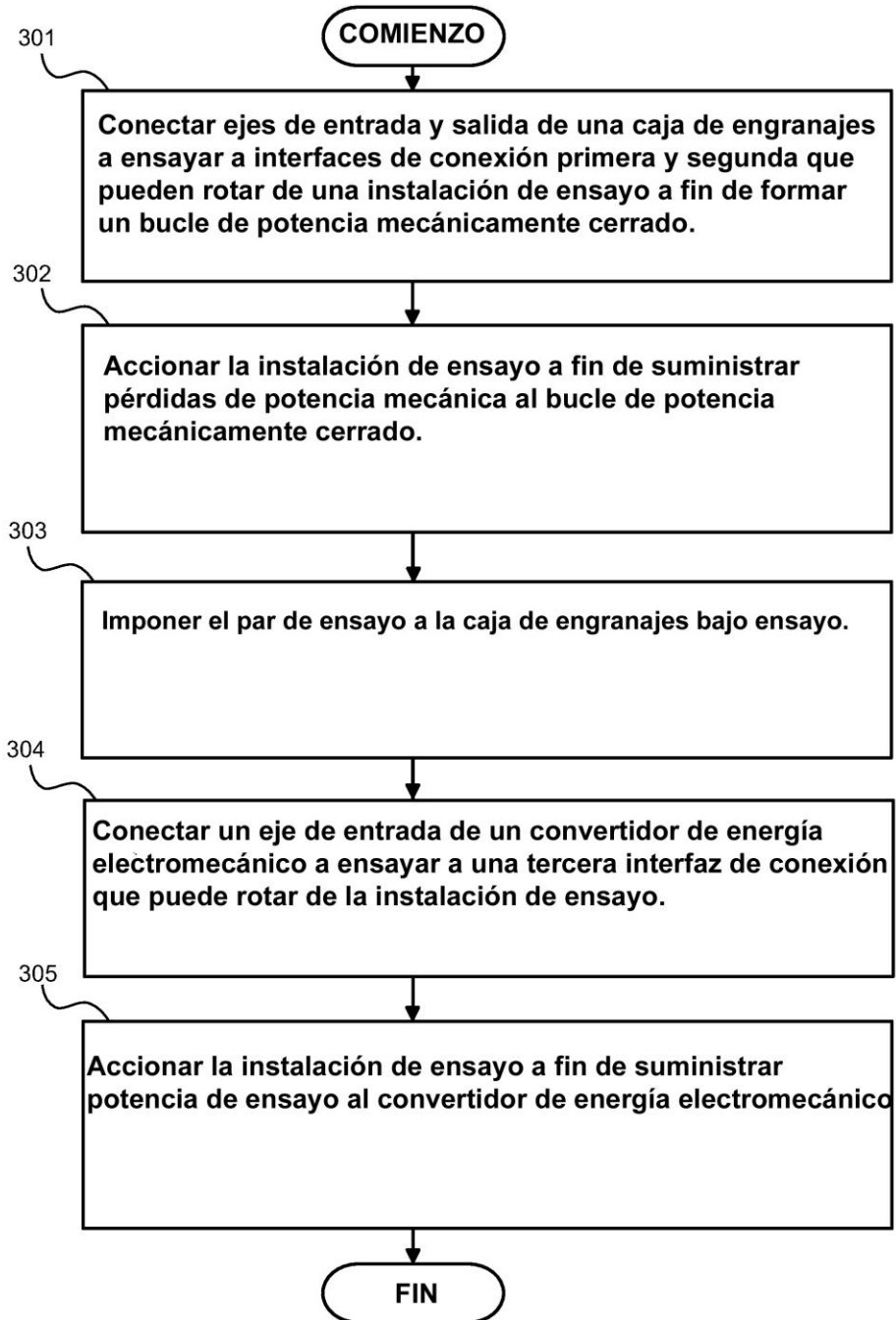


Figura 3