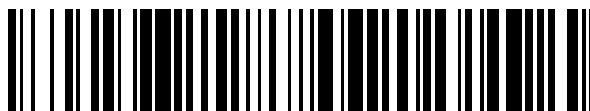


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 812**

51 Int. Cl.:

F04B 11/00 (2006.01)

F04B 15/02 (2006.01)

F04B 17/03 (2006.01)

F04B 49/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2007 PCT/US2007/079436**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.04.2008 WO08039787**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2007 E 07843157 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 2076673**

54 Título: **Control electrónico de motor de árbol de levas para bomba de pistón**

30 Prioridad:

26.09.2006 US 826997 P

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

05.04.2019

73 Titular/es:

**GRACO MINNESOTA INC. (100.0%)
P.O. Box 1441
Minneapolis, MN 55440-1441, US**

72 Inventor/es:

**SIDLYAREVICH, TIMOTHY;
CAMPBELL, JAMES y
METZA, JOHN**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 707 812 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

Control electrónico de motor de árbol de levas para bomba de pistón

Campo de la invención

5 La presente solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud de EE.UU. con número 60/826,997, presentada el 26 de septiembre de 2006.

Arte previo

10 Se han utilizado diversas bombas a lo largo de los años para hacer circular pintura y materiales similares a través de un sistema. Aunque las bombas de pistón reciprocantes neumáticas han sido populares durante bastante tiempo para este uso, ha habido un aumento en el deseo a migrar a soluciones eléctricas más eficientes. Las bombas centrífugas eléctricas, las bombas de tornillo excéntrico y las bombas de pistón de husillo reciprocantes (patente de EE.UU. Nº 5,725,358) todas han sido comercializadas. Cualquier tecnología que se utilice, se desea minimizar la pulsación de manera que se encuentre presente una presión de sistema constante. Se han realizado múltiples sistemas de bombas de pistón reciprocantes (pulverizador sin aire GM10000 de Graco Inc., solicitud PCT publicada WO 02/46612 A1 y patente de EE.UU. Nº 5,145,339) en donde las bombas se encuentran desplazadas en fase para minimizar la pulsación.

15 La WO 02/46612 divulga un sistema de bombas de pistón que comprende al menos dos bombas reciprocantes accionadas por manivela, en la que las manivelas para las bombas se encuentran excéntricas.

Divulgación de la invención

20 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema de bombas de pistones que comprende: al menos dos bombas reciprocantes accionadas por manivela, donde las manivelas para dichas bombas se encuentran excéntricas; y un motor eléctrico para accionar las dichas al menos dos bombas, caracterizadas por comprender: un controlador para controlar la operación de dichas bombas causando que el motor eléctrico accione las bombas de acuerdo a un perfil de velocidad del motor que imita un árbol de levas mecánico, en donde el controlador está configurado para desarrollar el perfil de velocidad del motor:

25 operando dicho sistema de bombas a una velocidad constante y tomando la presión de salida en una selección de posiciones angulares de la manivela;

formando un perfil de presión a partir de dicha toma de presión de salida;

invirtiendo dicho perfil de presión para formar un perfil de velocidad del motor que reducirá la variación de la presión; y

30 repetir los pasos anteriores al menos una vez en un proceso iterativo hasta que la variación de la presión no exceda en una cantidad predeterminada.

Preferiblemente, el controlador se configura además para monitorizar la variación de la presión durante la operación y ajustar dicho perfil de velocidad del motor para reducir la variación de la presión en caso de que se exceda dicha cantidad predeterminada.

35 Las realizaciones de la presente invención se describirán a continuación a modo de ejemplo, únicamente en referencia a los dibujos adjuntos en donde los caracteres de referencia similares hacen referencia a las mismas piezas a lo largo de las diversas vistas.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista general de un sistema de bombas que utiliza la presente invención.

40 La Figura 2 ilustra la presión actual, la presión media, la diferencia instantánea de presión y la presión actual en función del grado de revolución.

La Figura 3 muestra la técnica de un tiempo de adelanto según se aplica a la rotación del engranaje de salida.

La Figura 4 muestra una vista en desguace del accionamiento de la bomba.

Mejor modo de realizar la invención

5 Un sistema 10 de dos (o más) bombas de pistón se muestra generalmente en la Figura 1. El sistema 10 está provisto de dos bombas 12 que son accionadas por manivela 14, donde sus respectivas manivelas 14 se encuentran excéntricas en aproximadamente 84° en la realización preferida. Un motor 16 eléctrico acciona una unidad 18 de engranaje de reducción que a su vez acciona las manivelas 14. El sistema 10 no tiene un árbol de levas mecánico, sino un algoritmo de software, que actúa como uno. El algoritmo podrá APRENDER y crear un perfil de velocidad único, que imitará al árbol de levas mecánico. Para propósitos prácticos, el perfil de velocidad de un engranaje de salida se denomina perfil de Leva, donde un software actúa como un árbol de levas imaginario. El algoritmo utiliza una Estimación del Ángulo de Levas, Generación de Curva de Aprendizaje, Suavización y cálculo del tiempo de adelanto.

10 Se desarrolla un perfil de velocidad de LEVA suave en tres pasos: (1) se obtiene el perfil de velocidad teórica de Leva; (2) se Aprende un perfil de bomba única; y (3) se desarrolla un perfil de leva práctico.

15 El perfil de velocidad teórica de LEVA consiste en 360 puntos (un punto por grado). Se obtiene para administrar un flujo y una presión constantes a través de la salida del colector del sistema. Los siguientes parámetros se utilizan para los cálculos: grado de desplazamiento de los pistones, volumen del vástago del pistón, que efectúa el volumen real de la bomba en la carrera ascendente, la duración del cambio, momento en el cual no se bombea ningún líquido, y las geometrías de la biela y el diámetro interior de la bomba.

20 Se utiliza un único conjunto de fórmulas para desarrollar de forma práctica un perfil de LEVA perfecto para un sistema determinado, que asegure una presión y un flujo constantes por parte de la bomba. El algoritmo APRENDER también permite que la bomba aprenda las variaciones de la presión mientras está operativa.

25 Una vez se desarrolla el modo LEVA APRENDIDA, se superpone sobre el modo LEVA teórica y se desarrolla el modo Leva Práctica. Ha de señalarse que el modelado de LEVA teórica es únicamente una aproximación, ya que es extremadamente difícil modelar los efectos de las bolas de retención y la flexión general de los conjuntos de caja de engranaje y bomba. El modo LEVA APRENDIDA tiene en cuenta el 100% de las variables y por lo tanto es específico al sistema. Los tiempos de los cambios y las retenciones de bola del modo LEVA teórica son verificados contra el modo LEVA APRENDIDA. Las aceleraciones y deceleraciones del modo LEVA APRENDIDA también son verificadas contra valores teóricos y se culminan al 630%. Son eliminados los picos pronunciados en la velocidad, que fueron causados por cambios rápidos sin explicación en la presión.

30 El sistema no tiene un árbol de levas mecánico, sino un algoritmo de software que actúa como uno. El algoritmo podrá APRENDER y crear un perfil de velocidad único, que imitará el árbol de levas mecánico. Para propósitos prácticos el perfil de velocidad del engranaje de salida se denomina perfil de LEVA, donde un software actúa como un árbol de levas imaginario. El algoritmo utiliza las siguientes características únicas:

- Estimación del ángulo de manivela
- Generación de curva de aprendizaje
- 35 • Suavización
- Cálculo del tiempo de adelanto

40 El algoritmo APRENDER LEVA elimina la necesidad de un codificador para realizar la estimación del ángulo. Se instala un sensor de punto muerto superior (PMS) en una caja de engranajes. El sensor mira a una marca en un engranaje de salida. Esta marca activa el sensor una vez cada revolución. Tan pronto como el sensor es activado, el algoritmo comienza a calcular el grado de rotación del engranaje como sigue a continuación:

1. Se halla primero el número de revoluciones del motor estimadas por una trama de tiempo de 4 ms.
2. Se halla el ángulo estimado de rotación del engranaje de salida en base al número de revoluciones estimadas del motor.

45 El código de software se instala en una tarea del procesador de 4ms, que se ejecuta cada 4 ms. Significa que el código mira la frecuencia del motor una vez cada 4 ms. Ha de señalarse que el tiempo de ejecución real depende de la cantidad del código en la tarea; por lo tanto, no podemos asumir que nuestra trama de tiempo es exactamente de 4ms de duración. El software necesita disposiciones para ajustarse al error.

Las siguientes fórmulas describen la técnica utilizada para calcular el ángulo de rotación:

$$N_s = \frac{120 * F}{P} \left[\frac{\text{Revoluciones}}{\text{Minuto}} \right]$$

Donde N_s - Velocidad, F – Frecuencia, P – Número o Polos

Convertir a revoluciones por segundo:

$$N_s = \frac{\frac{120 * F}{4} \left[\frac{\text{Revoluciones}}{\text{Minuto}} \right]}{60 \text{Segundos}} = \frac{F}{2} \left[\frac{\text{Revoluciones}}{\text{Segundo}} \right];$$

- 5 Hallar las revoluciones por una trama de tiempo de 4ms:

$$\frac{\text{Revoluciones}}{\text{Tarea4ms}} = \frac{F}{2};$$

$$\text{Revoluciones estimadas del motor} = \frac{F * \text{Tarea4ms}}{2}$$

Por lo tanto:

Relación de Velocidad de la caja de engranajes = 75, lo que significa que cada 75 revoluciones del motor tenemos una revolución del árbol de levas:

- 10 1 Revolución de LEVA = 75 Revoluciones del Motor

$$\frac{360^\circ \text{ de LEVA}}{75 \text{ Revoluciones Motor}} = 4,8^\circ \left[\frac{\text{Grado de Revolución CAM}}{1 \text{ Revolución Motor}} \right];$$

Esto significa que 1 revolución del motor da como resultado 4,8° de una revolución del engranaje de salida.

Las revoluciones del motor son rastreadas en base al tiempo (Tiempo de Tarea de 4ms), por lo tanto el ángulo del árbol de levas puede hallarse a cualquier número determinado de revoluciones del motor:

- 15 360° de LEVA = 75 Revoluciones del Motor

X° de LEVA = # de Revoluciones estimadas del motor

Por lo tanto:

$$X^\circ = \frac{360^\circ * (\text{Revoluciones Estimadas Motor})}{75}$$

$$\Rightarrow \text{Ángulo Estimado de LEVA} = \frac{360^\circ * (\text{Revoluciones Estimadas Motor})}{75};$$

ES 2 707 812 T3

El sistema utiliza una matriz de velocidad de 360 puntos. Cada punto representa un ángulo de rotación del árbol de levas (engranaje de salida). Al comienzo del proceso APRENDER, la matriz está vacía con todas sus celdas llenas con ceros. El proceso APRENDER, una vez comenzado, activa un sistema de control de bucle cerrado, cuya información de entrada es la presión de un líquido que está siendo bombeado, y la salida es una velocidad de motor.

5 En términos simplificados, el sistema funciona para administrar una presión constante ajustando la velocidad del motor, mientras que registra valores de velocidad en cada ángulo de rotación para un uso futuro cuando no se encuentra en APRENDER.

Por ejemplo, asumir que el ángulo actual de rotación es de 18°, y la presión medida (presión actual) en este ángulo es de 180PSI. Asumir que la presión media es de 150PSI. La presión actual se encuentra un 20% por encima de la media. Esa es la fluctuación de la presión, que necesita ser eliminada. El sistema entonces ajustará la velocidad del motor en aproximadamente -20% para un punto de 18° para eliminar la fluctuación de la presión y llevar la presión actual más cerca de la presión media. El proceso dura 13 revoluciones del árbol de levas, lo que significa esencialmente que cada punto se ajusta 13 veces. Cada vez el error se estrechará para llevar la presión en el ángulo de 18° más cerca de la presión media.

15 Los elementos clave del sistema de control son:

- Presión actual – La señal de presión del fluido se actualiza cada 10 ms

- Presión media – La presión media se obtiene con la ayuda de la función del filtro de primer orden con una constante de tiempo de 2,4 segundos. Para propósitos prácticos, la función de filtro puede denominarse también como una simple función de determinación de la media.

20 • Diferencia de presión instantánea – Diferencia de presión instantánea = Presión actual – Presión media

- Presión delta – La presión delta es una relación porcentual de la diferencia de presión instantánea con la presión media. Consultar la Figura 2.

Suavización – es un proceso de eliminación lenta de error. A partir de la Figura 2 se ve que el error a 18° es del 20%. Para evitar la sobre-corrección y el esfuerzo extra en el motor, el error no se corrige simplemente aumentando la velocidad del motor en un 20%, lo que causaría que el motor bombeara más fluido y por lo tanto desarrollara un 20% más de presión para compensar el error. Debe señalarse que existe una relación de raíz cuadrada entre la presión y el flujo. Un aumento del 20% en la velocidad del motor aumentaría únicamente la presión en la raíz cuadrada del 20%. En lugar de ello, el error se elimina gradualmente mediante pequeños incrementos en la velocidad durante 13 revoluciones en modo APRENDER. En las primeras cuatro revoluciones el factor de suavización es igual a 5, en las siguientes cuatro revoluciones el factor es 4, las siguientes cuatro el factor es 3, y en la última revolución el factor es 2. El factor representa la cantidad de peso añadido al valor del grado de revolución.

Por ejemplo, si APRENDER está en su tercera revolución, el factor de suavización es igual a 5. El algoritmo tomará valores de los previos 5 ángulos (13°, 14°, 15°, 16°, y 17°) y valores de los ángulos que siguen al ángulo actual (19°, 20°, 21°, 22°, y 23°). El algoritmo actual hallará a continuación la media de todos estos valores, mientras añade el valor del ángulo actual de 18° dos veces, de manera que tenga más peso. El valor de la velocidad resultante se asigna al ángulo de 18°.

El algoritmo APRENDER LEVA tiene disposiciones para ajustarse al error asociado con el retraso de la respuesta del sistema de control y el deslizamiento del motor. El algoritmo calculará el retraso en base a la frecuencia del motor y una constante especial, APRENDER ÁNGULO INCLINACIÓN. La constante depende del desplazamiento del motor y se obtiene mediante ensayo.

$$\text{Aprender Ángulo} = \text{Ángulo Actual} + \text{Aprender Inclinación}$$

$$\text{Aprender Inclinación} = \text{APRENDER ÁNGULO INCLINACIÓN} * \frac{\text{Frecuencia_Motor}}{\text{Divisor_Frecuencia}} ;$$

Divisor de Frecuencia = 60;

Ejemplo: Asumir que el ángulo estimado (Ángulo Actual) es 18°, y la frecuencia del motor correspondiente a este ángulo es 20Hz.

ES 2 707 812 T3

Asumir que Aprender Inclinación es -6.

$$\text{Aprender Inclinación} = 18^\circ + (-6) * \frac{20\text{Hz}}{60\text{Hz}} = 16^\circ$$

5 Cuando APRENDER está en proceso de cálculo de error, éste lo vincula a Aprender Ángulo y no al Ángulo Actual. Si el engranaje de salida se encuentra a 18° y el error está en +20%, el algoritmo APRENDER a través de su SUAVIZACIÓN determinará la corrección de la velocidad del motor. Asumir que se halló que la corrección es -17.5%. Sin el TIEMPO DE ADELANTO, el algoritmo APRENDER ejecutaría un comando para que la velocidad del motor fuera -17,5% cuando el engranaje de salida alcanzara 18° de rotación. Esto significa que la velocidad del motor tendría que ajustarse inmediatamente en -17,5%. Esto en la realidad es imposible. El sistema de control necesita tiempo de procesamiento y el motor necesita tiempo para reaccionar al comando. El TIEMPO DE ADELANTO asegura que este comando se envía al motor por adelantado. En este ejemplo el adelanto es -2°, de manera que el algoritmo ejecutaría un comando para un cambio de -17,5% en la velocidad cuando el engranaje de salida alcance 16°, y no 18°, dando tiempo al sistema, por lo tanto, para responder. Consultar la Figura 3.

10

REIVINDICACIONES

1. Sistema (10) de bomba de pistón que comprende:

al menos dos bombas (12) reciprocantes accionadas por manivela (14), donde las manivelas para dichas bombas se encuentran excéntricas; y

5 un motor (16) eléctrico para accionar dichas al menos dos bombas, **caracterizado por** comprender:

un controlador para controlar la operación de dichas bombas causando que el motor (16) eléctrico accione las bombas (12) de acuerdo a un perfil de velocidad del motor que imita un árbol de levas mecánico, en donde el controlador está configurado para desarrollar el perfil de velocidad del motor:

10 operando dicho sistema (10) de bomba a una velocidad constante y recogiendo la presión de salida en una selección de posiciones de ángulo de manivela;

formando un perfil de presión a partir de dicha recogida de la presión de salida;

invirtiendo dicho perfil de presión para formar un perfil de velocidad del motor que reducirá la variación de la presión; y

15 repitiendo los pasos anteriores al menos una vez en un proceso iterativo hasta que la variación de la presión no exceda una cantidad predeterminada.

2. Sistema de bomba de pistón según la reivindicación 1, en donde el controlador está además configurado para monitorizar la variación de la presión durante la operación y ajustar dicho perfil de velocidad del motor para reducir la variación de presión en el caso en que se exceda dicha cantidad predeterminada.

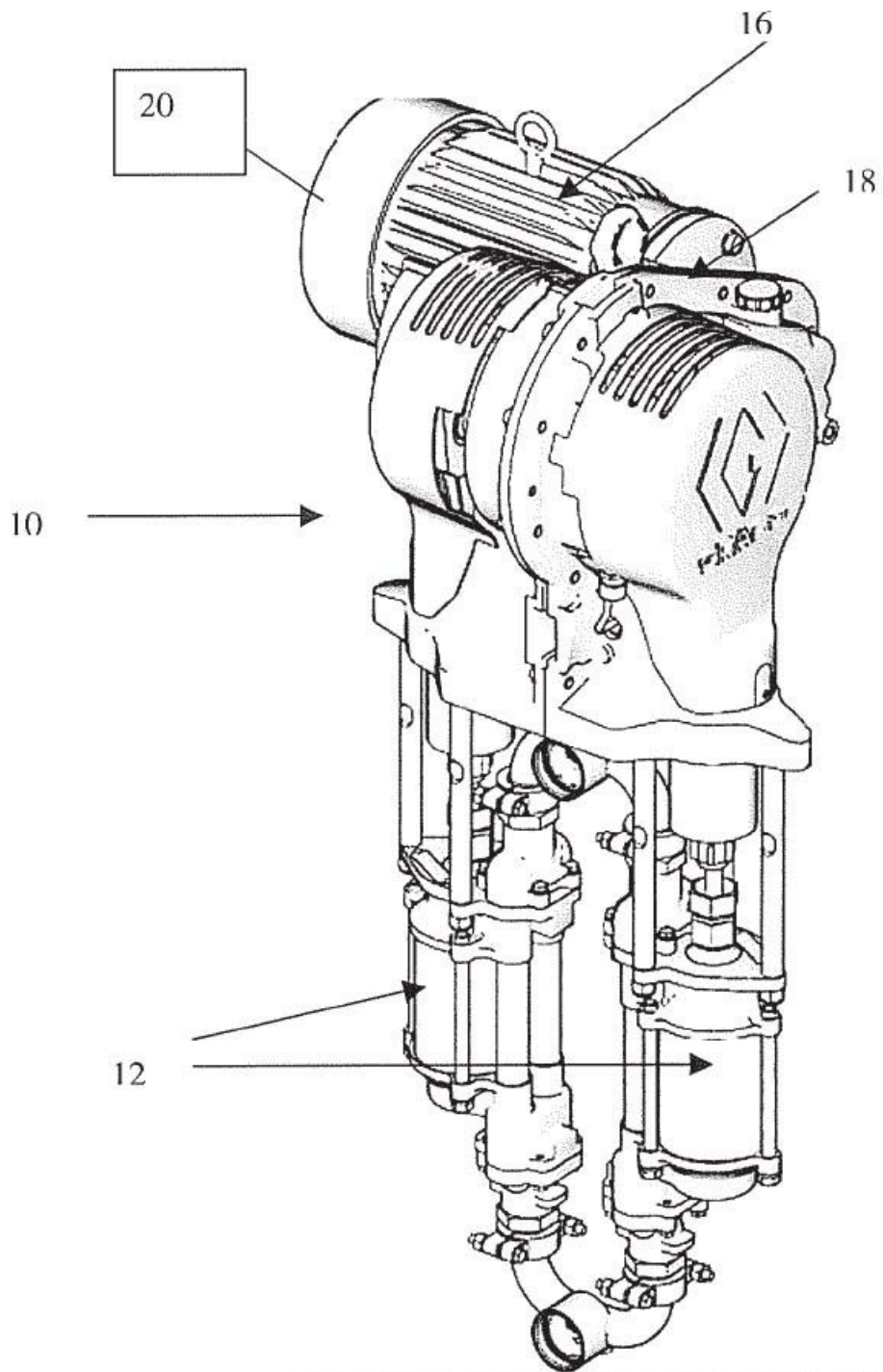


FIGURA 1

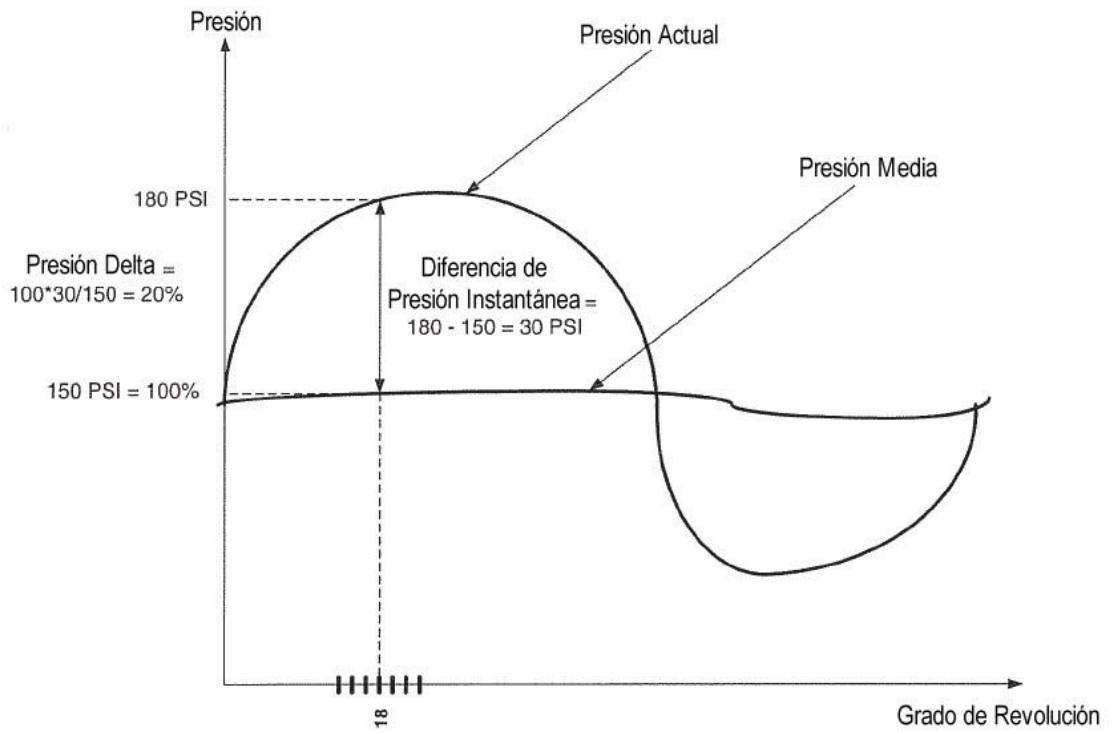


FIGURA 2

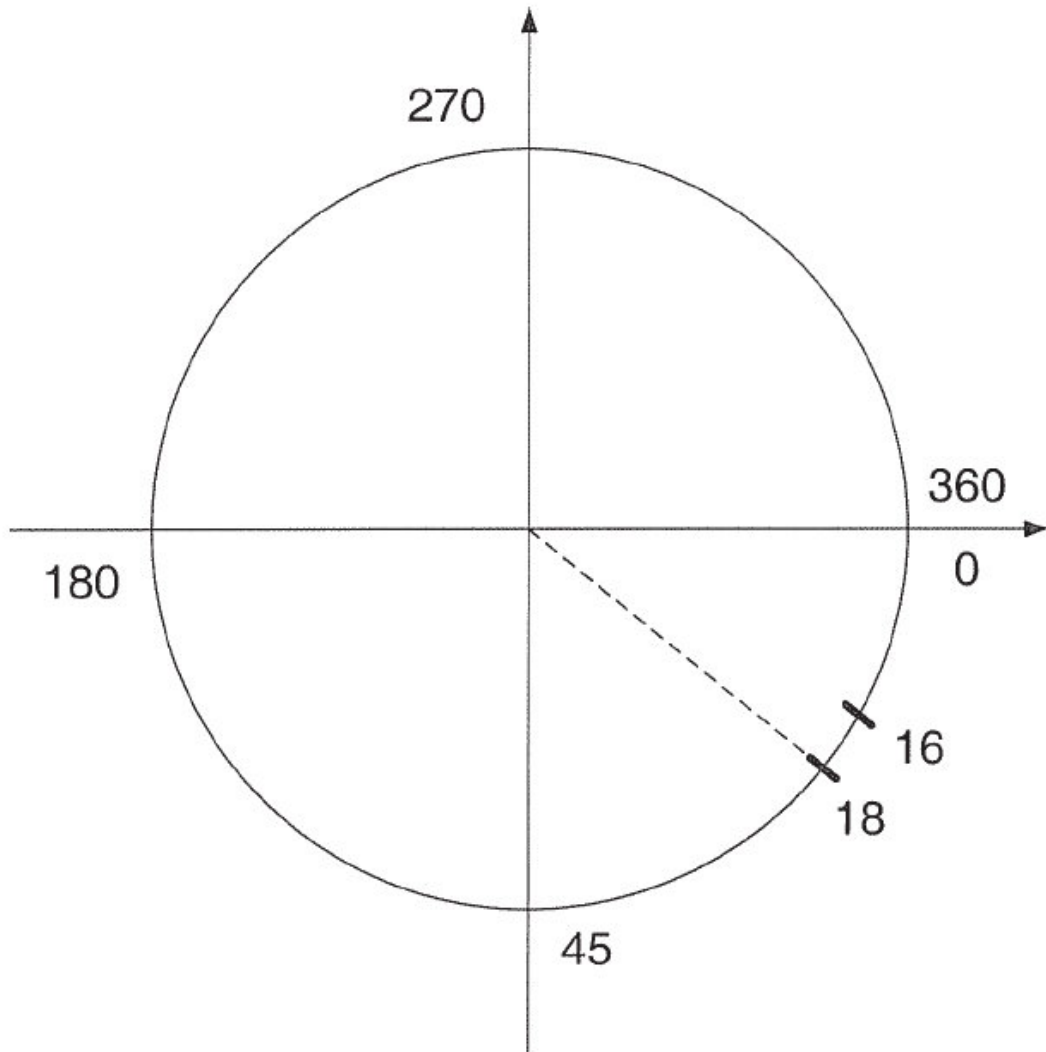


FIGURA 3

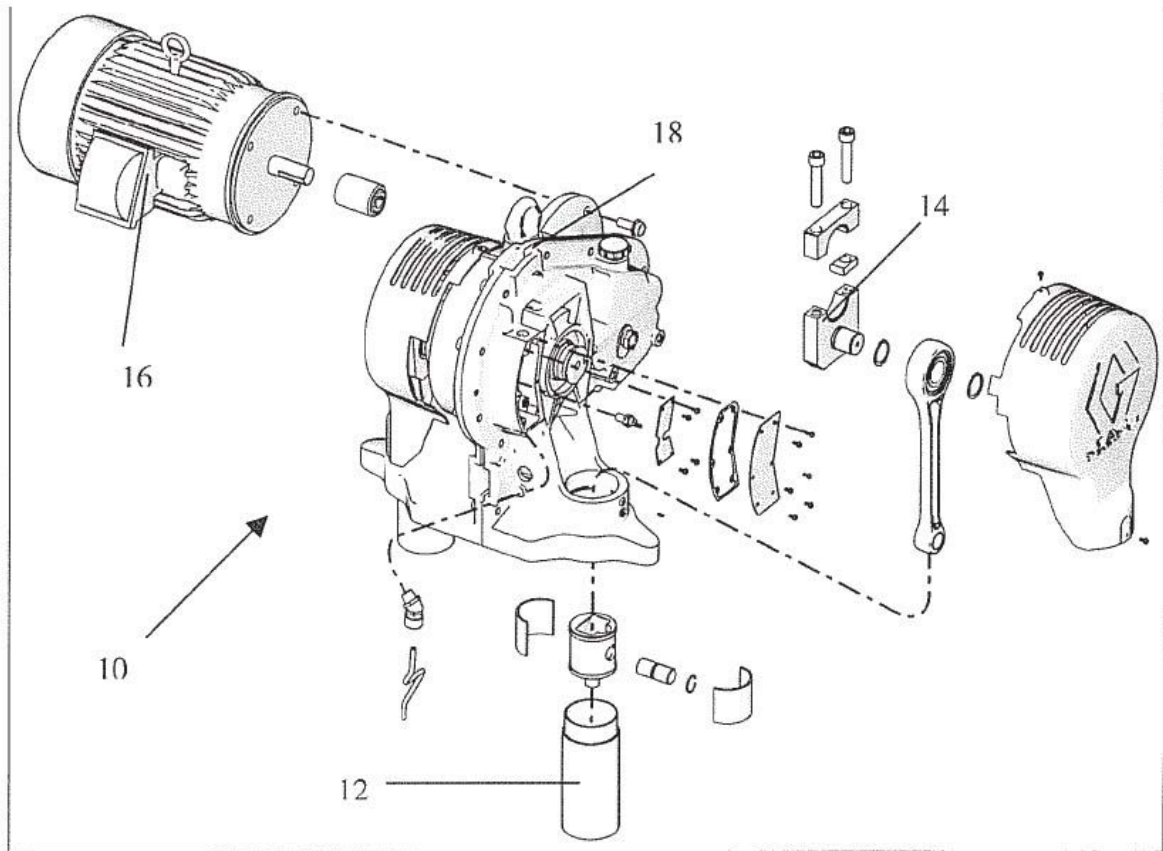


FIGURA 4