

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 484**

51 Int. Cl.:

F04D 27/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.08.2008 E 08788262 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2012 EP 2181266**

54 Título: **Mejoras en el control de un compresor**

30 Prioridad:

29.08.2007 GB 0716789

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

21.02.2013

73 Titular/es:

**GARDNER DENVER DEUTSCHLAND GMBH
(100.0%)
INDUSTRIESTRASSE 26
97616 BAD NEUSTADT, DE**

72 Inventor/es:

POWELL, GEOFFREY, GEORGE

74 Agente/Representante:

CASTELLO FERRER, María Isabel

ES 2 396 484 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

Mejoras en el control de un compresor.

- 5 La invención se refiere a mejoras en compresores y, en particular, a una mejora en un método de control de compresores dinámicos de velocidad variable para evitar la sobrecarga del motor como resultado del estrangulamiento.
- 10 Los compresores dinámicos de velocidad variable, tales como los compresores centrífugos, se han usado para comprimir aire, u otros gases, desde la década de 1960. Los compresores centrífugos, que comprenden un conjunto cilíndrico de álabes de compresor montados en un eje, se usan en una amplia variedad de campos por un cierto número de razones. Son generalmente eficientes energéticamente, son de bajo mantenimiento dado que tienen pocas partes móviles y proporcionan normalmente un caudal de aire más elevado que compresores alternativos de tamaños similares.
- 15 Las características operativas de un compresor se definen generalmente mediante la correspondencia entre la relación de presión y la relación de volumen o caudal. Sin embargo, su intervalo operativo útil está limitado por la inestabilidad, el estrangulamiento y la velocidad del compresor máxima permisible.
- 20 En compresores dinámicos de velocidad variable que operan a una presión de suministro dada, el caudal de aire a través del compresor se puede incrementar incrementando la velocidad del compresor. Se encuentra una condición de estrangulamiento en flujos elevados, cuando un incremento en la velocidad del compresor produce un incremento cada vez menor en la relación del flujo. Cuando el flujo en cualquier punto del compresor alcanza la condición de estrangulamiento, no es posible ningún incremento adicional en el caudal. Esta condición representa el caudal volumétrico del compresor máximo en función de la relación de presión. Los diseñadores de compresores han intentado encontrar formas de impedir el estrangulamiento durante el funcionamiento del compresor para maximizar la eficiencia del compresor.
- 25 La temperatura de entrada del aire (o de otro gas que se esté comprimiendo) determina cuanta potencia se requiere para comprimir el aire con una relación de presión dada, dado que puede ser precisa más potencia para comprimir un volumen dado de aire frío, más denso, que la necesaria para un aire caliente, menos denso. Así la potencia de salida de un accionador del compresor es una función de su velocidad y par, siendo el par una función de la presión de suministro del compresor y la temperatura de entrada del aire.
- 30 Un incremento en la velocidad del motor que acciona el compresor necesita un incremento en la potencia del motor, lo que conduce a un incremento asociado en la temperatura del devanado del motor. Uno de los problemas encontrados al tratar de proteger los compresores frente al estrangulamiento y evitar temperaturas de devanado del motor excesivamente altas, es que es difícil medir la potencia directamente. Un enfoque de la técnica anterior es por lo tanto, llevar el compresor dentro de límites de velocidad y potencia fijos. Es necesaria la intervención en el caso de una ruptura de estos límites y se proporciona una protección última parando la máquina cuando se alcanzan los límites. Esto no es aceptable claramente, sin embargo, para la operación de un compresor comercial normal.
- 35 El documento US 5284026, que divulga todas las características del preámbulo de la reivindicación 1, describe un sistema de control para un acondicionador de aire o un sistema de refrigeración que se usa con un compresor de velocidad variable. El sistema de control mide la aceleración del compresor y la temperatura o la presión del refrigerante que sale del mismo; determina la relación de cambio de la temperatura o la presión del refrigerante, y disminuye la aceleración del compresor cuando el cambio en la presión del fluido de trabajo indica una inestabilidad del compresor.
- 40 El documento US 4405290 describe un sistema neumático de alimentación que usa un compresor accionado por un eje. La capacidad de flujo del compresor se cambia variando la geometría del estator de salida del compresor. Como resultado se pueden satisfacer variaciones en la demanda del flujo mediante la carga, mientras que se suministra aire a la presión máxima con una potencia en eje de entrada mínima.
- 45 El documento EP 1555438 describe bucles de control para las variables de limitación en procesos tales como los que usan turbocompresores y turbinas. Una combinación de esquemas de control en bucle cerrado y límites en bucle abierto, pueden impedir excursiones en un funcionamiento desfavorable.
- 50 Es por lo tanto un objetivo de la presente invención proporcionar un método de control de la potencia mediante el uso de la medición de otros parámetros como un medio para impedir el estrangulamiento evitando la sobrecarga del motor.
- 55 La invención proporciona por lo tanto un método de control de un compresor para proporcionar un gas comprimido a una presión de suministro objetivo e impedir un consumo excesivo de potencia por el motor, estando accionado el compresor mediante un motor de velocidad variable que tenga devanados de motor, en el que;
- 60
- 65

se miden continuamente la temperatura de entrada del gas, la presión de suministro de salida, la velocidad del motor y la temperatura del devanado del motor, durante la operación del compresor;

se usa la temperatura de entrada del gas para determinar un límite predeterminado en la temperatura máxima del devanado del motor;

5 la temperatura máxima del devanado del motor se usa para fijar un límite de la velocidad máxima del motor; y la velocidad máxima, objetivo del motor y las presiones de suministro de salida del gas se usan para controlar la velocidad del motor real por debajo del límite de velocidad máxima del motor.

10 Se describirá ahora una realización preferida de la presente invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una representación diagramática de un bucle PID doble usado por la unidad de control de la presente invención para controlar la operación del compresor;

15 la Figura 2 es un gráfico que muestra la temperatura de devanado del motor/potencia para diferentes temperaturas del aire de entrada; y

la Figura 3 es un gráfico que muestra la temperatura del devanado del motor/temperatura de entrada del aire.

20 En la presente invención se acciona un compresor dinámico, tal como compresor centrífugo, mediante un motor de velocidad variable, y su operación se controla por parte de una unidad de control. Se proporciona una interfaz hombre máquina (HMI) para permitir que se establezcan ciertos parámetros.

25 El propósito de un compresor es suministrar aire (u otro gas) a una presión de suministro dada P_d a un ritmo que satisfaga la demanda de aire. Para conseguir esto se varía la velocidad del compresor, y por lo tanto su flujo de salida. Para proteger el compresor, se establecen ciertos límites máximos en la temperatura del devanado, la potencia y la velocidad del motor de accionamiento. La velocidad máxima V_{mmax} es la que mantiene el compresor operando dentro de los límites prestablecidos y la velocidad mínima V_{mmin} se usa cuando el compresor alcanza el punto de inestabilidad y el compresor se descarga para reducir la presión de suministro P_d . Se debería observar que estos valores se dan como un ejemplo de trabajo para una combinación de compresor y motor particular. Éstos naturalmente variarán de compresor a compresor y de motor a motor.

30 En la presente invención, la unidad de control se programa para usar un bucle doble proporcional-integral-derivativo (PID) como se muestra en la Figura 1, cuyos bucles individuales se describen a continuación.

35 Control de presión

El primer bucle PID usa la presión de suministro medida P_d como su entrada de control y la velocidad del motor V_m como su salida del control. Este bucle PID se representa en la Sección inferior de la Figura 1. Los términos P e I (el término D no se requiere realmente) se fijan en el HMI y la presión de suministro medida P_d es la variable del proceso que se compara con la presión objetivo (deseada) P_t (también establecida en el HMI). Si la presión de suministro P_d excede la presión objetivo P_t , la velocidad del motor V_m se reduce de acuerdo con la ecuación PID. Si la presión de suministro P_d cae por debajo de la presión objetivo P_t la velocidad del motor V_m se incrementa hasta la velocidad de motor máxima V_{mmax} .

45 Control de velocidad máxima

La temperatura del devanado motor medida T_{mw} se usa como la entrada de control (variable de proceso) en el segundo bucle PID para ajustar el límite de velocidad máximo V_{mmax} del motor (la salida del control) y de ese modo mantener la temperatura del devanado del motor T_{mw} dentro de los límites prestablecidos. El segundo bucle se representa en la sección superior de la Figura 1. Los términos P, I y D se establecen también en el HMI y la temperatura del devanado motor medida T_{mw} es la variable del proceso que se compara con la temperatura máxima del devanado de motor T_{mwmax} . Esto permite que la velocidad máxima posible del motor V_{mmax} mantenga la presión de suministro requerida P_d .

55 Control de la potencia máxima

Como se ha establecido previamente, la potencia del motor W_m requerida para satisfacer una situación de demanda particular depende de la temperatura del aire de entrada T_{in} . Dado que la temperatura máxima del devanado motor T_{mwmax} es también función de la temperatura del aire de entrada T_{in} , la potencia del motor W_m se puede controlar usando la temperatura del devanado del motor T_{mw} .

60 En la presente invención la temperatura máxima del devanado del motor T_{mwmax} para cualquier temperatura de entrada T_{in} se deduce de una unidad de concepto de prueba (POC) que se usa para trazar el gráfico de la Figura 2 usando mediciones en estado estable en varias condiciones de presión y temperatura. Para una temperatura de entrada del aire dada T_{in} este gráfico muestra que hay una relación lineal entre la potencia del motor W_m y la

temperatura del devanado del motor T_{mw} . Adicionalmente, la potencia W_m requerida disminuye linealmente con la temperatura del aire de entrada T_{in} .

Hay también dos límites fijos mostrados en la Figura 2. Estos se definen mediante el diseño físico de la máquina y son la temperatura máxima de diseño del devanado del motor T_{mwdes} y la potencia del motor máxima de diseño W_{mdes} .

El gráfico de la Figura 2 se usa para trazar la curva de la Figura 3 trazando mT respecto a T_{in} en la potencia de diseño máxima W_{mdes} . A temperaturas de entrada por encima de la intersección de la temperatura y potencia máximas de diseño, la temperatura máxima mT se limita por la temperatura de diseño máxima T_{mwdes} y la temperatura de entrada T_{in} no tiene influencia. De ese modo el valor de la temperatura máxima del devanado T_{mwmax} se puede calcular para T_{in} por debajo de K_t a partir de la fórmula siguiente:

$$T_{mwmax} = m \cdot T_{in} + c$$

En la que m es la pendiente de la curva y depende de la temperatura de entrada del aire T_{in} y c es una constante que depende de la intersección de la temperatura máxima de diseño y la temperatura de entrada K_t en la Figura 2.

$$m = (T_{mwdes} - T_{mw0°C}) / K_t \\ = (150 - 130) / 13 = 1.548 \text{ (para este ejemplo)}$$

$$c = T_{mw0°C} \\ = 130 \text{ (para este ejemplo)}$$

Se puede observar a partir de la Figura 3 que, para mantenerse dentro de los límites prestablecidos, por encima de K_t (13°C) es la temperatura del devanado T_{mw} la que es el parámetro límite, mientras que por debajo de K_t (13°C) es la potencia W_m la que es el parámetro límite. Sin embargo, dada la naturaleza casi lineal de las curvas y dada la temperatura de cruce T_{mw}/W_m de K_t (13°C) se puede ver que la temperatura máxima del devanado del motor T_{mwmax} a bajas temperaturas se puede reducir proporcionalmente a la temperatura de entrada del aire T_{in} , mientras aún mantiene un valor máximo absoluto a otras temperaturas. De ese modo:

$$\text{Si } T_{in} < K_t, \quad T_{mwmax} = m \cdot T_{in} + T_{mw0°C}$$

$$\text{en cualquier otro caso } T_{mwmax} = T_{setmax}$$

La invención se basa por ello en el principio de que una reducción en la temperatura máxima del devanado T_{mwmax} producirá una reducción en la velocidad máxima V_{mmax} dando como resultado una reducción de la velocidad real del motor V_m y por tanto un control de la temperatura del devanado real T_{mw} que tiene el efecto de controlar la potencia W_m . Por ello los bucles de control PID se combinan, como se muestra en la Figura 1, para proporcionar un control global de la potencia del motor W_m lo que posibilita que el operador impida el estrangulamiento. El primer bucle controla la velocidad del motor y por lo tanto la velocidad del compresor V_m , hasta el límite máximo de velocidad V_{max} calculado por el segundo bucle. La temperatura del devanado del motor T_{mw} medida se proporciona al segundo bucle, que la compara con la temperatura máxima del devanado del motor T_{mwmax} calculada en base a la temperatura de entrada T_{in} medida para proporcionar la velocidad de trabajo máxima V_{max} que se realimenta al primer bucle.

El método de la presente invención se basa en mediciones en estado estable y no se puede aplicar en condiciones de arranque. Sin embargo, si la limitación de potencia es principalmente el control de la temperatura del devanado del motor o la condición de estrangulamiento, éste no sería un problema. Si existe otra limitación debida a la aceleración, no cubierta por el límite de la corriente de accionamiento de frecuencia variable VFD, entonces se necesitaría ajustar un tiempo de arranque en el controlador de frecuencia variable.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de control de un compresor para proporcionar un gas comprimido a una presión de suministro objetivo e impedir un consumo excesivo de potencia por el motor, siendo accionado el compresor mediante un motor de velocidad variable que tiene devanados de motor, en el que;
- 10 se miden continuamente la temperatura de entrada del gas, la presión de suministro de salida del gas y la velocidad del motor, durante la operación del compresor;
caracterizado porque se mide también continuamente la temperatura del devanado del motor durante la operación en el compresor; y **porque**
- 15 se usa la temperatura de entrada del gas para determinar un límite predeterminado en la temperatura máxima del devanado del motor;
la temperatura máxima del devanado del motor se usa para fijar un límite de velocidad máxima del motor; y **porque**
- la velocidad máxima, objetivo del motor y las presiones de suministro de salida del gas se usan para controlar la velocidad del motor real por debajo del límite de velocidad máxima del motor.
- 20 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que se usa un bucle PID doble para determinar el límite máximo de velocidad del motor.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2 en el que la presión de suministro de salida de gas se alimenta como una entrada de control a un primer bucle de un bucle PID doble, cuya salida de control es la velocidad del motor.
- 25 4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 y 3 en el que la temperatura medida del devanado del motor se alimenta al segundo bucle del bucle PID doble como una entrada de control, cuya salida de control es la velocidad máxima del motor.

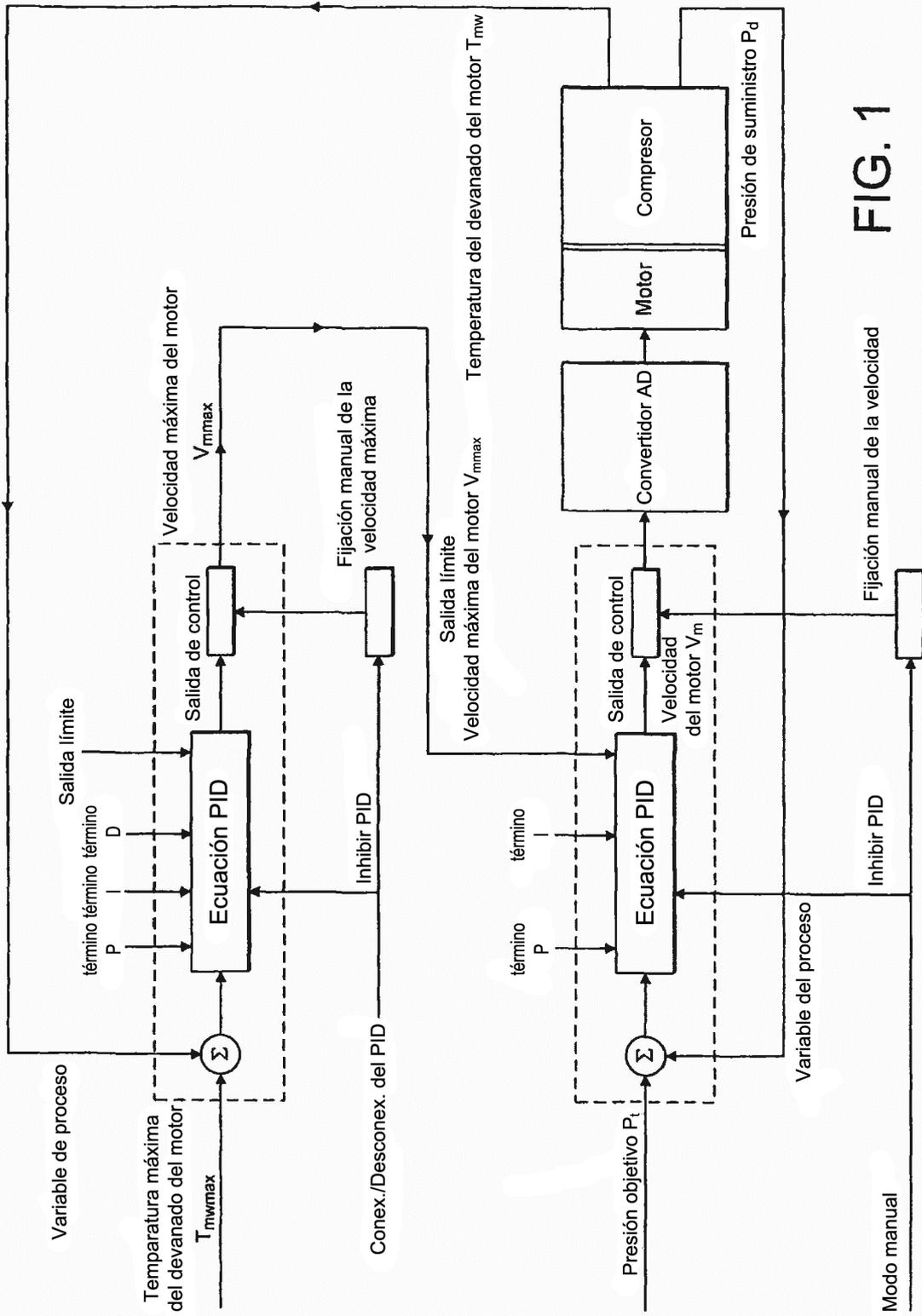


FIG. 1

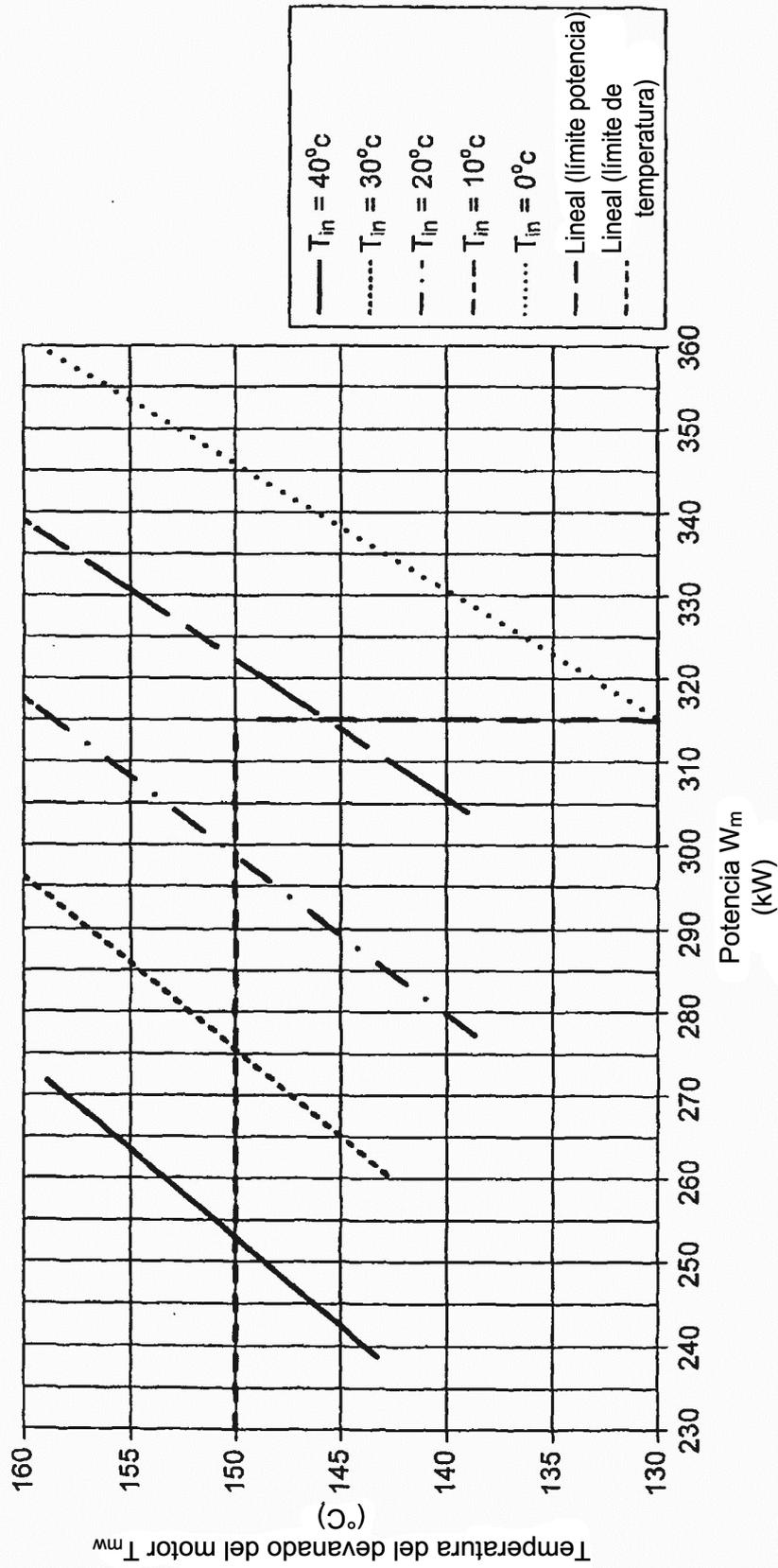


FIG. 2

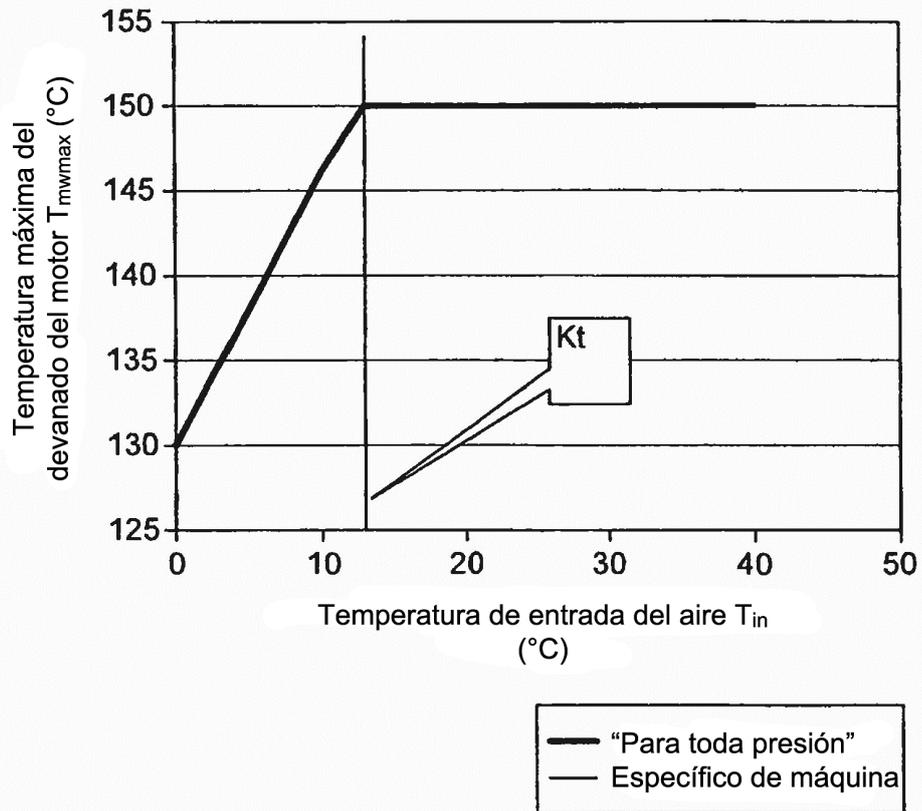


FIG. 3