

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 985**

51 Int. Cl.:

**F04D 15/00** (2006.01)

**F04D 15/02** (2006.01)

**E04H 4/12** (2006.01)

**F04B 49/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2012 E 12190764 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019 EP 2589813**

54 Título: **Detección de atrapamiento para un sistema de bomba de velocidad variable utilizando un coeficiente de carga**

30 Prioridad:

**01.11.2011 US 201161554215 P**

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

**15.04.2020**

73 Titular/es:

**REGAL BELOIT AMERICA, INC. (100.0%)  
200 State Street  
Beloit, WI 53511, US**

72 Inventor/es:

**BRANECKY, BRIAN THOMAS y  
GUZELGUNLER, YILCAN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 753 985 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**

Detección de atrapamiento para un sistema de bomba de velocidad variable utilizando un coeficiente de carga.

Antecedentes

5 La presente invención se refiere a sistemas y métodos para detectar un evento de atrapamiento en un sistema de bomba de piscina o balneario. Se produce un evento de atrapamiento cuando un objeto cubre al menos una porción de la entrada al sistema de bomba, tal como un desagüe en una piscina. Se vigilan los eventos de atrapamiento para detectar condiciones potencialmente peligrosas en las que una persona o un animal puede quedar atrapado debajo del agua en la piscina o balneario debido a la succión del desagüe. Los sistemas de bomba detectan también eventos de atrapamiento para asegurar que una obstrucción no impacte negativamente en el funcionamiento del sistema de bomba. La publicación de la solicitud de patente US No. 2010/092308 divulga un método de funcionamiento de un sistema de liberación de vacío de seguridad con un controlador para una bomba que incluye un motor. El método puede incluir la operación de medir un consumo de potencia real del motor necesario para bombear agua y superar las pérdidas.

Sumario

15 Los sistemas que implementan un motor de bomba de una o dos velocidades son capaces de vigilar eventos de atrapamiento ajustando umbrales en base a la potencia. Cuando se obstruye la entrada al sistema de bomba, disminuye también la potencia utilizada por el sistema. Sin embargo, en sistemas de bomba de velocidad variable la potencia varía a medida que cambia la velocidad de la bomba. Por tanto, un umbral estático puede no detectar apropiadamente eventos de atrapamiento.

20 Según la presente invención, se proporcionan un sistema de vigilancia de bomba como el expuesto en la reivindicación 1 y un método de vigilar una bomba como el expuesto en la reivindicación 8.

Otras características de la invención resultarán evidentes a partir de las reivindicaciones subordinadas y la descripción que sigue.

25 En una realización la invención proporciona un método para detectar un evento de atrapamiento en un sistema de bomba de velocidad variable basándose en un coeficiente de carga según se define en la reivindicación 8. El sistema detecta un atrapamiento de un cuerpo y para automáticamente el motor. En algunas realizaciones el coeficiente de carga depende de la altura de la bomba por encima o por debajo del nivel del agua, la longitud y tamaño de la tubería, el número de codos y otras restricciones en la tubería y el número de válvulas. Por tanto, las variaciones en el coeficiente de la bomba indican un grado hasta el cual se obstruye la entrada del sistema de bomba con independencia de la velocidad del motor de la bomba.

30 En otra realización la invención incluye un sistema de vigilancia de bomba que comprende un controlador. El controlador está configurado para recibir un valor indicativo de las prestaciones de la bomba. Basándose al menos parcialmente en este valor, el controlador calcula un coeficiente de carga de la bomba. El coeficiente de carga de la bomba se calcula según se define en la reivindicación 1 de tal manera que su valor no cambie sustancialmente debido a cambios en la velocidad de la bomba. Por el contrario, el valor del coeficiente de carga de la bomba es más indicativo de un bloqueo de un desagüe en un depósito de contención de líquido tal como una piscina. El controlador está configurado, además, para detectar un bloqueo de un desagüe basándose al menos parcialmente en el coeficiente de carga de la bomba calculado y ajusta el funcionamiento de la bomba basándose en el bloqueo detectado.

40 Según la presente invención, el coeficiente de carga de la bomba  $K_{ic}$  se calcula basándose en la ecuación:  $K_{ic} = P / V^3$ , en la que P es un valor indicativo de la potencia del motor de la bomba y V es un valor indicativo de la velocidad del agua. En algunas realizaciones el cálculo es el mismo, pero V es un valor indicativo de la velocidad del motor.

45 En otra realización la invención proporciona un método de vigilar una bomba para detectar una condición de bloqueo. Se detecta un valor indicativo de las prestaciones de la bomba y se calcula un coeficiente de carga de la bomba. El valor del coeficiente de carga de la bomba se calcula según se define en la reivindicación 8 de tal manera que su valor no cambie sustancialmente debido a cambios en la velocidad de la bomba y sea indicativo de un bloqueo de un desagüe en un depósito de contención de líquido. Se detecta un bloqueo del desagüe basándose al menos parcialmente en el coeficiente de carga de la bomba calculado y se ajusta el funcionamiento de la bomba basándose en el bloqueo detectado.

50 Otros aspectos de la invención resultarán evidentes al considerar la descripción detallada y los dibujos que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de vigilancia de bomba de una realización.

La figura 2 es un gráfico de curvas de carga para un sistema de bomba.

5 La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método de detectar eventos de atrapamiento en un sistema de bomba utilizando un Coeficiente de Carga.

La figura 4 es un gráfico del factor de fricción para un sistema de bomba.

La figura 5 es un gráfico de curvas de carga del sistema atribuibles a porciones individuales del sistema de bomba.

La figura 6 es un gráfico que ilustra cambios en curvas del sistema debido a la altura de la bomba.

La figura 7 es un gráfico de errores del Coeficiente de Carga debidos a variaciones en la altura de la bomba.

10 Descripción detallada

Antes de que se expliquen con detalle algunas realizaciones de la invención, ha de entenderse que el alcance de la invención queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

15 Un SVRS (Suction Valve Release System – sistema de liberación de válvula de succión) está integrado en un sistema de piscina o balneario para detectar un atrapamiento de un cuerpo en el desagüe de un sistema de piscina o balneario y parar el motor a tiempo para impedir eventos fatales. La figura 1 ilustra un ejemplo de un SVRS o sistema de vigilancia de bomba para una bomba de velocidad variable utilizada en una piscina. La bomba 101 aspira agua del desagüe 103 de una piscina 105. El agua es bombeada de nuevo hacia la piscina a través de una válvula (o cabeza) 107. Un controlador 109 proporciona señales de control a la bomba 101 para controlar el funcionamiento de la bomba 101, incluyendo la velocidad de un motor de la bomba. El controlador 109 recibe también señales detectadas procedentes de la bomba 101.

20 Por ejemplo, en algunas construcciones el controlador 109 regula la velocidad del motor de la bomba controlando un voltaje suministrado al motor de la bomba 101. El controlador 109 vigila también la corriente del motor de la bomba y, por tanto, es capaz de calcular la potencia del motor de la bomba.

25 En algunos sistemas se posicionan sensores dentro de la bomba 101 o en otros lugares dentro del sistema de bomba. Por ejemplo, como se ilustra en la figura 1, se posiciona un sensor de velocidad de agua 111 a lo largo de la tubería que va del desagüe 103 a la bomba 101. El sensor 111 mide directamente la velocidad del agua que se mueve a través del sistema de bomba y proporciona una señal indicativa de la velocidad al controlador 109.

30 En algunas construcciones el controlador 109 incluye un procesador y una memoria internos. La memoria almacena instrucciones de software que, cuando se ejecutan por el procesador, hacen que el controlador realice diversas operaciones según se describe más adelante. En otras construcciones el controlador 109 puede implementarse, por ejemplo, como un circuito integrado de aplicaciones específicas (ASIC). Además, aunque el controlador 109 ilustrado en la figura 1 es independiente de la bomba 101, en algunas construcciones el controlador 109 puede estar integrado en el mismo alojamiento que la bomba 101.

35 En sistemas de bomba que incluyen un motor de bomba de velocidad variable, la toma de potencia del sistema cambia a medida que cambia la velocidad. Por tanto, no siempre pueden detectarse con seguridad eventos de atrapamiento al comparar un valor de potencia con un umbral estático. El sistema descrito más adelante determina un Coeficiente de Carga que es sustancialmente independiente de la velocidad, pero que está relacionado directamente con un bloqueo de la entrada al sistema de bomba (por ejemplo, el desagüe de la piscina/balneario). Se proponen tres métodos para detectar eventos de atrapamiento. Dos de estos métodos se basan en el coeficiente de carga y, según la invención, se implementan en un solo sistema y operando al mismo tiempo o subsiguientemente.

40 El tercer método asegura la detección de un atrapamiento durante cambios de velocidad e impide que funcione la bomba cuando la potencia es demasiado baja para detectar fiablemente eventos de atrapamiento, al tiempo que se detectan también eventos de tratamiento a velocidades de régimen. Los tres métodos pueden implementarse en un solo sistema y operar al mismo tiempo. Como alternativa, pueden implementarse sistemas de vigilancia de bomba que incluyan solamente los dos primeros métodos mencionados descritos más adelante.

45 El primer método de detección de atrapamiento se denomina seguidamente método Diferencial. El método Diferencial filtra la señal de entrada (es decir, el coeficiente de carga de la bomba). La última señal filtrada se resta de una señal filtrada almacenada que consta de M muestras tomadas en el pasado. Se compara la diferencia con un umbral diferencial (“DifDisparoNivel”). Si la señal diferencial cae por debajo del umbral diferencial durante N periodos

50

consecutivos, se declara entonces un atrapamiento.

5 El segundo método de detección de atrapamiento se denomina método de Nivel Flotante. Se filtra la señal de entrada y se compara la señal filtrada con una señal filtrada más lenta (el "Nivel Flotante"), la cual se multiplica por un porcentaje (inferior a 1, por ejemplo 0,93). Por ejemplo, si la señal de entrada se filtra a una constante de tiempo de 0,7 s, se puede determinar el Nivel Flotante filtrando la señal de entrada a una constante de tiempo de 5 segundos. Si la señal filtrada cae por debajo del Nivel Flotante durante N periodos consecutivos, se declara entonces un atrapamiento.

10 Aunque teóricamente los métodos Diferencial y Flotante podrían implementarse basándose en la potencia como señal de entrada, estos métodos conducirían a problemas de precisión y pueden generar falsas detecciones de atrapamiento. Por ejemplo, mientras que el método Diferencial basándose en la potencia como señal de entrada detecta rápidamente un atrapamiento, el método Diferencial deja de detectar eventos de atrapamiento a niveles de potencia/velocidad más bajos. Esto se debe a que los niveles de potencia/velocidad más bajo crean niveles diferenciales más bajos.

15 El tercer método no se basa primordialmente en el Coeficiente de Carga de la Bomba según se describe en esta memoria. Por el contrario, el tercer método es el método de Corriente/Par. Con este método se define un perfil de velocidad mínima frente a corriente (corriente del eje q). Si la corriente filtrada (corriente del eje q) es menor que el perfil de corriente durante N periodos consecutivos, se declara un atrapamiento. Este método asegura también un funcionamiento correcto de la bomba, es decir que existe un flujo suficiente para una velocidad dada, no hay ninguna obstrucción significativa en el sistema de fontanería y la toma de potencia por la bomba no cae por debajo de límites de funcionamiento razonables.

20 El concepto que está detrás del perfil de corriente se define en lo que sigue. La potencia de salida del motor se define como

$$P_{mo} = T\omega \quad [1]$$

25 Dado que la velocidad del agua es proporcional a la velocidad del motor, la potencia de salida de la bomba puede escribirse como

$$P_{po} = K\omega^3 \quad [2]$$

La relación de entrada y salida de potencia es

$$P_{po} = \eta_p P_{mo} \quad [3]$$

$$P_{mo} = \eta_m P_{mi} \quad [4]$$

30 
$$P_{mi} = \frac{P_{mo}}{\eta_m} = \frac{P_{po}}{\eta_m \eta_p} \quad [5]$$

$$P_{mi} = \frac{T\omega}{\eta_m} = \frac{K\omega^3}{\eta_m \eta_p} \quad [6]$$

La igualdad del par se deriva de la igualdad de la potencia como

$$T = \frac{K}{\eta_{ef}} \omega^2 \quad [7]$$

35 en donde  $P_{mo}$  es la potencia de salida del motor [W],  $P_{mi}$  es la potencia de entrada del motor [W],  $P_{po}$  es la potencia de salida de la bomba [W],  $\omega$  es la velocidad mecánica del motor [rad/s],  $\eta_m$  es la eficiencia del motor,  $\eta_p$  es la eficiencia de la bomba,  $T$  es el par [N-m],  $K$  es el coeficiente de carga de la bomba (que puede depender de la velocidad) similar al de la ecuación [13] siguiente. Dado que el par del motor es

$$T = K_i i_q \quad [8]$$

en donde  $K_i$  es una constante. El perfil de corriente puede definirse como

$$i_{q-umbral} = C \omega^2 \quad [9]$$

en donde  $C$  es un coeficiente e  $i_{q-umbral}$  es el umbral de corriente del eje en cuadratura (eje q). Si se tiene en cuenta la dependencia de  $C$  respecto de la velocidad, el perfil de corriente frente a velocidad será una tabla de consulta.

- 5 Dado que el método de Nivel Flotante establece un nivel de flotación y detecta la caída del Coeficiente de Carga contra el nivel de flotación de estado de régimen, este método no proporciona una indicación precisa de eventos de atrapamiento durante cambios de velocidad y, por tanto, puede ser inhabilitado durante cambios de velocidad. El método Diferencial y los métodos de Corriente/Par permanecen activos durante los cambios de velocidad y detectan eventos de atrapamiento. Con el método Diferencial se puede utilizar una sola tasa de rampa de velocidad y un límite diferencial para permitir que el método detecte con precisión eventos de atrapamiento sin disparos molestos por cambios de nivel de potencia debidos a cambios de velocidad y otros eventos de atrapamiento parcial no peligrosos.

10 La figura 2 ilustra ejemplos de curvas para un sistema de bomba a diversos ajustes de velocidad y con diversos grados de bloqueo de entrada. El valor del Coeficiente de Carga se deriva de curvas del sistema de bomba tales como éstas. En la figura 2 las líneas llenas representan las curvas de la bomba para diversas velocidades. La curva de velocidad nominal puede obtenerse del fabricante de la bomba y la familia de curvas de velocidad puede derivarse utilizando leyes de afinidad de bombas. En particular:

$$\frac{Q_1}{Q_2} \propto \left( \frac{rpm_1}{rpm_2} \right) \quad \text{y} \quad \frac{h_1}{h_2} \propto \left( \frac{rpm_1}{rpm_2} \right)^2 \quad [10]$$

20 en donde  $Q$  es el caudal (gpm) y  $h$  es la presión de elevación (ft). Las curvas del sistema de bomba de la figura 2 se modelan para el sistema de motor de bomba Sta-Rite P6E6HL.

Las líneas de trazos representan las curvas de carga del sistema para diferentes aperturas de válvula. Para una apertura de válvula dada (y para un sistema dado) la presión de elevación varía en función del cuadrado de la velocidad del agua según se representa por la ecuación:

$$h = K_p V^2 \quad [11]$$

25 La potencia del sistema de motor (potencia de entrada o de salida del motor) es proporcional a la presión de elevación y a la velocidad del agua según se representa por la ecuación:

$$P = \frac{hV}{\eta_{ef}} \quad [12]$$

en donde  $\eta_{ef}$  es un valor indicativo de la eficiencia de tanto la bomba como el motor. Por tanto, la potencia del motor es proporcional al cubo de la velocidad del agua según se indica por la ecuación:

30 
$$P = \frac{K_p}{\eta_{ef}} V^3 = K_{lc} V^3 \quad [13]$$

El Coeficiente de Carga  $K_{lc}$  se determina dividiendo la potencia del motor por el cubo de la velocidad del agua según se expresa por la ecuación siguiente:

$$K_{lc} = \frac{P}{V^3} \quad [14]$$

35 Hay que saber que, aun cuando la teoría se ha derivado en torno a la velocidad del agua, se puede utilizar la velocidad del motor, en la ecuación [14], en lugar de la velocidad del agua, debido al hecho de que la velocidad del motor es proporcional a la velocidad del agua.

40 El Coeficiente de Carga  $K_{lc}$  varía en función de la apertura de la válvula. Basándose en los datos de la curva del sistema de bomba de la figura 2, el Coeficiente de Carga varía de uno a siete a medida que cambia la apertura de la válvula desde completamente abierta hasta 1/4 abierta. El séptuple cambio en el Coeficiente de Carga es una señal suficientemente grande para utilizarla en la detección de atrapamiento. El Coeficiente de Carga calculado por este

método cambia ligeramente con la velocidad; sin embargo, el cambio no es suficientemente grande en comparación con el cambio debido a eventos de atrapamiento para causar una falsa detección de un atrapamiento debido a cambios de velocidad.

5 La figura 3 ilustra un método de detectar un evento de atrapamiento utilizando los tres métodos descritos anteriormente y el valor del Coeficiente de Carga. El sistema comienza calculando el presente Coeficiente de Carga (paso 301). El sistema realiza entonces concurrentemente los tres métodos de detección de atrapamiento. Sin embargo, según se ha descrito anteriormente, otras construcciones del sistema pueden implementar solamente los dos primeros métodos mencionados de los tres métodos de detección. Además, en algunos sistemas se ejecutan los tres métodos en serie en lugar de ejecutarlos en paralelo según se ilustra en la figura 3.

10 En el método Diferencial el sistema calcula la diferencia entre el presente Coeficiente de Carga  $K_{ic}(t)$  y un Coeficiente de Carga previo – en este ejemplo un Coeficiente de Carga calculado siete ciclos antes  $K_{ic}(t-7)$ . Se compara la diferencia con un umbral diferencial (paso 303). Debido a que un evento de atrapamiento hará que disminuya el coeficiente de carga, la diferencia de  $K_{ic}(t) - K_{ic}(t-7)$  dará como resultado un valor negativo durante un evento de atrapamiento. Por tanto, el propio umbral diferencial tiene un valor negativo.

15 Si la diferencia es superior al umbral diferencial (es decir, un valor posición o un valor negativo con una magnitud menor que la del umbral diferencial), se repone a cero (paso 305) un primer contador (k) y el sistema saca la conclusión de que no existe ningún evento de atrapamiento. Sin embargo, si la diferencia es menor que el umbral diferencial (es decir, un valor negativo con una magnitud mayor que la del umbral diferencial), el sistema incrementa un contador (paso 307). Si la diferencia permanece por debajo del umbral diferencial durante un número de ciclos definido ( $k_{umbr}$ ) (paso 309), el sistema saca la conclusión de que ha ocurrido un evento de atrapamiento y detiene el motor de la bomba (paso 311).

25 En el método Flotante el sistema compara el presente Coeficiente de Carga con un umbral flotante (paso 313). Si el Coeficiente de Carga está por encima del umbral, el sistema repone un segundo contador (paso 315) y saca la conclusión de que no hay atrapamiento. Sin embargo, si el Coeficiente de Carga es menor que el umbral flotante durante un número definido de ciclos de muestreo (pasos 317 y 319), el sistema saca la conclusión de que ha ocurrido un evento de atrapamiento y detiene el motor de la bomba (paso 311).

30 Finalmente, el sistema ejecuta el método de corriente/par para vigilar condiciones de atrapamiento. El sistema determina una velocidad y una corriente del motor (paso 321) y accede a un perfil de corriente (paso 323). El perfil de corriente define valores de perfil de corriente y valores de velocidad correspondientes. Si la corriente actual está por encima del valor del perfil de corriente correspondiente a la velocidad determinada (paso 325), entonces el sistema saca la conclusión de que no hay atrapamiento (paso 327). Sin embargo, si la corriente real está por debajo del valor del perfil de corriente y permanece allí durante un número definido de ciclos de muestreo (pasos 329 y 331), entonces el sistema saca la conclusión de que ha ocurrido un evento de atrapamiento o no es seguro que funcione la bomba y detiene el motor de la bomba (paso 311).

35 El Coeficiente de Carga descrito anteriormente se basa en la dinámica de fluidos. La presión de elevación del sistema de bomba puede describirse sumando diversas variables que impactan cada una de ellas en la presión del agua del sistema:

$$h_{total} = h_{altura} + h_{tubería} + \sum h_{codo} + \sum h_{válvula} \quad [15]$$

40 en donde  $h_{altura}$  es la altura de la bomba por encima del nivel del agua,  $h_{tubería}$  es la pérdida de presión de elevación debida a la tubería recta,  $h_{codo}$  es la pérdida de presión de elevación debida a cada conexión de codo en el sistema de tubería y  $h_{válvula}$  es la pérdida de presión de elevación debida a cada válvula del sistema. Se supone que otros términos de la ecuación de Bernoulli son cero (por ejemplo el cambio en la velocidad del agua).

$h_{tubería}$  se define por las ecuaciones siguientes:

$$h_{tubería} = f \frac{L_{tubería}}{2Dg} V^2 \quad [16]$$

45 en donde f es un factor de fricción,  $L_{tubería}$  es la longitud de la tubería, D es el diámetro de la tubería, g es la aceleración debido a la gravedad y v es la velocidad del fluido en la tubería. El factor de fricción es función de si el flujo a través de la tubería es laminar o turbulento. Se utiliza el número de Reynolds para determinar si el flujo es laminar ( $Re_d < 2000$ ) o turbulento ( $Re_d > 4000$ ) y este número se define como sigue:

$$Re_d = \frac{\rho D}{\mu} V \quad [17]$$

en donde  $\rho$  es la densidad del agua y  $\mu$  es la viscosidad del agua. Para disponer de un flujo laminar en una tubería de 2 pulgadas, el caudal tendría que ser inferior a un galón por minuto. El factor de fricción para una tubería de pared lisa puede aproximarse por:

$$f = \left( 1,8 \log \left( \frac{Re_d}{6,9} \right) \right)^{-2} \quad [18]$$

lo que se ilustra por el gráfico de la figura 4. Como se ilustra, hay un cambio muy pequeño en el factor de fricción en todo el rango de funcionamiento de una bomba de piscina y, por tanto, el sistema puede suponer que el factor de fricción es constante ( $f = 0,0155$ ). Por tanto, se supone que  $h_{tubería}$  es proporcional al cuadrado de la velocidad del agua.

$$h_{tubería} = 0,0155 \frac{L_{tubería}}{2Dg} V^2 \quad [19]$$

La pérdida de presión debido a los codos de 90 grados o a las válvulas en el sistema se calcula utilizando la fórmula siguiente:

$$h_{codo} = h_{válvula} = f \frac{L_{eq}}{2Dg} V^2 = \frac{K}{2g} V^2 \quad [20]$$

en donde  $K = 0,39$  para un codo embridado de dos pulgadas y radio regular de 90 grados y  $K_{abierto} = 8,5$  para una válvula esférica (globular) embridada abierta de dos pulgadas. La relación de  $K_{abierto}/K$  para una válvula esférica se muestra en la tabla siguiente

**Tabla 1**

| Condición    | Relación $K_{abierto}/K$ |
|--------------|--------------------------|
| Abierta      | 1,0                      |
| Cerrada, 25% | 1,5-2,0                  |
| Cerrada, 50% | 2,0-3,0                  |
| Cerrada, 75% | 6,0-8,0                  |

La figura 2 anterior muestra un gráfico de la suma de todas las presiones del sistema (calculada en base a la Ecuación [21] siguiente). Como se ilustra por el gráfico y la ecuación [21], la presión es proporcional al cuadrado de la velocidad.

$$h_{total} = h_{altura} + h_{tubería} + \sum h_{codo} + \sum h_{válvula} = \frac{0,0155}{2Dg} (L_{tubería} + L_{codoEq} + L_{válvulaEq}) V^2 \quad [21]$$

La figura 5 ilustra las contribuciones individuales de cada uno de los valores de la presión de elevación. Como se ilustra en la figura 5, el mayor contribuyente a la presión de elevación es la apertura de la válvula.

La comparación de la ecuación [21] con las ecuaciones [11] y [13] muestra:

$$K_p = \frac{0,0155}{2Dg} (L_{tubería} + L_{codoEq} + L_{válvulaEq}), \text{ en donde } K_{lc} = \frac{K_p}{\eta_{ef}} \quad [22]$$

Por tanto, el Coeficiente de Carga es función de la longitud equivalente del sistema, la eficiencia de la bomba y el motor y el diámetro de la tubería, en donde la  $L$  dominante es la  $L_{válvulaEq}$ . Por tanto, el Coeficiente de Carga es generalmente proporcional a la apertura de la válvula (es decir, a la cantidad de bloqueo/atrapamiento).

La altura de elevación añade un decalaje a la curva del sistema que, si no se tiene en cuenta en el cálculo del Coeficiente de Carga, da como resultado un Coeficiente de Carga que cambia en función de la velocidad.

El gráfico de la figura 6 muestra dos curvas del sistema para una bomba – una con una altura de elevación de 10 pies y la otra con una altura de elevación de cero pies. Como se ilustra por el gráfico de la figura 7, el error del Coeficiente de Carga aumenta a medida que varía la altura de la bomba con respecto a cero.

5 Aunque el cambio del Coeficiente de Carga en función de la velocidad varía menos que el cambio de potencia en función de la velocidad, es posible eliminar cualquier cambio en el Coeficiente de Carga debido a cambios de velocidad. Para lograr esto, el controlador del sistema debe contar con la altura del sistema. En una alternativa no reivindicada se puede determinar la altura mediante un proceso de calibración utilizando las ecuaciones siguientes:

$$h_{total} = h_{altura} + K_p V^2 \quad [23]$$

Sustituyendo en las ecuaciones [24] – [26],

$$10 \quad P = \frac{1}{\eta_{ef}} (h_{altura} + K_p V^2) V = h_{alturaEq} V + K_{lc} V^3 \quad [24]$$

$$K_{lc} = \frac{P - h_{alturaEq} V}{V^3} \quad [25]$$

Para encontrar la  $h_{alturaEq}$ , se mide la potencia a dos velocidades,  $V_{HS}$  y  $V_{LS}$ . Por tanto:

$$K_{lc} = \frac{P_{HS} - h_{alturaEq} V_{HS}}{V_{HS}^3} = \frac{P_{LS} - h_{alturaEq} V_{LS}}{V_{LS}^3} \quad [26]$$

y resolviendo  $h_{alturaEq}$ :

$$15 \quad h_{alturaEq} = \frac{\left(\frac{V_{HS}}{V_{LS}}\right)^3 P_{LS} - P_{HS}}{\left(\frac{V_{HS}}{V_{LS}}\right)^3 V_{LS} - V_{HS}} \quad [27]$$

Por ejemplo, si  $V_{HS} = 1$  pu y  $V_{LS} = 1/4$  pu, entonces

$$h_{alturaEq} = \frac{64P_{LS} - P_{HS}}{64V_{LS} - V_{HS}} = 1/15(64P_{LS} - P_{HS}) \quad [28]$$

20 Se puede hallar un Coeficiente de Carga que tenga en cuenta la altura de la bomba utilizando la ecuación [27] a fin de encontrar la altura de la bomba mediante el proceso de calibración de alta velocidad/baja velocidad y luego sustituyendo el resultado en la ecuación [25].

25 Así, la invención proporciona, entre otras cosas, sistemas y métodos para detectar un evento de atrapamiento basándose en un Coeficiente de Carga y un perfil de corriente/par. Como se ha esbozado anteriormente, en una alternativa no reivindicada se puede ejecutar una calibración del sistema para aliviar la variación esperada en el Coeficiente de Carga a diferentes velocidades debido a una diferencia de altura de elevación. Sin embargo, según la invención, se puede utilizar también el Coeficiente de Carga en la detección de atrapamiento sin calibración de la altura de elevación en tanto se seleccionen una rampa de velocidad y un umbral de disparo apropiados debido al valor relativamente constante del Coeficiente de Carga a consecuencia de la velocidad en comparación con el cambio del Coeficiente de Carga a consecuencia de eventos de atrapamiento. En las reivindicaciones siguientes se exponen diversas características y ventajas de la invención.

30

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de vigilancia de bomba que comprende un controlador (109) configurado para:  
 determinar un valor de potencia de motor indicativo de prestaciones de la bomba;  
 5 determinar un valor indicativo de al menos una de entre la velocidad del agua a través de la bomba (101) y la velocidad del motor:  
 calcular un coeficiente de carga de bomba utilizando el valor indicativo de prestaciones de la bomba y el valor indicativo de al menos una de entre la velocidad del agua a través de la bomba (101) y la velocidad del motor para producir un coeficiente de carga de bomba calculado, en el que el coeficiente de carga de bomba calculado es indicativo de un bloqueo de un desagüe (103) en un depósito de contención de líquido, estando el desagüe acoplado a una entrada de la bomba (101);  
 10 en el que el coeficiente de carga de la bomba se calcula en base a la ecuación:  

$$K_{lc} = P / V^3$$
 en la que  $K_{lc}$  es el coeficiente de carga de la bomba, P es el valor indicativo de la potencia del motor de la bomba (101) y V es el valor indicativo de al menos una de entre la velocidad del agua a través de la bomba (101) y la velocidad del motor, estando el controlador configurado además para:  
 15 filtrar el coeficiente de carga de bomba calculado utilizando una primera constante de tiempo para producir un coeficiente de carga de bomba filtrado;  
 filtrar el coeficiente de carga de bomba calculado utilizando una segunda constante de tiempo para producir un valor umbral flotante filtrado, siendo la segunda constante de tiempo mayor que la primera constante de tiempo;  
 20 detectar un bloqueo del desagüe (103) cuando el coeficiente de carga de bomba filtrado es menor que el valor umbral flotante filtrado durante un primer periodo de tiempo definido; y al mismo tiempo o subsiguientemente:  
 calcular una diferencia entre el coeficiente de carga de bomba calculado y un coeficiente de carga de bomba previamente calculado;  
 detectar un bloqueo del desagüe (103) cuando la diferencia es menor que un umbral durante un segundo periodo de tiempo definido; y  
 25 ajustar un funcionamiento de la bomba (101) en base al bloqueo detectado.
2. El sistema de vigilancia de bomba de la reivindicación 1, en el que el valor del coeficiente de carga de la bomba se calcula en base al menos parcialmente a una presión de elevación del sistema de bomba.
3. El sistema de vigilancia de bomba de la reivindicación 1, en el que el controlador (109) está calibrado para un sistema de bomba específico a fin de tener en cuenta la presión de elevación del sistema de bomba.  
 30
4. El sistema de vigilancia de bomba de la reivindicación 1, en el que el segundo periodo de tiempo definido se determina como un número definido de ciclos de muestreo.
5. El sistema de vigilancia de bomba de la reivindicación 1, en el que el controlador (109) está configurado además para  
 35 determinar una corriente del motor;  
 determinar una velocidad del motor;  
 determinar, en base a una tabla de consulta almacenada en una memoria, una corriente esperada correspondiente a la velocidad determinada; y
- 40 detectar un bloqueo del desagüe (103) cuando la corriente del motor es menor que la corriente esperada correspondiente a la velocidad determinada durante un periodo de tiempo definido.
6. El sistema de vigilancia de bomba de la reivindicación 1, en el que el controlador (109) incluye un procesador y una memoria, almacenando la memoria unas instrucciones que, cuando se ejecutan por el procesador, hacen que el procesador detecte un bloqueo del desagüe (103).
7. El sistema de vigilancia de bomba de la reivindicación 1, en el que el depósito de contención de líquido incluye una piscina de natación (105).  
 45

8. Un método de vigilar una condición de bloqueo de una bomba (101), comprendiendo el método:

determinar un valor de potencia de motor indicativo de prestaciones de la bomba;

determinar un valor indicativo de al menos una de entre la velocidad del agua a través de la bomba (10) y la velocidad del motor;

5 calcular un coeficiente de carga de bomba utilizando el valor indicativo de prestaciones de la bomba y el valor indicativo de al menos una de entre la velocidad del agua a través de la bomba (101) y la velocidad del motor para producir un coeficiente de carga de bomba calculado, en el que el valor del coeficiente de carga de bomba calculado es indicativo de un bloqueo de un desagüe (103) en un depósito de contención de líquido, estando el desagüe (103) acoplado a una entrada de la bomba (101);

10 en el que el coeficiente de carga de la bomba se calcula en base a la ecuación:

$$K_{lc} = P / V^3,$$

en la que  $K_{lc}$  es el coeficiente de carga de la bomba,  $P$  es el valor indicativo de la potencia del motor de la bomba (101) y  $V$  es el valor indicativo de al menos una de entre la velocidad del agua a través de la bomba (101) y la velocidad del motor; comprendiendo el método además:

15 filtrar el coeficiente de carga de bomba calculado utilizando una primera constante de tiempo para producir un coeficiente de carga de bomba filtrado;

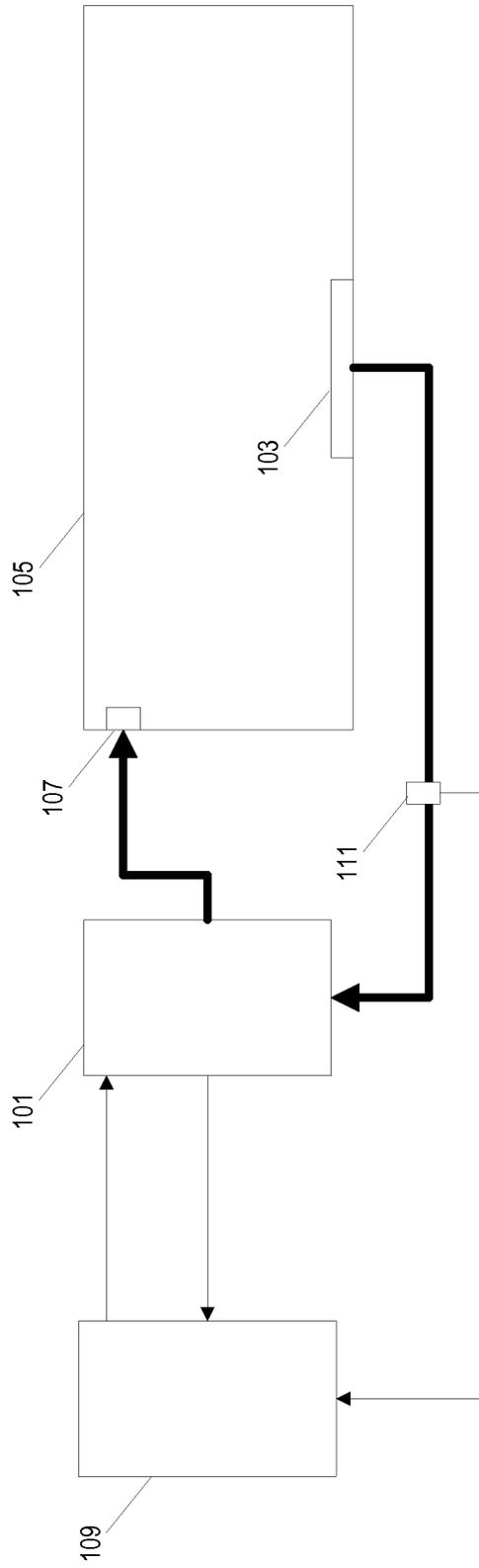
filtrar el coeficiente de carga de bomba calculado utilizando una segunda constante de tiempo para producir un valor umbral flotante filtrado, siendo la segunda constante de tiempo mayor que la primera constante de tiempo;

20 detectar un bloqueo del desagüe (103) cuando el coeficiente de carga de bomba filtrado es menor que el valor umbral flotante filtrado de un primer periodo de tiempo definido; y al mismo tiempo o subsiguientemente:

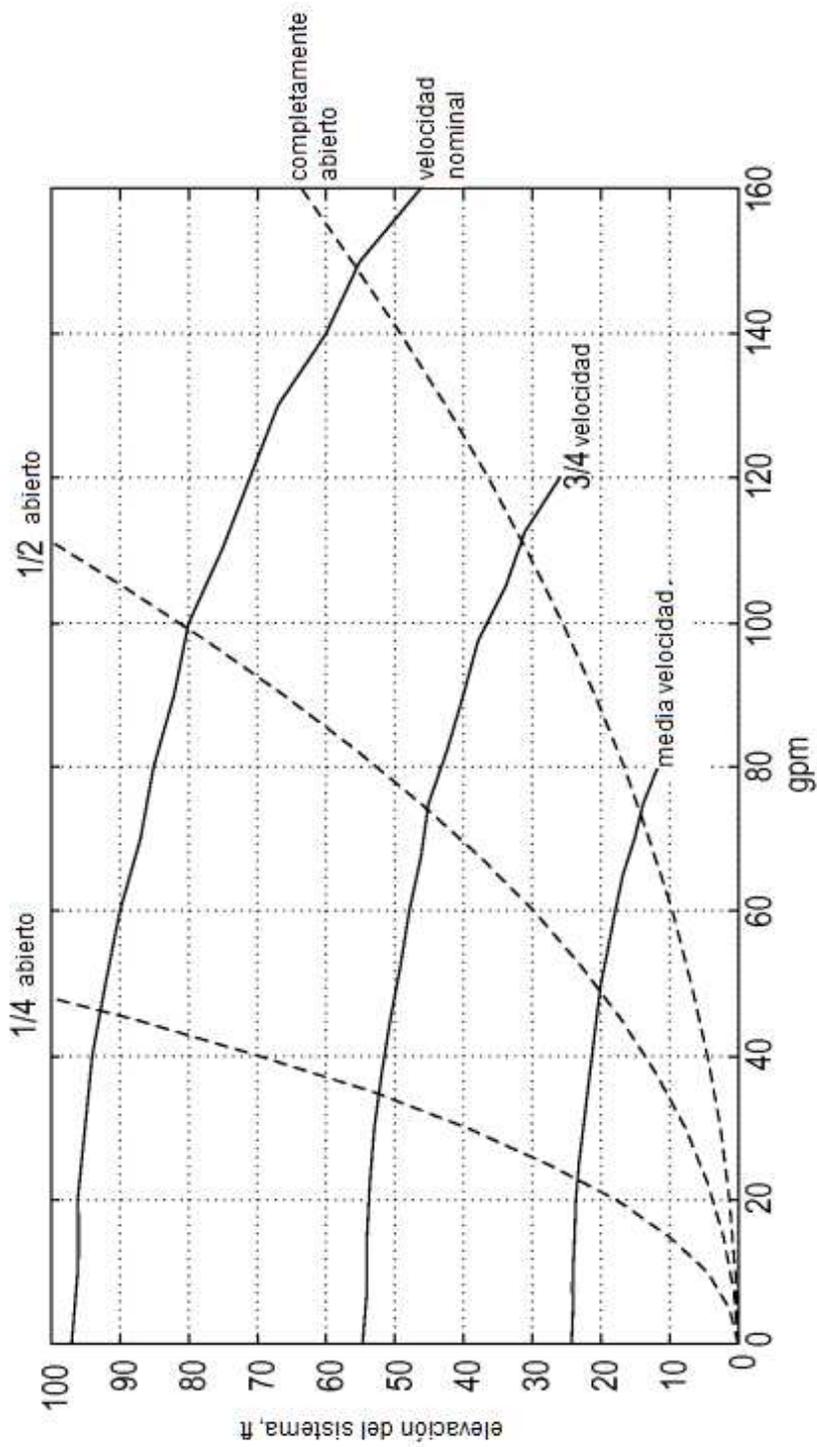
calcular una diferencia entre el coeficiente de carga de bomba calculado y un coeficiente de carga de bomba previamente calculado;

detectar un bloqueo del desagüe (103) cuando la diferencia es menor que un umbral durante un segundo periodo de tiempo definido; y

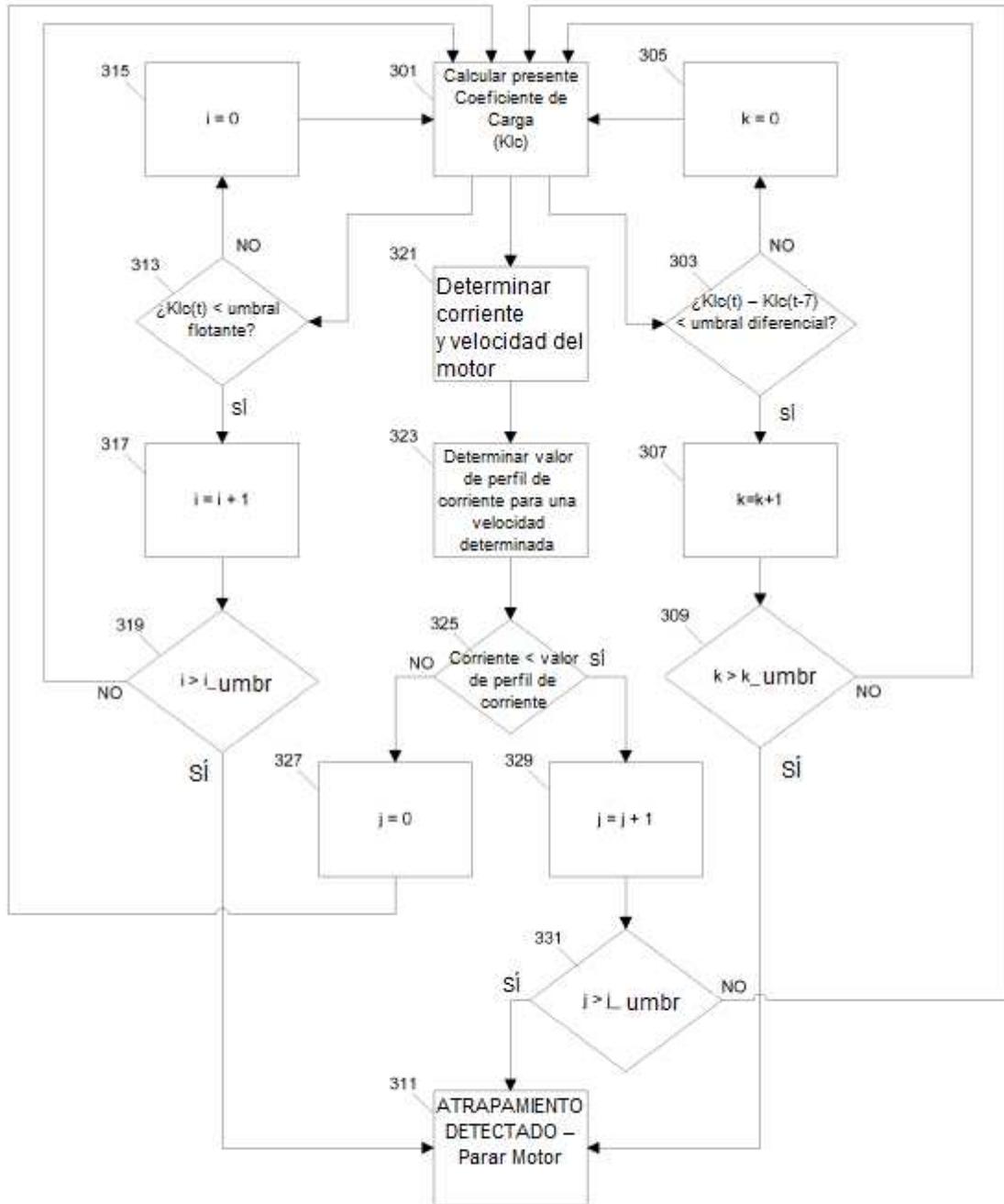
25 ajustar un funcionamiento de la bomba (101) en base al bloqueo detectado.



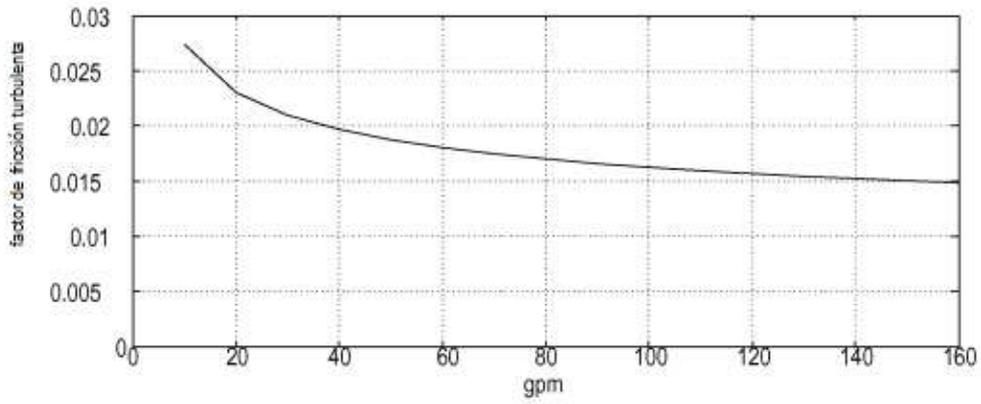
**FIG. 1**



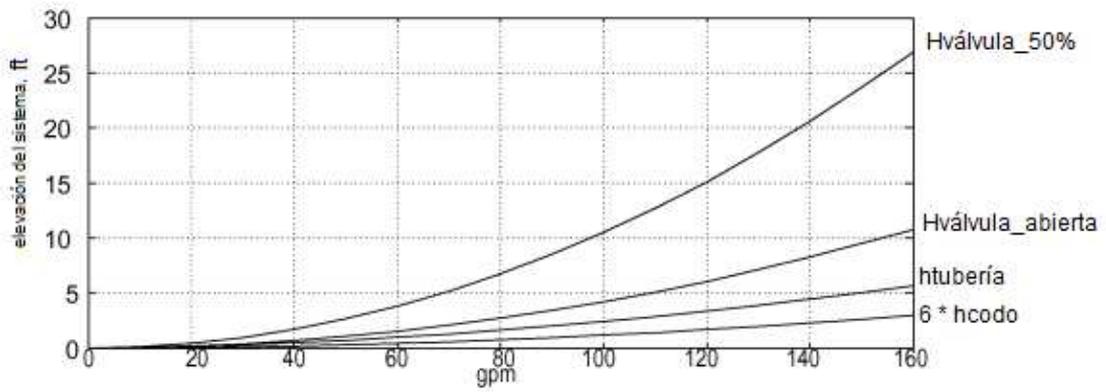
**FIG. 2**



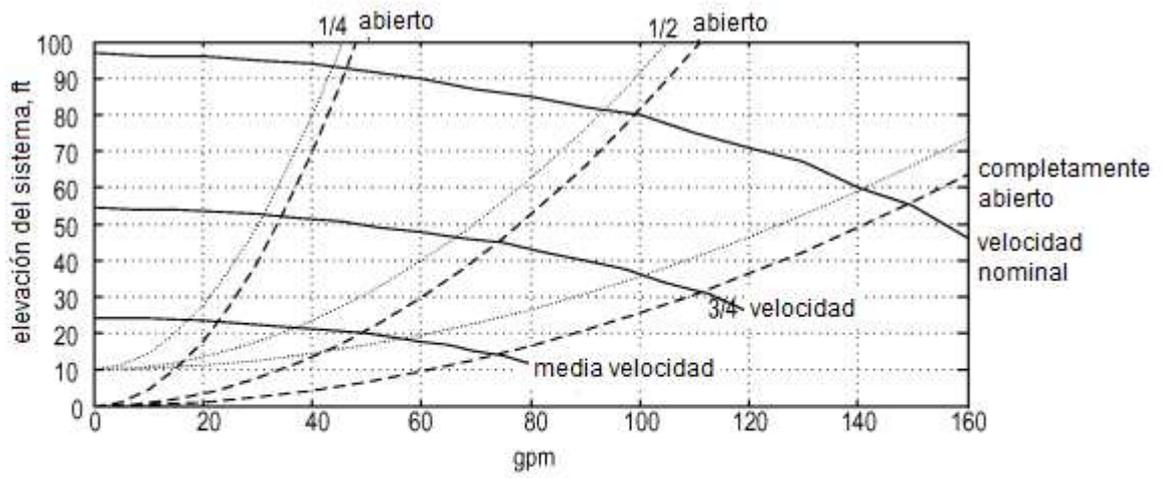
**FIG. 3**



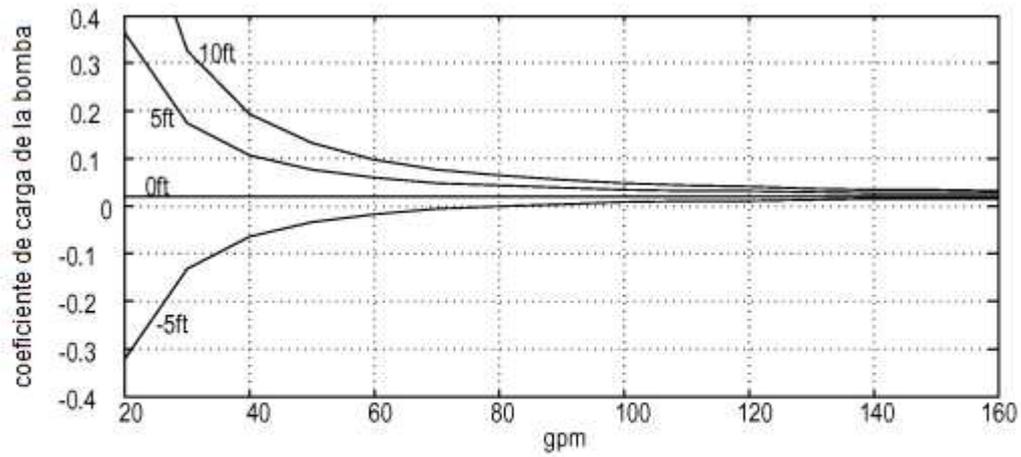
**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**



**FIG. 7**