



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 622**

51 Int. Cl.:
F03B 17/00 (2006.01)
F03B 13/06 (2006.01)
F03G 7/00 (2006.01)
F03B 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08002546 .3**
96 Fecha de presentación : **12.02.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2071182**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.06.2009**

54 Título: **Un sistema de energía hidroeléctrica con múltiples entradas de energía.**

30 Prioridad: **14.12.2007 CN 2007 1 0195991**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.05.2011

73 Titular/es: **Jose Ching**
518 Silencio St
Sta. Mesa, Manila 1016, PH

72 Inventor/es: **Ching, Jose**

74 Agente: **Fàbrega Sabaté, Xavier**

ES 2 358 622 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

Un sistema de energía hidroeléctrica con múltiples entradas de energía

Campo de la invención

5 La presente invención es un sistema hidroeléctrico, más concretamente, es un sistema que utiliza el desnivel, la altura cinética y la energía potencial elástica del agua para producir electricidad.

Antecedentes de la invención

10 La fuerza es una magnitud que empuja o tira de un cuerpo. Puede ser inducida por la naturaleza o inducida por una máquina. Se mide en newtons (n), la fuerza que produce un desplazamiento (m) constituye un trabajo (n·m). La fuerza aplicada es proporcional al desplazamiento producido. Cuanto más grande sea la fuerza aplicada sobre una masa concreta, mayor será el desplazamiento.

La energía mecánica se define como la capacidad de realizar un trabajo. Produce un trabajo que implica una cantidad de fuerza. La energía se expresa en los mismos términos que el trabajo, ya que el trabajo es asimismo la cantidad medida de energía que se transfiere. Ambos se expresan en julios o newtons por metro (n·m).

Hay una cantidad latente de fuerza en la energía mecánica.

15 La energía mecánica puede producir una fuerza. Por ejemplo, la fuerza aplicada sobre un resorte de compresión es proporcional al desplazamiento o a su cambio de longitud Δm . El trabajo realizado sobre el resorte es igual a la energía potencial elástica (n·m) y se almacena en el resorte. Una vez liberada la fuerza de compresión, esta energía potencial elástica realizará una cantidad de trabajo, produciendo una cantidad de fuerza (n) que podría alargar el resorte una longitud Δm . Aunque las dos cantidades (fuerza (n) y energía (n·m)) no son iguales ni siquiera similares, ambas están, sin embargo, intrínsecamente interrelacionadas.

20 De acuerdo con el Principio de Conservación de la Energía, ésta no puede ser creada ni destruida pero puede ser transformada, transferida, acumulada, almacenada y puede ser encauzada hacia un uso constructivo produciendo energía utilizable o puede ser convertida en diversas formas disipadas.

25 Actualmente, las plantas de energía hidroeléctrica tradicionales importantes están situadas sobre grandes cursos de agua, por ejemplo, la presa de Hoover se encuentra sobre el río Colorado. La construcción de presas y la elevación de la altura de la superficie de agua para proporcionar el volumen almacenado y aumentar el desnivel de los cursos de agua constituyen las principales características de la energía hidroeléctrica del día de hoy. La única entrada es el desnivel inducido por la fuerza de gravitación natural, que se transforma bien en altura cinética para accionar una turbina impulsada, o en altura piezométrica para accionar una turbina de reacción. Y la única salida es energía eléctrica.

30 Esta energía hidroeléctrica tradicional no tiene entrada de energía eléctrica.

En el momento presente, la energía hidroeléctrica es considerada una de las mejores, si no la mejor forma de energía. Es limpia. Es relativamente económica ya que es reciclada por la madre naturaleza a través del ciclo de agua. No se utiliza combustible fósil. No se emiten a la atmósfera gases nocivos.

Sin embargo, presenta sus limitaciones y desventajas.

35 En primer lugar, está limitada tan sólo a emplazamientos en los que fluyen grandes cursos de agua naturales. Estos emplazamientos se encuentran habitualmente en áreas alejadas, en las cuales las líneas de transmisión de potencia a las ciudades no sólo son caras, sino que asimismo provocan pérdidas energéticas.

En segundo lugar, su funcionamiento depende completamente de las precipitaciones estacionales, de modo que la energía entregada anualmente en promedio es tan sólo de, aproximadamente, el 50% de la capacidad instalada.

40 En tercer lugar, la construcción de una presa podría inundar los terrenos de cultivo y podría ocasionar grandes costes sociales.

En cuarto lugar, el tiempo de construcción de una presa es muy largo.

En quinto lugar, la obra civil necesaria es cara.

45 En sexto lugar, la retirada continua de detritus corriente arriba es una tarea de mantenimiento tediosa, y siempre está presente el problema de la sedimentación.

Y finalmente, siempre existe el peligro de un fallo en la presa que podría tener consecuencias catastróficas para las vidas y propiedades.

En el estado de la técnica anterior relacionado, este solicitante presentó una solicitud número PCT/Ph2005/000015, con número de publicación WO2006/085782, titulada "Re-circulating water in a closed loop hydropower system".

5 El estado de la técnica anterior presentaba la característica de que está sometido a la fuerza de fricción disipativa y a la fuerza gravitacional constante. Esto hace decrecer la salida de energía y finalmente agota el contenido de energía del sistema.

El documento WO2006/085782 A1 divulga un sistema en el que un volumen controlado de agua es recirculado en un bucle cerrado de modo continuo para la generación de electricidad.

10 El documento WO2004/094816 A1 divulga un aparato para producir electricidad o potencia con un ciclo de agua continuo haciendo un nivel irreal o un nivel industrial con agua real.

El documento EP 1 850 000 A1 divulga un aparato que mejora el rendimiento de una planta hidroeléctrica combinando una turbina de pelton con varios módulos.

Resumen de la invención

15 El objetivo de la presente invención es superar los inconvenientes del estado de la técnica anterior. La presente invención ha añadido nuevos equipos y características para conseguir este propósito.

Principalmente, la presente invención ha incorporado una bomba de recebado (27) para recebar y suministrar una entrada de energía de presión adicional al sistema de modo periódico. La bomba de recebado consigue su energía del generador de inicio/recebado (3). Éste funciona para mantener el nivel de salida de energía sostenible.

20 Otra característica de la presente invención es que ha incorporado una boquilla de retroceso de convergencia (29) que utiliza la fuerza de retroceso del chorro de agua. Esta fuerza de retroceso, que es de igual magnitud y dirección opuesta, empujará un pistón (31) que se encuentra dentro de una cámara de presión (30). Esta fuerza es capaz de realizar distintas clases de trabajos, tales como un líquido presurizado para añadir una entrada de energía al sistema a través de la tubería de presión (34) al interior del canal de toma principal (9), o se puede utilizar como una energía de presión para la desalinización de agua salina.

25 La presente invención es un sistema de energía hidráulica mejorado y mucho más grande. Está alimentado por ocho formas de fuerzas que ocurren de manera principalmente natural. Una gran porción de todo el intervalo de entradas de energía se convierte en energía eléctrica; con sólo un tipo de entrada que consume energía eléctrica, siendo ésta las bombas motorizadas. Esta entrada fraccional de energía de base eléctrica es menor que la única salida consolidada de potencia eléctrica generada por todo el sistema de conversión. Este sistema es de bucle cerrado con un volumen controlado de agua recirculando continuamente en el mismo. Periódicamente, es recebado mediante una bomba de recebado exterior al bucle de energía a medida que la salida de energía decrece.

30 Inicialmente, el agua en un embalse a nivel del suelo se somete a un impulso en altura piezométrica mediante una bomba motorizada para empujarla hacia adelante en un canal de toma principal de 1200 m de longitud; pasa por una válvula de alivio de presión; tanques de compensación; tuberías de succión de vacío; tuberías auxiliares; una tubería de recebado periódico y termina en una válvula esférica unidireccional en lo alto dentro de la central eléctrica.

35 La válvula esférica de rotación continua detiene la columna de agua rápida en un modo de "cierre rápido", transformando la presión combinada, las energías cinética y elástica acumuladas en toda la columna de agua en un martillo de agua con una inmensa energía de presión. A medida que la válvula esférica se vuelve a abrir, el agua presurizada se transforma de nuevo en un chorro de elevada energía cinética que sale disparado del canal de toma principal para impactar sobre el generador de turbina de pelton para producir energía eléctrica.

40 El agua empleada es recibida en el embalse de compensación. A continuación éste es drenado por la fuerza gravitacional a través de la tubería de flujo de salida de vuelta al embalse principal original, completando el bucle.

45 Este sistema tiene un sub-bucle complementario de un trayecto de agua de recirculación. Cuando la válvula esférica se abre rápidamente, un gran volumen de agua a alta presión sale a chorros del canal de toma principal, formando corriente arriba un vacío de baja presión. La fuerza de succión consecuente extraería agua del embalse principal directamente al interior del canal de toma principal a través de las tuberías de succión de vacío, circunvalando la bomba principal. Esto funciona ya que la energía de alta presión se transforma en un estado de vacío de baja presión que forma una fuerza de succión. Este mecanismo de transferencia de agua funciona como una bomba eléctrica pero sin consumir nada de potencia eléctrica. Esto funciona para estabilizar la presión y para aumentar significativamente el volumen de agua en el

canal de toma principal. Una bomba auxiliar (24) mantiene la presión y el volumen de agua necesarios. El chorro de agua impacta sobre el generador de turbina de pelton para producir energía eléctrica.

5 Simultáneamente, a medida que el chorro es forzado a salir de la boquilla de retroceso (29), una fuerza igual y de dirección opuesta se ejerce sobre la boquilla de retroceso que puede efectuar distintos tipos de trabajo. En un modo de realización se desplaza el pistón dentro de una cámara de presión (30) para empujar líquido en la tubería de presión (34) para añadir una fuerza de presión al sistema.

El agua empleada es recibida en el embalse de compensación. Éste es drenado por la fuerza gravitacional de vuelta al embalse principal (1) de origen, completando el sub-bucle.

Estos bucles de flujo de agua son congruentes con los bucles del flujo de energía.

10 La fuerza de retroceso puede utilizarse igualmente para efectuar otros procedimientos de trabajo: (A) su acción oscilante puede accionar un lineal a un conjunto de movimiento giratorio continuo, en el que el elemento giratorio está acoplado al rotor de un generador para producir electricidad; (B) otro procedimiento es utilizar la fuerza de presión para accionar un tanque de desalinización en el que las sales y solutos son retirados por una membrana mediante ósmosis inversa u otro proceso.

15 Al igual que en todo sistema de energía en movimiento sometido a fricción disipativa y a la gravedad, finalmente su salida de potencia decrece; por lo tanto se utiliza periódicamente una bomba de recabado fuera del bucle de energía para mantener la salida de potencia pretendida.

La presente invención es un sistema que presenta diversas ventajas respecto a los sistemas tradicionales.

20 En primer lugar, utiliza un volumen controlado de agua para generar potencia en un modo de reciclado, así pues su tasa de utilización es mucho mayor.

En segundo lugar, la selección del emplazamiento es muy amplia. Puede ser construido junto a centros de gran carga sin la larga línea de transmisión. El emplazamiento puede ser cualquier terreno plano o una meseta montañosa con una ladera y una planicie. Debe situarse cerca de una fuente de agua natural, ya sea sobre terreno o subterránea, de agua dulce o salina.

25 En tercer lugar, el tiempo de construcción es mucho más corto.

En cuarto lugar, es menos caro.

Breve descripción de los dibujos

La fig. 1 muestra la porción corriente arriba del sistema con la bomba principal (6); la válvula de compuerta (8); la válvula de alivio de presión (12); dos tanques de compensación (13) y el canal de toma principal (9).

30 La fig. 2 muestra el generador de turbina de pelton (14 y 15) que recibe un chorro de agua del canal de toma principal A (9-A) que está completamente abierto mientras que el canal de toma principal B (9-B) está completamente cerrado (la boquilla de retroceso se omite por claridad).

35 La fig. 3 muestra la válvula esférica unidireccional principal (5) en una secuencia de giro, formando una presión de martillo de agua en el canal de toma principal. A continuación liberando su potencia en forma de un chorro de agua de energía cinética transformada.

La fig. 4 muestra la vista frontal de la válvula esférica unidireccional.

La fig. 5 muestra el gráfico proyectado de la descarga desde el canal de toma principal.

La fig. 6 muestra el gráfico proyectado de dos descargas de los dos canales de toma principales que se solapan como función del tiempo.

40 La fig. 7 muestra la bomba auxiliar (24) y la válvula esférica unidireccional auxiliar (26) que extrae agua del embalse principal.

45 La fig. 8 muestra la boquilla de retroceso (29) con una cámara de presión (30) incorporada en el extremo de la válvula esférica (5). La boquilla tiene una cámara de aire (29-a); un orificio de escape (29-b); un resorte mecánico (29-e); columnas de soporte (29-c) y un carril de guía (29-d). Dentro de la cámara de presión está el pistón (31) que forzará la salida del líquido de la cámara al interior de la tubería de presión (34) para añadir una fuerza de presión al canal de toma principal (9) y que succionará líquido a través de la tubería de succión (32) a medida que el pistón retrocede, expandiendo

el espacio de la cámara.

La fig. 9 es la vista en planta de la fig. 8 mostrando la fase de compresión de la boquilla de retroceso con la cámara de presión (30).

5 La fig. 10 muestra las posiciones relativas de la válvula esférica principal (5) y de la válvula esférica auxiliar (26) como función del tiempo.

La fig. 11 es la vista en planta de la presente invención de un sistema de conversión de potencia junto con la bomba de recebado (27) fuera del bucle.

La fig. 12 es el diagrama de la presente invención de trayectorias del flujo de energía del sistema de conversión de potencia mostrando los bucles de energía cerrados más la entrada de energía de recebado fuera del bucle.

10 La fig. 13 muestra la tubería de reabastecimiento (21) extrayendo agua de una fuente de agua natural próxima al interior del embalse del sistema.

La fig. 14 muestra el segundo modo de realización de la presente invención (un desnivel en un embalse superior (22) que sustituye a la altura piezométrica de bomba principal (6) como entrada de energía).

Descripción detallada de la invención

15 Un martillo de agua se define como la presión en exceso (por encima de la presión de la línea de gradiente hidráulico normal) provocada por el cambio súbito de velocidad de flujo de agua en una conducción cerrada. La presión de martillo de agua más elevada se forma cuando la válvula está en un "cierre rápido", esto es, el tiempo de cierre de la válvula es inferior a $2 L/Wp$, donde L es la longitud de la conducción y Wp es la celeridad u onda de presión de agua, que es alrededor de 1476 m/s a 20 °C. La celeridad es una función de su módulo de elasticidad E_v . El módulo de elasticidad del agua es $2,18 \times 10^9 \text{ n/m}^2$. La fórmula para la celeridad es $Wp = (E_v/D_m)^{1/2}$; donde D_m es la densidad del líquido. Entonces, $Wp = [(2,18 \times 10^9 \text{ n/m}^2)/(1000 \text{ kg/m}^3)]^{1/2} = 1476 \text{ m/s}$.

20 La presión total en el canal de toma sería igual a la presión del martillo de agua más la altura piezométrica del flujo de estado estacionario original.

25 La presente invención utiliza agua; aire y electroimanes como medios para la conversión de energía. Se recogen y transforman diversas formas de fuerzas naturales en un sistema de conversión de potencia distintivo. Las fuerzas permanentes tales como la fuerza gravitacional, la presión de aire atmosférico y otras fuerzas dinámicas, esto es, una fuerza de chorro de martillo de agua; una fuerza de succión de vacío; una fuerza de retroceso de chorro; la presión de aire comprimido y la inercia pueden ser encauzadas para formar entradas sustanciales de un sistema de conversión de potencia para generar energía eléctrica por medio de una turbina-generador de pelton.

30 Las ilustraciones y cálculos del sistema se presentan sobre las siguientes especificaciones:

(A) Se utiliza agua dulce como el medio. Al nivel del mar, el agua dulce tiene una densidad de 1000 kg/m^3 y un peso específico de $9,81 \text{ kn/m}^3$. En un alcance más amplio, se puede utilizar otro líquido. Si se utiliza agua marina, entonces la cifra es un 3% mayor. La densidad es, por tanto, 1030 kg/m^3 .

35 (B) El diámetro interno del canal de toma principal es 1 m. En un alcance más amplio, puede abarcar de 30 cm hasta 1 m.

(C) La altura de la bomba es 260 m. En un alcance más amplio, puede abarcar de 130 m a 400 m y más.

La fórmula para calcular la presión del martillo de agua es:

$$P_h = D_m V Wp$$

donde

40 D_m es la densidad de masa del líquido. Para el agua dulce es de 1000 kg/m^3

V es la velocidad del agua que fluye dentro del canal de toma en un estado estacionario, el término está en m/s

Wp es la velocidad de la onda de presión dentro del canal de toma, sus unidades son m/s. A 20 °C es aproximadamente 1478 m/s. Es una propiedad inherente del agua.

45 Tras aproximadamente un minuto del comienzo del flujo de la bomba, se consigue un flujo estacionario de agua a una velocidad de 12,66 m/s, a continuación es cerrado rápidamente por una válvula. Suponiendo que Wp es 1428 m/s,

entonces la presión del martillo de agua en la tubería con una longitud aproximada de 1200 m se calcula como:

$$\begin{aligned}
 P_h &= D_m V Wp \\
 &= 1000 \text{ Kg/m}^3 (12,66 \text{ m/s})(1428 \text{ m/s}) \\
 &= 18.078.480 (\text{kg}\cdot\text{m/s}^2)(1 \text{ m/s}^2) = 18.078.480 \text{ n/m}^2 = 18.078 \text{ kpa}
 \end{aligned}$$

5 En términos de altura debida a la energía, la fórmula es: P/Wsp , donde

P es la fuerza de presión, en unidades de n/m^2

Wsp es el peso específico del agua, que es de, aproximadamente, 9810 n/m^3

Por lo tanto, la altura debida a la energía = $18.078.480 \text{ pa}/9810 \text{ n/m}^3 = 1842 \text{ m}$

10 Estos 1842 m de altura piezométrica de martillo de agua es mucho más elevada que la altura cinética que poseía el líquido en el flujo original de estado estacionario.

Resolvemos para la altura cinética H_v del flujo original de estado estacionario de 12,66 m/s

$$\begin{aligned}
 H_v &= V_e^2/2g \\
 &= 12,66^2/19,62 = 8,17 \text{ m}
 \end{aligned}$$

15 La gran disparidad en la altura debida a la energía, desde la altura original de 8,17 m a la elevada altura piezométrica inducida y acumulada de 1850 m (1842 + 8,17) es una de las características básicas de la presente invención. Esto convertirá la fuerza destructiva de la presión de martillo de agua en una fuerza constructiva y la transformará en energía eléctrica utilizable.

20 Es un hecho científico aceptado que existe un fondo de energía cinética latente en los espacios intermoleculares del líquido, incluso cuando está en reposo. Esto es el resultado de los movimientos y colisiones constantes de las moléculas. Esto se conoce como movimiento browniano. Esta actividad está caracterizada asimismo como una fuerza de movimiento o como una forma de interacciones intermoleculares del líquido.

25 Estas interacciones actúan como "resortes minúsculos" entre las moléculas. A medida que el líquido atmosférico se ve sometido a una alta compresión, el volumen disminuye, estrujando los espacios intermoleculares. Esta fuerza comprensiva convertirá la energía cinética latente en una energía elástica potencial añadida. Esto se suma a la energía de presión suministrada por la bomba principal (6).

Este fenómeno intensifica el martillo de agua hasta una presión de proporciones inmensas.

En nuestro ejemplo, el volumen se comprime en un 0,83%, o aproximadamente 10 m de columna de agua. Este volumen será liberado instantáneamente como un chorro de alta energía cinética cuando tenga lugar la descompresión a la atmósfera.

30 "Estructuras y equipos del sistema"

En la fig. 11 se muestra un diagrama de la vista en planta del presente sistema. Éste tiene las siguientes estructuras y equipos:

A. Un embalse principal (1). Una masa de agua artificial o natural cuya área superficial es lo suficientemente ancha para servir igualmente como embalse de refrigeración; debe tener al menos 3 m de desnivel desde la línea de referencia.

35 B. Un conducto de entrada redondeado (2).

C. Un generador de inicio/recebado (3), éste suministra la potencia inicial a la bomba (6) y a las válvulas esféricas (5), asimismo recibe el nivel de energía del sistema a medida que la salida de energía decrece en el tiempo.

D. Una bomba principal (6) proporciona la altura piezométrica al canal de toma principal.

E. Una tubería de convergencia (7).

40 F. Válvulas de compuerta (8), estas válvulas controlan el volumen de agua que fluye al interior de los canales de toma principales (9).

G. Dos canales de toma principales (9-A y 9-B), cada uno de los cuales es de, aproximadamente, 1200 m, con un

diámetro interior de 1 m que terminan a una altura de 10 m de alto, aproximadamente, dentro de la central eléctrica (11).

- 5 H. Válvulas de alivio de presión (12) ajustadas a una presión de liberación de agua de, aproximadamente, 10 m por encima de la altura debida a la energía de la bomba con el fin de proteger la bomba. El caudal de presión de martillo de agua que alcanza este punto colisiona con el flujo de presión de la bomba. El brusco incremento resultante de la presión abre la válvula de alivio de presión, permitiendo que el exceso de agua a presión fluya del canal de toma principal al interior del embalse principal (1).
- 10 I. Tanques de compensación (13-A y 13-B) amortiguados por aire absorben el caudal de agua del canal de toma principal durante la compresión a alta presión y devuelven agua al canal de toma principal durante la expansión de baja presión. En su parte superior están equipados con válvulas de alivio de vacío (4) que están cerradas de modo natural para evitar el escape de aire a la vez que permiten que el aire fluya al interior de las cámaras de compensación durante la expansión de baja presión.
- J. Válvulas esféricas unidireccionales principales (5) conectadas al extremo del canal de toma principal (9).
- 15 K. Una turbina de pelton (14) mostrada en la fig. 2 con un árbol que está acoplado al generador principal (15) que tiene volantes de inercia (16) para almacenar y liberar energía al rotor para mantener la velocidad óptima.
- L. Una boquilla de retroceso (29) con una cámara de presión (30) incorporada a la válvula esférica (5), como se muestra en las figs. 8 y 9. La boquilla tiene una cámara de aire (29-a), un orificio de escape (29-b), un resorte mecánico (29-e), columnas de soporte (29-c), y un carril de guía (29-d).
- 20 M. La cámara de presión (30) tiene un pistón (31) que oscila en sincronía con la fuerza del chorro liberado; se fuerza la salida de líquido al interior de la tubería de presión (34) a través de una válvula unidireccional (35) durante la fase de compresión y se saca líquido del embalse de compensación durante la fase de descompresión de vacío a través de la tubería de succión (32); el flujo se controla mediante una válvula de regulación (33); la cámara puede ser convertida en un tanque de desalinización en el que se retiran sales y otros solutos mediante un proceso de ósmosis inversa utilizando una membrana semi-permeable.
- 25 N. Un embalse de compensación (17) dentro de la central eléctrica; éste recibe el agua empleada y la drena al embalse principal (1) a través de la tubería de drenaje (18) por flujo gravitacional.
- 30 O. Tuberías de succión de vacío de agua (19-A; 19-B y 19-C) para proporcionar inmediatamente el agua necesaria para estabilizar la presión en el canal de toma principal. El agua se extrae directamente del embalse principal (1). Todas tienen válvulas de regulación (20-A; 20-B y 20-C) ajustadas por debajo del canal de toma principal (9) para evitar reflujos. El volumen extraído de las tuberías de succión al interior del canal de toma principal está basado en la magnitud de la fuerza de succión. Está de acuerdo con el Principio de Conservación de la Energía. Esto es, cuando una energía de alta presión se transforma en energía cinética de baja presión se forma vacío.
- P. Una bomba auxiliar (24) alimentada por un motor eléctrico que extraerá agua del embalse principal al interior del canal de toma principal para proporcionar el volumen de agua necesario para el siguiente martillo de agua.
- 35 Q. Una línea (25) de la bomba auxiliar que conecta la bomba auxiliar con el canal de toma principal; su diámetro interno es la mitad del diámetro del canal de toma principal.
- R. Una válvula esférica auxiliar (26) controla el flujo de agua al interior del canal de toma principal, sus dimensiones y velocidad de giro son similares a las de la válvula esférica principal (5), como se muestra en la fig. 10, tanto la válvula esférica auxiliar (26) como la válvula esférica principal (5) giran en posiciones relativas con respecto al tiempo; incorpora una válvula de regulación (26-A) inmediatamente corriente abajo para evitar que se disipe la presión de martillo de agua.
- 40 S. Una bomba de recebado (27) vuelve a activar el sistema añadiendo una entrada de potencia periódicamente a medida que la salida de energía decrece, la fuente de potencia es el generador de inicio/recebado (3) que está fuera del bucle de energía cerrado.
- T. Una válvula de regulación (28) a la entrada de la tubería de recebado al canal de toma principal.
- 45 U. Una tubería de reabastecimiento (21) extrae agua de la fuente de agua natural cercana al interior del embalse principal para sustituir al agua evaporada (fig. 13).
- V. Un embalse superior (22) mostrado en la fig. 14 del segundo modo de realización de la presente invención, en el que el desnivel sustituye a la altura piezométrica de la bomba del primer modo de realización.
- W. Una bomba motorizada (23) para suministrar agua al embalse superior (22) del segundo modo de realización en la fig.

14.

“La trayectoria de flujo del agua de recirculación en el sistema”

La fig. 11 muestra que el agua fluye inicialmente saliendo del embalse principal (1) al interior de la tubería de entrada (2). Alcanza una altura piezométrica elevada desde la bomba principal (6). A continuación fluye al interior de la tubería de convergencia (7), pasa por las válvulas de compuerta (8) y al interior de los canales de toma principales (9). El canal de toma principal tiene una longitud aproximada de 1200 m. El agua fluiría por la válvula de alivio de presión (12) y las dos cámaras de compensación de aire (13-A y 13-B). Esas cámaras de compensación proporcionan espacios para absorber el caudal de agua durante la fase de compresión en el canal de toma principal y liberan agua de nuevo durante la fase de expansión. El agua fluye a continuación hacia delante sobre el canal de toma principal largo, pasando por válvulas de regulación (20-A; 20-B y 20-C) que controlan la entrada de agua de las tuberías de succión de vacío (19-A; 19-B y 19-C). A medida que fluye el agua hacia el final del canal de toma principal, se encontrará con las válvulas esféricas unidireccionales (5-A y 5-B) en funcionamiento dentro de la central eléctrica (11). Estas válvulas esféricas motorizadas inducen presiones de martillo de agua en los canales de toma principales y a continuación liberan el chorro de alta energía cinética a través de la boquilla de retroceso al interior de la turbina-generador de pelton para generar electricidad. El agua empleada cae a continuación al interior del embalse de compensación (17) de la central eléctrica (11). A continuación el agua se drena por la fuerza gravitacional a través de la tubería de drenaje (18) al interior del embalse principal (1), completando así el bucle de circulación de agua.

Las tuberías de succión de vacío de agua están conectadas al canal de toma principal. A medida que el agua corriente abajo en el canal de toma principal es lanzada a chorros en grandes volúmenes, creando un vacío de baja presión cuya fuerza de succión absorberá agua directamente del embalse principal (1) al interior del canal de toma principal. Junto con el agua bombeada por la bomba auxiliar (24) y la tubería de presión forzada de retroceso (34) completa la circulación de agua en un sub-bucle complementario (del embalse principal a través de las tuberías de succión de vacío y la tubería auxiliar al canal de toma principal-turbina-embalse de agua de compensación y de vuelta al embalse principal (1), circunvalando la bomba principal (6) y la sección corriente arriba del canal de toma principal).

“Funcionamiento de la válvula esférica unidireccional motorizada”

En la fig. 2 se muestran las dos válvulas esféricas (5-A y 5-B) que giran en un modo unidireccional (las boquillas de retroceso se omiten por claridad). Se muestra la turbina de pelton horizontal (14) con un árbol vertical acoplado al rotor del generador principal (15).

La válvula 5-A está en una posición completamente abierta, mientras que la válvula 5-B está en la posición completamente cerrada. Ambas válvulas tienen las mismas dimensiones y funcionan mediante motores que giran continuamente.

De la fig. 3-A a la fig. 3-I se muestra la esfera interior de la válvula que tiene una salida u orificio que ocupa un cuarto de su circunferencia, al igual que el orificio de entrada. De este modo, en cualquier momento está dividida en cuatro secciones iguales; dos partes que abrirían y dos partes que cerrarían la válvula esférica. El diámetro interno del canal de toma principal es aproximadamente la mitad del diámetro del orificio de la esfera.

Las válvulas se abren en un intervalo de medio segundo (figura 3-F a fig. 3-H) y permanecen abiertas durante el siguiente intervalo de medio segundo (figura 3-H a fig. 3-I y fig. 3-A a fig. 3-B). Se cierran en el siguiente intervalo de medio segundo (figura 3-B a fig. 3-D) y permanecen cerradas durante el siguiente intervalo de medio segundo (figura 3-D a fig. 3-F). Las dos esferas de válvula tienen una frecuencia de una vuelta cada cuatro segundos lo que las convierte en válvulas de 15 RPM. Sus posiciones respectivas, esto es, apertura y cierre están temporizadas para estar separadas por un segundo, como se muestra en la fig. 6 y la fig. 10. En la fig. 2 se muestra que, cuando la válvula 5-A está completamente abierta, la válvula 5-B está completamente cerrada y viceversa.

Las figs. 3-A a 3-I muestran la secuencia de la válvula esférica en su movimiento. A ambos lados de la esfera hay dos concavidades en forma de peonza. Las concavidades aumentan el área superficial y el par de la sección expuesta a la presión creciente de martillo de agua cuando la válvula se cierra y abre.

La fórmula que relaciona fuerza con presión y área es:

$$F = P \times A$$

$$\text{Fuerza} = \text{presión} \times \text{área} ; \quad n = n/m^2 \times m^2$$

Como indica la fórmula, el área es directamente proporcional a la fuerza. Cuanto más grande sea el área expuesta, mayor será la fuerza que pueda recibir. Esta condición crearía una fuerza desequilibrada sobre la esfera. Esto es, se ejercería

una fuerza mayor sobre la porción con la depresión cóncava que sobre la parte sin la depresión. Y esta fuerza desequilibrada contribuye a aumentar el par de giro global de la válvula esférica. Así pues, se puede utilizar un motor de capacidad menor calculada.

La fig. 4 es la vista frontal de la válvula esférica mostrando la depresión en forma de peonza sobre la esfera.

- 5 La válvula debería estar fabricada de un material de acero muy resistente que pudiera soportar las constantes fuerzas dinámicas adversas de los martillos de agua.

El rotor del generador principal (15) debería poseer suficiente masa para que su momento de inercia ($M \cdot R^2$) sea aumentado suficientemente para compensar el modo de energía de chorro pulsado. Por lo tanto se necesita instalar volantes (16).

- 10 “Volumen de la columna de agua comprimida”

La fórmula para calcular la tasa de compresión R_c de agua bajo alta presión es: $R_c = -P/E_v$, donde

P es la presión aplicada, sus unidades son kpa

E_v es el módulo de elasticidad del agua. A 20 °C es $2,18 \times 10^6$ kpa.

- 15 En nuestro canal de toma específico de 1200 m de longitud y 1 m de diámetro interno. A 20 °C está sometido a una altura piezométrica de 1850 m o unidades de presión de $1850 \times 9,81 \text{ kn/m}^2 = 18.148$ kpa. La tasa de compresión del agua es

$$R_c = -P/E_v = -18.148 \text{ kpa} / (2,18 \times 10^6) \text{ kpa} \\ = -0,0083$$

- 20 La presión de 18.148 kpa comprimirá el agua en un 0,83%. Para conseguir el volumen comprimido, multiplicamos el volumen original por 0,83%, lo que es $1200 \text{ m} \times 0,785 \times 0,83\% = 7,82 \text{ m}^3$. La longitud de la columna de agua se encoge en $7,82 \text{ m}^3 / 0,785 \text{ m}^2 = 9,96 \text{ m}$. Cuanto más comprimida esté la columna de agua, menor es su longitud y más elevada es su energía potencial elástica almacenada. Esta energía potencial elástica es convertida a partir de la energía cinética latente en los espacios intermoleculares.

“Velocidad de la onda de presión modificada”

- 25 A 20 °C, la velocidad de la onda de presión en el agua es 1478 m/s. Sin embargo, en una tubería elástica, se modifica por el estiramiento de las paredes de la tubería. En general, cuanto más grueso sea el acero mayor será la celeridad. En esta ilustración, ésta se modifica por el material de acero y su grosor de 15 cm. Utilizando la fórmula MWp de onda de presión modificada:

$$MWp = Wp \{1/[1 + (E_v/E) (D/t)]\}^{1/2}$$

donde

- 30 Wp es la velocidad de la onda de presión de agua a 20 °C

E_v es el módulo de elasticidad del agua, que es $2,18 \times 10^6 \text{ kn} \cdot \text{m}^{-2}$

E es el módulo de compresibilidad del material de tubería. Para el acero, es aproximadamente $207 \times 10^6 \text{ kn} \cdot \text{m}^{-2}$

D es el diámetro interior de la tubería, que en este caso es 1 m

t es el grosor de la tubería, que en este caso es 0,15 m

- 35 Entonces

$$MWp = Wp \{1/[1 + [(2,18 \times 10^6) / 207 \times 10^6] \times [1/0,15]]\}^{1/2} \\ = 1478 \{1/(1 + 0,07)\}^{1/2} \\ = 1428,8 \text{ m/s}$$

La onda de presión en esta tubería específica con una temperatura de agua de 20 °C es 1428,8 m/s.

- 40 “Rendimiento calculado del sistema (sin la entrada de fuerza de retroceso)”

Usando una bomba de altura de 260 m, la ecuación de la energía del flujo dentro del caudal de toma de principal de 1 m (diámetro interno) que termina en un orificio superior de 10 m es

$$260 = v^2/2g + H_{TL} + 10$$

la altura perdida es aproximadamente 30,8 veces la altura cinética, así

5
$$260 = (1 + 30,8)v^2/2g + 10$$

y $v = 12,66$ m/s

Este es el caudal del estado estacionario y la descarga es $9,93$ m³/s.

La presión de martillo de agua cuando la válvula esférica se cierra rápidamente en un intervalo de medio segundo es:

10
$$P_n = D_m V W_p = (1000)(12,66)(1428)$$

$$= 18.087 \text{ kpa}$$

En términos de altura piezométrica, esto es $18.087/9,81 = 1842$ m.

15 A partir de una altura cinética de flujo estacionario de $8,17$ m, el cierre rápido de la válvula esférica empuja hacia arriba la altura debida a la energía a 1850 m ($1842 + 8,17$) por encima de la altura piezométrica. En medio segundo la válvula esférica gira hasta una posición completamente abierta. En el siguiente medio segundo, la válvula está completamente abierta liberando un chorro de alta energía cinética que impacta sobre la turbina-generador de pelton. A continuación, la esfera gira para cerrar en el siguiente intervalo de medio segundo. Esta liberación de un chorro de agua es simultánea con el descenso abrupto de la altura piezométrica en el canal de toma.

20 La fig. 5 muestra la gráfica proyectada de la descarga de agua. En $T = 0$ segundos, la válvula está cerrada, el agua no fluye y la presión de martillo de agua dentro del canal de toma es 1850 m. En el siguiente medio segundo, la válvula se abre completamente. En el intervalo de tiempo de $T = 0$ segundos a $T = 0,75$ segundos la altura piezométrica cae rápidamente. La altura asumida sería de aproximadamente 1600 m en el instante $T = 0,75$ segundos. Debe notarse que ya no hay la altura piezométrica de 1850 m.

La altura cinética H de chorro de agua tiene la ecuación:

25
$$H = V^2/2g$$

 entonces la velocidad = $[(2g)H]^{1/2}$

Asumiendo que la altura instantánea es 1600 m en $T = 0,75$ segundos entonces $V_{inst} = [2g (1600)]^{1/2} = 177$ m/s.

La ecuación para la descarga instantánea en $T = 0,75$ segundos:

$$Q_{inst} = A V_{inst}$$

donde

30 A es el área de la abertura de la tubería, las unidades son m²

V_{inst} es la velocidad instantánea, las unidades son m/s.

Para el área dada y la velocidad instantánea de 177 m/s, la descarga instantánea es:

$$Q_{inst} = (1)^2 (\pi/4) (177) = 0,785 (177)$$

$$= 139 \text{ m}^3/\text{sec}$$

35 La descarga proyectada individual de agua se aproximaría a la curva de la ecuación

$$Y = 139 (2,66X - 1,77X^2) \quad \text{dado un intervalo } [0 \leq X \leq 1,5]$$

donde

Y es el volumen de agua descargada.

X es el tiempo en segundos.

La fig. 5 muestra gráficamente esta relación.

Para el segundo de $T = 0,25$ segundos a $T = 1,25$ segundos la descarga es la más alta y la potencia es la mayor. Utilizando integrales para medir esta descarga de agua Q :

$$\int_{0.25}^{1.25} 139 (2.66X - 1.77X^2) dX = 139 (1.33 X^2 - \frac{1.77 X^3}{3}) \Big|_{0.25}^{1.25}$$

$$Q = 118.43 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

5

De la ecuación de descarga, resolvemos para la velocidad promedio:

$$V_{ave} = Q/A = 118,43/0,785 = 150,86 \text{ m/s}$$

Así pues, la altura cinética promedio para $T = 0,25$ segundos a $T = 1,25$ segundos es

$$150,86^2/2g = 1160 \text{ m}$$

10 Para llegar a la potencia hidrodinámica aproximada del chorro de $T = 0,25$ segundos a $T = 1,25$ segundos, se utiliza la fórmula para la potencia:

$$\text{potencia hidrodinámica} = QW_{sp}H_{ave}/1000 ;$$

donde

Q es la descarga en un segundo, las unidades son m^3/s

15 W_{sp} es el peso específico del agua, las unidades son $\text{newtons}/\text{m}^3$

H_{ave} es la altura promedio del chorro de agua, las unidades son metros.

De aquí

$$\text{Potencia}_{t=0,25 \text{ a } t=1,25} = 118,43 (9810) (1160)/1000 \\ = 1.347.680 \text{ kw o } 1347,68 \text{ MW}$$

20 Si calculamos la potencia desde la aproximación de la energía cinética, habríamos obtenido la siguiente ecuación:

$$E.C. = \frac{1}{2} mv^2$$

donde

m es la masa del chorro de agua, las unidades son kg . Para $118,43 \text{ m}^3$, la masa es 118.430 kg

v es la velocidad media del chorro de agua, en este caso es $150,86 \text{ m/s}$

25 De aquí:

$$K. E. = \frac{1}{2} (118.430) (150,86^2) = 1.347.667 \text{ kn}\cdot\text{m}$$

Esta energía cinética de $1.347.667 \text{ kn}\cdot\text{m}$ se libera en un segundo, dando el término $1.347.667 \text{ kn}\cdot\text{m/s}$. Como $\text{kn}\cdot\text{m/s}$ es equivalente a kw , por lo tanto la potencia de 1347 MW es igual a los 1347 MW a los que llegamos utilizando la ecuación de potencia hidrodinámica.

30 Asumiendo una eficiencia de la turbina-generador del 80% , entonces la potencia generada es $1347,68 \times 80\% = 1064,8 \text{ MW}$.

Como se muestra en la fig. 6, esta potencia descargada se produce en un intervalo de tiempo de $1,5$ segundos por

un único canal de toma principal. Por lo tanto, en teoría, la potencia producida por los dos canales de toma principales en un segundo de tiempo es $(2 \times 1347)/2,5 = 1077$ MW. Si tan sólo se utiliza un único canal de toma, entonces teóricamente la potencia es aproximadamente 538 MW.

5 Esta potencia generada es mantenida por otras fuerzas naturales, por ejemplo una fuerza de succión de vacío; la fuerza de retroceso del chorro; la fuerza gravitacional; aire comprimido; inercia; y presión atmosférica del aire más las presiones de la bomba auxiliar y la bomba de recebado periódica que son canalizadas al interior del sistema.

“Potencia requerida por las bombas del sistema”

La potencia requerida por una bomba (6) individual para darle una altura de 260 m en flujo de estado estacionario es:

$$P_{\text{pump}} = 9,93 (9810) (260)/1000 = 25,33 \text{ MW}$$

10 Asumiendo una eficiencia del 80% para la bomba, entonces la potencia requerida es 31,66 MW.

Dos bombas trabajando simultáneamente requerirían 63,32 MW de potencia.

La fuerza de retroceso de chorro

15 La fuerza de retroceso de chorro que es igual y de dirección opuesta a la fuerza del chorro liberado puede ser utilizada para efectuar distintos tipos de trabajo. En primer lugar: (A) puede ser transferida al canal de toma principal (9) como potencia de presión añadida; otros procedimientos pueden ser utilizados tales como (B) accionar un lineal oscilante a un conjunto de movimiento rotatorio continuo, elemento rotatorio que se acopla al rotor de un generador para producir electricidad; y (C) proporcionar fuerza de presión a un tanque de desalinización en el que sales y solutos son retirados por medio de una membrana de filtración.

La fuerza del chorro de $T = 0,25$ segundos a $T = 1,25$ segundos es:

20
$$\text{Fuerza} = DmQV$$

donde

Dm es la densidad de la masa líquida, las unidades son kg/m^3 .

Q es la descarga, las unidades son m^3/s

V es la velocidad del flujo del líquido, las unidades son m/s

25 Entonces: $F = 1000 (118) (150) = 17.700$ kn. Esta es la fuerza del chorro, es igualmente la fuerza de retroceso sobre la boquilla de convergencia.

(A) Si se diseña que se bombee un volumen de 20 m^3 de agua en el canal de toma principal, los cálculos de descarga (despreciando pérdidas de carga por fricción) son:

$$Q = A_{\text{pipe}} \times V_{\text{pipe}} = A_{\text{chamber}} \times V_{\text{chamber}} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

30 Con un área de tubería de $0,785 \text{ m}^2$ (diámetro interior de 1 m) y una velocidad de aproximadamente 25,4 m/s; mientras que en la cámara la velocidad es de 2 m/s. Entonces el área de la cámara cilíndrica tiene que ser 10 m^2 con un diámetro de aproximadamente 3,5 m.

$$Q = 0,785 \times 25,4 = 10 \times 2 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

35 La presión dentro de la cámara es $P = F/A = 17.700/10 = 1770$ kpa. La altura piezométrica es $1770/9,81 \approx 177$ m.

La altura cinética de la tubería de presión (24) se calcula como

$$V_{\text{pipe}}^2/2g = (D_{\text{cham}}/D_{\text{pipe}})^4 V_{\text{cham}}^2/2g = (3,5/1)^4 0,2 \approx 30 \text{ m}$$

La ecuación de continuidad de Bernoulli mostraría lo siguiente: (la H_{loss} de la tubería es aproximadamente $2 \times V_{\text{pipe}}^2/2g$)

40
$$V_{\text{ch}}^2/2g + P_{\text{ch}}/W_{\text{sp}} + \text{desnivel} = V_{\text{pipe}}^2/2g + P_{\text{pipe}}/W_{\text{sp}} + h_{\text{loss}}$$

Entonces

$$0,2 \text{ m} + 177 \text{ m} + 10 \text{ m} \cong 30 \text{ m} + 97,22 \text{ m} + 2(30)\text{m}$$

$$\text{La potencia es} = QW_{sp}H/1000 = 20 \times 9,81 \times 30 \approx 6000 \text{ kw}$$

5 (B) La fuerza de retroceso se utiliza para generar electricidad. Acciona un lineal oscilante a un conjunto giratorio continuo, en el que el elemento giratorio está acoplado al rotor del generador para producir electricidad.

La longitud neta del pistón es 1 m. La velocidad es 1 m/s. La fuerza de retroceso de 17.700 kn puede generar aproximadamente 15.000 kn m/s o 15 MW de potencia.

Esto es tras sustraer la fuerza necesaria para la compresión del resorte y superar la inercia del conjunto de boquilla.

10 (C) La presión para desalinizar agua marina es de aproximadamente 8000 kpa. El área de membrana para extraer agua dulce es: $\text{área} = \text{fuerza}/\text{presión} = 17.000/8000 = 2,2 \text{ m}^2$. El diámetro interno del tanque de desalinización es $= (2,2/0,785)^{1/2} = 1,67 \text{ m}$.

15 Otro modo de realización del conjunto de fuerza de retroceso es utilizar la válvula esférica unidireccional (5) directamente como el conjunto de retroceso. Sin la boquilla de convergencia, este conjunto tiene todas las partes anteriormente mencionadas con las mismas funciones, tales como la cámara de presión; el pistón; el resorte; la tubería de presión y su válvula de regulación; la tubería de succión de vacío y su válvula de regulación; la cámara de aire; el orificio de alivio de aire, la columna de acero y el carril de guía.

“Sistema de reabastecimiento de agua”

20 Como se muestra en la fig. 13, periódicamente la tubería de reabastecimiento de agua (21) extrae agua de la fuente natural próxima para reabastecer el agua perdida por evaporación. Esto se realiza haciendo fluir agua al interior del embalse principal del sistema.

25 El embalse principal (1) tiene capacidad suficiente para servir asimismo como embalse de refrigeración y se ubica fuera de la central eléctrica. Podría ser una masa natural de agua. El sistema de refrigeración sirve para refrigerar el agua calentada que fluye a través del canal de toma principal (9), la turbina, el transformador y otros equipos. Este sistema utiliza aire atmosférico en movimiento más frío como el agente de refrigeración principal. El agua calentada se saca de la central eléctrica junto con el agua empleada en el embalse de compensación a través de la tubería de salida (18) al embalse principal que está expuesto al aire atmosférico para disipación. La temperatura del embalse de refrigeración tiene que ser monitorizada para evitar que suba demasiado. En caso de una temperatura elevada, se pueden aplicar otros procedimientos de refrigeración.

30 “Segundo modo de realización de la presente invención”

35 La presente invención tiene un segundo modo de realización, como se muestra en la fig. 14, en el que la fuerza de la altura piezométrica proporcionada por la bomba principal (6) en la fig. 11 se sustituye por la fuerza del desnivel de un embalse superior (22) en lo alto de una planicie montañosa, como se muestra en la fig. 14; el desnivel Z menos la pérdida de altura por fricción en la tubería de flujo descendente es igual a la altura piezométrica de la bomba; mientras que los otros equipos y estructuras del segundo modo de realización son idénticos en dimensiones y funciones a los del primer modo de realización presentado.

40 Este segundo modo de realización del sistema tiene una bomba motorizada (23) conectada al embalse de compensación para suministrar agua desde el nivel inferior al embalse superior (22) para recirculación. Asimismo tiene un embalse de nivel bajo similar al embalse principal del modo de realización original fuera de la central eléctrica para disipar calor y suministrar agua a las tuberías de succión de vacío; la línea de tubería de la bomba auxiliar y la línea de tubería de recebado.

Los dos modos de realización de la presente invención tendrían la misma salida de energía bruta.

El presente sistema hidroeléctrico tendría la siguiente gráfica de equilibrio energía/masa, en el que las entradas de energía/masa deben ser iguales a la suma de la salida de energía más las pérdidas de energía/masa:

ENTRADAS CONVERTIBLES DE ENERGÍA/MASA	SALIDA DE ENERGÍA+	PÉRDIDAS DE ENERGÍA/MASA
<p>A. Alturas inducidas por la fuerza gravitacional del embalse principal y del embalse de compensación y peso específico del agua de aproximadamente 9810 n/m³.</p> <p>B. Altura cinética de 1200 m aproximadamente.</p>	<p>a. Energía eléctrica generada de al menos 50 MWh.</p>	<p>a. Pérdidas de carga por fricción.</p> <p>b. Pérdidas de energía en forma de calor.</p>
<p>Chorro liberado de presión de martillo de agua convertida que implica la energía cinética latente convertida del líquido atmosférico.</p> <p>C. Fuerza de succión de vacío formado tras una gran descarga súbita en el canal de toma principal que empuja un volumen de agua directamente desde el embalse principal, que funciona de acuerdo al Principio de Conservación de la Energía.</p> <p>D. Fuerza de retroceso del chorro.</p> <p>E. Energía de presión del aire comprimido dentro de los tanques de compensación provocada por el caudal de agua durante la fase de compresión.</p> <p>F. Presión de aire atmosférico de 10,3 m de agua que empuja al interior de los tanques de compensación durante la fase de descompresión.</p> <p>G. Fuerza de inercia rotacional del rotor en movimiento.</p> <p>H. Fuerza mecánica de los motores eléctricos utilizados en la bomba principal; la bomba auxiliar; la bomba de recebado periódico y las válvulas esféricas unidireccionales.</p> <p>I. Masa de agua añadida al embalse principal de acuerdo a las necesidades mediante la tubería de reabastecimiento.</p>		<p>c. Pérdidas de energía debidas a la expansión de la pared de la tubería.</p> <p>d. Pérdidas de eficiencia debidas a la maquinaria.</p> <p>e. Evaporación de moléculas de agua.</p>

La presente invención está destinada a ser usada como un generador de carga de base.

Cuando quiera que ocurra una disminución en las demandas de carga, la capacidad en exceso puede ser desviada

para otros propósitos dentro del área de la central eléctrica, o se puede optar por disminuir la velocidad de giro de la bomba motorizada principal (6), de modo que se disminuya la altura cinética en el canal de toma principal (9), obteniendo así una presión de martillo de agua menor que produce subsecuentemente un nivel menor de potencia.

5 La presente invención puede ser construida como una unidad de producción de potencia independiente o puede ser construida como una planta de sub-generación de una planta de potencia existente.

Los modos de realización anteriores se ofrecen tan sólo a efectos ilustrativos y en modo alguno como limitaciones. Aquellas modificaciones que caen dentro del ámbito de las reivindicaciones serán evidentes para los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema hidroeléctrico que comprende:
 - una masa de agua en un embalse principal (1) al nivel del suelo, que es artificial o
 - una masa natural de agua dulce o salada que tiene al menos 3 m de desnivel desde la línea de referencia;
 - un conducto de entrada redondeado (2);
- 5 una bomba principal (6) que empuja el flujo de estado estacionario dentro del canal de toma principal (9) corriente abajo, alimentada por un motor de velocidad variable;
- una tubería de convergencia (7);
- una válvula de compuerta (8) que controla el flujo de agua al interior del canal de toma principal (9);
- 10 un canal de toma principal (9) grueso de aproximadamente 1200 m que termina en lo alto dentro de la central eléctrica (11) con una descarga de estado estacionario de al menos 10 m/s o una altura cinética de 5 m, su diámetro interior es de al menos 0,3 a 1 m con un grosor de aproximadamente el 15% del diámetro interno que está fabricado de un material resistente tal como acero al carbono sin soldadura; en el que su superficie interna está cubierta con una capa gruesa de un material liso y resistente que puede ser recubierto cuando sea necesario si tiene lugar corrosión o cavitación intensa; en el que su línea central sirve como línea de referencia,
- 15 que tiene muchas juntas de expansión a lo largo de su longitud;
- una válvula de alivio de presión (12) sobre el canal de toma principal unos cuantos metros tras la válvula de compuerta para proteger la bomba (6) de una presión de sobrecarga residual;
- en el que el agua liberada fluye hacia fuera del canal de toma principal (9) al interior del embalse principal;
- 20 una serie de tanques de compensación (13-A, 13-B) que absorben el caudal de agua del canal de toma principal durante la compresión a alta presión y liberan agua de vuelta al canal de toma principal durante la expansión de baja presión, estando dotados los tanques de válvulas de alivio de presión unidireccionales que están normalmente cerradas para atrapar aire para formar la fuerza de compresión de aire durante la compresión a alta presión, a la vez que permiten que aire a presión atmosférica sea introducido en los tanques de compensación durante la expansión a baja presión;
- 25 una válvula esférica unidireccional (5), conectada al extremo del canal de toma principal, estructurada como una válvula de bola con un orificio pasante que gira 360° sobre su eje continuamente en una única dirección, teniendo un elemento de cierre redondo que se corresponde con un asiento redondo que permite un esfuerzo de estanqueidad uniforme, dividiendo el orificio pasante sobre la esfera la periferia en cuatro partes, dos partes que abren el canal de toma principal y las otras dos partes que lo cierran; en el que sobre la esfera se encuentran dos concavidades opuestas en forma de peonza sobre su plano de rotación aumentando el par rotacional, siendo alimentada por un motor con un árbol que hace girar el elemento de cierre continuamente convirtiendo la presión cinética y la energía elástica combinadas, acumuladas en toda la columna de agua principalmente en un martillo de agua de al menos 1400 m de energía de presión, reabriendo la válvula en un momento subsiguiente y reconvirtiendo la energía de presión en un chorro de agua de alta energía cinética, válvula que se diseña para girar a aproximadamente cuatro segundos por vuelta, estando temporizada su fase de apertura para agotar la presión de martillo de agua de nuevo hasta la altura cinética más baja inicial; en el que el diámetro del orificio de la esfera es dos veces el diámetro interno del canal de toma principal, estando fuertemente anclado con un contrapeso suficiente;
- 30
- 35
- 40 una boquilla de retroceso de convergencia (29) unida a la parte corriente abajo de la válvula (5); una turbina-generador de pelton (14, 15) sobre cuyos cangilones impacta la energía cinética del chorro que emana del canal de toma principal;
- un árbol que acopla la turbina a un generador principal (15) para producir energía eléctrica, que tiene asimismo volantes incorporados para almacenar y liberar energía mecánica al rotor con el fin de mantener una velocidad óptima, siendo su capacidad de al menos 50 MW y más;
- 45 un embalse de compensación (17) que recibe el agua empleada dentro de la central eléctrica (11);
- una tubería de drenaje (18) que drena el agua empleada de vuelta al embalse principal (1) y fuera de la central eléctrica por fuerza gravitacional;

- 5 una serie de tuberías de succión de vacío (19-A; 19-B; 19-C) que conectan el embalse principal (1) con el canal de toma principal (9); en donde cada tubería de succión tiene un diámetro que es aproximadamente del tamaño del canal de toma principal, siendo su fuente de agua el embalse principal (1) extrayendo inmediatamente un volumen de agua necesario para el canal de toma principal mediante el diferencial de presión debido a la presión más elevada de al menos 3 m del desnivel más la presión atmosférica de 10,3 m de agua como contra el vacío parcial de baja presión creado por la expulsión súbita de un chorro de agua a alta presión; en el que la expulsión convierte la carga de presión de martillo en altura cinética con la subsiguiente caída súbita de presión dentro del canal de toma principal (9) a un vacío parcial de baja presión; en el que la transferencia de agua se controla por medio de válvulas unidireccionales (20-A; 20-B; 20-C) situadas por debajo del canal de toma (9);
- 10 una bomba auxiliar (24) que traerá agua del embalse principal (1) al interior del canal de toma principal (9) para completar un volumen suficiente de al menos 5 m de altura piezométrica necesario para el siguiente martillo de agua;
- una línea (25) de la bomba auxiliar que conecta la bomba auxiliar (24) al canal de toma principal, siendo su diámetro interno la mitad del diámetro del canal de toma principal;
- 15 una válvula esférica unidireccional auxiliar (26) que tiene las mismas dimensiones y velocidad de giro de la válvula esférica principal (5) que controla el flujo de agua al interior del canal de toma principal que tiene una válvula de regulación (26-A) corriente abajo para evitar la disipación de la presión del martillo de agua; en el que ambas válvulas esféricas (5, 26) tienen sus posiciones relativas como función del tiempo;
- 20 un generador de inicio/recebado (3) para iniciar y accionar inicialmente las bombas (6; 24; 27) y la rotación inicial de las válvulas esféricas, funcionando asimismo como una entrada de recebado para ser incorporada al sistema;
- una bomba de recebado (27) que reactiva el sistema periódicamente añadiendo una entrada para mantener el nivel de energía necesario;
- una tubería de reabastecimiento (21) que trae agua de una fuente natural próxima para reemplazar el agua perdida por evaporación, esto se realiza cuando sea necesario para mantener constante el desnivel.
- 25 2. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta una repetición intencionada de un modo de presión inducida de martillo de agua con el cierre rápido de la válvula esférica (5) combinando las energías cinética y de presión, más la energía potencial elástica que es convertida del fondo de energía cinética latente en los espacios intermoleculares de agua atmosférica; éstas son transformadas principalmente en una presión elevada de martillo de agua; su valor es el producto de su densidad multiplicado por su velocidad y su celeridad; está basado en el Principio de Conservación de la Energía y en las propiedades físicas del agua tales como su peso específico y su módulo de compresibilidad elástico E_v , produciendo una celeridad de aproximadamente 1428 m/s con la ecuación:
- 30
$$Wp = [(g/Wsp)E_v]^{1/2}$$
- 35 desde una altura cinética de flujo continuo de al menos 5 m, se transforma y acumula hasta una altura de al menos 1400 m de altura piezométrica; la apertura rápida subsiguiente de la misma válvula vuelve a transformar la altura piezométrica en un chorro de agua de alta energía cinética que brota del canal de toma para impactar sobre los cangilones de la turbina-generador de pelton para producir potencia eléctrica; las válvulas esféricas están fuertemente ancladas con suficientes contrapesos.
- 40 3. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta una fuerza de succión de vacío corriente arriba de la válvula esférica; esto tras la expulsión súbita de un chorro de agua altamente comprimida del canal de toma principal (9), esta conversión súbita de energía de presión en energía cinética provoca una caída rápida de presión a un vacío parcial de baja presión dentro del canal de toma principal; así pues, un diferencial de presión con la presión más alta procedente del desnivel de al menos 3 m más la presión atmosférica de 10,3 m de fuerza de agua empuja un volumen de agua a medida que se persigue rápidamente el equilibrio de presión en el canal de toma principal; este funcionamiento está basado en el Principio de Conservación de la Energía, esto es, cuando la energía de presión del líquido se convierte en energía cinética del líquido, existe una caída de presión asociada muy similar al proceso en el cuello estrecho de un tubo de Venturi; esta caída de presión arrastra una transferencia del líquido secundario del embalse principal al interior del canal de toma principal; a medida que las válvulas se abren para arrastrar agua buscando un equilibrio de presiones; se proporciona asimismo el agua necesaria al canal de toma principal para mantener el siguiente ciclo de martillo de agua; este mecanismo de transferencia de agua inducido físicamente por la fuerza de succión funciona como la acción de una bomba motorizada pero sin ninguna entrada de potencia eléctrica; esta fuerza de succión está provocada principalmente por la presión
- 50

de aire atmosférico y el desnivel procedente del embalse principal.

4. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta una bomba auxiliar (24) alimentada por un motor eléctrico que extraerá agua del embalse principal (1) al interior del canal de toma principal (9) para proporcionar un volumen y una presión de agua adicionales necesarias para el siguiente martillo de agua.
5. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta una línea (25) de la bomba auxiliar que conecta la bomba auxiliar (24) con el canal de toma principal; su diámetro interno es la mitad del diámetro del canal de toma principal.
6. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta una válvula esférica unidireccional auxiliar (26) que tiene las mismas dimensiones y velocidad de giro de la válvula esférica principal (5); ambas válvulas esféricas giran de un modo tal que el flujo de agua a través de la válvula esférica auxiliar (26) se produce poco antes de la fase de apertura de la válvula esférica principal (5); y el cierre de la válvula auxiliar ocurre asimismo antes del cierre de la válvula esférica principal para evitar la disipación de la presión positiva de martillo de agua.
7. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1 que presenta una boquilla de retroceso de convergencia (29); ésta está incorporada en el lado de salida del flujo de la válvula esférica (5); la fuerza de retroceso del chorro empuja un vástago de pistón (31) para realizar trabajo.
8. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el pistón de retroceso está dentro de la cámara de presión (30) forzando un líquido en el interior de la tubería de presión (34) para realizar trabajo; está soportado por columnas (29-c) que se desplazan a lo largo de carriles de guía (29-d), tiene un resorte mecánico (29-e) para almacenar energía durante la compresión y se utiliza para empujar la boquilla de vuelta a la posición original; asimismo tiene un orificio de alivio de aire (29-b) que permite que el aire se mueva libremente entrando y saliendo de la cámara de aire (29-a) durante el funcionamiento.
9. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la cámara de presión (30) tiene una tubería de succión de vacío de entrada (32) que extrae agua del embalse de compensación (17) durante la expansión de baja presión y una tubería de presión de salida (34) que proporciona líquido presurizado durante la compresión para efectuar trabajo; ambas tuberías (32, 34) están controladas separadamente por válvulas de regulación (33, 35).
10. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el líquido comprimido de la tubería de presión (34) trabaja como una fuerza de presión añadida al canal de toma principal (9) añadiendo más volumen de agua al canal de toma principal.
11. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el pistón oscilante (31) acciona un lineal a un conjunto giratorio continuo, en el que el elemento giratorio está acoplado al rotor de un generador para producir electricidad.
12. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el pistón acciona una fuerza de presión al interior de un tanque de desalinización en el que son retiradas sales y solutos mediante una membrana de filtración.
13. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que la válvula esférica unidireccional (5) es el conjunto de retroceso; efectuado sin la boquilla de retroceso de convergencia; este conjunto se completa con todos los accesorios con funciones similares a aquellas mencionadas, tales como la cámara de presión; el vástago de pistón; la tubería de presión de salida; la tubería de succión de entrada; un resorte; una cámara de aire; un orificio de alivio de aire; columnas y carril de guía.
14. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta una serie de tanques de compensación situados corriente arriba en la proximidad del comienzo del canal de toma principal, y están dotados de válvulas unidireccionales (4) que están normalmente cerradas en su parte superior, esto para acumular presión de aire comprimido a medida que el nivel del caudal de agua a alta presión empuja hacia arriba hacia la parte superior de los tanques durante la fase de formación del martillo de agua; esta energía almacenada se libera como fuerza de presión al interior del flujo del canal de toma principal durante la fase de descompresión; este aire comprimido presenta una fuerza dinámica de la interfaz física líquido-gas que no consume energía eléctrica; además, a medida que la presión dentro de los tanques cae por debajo de la presión atmosférica existente, la válvula unidireccional se abrirá para introducir aire a presión atmosféricas que empuja hacia abajo todavía más el nivel de agua en los tanques, llevando la presión de agua al interior

del flujo del canal principal, sin consumir nada de energía eléctrica.

15. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta una turbina-generador de pelton con una capacidad en un intervalo de 50 MW y más, que tiene volantes de inercia con una masa substancial para almacenar y devolver fuerza mecánica de modo que iguale el modo pulsado de la fuerza del chorro, esto para mantener la secuencia óptima del rotor; así pues se conserva por inercia una fuerza rotacional y se libera al rotor giratorio en consumo sin utilizar nada de energía eléctrica.
16. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta una bomba motorizada (6) de velocidad variable que tiene una altura piezométrica en un intervalo de 130 m a 400 m y más, con una potencia de motor de suficiente capacidad; tras el encendido, necesita acumular aproximadamente un minuto de energía de flujo de agua para establecer una altura cinética de flujo de estado estacionario de al menos 5 m en el canal de toma principal, junto con la presión de gradiente hidráulico la altura debida a la energía sirve como la fuerza primaria inicial del sistema para la presión de martillo de agua y establece el comienzo del proceso de conversiones de potencia.
17. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 16, que formará una energía distintiva que comprende diversas formas de entradas de energía y una única forma consolidada de salida de energía como electricidad.
18. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 17, que presenta un generador de encendido/recebado (3); éste puede ser sustituido por una fuente de potencia de una red eléctrica existente; ésta es la fuente de entrada de potencia inicial para la bomba principal y la válvula esférica; su línea de potencia se cerrará una vez encendido el generador principal (15); al igual que cualquier sistema de energía en movimiento sometido a fricciones disipativas y a la gravedad, las pérdidas de energía pueden alcanzar un punto en el que se necesite un recebado del nivel de energía; periódicamente, la energía del sistema necesita que se le dé un impulso mediante una bomba de recebado (27) fuera del bucle de energía, alimentada por energía eléctrica de este generador de recebado; esto es para restaurar el nivel de salida de energía.
19. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 18, que presenta un segundo canal de toma principal que tiene los mismos equipos, de las mismas dimensiones, con funciones similares y dispuesto en dirección opuesta respecto al otro canal de toma principal.
20. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 19, que presenta dos válvulas esféricas en emplazamientos opuestos que se mueven de modo alternativo y en un modo giratorio de almacenaje y liberación de chorros de martillo de agua para mantener la turbina-generador de pelton funcionando a una potencia óptima.
21. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 20, que presenta una corriente de entradas de energía convertibles que comprende ocho formas de fuerza; entre ellas sólo una forma de fuerza requeriría una cantidad sustancial de energía eléctrica, siendo ésta (a) las alturas piezométricas de bombas motorizadas; mientras que las otras siete formas de fuerza son naturales; fuerzas y conversiones inducidas por la física y la dinámica de la interfaz aire-líquido; (b) los desniveles inducidos por la fuerza gravitacional en el embalse principal y en el embalse de compensación y que inducen igualmente la altura piezométrica atmosférica de 10,3 m de agua y el peso específico del medio acuático; (c) la altura cinética del chorro de agua liberado del canal de toma principal convertido de presión elevada de martillo de agua inducida por el cierre rápido de la válvula esférica; (d) la fuerza de succión de vacío inducida tras la gran expulsión súbita del chorro de agua, se crea el estado de vacío parcial que forzaría al agua a mayor presión a entrar en el área a menor presión; (e) la fuerza de retroceso igual y de dirección opuesta producida por la expulsión del chorro, de acuerdo con la tercera ley del movimiento de Newton; (f) las presiones acumuladas de aire comprimido en los tanques de compensación durante la fase de alta compresión; (g) la presión de aire atmosférico predominante que empuja hacia abajo al interior de los tanques de compensación durante la fase de expansión a baja presión; (h) la fuerza de inercia rotacional del rotor en movimiento.
22. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 21 que puede ser expresado como un equilibrio en energía/masa, en el que las entradas convertibles de haces de energía/masa deben ser iguales a la salida de energía más las pérdidas de energía/masa; las entradas de energía/masa convertibles consisten en: a) desniveles inducidos por la fuerza gravitacional del embalse principal y del embalse de compensación; b) la altura cinética de un chorro de aproximadamente 1200 m liberado de la presión de martillo de agua convertida que implica la energía cinética latente convertida del líquido atmosférico; c) una fuerza de succión de vacío formada tras una gran descarga súbita en el canal de toma principal que empuja un volumen de agua directamente del embalse principal; d) una fuerza de retroceso del chorro; e) energía

- de presión de aire comprimido dentro de los tanques de compensación provocada por el caudal de agua durante la fase de compresión; f) una presión de aire atmosférico de 10,3 m de agua que empuja al interior de los tanques de compensación durante la fase de descompresión; g) la fuerza de inercia rotacional del rotor en movimiento; h) la fuerza mecánica de los motores eléctricos, esto es, la bomba principal; la bomba auxiliar; la bomba de recebado periódico y las válvulas esféricas unidireccionales; i) la masa de agua añadida al embalse principal cuando se necesite mediante la tubería de reabastecimiento; la salida de energía es la energía eléctrica generada de al menos 50 MWh; las pérdidas de energía/masa consisten en: a) pérdidas de carga por fricción; b) pérdidas de energía en forma de calor; c) pérdidas de energía por expansión de la pared de la tubería; d) pérdidas de eficiencia de la maquinaria; e) evaporación de moléculas de agua.
- 5
23. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 22, que presenta una única salida consolidada de energía que es más que la única forma de entrada de energía que es la fuerza mecánica de las bombas motorizadas (6; 24; 27); el principio de esta conversión de potencia puede ser comparado a un sistema de generación eléctrica por aerogeneradores en el que la única entrada de potencia es la fuerza del viento en la naturaleza y la única salida es la energía eléctrica; mientras que en el presente sistema de conversión de potencia las múltiples entradas son asimismo principalmente fuerzas de la naturaleza que trabajan a dúo con una única forma de entrada de potencia de base eléctrica y la salida es la única energía eléctrica consolidada; este sistema de generación de electricidad no está basado únicamente en una forma de entrada de energía, sino en una multitud de entradas de energía que son principalmente fuerzas naturales que producen una única salida consolidada de energía eléctrica superior a la única forma de entrada de potencia de un motor basado en energía eléctrica.
- 10
- 15
- 20
24. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 23, que presenta una trayectoria de flujo de bucle cerrado: de un embalse (1) a nivel del suelo con al menos 3 m de desnivel el agua recibe un impulso en altura piezométrica mediante una bomba motorizada principal (6) para empujarla hacia delante al interior de un canal de toma principal (9) de 1200 m de largo, pasando por una válvula de alivio de presión (12), tanques de compensación (13-A; 13-B), tuberías de succión de vacío (19-A; 19-B; 19-C), tuberías de recebado de presión y termina con una válvula esférica unidireccional motorizada (5) en lo alto dentro de la central eléctrica (11); la válvula esférica giratoria de modo continuo detiene la columna de agua rápida en un modo de cierre rápido, transformando la combinación de presión cinética y energía elástica en toda la columna de agua principalmente en un martillo de agua de una energía de presión inmensa; a medida que se abre la válvula esférica, el agua presurizada se vuelve a transformar en un chorro de alta energía cinética que sale disparado del canal de toma principal (9) para impactar sobre la turbina-generator de pelton para generar potencia eléctrica; el agua empleada cae a continuación en el embalse de compensación (17); del embalse de compensación se drena el agua por fuerza gravitacional a través de la tubería de salida de flujo (18) de vuelta al embalse principal (1) original, y el ciclo continúa.
- 25
- 30
- 35
25. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 24, que presenta un sub-bucle complementario de trayectoria de agua: cuando la válvula esférica unidireccional (5) se abre, un gran volumen de agua sale a chorros del canal de toma principal (9), y se forma una fuerza de succión de vacío que empujaría al agua del embalse principal (1) directamente al interior del canal de toma principal (9) a través de las tuberías de succión de vacío (19-A; 19-B; 19-C) circunvalando la bomba principal y el resto del canal de toma principal corriente arriba; soportada por el agua de la tubería de presión (34) y el agua de la línea (25) de la bomba auxiliar, todo el volumen de agua fluye sobre la turbina-generator de pelton y a continuación el embalse de compensación en la central eléctrica, y fluye hacia fuera por la fuerza gravitacional de vuelta al embalse principal (1), y el ciclo continúa.
- 40
- 45
26. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 25, que presenta un segundo modo de realización en el cual la fuerza de la altura piezométrica proporcionada por la bomba principal (6) es sustituida por la fuerza del desnivel (derivada de la fuerza gravitacional) de un embalse superior (22) en lo alto de una planicie montañosa; los otros equipos y estructuras del sistema son idénticos en dimensiones y funciones a los del primer modo de realización.
- 50
27. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 26, que presenta una bomba motorizada (23) que suministrará agua del nivel inferior al embalse superior (22) para su uso como desnivel para recirculación.
- 55
28. Un sistema hidroeléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 27, en el que el líquido utilizado no es agua sino otro líquido tal como aceite, mercurio elemental u otros; para tales líquidos, los canales de toma deben ser redimensionados para adecuarse a sus respectivos conjuntos de densidad; módulos de compresión de elasticidad, viscosidad y presión de vapor.

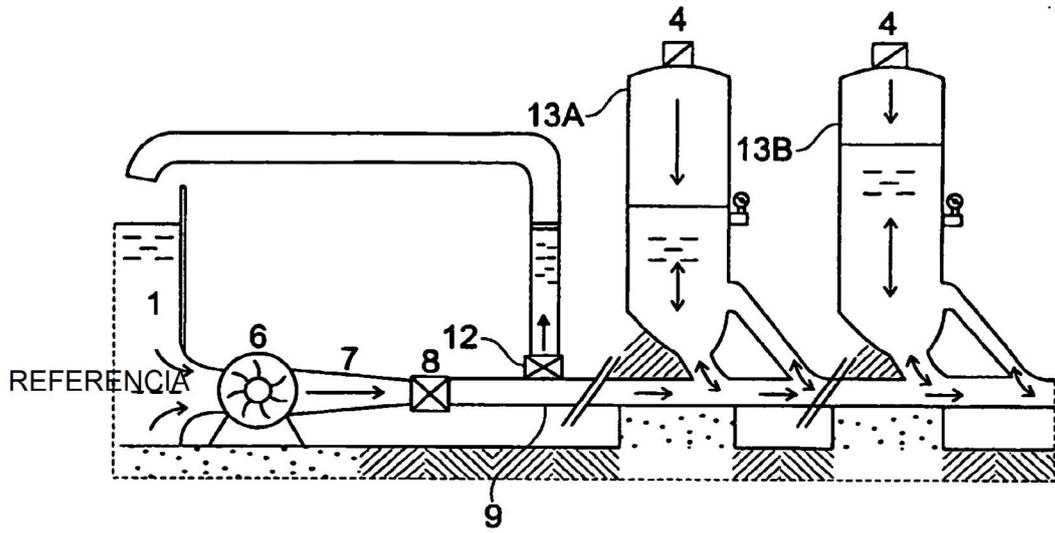


Fig. 1

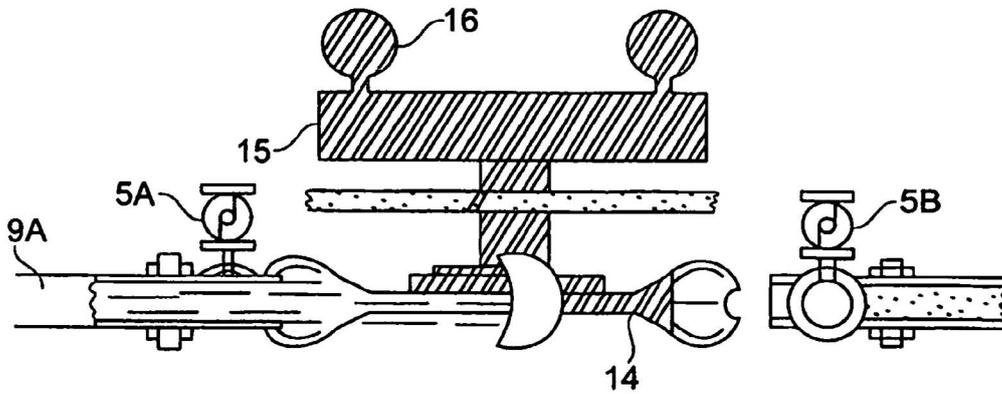


Fig. 2

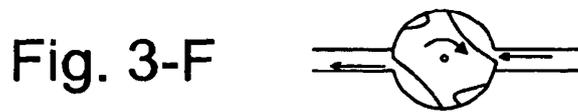
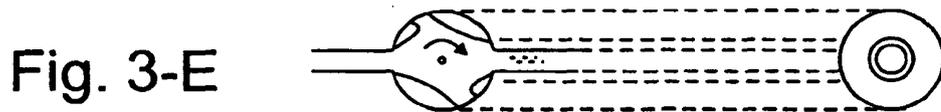
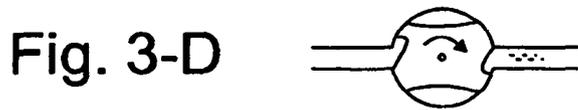
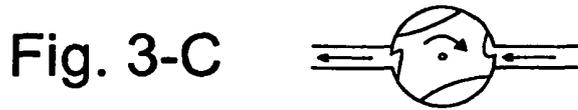
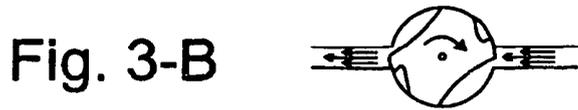


Fig. 4

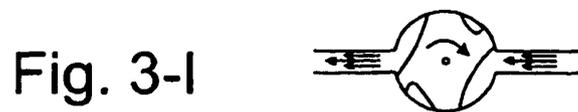
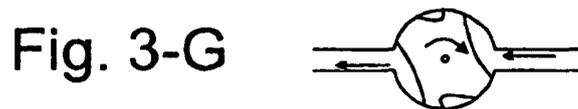


Fig. 3

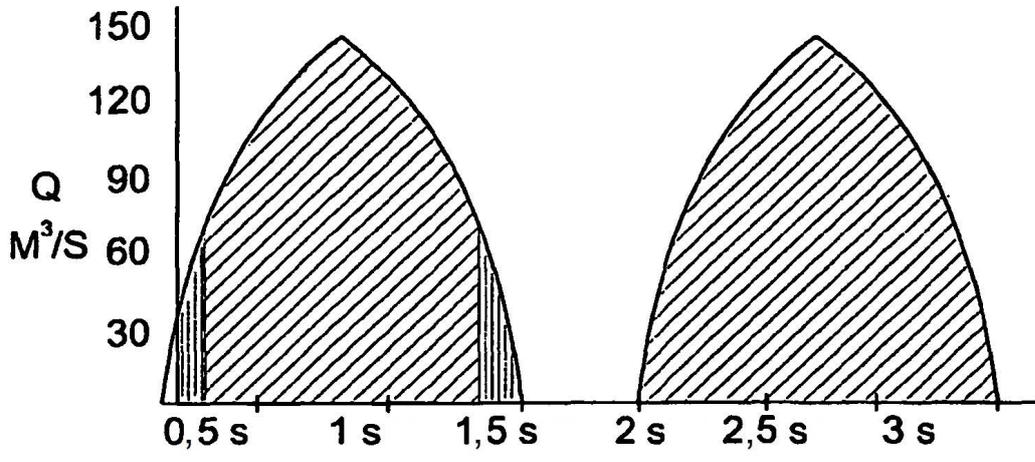


Fig. 5

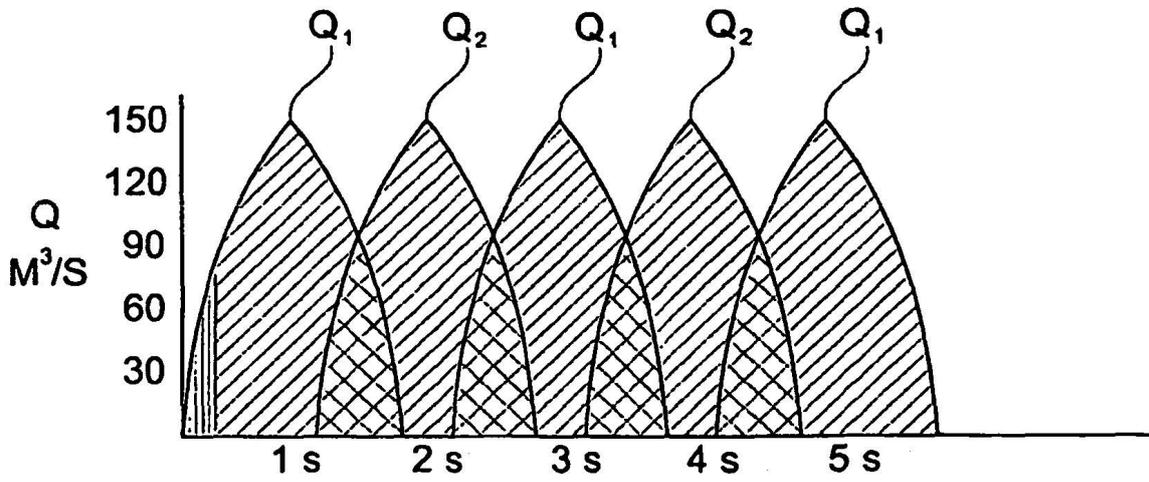


Fig. 6

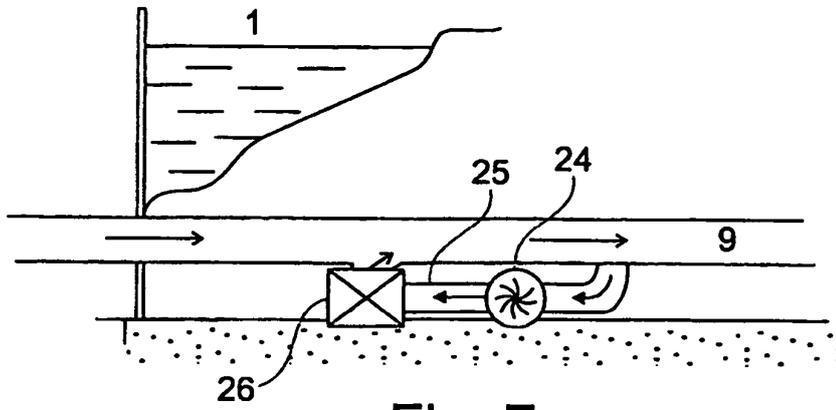


Fig. 7

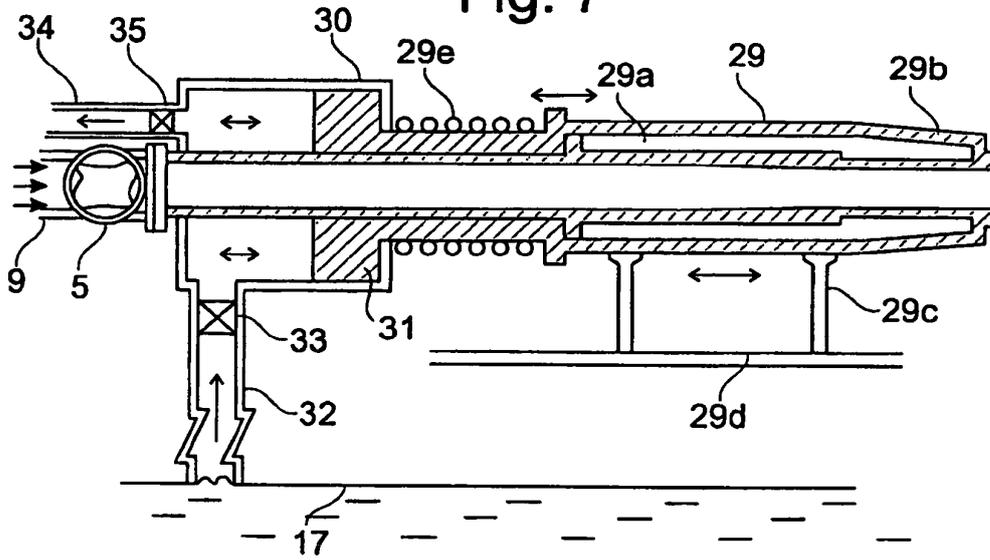


Fig. 8

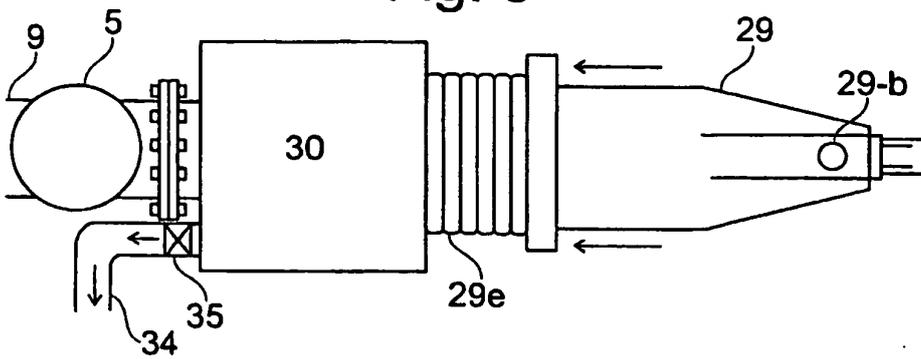


Fig. 9

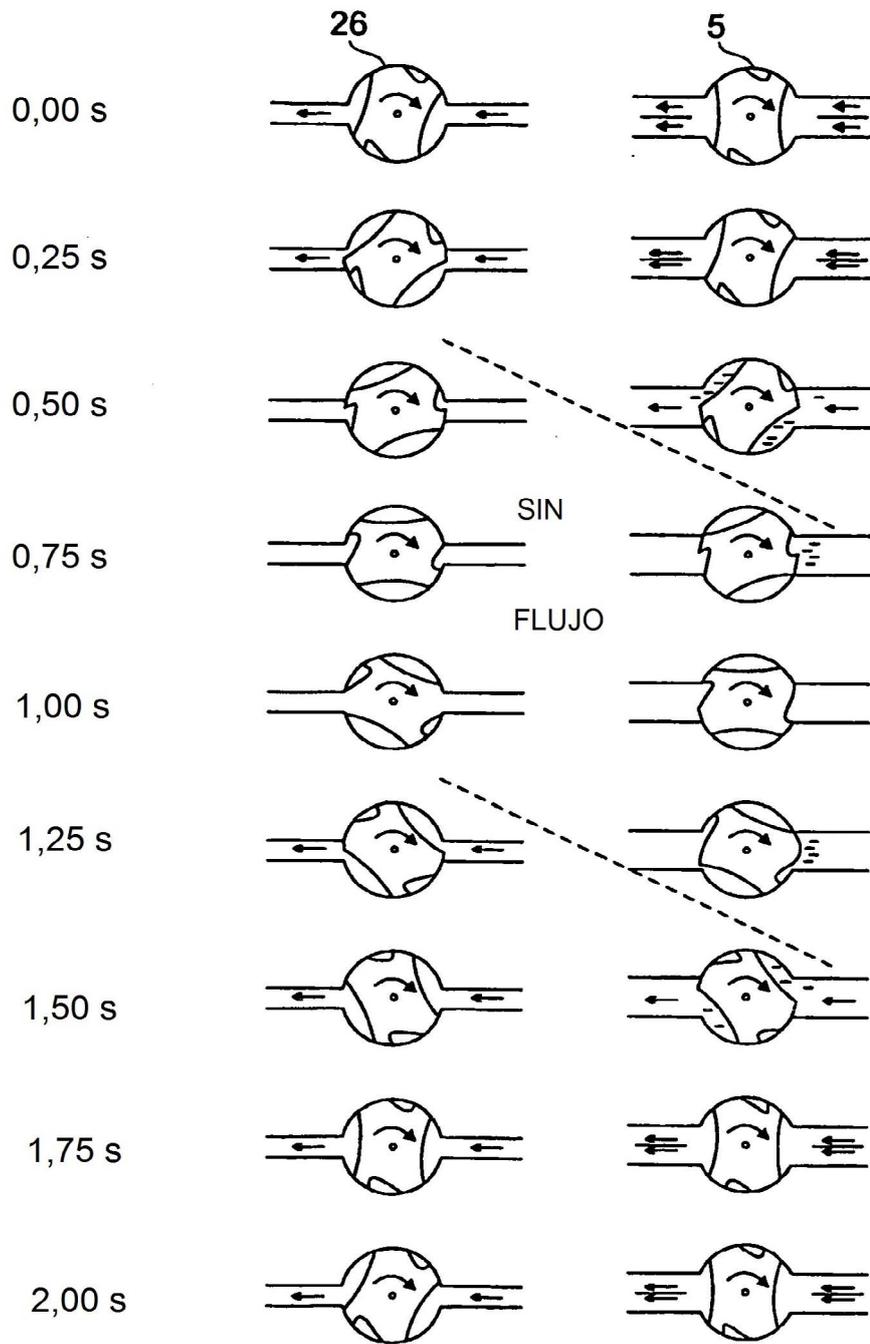


Fig. 10

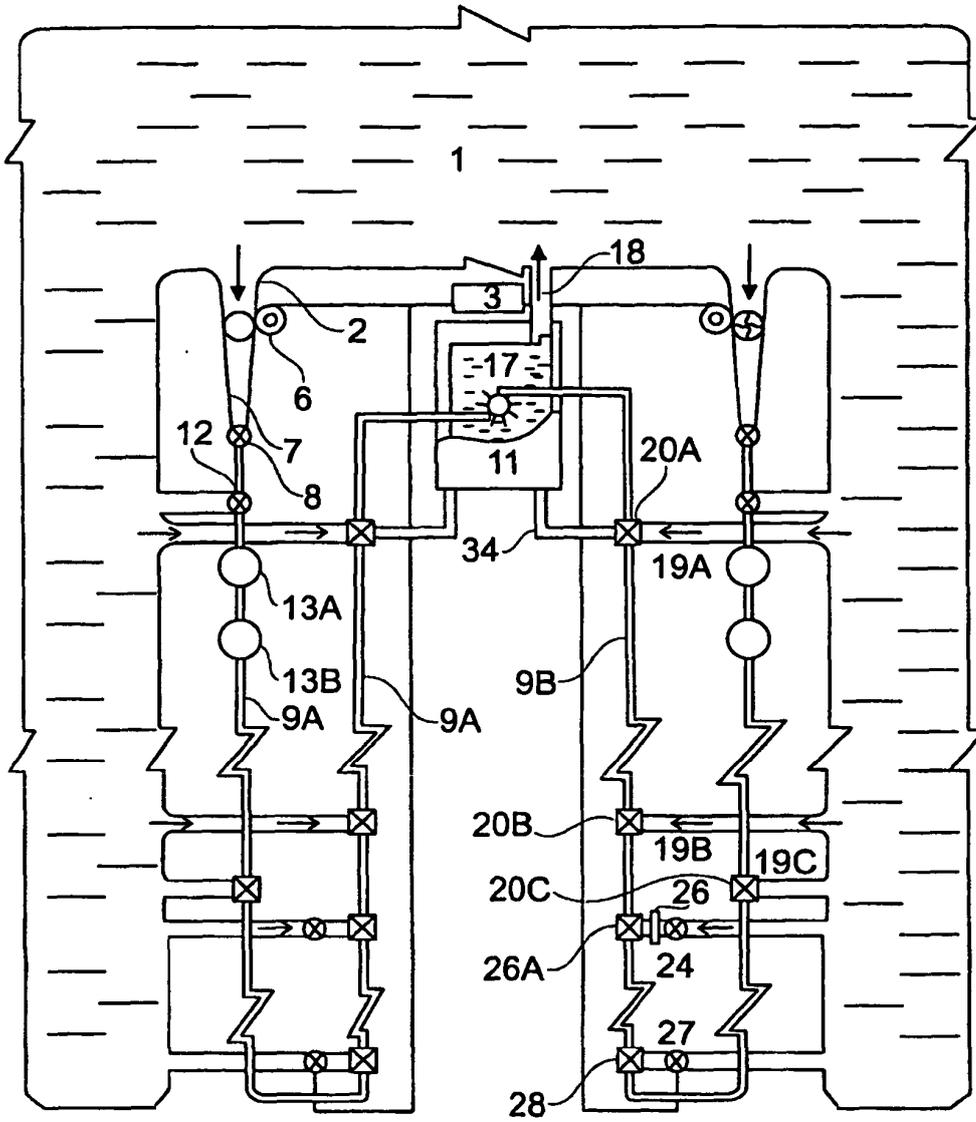


Fig. 11

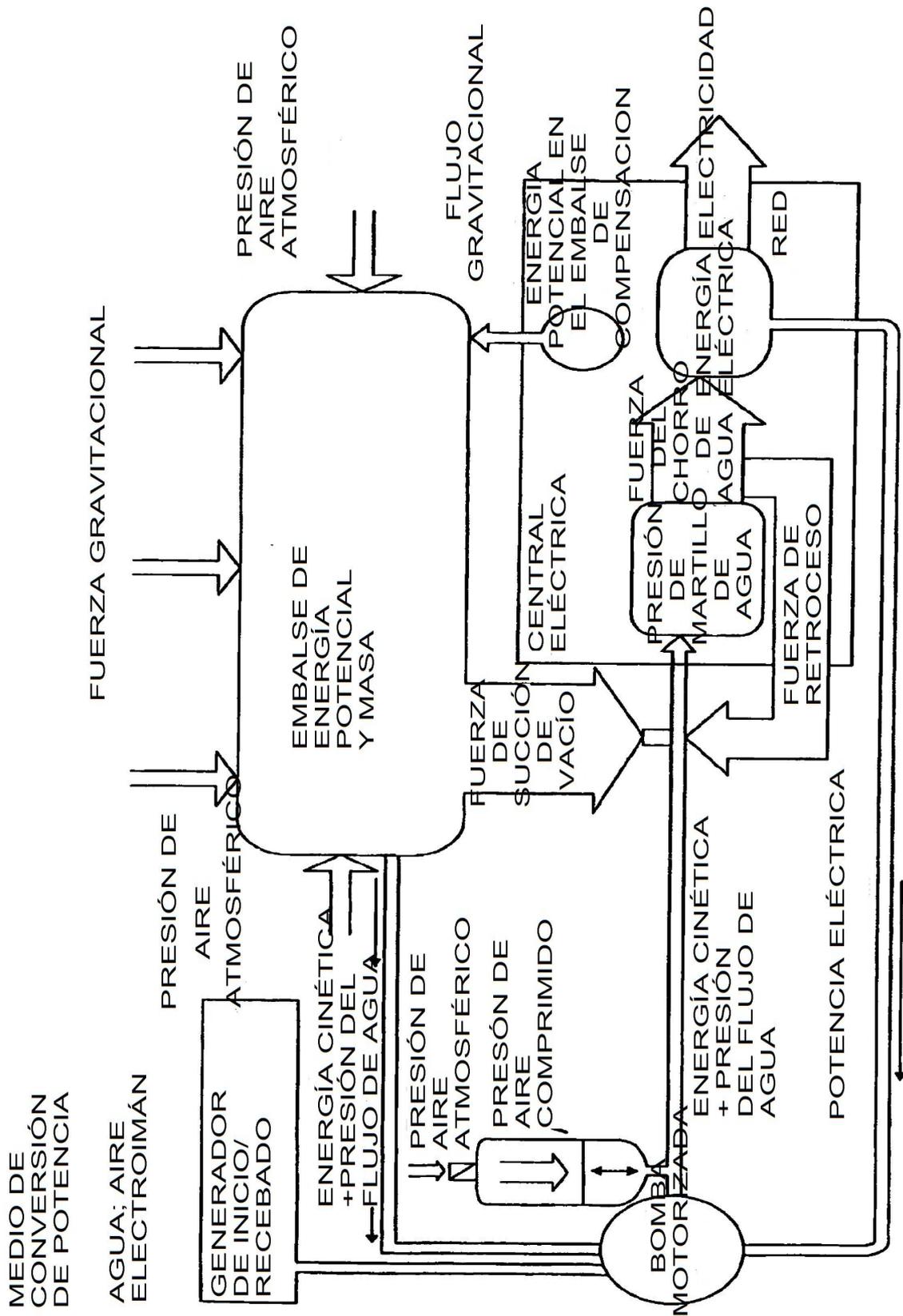


Fig. 12

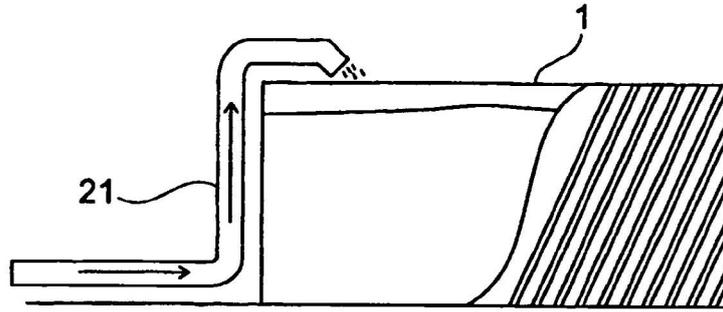


Fig. 13

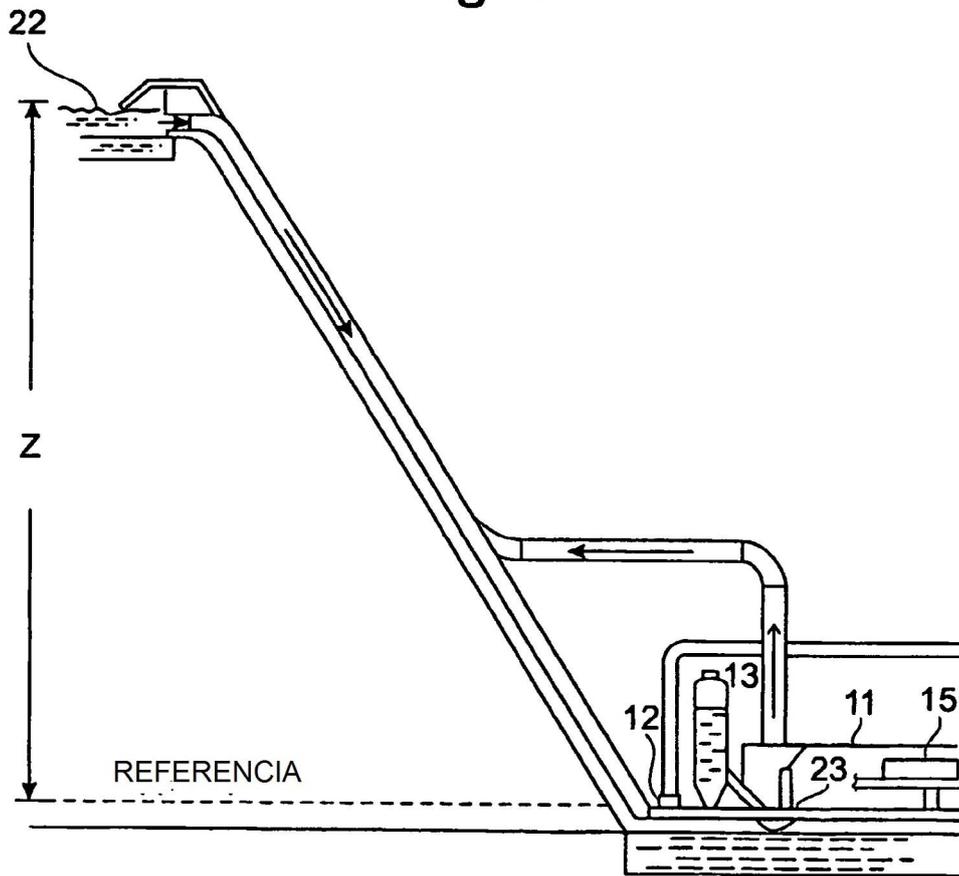


Fig. 14