

## **BOMBA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ZONA DE VILLA MERCEDES (SAN LUIS)**

Jorge Di Gennaro, Victor Rodrigo\*, Antonio Rossi \*

\*Universidad Nacional de San Luis - Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales  
Avenida 25 de Mayo 384 (5730) V.Mercedes - San Luis - Tel. (0657)30954/30980 - Fax (0657)33790  
E-mail rodrigo @fices.unsl.edu.ar

#Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedermera (5700) San Luis - E-mail solar@unsl.edu.ar

### **RESUMEN.**

Se formula una propuesta para extraer aguas subterráneas mediante un dispositivo que opera con aire comprimido. Se describen las características y etapas de operación del dispositivo, energía requerida, potencia y caudales posibles de obtener. Finalmente se evalúa su costo y las ventajas sobre otros dispositivos existentes.-

### **INTRODUCCION**

En la región de influencia de Villa Mercedes, dedicada a los cultivos extensivos y a la ganadería se requiere extraer aguas subterráneas, para la alimentación del ganado y de los propios habitantes rurales. Esta se encuentra a una profundidad promedio de unos 60-80 metros. Los actuales procedimientos empleados, bombas para la extracción sumergidas en la perforación, cilindros con pistones y juntas de cuero, varillas extremadamente larga para mover dichos pistones etc., tienen por estas características importantes desventajas que se suscitan a la hora de efectuar su reparación o mantenimiento. El costo es en consecuencia elevado y esto trae como resultado numerosos casos de abandono de la instalación y con ello de la actividad. Por esta causa se penso desarrollar un dispositivo que no tuviera partes móviles para que los costos de mantenimiento y reparación se reducen notablemente, además permite que sea el mismo obrero rural el que lo lleve a cabo. Una bomba de Aire Comprimido reunirá estas condiciones y el compresor se accionara mediante paneles fotovoltaicos reduciendo así los gastos en combustible y acarreo de este, dado que la mayor parte de esta región rural carece de corriente eléctrica. Además, es de hacer notar, la simpleza en la construcción del dispositivo, ya que consta de un tubo, que dependiendo de la perforación y del nivel estático del agua, puede ser de 50mm, 75mm, 100mm, 150mm, de diámetro, por el largo, que tenga como condición superar el nivel del liquido. El costo del mismo es muy bajo, ya que solo necesita (además de los caños de elevación del agua, que es comun para cualquier sistema de extracción de líquidos) un trozo de tubo cuyo diámetro sea de 1,5 a 2 veces superior al caño de elevación y dos válvulas de retención, una para llenado de la cámara y otra para elevación. Como este dispositivo esta en una etapa de experimentación, nos proponemos hacer una relación -aire comprimido, altura, pero de acuerdo a datos teóricos que estamos manejando, vemos que es bastante factible la extracción de agua a profundidades no mayores de 20-30 metros ya que la generación de aire comprimido para esas medidas, corresponderia 2,5-4 Kg/cm<sup>2</sup>, no es muy difícil conseguir las con compresores normales. Generar aire comprimido a mayor presión y caudal es mas complicado, pensando que lo vamos a realizar a través de energía solar o eólica. Es por ello que se tiene en mente, que para profundidades mayores a 20-30 metros repetir el sistema o sea el dispositivo, en serie cada 20 metros, lo que resulta con ello trabajar con una presión no superior a los 3-3,5 Kg/cm<sup>2</sup> y además cuando el dispositivo mas profundo, el que esta sumergido, produce la expansión del aire se inyectaría al dispositivo dos y así sucesivamente cuantos dispositivos tenga, y con ello ahorraríamos aire comprimido.

### **DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO.**

A continuación, hacemos la descripción de una de las posibles maneras de llevar a la practica el Dispositivo, en relación a la figura "1". La fuente de aire comprimido a una presión "Po" mayor que la presión atmosférica, se halla comunicada, por una tubería de aire, con una cámara sumergida en el agua, estando la base superior de dicha cámara, a la altura de la superficie libre del agua en el pozo, o no. De la cámara, sale la tubería de agua, que se eleva hasta la superficie terrestre y esta comunicada con la atmósfera. Al comenzar el funcionamiento, la cámara esta llena de agua hasta la superficie libre, que ha ingresado por la válvula de retención "Rc" ( estando abierta la válvula "B" de comunicación con la atmósfera y cerrada la válvula "A" de comunicación con la fuente de aire comprimido, fig."1"). El agua también ha ingresado a la tubería de agua, por la válvula de retención "Rt" hasta la superficie libre. En determinado instante, se cierra la válvula "B" y se abre la "A", con lo cual, la presión "Po", actuando sobre el agua de la cámara, la obliga a ingresar a la tubería de agua, a través de "Rt", (mientras ha obligado a cerrarse a "Rc"). Cuando el agua en la cámara ha descendido hasta su nivel unos pocos centímetros por encima de "Rt"(nivel mínimo), ha ascendido en la tubería de agua hasta la superficie terrestre; en ese instante, se cierra "A" y se abre "B", de modo que la cámara queda comunicada con la atmósfera y el agua ingresa a ella por "Rc" hasta la superficie libre. El agua de la tubería de agua, no ha descendido, porque se lo ha impedido "Rt". De esta manera, la bomba ha quedado cebada, la tubería esta llena de agua hasta la superficie terrestre. Inmediatamente, se abre "A" y se cierra "B", la presión "Po" obliga al agua a ingresar a la tubería, con lo cual, ya se obtiene agua a la salida. Cuando el agua desciende hasta unos centímetros por encima de "Rt", (nivel mínimo), se cierra "A" y se abre "B" y el agua ingresa nuevamente a la cámara hasta la superficie libre, completando un ciclo. Se abre "A" se cierra "B", etc.

### **VOLÚMENES**

**Volumen de la cámara - "Vc"**

Es el volumen comprendido entre los niveles máximo, (superficie libre del agua en el pozo) y mínimo, del agua en la cámara, (altura L). Siendo "D" el diámetro de la cámara y "d" el de la tubería del agua, este volumen es  $V_c = (\pi D^2/4)L - (\pi d^2/4)L = (\pi L/4)(D^2 - d^2)$

### Volumen de la tubería de agua

"Vt".- Es el volumen de tubería de agua comprendido entre la superficie libre del agua en el pozo y la superficie terrestre (altura "H")  $V_t = (\pi d^2/4)H$ .

### Relación entre "Vt" y "Vc"

Como hemos dicho que cuando el agua ha descendido a su nivel mínimo en la cámara, ha ascendido hasta la superficie terrestre en la tubería, debe ser

$$L = d^2 \cdot H / (D^2 - d^2) \quad (1a)$$

### Presión

Presión "Po" en la fuente de aire comprimido. La presión "Po" será la necesaria para equilibrar una columna de agua de altura H+L, mas la pat, cuando el agua ha llegado a su nivel mínimo en la cámara; o sea

$$P_o = p_{at} + \Gamma \cdot (H + L) \quad (2)$$

De esta forma, al llegar el agua al nivel mínimo en la cámara, se producirá un equilibrio estático y se detendrá el movimiento del agua. Observar que, estando la tubería, llena de agua, el movimiento del agua se inicia, cuando el aire en la cámara alcanza la presión  $p_{at} + \Gamma \cdot H$

### TIEMPOS.

Tiempo de vaciado de la cámara. Es el tiempo de descenso "L" del agua en la cámara, estando la tubería de agua, llena de agua. Es el tiempo activo o útil de la bomba. Se trata de un régimen no permanente, al cual lo simplificamos, usando un método aproximado, que consiste en suponer una sucesión de infinitos estados de régimen permanente. En un instante cualquiera, la altura del agua sobre su nivel mínimo, que va disminuyendo, tiene un valor "h"; en ese instante planteamos la ecuación de la energía entre la superficie libre en la cámara y la salida de la tubería a la atmósfera. Teniendo en cuenta que el movimiento del agua se inicia cuando la presión del aire en la cámara es  $p_{at} + \Gamma \cdot H$  y finaliza cuando esta presión es  $P_o = p_{at} + \Gamma \cdot (H + L)$ , siendo L relativamente pequeña respecto a H, supondremos  $p = P_o$  en la cámara; por otra parte, despreciamos la velocidad del agua en la cámara frente a la velocidad en la tubería. Tomando como nivel de referencia, el nivel mínimo, resulta

$$P_o/\Gamma + h - (K+f(H+L)/d) V^2/2g = p_{at}/\Gamma + (H+L) + V^2/2g$$

$$t = \sqrt{(2C/g)} \cdot A/S \cdot \sqrt{L} \quad (3) \text{ Tiempo activo.}$$

Debe tenerse en cuenta, que esta ecuación, además de ser aproximada, contiene el coeficiente "P" de pérdidas en la tubería de agua y el coef. "K" de pérdidas en la válvula "Rt", cuyos valores son inciertos, si no se conocen materiales, dimensiones, formas, etc., que aun no conocemos. De cualquier manera no son valores exactos, en cálculos preliminares, adoptaremos valores, consultando tablas, pero los valores definitivos de este tiempo activo, surgirán de ensayos empíricos.

### Tiempo de Cebado;

Es el tiempo del descenso L del agua en la Cámara, como en el caso anterior, pero mientras la tubería se esta llenando. Este tiempo puede suponerse menor que el Tiempo Activo dado por la (3), porque la columna "h" de agua en la tubería, por encima del nivel del pozo, no es constante, sino que varía desde 0 hasta H.

### Tiempo de llenado de la cámara;

Este tiempo puede suponerse menor que el tiempo activo dado por la (3), por ser mas libre el flujo del agua, en este caso. Los valores preliminares de los tiempos de Cebado y llenado de la Camara, se estimaran como un porcentaje del tiempo Activo, (70 a 80 %), pero los valores definitivos surgirán de los ensayos.

### ENERGÍA Y POTENCIA;

#### Energía Neta

La energía neta necesaria para elevar la unidad de peso de agua desde el nivel del pozo hasta la superficie terrestre, (altura H), surge de aplicar la Ecuación de la Energía de la Mecánica de los Fluidos entre ambos niveles, sin tener en cuenta las pérdidas. Si llamamos Eup, a esta energía por unidad de peso, la ecuación es

$p_{at}/\Gamma + E_{up} = p_{at}/\Gamma + H$  de donde  $E_{up} = H$  (4) Energía Neta para elevar una altura "H" la unidad de peso, que es el aumento de Energía Potencial de la unidad de peso. Entonces la Energía necesaria para elevar una altura H, el peso  $\Gamma \cdot V_c$  de agua contenida en el volumen  $V_c$  de la cámara .-

$E = \Gamma \cdot Vc \text{ Eup} = \Gamma \cdot Vc \cdot H$  (4a) Energía Neta para elevar una altura H el peso  $\Gamma \cdot Vc$ .  
 La Potencia Neta necesaria depende del caudal "Q" y es .  
 $\text{Pot.} = \Gamma \cdot Q \cdot \text{Eup} = \Gamma \cdot Q \cdot H$  (5) Potencia Neta

### ENERGÍA REQUERIDA POR LA BOMBA:

Dejando de lado las pérdidas de energía en los conductos y en la bomba, la energía requerida por la bomba, para elevar el peso  $P = \Gamma \cdot Vc$  de agua, una altura H, consta de dos partes, que son

1) Aumento de la Energía Potencial del peso ( $\Gamma \cdot Vc$ ) de agua :

$E = \Gamma \cdot Vc \cdot H$  que es la Energía Neta

2) Trabajo de Compresión del Aire :

$Tci = [\text{pat} + \Gamma (H+L)] \cdot [Vc + Va] \cdot \ln [ (\text{pat} + \Gamma \cdot (H+L)) / \text{pat} ]$  (5a) Trabajo de Comp. Isotérmica , o bien

$Tci = [\text{pat} + \Gamma \cdot (H+L)] \cdot [V/c + Va] \cdot \ln [ 1 + \Gamma \cdot (H + L) / \text{pat} ]$  (5a) .

Entonces, la Energía requerida por la bomba es  $EB = E + Tci$  (6) Energía requerida por la bomba .

Entonces, para entregar una energía E, la bomba requiere una energía

$E + Tci$ , siendo Tci el exceso de energía requerida. En relación a la Energía Neta, E la Energía requerida por la bomba es ;

$Ebr = EB / E = (E + Tci) / E = 1 + Tci / E$  (7) Energía de la Bomba Relativa .-

Reemplazando E y Tci , obtenemos :

$Ebr = 1 + [ (\text{pat} + \Gamma (H + L)) / (\Gamma \cdot H) ] \cdot [ 1 + Va/Vc ] \cdot \ln [ 1 + \Gamma \cdot (H+L) / \text{pat} ]$  (7a)

### Potencia de la Bomba

En el Tiempo activo, dado por la (3), la bomba requiere una Energía EB, dada por la (6) y la (5a) ; entonces, la potencia es  $P = (E + Tci) / [ \sqrt{(2C / g)} \cdot (A / S) \cdot \sqrt{L} ]$  (8) Potencia de la Bomba

### CAUDALES:

#### Caudal de Agua :

En el tiempo activo t, dado por la (3), la bomba entrega un volumen de agua igual al volumen  $Vc$  de la cámara; de donde, el caudal en este tiempo, es  $Q = Vc / t$  (9) caudal de Agua. Si consideramos el ciclo completo, debemos agregar el tiempo  $t'$  de llenado de la cámara, durante el cual el caudal es nulo, y obtenemos un caudal medio:

$Qm = Vc / (t + t')$  (9a)

#### Caudal de Aire:

Al iniciarse el tiempo activo, existe en la tubería de aire, un volumen  $Va$  de aire a presión atmosférica y temperatura ambiente T. Al finalizar el tiempo activo existe un volumen  $Vc + Va$ , de aire a presión  $\text{pat} + \Gamma (H + L)$  y a temperatura ambiente T. Suponiendo un gas perfecto, a la misma Temperatura T, este volumen  $Vc + Va$ , a la presión atmosférica, aumenta y alcanza el valor:

$V' = [ \text{pat} + \Gamma (H + L) ] \cdot (Vc + Va) / \text{pat}$  (10)

Entonces, el volumen V de aire a  $\text{pat}$  y T, (Aire Normal), que ha sido entregado por la fuente de Aire Comprimido, es :  
 $V = V' - Va$  (10 a) .

Con lo cual, el caudal de aire, en el tiempo activo t, es  $Qa = V / t$  (11) Caudal de Aire.

### NOMENCLATURA

Pat. Presión atmosférica

T. temperatura ambiente.

Po. Presión en la fuente de aire comprimido.

g. Aceleración gravitatoria.

$\Gamma$ . Peso específico del agua.

Rt. Válvula de retención de la tubería de agua.

Rc. Válvula de retención de la cámara.

H. Profundidad de la superficie libre del agua.

d. Diámetro de la tubería de agua.

S. AREA de la sección de la tubería de agua.

Vt. Volumen de la tubería de agua por encima de la superficie libre.

L. Longitud de la tubería de agua por debajo de la superficie libre.

M. Diámetro de la cámara.

N. Area de la sección de la cámara.

Vc. Volumen de la cámara.

Va. Volumen de la tubería de aire.

t. Tiempo activo.

Q. Caudal de agua en la tubería de agua durante el tiempo activo.

R. Coeficiente de pérdidas en la válvula Rt.

f. Coeficiente de pérdidas en la tubería de agua durante el tiempo activo.

$$C = 1 + K + f \cdot (H + L) / d.$$

D. Energía neta para elevar una altura H un peso  $\Gamma V_c$  de agua .

Pot. Potencia neta .

Qa. Caudal de aire.

Tci. Trabajo de compresión isotérmica del aire.

EB. Energía requerida por la bomba.

Ebr. Energía de la bomba relativa.

P. Potencia de la bomba.

V. Volumen de Aire Normal entregado por la fuente de aire comprimido.

$$V': V + V_a$$

Figura 1

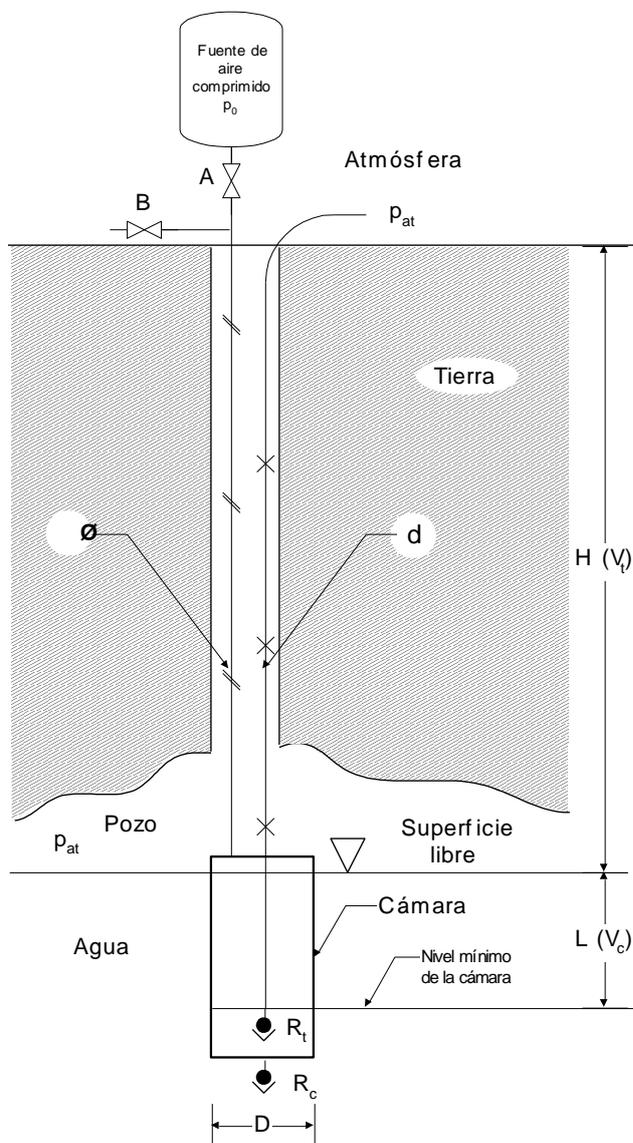


Figura 1

