

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

Victor RODRIGO, Jorge DI'GENNARO, Sergio RIBOTTA, Ricardo MONASTEROLO

Universidad Nacional de San Luis - Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales  
Avenida 25 de Mayo 384 (5730) V.Mercedes - San Luis - Tel. (02657)-430954/430980 - Fax (02657)-430790  
E-mail: rodrigo@fices.unsl.edu.ar monaster@fices.unsl.edu.ar sribotta@fices.unsl.edu.ar

### **RESUMEN**

El presente trabajo está basado sobre tres notas técnicas presentadas anteriormente (ASADES '97, '98 y '99). Aquí, en este trabajo presentamos una nueva variante en la bomba neumática, que ha diferencia de las anteriores, en donde la extracción de agua es discontinua, el servicio ahora es continuo. Presentamos a continuación tablas de ensayos practicados con niveles de agua, por encima de la parte superior del prototipo nuevo FROIMOD-III, con profundidades hasta 30 metros y las diferencias entre caudal del prototipo anterior y el nuevo. Además se presenta un plano del nuevo prototipo. Todos estos ensayos practicados al anterior y al nuevo prototipo FROIMOD-III están funcionando en conjunto con un equipo de paneles solares (para generar energía eléctrica), baterías (para almacenamiento), convertidor, (para convertir y elevar la tensión continua en alterna), compresor (para generar aire comprimido y accionar la bomba) y un PLC (para comandar los tiempos de carga y descarga del nuevo dispositivo con dos cámaras).

**PALABRAS CLAVE:** aire comprimido, agua, bomba, extracción, rural, solar

### **PROTOTIPO**

Se construyó un prototipo con dos cámaras que están en paralelo comunicadas entre sí por la tubería de expulsión de agua a la superficie a través de una T, cada una de las cámaras se carga de agua independientemente por medio de una válvula de retención que deja ingresar agua y una vez equilibrados los niveles se cierra automáticamente. La posición de ambas cámaras con respecto al nivel estático de la perforación deberá ser siempre en estos casos 1,5 (+0.3) metros por debajo de la misma ya que a esa profundidad (1,5 metros) el tiempo de carga de ambas cámaras tiene que ser igual entre sí, dato fundamental para programar el PLC, el tiempo de descarga o de impulsión del agua a la superficie también tiene que ser igual entre ambas cámaras, pero en gran parte la expulsión del agua de las cámaras, dependen de la presión que se le imponga a cada una de las cámaras a través de las electro válvulas EV1 y EV2.

El prototipo FROIMOD-III esta diseñado para profundidades entre 1 y 30 metros aproximadamente, de modo de hacer ensayos, mediciones y observar el funcionamiento de los tiempos de carga y descarga del dispositivo de doble cámara en función del nivel estático de la perforación y de la presión de trabajo.

- Nivel 4 cota 1,50 metros (medido por encima de la parte superior del dispositivo)
- Tiempo de carga 1,00 segundo para cada una de las cámaras.
- Tiempo de descarga 1 segundo para cada una de las cámaras.

Las principales partes del prototipo FROIMOD-III- son las siguientes:

- Consta de dos cámaras de iguales dimensiones y tienen además cada una, una válvula de retención en la entrada de 50mm de diámetro (2 pulgadas) TR1-1 y TR1-2, y en la salida o elevación de agua a la superficie, cañería de 12,5mm (½ pulgada) con una válvula de retención en cada cámara TR2-1 y TR2-2, apenas sale de la misma, de ½ pulgada y luego ambas cañerías se unen a través de una T de 12,5 mm (½ pulgada) donde se conecta la cañería que eleva el agua a la superficie. Además se encuentran a 0,50 metros del nivel estático del agua dos electro válvula, una para cada una de las cámaras, que le inyectan aire comprimido, secuencialmente.

### **DIMENSIONES**

$L_t = 520$  mm (longitud total del dispositivo con ambas cámaras en paralelo)

$L_c = 370$  mm (longitud de ambas cámaras)

$L = 250$  mm (diferencia de altura entre los niveles superior e inferior en ambas cámaras)

$D = 48$  mm (diámetro interior de cada una de las cámaras)

$D_1 = 12,5$  mm (diámetro de la tubería de elevación de agua de ambos dispositivos)

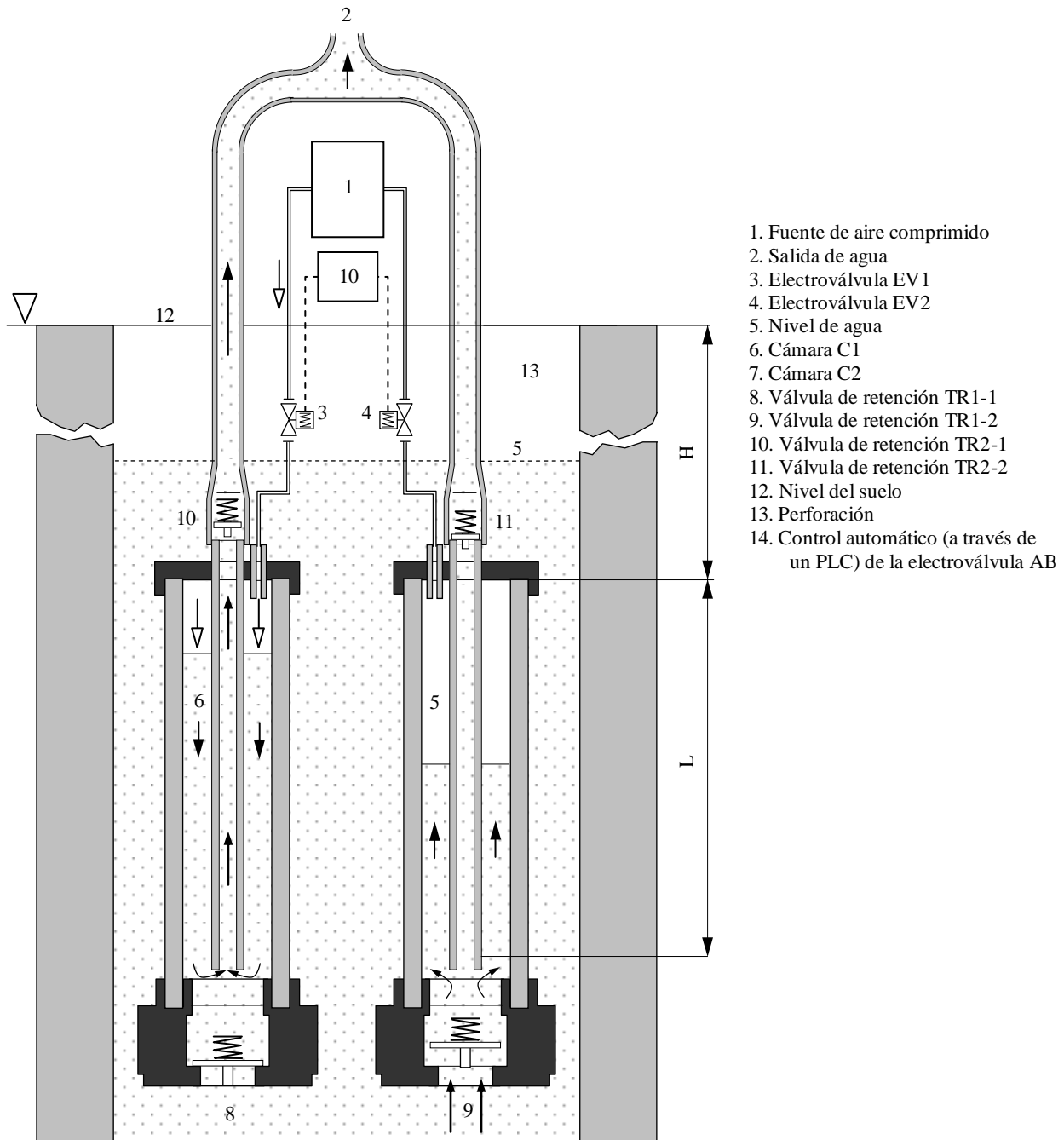
$V_c = 0,38$  l (volumen de cada una de las cámaras entre los niveles superior e inferior)

$V_o = 0,00$  l (volúmenes de las tuberías de aire entre las válvulas y los dispositivos (se conectaron las dos electro válvulas de aire comprimido muy próximas al dispositivo)

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento, mostrado en la Figura 1, se basa en generar una mayor presión que la atmosférica, en la cámaras C1 y C2, de forma tal que el agua por diferencia de presión suba a la superficie ya que encuentra en la misma menor presión.

El sistema funciona de la siguiente manera: Cuando ambas cámaras, C1 Y C2, se encuentran sumergidas en la perforación, 1,5



**Figura 1**

*Croquis esquemático de la bomba neumática FROIMOD III (dos en paralelo) indicando las partes principales y los componentes de la misma. La finalidad de esta disposición es evitar que el flujo de agua sea intermitente, transformándolo prácticamente en continuo.*

metros por debajo del nivel estático del agua (sabiendo por experiencias anteriores que ha esa cota de nivel de agua el tiempo de carga de las cámaras es de un segundo), sin haber actuado todavía ninguna de las dos electro válvulas, E1 y E2, de aire comprimido, ambas cámaras por efecto de la presión de agua se llenan del mismo elemento a la misma vez, y se cierran automáticamente las válvulas de retención, TR1-1 y TR1-2, que se encuentran en la base de cada una de las cámaras. Luego se

energiza el PLC (a través del convertidor que recibe energía de las baterías que se cargan con los respectivos paneles solares), el cual da energía a la electroválvula EV1, inyectando aire comprimido a la cámara C1, a una presión necesaria para que el tiempo de descarga también sea de un segundo.

Una décima de segundo antes de cortar la energía a la electroválvula EV1, el PLC energiza ahora la electroválvula EV2, inyectándole aire comprimido a la cámara C2, con la misma presión que se le inyectó a la cámara C1, ya que ambas electroválvulas están conectadas al mismo compresor. Una décima de segundo antes de cortar la energía a la electroválvula EV2 el PLC energiza ahora la electroválvula EV1, inyectándole aire comprimido a la cámara C1 y así sucesivamente, logrando que el fluido elemento salga en la superficie prácticamente como un chorro continuo.

## ENSAYOS

Con el prototipo FROIMOD-III, se realizaron varias experiencias, de las cuales, entre las más relevantes son los cinco ensayos siguientes; para distintos valores de hasta 30 metros de profundidad máxima, los parámetros evaluados son:

- H [m]: Profundidad [metros]
- $P_t$  [atm]: Presión de trabajo, la misma para los dos prototipos (relativa) [ $\sim \text{Kg/cm}^2$ ]
- C [l/h] P1: Caudal a 1.50 metros, cota primer prototipo con una sola cámara [litro/hora]
- **C [l/h] P2**: Caudal a 1,50 metros cota, prototipo FROIMOD-III con dos cámaras. (litro/hora)
- $E_1$  [Wh/l] 1: Energía por litro primer prototipo con una sola cámara [Watt-hora/litro]
- **$E_1$  [Wh/l] 2**: Energía por litro, prototipo FROIMOD-III con una dos cámaras [Watt-hora/litro]
- T [seg]: Tiempo total del ciclo primer prototipo [segundo]
- $T_c$  [s]: Tiempo de carga para ambas cámaras, prototipo FROIMOD-III [segundo]
- $T_d$  [s]: Tiempo de descarga para ambas cámaras, prototipo FROIMOD-III [segundo]
- % A: Porcentaje de aumento de agua de extracción.

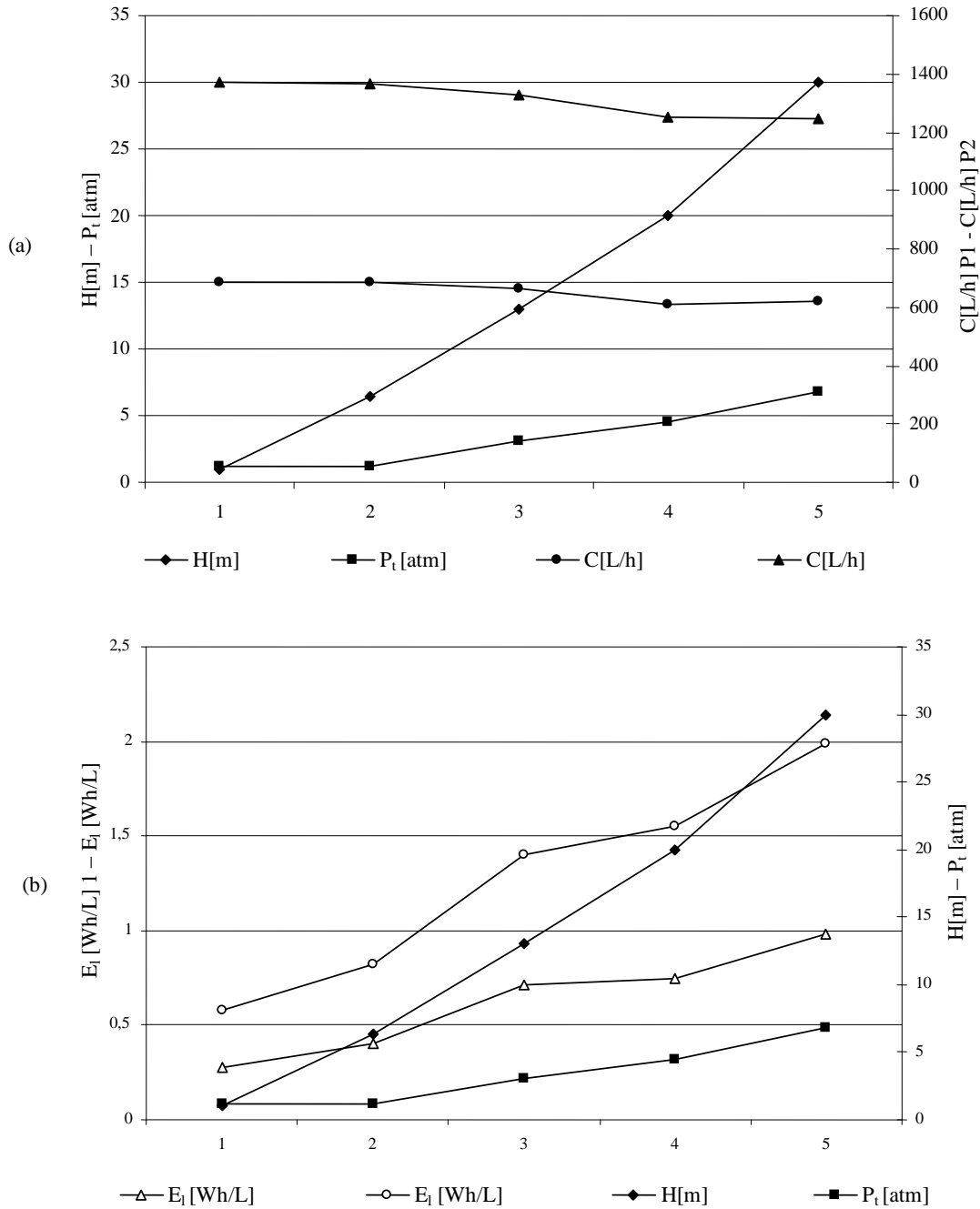
Los resultados obtenidos de estas cinco experiencias son las que muestran en la Tabla 1

<b>Tabla 1</b>										
<i>Valores de los parámetros representativos de la bomba neumática (prototipo I y FROIMOD-III) para cinco experiencias.</i>										
	H [m]	$P_t$ [atm]	C [l/h] P1	<b>C [l/h] P2</b>	$E_1$ [Wh/l] 1	<b><math>E_1</math> [Wh/l] 2</b>	$T_c$ [s]	$T_d$ [s]	T [s]	% A
1	1	1,2	684	<b>1370</b>	0,28	<b>0,58</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	2.00	100
2	6,4	1,2	684	<b>1365</b>	0,4	<b>0,82</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	2.00	99,56
3	13	3,1	662	<b>1330</b>	0,71	<b>1,40</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	2.00	100
4	20	4,5	610	<b>1250</b>	0,75	<b>1,55</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	2.00	100
5	30	6,8	623	<b>1245</b>	0.98	<b>1,99</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	2.00	99.8

## GRAFICOS

En el Gráfico 1 a) se encuentran las curvas de altura H[m], presión  $P_t$ [atm] y caudal para el prototipo I (C[l/h] P1), y el caudal para el prototipo FROIMOD-III (C[l/h] P2). En el mismo se observa el aumento de caudal en un 100% aproximadamente en la mayoría de los cinco casos, para las distintas alturas de extracción, mientras que la presión de expulsión es la misma para ambos prototipos en las distintas experiencias. Este aumento de caudal se debe a que mientras una de las cámaras se encuentra expulsando el agua a la superficie, la otra cámara en el mismo tiempo se está cargando con agua, y cuando la primera cámara deja de expulsar agua, la otra en ese mismo instante comienza a expulsar el agua a la superficie, mientras que la primera está cargándose de agua en su interior, y así sucesivamente.

En el Gráfico 1 b) se ven las curvas de altura H[m], presión  $P_t$ [atm], energía consumida por litro de extracción de agua para el prototipo I ( $E_1$  [Wh/l] 1), energía consumida por litro de extracción de agua para el prototipo FROIMOD-III ( $E_1$  [Wh/l] 2). En el mismo se observa el aumento de energía por litro de extracción de agua en los cinco casos expuestos, mientras que la presión de expulsión es igual para ambos prototipos y en la misma experiencia, este aumento se debe a que ahora son dos las cámaras que están funcionando alternativamente logrando con ello que la extracción de agua no sea un proceso discontinuo (cada 1 segundo extraía o impulsaba 38cc de agua a la superficie), sino que el proceso de extracción o impulsión de agua a la superficie sea en prácticamente forma continua y sin interrupciones.



**Gráfico 1**

En las gráficas (a) y (b) se muestran los parámetros representativos de la bomba neumática para cinco experiencias.

(a) Se encuentran las curvas de altura  $H[m]$ , presión  $P_i[atm]$  y caudal para el prototipo I ( $C[l/h]$  P1), y el caudal para el prototipo FROIMOD-III ( $C[l/h]$  P2).

(b) Se ven las curvas de altura  $H[m]$ , presión  $P_i[atm]$ , energía consumida por litro de extracción de agua para el prototipo I ( $E_i$  [Wh/l] 1), energía consumida por litro de extracción de agua para el prototipo FROIMOD-III ( $E_i$  [Wh/l] 2).

## CONCLUSIONES

La principal conclusión es que el equipo en su conjunto (paneles, solares, regulador, baterías, convertidor, PLC compresor, electroválvulas y cámaras) funciona de acuerdo con bastante exactitud de acuerdo a las predicciones teóricas.

El prototipo FROIMOD-III tiene una gran ventaja con respecto al anterior, y es que el servicio de agua ahora es continuo y la otra ventaja es que puede regularse a través del PLC los tiempos de carga y de descarga tanto en función de la presión que se le inyecta, como así también del caudal que se desea extraer o en función también de la carga de las baterías.

Se ha logrado caudales de agua muy aproximados a lo que extrae un molino cuyo cilindro sea de 2 ½ pulgadas y con viento constante, con la ventaja que en este caso, se puede acumular la energía solar a través de la energía eléctrica con acumuladores, y poder hacer uso de la misma cuando más se lo requiera. Se vuelve hacer hincapié en el hecho de la simplicidad, del bajo costo de instalación y del bajo mantenimiento del sistema en su totalidad, ya que en la perforación, por debajo del nivel estático del agua se encuentran las cámaras C1 y C2 que no poseen partes móviles (pistón o varilla para mover el mismo cuyo desgaste sea prematuro, tal como sucede en el molino a viento).

## ABSTRACT

The present work is based on three notes techniques presented previously (ASADES '97, '98 and '99). Here, in this work we present a new variant in the pneumatic bomb, that there is difference of the previous, ones where the extraction of water is discontinuous, the service now is continuous. Next, we present charts of rehearsals practiced with levels of water, above the superior part of the new prototype FROIMOD-III, with depths until 30 meters and the differences between flow of the previous prototype and the new one. A plane of the new prototype is also presented. All these rehearsals practiced to the previous one and the new prototype FROIMOD-III are working together with a equipment of solar panels (to generate electric power), batteries (to store), conversor, (to convert and to elevate the continuous voltage to alternating), compressor (to generate compressed air and to activate the bomb) and a PLC (to command the times of load and discharge of the new device with two cameras).

## BIBLIOGRAFIA

- DIGENNARO J., RODRIGO V., ROSSI, A. (1997)– Bomba de aire comprimido para la extracción de aguas subterráneas en la zona de V. Mercedes (San Luis) - ASADES –Vol 1 Nro. 2 Pág 189 – Río Cuarto (Córdoba).
- DIGENNARO J., RODRIGO V., RIBOTTA, S. y MONASTEROLO R. (1998) – Bomba de aire comprimido para la extracción de aguas subterráneas en la zona de V. Mercedes (San Luis) - ASADES –Vol 2 Nro. 2 Pág 06-37 – Salta.
- DIGENNARO J., RODRIGO V., RIBOTTA, S. y MONASTEROLO R. (1999)– Bomba de aire comprimido para la extracción de aguas subterráneas en la zona de V. Mercedes (San Luis) - ASADES – Vol 3 Nro. 2 Pág 07-36 – Tucumán.
- MATAIX C. (1978) – Mecánica de los fluidos y máquinas hidráulicas – Harper & Row Publishers Inc.