

ALTERNATIVA PARA LA EXTRACCION DE AGUA MEDIANTE ENERGÍA SOLAR

V. RODRIGO, S. RIBOTTA, R. MONASTEROLO and A. FASULO

Laboratorio de Energías Alternativas – Universidad Nacional de San Luis
25 de Mayo 384 7530 Villa Mercedes - San Luis - Argentina

Fax: 0054 2652 430224 - e-mail: rodrigo@fices.unsl.edu.ar - afasulo@unsl.edu.ar

RESUMEN

Un nuevo elemento para la extracción de aguas subterráneas es presentado en este trabajo. El dispositivo está constituido por una bomba neumática la cual es accionada mediante paneles fotovoltaicos. El sistema, bomba neumática y paneles fotovoltaicos, propone una alternativa a las técnicas actuales constituidas por una bomba sumergida, accionada con molinos de viento, que disponen en la actualidad las regiones alejadas de las redes de provisión de energía eléctrica. La principal ventaja del sistema expuesto radica en su bajo costo de mantenimiento y construcción. Presentamos el principio de funcionamiento, el modelo demostrativo construido, los resultados experimentales y distintas alternativas. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la factibilidad de llevar a cabo la propuesta, con las ventajas enunciadas. Por sus características, materiales comunes, tecnología sencilla se concluye que el dispositivo podría ser aplicado en otras regiones del planeta que presentan problemática similar.

INTRODUCCIÓN

Villa Mercedes (San Luis), está ubicada al centro oeste de la Argentina. Se encuentra en la zona de transición entre la pampa seca, al este, y el desierto que se extiende hacia el oeste hasta la cordillera de los andes. Esta región posee una población rural dispersa que se dedica a los cultivos extensivos y a la ganadería y se requiere extraer aguas subterráneas para el ganado y los propios habitantes rurales. Se encuentra a una profundidad promedio de unos 60-80 metros o más. El acceso a los sistemas convencionales de energía, eléctrico por red o transporte de combustibles no es rentable. Situaciones similares a esta la podemos hallar en diferentes partes del mundo. Uno de los actuales métodos empleados son los molinos eólicos, para la extracción de agua. Estos están constituidos por una bomba para la extracción de agua, sumergida en la perforación, cilindro con pistón, juntas de cuero y varillas extremadamente largas para mover el pistón (longitud de la varilla igual a la del pozo). Debido a estas características presenta importantes desventajas en el momento de efectuar su montaje, 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.

La finalidad de este trabajo es presentar una alternativa para el suministro de agua para zonas aisladas. Con esta alternativa se busca resolver los problemas, que en la región, presenta el uso de los actuales sistemas. Este objetivo se alcanza mediante un novedoso sistema de extracción de agua subterránea, mediante la aplicación de una bomba neumática. La energía para su funcionamiento es aportada por la radiación solar. De manera paralela y conjunta nuestro proyecto de investigación realiza el estudio sobre:

1. **El sistema de bombeo neumático.** Se desarrolló íntegramente, desde la etapa de investigación, diseño, prueba, y ejecución completa del sistema. Se llevaron a cabo continuos desarrollos y modificaciones

que han permitido ir mejorando la eficiencia y el alcance de este sistema de extracción de agua a profundidad.

2. **El recurso solar disponible en la zona.** Se determinó la radiación solar global y difusa en valores horarios sobre una superficie inclinada. Luego en función de las necesidades de consumo previstas y de los recursos energéticos se determinó el sistema fotovoltaico necesario. Se efectuó la determinación de costos y la comparación con distintas variantes o alternativas indicando las ventajas y desventajas técnico-económicas para cada caso.

BOMBA NEUMÁTICA: Descripción y funcionamiento

Se trata de un dispositivo para extraer agua a cierta profundidad, por medio de aire comprimido. En la figura 1, la fuente de aire comprimido (1) se comunica por una pequeña tubería (diámetro 6mm) con la cámara (5) sumergida en el agua. De esta cámara (5), sale otra tubería (2), (diámetro 12mm) que se eleva hasta el nivel del terreno comunicándose con la atmósfera. Inicialmente cuando se pone la bomba en funcionamiento, la cámara y la cañería están llenas de agua hasta el nivel estático (4), el agua ingresa a la cámara (5), a través de las válvulas de retención TR1 (6) debido a que la electroválvula de dos vías (3) comunica la cámara (5) a la atmósfera. En determinado instante, se energiza la electroválvula y se invierte el sentido de la misma, con lo cual la presión del aire comprimido, actúa sobre el agua en la cámara (5), aumentando la presión en el interior, por lo tanto el agua sale por la cañería (2) a través de la válvula de retención TR2 (7), en donde encuentra la presión atmosférica, que es menor que la presión impuesta en la cámara. De igual manera la presión (en la cámara) cierra la válvula de retención TR1 (6). El agua, por lo tanto, asciende por la cañería (2), mientras descende en la cámara (5), hasta el nivel inferior. Entonces en la electroválvula (3), se interrumpe la energía y cambia de sentido, se cierra la válvula de retención (7) por el peso del agua contenida en la cañería (2) y se reinicia el ciclo.

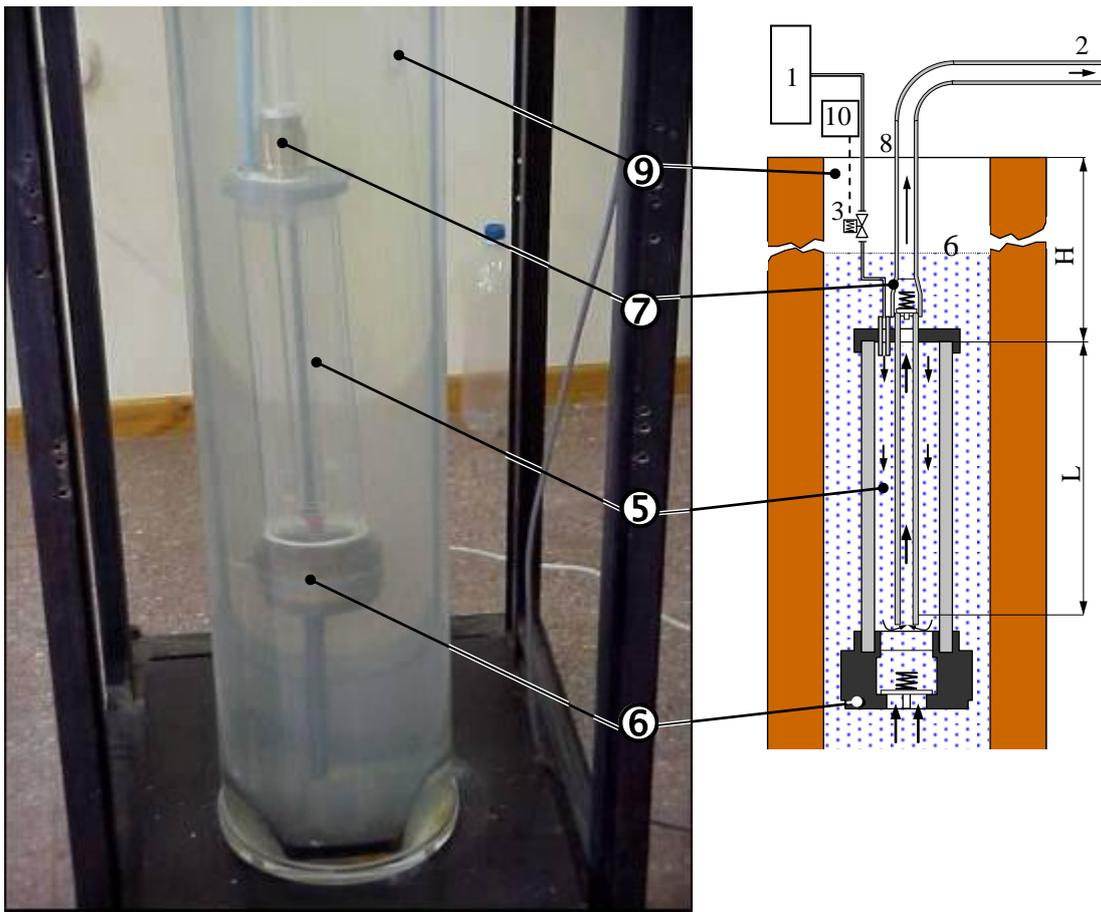


Figura 1. Foto y croquis de la bomba neumática simple. Donde: (1) Fuente de aire comprimido; (2) Salida de agua; (3) Electroválvula AB; (4) Nivel de agua; (5) Cámara; (6) Válvula de retención TR1; (7) Válvula de retención TR2; (8) Nivel del suelo; (9) Perforación; (10) Controlador de tiempos lógicos programable (CTLTP - Control automático de la electroválvula AB).

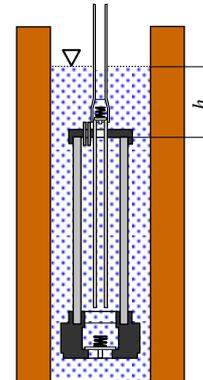
Ensayos y resultados

Con el prototipo descrito en la figura 1 se determinó el tiempo de llenado (a presión atmosférica) de la cámara (5) en función de la posición relativa de la bomba con respecto al nivel estático del agua en la perforación. Los resultados obtenidos son expresados en la Tabla 1

TABLA 1
Tiempo de llenado de la cámara (a presión atmosférica) en función de la posición de la bomba con respecto al nivel estático del agua en la perforación.

Donde: #: experiencia; h [m]: diferencia relativa de altura entre la bomba y el nivel estático del agua en la perforación; t [s]: tiempo de llenado

#	h [m]	t [s]
nivel 1	0,00 m	3,00 s
nivel 2	0,50 m	2,50 s
nivel 3	1,00 m	1,20 s.
nivel 4	1,50 m	1,00 s
nivel 5	1,75 m	0,90 s



En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos sobre el funcionamiento de la bomba sumergida a una profundidad relativa de 0,5 metros (nivel 2) sobre la base de once ensayos.

TABLA 2

Valores característicos sobre el funcionamiento de la bomba para las primeras once experiencias a una misma profundidad de 0,5 metros de agua por encima de la bomba.

Donde: #: experiencia; H [m]: profundidad; CC [l]: caudal por ciclo; C [l/h]: Caudal; P_t [atm]: presión de trabajo (relativa); E_c [W-h]: energía por ciclo; E_l [W-h/l]: energía por litro; T [seg]: tiempo de cada ciclo; T_p [seg]: tiempo pasivo de cada ciclo (no se entrega agua) y T_a [seg]: tiempo activo de cada ciclo (se entrega agua).

#	H [m]	P_t [atm]	C [l/h]	CC [l]	E_c [W-h]	E_l [W-h/l]	T [s]	T_p [s]	T_a [s]
1	1,0	0,8	372	0,38	0,093	0,24	3,7	2,5	1,2
2	1,0	1,2	384	0,38	0,098	0,28	3,5	2,5	1,0
3	1,0	1,5	398	0,38	0,102	0,30	3,4	2,5	0,9
4	1,0	2,0	420	0,38	0,123	0,32	3,2	2,5	0,7
5	6,4	1,2	327	0,38	0,143	0,40	3,5	2,5	1,0
6	6,4	2,0	410	0,38	0,176	0,46	3,3	2,5	0,8
7	6,4	3,0	415	0,38	0,200	0,52	3,2	2,5	0,7
8	6,4	4,0	427	0,38	0,186	0,53	2,9	2,5	0,4
9	13	2,0	334	0,38	0,220	0,58	4,0	2,5	1,5
10	13	3,0	384	0,38	0,270	0,71	3,6	2,5	1,1
11	13	4,0	404	0,38	0,310	0,81	3,4	2,5	0,9

Posteriormente, utilizando el mismo prototipo se realizaron trece nuevas experiencias, para distintos valores de profundidad hasta treinta metros respecto al nivel del suelo. De esta manera a través de los ensayos se realizaron las mediciones y se observó su funcionamiento. Se analizaron dos casos, el primero con la bomba sumergida a una profundidad relativa de 0,5 metros (nivel 2) y el segundo con la bomba sumergida a una profundidad relativa de 1,5 metros (nivel 4). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3

Valores característicos sobre el funcionamiento de la bomba para trece experiencias a nivel 2 (N2) y nivel 4 (N4)

Donde: #: experiencia; H [m]: profundidad de la bomba con respecto al nivel del suelo; P_t [atm]: presión de trabajo (relativa); E_t [W-h/l]: energía por litro; t_e [s]: tiempo de expulsión del agua; t [s]: tiempo total del ciclo (carga y descarga); C [l/h]: caudal

#	H [m]	P_t [atm]	E_t [W-h/l]	t_e [s]	Nivel 2		Nivel 4	
					t [s]	C [l/h]	t [s]	C [l/h]
1	1	0,8	0,24	1,20	3,70	372	2,20	630
2	1	1,2	0,28	1,00	3,50	384	2,00	684
3	1	1,5	0,3	0,90	3,40	398	1,90	720
4	1	2	0,32	0,70	3,20	420	1,70	804
5	6,4	1,2	0,4	1,00	3,50	327	2,00	684
6	6,4	2	0,46	0,80	3,30	410	1,80	760
7	6,4	3	0,52	0,70	3,20	415	1,70	804
8	6,4	4	0,53	0,40	2,90	427	1,40	977
9	13	2	0,58	1,50	4,00	334	2,50	567
10	13	3	0,71	1,10	3,60	384	2,10	652
11	13	4	0,81	0,90	3,40	404	1,90	720
12	20	4	0,75	1,30	3,80	330	2,30	594
13	30	6	0,98	1,45	3,95	320	2,45	559

Por ejemplo para la experiencia #7, para un tiempo de carga de 2,5 s correspondiente a una profundidad de la bomba de 0,50 m por debajo del nivel estático del agua (Nivel 2 - Tabla 1), le corresponde un caudal de 415 l/h (Tabla 3). Para la misma experiencia, pero a una profundidad de la bomba con respecto al nivel de agua estático de 1,5 m (Nivel 4 – Tabla 1) le corresponde un tiempo de carga de 1 s, lográndose un caudal de 804 l/h. De esta manera se puede observar que para una misma presión de extracción (P_t) y altura (H) se produce un aumento en el caudal de extracción de aproximadamente 389 litros de agua por hora. La cámara del prototipo con la cual se realizaron estas experiencias posee un volumen de 38 cm³.

Este aumento en el caudal de extracción, se debe a la disminución de los tiempos tanto de carga como de descarga. Para ello es necesario conocer con exactitud el tiempo de carga en la cámara, que está introducida en el agua en la perforación, como así también el tiempo de expulsión del mismo, siendo éste también dependiente de la presión del aire comprimido que se le inyecta a la cámara. Con estos valores se desarrolló y construyó un controlador de tiempos lógico programable (CTLP), el cual permite temporizar, visualizar y ajustar los tiempos de comando de la electroválvula.

De los ensayos, surge también, que sumergiendo más la cámara, se reduce el tiempo de carga y se consigue aumentar el caudal. Vemos que para extracciones de 30 metros la presión varía entre 4 a 6 Kg/cm², y para una mayor profundidad, la presión de inyección de aire comprimido aumenta considerablemente.

Debido a ello se diseñó un nuevo sistema de extracción para profundidades mayores a los 30 metros, colocando una segunda cámara a treinta metros por encima de la anterior. En la Figura 2 se presenta un esquema global, para la extracción de agua a profundidad con este sistema.

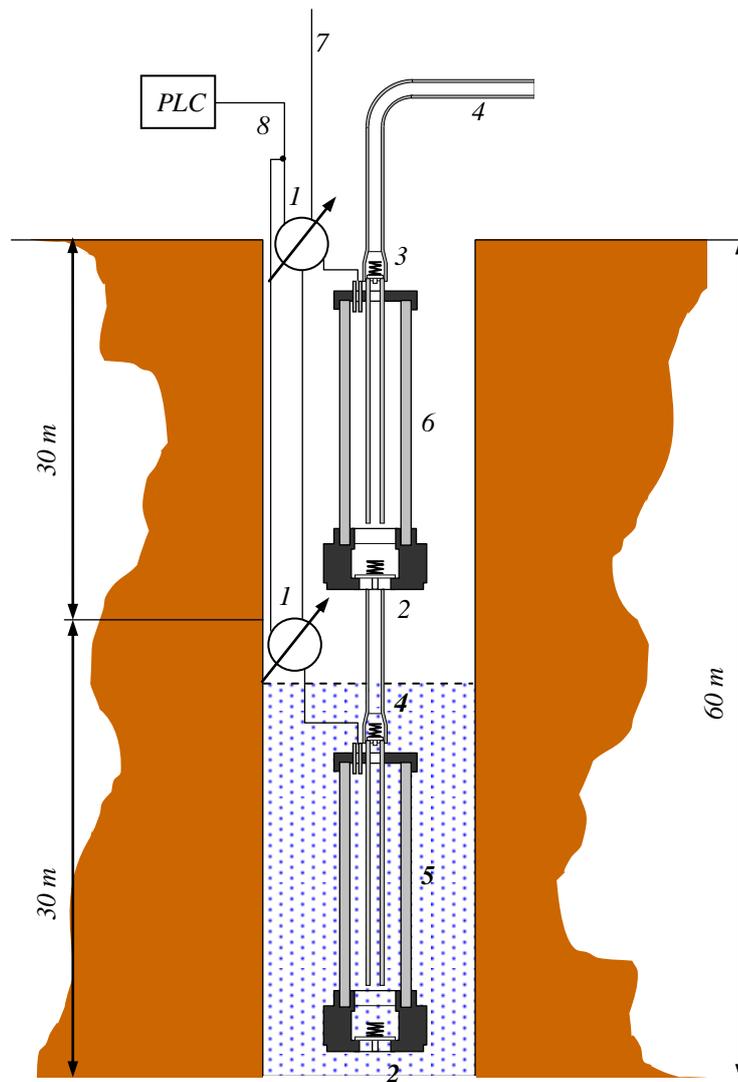


Figura 2. Corte esquemático del sistema de bombeo de agua mediante aire comprimido de dos etapas. Donde: (1) electroválvula de aire comprimido; (2) válvula de retención 2 ½"; (3) válvula de retención ¾"; (4) caño ¾"; (5) cámara 1; (6) cámara 2; (7) cañería ¾" de aire comprimido; (8) circuito eléctrico de comando de electroválvulas

A través del controlador de tiempos lógico programable (CTLP), se comandan las dos electroválvulas de aire comprimido(1), de apertura y cierre, una ubicada a 60 metros de profundidad en la cámara (5) y la otra ubicada a 30 metros en la segunda cámara (6). La secuencia de funcionamiento de ambas cámaras es la siguiente: cuando la cámara 1 (5) se encuentra sumergida dentro del agua, 1,50 metros por debajo del nivel de la misma, tarda 1 segundo en cargarse, en ese mismo instante la cámara 2 (6) a través del CTLP y de la electroválvula (1) le inyecta aire comprimido a una presión de 4-6 Kg/cm² y expulsa el agua a la superficie. Luego de transcurrido un segundo el CTLP corta la energía de la electroválvula de la cámara 2 (6) y energiza la electroválvula de la cámara 1 (5) inyectando aire comprimido a la misma presión; de este modo se aumenta la presión dentro de la cámara 1 (5), encausando el agua hacia la cámara 2, luego corta la energía a la electroválvula y energiza la otra y así sucesivamente. Es decir que el tiempo de impulsión de la cámara 2 (6) es el mismo tiempo de carga de la cámara 1 (5) y el tiempo de carga de la cámara 2 (6) es el tiempo de impulsión de la cámara 1 (5), este funcionamiento armónico de los distintos tiempos de carga y descarga de ambas cámaras se logra a través del CTLP.

Con ello conseguimos trabajar con menores presiones de aire comprimido tanto en la expulsión del agua como la generación de aire comprimido (entre 4 a 6 Kg/cm²), ya que para extraer agua a 60 metros de profundidad con una sola cámara necesitaríamos entre 8 a 10 Kg/cm² de presión de aire comprimido. Todas estas experiencias se realizaron con simuladores de profundidad a través de distintas válvulas de escapes previamente seleccionadas y calibradas para poder así controlar los distintos tiempos de impulsión

y de carga de ambas cámaras como también regular las presiones de trabajo, para que con todos estos datos poder determinar la potencia eléctrica necesaria para la extracción de agua a distintas profundidades. Del análisis del funcionamiento, surge claramente que se trabaja con presiones que son la mitad de las presiones necesarias cuando se tiene la segunda cámara conectadas en serie.

En los anteriores sistemas ensayados de la bomba neumática (Figuras 1 y 2), existe el inconveniente que debido a la intermitencia propia entre el ciclo de carga y descarga se producía un caudal de agua que era discontinuo o intermitente. Este inconveniente se solucionó a través del estudio de una nueva disposición para la bomba neumática existente. Básicamente consiste en asociar dos bombas en paralelo (Figura 3), de manera que cuando una bomba se halle en la etapa de carga la otra esté en la etapa de descarga y viceversa. De esta manera se logro satisfacer el objetivo básico que era el de obtener un caudal de agua prácticamente continuo, por ende también se logro un mayor caudal, comparado con una sola cámara en el mismo periodo de tiempo.

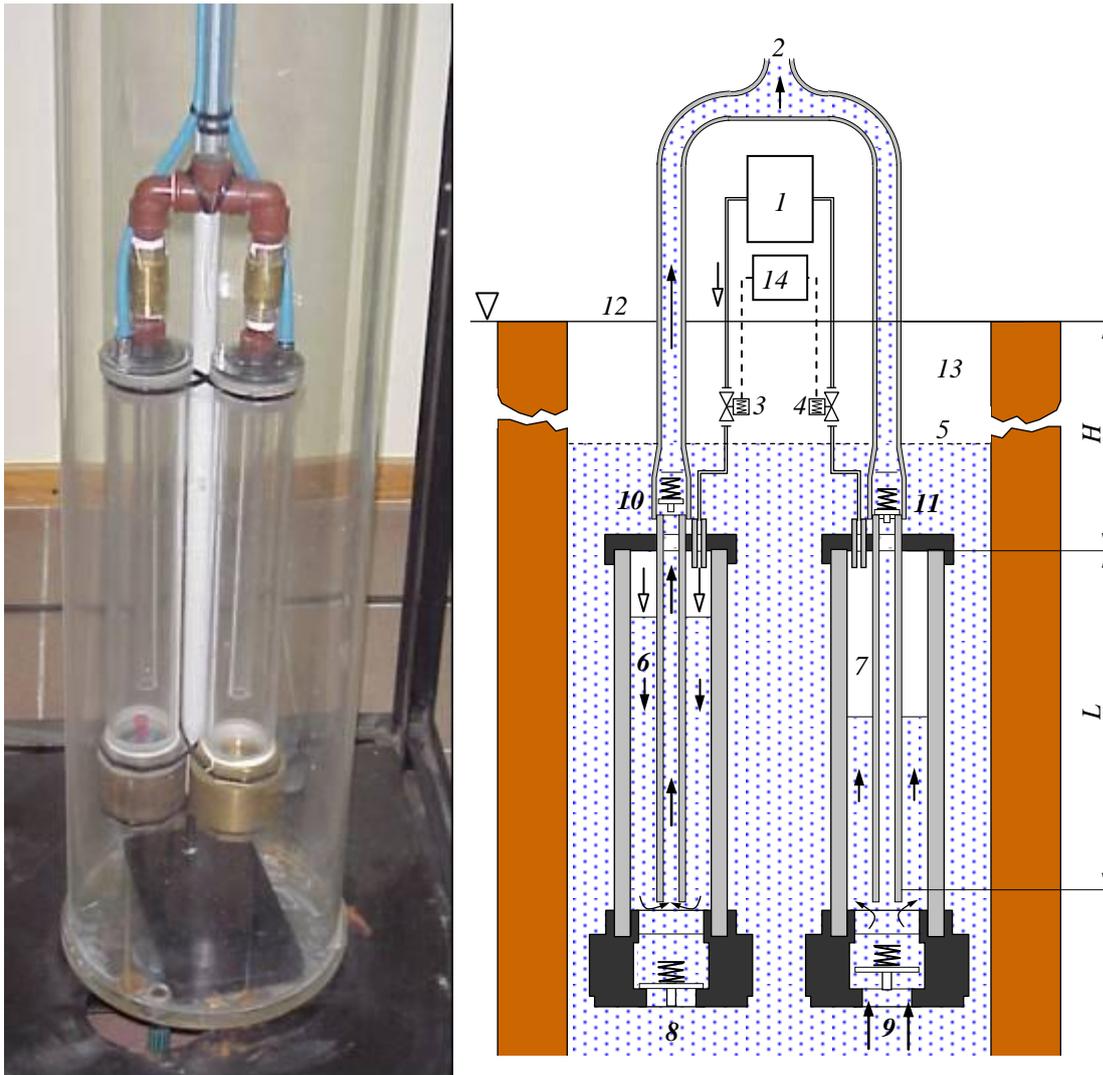


Figura 3. Foto y croquis del sistema de bombeo en paralelo. Donde: (1) fuente de aire comprimido; (2) salida de agua; (3) electroválvula EV1; (4) electroválvula EV2; (5) nivel de agua; (6) cámara C1; (7) cámara C2; (8) válvula de retención TR1-1; (9) válvula de retención TR1-2; (10) válvula de retención TR2-1; (11) válvula de retención TR2-2; (12) nivel del suelo; (13) perforación; (14) control automático (CTLP) de la electroválvula AB

El sistema mostrado en la Figura 3 posee dos cámaras, C1 (6) y C2 (7) que están en paralelo sumergidas en el agua, comunicadas entre sí por la tubería de expulsión de agua a la superficie a través de dos válvulas de retención (en las salidas de cada cámara, TR2-1 (10) y TR2-2 (11)) y un accesorio “T” que une ambas salidas. Cada una de las cámaras se carga de agua independientemente por medio de una válvula de retención TR1-1 (8) y TR1-2 (9) que deja ingresar agua y una vez equilibrados los niveles se cierran automáticamente. La posición de ambas cámaras con respecto al estático de la perforación deberá ser

siempre en estos casos $1,5^{+0,3}$ metros por debajo de la misma ya que a esta profundidad el tiempo de carga de ambas cámaras tiene que ser igual entre sí, dato fundamental para programar correctamente el CTLP. 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 mismas a través de las electroválvulas EV1 (3) y EV2 (4). Este sistema 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. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4										
<i>Valores de los parámetros representativos de la bomba neumática para el sistema de una cámara y el de dos cámaras (sistema en paralelo)</i>										
Donde: H [m]: profundidad de la bomba con respecto al nivel del suelo; P_t [atm]: presión de trabajo (relativa); C [l/h]: caudal; E_l [W-h/l]: energía por litro; t_c [s]: tiempo de carga; t_d [s]: tiempo de descarga; t [s]: tiempo total del ciclo (carga y descarga); ΔC [%] : aumento porcentual del caudal										
H [m]	P_t [Pa] 10^6	Una cámara		Dos Cámaras		t_c [s]	t_d [s]	t [s]	ΔC [%]	
		C [m ³ /s] 10^{-7}	E_l [J/m ³] 10^{-6}	C [m ³ /s] 10^{-7}	E_l [J/m ³] 10^{-6}					
1	1,0	0,121	1899,94	1,008	3805,44	2,088	1,00	1,00	2,00	100,00
2	6,4	0,121	1899,94	1,440	3791,56	2,952	1,00	1,00	2,00	99,56
3	13,0	0,313	1838,83	2,556	3694,34	5,040	1,00	1,00	2,00	100,00
4	20,0	0,454	1694,39	2,700	3472,12	5,580	1,00	1,00	2,00	100,00
5	30,0	0,686	1730,50	3,528	3458,23	7,164	1,00	1,00	2,00	99,8

SISTEMA FOTOVOLTAICO. Descripción y funcionamiento

En la figura 4 se presenta el esquema global utilizado para la extracción de agua a profundidad, aplicado para una zona rural dispersa.

La generación de energía eléctrica es obtenida mediante la utilización de paneles solares, la cual a través de un regulador de voltaje se almacena en baterías; luego con un conversor de tensión (24 VCC/220 VCA – 2,5 KW), energizamos a un compresor (aire comprimido 1,1 KW) y al controlador de tiempos lógico programable (CTLP) el cual comanda las electroválvulas de aire comprimido de apertura y cierre.

Para el diseño del sistema fotovoltaico se utilizaron los datos obtenidos de los recursos solares para esta región del país (V. Mercedes - San Luis), los que fueron determinados mediante un pyranómetro además de correlaciones matemáticas y la base de datos de radiación global disponibles para la zona.

También se evaluó económicamente en conjunto esta alternativa para el suministro de agua potable específicamente aplicada a una zona aislada basada en la utilización de la energía solar. Además se efectuó una comparación técnica-económica con otros tipos de energías y sistemas tradicionales de extracción de agua y de energía eléctrica, de manera de ofrecer a potenciales usuarios, una herramienta que les ayude a tomar decisiones sobre la conveniencia o no de un sistema adoptado para el abastecimiento de agua.

Conclusiones

La principal ventaja de la bomba, es la de no tener partes complejas o móviles sumergidas, salvo dos simples válvulas de retención. Su parte más compleja es el compresor que está ubicado a nivel del suelo, por lo cual es muy accesible para su mantenimiento. Su estructura es muy simple y se adapta a cualquier tipo de perforación o pozo abierto, y su funcionamiento es sencillo. La primera y principal conclusión de los ensayos es que la bomba en su conjunto funciona correctamente en todas sus partes, de acuerdo a lo previsto. De los ensayos, surge también, que sumergiendo más la cámara, se reduce el tiempo de carga y se

consigue aumentar el caudal. Se observa que para extracciones de 30 metros la presión varía entre 4 a 6 Kg/cm², y para una mayor profundidad, la presión de inyección de aire comprimido aumenta considerablemente.

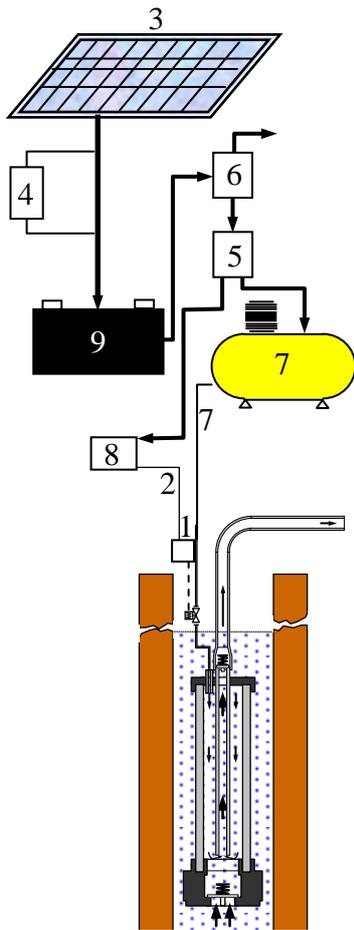


Figura 4. Sistema completo para la extracción de agua mediante energía solar.

Donde: (1) electroválvula de aire comprimido; (2) circuito eléctrico de comando de electroválvulas; (3) paneles solares, (4) regulador de voltaje; (5) inversor de corriente CC/AC; (6) tablero eléctrico; (7) compresor de aire; (8) controlador de tiempo (CTLP); (9) baterías

BIBLIOGRAFIA

- Mataix C. (1978) – Mecánica de los fluidos y máquinas hidráulicas – Harper & Row Publishers Inc.
- Fasulo, A., Torres A. y Ribotta S. (2002) World Renewable Energy Congress VII – WREN / Cologne, GERMANY – “The solar potential of the west centre argentinian”
- Duffie and Beckman (1991) - Solar engineering of thermal processes
- Muhammad Iqbal (1983) – An Introduction to Solar Radiation.
- Rodrigo V., DiGennaro J., Monasterolo R. y Ribotta S. (2002) World Renewable Energy Congress VII – WREN / Cologne, GERMANY – “Alternative extract water through solar energy”
- Rodrigo V., DiGennaro J., Monasterolo R. y Ribotta S. (2002) World Renewable Energy Congress VII – WREN / Cologne, GERMANY – “Alternative extract water through solar energy”
- Rodrigo V., DiGennaro J., Monasterolo R. y Ribotta S. (2000) 9º Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica (COCIM) / IV Congreso Nacional de Energía (CONAE) / Chile “Bomba de aire comprimido accionada con energía solar”.