

DISPOSITIVO NEUMÁTICO PARA EXTRACCIÓN DE AGUAS PROFUNDAS MEDIANTE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Victor Rodrigo, J. A. Carletto, G. Rodrigo, D. Casagrande

*Universidad Nacional de San Luis – Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales
Laboratorio de Energías Alternativas
Campus Universitario 2° Piso Ala Este – Ruta 148 Ext. Norte Villa Mercedes – S.L. - Argentina
rodrigo@fices.unsl.edu.ar; jcarlet@fices.unsl.edu.ar*

Resumen

Un novedoso dispositivo para la extracción de aguas subterráneas se expone en este trabajo. Este está constituido por una bomba neumática la cual es accionada mediante paneles fotovoltaicos y/o aerogeneradores. El sistema, bomba neumática, paneles fotovoltaicos y/o aerogeneradores, 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. Los experimentos demuestran el correcto funcionamiento del dispositivo a través del modelo demostrativo construido, sus distintas alternativas y los resultados obtenidos. Por sus características, materiales comunes, tecnología sencilla se concluye que el dispositivo podría ser aplicado en otras regiones del planeta que presentan problemática similares. Se presenta en este trabajo los principales resultados.

Palabras Clave: Extracción de agua, bomba neumática, energía solar y eólica.

Summary

A new device to extract ground water is presented in this study. This device is a pneumatic pump which will be driven by photovoltaic panels or wind energy. This system: the pneumatic puma, the photovoltaic panels and / or wind energy generators are considered an alternative to the current systems that are made up of a submersible pump which is driven by windmills. At present, the current system is used in those areas located far away from power systems. The main advantage of the system proposed is its low maintenance cost. The operation principle, a constructed model and the experimental results are shown in this study. The results show how feasible is to carry out this proposal considering the advantage mentioned above. As far as its characteristics, common materials and simple technology of the device are concerned, it can be concluded that this device can be used in other areas of the planet which have similar problems. This study shown the main results.

Key Words: water extract - pneumatic pump - solar and wind energy.

Introducción

En las regiones donde la población rural se dedica a los cultivos extensivos y a la ganadería, se requiere extraer aguas subterráneas para el ganado y los propios habitantes rurales. Uno de los actuales métodos empleados para tal fin, son los molinos de viento. Estos están constituidos por una bomba sumergida en la perforación, cilindro con pistón, juntas de cuero y varillas para mover el pistón cuya longitud depende de la profundidad del agua, en algunas regiones 60 a 80 metros o más. Debido a estas características, estos molinos, presentan 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 aguas profundas. Se busca resolver los problemas, que en dichas regiones, 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 cual se alimenta con energía solar o eólica para su funcionamiento. [1]

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 se comunica por una pequeña tubería (diámetro 6 mm) con la cámara sumergida en el agua. De esta cámara, sale otra tubería, (diámetro 12 mm) 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, el agua ingresa a la cámara, a través de la válvula de retención TR1.

Debido a que la electroválvula de dos vías comunica la cámara con 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,

aumentando la presión en el interior, por lo tanto el agua sale por la cañería a través de la válvula de retención TR2, 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. El agua, por lo

tanto, asciende por la cañería, mientras desciende en la cámara, hasta el nivel inferior. Entonces en la electroválvula, se interrumpe la energía y cambia de sentido, se cierra la válvula de retención TR2 por el peso del agua contenida en la cañería y se reinicia el ciclo.

con respecto al nivel estático del agua en la perforación. Los resultados obtenidos son expresados en la Tabla 1

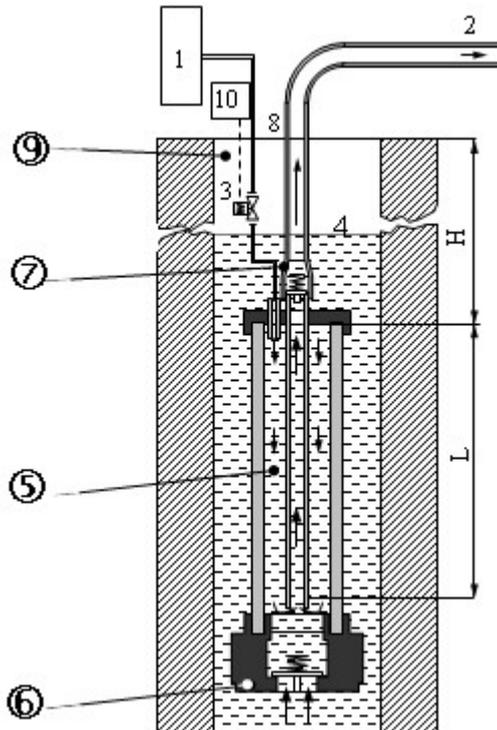


Figura 1. Croquis de la bomba neumática simple. Donde: (1) Fuente de aire comprimido; (2) Salida de agua; (3) Electroválvula AB; (4) Nivel de agua; (5) Cámara; (6) Válvula de retención TR1; (7) Válvula de retención TR2; (8) Nivel del suelo; (9) Perforación; (10) Controlador de tiempos lógico programable (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 en función de la posición relativa de la bomba

| N | H [m] | t [seg] |
|---------|--------|-----------|
| Nivel 1 | 0,00 m | 3,00 seg. |
| Nivel 2 | 0,50 m | 2,50 seg |
| Nivel 3 | 1,00 m | 1,20 seg |
| Nivel 4 | 1,50 m | 1,00 seg |
| Nivel 5 | 1,75 m | 0,90 seg |

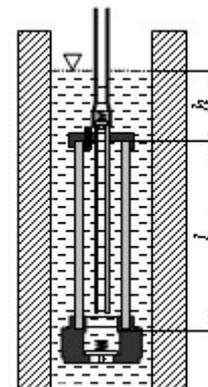


TABLA N° 1: Tiempo de llenado de la cámara (a presión atmosférica) en función de la posición de la bomba con respecto al nivel estático del agua en la perforación. Donde: N = Experiencia; h[m] = diferencia relativa de altura entre la bomba y el nivel estático del agua en la perforación; t[seg] = tiempo de llenado.

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.

| N | H [m] | P _t [atm] | C [l/h] | CC [l] | E _c [W-h] | E _l [W-h/l] | T [seg] | T _p [seg] | T _a [seg] |
|----|-------|----------------------|---------|--------|----------------------|------------------------|---------|----------------------|----------------------|
| 1 | 1,0 | 0,80 | 372 | 0,38 | 0,093 | 0,24 | 3,7 | 2,5 | 1,2 |
| 2 | 1,0 | 1,20 | 384 | 0,38 | 0,098 | 0,28 | 3,5 | 2,5 | 1,0 |
| 3 | 1,0 | 1,50 | 398 | 0,38 | 0,102 | 0,30 | 3,4 | 2,5 | 0,9 |
| 4 | 1,0 | 2,00 | 420 | 0,38 | 0,123 | 0,32 | 3,2 | 2,5 | 0,7 |
| 5 | 6,4 | 1,20 | 327 | 0,38 | 0,143 | 0,40 | 3,5 | 2,5 | 1,0 |
| 6 | 6,4 | 2,00 | 410 | 0,38 | 0,176 | 0,46 | 3,3 | 2,5 | 0,8 |
| 7 | 6,4 | 3,00 | 415 | 0,38 | 0,200 | 0,52 | 3,2 | 2,5 | 0,7 |
| 8 | 6,4 | 4,00 | 427 | 0,38 | 0,186 | 0,53 | 2,9 | 2,5 | 0,4 |
| 9 | 13,0 | 2,00 | 334 | 0,38 | 0,220 | 0,58 | 4,0 | 2,5 | 1,5 |
| 10 | 13,0 | 3,00 | 338 | 0,38 | 0,270 | 0,71 | 3,6 | 2,5 | 1,1 |
| 11 | 13,0 | 4,00 | 404 | 0,38 | 0,310 | 0,81 | 3,4 | 2,5 | 0,9 |

TABLA N° 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: N = número de experiencia; H [m] = profundidad; P_t [atm] = presión de trabajo (relativa); C [l/h] = caudal; CC [l] = caudal por ciclo; 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); T_a [seg] = tiempo activo de cada ciclo (se entrega agua).

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

TABLA N° 3: Valores característicos sobre el funcionamiento de la bomba para trece experiencias a nivel 2 y nivel 4. Donde: N = 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 [seg] = tiempo de expulsión del agua; t [seg] = tiempo total del ciclo (carga y descarga); C [l/h] = caudal

Por ejemplo para la experiencia #7, para un tiempo de carga de 2,5 s correspondientes 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.

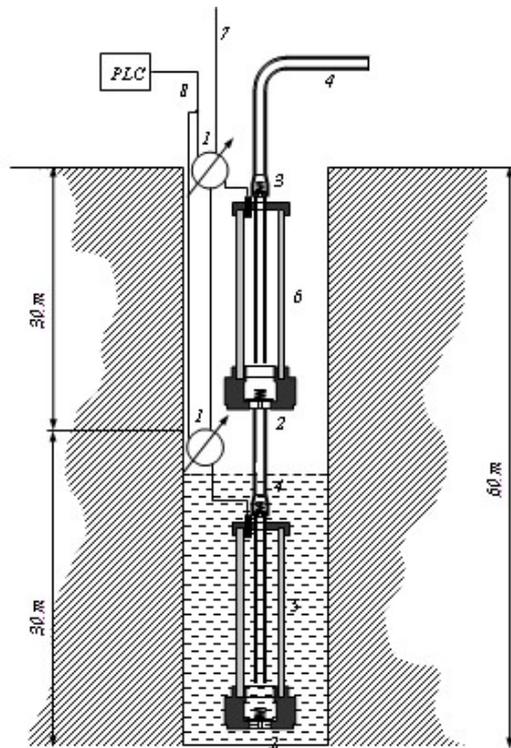


Figura 2. Corte esquemático del sistema de bombeo de agua mediante aire comprimido de dos etapas. Donde: (1) electroválvula de aire comprimido; (2) válvula de retención 2 ½"; (3) válvula de retención ¾"; (4) caño ¾"; (5) cámara 1; (6) cámara 2; (7) cañería ¾" de aire comprimido; (8) circuito eléctrico 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 y la otra ubicada a 30 metros en la segunda cámara. La secuencia de funcionamiento de ambas cámaras es la siguiente: cuando la cámara 1 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 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 se consigue 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.

Debido a que tanto la bomba sola como la bomba en serie presentan un caudal discontinuo se diseña una nueva configuración que básicamente consiste en asociar dos cámaras en paralelo (Figura 1), de manera que cuando una cámara se halle en la etapa de carga la otra esté en la etapa de descarga y viceversa. De esta manera se logra obtener un caudal de agua continuo, y por ende un mayor caudal, comparado con una sola cámara en el mismo periodo de tiempo. La Figura 3 muestra dicha configuración

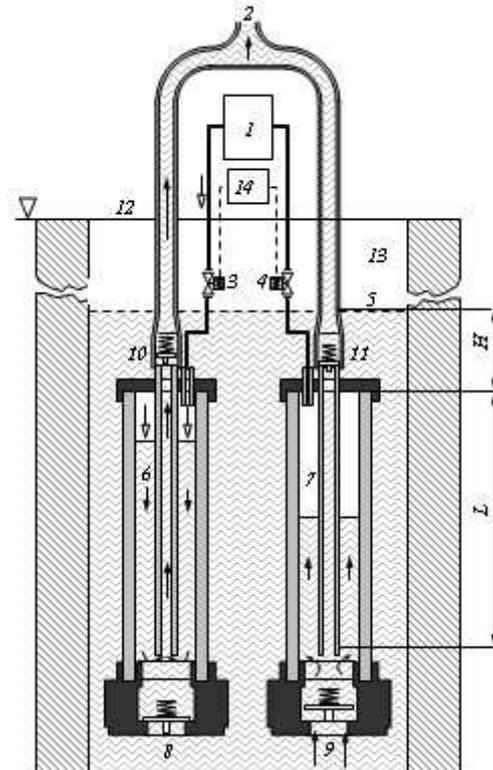


Figura 3: Esquema de armado y funcionamiento de la bomba neumática en paralelo. (1) fuente de aire comprimido; (2) salida de agua; (3) electroválvula ev1; (4) electroválvula ev2; (5) nivel de agua; (6) cámara c1; (7) cámara c2; (8) válvula de retención tr1-1; (9) válvula de retención tr1-2; (10) válvula de retención tr2-1; (11) válvula de retención tr2-2; (12) nivel del suelo; (13) perforación; (14) control automático (ctlp) de la electroválvula ab

Las dos cámaras del sistema mostrado en la Figura 3, C1 (6) y C2 (7) 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 nivel estático del agua deberá ser superior a dos metros para garantizar un tiempo de carga menor a un segundo.

El tiempo de descarga o de impulsión del agua a la superficie, tiene que ser igual en ambas cámaras e igual al tiempo de llenado para garantizar el caudal continuo, 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).

Sistema Energetico - Descripción y funcionamiento

En la figura 3 se presenta el esquema global utilizado para la extracción de agua a profundidad, utilizando energías alternativas.

La generación de energía eléctrica se obtiene 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), se energiza 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 piranómetro además de correlaciones matemáticas y la base de datos de radiación global disponibles para la zona.

Se está trabajando en la actualidad en la utilización de energía eólica, donde se reemplazan los paneles solares por aerogeneradores (señalados con líneas de puntos en el gráfico), de esta forma, se podrá evaluar la energía alternativa adecuada para cada zona. 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.

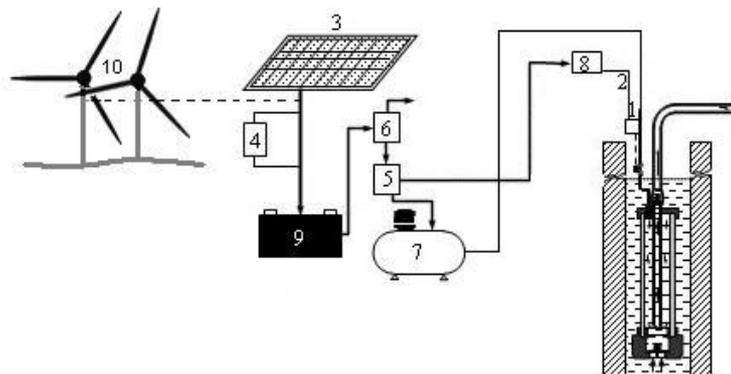


Figura 4. Sistema completo para la extracción de agua mediante energías alternativas. Donde: (1) electroválvula de aire comprimido; (2) circuito eléctrico de comando de electroválvulas; (3) paneles solares, (4) regulador de voltaje; (5) inversor de corriente CC/AC; (6) tablero eléctrico; (7) compresor de aire; (8) controlador de tiempo (CTLP); (9) baterías; (10) Sistema de generadores eólicos (aerogeneradores).

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.

Bibliografía

- Mataix C.** 1978. Mecánica de los fluidos y máquinas hidráulicas. Harper & Row Publishers Inc.
- 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. "Alternative extract water through solar energy". World Renewable Energy Congress VII – WREN / Cologne, GERMANY
- Rodrigo V., DiGennaro J., Monasterolo R. y Ribotta S.** 2000. "Bomba de aire comprimido accionada con energía solar". 9º Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica (COCIM) / IV Congreso Nacional de Energía (CONAE) / Chile