

CURVAS DE CAUDAL Y ENERGIA DE UNA BOMBA DE DOS CILINDROS EN PARALELO DE AIRE COMPRIMIDO PARA EXTRACCION DE AGUA

V. Rodrigo¹, O. Masini², L. Rodrigo³, M. Bergoglio⁴, C. Medaglia⁴, L. Paz⁴

*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

RESUMEN: El presente trabajo tiene por objetivo determinar los parámetros de funcionamiento y curvas características, a partir de ensayos realizados al Dispositivo de Aire Comprimido. Los mismos, consisten en probar una nueva bomba con dos cilindros de bronce, a 15 metros de profundidad. Los cilindros se encuentran conectados entre sí, por una unión T. La metodología aplicada se basa en ensayos de extracción de agua en una perforación real, donde intervienen, aparte de los elementos principales, los accesorios necesarios para las mediciones y control de las distintas pruebas realizadas a una misma profundidad (15m), variando presión de trabajo y tiempo de carga y descarga de los cilindros. De esta manera se obtienen las curvas del caudal y de energía consumida por litro de agua extraída, variables necesarias para el diseño y cálculo de la fuente de energía alternativa, solar y eólica, necesaria para la producción de aire comprimido.

Palabras clave: Extracción, Agua, Aire comprimido, Energía solar, Energía eólica.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una de las principales formas de extracción de agua en zonas rurales es mediante molinos eólicos. Estos poseen la desventaja de tener partes móviles en juego, (pistón, suelas, cilindros, varillas) lo cual implica fricción entre ellas y consecuentemente el desgaste de las mismas. Todo esto trae aparejado además del costo económico una pérdida de tiempo importante. En base a esto, se diseña la presente bomba neumática cuyas características serán explicadas a continuación y que posteriormente se explicará como vincular la misma con energías renovables.

El principio de funcionamiento del dispositivo es generar una presión mayor en las cámaras o cilindros introducidos dentro del agua, para que la misma sea expulsada a la altura de funcionamiento (Fig. 1). (Rodrigo et al., 1997; Rodrigo et al., 1998)

BOMBA

La bomba, consiste de dos cuerpos cilíndricos principales de bronce (cilindros en desuso de un molino de viento para extracción de agua), de un diámetro de 76,2mm (3") y de una longitud total de 540 mm cada uno. A su vez ambos poseen una válvula de retención inferior. Estas válvulas, fueron elegidas entre otras, por brindar las mejores condiciones de funcionamiento de la bomba, es decir una baja pérdida de carga y bajo costo.

El equipo accesorio de bombeo consiste en: tubería de impulsión de polipropileno 19,05mm de diámetro (¾") con un desarrollo de 15m; un compresor (para generar aire comprimido para la extracción de agua) de 784 KPa (8 Kg/cm²) de presión de punta, de 1,1KW de potencia, 0,08531 m³/min (85,31 litros/min) de caudal, y 20 litros de capacidad, con válvula reguladora de presión; un caudalímetro digital con medida instantánea de caudal y dos electroválvulas marca Festo, comandadas por un controlador de tiempo de diseño y fabricación propia.

El equipo que provee energía al compresor, consiste de cuatro paneles solares de 480 W cada uno, (para generar Energía Eléctrica), Baterías de 12 V y 200 A (para almacenar Energía Eléctrica), Conversor de 2500 W, (para convertir la Energía Eléctrica continua en Energía Eléctrica Alternada y a su vez elevar el voltaje de la misma fuente). También cuenta con dos aerogeneradores de 1000 W cada uno, marca Eolux, con regulador de voltaje, banco de baterías y conversor.

¹ Profesor Titular Mecánica Racional y Mecánica de los Fluidos FICES UNSL

² Profesor Asociado Química Aplicada FICES UNSL

³ Profesor Asociado Dpto Ingeniería FICES UNSL

⁴ Alumno Ingeniería Electromecánica FICES UNSL

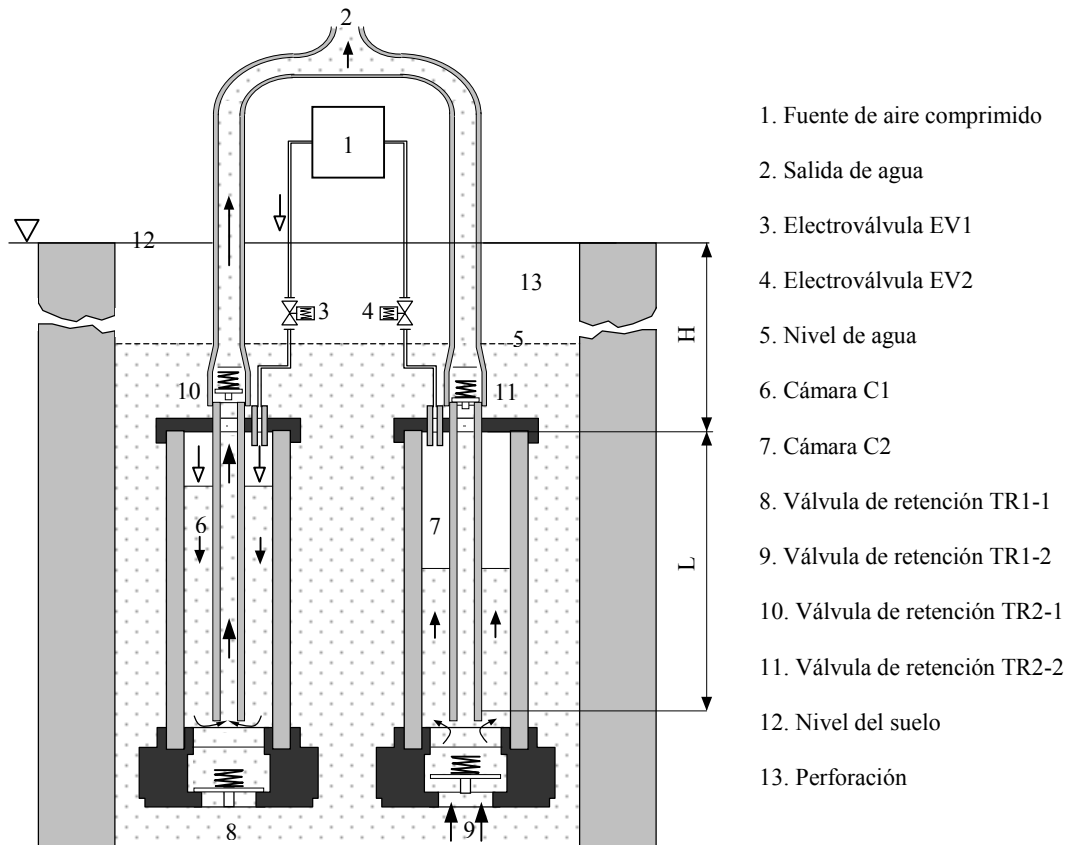


Figura 1: Croquis esquemático del funcionamiento de la bomba neumática indicando las partes principales y los componentes de la misma

ENSAYOS

La bomba está situada a una profundidad de 15 metros reales. La misma está sumergida a más de 2 m del nivel estático del agua en la perforación para que, con esta columna de agua, los tiempos de llenado de los cilindros, sean menores a 0,5 seg. Las electroválvulas están colocadas a 3m por encima de los cilindros y a 15 del compresor. El tablero de comando de tiempos, compresor y caudalímetro se encuentran ubicados a 15m por encima de la bomba.

Para realizar los ensayos se varían dos parámetros de funcionamiento: el tiempo de carga y descarga de los cilindros, accionado por las válvulas neumáticas, desde 0,5 a 1,5 seg. a intervalos de 0,1 seg.; el segundo parámetro es la presión del aire comprimido: 196,2 KPa (2kg/cm²), 294,3 KPa (3 Kg/cm²) y 392,4 KPa (4 kg/cm²). Cabe destacar que la carga y descarga de los cilindros se produce de forma alternada obteniendo, de esta manera, un flujo de salida continuo.

Ensayo 1:

Este se realizó a 15m de profundidad y a una presión constante de 196,2 KPa (2 Kg/cm²), variando los tiempos de carga y descarga de los cilindros entre 0,5 y 1,5 seg (ambos tiempos son iguales). De esta manera se encontraron los valores de caudal [litros/hora] y consumo de energía eléctrica por cada litro extraído [W h/litro].

Ensayo 2:

Al igual que el ensayo anterior, se realizó a 15m de profundidad pero a una presión constante de 294,3 KPa (3 Kg/cm²), variando los tiempos de carga y descarga de los cilindros entre 0,5 y 1,3 seg (ambos tiempos son iguales). De esta manera se encontraron los valores de caudal [litros/hora] y consumo de energía eléctrica por cada litro extraído [W h/litro].

Ensayo 3:

Este también se realizó de la misma manera, a 15m de profundidad y a una presión constante de 392,4 KPa (4 Kg/cm²), variando los tiempos de carga y descarga del cilindro entre 0,5 y 0,8 seg (el tiempo de carga y descarga son iguales). No se consideran tiempos superiores ya que se produce una pérdida de caudal debido a que la presión es suficiente para evacuar el volumen de agua contenida en el cilindro; y un tiempo superior al mismo, ocasiona una inyección de aire mayor a la requerida, consecuentemente se obtiene aire indeseable a la salida de la bomba. De esta manera se encontraron los valores de caudal [litros/hora] y consumo de energía eléctrica por cada litro extraído [W h/litro].

Presión de accionamiento de electroválvula neumática	Tiempo de accionamiento de electroválvula neumática*	Caudal extraído por cilindro	Caudal total	Energía consumida por litro extraído en cada cilindro	Energía total consumida por litro extraído	Energía total consumida
	[seg]	[litros/h]	[litros/h]	[W-h/litro]	[W-h/litro]	[W]
196,2 KPa (2 Kg/cm ²)	0,5	460,8	921,6	0,662	1,324	1220,2
	0,6	532,8	1065,6	0,663	1,326	1413,0
	0,7	654	1308	0,637	1,274	1666,4
	0,8	721,2	1442,4	0,674	1,348	1944,4
	0,9	763,8	1527,6	0,708	1,416	2163,1
	1	818,4	1636,8	0,761	1,522	2491,2
	1,1	860,4	1720,8	0,793	1,586	2729,2
	1,2	904,2	1808,4	0,785	1,57	2839,2
	1,3	891,6	1783,2	0,828	1,656	2953,0
	1,4	916,8	1833,6	0,863	1,726	3164,8
1,5	972,6	1945,2	0,852	1,704	3314,6	

Tabla 1: Caudal y energía para distintos tiempos de carga y descarga, para una presión de trabajo de 2 Kg/cm²
*: Los tiempos de carga y descarga para ambos cilindros son los mismos.

ENSAYO 1

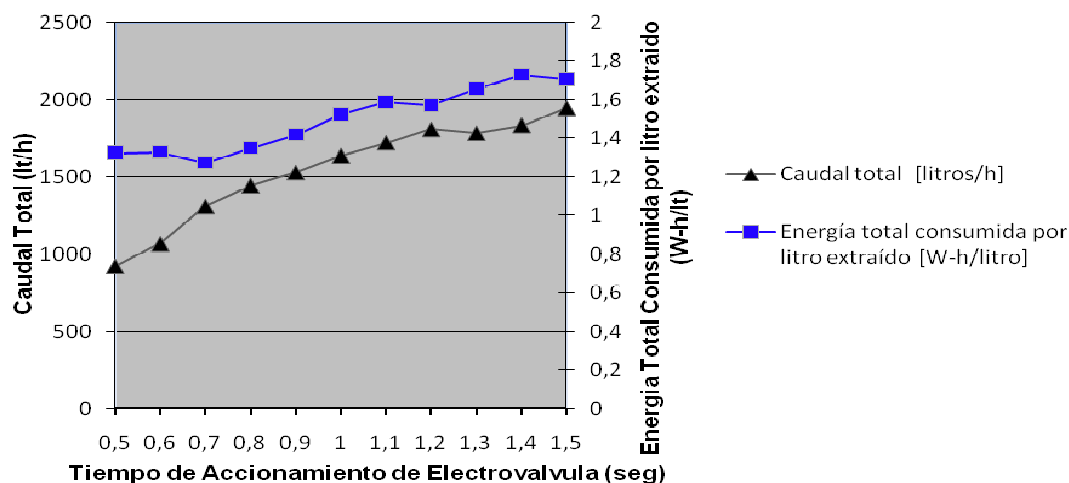


Figura 2: Curva de caudal y energía en función de los tiempos de carga y descarga para una presión de trabajo de 2 Kg/cm²

Presión de accionamiento de electroválvula neumática	Tiempo de accionamiento de electroválvula neumática*	Caudal extraído por cilindro	Caudal total	Energía consumida por litro extraído en cada cilindro	Energía total consumida por litro extraído	Energía total consumida
	[seg]	[litros/h]	[litros/h]	[W-h/litro]	[W-h/litro]	[W]
294,3 KPa (3Kg/cm ²)	0,5	659,4	1318,8	0,649	1,298	1711,8
	0,6	762,6	1525,2	0,689	1,378	2101,7
	0,7	868,8	1737,6	0,745	1,49	2589,0
	0,8	990	1980	0,827	1,654	3274,9
	0,9	1041	2082	0,794	1,588	3306,2
	1	1074,6	2149,2	0,854	1,708	3670,8
	1,1	1150,8	2301,6	0,956	1,912	4400,7
	1,2	1196,4	2392,8	0,919	1,838	4398,0
1,3	1269,6	2539,2	0,866	1,732	4397,9	

Tabla 2: Caudal y energía para distintos tiempos de carga y descarga, para una presión de trabajo de 3 Kg/cm²
*: Los tiempos de carga y descarga para ambos cilindros son los mismos.

ENSAYO 2

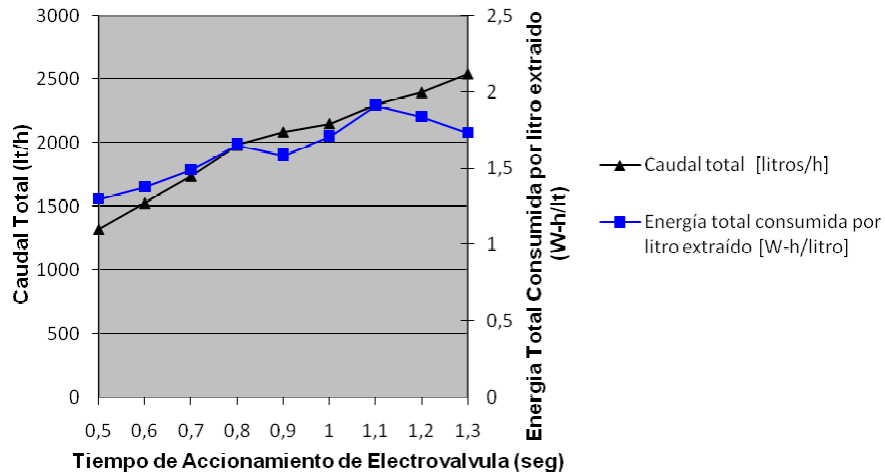


Figura 3: Curva de caudal y energía en función de los tiempos de carga y descarga para una presión de trabajo de 3 Kg/cm²

Presión de accionamiento de electroválvula neumática	Tiempo de accionamiento de electroválvula neumática*	Caudal extraído por cilindro	Caudal total	Energía consumida por litro extraído en cada cilindro	Energía total consumida por litro extraído	Energía total consumida
	[seg]	[litros/h]	[litros/h]	[W-h/litro]	[W-h/litro]	[W]
392,4 KPa (4Kg/cm ²)	0,5	1093,2	2186,4	0,851	1,702	3721,3
	0,6	1236,6	2473,2	0,89	1,78	4402,3
	0,7	1346,4	2692,8	0,817	1,634	4400,0
	0,8	1503,6	3007,2	0,732	1,464	4402,5

Tabla 3: Caudal y energía para distintos tiempos de carga y descarga, para una presión de trabajo de 4 Kg/cm²

*: Los tiempos de carga y descarga para ambos cilindros son los mismos.

ENSAYO 3

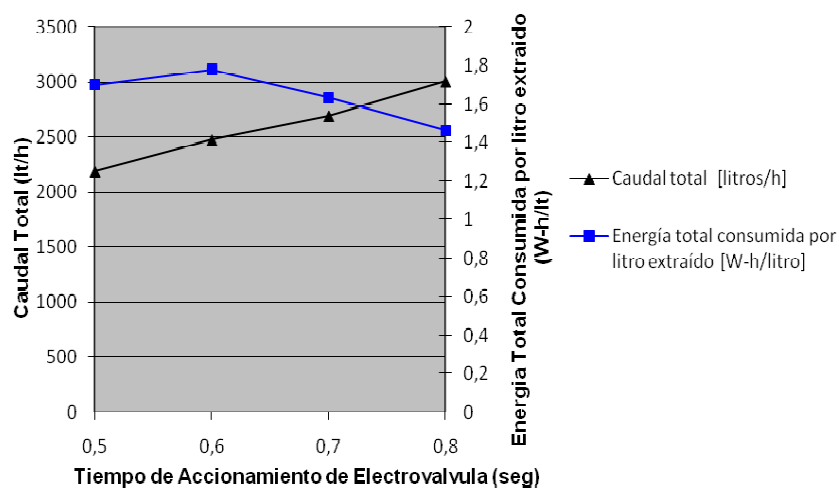


Figura 4: Curva de caudal y energía en función de los tiempos de carga y descarga para una presión de trabajo de 4 Kg/cm²

ENERGIA TOTAL CONSUMIDA

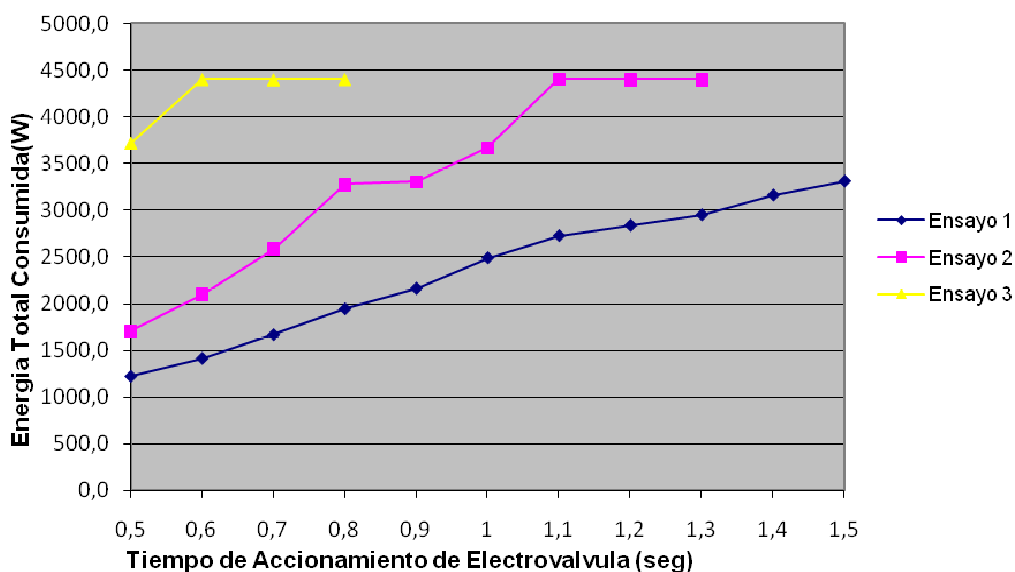


Figura 5: Curva de la energía total consumida en función de los tiempos de carga y descarga para las tres presiones de trabajo

En la figura anterior (Figura 5) se representan las curvas de la energía total consumida en función de los tiempos de carga y descarga, de cada ensayo realizado (Ensayo 1 a una presión de 196,2 KPa o 2 Kg/cm²; Ensayo 2 a una presión de 294,3 KPa o 3 Kg/cm²; Ensayo 3 a una presión de 392,4 KPa o 4 Kg/cm²)

Teniendo en cuenta los gráficos obtenidos de los ensayos realizados para los tres casos, es de gran utilidad poder calcular la potencia necesaria que se debe extraer de los paneles solares y de los aerogeneradores que proveerán la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del dispositivo.

En primer lugar se determina mediante la figura 2 (presión de 196,2 KPa o 2 Kg/cm²), la cantidad de litros extraídos y la energía total consumida por litro extraído para un tiempo de 1,5 seg. Esto nos arroja los siguientes valores:

$$1,5 \text{ seg} \rightarrow Q = 1945,2 \text{ litros/h} \rightarrow W = 1,704 \text{ (W-h) / litros}$$

Luego, se debe tener en cuenta el hecho de que los paneles solares tienen la capacidad de almacenar 480 W, y tomando como caso desfavorable 6 hs de luz solar (en caso de invierno) se tiene:

$$\text{Energía almacenada} = 480 \text{ Wh} \times 6 \text{ h} \times 4 \text{ paneles} = 11520 \text{ Wh} \quad (1)$$

Por último para obtener el caudal TOTAL que puede aprovecharse con esa energía almacenada se debe hacer:

$$Q_T = \frac{11520 \text{ Wh}}{1,704 \frac{\text{Wh}}{\text{litros}}} = 6760,5 \text{ litros} \quad (2)$$

Y con este valor se determina el tiempo de funcionamiento de la bomba:

$$t = \frac{Q_T}{Q} \quad (3)$$

$$t = \frac{6760,5 \text{ litros}}{1945,2 \frac{\text{litros}}{\text{h}}} = 3,47 \text{ horas} = 3 \text{ horas y } 28 \text{ minutos}$$

Procediendo de la misma forma se obtiene:

Presión = 294,3 KPa (3 Kg/cm²)

1,3 seg → Q = 2539,2 litros/h → W = 1,732 (W-h) / litros

Q_T = 6651,2 litros → t = 2,61 horas = 2 horas y 36 minutos

Presión = 392,4 KPa (4 Kg/cm²)

0,8 seg → Q = 3007,2 litros/h → W = 1,464 (W-h) / litros

Q_T = 7868,8 litros → t = 2,61 horas = 2 horas y 36 minutos

CONCLUSIONES

En la figura 5 se observan dos aspectos importantes a tener en cuenta. El primero de ellos es que el mayor consumo de energía se da para el ensayo con mayor presión (4 Kg/cm²). El segundo aspecto tiene que ver con la estabilidad que adquiere el consumo de energía a medida que se aumenta el tiempo de apertura y cierre de válvulas. Es decir, la curva de la energía total consumida tiende a disminuir su pendiente con el aumento de tiempo de apertura y cierre de las válvulas de carga y descarga. Esto se ve principalmente en las curvas de los ensayos 2 y 3, y puede comprobarse al observar los cálculos ya que en ambos casos se obtiene el mismo tiempo de funcionamiento.

Por otro lado, con los equipos y metodología utilizados se ve en la figura 2 y 3, que a medida que se aumentan los tiempos de carga y descarga aumenta el caudal, no obstante también aumenta la energía por litro de agua extraída. En la figura 4, se puede encontrar que el punto de mayor caudal es el de menor energía, para el tiempo de carga y descarga de 0,8 seg. (3007,2 litros/hora - 1,464 W-h/litro).

Como principal conclusión se afirma (tal como se dijo anteriormente) que existe una duplicación (con respecto al modelo anterior, ver ASADES 1997-1998-1999-2000) del caudal de salida debido principalmente a la presencia de dos cilindros con características idénticas, los cuales, regulando correctamente el tiempo de carga y descarga permiten obtener a la salida de la instalación un flujo continuo. Por otro lado, es de suma importancia rescatar la disponibilidad de energía presente en los paneles solares y en los aerogeneradores, esto sumado a la ventaja que implica el almacenamiento de la misma en los acumuladores lo cual permite hacer uso de ella cuando más se lo requiera.

En base a los cálculos realizados es fácil darse cuenta que el mayor rendimiento de la bomba (para una profundidad de 15 m) se obtiene para una presión de trabajo de 4 Kg/cm² con un tiempo de apertura y cierre de válvula de 0,8 seg. En todos los casos se realizó el cálculo teniendo en cuenta solamente el aporte de los paneles solares, sin considerar la potencia adicional de los aerogeneradores, con lo cual podemos afirmar que el tiempo de funcionamiento de la bomba puede verse afectado por exceso debido a esta contribución extra de energía.

REFERENCIAS

- Rodrigo V., Digennaro J., 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 – Rio Cuarto (Córdoba).
- Rodrigo V., Digennaro J., 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.
- Rodrigo V., Digennaro J., 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.

ABSTRACT

This work aims to determine the operating parameters and characteristic curves of compressed air systems, based on experimental tests. It is tests of a pump with two brass cylinders connected by a T union, at fifteen meter deep. The methodology is based on extraction tests in a real water hole. Are used the main elements and all accessories required for measurement and control of the various tests. The depth of the tests is constant, varying the pressure and the time of loading and unloading of the cylinders. In this way we obtain the curves of flow rate and energy consumed per liter of water abstraction necessary for the design and calculation of an alternative energy source, solar or wind, for the production of compressed air.

Keywords: Extraction, Water, Compressed air, solar Energy, Aeolian Energy