

PROVISION DE AGUA MEDIANTE BOMBA NEUMATICA ACCIONADA CON ENERGÍA SOLAR A UNA POBLACION RURAL DISPERSA

RODRIGO, Víctor - **DIGENNARO**, Jorge - **RIBOTTA**, Sergio - **MONASTEROLO**, Ricardo
Universidad Nacional de San Luis - Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales
Tel.: +54 - 2657 430954/430980 – Fax: +54 - 2657 433790 e-mail: rodrigo@fices.unsl.edu.ar
Avenida 25 de Mayo 384 (5730) V. Mercedes - San Luis – ARGENTINA

RESUMEN

Las compañías que deben suministrar energía eléctrica a nuevos consumidores, específicamente a aquellos ubicados en zonas rurales, enfrentan una situación bastante problemática debido básicamente a una limitada capacidad de distribución de la red eléctrica existente. Esta problemática se acentúa mucho más en las zonas rurales o en aquellas zonas comprendidas dentro del programa de abastecimiento eléctrico de la población rural dispersa [Ministerio de Economía, 1995], en las cuales la demanda o la densidad poblacional es muy reducida. Es por ello que se trata de hallar una alternativa para el suministro de energía eléctrica que sea posible desde el punto de vista económico y técnico, surgiendo de ellas, la provisión de energía a través del recurso solar.

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. Además, es de hacer notar, la simpleza en la construcción del dispositivo.

En resumen, la finalidad de este trabajo es presentar en conjunto una alternativa para el suministro de agua potable específicamente aplicada a una zona aislada, basada principalmente en la utilización de energías renovables, como por ejemplo la energía solar y la utilización de un novedoso sistema de extracción de agua subterránea mediante la aplicación de una bomba neumática.

INTRODUCCION

De manera paralela y conjunta se realizó el estudio de:

1. El sistema de bombeo neumático, el cual 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 notablemente la eficiencia y el alcance de este sistema de extracción de agua a profundidad.
2. El recurso solar disponible en la zona, se determinó para ello la irradiación solar global y difusa en valores horarios sobre una superficie inclinada.
3. El sistema fotovoltaico necesario, se determinó en función de las necesidades de consumo previstas (punto 1) y de los recursos energéticos (punto 2), estimando sus costos y posteriormente se realizó la comparación con distintas variantes o alternativas indicando las ventajas y desventajas técnico-económicas para cada caso.

1. BOMBA NEUMATICA

1.1. Descripción y funcionamiento

Se trata de un dispositivo para extraer agua de cierta profundidad, por medio de aire comprimido. En la Figura 1 la fuente de aire comprimido esta comunicada por la tubería de aire, con una cámara sumergida en el agua, por debajo del nivel de la misma en la perforación. De la cámara, sale la cañería de agua, que se eleva hasta el nivel del terreno y esta comunicada con la atmósfera. Suponiendo que se pone la bomba en funcionamiento por primera vez, la cámara y la cañería están llenas de agua hasta el nivel estático como muestra la Figura 1, el agua ha ingresado a la cámara y a la cañería, por las válvulas de retención TR1 y TR2 porque estaba abierta la electroválvula de dos vías que comunica con la atmósfera y cerrada la parte que comunica con el compresor-pulmón de aire comprimido [Di Gennaro et al., 1997, 1998, 1999].

En cierto instante, se invierte el sentido de la electroválvula con lo cual, la presión del aire comprimido, que actúa sobre el agua de la cámara, la obliga a ingresar a la cañería a través de TR2, a la vez que obliga a cerrarse, a la válvula TR1. El agua, entonces, sube por la cañería, mientras baja en la cámara, hasta el nivel inferior, por encima de TR2; en ese instante, necesitamos distinguir, entre tres casos posibles; para eso, llamamos:

V_c : Volumen caudal.- volumen entre el nivel del pozo y el nivel inferior (altura L), en la cámara, descontando el volumen de la longitud L de tubería de agua. Es el volumen barrido por la superficie libre del agua de la cámara. Es el volumen que determina el caudal.

V_d : volumen de la cañería de agua, entre el nivel del pozo y el nivel de tierra (altura H).

Los tres casos posibles son: 1) $V_c > V_d$, en la primera etapa de compresión, la cañería se llena de

agua, (cebado) y entrega agua. 2) $V_c = V_d$, en la primera etapa de compresión, la cañería se ceba, pero no entrega agua. A este valor del volumen V_c lo llamamos volumen caudal limite, $V_{c\ lim}$. 3) $V_c < V_d$, en la primera etapa de compresión, la cañería no se llena de agua. Según la relación entre los valores de V_c y V_d , la cañería se ceba en una etapa mas o en varias etapas más.

Supongamos, para seguir con el funcionamiento, que $V_c > V_d$. Entonces, al llegar al nivel inferior,

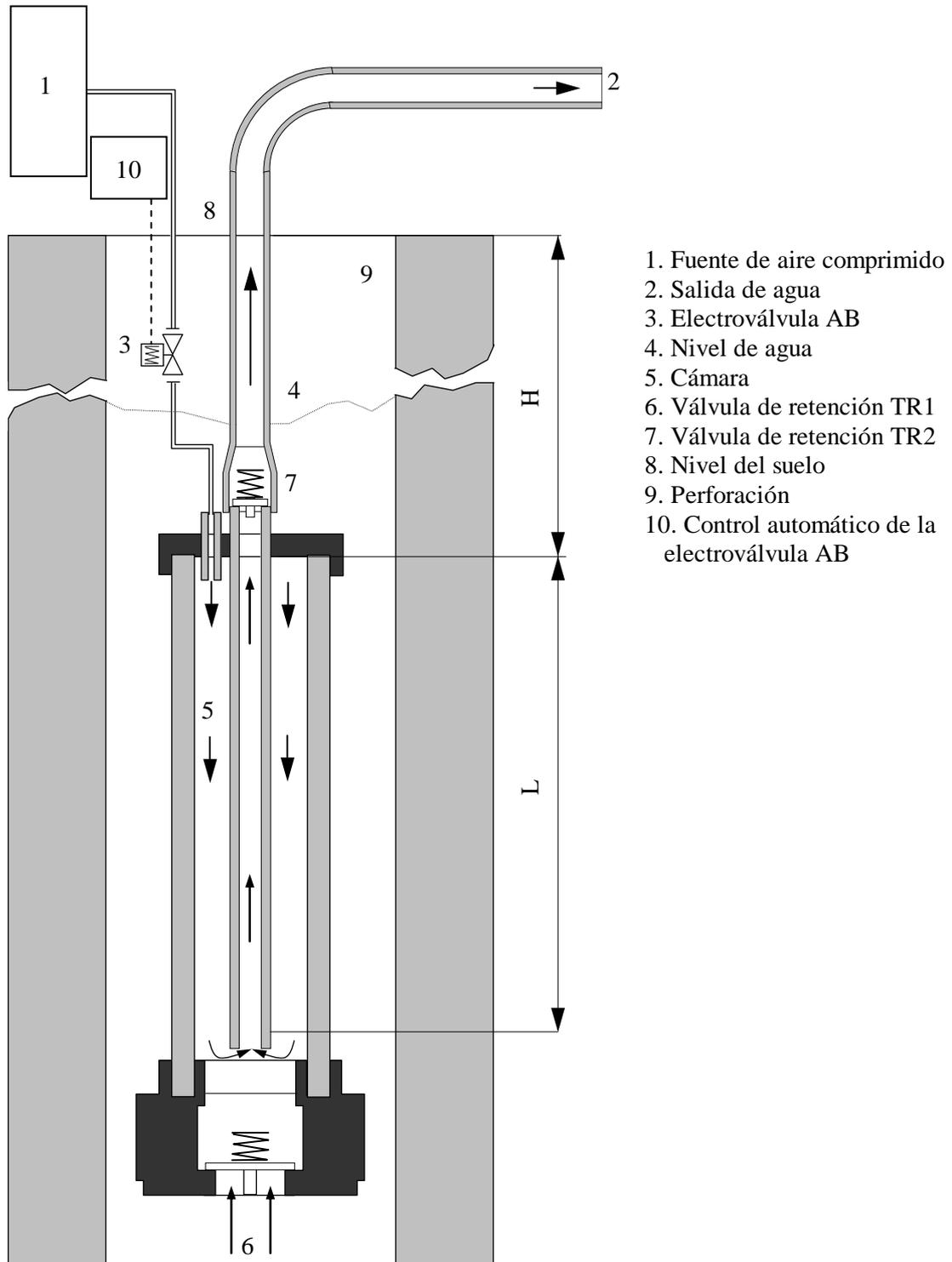


Figura 1

Croquis esquemático de la bomba neumática indicando las partes principales y los componentes de la misma.

(la cañería ya está entregando agua), se cierra la electroválvula y comienza la etapa de escape, la cámara queda comunicada con la atmósfera, de modo que el aire escapa y el agua ingresa a la cámara por TR1 hasta el nivel estático de la perforación. El agua en la cañería, no puede descender, porque se lo impide TR2. De esta manera, se completa un ciclo y la bomba ya esta lista para iniciar una nueva etapa de compresión. Debemos observar que; el trabajo entregado al aire para comprimirlo, se pierde porque se lo hace escapar a la atmósfera. Si la válvula, en la misma posición relativa, se coloca a una profundidad, apenas por encima de la cámara y nivel del agua, de modo que la tubería de aire forme parte del compresor – pulmón de aire comprimido, evitamos así el trabajo de compresión del aire contenido en la tubería y ahorramos energía.

1.2. Energía

Calcularemos el consumo de energía de un modelo ideal que se supone sin pérdidas, con movimiento infinitamente lento, de modo que en cada instante, el sistema esté en equilibrio estático; o sea: el sistema evoluciona y se mueve, según una sucesión de infinitos estados de equilibrio estático. En estas condiciones, la energía entregada al sistema en la etapa de compresión, durante la cual, el nivel del agua en la cámara, baja desde el nivel del pozo hasta el nivel inferior, está dado por la siguiente ecuación [Mataix, 1978]:

$$E = P_e V_c (H + \frac{1}{2} L) + \int_{p_a}^{p_f} p dV \quad (1)$$

en donde:

P_e : peso específico del agua.

H : profundidad del nivel del agua en el pozo.

L : altura del nivel superior al nivel inferior de la cámara.

p_a : presión atmosférica.

p_f : presión final de la etapa de compresión,

$$p_f = p_a + (H + L) \quad (2)$$

El significado físico de los dos términos de esta ecuación, es el siguiente:

$$P_e V_c (H + \frac{1}{2} L) \quad (3)$$

es el aumento de la energía potencial del peso

$$P_e V_c \text{ de agua } \int_{p_a}^{p_f} p dV \quad (4)$$

es el trabajo de compresión del aire, desde la presión atmosférica, hasta la presión final. Si suponemos una compresión isotérmica, este trabajo es:

$$p_f V_f \ln \left(\frac{p_f}{p_a} \right) \quad (5)$$

donde, V_f : volumen final del aire en la compresión .

$$V_f = V_c + V_a \quad (6)$$

donde : V_a : volumen de la tubería de aire.

1.3. Potencia

E , es la energía consumida en un ciclo del modelo ideal y se expresa así: $E(J/ciclo) = E(J/c)$.

Aplicamos este valor de E , a una bomba real, funcionando con $n(ciclos/seg) = n(c/s)$ y obtenemos la potencia:

$$N(W) = E(J/c) n(c/s) \quad (7)$$

1.4. Caudal

V_c , es el volumen entregado en un ciclo por la bomba ideal y se expresa así: $V_c(m^3/c)$ aplicamos este valor de V_c a una bomba real, funcionando con $n(ciclos/seg)$ y obtenemos el caudal :

$$Q(m^3/s) = V_c(m^3/c) n(c/s) \quad (8)$$

1.5. Experiencias

Se construyo un prototipo de acuerdo con el esquema de la fig. 1, para experiencias de poca profundidad (1m, 6m, 12m, 18m, 30m), de modo de hacer mediciones, observaciones del funcionamiento en general, y en forma particular de las válvulas de retención y electroválvula. El compresor-pulmón es un compresor de 1,5 lts, 8atm, 1100 W de potencia. Este pulmón provee, a través de un regulador de presión, una presión mayor que la máxima necesaria, manteniendo así el funcionamiento de la bomba. Periódicamente, se pone en funcionamiento automáticamente el compresor para mantener la presión de trabajo. La cámara y la cañería de agua, son de polipropileno que pueden ensamblarse mediante roscas; la cañería de aire es de plástico reforzado. Las válvulas de retención son de cara plana. La electroválvula que comanda el aire comprimido, se controló en una primera instancia con contactos comandados por los niveles superior e inferior del agua en la cámara. Las dimensiones son:

$$L = 270 \text{ mm}$$

$$D = 48 \text{ mm} \text{ (diámetro de la cámara),}$$

$$D = 19 \text{ mm} \text{ (diámetro cañería extracción de agua)}$$

$$V_c = 380 \text{ cc (cm}^3\text{)} = 0,38 \text{ lts}$$

$$V_a = 0 \text{ (porque la tubería de aire es muy corta)}$$

1.6. Mediciones y cálculo

Con el equipo descrito, se realizaron trece ensayos, en los cuales, para distintos valores de profundidad H y presión de trabajo p_t , se midió y calculó: C caudal, E_l energía por litro, t duración del ciclo, tiempo de carga (variando la profundidad de la cámara respecto a el nivel estático del agua en la perforación 1m; 1,5 m), t_a tiempo de descarga (variando la presión de trabajo).

1.7. Ensayos y resultados

Con la cámara se realizaron trece ensayos, para distintos valores de profundidad hasta treinta metros, de modo de hacer ensayos, mediciones y observar el funcionamiento de los tiempos de carga y descarga de la cámara en función del nivel del agua de la perforación y presión de trabajo; con ello se encontró que los tiempos de carga para los distintos parámetros fueron los siguientes (medido por encima de la parte superior de la cámara):

- nivel 1 cota 0,00 m– tiempo de carga 3,00 seg.
- nivel 2 cota 0,50 m – tiempo de carga 2,50 seg.
- nivel 3 cota 1,00 m – tiempo de carga 1,20 seg.
- nivel 4 cota 1,50 m – tiempo de carga 1,00 seg.
- nivel 5 cota 1,75 m – tiempo de carga 0,90 seg.

Con estos valores se encontró una disminución considerable de 2,5 seg. tiempo de carga para cota N°2 con 0,50 m por encima del nivel superior a un segundo de tiempo de carga para una cota de 1,5 m.

Tabla 1 <i>Valores característicos sobre el funcionamiento de la bomba para trece experiencias a nivel 2 (N2) y nivel 4 (N4)</i>										
#	H m	p_t atm	C l/h N2	C l/h N4	% A	E_l Wh/l N2	E_l Wh/l N4	t seg. N2	t seg. N4	t_a seg.
1	1	0,8	372	630	70 %	0,09	0,24	3,70	2.20	1,20
2	1	1,2	384	684	78 %	0,09	0,28	3,50	2.00	1.00
3	1	1,5	398	720	80 %	0,10	0,3	3,40	1.90	0,90
4	1	2	420	804	91 %	0,12	0,32	3,20	1.70	0,70
5	6,4	1,2	327	684	102 %	0,14	0,4	3,50	2.00	1.00
6	6,4	2	410	760	85 %	0,17	0,46	3,30	1.80	0,80
7	6,4	3	415	804	93 %	0,20	0,52	3,20	1.70	0,70
8	6,4	4	427	977	128 %	0,18	0,53	2,90	1.40	0,40
9	13	2	334	567	70 %	0,22	0,58	4.00	2.50	1,50
10	13	3	384	652	70 %	0,27	0,71	3,60	2.20	1,10
11	13	4	404	720	78 %	0,31	0,81	3,40	1.90	0,90
12	20	4	330	594	80 %	0.28	0,75	3.80	2.30	1.30
13	30	6	320	559	74 %	0.37	0.98	3.95	2.45	1,45

Se comenzó a trabajar con el nivel cuatro con cota a 1,50 m con un tiempo de carga de 1 seg y a alturas entre un metro y treinta metros encontrándose para la misma presión de extracción y a una misma altura, aumento en el caudal de extracción entre un 70% a un 90% obteniéndose caudales alrededor de los 750/850 litros de agua por hora con una cámara de treinta y ocho cm³. Este aumento en el caudal de extracción de agua por hora, se debe a la disminución de los tiempos tanto de carga como de descarga; es necesario conocer con exactitud el tiempo de carga de la cámara que está introducida en el agua de la perforación como así también el tiempo de expulsión del mismo, aunque este dependerá en buena medida de la presión de aire comprimido que se le está inyectando. Con estos valores se programa un PLC para que comande la electroválvula. En la Tabla 1 y en la Figura 2 a) y b) se muestran los resultados obtenidos para diversas experiencias.

Por otra parte, la pequeña profundidad del ensayo y consecuentemente la pequeña energía útil puesta en juego, hacen resaltar las pérdidas locales en válvulas de retención, etc.

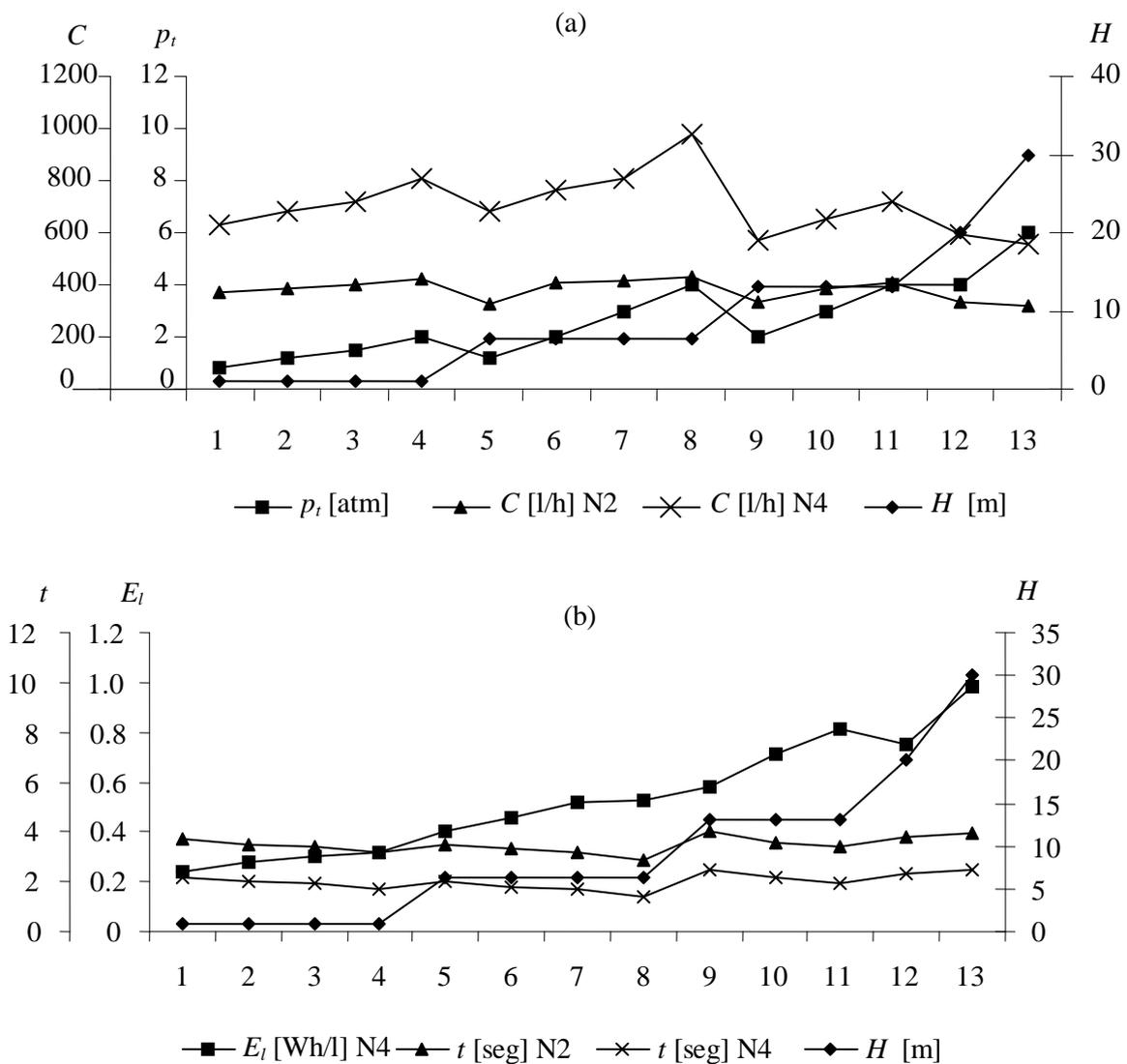


Figura 2

Resultados de valores característicos sobre el funcionamiento de la bomba obtenidos para diversas experiencias (13) a nivel 2 (N2) y nivel 4 (N4).

1.8. Ventajas de la bomba

La principal ventaja de la bomba, es la de no tener partes complejas o partes móviles sumergidas, salvo dos simples válvulas de retención; su parte más compleja es el compresor, que esta en el ámbito del nivel del suelo, por lo cual es muy accesible para su mantenimiento o reposición. Su estructura es muy simple y también su funcionamiento.

1.9. Conclusión (1)

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.

Vemos que para extracciones de 30 metros la presión varia entre 4 a 6 Kg/cm², y para más profundidad la presión aumentará considerablemente, es por ello que se ha diseñado un nuevo sistema de extracción para

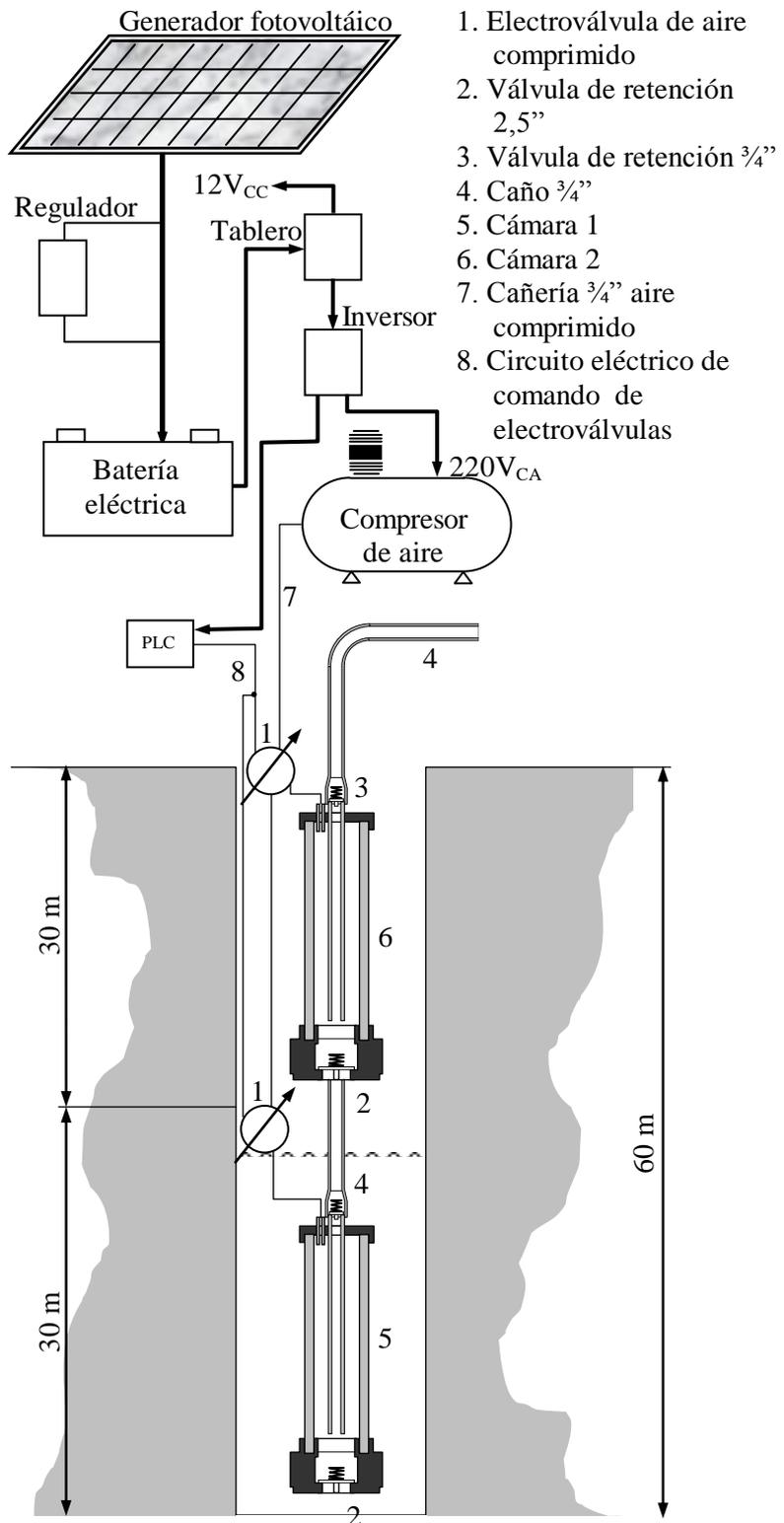


Figura 3

Corte esquemático del sistema de bombeo de agua mediante aire comprimido de dos etapas integrado con la parte de generación eléctrica a través de energía solar.

profundidades mayores que esta, colocando una segunda cámara a treinta metros por encima de la anterior. En la Figura 3 se presenta un esquema global para la extracción de agua a profundidad. Generación de energía eléctrica, a través de paneles solares, para cargar baterías a través de un regulador de voltaje; luego con un conversor de corriente y elevador de tensión generamos aire comprimido y damos tensión a un PLC (marca SIEMENS LOGO 230RC 6 entradas 4 salidas) para comandar las dos electroválvulas de aire comprimido, de apertura y cierre, (Ref. 1) una ubicada a 60 metros de profundidad en la cámara (Ref. 5) y la otra ubicada a 30 metros en la segunda cámara (Ref.6). La secuencia de ambas cámaras es la siguiente:

Cuando la cámara 2 (Ref. 5) se encuentra sumergida dentro del agua, 1,50 metros por debajo de la misma, tarda 1 segundo en cargarse de dicho elemento; en ese mismo instante la cámara 1 (Ref.6) a través del PLC y de la electroválvula (Ref.1) le inyecta una cierta cantidad de aire comprimido a una presión de $4-6 \text{ Kg/cm}^2$ y expulsa el agua a la superficie. Luego de un segundo el PLC corta la energía de la electroválvula de la cámara 1 (Ref.6) y energiza la electroválvula de la cámara 2 (Ref.5) inyectando aire comprimido a la misma a la misma presión, de este modo se carga la cámara 1 (Ref. 6) y luego corta la energía a la electroválvula y energiza la otra y así sucesivamente. Es decir que el tiempo de impulsión de la cámara 1 (Ref.6) es el mismo tiempo de carga de la cámara 2 (Ref.5) y el tiempo de carga de la cámara 1 (Ref.6) es el tiempo de impulsión de la cámara 2 (Ref.6), todo esto combinado para que funcione armónicamente con el PLC, regulando y programando los distintos tiempos de carga y descarga de ambas cámaras. Con ello logramos trabajar con menores presiones de aire comprimido tanto en la expulsión del agua como la generación de aire comprimido (entre 4 a 6 kg/cm^2) ya que para extraer agua a 60 metros de profundidad con una sola cámara, necesitaríamos entre 8 a 10 Kg/cm^2 de presión de aire comprimido. Todas estas experiencias se están realizando con simuladores de profundidad a través de distintas válvulas de escape 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, con todos estos datos, encontrar 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.

2. ENERGIA SOLAR

2.1. Introducción

En un trabajo previo se elaboró una base de datos que cubre prácticamente dos décadas de valores medios mensuales de irradiación solar horizontal \bar{H} e irradiación solar difusa \bar{H}_d , para V. Mercedes empleando datos de irradiación registrados en la zona durante dos años por la Red Solarimétrica Nacional [S.M.N., 1980/1982] y datos de heliofanía relativa durante veinte años

provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.). A partir de estos datos se generó: la irradiación horizontal horaria \bar{I} y la irradiación horizontal difusa horaria \bar{I}_d , ambas expresadas en valores medios mensuales. Luego, obtuvimos la irradiación directa horizontal \bar{I}_b a partir de las dos anteriormente deducidas, y calculando el ángulo zenital horario θ_z determinamos la irradiación solar directa normal \bar{I}_d . Con estos datos se estimó la irradiación que recibiría un colector plano con seguidor solar, un colector plano fijo inclinado 45° al Norte y un colector plano inclinado 45° al Norte con seguidor solar [Monasterolo et al., 1998].

2.2. Fundamentos

Para este fin vamos a postular que la distribución horaria de la irradiación solar global en valores medios mensuales \bar{H} tiene una curva semejante a la distribución horaria, en valores medios mensuales de la irradiación solar horizontal sin atmósfera \bar{H}_o , para un mes cualquiera del año. Esta es una suposición razonable para una localidad como Villa Mercedes, sin serranías en sus proximidades, lo que implica suponer que la presencia y permanencia de nubes en el cielo es totalmente independiente de la hora del día. De manera que la figura de \bar{H} resultante de la superposición de n días del mes (600 para dos décadas) es regular como el resultado del efecto compensador de la presencia azarosa en el tiempo de las nubes.

2.3. Metodología del trabajo

A partir de los datos de irradiación solar global \bar{H} tomada en plano horizontal y de heliofanía \bar{n} obtenidos en Villa Mercedes, a través de la estación INTA, se genera una base de datos con los cuales se obtienen los coeficientes de la ecuación de Angstrom-Page [Iqbal, 1983]:

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = a + b \cdot \frac{\bar{n}}{N} \quad (9)$$

en donde resultó:

$$a = 0,2089 \text{ y } b = 0,5388$$

Una vez determinados los coeficientes a y b y con los datos de heliofanía relativa durante veinte años provistos por el S.M.N., se obtuvo una base de datos de irradiación global \bar{H} .

Luego, utilizando la base de datos anterior y mediante la correlación de Iqbal [Iqbal, 1979] se determinó la irradiación difusa \bar{H}_d para el mismo período:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0,958 - 0,982 \cdot \bar{K} \quad (10)$$

Luego a partir de estos datos, vamos a obtener la irradiación horizontal horaria \bar{I} particionando la irradiación solar global (valores medios mensuales) en horas. Se empleará la formulación de M. Collares-Pereira y A. Rabl [Pereyra-Rabl, 1979]:

$$r_h = \frac{\bar{I}}{\bar{H}} = \frac{\pi}{T} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega - \omega_s \cos \omega} \quad (11)$$

cuyos coeficientes a y b valen:

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 1,047) \quad (12)$$

$$b = 0,6609 + 0,4767 \sin(\omega_s - 1,047) \quad (13)$$

obteniéndose así una tabla con los valores correspondientes a la irradiación global horaria \bar{I} en función del mes y del ángulo horario ω_s .

Procedemos a hallar la irradiación difusa horaria \bar{I}_d , a partir de la siguiente expresión

$$r_d = \frac{\bar{I}_d}{\bar{H}_d} = \frac{\pi}{T} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega - \omega_s \cos \omega} \quad (14)$$

De manera similar al paso anterior, encontramos los valores correspondientes para la irradiación difusa horaria \bar{I}_d , obteniéndose así una tabla con los valores correspondientes en función del mes y del ángulo horario ω_s .

La irradiación global horizontal diaria \bar{H} , es el resultado de sumar la proyección horizontal \bar{H}_b de la irradiación normal directa \bar{H}_n mas la irradiación difusa \bar{H}_d . Esto es:

$$\bar{H} = \bar{H}_b + \bar{H}_d \quad (15)$$

Lo mismo vale para la irradiación global horizontal horaria. La proyección horizontal de la irradiación solar horaria \bar{I}_b se determina a partir de la ecuación

$$\bar{I} = \bar{I}_b + \bar{I}_d \quad (16)$$

por lo tanto:

$$\bar{I}_b = \bar{I} - \bar{I}_d \quad (17)$$

pero tenemos que:

$$\bar{I}_b = \bar{I}_n \cos \theta_z \quad (18)$$

En base a la tabla de valores de la irradiación global horizontal horaria \bar{I} y de la irradiación difusa horaria \bar{I}_d , podemos obtener \bar{I}_b .

Por último, una vez determinado \bar{I}_b podemos hallar la proyección sobre un plano horizontal de la irradiación directa horaria \bar{I}_n , a través de la siguiente ecuación

$$\bar{I}_n = \frac{\bar{I}_b}{\cos \theta_z} \quad (19)$$

Entonces, primero se determinó $\cos \theta_z$ para el día característico de cada mes del año, y con las bases de datos obtenidas (de \bar{I} e \bar{I}_d en función del mes y del ángulo horario ω_s), y trabajando con ellas se obtuvo una tercera base de datos con los valores correspondientes a \bar{I}_n , también en función del mes y del ángulo horario ω_s .

2.4. Aplicación

A continuación, se determinaron los valores de irradiación solar media mensual horaria que recibirá un colector plano ubicado en la ciudad de Villa Mercedes ($33^{\circ}43'S$). Se analizaron tres situaciones diferentes: 1) Con seguidor solar, 2) Inclinado 45° Norte fijo y 3) Inclinado 45° Norte con seguidor solar.

Los valores de irradiación que recibirá el colector serán la suma de la componente horizontal de la irradiación normal directa \bar{I}_b mas la irradiación difusa \bar{I}_d . Consideraremos para los casos de colector inclinado a 45° que la radiación difusa que no recibe el colector, debido a que por su inclinación no puede ver una porción de la esfera celeste, esta disminución se verá compensada por la radiación reflejada emitida por una fracción de la superficie de la tierra, la que ve el colector. Los valores de irradiación determinados para estos colectores se muestran en la Figura 4.

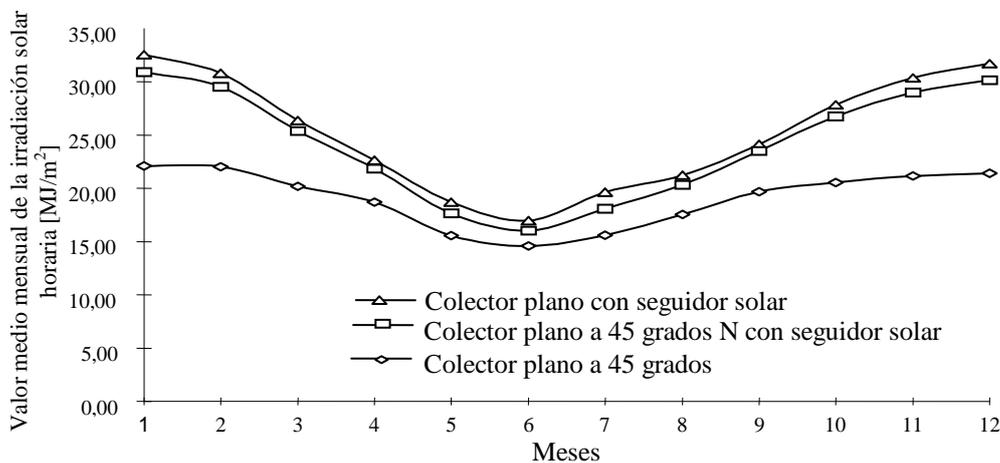


Figura 4

Valores medios mensuales de la irradiación solar horaria [MJ/ m²] para distintos colectores ubicados en V. Mercedes (33°43'S)

Los datos correspondientes a la irradiación global sobre un plano inclinado a 45° expresados en

Tabla 2 <i>Valores de irradiación Global sobre una superficie inclinada a 45° N en V. Mercedes (S. Luis) utilizados para el diseño del sistema de PFV [KW-h/m²]</i>											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.14	6.12	5.61	5.2	4.32	4.05	4.34	4.87	5.46	5.71	5.88	5.95

KW-h/m², son los que se muestran en la Tabla Nro. 2.

En donde el valor de la irradiación promedio mensual para la región es de 5,3 KW-h/m² por día, tomando como valores promedios para el periodo de invierno de 4,7 KW-h/m² y para el periodo

de verano de 5,7 KW-h/m².

2.5. Conclusión (2)

Se dispone de una base de datos generada con datos de dos décadas de la irradiación solar en valores medios mensuales para la ciudad de Villa Mercedes de irradiación horaria \bar{I}_h , \bar{I}_d e \bar{I}_n que nos permiten predecir resultados y así llevar a cabo el desarrollo o la implementación de nuevas experiencias referentes a energía solar.

3. SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.1 Introducción

Para determinar el sistema fotovoltaico nos basamos en los puntos presentados anteriormente: 1- la utilización de un sistema de extracción de agua subterránea mediante la aplicación de una bomba neumática, y 2- la determinación de los recursos solares para una determinada región del país (V. Mercedes - San Luis)

La finalidad es poder evaluar 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 efectúa una comparación técnica-económica con otros tipos de energías y sistemas tradicionales, 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.

El primer paso fue conocer los recursos solares disponibles, se determinó para ello 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, estimando sus costos y posteriormente se realizó la comparación con distintas variantes o alternativas indicando las ventajas y desventajas técnico-económicas para cada caso.

3.2. Demanda energética

Sobre la base de los datos propios de diseño de la bomba, los consumos aproximados de la misma en función de la profundidad y del caudal son los indicados en la Tabla Nro. 1.

Basándose en los datos proporcionados por un ganadero tipo, perteneciente a un establecimiento pequeño, en donde el recurso energético será dirigido a la extracción y provisión de agua la cual será destinada a la crianza de aproximadamente 100 bovinos más el riego de una pequeña huerta perteneciente al casero.

Consumo aproximado promedio = 3000 litros/día

Profundidad de extracción = 13 mts

Con los datos de consumo y profundidad entramos en la Tabla Nro. 1 y extraemos los siguientes datos provistos por la tabla de especificaciones correspondiente a la bomba neumática:

Presión de trabajo = 2 kg/m²

Caudal = 567 litros/hora

Tiempo total por ciclo = 2,5 seg

Energía por litro = 0,58 Watt-hora/litro

El tiempo de funcionamiento del sistema de extracción de agua lo hallamos teniendo en cuenta la necesidad del productor y el caudal entregado por la bomba, por lo tanto

Tiempo de funcionamiento por día = (3000 litros/día)/(567 litros/hora) = 5,3 horas/día

Potencia necesaria por día = (0,58 Watt-hora/litro) x (3000 litros/día) = 1740 Watt-hora/día

Potencia necesaria por hora (por día) = 1740 (Watt-hora/día)/(5,3 horas/día) = 328 Watt

3.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Parámetro de diseño:

Uso: alimentación de sistema de extracción de agua

Ubicación geográfica: Villa Mercedes 33°43' S (San Luis)

Consumo: 328 Wp en 220 Vca

Autonomía: 4 días al 70 %

Tensión de trabajo: 12 Vcc del generador solar

Factor de seguridad: 15%

Descripción del suministro

Un generador eléctrico de 400 Wp solar formado por:

5 módulos fotovoltaicos de 80 Wp

1 regulador de carga de batería

1 estructura soporte, tipo columna construida en caño de 4"

1 inversor 12 Vcc a 220 Vca 50 Hz (1500 VA)

El banco de baterías se determinó para acumuladores tipo estacionario de plomo-ácido de 12 V 220 A-h, para una autonomía de 4 días.

La transferencia de la energía desde el campo de módulos fotovoltaicos a las baterías es totalmente automática, y se realiza con controladores de carga de uso comercial de características acordes al caso establecido.

3.4. Evaluación y comparación de alternativas

En la Tabla Nro. 3 se muestra un estudio comparativo de diferentes sistemas o alternativas para la obtención de agua potable aplicables (no significa ello que sean los únicos) en una zona aislada.

Dato básico para el cálculo: 3000 litros/día

Profundidad de extracción: 13 metros

TABLA 3				
<i>Evaluación y comparación técnica-económica de un sistema fotovoltaico integrado para la extracción de agua con otros tipos de energías y sistemas tradicionales</i>				
Fuente Proveedora de energía	Costo básico de Instalación	Costo de mantenimiento y De Funcionamiento	Ventajas	Desventajas
Energía Solar (paneles fotovoltaicos + bomba neumática) <u>Incluye:</u> - Perforación (M.O.+ Mat.) - Bomba neumática - Compresor - Instalación eléctrica (PLC, paneles solares, regulador, baterías, inversor) - Instalación mecánica	\$13000,00	\$/mes 3,00	- Mínimo mantenimiento - No consume combustible - Posee pocas piezas en movimiento - No contamina el ambiente - Instalación modular permitiendo aumentar en forma gradual a la potencia instalada - No sufre ningún tipo de desgaste (a excepción del compresor de aire) - Presenta una excelente resistencia a las condiciones climáticas - Posibilidad de destinar la generación de energía eléctrica para otro beneficio - Vida útil generador fotovoltaico: 15/20 años - Vida útil bomba neumática: 10 años	- Alto costo - Dependiente de las condiciones climáticas (se compensa con una cierta autonomía brindada por el banco de baterías) - Período de amortización elevado - Vida útil baterías: 5 años - Vida útil compresor: 3 años
Energía eólica (molino a viento) <u>Incluye:</u> - Perforación (M.O.+ Mat.) - Molino - Instalación - Tanque de almacenamiento	\$ 7500,00	\$/mes 2,00	- No consume combustible - Es relativamente silencioso - No contamina el ambiente - Bajo costo - Vida útil torre: 30 años	- Dependiente de las condiciones climáticas (se compensa con una cierta autonomía brindada con un tanque de almacenamiento) - Regular mantenimiento - Poseen piezas en movimiento - Posee desgaste - Vida útil bomba: 5 años - Mantenimiento personal especializado
Energía química (Grupo electrógeno + electrobomba) <u>Incluye:</u> - Perforación (M.O.+ Mat.) - Generador - Bomba neumática - Instalación eléctrica - Instalación mecánica	\$ 4271,30	\$/mes 100,00	- Disponibilidad de energía a cualquier hora del día y bajo cualquier condición climática - Bajo costo - Posibilidad de destinar la generación de energía eléctrica para otro beneficio	- Contaminante - Mantenimiento medio - Produce ruido - Consume combustible - Posee piezas en movimiento - Posee desgaste - Involucra la compra y almacenamiento de combustible - Vida útil grupo: 3 años - Vida útil electrobomba: 5 años
Energía química (Grupo electrógeno + bomba)	\$ 4755,30	\$/mes 300,00	- Disponibilidad de energía a cualquier hora del día y	- Contaminante - Mantenimiento medio

neumática) <u>Incluye:</u> - Perforación (M.O.+ Mat.) - Generador - Bomba neumática - Instalación eléctrica - Instalación mecánica			bajo cualquier condición climática - Bajo costo - Posibilidad de destinar la generación de energía eléctrica para otro beneficio - Vida útil bomba neumática: 10 años	- Produce ruido - Consume combustible - Posee piezas en movimiento - Posee desgaste - Involucra la compra y almacenamiento de combustible - Vida útil grupo: 3 años
Energía eléctrica (línea comercial) <u>Incluye:</u> - Perforación (M.O.+ Mat.) - Compresor/Bomba neumática ó electrobomba - Instalación eléctrica - Instalación mecánica	Hasta 500 metros de la línea de distribución vale \$18,00 el metro lineal con una SETA monofásica 3KVA	\$/mes 30,00	- Disponibilidad de energía a cualquier hora del día y bajo cualquier condición climática. - No posee piezas en movimiento - Posibilidad de destinar la generación de energía eléctrica para otro beneficio - Vida línea eléctrica: 25 años	- Alto costo para grandes distancias de la línea de distribución - Mantenimiento medio - Mantenimiento con personal especializado

3.5. Conclusión (3)

De los resultados obtenidos, mostrados en Tabla Nro. 3, se observa que bajo los actuales sistemas de provisión de energía, los sistemas fotovoltaicos no son económicamente viables. La adopción de esta tecnología se verá favorecida indudablemente mediante una mayor implementación de incentivos económicos o programas provenientes ya sea de los gobiernos provinciales como de la nación y acompañado además de una reducción en los costos de producción de los elementos constituyentes de los sistemas fotovoltaicos debido a un crecimiento tecnológico y a una mayor demanda.

Por el momento, el énfasis no debe ponerse solamente en los aspectos puramente económicos de cada sistema en sí, sino en los beneficios adicionales, tales como la contribución al mejoramiento de la capacidad de distribución y transmisión de la red eléctrica actual, la reducción del impacto ambiental debido a la generación eléctrica mediante fuentes no contaminantes y cuidadosas con el medio ambiente. Esto es también hablar de energía gratuita, inagotable, superabundante y de libre disponibilidad, de tecnología relativamente simple, de bajo costo de instalación y libre de mantenimiento.

REFERENCIAS

- [1] COLLARES PEREYRA M. and RABL A. (1979) - **The average distribution of solar radiation** - SOLAR ENERGY - Vol. 20 pag 101-105
- [2] DIGENNARO J., RODRIGO V. y otros (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).
- [3] DIGENNARO J., RODRIGO V. y otros (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.
- [4] 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.**
- [5] IQBAL M. (1979) - **A study of Canadian diffuse and total radiation data – Monthly average daily horizontal radiation** - SOLAR ENERGY - Vol. 22 pag 81-86 - TECHNICAL NOTE.
- [6] IQBAL M. (1983), **An introduction to Solar Radiation** - Academic Press
- [7] MATAIX C. (1978) – **Mecánica de los fluidos y máquinas hidráulicas** – Harper & Row Publishers Inc.
- [8] MINISTERIO DE ECONOMIA (1995) – **Secretaría de energía** - <http://www.mecon.ar/energia>
- [9] MONASTEROLO R., RIBOTTA S., RODRIGO V. FASULO A. – **Estudio comparativo de un sistema de extracción de agua para una población rural dispersa en la región de V. Mercedes** – ASADES 1999 Vol. 3 Nro. 1 Pág. 02-45/48
- [10] MONASTEROLO R., RIBOTTA S., FASULO A. (1998) - **Determinación de la distribución horaria de la radiación aplicada a colectores planos ubicados en la ciudad de V. Mercedes** – ASADES Vol. 2 Nro. 2 Pág. 11.41
- [11] RED SOLARIMETRICA NACIONAL (1980-1982) - **Cuadernos números 4 al 9 (1980/1982)** - Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales - Centro Espacial San Miguel - Argentina.