

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA A TRAVÉS DE ENERGIA SOLAR Y PROVISION DE AGUA MEDIANTE BOMBA NEUMATICA A UNA POBLACION RURAL DISPERSA

RODRIGO, Victor*, MONASTEROLO, Ricardo*, RIBOTTA, Sergio*, DIGENNARO, Jorge*

*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 [1], 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 entre una de ellas, la provisión de energía a través de la energía solar. 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 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, prueba, puesta a punto y ejecución completa del sistema. Se llevaron a cabo continuos desarrollos y modificaciones que han permitido ir mejorando notablemente la eficiente y el alcance de este sistema de extracción de agua a profundidad.
2. el recurso solar disponible, 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.

1. BOMBA NEUMATICA

1.1. Descripción y funcionamiento

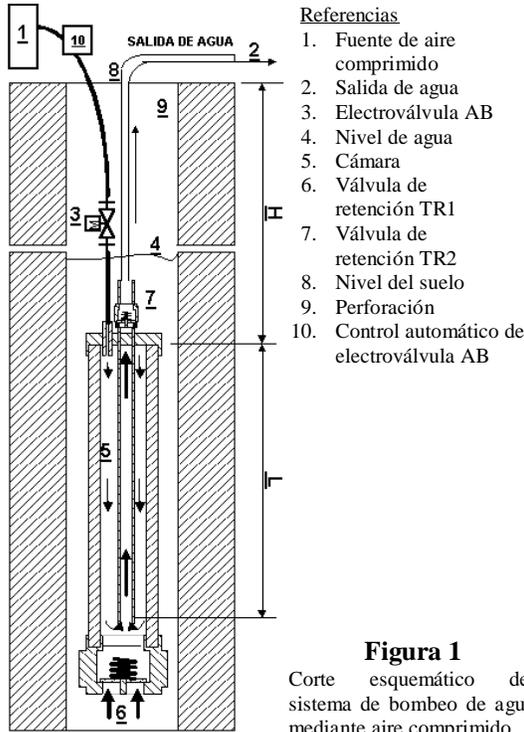
Se trata de un dispositivo para extraer agua de cierta profundidad, por medio de aire comprimido. En la fig.1 la fuente de aire comprimido esta comunicada

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 fig.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.

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 límite, $V_{c\ lim}$. 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 más o en varias etapas más. Supongamos, para seguir con el funcionamiento, que $V_c > V_d$. Entonces, al llegar al nivel inferior, (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 está 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 este 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

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

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 $n(\text{ciclos} / \text{seg}) = n(c / s)$ y obtenemos la potencia:

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

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 $n(\text{ciclos} / \text{seg})$ y obtenemos el caudal:

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

1.5. Experiencias

Se construyó 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, 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 controla con contactos comandados por los niveles superior e inferior del agua en la cámara. Las dimensiones son:

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

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

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

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

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

1.6. Mediciones y cálculo

Con el equipo descrito, se realizaron seis ensayos, en los cuales, para distintos valores de profundidad H y presión de trabajo p_i , se midió y calculó: caudal, energía por ciclo, energía por litro, 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), tiempo de descarga (variando la presión de trabajo).

1.7. Ensayos y resultados

Con la cámara se realizaron trece ensayos, en los cuales 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.

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 cm^3 .

Tabla 1
Valores característicos sobre el funcionamiento de la bomba para trece experiencias a nivel 2 (N2) y nivel 4 (N4)

| | H m | P_i atm | C l/h N2 | C l/h N4 | E_i Wh/l | T seg. N2 | T seg. N4 | T_a seg. |
|----|--------|--------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1 | 1 | 0,8 | 372 | 630 | 0,24 | 3,70 | 2.20 | 1,20 |
| 2 | 1 | 1,2 | 384 | 684 | 0,28 | 3,50 | 2.00 | 1,00 |
| 3 | 1 | 1,5 | 398 | 720 | 0,3 | 3,40 | 1.90 | 0,90 |
| 4 | 1 | 2 | 420 | 804 | 0,32 | 3,20 | 1.70 | 0,70 |
| 5 | 6,4 | 1,2 | 327 | 684 | 0,4 | 3,50 | 2.00 | 1,00 |
| 6 | 6,4 | 2 | 410 | 760 | 0,46 | 3,30 | 1.80 | 0,80 |
| 7 | 6,4 | 3 | 415 | 804 | 0,52 | 3,20 | 1.70 | 0,70 |
| 8 | 6,4 | 4 | 427 | 977 | 0,53 | 2,90 | 1.40 | 0,40 |
| 9 | 13 | 2 | 334 | 567 | 0,58 | 4,00 | 2.50 | 1,50 |
| 10 | 13 | 3 | 384 | 652 | 0,71 | 3,60 | 2.20 | 1,10 |
| 11 | 13 | 4 | 404 | 720 | 0,81 | 3,40 | 1.90 | 0,90 |
| 12 | 20 | 4 | 330 | 594 | 0,75 | 3,80 | 2.30 | 1,30 |
| 13 | 30 | 6 | 320 | 559 | 0,98 | 3,95 | 2.45 | 1,45 |

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 esta inyectando. Con estos

valores se programa un PLC para que comande la electroválvula. En la Tabla 1 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.

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. Conclusiones

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 profundidades mayores que esta, colocando una segunda cámara a treinta metros por encima de la anterior. En la siguiente página 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 válvulas 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 sumergido 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 Kg/cm² 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 al mismo 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.

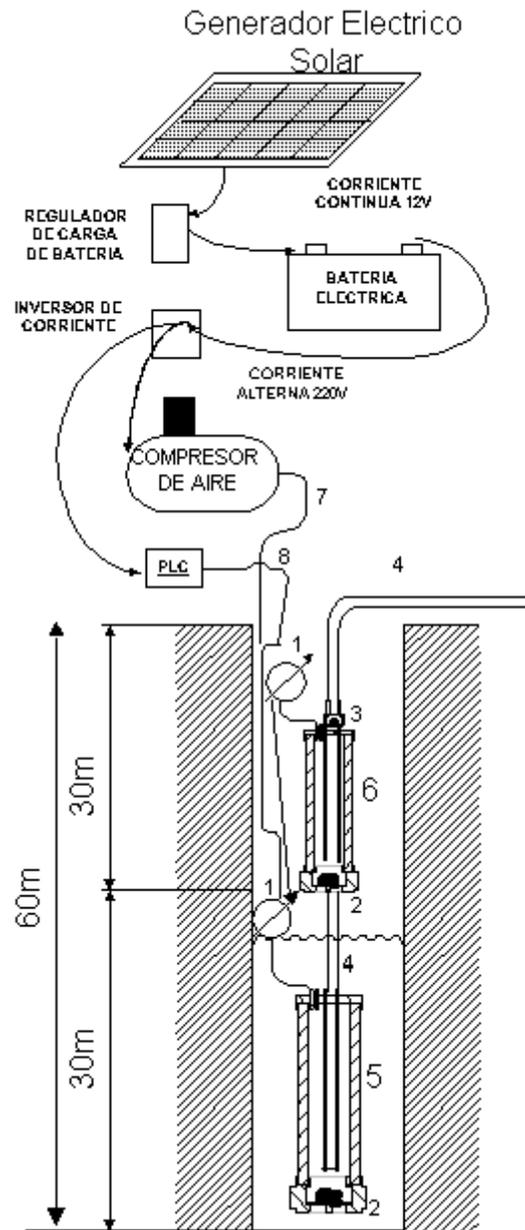


Figura 2

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

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/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 están realizando 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 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 radiación solar horizontal \bar{H} y radiación solar difusa \bar{H}_d , para V. Mercedes empleando datos de radiación registrados en la zona durante dos años por la Red Solarimétrica Nacional⁽¹⁾ y datos de heliofanía relativa durante veinte años provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.). A partir de estos datos generamos: la radiación horizontal horaria \bar{I} y la radiación horizontal difusa horaria \bar{I}_d , ambas expresadas en valores medios mensuales. Luego, obtuvimos la radiación directa horizontal \bar{I}_d a partir de las dos anteriormente deducidas, y calculando el ángulo zenital horario θ_z determinamos la radiación solar directa normal \bar{I}_n . Con estos datos estimamos la radiación 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.

2.2. Fundamentos

Para este fin vamos a postular que la distribución horaria de la radiación solar global en valores medios mensuales \bar{H} tiene una curva semejante a la distribución horaria, en valores medios mensuales de la radiación 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 radiación solar global \bar{H} tomada en plano horizontal y de heliofanía 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⁽²⁾:

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = a + b \cdot \frac{n}{N} \quad (1)$$

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 radiación global \bar{H} .

Luego, utilizando la base de datos anterior y mediante la correlación de Iqbal⁽³⁾ se determinó la radiación difusa \bar{H}_d para el mismo período:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0,958 - 0,982 \cdot \bar{K}_t \quad (2)$$

Luego a partir de estos datos, vamos a obtener la radiación horizontal horaria \bar{I} particionando la radiación solar global (valores medios mensuales) en horas. Se empleará la formulación de M. Collares-Pereira y A. Rabl⁽⁴⁾

$$r_h = \frac{\bar{I}}{\bar{H}} = \frac{\pi}{T} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega - \omega \cos \omega} \quad (3)$$

cuyos coeficientes a y b valen:

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 1,047) \quad (4)$$

$$b = 0,6609 + 0,4767 \sin(\omega_s - 1,047) \quad (5)$$

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

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

$$r_d = \frac{\bar{I}_d}{\bar{H}_d} = \frac{\pi}{T} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega - \omega \cos \omega} \quad (6)$$

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

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

$$\bar{H} = \bar{H}_b + \bar{H}_d \quad (7)$$

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

$$\bar{I} = \bar{I}_b + \bar{I}_d \quad (8)$$

por lo tanto:

$$\bar{I}_b = \bar{I} - \bar{I}_d \quad (9)$$

pero tenemos que:

$$\bar{I}_b = \bar{I}_n \cos \theta_z \quad (10)$$

En base a la tabla de valores de la radiación global horizontal horaria \bar{I} y de la radiación 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 radiación directa horaria \bar{I}_n , a través de la siguiente ecuación

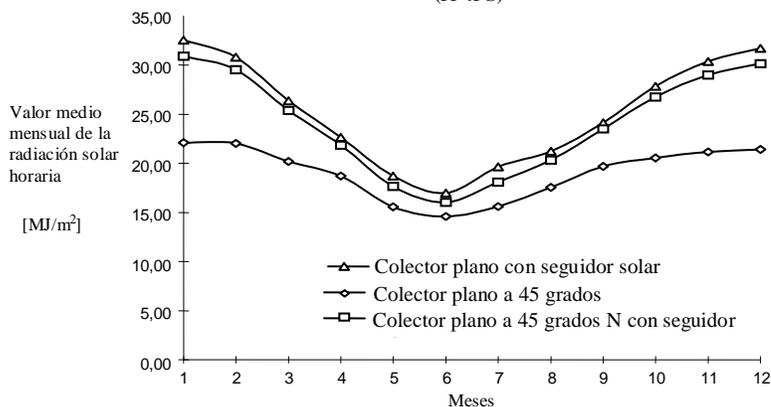
$$\bar{I}_n = \frac{\bar{I}_b}{\cos \theta_z} \quad (11)$$

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

2.4. Aplicación

A continuación, se determinaron los valores de radiación solar media mensual horaria que recibirá un colector plano ubicado en la ciudad de Villa Mercedes

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



(33°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 radiación que recibirá el colector serán la suma de la componente horizontal de la radiación normal directa \bar{I}_b mas la radiación 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 radiación determinados para estos colectores se muestran en la Figura 1.

Los datos correspondientes a la radiación global sobre un plano inclinado a 45° expresados en KW-h/m², son los que se muestran en la Tabla Nro. 1

| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun |
|------|------|------|------|------|------|
| 6.14 | 6.12 | 5.61 | 5.2 | 4.32 | 4.05 |
| Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 4.34 | 4.87 | 5.46 | 5.71 | 5.88 | 5.95 |

En donde el valor de la radiación 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.

REFERENCIAS

- (1) **RED SOLARIMETRICA NACIONAL** - Cuadernos números 4 al 9 (1980-1982) - Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales - Cento Espacial San Miguel - Argentina.
- (2) **M. IQBAL**, An introduction to Solar Radiation - Academic Press
- (3) **M.IQBAL** - A study of Canadian diffuse and total radiation data - Monthly average daily horizontal radiation - SOLAR ENERGY - Vol. 22 pag 81-86 - TECHNICAL NOTE (1979)
- (4) **M. COLLARES PEREYRA** and **A. RABL** - The average distribution of solar radiation - Correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values - SOLAR ENERGY - Vol. 20 pag 101-105 (1979)