

LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA MEDIANTE POZAS SOLARES

EN LA ARGENTINA

L. Saravia, G. Lesina y J. Mangussi

Depto. de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta,
Buenos Aires 177, 4600 Salta,

y

E. Hamity, J. Irigoitia, J. de la Fuente y G. Canelada
Instituto de Matemáticas y Física, Universidad Nacional de Jujuy,
Gorriti 237, 4600 Jujuy,

y

D. Galli

Compañía Minera Pompeya, S. A. de los Cobres, Salta.

Resumen

En este trabajo se discuten los distintos aspectos involucrados en un proyecto de generación de energía eléctrica a gran escala, en la Argentina, con utilización de pozas solares como fuente térmica.

En lo que tiene que ver con el colector se analizan los siguientes puntos: construcción, mantenimiento, estabilidad del sistema, y comportamiento térmico. Respecto del generador, se presentan dos alternativas: las turbinas con fluidos orgánicos y los generadores termoeléctricos. Finalmente se analiza el sistema conjunto en lo que tiene que ver con su optimización y costos.

De esta presentación surgen un conjunto de condicionantes respecto de las particularidades de una región en las que este tipo de sistema es factible de instalar. Ellos son discutidos en relación con dos regiones de la Argentina: la Puna en las Provincias de Jujuy, Salta y Catamarca, y la zona de Mar Chiquita en Córdoba y Santiago del Estero.

Investigador de la Comisión Nacional de Investigaciones Especiales, Av. Mitre 100, San Miguel, Buenos Aires.

1. Introducción.

La utilización de las pozas solares para la generación de electricidad ha sido objeto de un fuerte impulso durante los últimos tres años, especialmente en Israel. Este país está desarrollando un proyecto cuyo objetivo es aprovechar las condiciones favorables que se dan en la zona del Mar Muerto para la construcción de pozas, existiendo un potencial de generación de electricidad del orden de los 2000 MW (1). El trabajo se realiza sobre la base de la experiencia adquirida por ese país desde 1960 en dos campos: el de las pozas propiamente dichas y el de construcción de turbinas con fluidos orgánicos que funcionan con saltos de temperatura bajos. Ya se han realizado varias experiencias relacionadas con la construcción y mantenimiento de pozas grandes (2) y durante los dos últimos años se ha ensayado la combinación en potencias del orden de los 5 Kw (3), lo que ha servido de base para el proyecto de una instalación de 150 kw, que ha entrado en funcionamiento durante los últimos meses, utilizando una poza de 70.000 m² de área (4). En la etapa actual se planea llegar a la construcción de unidades de 5 MW, que podrían ser repetidas para satisfacer las necesidades planteadas (5). En EEUU se ha incrementado el interés en este tipo de colector durante los últimos tres años, habiéndose instalado pozas de hasta 2000 m² de área para generación térmica (6). Recientemente se ha firmado un Convenio entre ambos países para realizar un desarrollo conjunto en el campo de la generación de energía eléctrica con pozas, con especial referencia a las salinas de los estados de Utah y California. Es de destacar que a partir de fines de 1979 se distribuye internamente entre los grupos de trabajo interesados en el tema una pequeña publicación titulada "Ponds Newsletter".

En la Argentina existen vastas regiones con salinas que resultan potencialmente interesantes desde el punto de vista aquí planteado. Estas zonas tienen una buena radiación solar y dado que muchas de ellas están ubicadas en la mitad Norte del país, se puede lograr un buen aprovechamiento de la radiación en colectores horizontales. Es de destacar que dichas regiones están alejadas de los centros de producción hidroeléctrica a gran escala, por lo que podrían complementarse con ellos.

En las secciones que siguen se presenta un primer análisis de los diversos aspectos que comprende la realización de un proyecto como el que aquí se discute. En lo que tiene que ver con el colector a utilizar, una poza solar, son cuatro los aspectos básicos a discutir: a) construcción; b) funcionamiento y mantenimiento; c) estabilidad del gradiente salino y control de las zonas convectivas; d) evaluación de su comportamiento térmico.

Respecto a la conversión termoeléctrica, los puntos más importantes a tener en cuenta son: a) generación con turbinas: construcción y comportamiento térmico, b) generación con sistemas termoeléctricos: construcción y comportamiento térmico. Para el conjunto, los aspectos a discutir son: a) optimización del funcionamiento de conjunto, b) estudio de costos.

Del análisis de los puntos mencionados surge un conjunto de condicionantes respecto a las particularidades de una región para asegurar la factibilidad de la instalación, las que son discutidas en relación con las regiones de posible utilización en la Argentina.

Dado que esta exposición está limitada en longitud, tendrá un carácter de guía general sobre los distintos aspectos del tema, tratando de recalcar los puntos más importantes y poniendo en evidencia los problemas que requieren un estudio más profundo. Muchos de los aspectos experimentales que se discuten han sido ensayados en la poza de 16 m² de la U.N.Sa., con el fin de adquirir experiencia y comprobar las posibilidades reales de ejecución y funcionamiento. En muchos casos estos trabajos han sido limitados en su alcance por el tamaño reducido de la poza, lo que se espera sea subsanado próximamente con la construcción de un sistema de 600 m² de colección.

2. Construcción de una poza.

Los puntos a considerar son: a) construcción de la piscina, b) impermeabilización, c) construcción del gradiente salino, d) instalación de cañerías y sistemas de extracción y mantenimiento.

2.a. Construcción de la piscina.

La poza tiene una profundidad de alrededor de 2,5 m. aumentando si se desea tener una mayor acumulación. Sus dimensiones superficiales dependerán de su uso. Las pozas pequeñas suelen construirse semienterradas por una doble razón: aprovechar la aislación térmica de la tierra en sus laterales y hacer más accesible su superficie para experimentación. En pozas grandes las pérdidas laterales no son importantes, a la vez que el costo de la excavación aumenta mucho. Por tal razón resulta más conveniente la construcción de grandes taludes de tierra en los bordes. La elección del sitio deberá tener en cuenta dos aspectos: a) la horizontalidad del lugar, minimizando los movimientos de tierra y b) el nivel de las aguas freáticas, que pueden producir pérdidas térmicas importantes.

2.b. Impermeabilización.

Hasta ahora, la impermeabilización de la piscina ha sido llevada a cabo mediante plásticos colocados en la superficie del terreno, la que es previamente trabajada, por ej. colocando arena, para evitar roturas. Se han utilizado diversos tipos de plásticos (6-9) y aún no se ha llegado a un criterio uniforme al respecto. En pozas pequeñas se puede usar una sola manta soldada previamente. En tamaños grandes se colocan mantas más pequeñas las que se sueldan al lugar (4). Debe destacarse que el plástico, al estar bajo el agua, sufre muy poco la acción de la radiación ultravioleta, por lo que su duración es muy prolongada, estimándose que tiempos de vida de más de 10 años son razonables. Únicamente debe cuidarse la porción del plástico que emerge de la poza en los laterales para ser enterrada en el terraplén. Su color no tiene por qué ser oscuro ya que el fondo adquiere rápidamente un color marrón debido a la tierra que se deposita. La poza de Miamiburg (6), por ej., utiliza un plástico gris claro. Al ser colocado, el plástico debe dejarse con algunas arrugas que permitan su adaptación a los cambios térmicos y pequeños movimientos.

Dado que el plástico es uno de los factores que afecta el costo final del sistema, es de pensar en el desarrollo de alternativas. Hoy día se utilizan métodos de impermeabilización de canales sobre la base de distintos tipos de arcillas, pero no conocemos de intentos de uso en el caso de pozas. Un estudio más profundo en tal sentido sería importante.

2.c. Construcción del gradiente salino.

Se ha desarrollado un método de construcción del gradiente salino que es muy efectivo y de uso sencillo (10). La sal se coloca en la pileta junto con suficiente agua como para producir una solución de concentración máxima. El agua se recircula hasta formar la solución y se la trata para producir la precipitación de suspensiones, esperándose el tiempo necesario para obtener la solución clara. Luego se coloca una boca de inyección de agua apropiadamente diseñada, justo por encima del nivel superior de la futura capa convectiva inferior. Al introducirse el agua, de menor densidad, se mezcla con la capa superior a lo largo de toda la poza, sin influir sobre la inferior y creando así una capa de menor densidad. A medida que se va subiendo la boca y repitiendo las inyecciones se va creando el perfil deseado de densidades.

Los métodos de precipitación de las suspensiones dependen del tipo de sal y lugar de extracción, debiéndose realizar ensayos previos. En esta etapa también se agregan sustancias controladoras del crecimiento de algas y hongos, usualmente sulfato de cobre.

2.d. Instalación de cañerías.

Este punto está relacionado con los problemas de funcionamiento y mantenimiento, por lo que será tratado en próximas secciones.

3. Funcionamiento y mantenimiento de la poza.

Los puntos a considerar son: a) extracción de calor, b) mantenimiento del gradiente, c) control de las capas convectivas superior e inferior, d) evaporación superficial, e) detección de fugas y reparación de roturas, f) limpieza.

3.a. Extracción de calor.

Se han propuesto métodos para la extracción de calor: el uso de un intercambiador sumergido en la poza y el bombeo directo de la solución caliente del fondo. El primer método utiliza un intercambiador de calor colocado en el fondo de la piscina por el que se circula el agua a calentar. En general, la poza funciona con una capa en el fondo donde la solución esté convectando, habiéndose eliminado el gradiente. La cañería se coloca en la zona superior de la capa convectiva. El intercambiador no tiene por qué ocupar toda la superficie de la poza. Suele estar en una zona reducida y el movimiento convectivo de la capa se encarga del transporte de calor. Debe cuidarse la selección de materiales de las cañerías para evitar problemas de corrosión. Se han utilizado caños de cobre, habiendo habido problemas con las soldaduras cuando fueron hechas en estaño. Resulta interesante la posibilidad de utilizar materiales plásticos o de goma con una disposición similar a la de los colectores solares del tipo "Solar-koll" (11), aunque aún no han tenido resultados publicados en tal sentido.

El segundo método promueve el bombeo directo de la solución caliente, para que pase por un intercambiador externo colocado en el lugar de utilización del calor y su posterior retorno, ya fría, al fondo de la poza. Los estudios realizados (12,13) muestran que es posible la extracción de una capa entera,

aún para pozas grandes, por succión localizada, siempre que se respete el diseño de las botas de succión para que la velocidad máxima de la solución extraída no pase de un cierto valor que depende del espesor de la capa a extraer. La existencia de una capa convectiva en el fondo de la poza facilita la extracción. La ventaja de esta alternativa radica en la posibilidad de tener el intercambiador fuera de la poza, permitiendo un diseño más económico y de mayor eficiencia, y simplificando en mucho el mantenimiento. En algunos casos el ahorro es total, como en el de generación de energía eléctrica, debido a que el sistema donde se usa el calor ya tiene un intercambiador.

El primer método ha sido usado en la poza de Miamisburg (6), mientras que el segundo fue empleado en la de Wooster (8) y por los israelíes.

3.b. Mantenimiento del gradiente.

La discusión sobre este punto debe distinguir entre dos tipos de pozas: 1) aquellas en que la sal utilizada tiene una concentración de saturación casi independiente de la temperatura, 2) aquellas en que la concentración de saturación es fuertemente dependiente de la temperatura. El primer tipo incluye las pozas habituales, como las de NaCl y MgCl₂ sobre las cuales ya se tiene bastante experiencia. En ellas, la sal difunde a través del gradiente, por lo que es necesario reponerla en el fondo. Es necesario remarcar que este proceso es muy lento para espesores de un metro o más, por lo que la operación puede realizarse en períodos muy prolongados, de varios meses. Existen varias alternativas para llevar a cabo el proceso. Una de ellas consiste en la eliminación de la sal que llega a la superficie sustituyendo parte de la solución de baja concentración de la superficie por agua fresca.

A la vez, se agrega sal en la zona profunda para reponer la sal eliminada. Se ha estudiado en detalle (14) la disposición de las bocas de toma y extracción para realizar el cambio. La segunda alternativa consiste en la eliminación de agua en la solución de fondo para volver a obtener la concentración inicial de sal. La solución se extrae y se circula por un sistema adecuado, ya sea un destilador solar convencional, un colector de superficie descubierta (15), un sistema de evaporación tipo flash o un aparato de osmosis inversa. La energía necesaria para tal fin es pequeña en relación con la extraída en total en la poza. Este sistema permite mantener la concentración en el fondo a costa de hacer descender el nivel de la superficie, el que debe ser compensado agregando agua fresca en la misma.

El segundo método requiere una inversión inicial mayor, pero tiene ventajas de importancia en algunos casos. Dado que no se consume sal, se disminuyen los gastos de mantenimiento y se evita el tener que disponer de la solución salina de baja densidad, lo que ocasiona problemas de contaminación, especialmente en áreas rurales de producción agropecuaria. El primer método es más sencillo y sería preferible si se dispone de sal a muy bajo costo y no existen problemas de contaminación.

El segundo tipo de pozas, construidas con sales tales como borato, nitrato de sodio o sulfato de sodio, se encuentran en etapa experimental (15,16). La idea central consiste en establecer el gradiente de manera que la poza esté saturada en todo su volumen. Ello es compatible con la necesidad de tener un gradiente gracias a que la concentración de saturación aumenta sensible-

mente con la temperatura. En estas pozas, la difusión de la sal sobresatura las capas superiores, lo que provoca la precipitación de la misma, la que al llegar al fondo se disuelve cerrando el ciclo de transporte de sal. El gradiente se automantiene no habiendo necesidad de tomar precauciones especiales. No existen aún pozas grandes que funcionen dentro de este esquema. Uno de los problemas prácticos radica en la necesidad de disponer de cantidades grandes de sal, ya que las concentraciones de saturación son superiores a las utilizadas en pozas normales. Recientemente (16), se ha propuesto la utilización de pozas que estén saturadas únicamente en la superficie, con lo que se logra el mismo efecto sin necesidad de recurrir a concentraciones tan altas. Se encuentra en construcción una poza de 400 m² de área de colección que trabajará en esta forma (17).

3.c. Mantenimiento de las capas convectivas.

Este tema será tratado en la próxima sección, conjuntamente con el problema general de estabilidad.

3.d. Evaporación superficial.

La evaporación produce un aumento de densidad en la capa superior, lo que tiende a disminuir el gradiente. Por esta razón el agua eliminada debe ser reemplazada. La velocidad de evaporación depende de las condiciones del lugar y oscila entre 3 y 7 lt/m² día, por lo que la evaporación anual es del orden de la cantidad de agua que existe en la poza. Esto obliga a que el sistema sea instalado en lugares donde se disponga de dicho volumen de agua, siendo una condición limitante para el uso de pozas en zonas áridas. Se ha planteado la posibilidad de colocar plásticos transparentes en la superficie. Los problemas de limpieza y rápida destrucción al no estar cubierto por el agua hacen dudar de la practicidad de la solución en el caso de pozas grandes. Otra posibilidad, aún no ensayada es la de utilización de compuestos que formen capas monomoleculares.

Debe destacarse que la evaporación en una poza no es mayor que la de un lago en el mismo lugar, y por el contrario, es algo menor debido a que parte de la radiación incidente es extraída y no se disipa en la superficie.

3.e. Detección de fugas de solución.

Siempre existen posibilidades de fuga de la solución por fallas en la capa de impermeabilización. Esto constituye un problema de entidad desde dos puntos de vista: aumentará el consumo de sal para mantener el sistema y producirá contaminación en el terreno colindante. Con el fin de evitar el problema se deben considerar dos aspectos: la detección de la fuga y del lugar donde se produce y su posterior sellado.

Se han detectado fugas por deficiencia en el balance total de la sal contenida en la poza. Esto es bastante difícil de realizar en el caso de fugas pequeñas, ya que exige una medida precisa de las concentraciones. Se están estudiando diversos métodos (18), apareciendo como uno de los más prácticos y sencillos el de medir los cambios en la resistividad eléctrica del suelo mediante una red de cables desnudos, aislados unos de otros en los puntos de cruce de la malla. La malla está colocada debajo del plástico y se mide la resisten-

cía entre dos pares de cables hasta encontrar el cruce de cables en que se haya producido un mayor cambio de resistencia. Llegado este punto, una inspección visual con buceadores permitirá detectar exactamente la fuga. La reparación es sencilla, ya que basta colocar sobre la rotura una almohadilla con un peso sustancial sobre ella.

Un accidente de este tipo tuvo lugar en Miamisburg debido a la rotura de una soldadura (19). La fuga fué detectada por balance total. Aunque no existía malla de cables, se tuvo la suerte de que la pérdida se produjo cerca de un conjunto de termocuplas de medidas que indicaron la fuga por alteraciones en las señales de salida. Se utilizaron buceadores y una almohadilla para el arreglo final.

3.f. Limpieza.

Sobre la poza caen suciedades de muy variados tipos. Nuestra experiencia es que la mayor parte de ellas caen al fondo, algunas de ellas después de entrechar a media altura por un buen tiempo hasta que se saturan de sal o terminan de descomponerse. Solo en casos muy especiales aparecen problemas. Por ejemplo, algunos tipos de hojas pueden teñir la poza.

El crecimiento de algas se controla bien con sulfato de cobre. Algunas especies de hongos pueden llegar a crecer a pesar de las condiciones no habituales de temperatura y sal, pudiendo necesitar tratamientos especiales. Los iguanales han tenido algún problema en este sentido en una de sus pozas grandes. La lluvia, al lavar la superficie, puede eliminar el sulfato de cobre, provocando el crecimiento de algas. Es conveniente controlar de cerca este aspecto, renovando la concentración de sulfato después de lluvias intensas.

4. Estabilidad del gradiente y control de las zonas convectivas.

Con el fin de estabilizar el control de la masa de agua cuando se establece en ella un gradiente térmico, en la poza se ha recurrido al procedimiento de establecer un segundo gradiente, de tipo salino. Las condiciones bajo las cuales este doble gradiente mantiene su estabilidad son de suma importancia para la poza ya que son la razón de su existencia. Este tema ha tenido una amplia discusión en dos aplicaciones diferentes: la estabilidad de capas oceánicas y la estabilidad de capas atmosféricas. El trabajo realizado hasta 1973 ha sido expuesto en un libro (26). Las condiciones de trabajo de una poza, es decir valores de los gradientes térmicos y difusivos, son bastante distintos a los que se dan en esos dos casos, razón por la cual, si bien las condiciones generales de estabilidad son las mismas, el estudio de las pozas presenta particularidades que hacen necesaria la aplicación de otros métodos de ataque del problema, los que aún están en desarrollo. En este sentido se han realizado avances de significación durante el último par de años (10).

En términos generales, se puede decir que en el volumen de la poza el gradiente salino es más que suficiente para compensar el gradiente térmico y asegurar la estabilidad. Sólo en algunos casos particulares puede darse el caso de llegar a una inestabilidad tal que se produzca una zona de mezcla (capa convectiva) en el medio de la poza. En tales condiciones, es necesario tener en cuenta aspectos no lineales y un paso en ese sentido ha sido dado por el tr

bajo mencionado (10).

El problema más grave para la estabilidad ocurre en la superficie y fondo de la poza.

En el fondo, la difusión produce un rápido descenso del gradiente salino, ya que no entra sal que lo tienda a compensar. En esas condiciones el gradiente térmico prontamente provoca la mezcla de la solución y formación de una capa convectiva. Una vez formada, aparece el problema de crecimiento de la capa convectiva, al cual es bastante distinto al presentado antes ya que ahora hay que estudiar el comportamiento de la superficie de transición entre la zona convectiva (en la capa) y la zona con gradiente (por encima de la capa). Aquí se encuentran nuevos fenómenos como el de erosión de la zona de gradiente por el movimiento convectivo de la capa. No existen estudios teóricos detallados sobre el problema, de importancia básica para el funcionamiento de la poza.

Un fenómeno similar ocurre en la superficie, aunque ahora el agente de mezcla es mecánico, fundamentalmente el viento.

Desde el punto de vista experimental, se piensa que el crecimiento de la capa puede ser controlado. Existen estudios experimentales que plantean las condiciones que deben cumplir los gradientes para asegurar la estabilidad de la capa convectiva (27). También se plantean métodos de lograr la estabilidad mediante la inyección de soluciones concentradas en la transición entre la capa convectiva y la capa con gradiente (28).

En la superficie se ha evitado el problema colocando barreras flotantes que impiden la acción mecánica de mezcla, habiendo realizado los israelíes diversas experiencias en tal sentido.

5. Comportamiento térmico de una poza.

El primer cálculo detallado del comportamiento térmico de una poza fue realizado por Weinberger (20), habiendo sido completado y extendido por Rabl y Nielsen (21). Estos trabajos son de carácter analítico, suponiendo un modelo unidimensional en que se desprecian las pérdidas laterales de calor. Están basados en el desarrollo de la variación anual de las temperaturas en serie de Fourier, reteniendo el término estacionario y la primer armónica, cuyo período es de un año, y está caracterizada por una amplitud y un desfase. La variación diaria no tiene importancia en las pozas dada la inercia térmica de la masa de agua que forma el sistema.

Los desarrollos realizados en los trabajos mencionados no resultan aplicables en su totalidad al caso de generación de energía eléctrica debido a que suponen una política de extracción de calor que no es la apropiada. Los cálculos han sido realizados nuevamente con la hipótesis de que el calor extraído por unidad de área y de tiempo, q_{ext} , es proporcional a la diferencia de temperatura entre el fondo de la poza, T_f , y su superficie, T_s : $q_{ext} = \lambda(T_f - T_s)$. No se reproducen en detalle los cálculos por no presentar dificultades especiales, salvo su longitud. Los resultados fueron programados en una computadora de mano TI 59, la que permite obtener la componente estacionaria de T_f ,

T_f^c y su variación sinusoidal, amplitud T_f y desfase ϕ , si se conocen como datos la variación anual de la radiación y de la temperatura ambiente, así como los parámetros que determinan las pozas, a saber: espesor de la capa de gradiente l_g , de la capa convectiva l_c y la cte. de extracción A . Estos programas serán utilizados en la sección en que se estudia la optimización del funcionamiento de conjunto del sistema.

Existen estudios numéricos, sobre la base de técnicas de diferencias finitas, que permiten tener en cuenta un mayor detalle en lo que se refiere a variación de las propiedades ópticas con la profundidad y variaciones de los parámetros ambientales. No obstante, los métodos analíticos son suficientes para un primer intento de evaluación, por lo que serán los utilizados en este trabajo.

Las hipótesis sobre las que se basan los estudios mencionados son buenas cuando la poza es de dimensiones grandes. En pozas más pequeñas, como las que se podrían instalar en una primer etapa de ensayo, las pérdidas laterales son de importancia y deben ser tenidas en cuenta en los cálculos. El modelo unidimensional ya no es adecuado y se debe considerar la distribución de temperaturas en el suelo que rodea a la poza. Un programa numérico que tiene en cuenta estos aspectos ha sido preparado y se explica en detalle en el Anexo A.

A título de ejemplo, en la Fig. 1 se muestran algunos resultados obtenidos con ambos programas. A igual que en un colector común, se puede variar la temperatura de fondo de la poza cambiando la velocidad de extracción de calor. En la Fig. 1 se muestran los rendimientos calculados en dos casos: una poza de área infinita, en la que se desprecian las pérdidas laterales, y otra de tamaño relativamente pequeño ya que tiene un área de 400 m^2 . Ambos cálculos fueron realizados con los valores de radiación media anual correspondiente a Abra Pampa, Jujuy, en plena Puna, que es de 300 W/m^2 . También se adoptaron los valores de temperatura ambiente y de suelo medios de la región.

Se observa que la pérdida de eficiencia debida al tamaño de la poza es significativa, lo que es comprensible ya que para una poza de 400 m^2 de área y una profundidad de $2,5 \text{ m}$ el área lateral, es igual a un 44% del área de colección. En la figura 2 se muestra la distribución de temperaturas en el suelo alrededor de la poza calculada para una temperatura de fondo media de 60°C .

En definitiva, en el presente trabajo se utilizará el método analítico para la evaluación de rendimientos, aunque se efectuarán los valores obtenidos por un coeficiente $c = 0,8$, con el fin de tener en cuenta las pérdidas laterales que existen en una pequeña proporción en pozas grandes, así como los cambios en las propiedades ópticas por efectos de suciedad y elementos orgánicos.

6. Turbinas con fluidos orgánicos

Con el fin de generar electricidad a partir de las pozas puede usarse un ciclo Rankine en el que el fondo de la poza actúe como fuente caliente mientras que su superficie hace las veces de fuente fría. En el intervalo de temperatura que brinda este colector los ciclos que utilizan fluidos orgánicos tienen una mayor eficiencia que aquellos basados en el uso de vapor de agua. La Fig. 3 muestra el rendimiento de distintos ciclos como función de la temperatura

máxima, indicando que recién por encima de los 300°C el agua comienza a tener ventajas. Los ciclos Rankine con fluidos orgánicos para temperaturas menores de 100°C, utilizando turbinas para la conversión mecánica han sido desarrollados por la Compañía Ormat en Israel y la Ansaldo en Italia. La primera tiene una amplia experiencia en el tema, desde 1960, habiendo producido recientemente la turbina de 150 KW utilizada en Israel con una poza. La experiencia de Ansaldo es más reciente, habiendo encarado turbinas de 3 KW (22) encontrándose en desarrollo otra de 50 KW.

A continuación se explica el funcionamiento general de estos ciclos sobre la base del desarrollo de Ansaldo, sobre el cual se tiene mayor información. Debe destacarse que el diseño de ambas compañías es similar.

La Fig. 4 esquematiza el ciclo utilizado, el diagrama Temperatura - entropía correspondiente y el diseño constructivo del sistema.

El fluido utilizado es tetracloroetileno, la turbina es de tipo supersónico y su velocidad es de 14000 rpm. Debido a esta velocidad el eje no puede salir directamente al exterior ya que produce pérdidas de fricción muy altas en la empaquetadura, por lo cual la velocidad se baja a 3000 rpm con una demultiplicación. El condensador del sistema se coloca en la parte superior con lo que se logra alimentar al evaporador por gravedad, sin necesidad de bombas.

El rendimiento de los ciclos orgánicos se acerca bastante al de Carnot, siendo realista adoptar una ecuación del tipo:

$$\eta = k \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_e}\right) \quad \text{Ec. 2.}$$

donde T_c es la temperatura del condensador y T_e la del evaporador. Para la máquina ensayada, k es del orden de 0,72.

El evaporador y condensador intercambian con la poza a través de un intercambiador de caños con aletas produciéndose una diferencia de temperatura entre la solución y el fluido orgánico:

$$T_c = T_s + \Delta_c \quad \text{Ec. 3}$$

$$T_e = T_f - \Delta_e \quad \text{Ec. 4}$$

En los ensayos realizados los valores de Δ_c y Δ_e oscilaron en los 10°C.

Finalmente, parte de la potencia generada se utiliza en el bombeo por lo que se le debe afectar de un coeficiente.

7. Generación Termoeléctrica

Recientemente (23) se ha evaluado la posibilidad de producir electricidad a partir de pozas mediante generadores termoeléctricos. Estos sistemas fueron desarrollados en la década del 60, para la generación a pequeña escala en zonas aisladas con fuentes térmicas de temperatura bastante superior. Con el fin de lograr eficiencias razonables, se utilizan materiales semiconductores para formar el par termoeléctrico que produce una diferencia de potencial al

aplicarse la diferencia de temperatura. En esta forma se logran eficiencias de conversión que llegan hasta el 20 o 30% de las que se logra con un ciclo de Carnot. El tipo de material depende del intervalo de temperatura en que se trabaja. Para el caso de pozas el recomendable sería el telururo de plomo o el telururo de bismuto.

El esquema de un generador termoeléctrico utilizable en estas aplicaciones se muestra en la figura 5. El par termoeléctrico está formado por el semiconductor dopado N y P. Las barras alternativas de material se encuentran en serie para producir el voltaje necesario. Estos sistemas podrían ser atractivos por una doble razón: 1) no tienen partes móviles por lo que su vida útil es extremadamente larga y no necesitan mantenimiento, en contraste con las máquinas térmicas discutidas en la sección anterior; 2) sólo requieren materiales de pureza baja, en contraste con las celdas fotovoltaicas, por lo que podrían ser producidas a precios muy reducidos.

Debe destacarse que estos materiales están en etapa de evaluación, no produciéndose aún en escala económica, en contraste con las turbinas de fluido orgánico cuya producción es industrial. De cualquier manera, su potencial es interesante, por lo que la evolución de esta tecnología debe ser seguida de cerca.

8. Elección de las regiones potencialmente favorables.

Del análisis de las secciones anteriores surge la necesidad de que la región donde se instale una poza cumpla varias condiciones para que el sistema sea factible desde un punto de vista económico.

Las más importantes son:

- a) Es conveniente que la región tenga latitud baja, dado que el colector es horizontal.
- b) Dada la cantidad de sal necesaria, la factibilidad económica mejorará mucho si se dispone de fuentes de sal en las cercanías de la instalación.
- c) Dado que es necesario alimentar las pérdidas de agua por evaporación, la región debe contar con una reserva hidrológica suficiente. En definitiva, este es el factor que limitará el área de colección y por tanto, la potencia generada.
- d) Dado que las superficies necesarias son grandes, es importante disponer de terreno a bajo costo, es decir, que no puede ser dedicado a tareas productivas.
- e) Dado que las posibilidades de generación son grandes, la región debe estar cerca de centros de consumo de significación.

En lo que se refiere a la Argentina; el punto a) indica que las regiones favorables deberán estar en la mitad norte del País. En ella, existen varias zonas con salinas abundantes, siendo las principales la zona de la Puna en las Provincias de Salta, Jujuy y Catamarca, y la zona de salares de Santiago

del Estero y noreste de Córdoba. Dentro de estas dos zonas el punto a) determina las regiones específicas de interés.

En la zona de la Puna existen varias lagunas siendo en principio las mayores la Laguna de Pozuelos y la de Guayatayoc en la Provincia de Jujuy. Los estudios realizados sobre el régimen de lluvias en la zona de la Puna indican que la precipitación anual desciende hacia el sur, por lo que resulta natural que las lagunas mayores estén hacia el norte. De hecho, los mayores lagos se encuentran en la Puna Boliviana. En principio, la Laguna de Guayatayoc sería la de mayor interés por las siguientes razones: tiene una salina de buen tamaño, la "Salina Grande", a muy poca distancia; se encuentra muy cerca de la capital de Jujuy requiriendo líneas de transmisión de menor longitud para llegar a los centros de consumo; sus aguas son ligeramente saladas.

En la zona de Santiago del Estero y Córdoba, el mayor cuerpo de agua es Mar Chiquita. Dado que sus aguas son algo saladas, su densidad en tiempos normales (sin crecidas) es del orden de 1,05 (24), resultarían ideales para esta aplicación.

Los salares se encuentran algo lejos, unos 300 km, pero existen vías de transporte. La región de Mar Chiquita es también excelente en lo que se refiere a su cercanía a los centros de consumo.

Es interesante indicar que las dos zonas señaladas están ubicadas en la región oeste del país, donde las fuentes renovables de energía de origen hídrico no son muy abundantes.

Por razones de proximidad, se ha comenzado a estudiar la zona de la Laguna de Guayatayoc, tratando de recopilar los datos existentes sobre clima, régimen hídrico, etc.

La laguna se encuentra a los 23,5° de latitud Sur, a unos 3500 m. de altura, su ubicación se detalla en el mapa de la figura 6.

Tiene un buen acceso por la ruta N° 16, a través de la Quebrada de Purnamarca; la ruta N° 40 uniendo Ayra Pampa con San Antonio de los Cobres, pasa por el borde este de la laguna. Las dos rutas mencionadas se cortan a la altura del borde sur de la laguna. La distancia de ésta a la ciudad de Ayra Pampa es de unos 70 km. por la ruta N° 40, a lo largo del valle del río Miraflores.

La laguna ocupa la zona Norte de una cuenca muy chata orientada de Sur a Norte. La zona Sur de la cuenca está ocupada por las Salinas Grandes, depósito salado de importancia.

La laguna recibe las aguas de un sistema hídrico muy extenso, que cubre un área de 17.500 km² comprendiendo el Río Miraflores, el San Antonio de los Cobres y el de las Burras. Las aguas no tienen salida, siendo eliminadas por evaporación. No se han encontrado datos del régimen hídrico de la laguna. De acuerdo a los datos verbales recogidos, visitas al lugar, algunas fotos aéreas disponibles y un estudio de la cuenca realizado para determinar el potencial de yacimientos de bórax que ocupan la banda Sur y Este de ella (25), dicho régimen es muy variable, dependiendo de las lluvias, caídas en la zona. En algunos años, como en 1974, la superficie libre del agua ha llegado a más

de 100 km², con una profundidad de 1 a 2 m en la mayor parte de su extensión, excepto en algún punto donde llegó a los 5 m. En años secos, como el presente, la laguna casi desaparece, encontrándose pequeñas extensiones de agua de muy poca profundidad. El subsuelo está muy humedecido, manando agua en los pozos que se abren hasta la altura de la primera capa de arcilla impermeable. El contenido de sal del agua es bajo, menor que 1 gr/lit.

Este régimen hace muy difícil estimar la disponibilidad media de agua para uso en pozas, siendo necesario emprender un estudio hídrico más detallado. No existen datos climatológicos del lugar. Se dispone de datos en La Quiaca, a 140 km y la misma altura y en Abra Pampa. Ellos indican valores muy altos de radiación sobre superficie horizontal, con una media anual de 300 w/m². La media de temperatura en invierno es 2°C y en verano de 14°C, con variaciones altas entre el día y la noche, del orden de los 30°C.

La población de la zona es muy escasa reduciéndose a casas aisladas y a algunas poblaciones con muy pocas viviendas.

9. Condiciones de funcionamiento del sistema

Existen algunos parámetros de diseño de la poza que deben ser seleccionados de manera que la energía eléctrica anual generada por el sistema conjunto sea máxima. Ellos son: altura l_g de la capa con gradiente; extracción de calor en la poza, regulada por el coeficiente A ; altura de la capa convectiva l_c en el fondo de la poza.

En términos generales existe un balance entre la producción de calor por parte de la poza y de producción de potencia por parte de la turbina. Si se aumenta la temperatura en el fondo de la poza disminuye el calor q_{ext} producido por ella, pero sube el rendimiento de la turbina. Por otro lado, la temperatura en el fondo no debe pasar en ningún momento de la de ebullición. Otro aspecto es el de la altura l_g . En una poza para uso industrial directo de calor, existe un óptimo de l_g , resultado de un balance entre la mejora de la aislación térmica de la capa al aumentar l_g y la disminución de la radiación que llega al fondo por absorción en la capa. Al producir energía con la turbina, el punto de balance cambia ya que ahora se debe considerar el hecho de que el aumento de l_g eleva la temperatura en el fondo, lo que mejora el rendimiento de la turbina.

Con el fin de determinar los valores más convenientes de los parámetros, se han hecho cálculos de la potencia anual media producida por el sistema utilizando el análisis térmico de la poza y turbina, discutido en las secciones 5 y 6, con los valores de los parámetros según se detallan en la Tabla I y que corresponden a las condiciones climáticas de la Laguna de Guayatayoc. Los resultados se muestran en la figura 7, donde se da la potencia media en MW/km², como función de la temperatura de fondo media T_f , para distintos valores del espesor de capa con gradiente. Es de hacer notar que en la práctica los cambios en la temperatura de fondo T_f , se logran variando la constante A , es decir el intercambio de calor entre la poza y la turbina.

Se observa que en la poza posible de trabajo la potencia útil aumenta con la temperatura de fondo, por lo que conviene trabajar con el mayor valor posible

compatible con la no ebullición de la solución. Dado que la amplitud de la oscilación de la temperatura a lo largo del año es del orden de los 15°C , según veremos a continuación, no es recomendable pasar de los 80°C de media.

En lo que respecta a l_g , se aprecian mejoras importantes de la potencia producida hasta profundidades de 1,4 a 1,6 m. Más allá de esos valores el incremento es muy pequeño y seguramente no compensará los costos adicionales de sal.

El cálculo de la amplitud y desfase de la variación sinusoidal anual de la temperatura de fondo se ha hecho para un valor seleccionado $l_g = 1,4$ m y valor de extracción (constante A) tales que la temperatura de fondo sea de $81,5^{\circ}\text{C}$. El espesor de la capa convectiva inferior, que hace las veces de acumulador influyendo en algo sobre las variaciones anuales, se ha tomado como parámetro, obteniéndose los valores dados en la Tabla II.

Vemos que la amplitud de las oscilaciones es de prácticamente 15°C y el retardo para llegar al máximo de temperatura es de algo más de un mes. Un espesor de capa convectiva de 1 menos da una oscilación admisible.

Se ha calculado la potencia a lo largo del año, lo que se muestra en la Fig. 8 en conjunto con las variaciones de la temperatura de fondo, y la de superficie.

De acuerdo a estos resultados, la potencia media extraíble en la zona de la Laguna de Guayatayoc será de $8 \text{ MW}/\text{km}^2$. La temperatura de fondo oscilará entre los 97 y los 66°C .

10. Análisis de costos.

Un análisis detallado requeriría una definición más precisa de los distintos aspectos de la instalación, por lo que los valores que se citan a continuación sólo tienen como fin adquirir una idea general sobre la factibilidad económica del planteo.

Se presenta un análisis para una unidad con una potencia media de generación de 5 MW . Dada la relación entre potencia promedio y máxima vista en la sección anterior, la turbina deberá tener una potencia de $6,8 \text{ MW}$.

Si se supone que su factor de uso es de $0,85$, la energía anual producida será de $37,2 \cdot 10^6 \text{ MWh}$.

El costo de la turbina varía con el tamaño. Para unidades grandes se cita (23) un costo de u\$s 1.000 por kW en los EE.UU. Las fabricadas actualmente en Israel, para 50 kW , están en el orden de u\$s 3.500 el kW . Se adoptará aquí un costo de u\$s 1.000 el kW .

El costo del colector depende en mucho del sitio, disponibilidad de sal, etc. El costo actual, utilizando sal comprada, es del orden de u\$s 30 por m^2 . De disponer de la sal libremente, se podría llegar a u\$s 5 por m^2 . Aquí se tomará un valor de u\$s 10 por m^2 . Con una generación de 7 MW por km^2 , el costo de colección será de u\$s $7,2 \cdot 10^6$.

Por último, se admitirán gastos accesorios por un valor de u\$s 200 por kW.

Estos valores determinan un costo inicial de la planta de u\$s 3.000 por kW medio.

El costo anual se calcula sobre la base de un tiempo de vida de la poza de 20 años y de la turbina de 10 años. Se supone un 8% de interés anual y gastos de mantenimiento del 10%. Teniendo en cuenta la producción de energía ya mencionada se llega a un costo anualizado de u\$s 0,06 el kWh.

1. Conclusiones

Las principales conclusiones a extraer son:

- a) Existen en la Argentina regiones potencialmente favorables para la instalación de sistemas de generación de energía eléctrica con pozas solares,
- b) Los sistemas podrán trabajar como usinas de base, generando en forma continua potencias del orden de 7 MW por km² con variaciones anuales de - 25% de acuerdo a la época del año. Ello indica que la potencia generable será de envergadura, llegando a los 2000 MW en la región de Mar Chiquita y a los cientos de MW en las zonas de la Puna,
- c) La explotación de este recurso requerirá la incentivación de los trabajos que se realizar en el tema buscando:
 - 1) determinar el potencial real de las regiones mencionadas, calculando:
 - i) condiciones climáticas; ii) disponibilidad hídrica, iii) disponibilidad de sal,
 - 2) preparar el recurso humano necesario para asimilar y desarrollar las técnicas requeridas para la explotación del recurso, a saber:
 - i) instalación y funcionamiento de pozas solares grandes,
 - ii) instalación y funcionamiento de turbinas con fluidos orgánicos,
 - 3) Determinar la factibilidad económica.

REFERENCIAS

- 1 - G. Asaf, The Dead Sea; A Scheme for a Solar Lake, Solar Energy 18, 294-299, (1976).
- 2 - H. Tabor, Large-Area Solar Collector for Power Production, Solar Energy, Vol. 7, Nº 4, (1963).
- 3 - G. Asaf, E. Doron, Z. Weinberger, E. Vroebel, H. Herzman, A. Katz, S. Saring, Large Size Solar Pond for Electricity Production, Actas ISES, SUN II, Vol. II, pag. 1020 (1979).
- 4 - Dead Sea Pond, Solar Age, pag. 20, (Marzo 1980).
Sun World, Vol. 3, Nº 5, pag. 140 (1979).
- 5 - a. S. Sargent, US/ISRAEL Pond Overview, Solar Ponds Newsletter Nº 2, Feb. 1980, pag. 2. T. Ochs edit. Nevada USA.
b. B. Morris (Jerusalem Post Reporter) Solar electricity from the Dead Sea, ISES, News, Newsletter Nº 31, (Marzo 1980).
- 6 - R.S. Bryant, R.P. Bowser, L.J. Wittenberg. Construction and Initial Operation of the Solar Miamisburg Salt-Gradient Solar Pond, Actas ISES, SUN II, Vol. II, pag. 1005, (1979).
- 7 - G. C. Jain, Heating of Solar Pond, The Paris Congress on Solar Energy (1973).
- 8 - T. H. Short, P.C. Bedger, W. L. Roller, The Development and Demonstration of a Solar Pond for Heating Greenhouses, Actas ISES, SUN II, Vol. II, pag. 1021, (1979).
- 9 - C. E. Nielsen, Experience with a prototype solar pond for space heating. Proc. Joint Conf. Am. and Can. Solar Energy Soc., Winnipeg, Canadá, Vol. 5, p. 169 - 182, (1976).
- 10 - F. Zangrado, Observation and Analysis of a full-scale experimental salt gradient Solar Pond. Tesis. Albuquerque, New Mexico, Mayo 1979.
- 11 - Solar Age, pag. 22, (Abril 1979).
- 12 - C. Elata, O. Levin, Hydraulics of the Solar Pond, 11 th Congress of the International Association for Hydraulics Research, Leningrado (1965).
- 13 - D. G. Daniels, M. F. Merriam, Fluid Dynamics of selective withdrawal in solar Ponds, Session 35, ISES, Los Angeles, California, USA, (1975).
- 14 - C. Nielsen, A. Rabl, J. Watson, P. Weiter, Maintenance of Salt Concen-

- tration Gradient in Solar Pond. The Ohio State University (1975).
- 14 - C. Nielsen, A. Hahl, J. Watson, P. Weiter, Maintenance of Salt Concentration Gradient in Solar Pond. The Ohio State University (1975).
 - 15 - a. T.L. Ochs, J. O. Bradley, The Physics of a Saturated $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ Non Convecting Solar Pond. Actas ISES, SUN II, Vol. II, pág. 1026, (1979).
 - b. J. Mangussi, L. Saravia, Pozas Solares con gradiente salino saturado. Actas de la 3ra. Reunión de Trabajo de Energía Solar de la ASADES, pag. 65, Mendoza (1977).
 - 16 - J. Mangussi, G. Lesino, L. Saravia, A. Ronco, Funcionamiento de un modelo de poza solar con gradiente salino saturado. Actas de la 4ta. Reunión de Energía Solar de la ASADES, pág. 43, La Plata, (1978).

J. Mangussi, L. Saravia, G. Lesino, The Use of Sodium Sulphate in Solar Pond. Aceptado para ser publicado en Solar Energy.
 - 17 - G. Lesino, J. Mangussi, L. Saravia, "Incorporación de las pozas solares al proceso industrial de producción de sulfato de sodio." A presentar en la 6ta. Reunión de Energía Solar de la ASADES, Catamarca, (1980).
 - 18 - Suggestions on locating pond leaks. Solar Ponds Newsletters, T. Ochs edit., Nevada, USA, Nº 2, pag. 14, (Feb. 1980).
 - 19 - Liner Repaired at Miamisbug Solar Pond. Solar Ponds Newsletters. T. Ochs edit. Nevada USA, Nº 2, pág. 16, (Feb. 1980).
 - 20 - B. Weinberger, The Physics of the Solar Pond. Solar Energy, Vol. 8, pag. 45, (1964).
 - 21 - A. Hahl, C. Nielsen, Solar Pond for Space Heating. Solar Energy, Vol. 17 pág. 1,2, (1975).
 - 22 - C. Maccio et al., Operational Experience of a 3. Okw solar powered pump. Actas ISES, SUN II, Vol. II, pag. 150, Atlanta USA (1979).
 - 23 - SERI, Conversion System Overview Assesment, Vol. I, Solar Thermoelectrics Section 6.0, STEG-Solar Pond, pag. 1-35, Golden Colorado, USA, (Agosto 1979).
 - 24 - J. Durigneux, "Composición química de las Aguas y Barros de la laguna de Mar Chiquita, en la Provincia de Córdoba. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina. Miscelánea Nº 59 (1978).
 - 25 - O. V. Reverberi, Contribución al estudio de los yacimientos de boratos de Argentina: Borateras en la Provincia de Jujuy, (Agosto 1968).
 - 26 - J. S. Turner, Buoyancy effects in fluids. cap. 7, Cambridge at the University Press, (1973).

- 27 - C. E. Nielsen, Equilibrium thickness of the stable gradient zone in solar ponds. Proc. Am. Sect. ISES, Vol. 2.1, p. 932-935, (Denver 1978).
- 28 - C. E. Nielsen, Control of Gradient Zone Boundaries. Actas ISES, SUN II, Vol. II, pág. 1010, (1979).

Tabla I: Valores de los parámetros utilizados en el cálculo de la potencia anual a producir en la Laguna de Guaytayoc.

	Media	Amplitud	desfase
Temperatura ambiente	8,4°C	6,2°C	0°
Radiación	300 w/m ²	81 w/m ²	0° C

Tabla II: Amplitud de la oscilación de la temperatura de fondo, T_f, y su desfase para distintos espesores de capa convectiva.

(m)	T _f (°C)	(meses)
0,5	16,8	1,0
1,0	15,5	1,27
1,5	14,2	1,48

ANEXO I

CALCULO DE LA EFICIENCIA CON PERDIDAS LATERALES

Las hipótesis de cálculo que se adoptan son:

- 1) Las isotermas en la poza siguen siendo horizontales a pesar de la pérdida lateral. La ecuación que rige la distribución de temperatura $T(z)$, donde z es la profundidad, para la poza en estado estacionario será la utilizada normalmente (21), con el agregado de un término que expresa la pérdida lateral por unidad de área lateral:

$$\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = k_w \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{\partial H}{\partial z} - \frac{P}{A} q_p$$

donde k_w es la conductividad térmica de la solución, P el perímetro, A el área, q_p la pérdida lateral y $H(z)$ la radiación a profundidad z , la que será dada por la expresión utilizada por Rabl y Nielsen (21). Se tendrán condiciones de borde en la superficie y fondo.

- 2) La poza se supondrá cilíndrica, de manera que la temperatura T en el suelo que rodea la poza sólo depende de la profundidad z y de la distancia radial r . La ecuación para T se reduce a:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

Dado que numéricamente no se podrá plantear la ecuación en todo el semiespacio que rodea la poza, se supondrá que la temperatura a una profundidad L bastante mayor que la profundidad de la poza es constante y conocida, a igual que la temperatura a una distancia radial R mayor que el radio de la poza.

Para resolver numéricamente el problema, se introduce una grilla unidimensional a lo largo de z en la poza y una bidimensional a lo largo de z y r en el terreno, pasando a escribir las ecuaciones diferenciales finitas. A partir de ellas se obtienen fórmulas de recurrencia en las que la temperatura en un punto de ambas grillas se obtiene de las temperaturas en los puntos de ambas grillas que rodean al considerado. Partiendo de un valor inicial hipotético, las temperaturas se vuelven a calcular mediante las fórmulas de recurrencia, repitiendo el proceso hasta obtener una buena convergencia.

- Poza de 400 m², con pérdidas laterales.
- - - Poza infinita, sin pérdidas laterales.

$$l_g = 1,6 \text{ m}$$

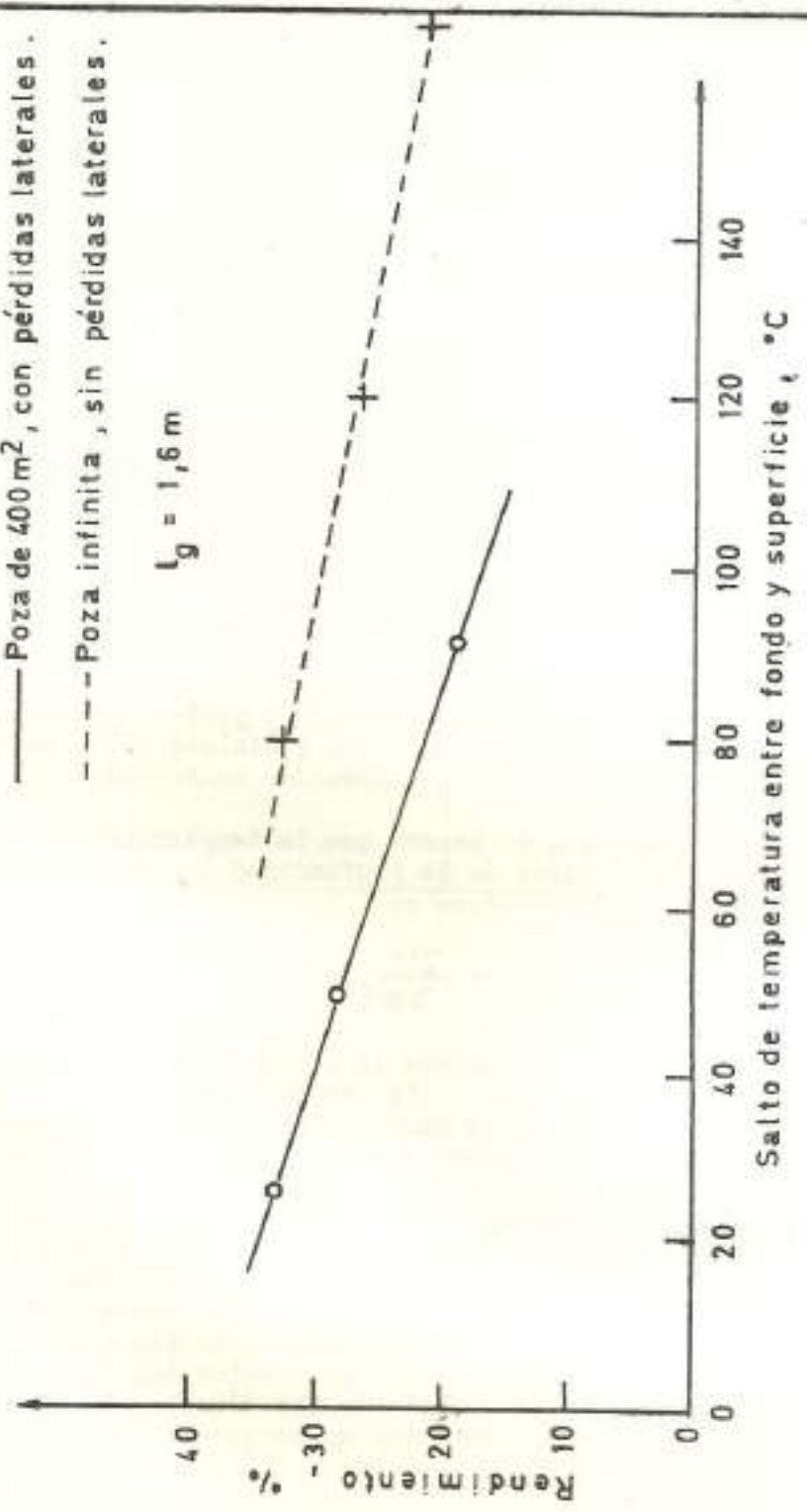


Fig. 1 - Rendimiento medio anual de una poza con y sin pérdidas laterales.

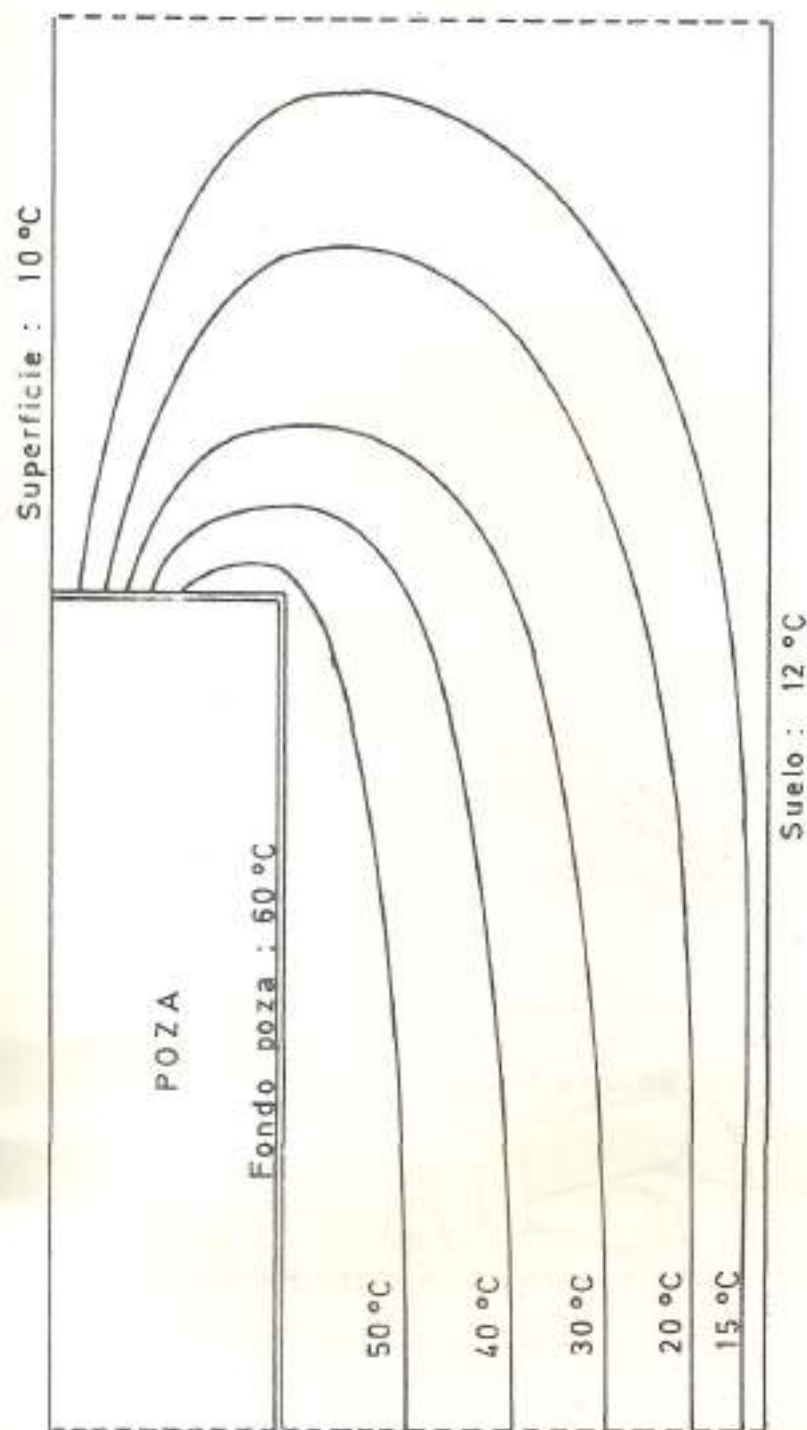


Fig. 2 - Isotermas en el terreno que rodea a una poza con pérdidas laterales obtenidas con el programa numérico para cálculo de eficiencias medias.

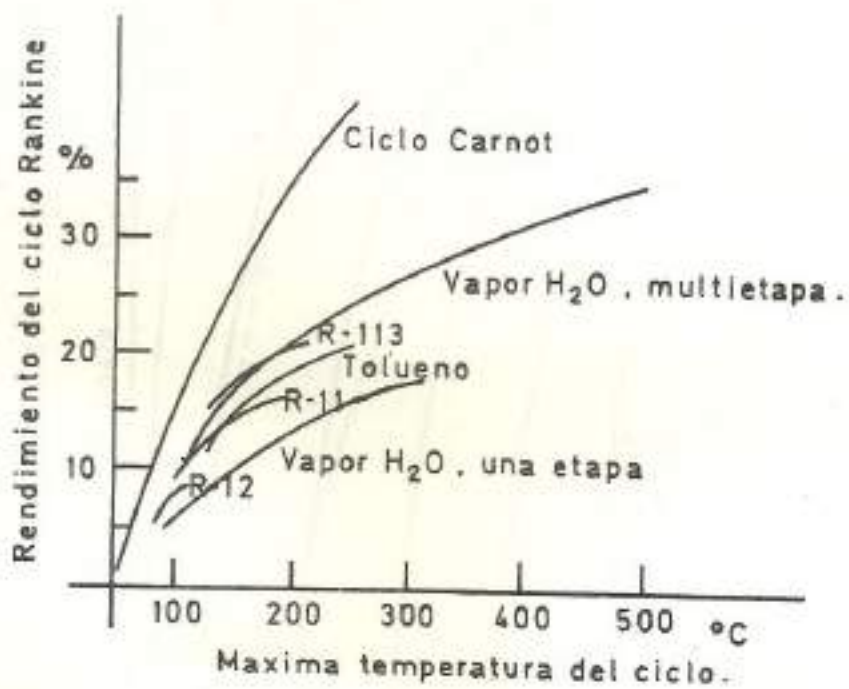


Fig. 3 - Rendimiento de un ciclo Rankine con fluido orgánico, para diversos fluidos.

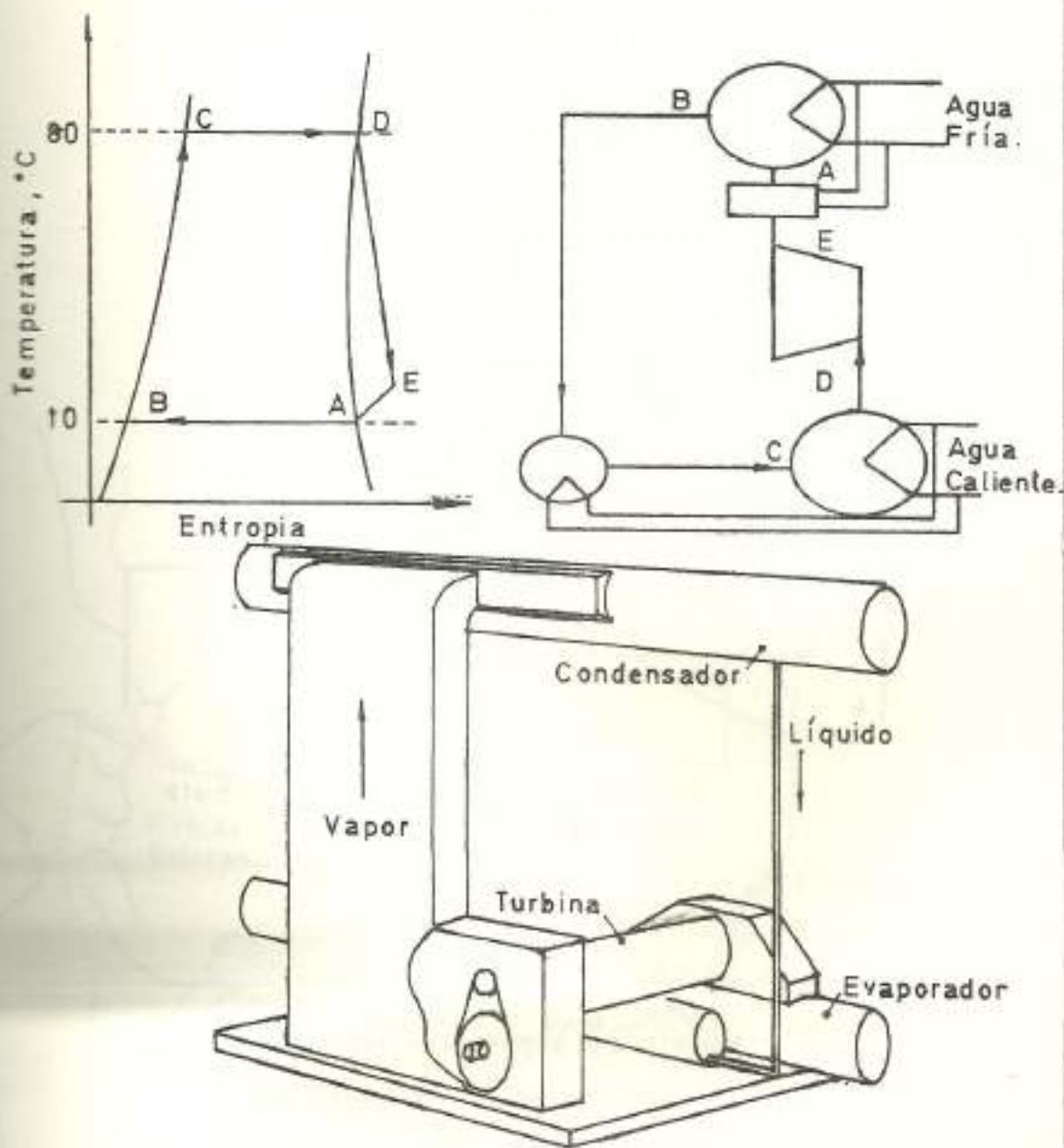


Fig. 4 .- Ciclo con fluido orgánico : diagrama entrópico, esquema del ciclo y disposición de la maquinaria (ref. 22).

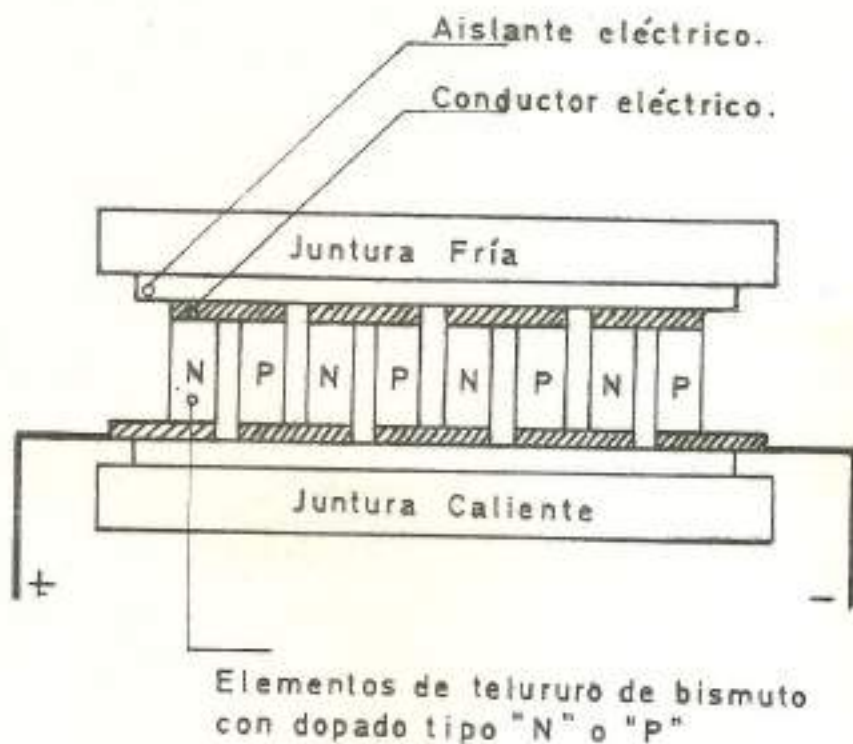
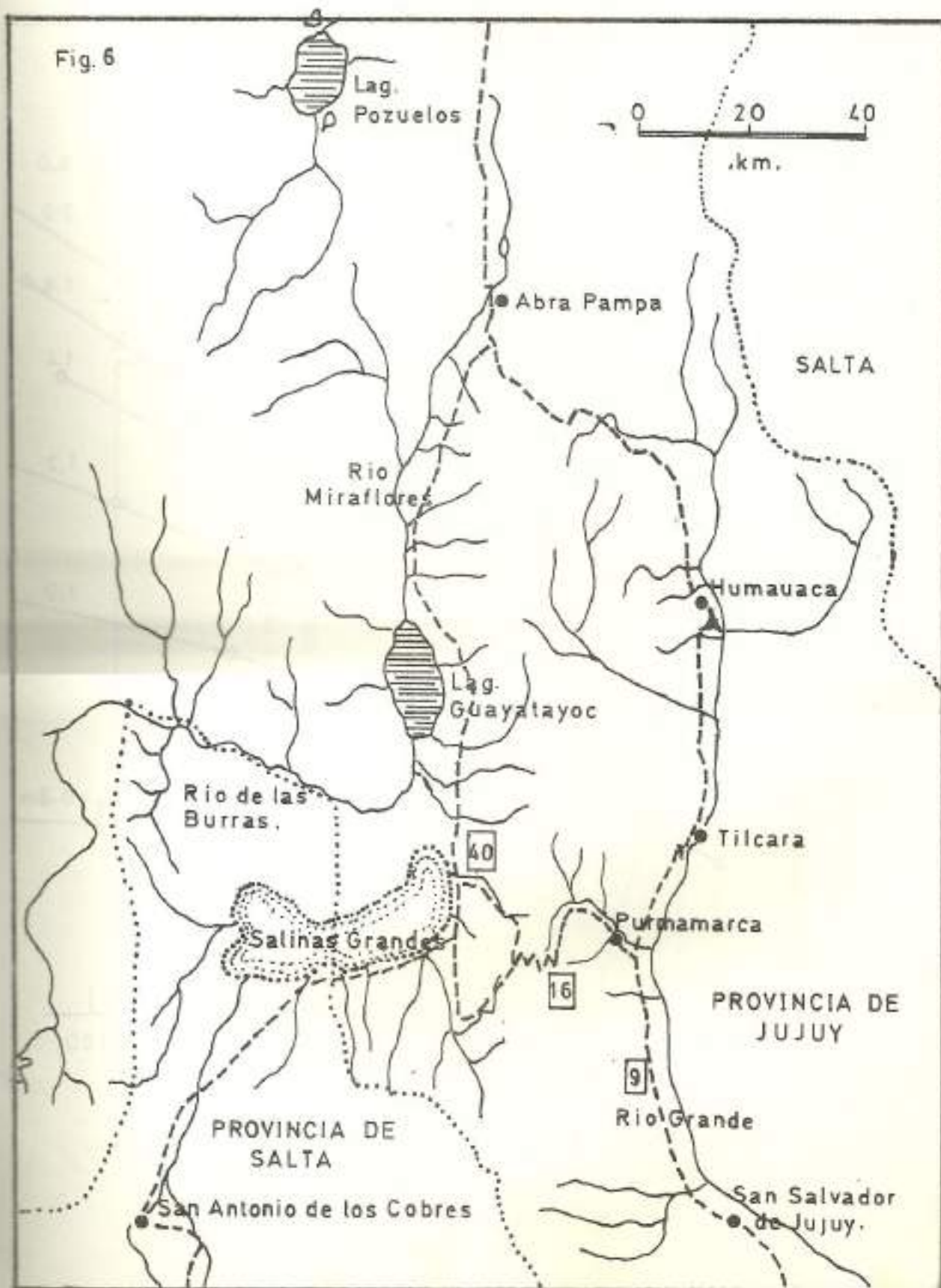


Fig. 5 .- Módulo de generación termoeléctrica con elementos conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo.

Fig. 6



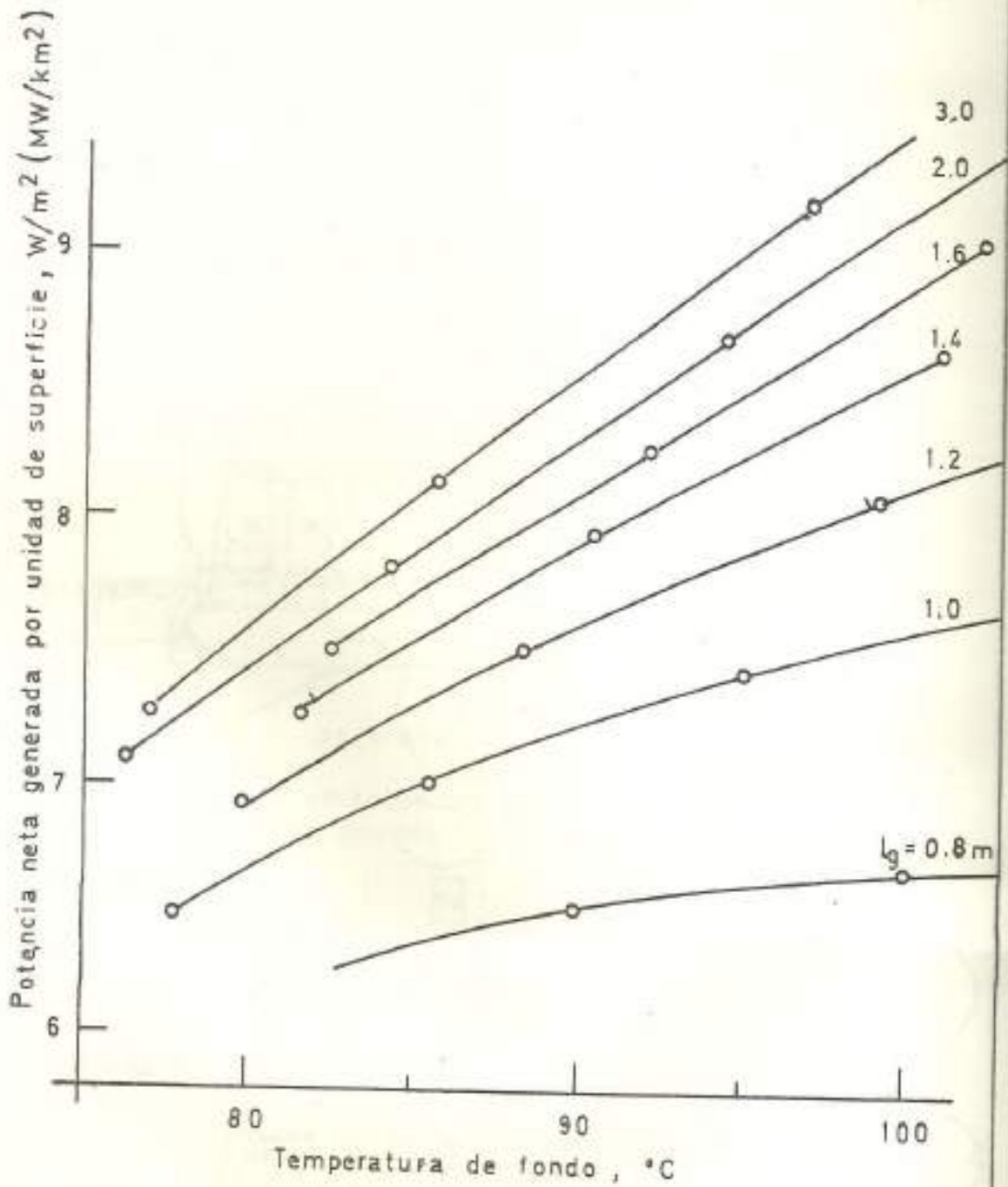


Fig. 7 -- Potencia media anual por unidad de superficie generada por el sistema poza-turbina.

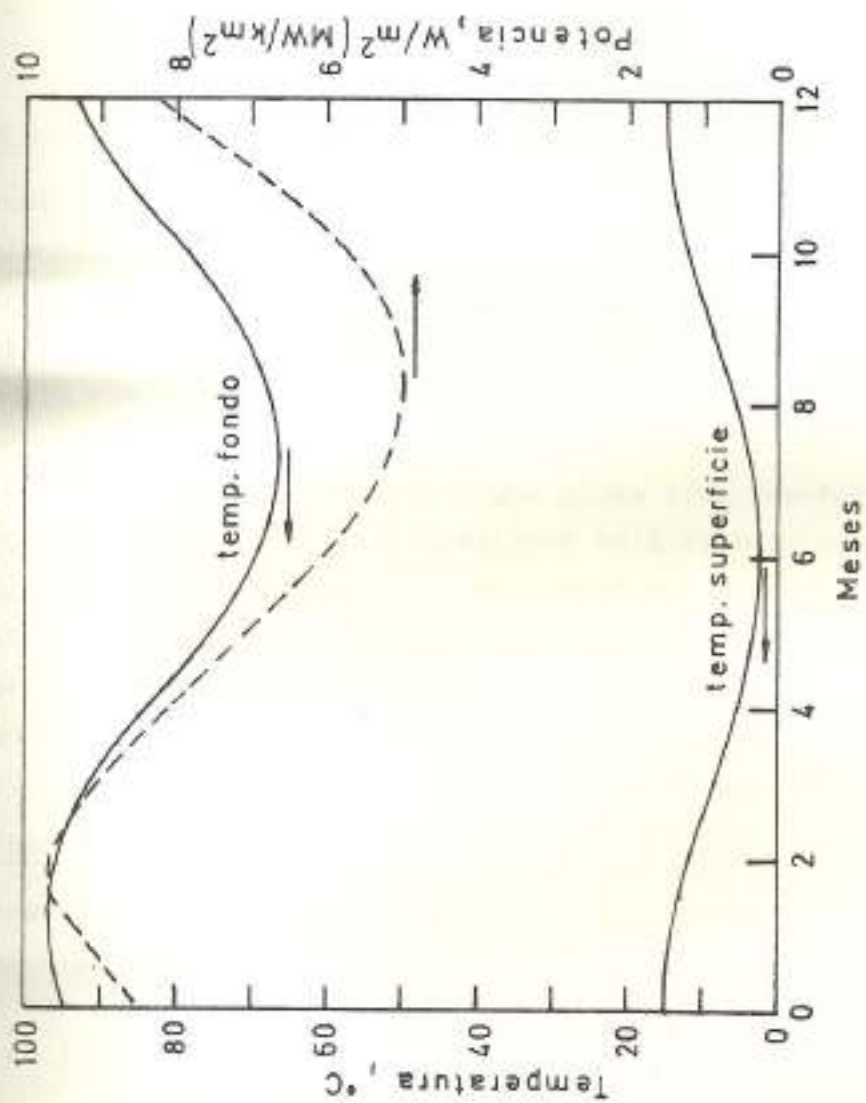


Fig.8 - Variación anual de las temperaturas y potencia generada por la poza .