

## POZA DE SULFATO DE SODIO DE 600 m<sup>2</sup>: CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO

Graciela Lesino, Luis Saravia\*, Silvia Cenzano,  
Daniel Blasco, Carlos Cadena y Ricardo Caso

INENCO<sup>#</sup>, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177, 4400 Salta

### RESUMEN

En el presente trabajo se describe la construcción y funcionamiento de una poza de sulfato de sodio de 20 x 30 m<sup>2</sup> de área y 2 m de profundidad en un predio destinado a experiencias de aprovechamiento de energía solar en la Universidad Nacional de Salta (24° 50' de latitud sur).

La poza ha comenzado a funcionar en enero de 1982 habiéndose realizado diversas experiencias destinadas al ensayo de sistemas de formación y co<sup>o</sup>rección de gradiente, supresión de capas convectivas, limpieza de la so<sup>o</sup>lución y extracción de calor.

En una primer etapa la energía térmica colectada por la poza se utilizará en el calentamiento de los vestuarios para los gimnasios de la Universidad y en un invernáculo.

### 1. INTRODUCCION

La poza solar de 600 m<sup>2</sup> cuya construcción y mantenimiento se discute en este trabajo ha sido diseñada con el fin de realizar tareas de experimentación destinadas a poner a punto la tecnología requerida por distintos tipos de aplicaciones. Entre los objetivos principales cabe destacar: a) provisión de solución caliente de sulfato de sodio para ensayo de sistemas solares de elaboración industrial de derivados de dicha sal; b) provisión de energía térmica para ensayo de sistemas de calentamiento de locales y procesos industriales; c) ensayo de las técnicas de formación y mantenimiento de la poza; d) experimentos relacionados con aspectos básicos de funcionamiento de la poza; e) provisión de energía térmica para generación de electricidad.

Las dimensiones elegidas para la poza son el mínimo compatible con la necesidad de que los resultados de las experiencias a realizar sean escalables a su tamaño real.

En las secciones que siguen se discutirá la experiencia recogida con la construcción de la poza, su puesta en funcionamiento y los primeros ensayos realizados en relación con algunos de los objetivos señalados.

### 2. CONSTRUCCION DE LA POZA

Las etapas principales en la construcción de la poza han sido: a) movimiento de tierra; b) colocación del plástico de impermeabilización; c) traslado de la sal; d) formación del gradiente.

Dado que la poza está colocada en un campo universitario no resulta conveniente desde el punto de vista estético levantar el nivel del agua más allá de los 60 cm por encima del nivel general del campo. Por tal razón la profundidad requerida se obtuvo por excavación mediante retroexcavadora. La tierra obtenida fue usada en parte para la construcción de taludes de 60 cm para la poza y para una pileta auxiliar de 100 m<sup>2</sup>. El resto se retiró del lugar mediante camiones. Los taludes tienen una inclinación entre 45 y 60° respecto a la horizontal estando bien consolidados por las características propias del terreno.

La superficie encarada fue bien alisa da usando tierra cernida para evitar que el plástico a colocar pudiera lastimarse con las piedras. La tierra colocada en los taludes fue compactada con un rodillo y mediante golpeteo con un tablón pesado.

\* Investigador del CNIE

# Instituto UNSA-CONICET

En esta etapa se tendieron cables de alambre galvanizado destinados a la

## POZA DE SULFATO DE SODIO DE 600 m<sup>2</sup>: CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO

Graciela Lesino, Luis Saravia\*, Silvia Cenzano,  
Daniel Blasco, Carlos Cadena y Ricardo Caso

INENCO<sup>#</sup>, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177, 4400 Salta

### RESUMEN

En el presente trabajo se describe la construcción y funcionamiento de una poza de sulfato de sodio de 20 x 30 m<sup>2</sup> de área y 2 m de profundidad en un predio destinado a experiencias de aprovechamiento de energía solar en la Universidad Nacional de Salta (24° 50' de latitud sur).

La poza ha comenzado a funcionar en enero de 1982 habiéndose realizado diversas experiencias destinadas al ensayo de sistemas de formación y co-rección de gradiente, supresión de capas convectivas, limpieza de la solución y extracción de calor.

En una primer etapa la energía térmica colectada por la poza se utilizará en el calentamiento de los vestuarios para los gimnasios de la Universidad y en un invernáculo.

### 1. INTRODUCCION

La poza solar de 600 m<sup>2</sup> cuya construcción y mantenimiento se discute en este trabajo ha sido diseñada con el fin de realizar tareas de experimentación destinadas a poner a punto la tecnología requerida por distintos tipos de aplicaciones. Entre los objetivos principales cabe destacar: a) provisión de solución caliente de sulfato de sodio para ensayo de sistemas solares de elaboración industrial de derivados de dicha sal; b) provisión de energía térmica para ensayo de sistemas de calentamiento de locales y procesos industriales; c) ensayo de las técnicas de formación y mantenimiento de la poza; d) experimentos relacionados con aspectos básicos de funcionamiento de la poza; e) provisión de energía térmica para generación de electricidad.

Las dimensiones elegidas para la poza son el mínimo compatible con la necesidad de que los resultados de las experiencias a realizar sean escalables a su tamaño real.

En las secciones que siguen se discutirá la experiencia recogida con la construcción de la poza, su puesta en funcionamiento y los primeros ensayos realizados en relación con algunos de los objetivos señalados.

### 2. CONSTRUCCION DE LA POZA

Las etapas principales en la construcción de la poza han sido: a) movimiento de tierra; b) colocación del plástico de impermeabilización; c) traslado de la sal; d) formación del gradiente.

Dado que la poza está colocada en un campo universitario no resulta conveniente desde el punto de vista estético levantar el nivel del agua más allá de los 60 cm por encima del nivel general del campo. Por tal razón la profundidad requerida se obtuvo por excavación mediante retroexcavadora. La tierra obtenida fue usada en parte para la construcción de taludes de 60 cm para la poza y para una pileta auxiliar de 100 m<sup>2</sup>. El resto se retiró del lugar mediante camiones. Los taludes tienen una inclinación entre 45 y 60° respecto a la horizontal estando bien consolidados por las características propias del terreno.

La superficie encarada fue bien alisa da usando tierra cernida para evitar que el plástico a colocar pudiera lastimarse con las piedras. La tierra colocada en los taludes fue compactada con un rodillo y mediante golpeteo con un tablón pesado.

\* Investigador del CNIE

# Instituto UNSA-CONICET

En esta etapa se tendieron cables de alambre galvanizado destinados a la

detección de fugas de solución por medida de la conductividad eléctrica del suelo. Los alambres son paralelos a los lados, a una distancia de un metro entre dos sucesivos. Los cruces fueron aislados con manguera plástica al igual que la subida por los taludes. Las puntas de los cables son accesibles en los bordes de la poza para medida de conductividad entre dos cables sucesivos.

Sobre los cables se colocó una capa de 10 cm de arena.

La manta impermeabilizante es de polietileno negro de 250 micrones de espesor. Se suministró en piezas con un ancho de 7 m cada una. Se soldaron por calentamiento en el gimnasio de la Universidad trasladándose la manta completa debidamente doblada para su fácil colocación. Con el fin de asegurar la impermeabilización se colocaron tres mantas esperando que las dos exteriores conserven la central.

La sal fue obtenida en un salar de la Puna, traída por tren hasta la ciudad y trasladada por camión desde la Estación hasta la Universidad. Se colocó una carga inicial de 320 Toneladas de mineral de sulfato de sodio decahidratado, agregándose 6 meses después 90 Toneladas más para llegar al total requerido por el diseño. El mineral se volcó sobre los bordes y se paleó al interior de la poza donde ya se había vertido una capa de 60 cm de agua.

La formación del gradiente se discute por separado en la próxima sección.

Se calcularon los costos de construcción habiéndose estimado a precios de mercados algunos de los trabajos que fueron donados por empresas. El total ha sido prácticamente igual a U\$S 24/m<sup>2</sup>. (Tabla I).

### 3. ETAPA PREVIA

Entre la construcción de la poza y la formación del gradiente final existió un período durante el cual se pudo observar un hecho interesante: la creación espontánea de un gradiente parcial. A partir de una solución homogénea de aproximadamente 1,13 g/cm<sup>3</sup> de densidad, al cabo de un mes, se formó una zona de gradiente de 50 cm en el fondo y otra de 20 cm cerca de la superficie lo cual permitió que ese verano la temperatura en el fondo subiera a 54°C. Un mecanismo explicativo de este fenómeno es el siguiente: la radiación que llega al fondo y se ab-

sorbe eleva localmente la temperatura por sobre la de cambio de fase del sulfato de sodio decahidratado (32,4°C para la sustancia pura con producción de solución saturada de densidad 1,33 g/cm<sup>3</sup> y precipitado de anhídrido). Se realiza dicho cambio de fase con producción de una solución muy densa. Aparece, por lo tanto, un fuerte gradiente de concentración, que por difusión estabiliza la capa de convección hacia arriba, inmovilizando el fluido. El gradiente así constituido forma una pequeña capa aislante. El proceso continúa, permitiendo que la zona del fondo se caliente. Sería interesante verificar si este fenómeno también se da en las pozas de cloruro de sodio ya que la naturaleza del proceso es diferente en ambas sales. La producción de solución densa en el decahidrato está regida por un fenómeno térmico (la transferencia de calor para producir el cambio de fase) y en el cloruro por una disolución.

Otro efecto notado en ese período es el de las lluvias. Las precipitaciones en Salta, que alcanzan los 400 mm en un par de meses (total anual promedio 700 mm concentrados en el verano y comienzo del otoño) produjeron una capa convectiva superficial de densidad 1.008 g/cm<sup>3</sup>, separada del resto de la capa original por una zona de gradiente muy fuerte, de 20 cm de espesor. En el verano de 1983 se observó el mismo fenómeno. En general, luego de las precipitaciones abundantes aparece el par de capas descriptas las que al cabo de un tiempo desaparecen, mezclándose a la capa superficial original. Si bien el balance de agua anual es deficitario y el aporte debido a las precipitaciones de verano se evapora durante el resto del año, estas capas superficiales son perjudiciales para el mantenimiento y el rendimiento del sistema. En promedio anual se estima que la temperatura de funcionamiento de una poza baja 5°C por cada 10 cm de capa superficial. Por otra parte, la evaporación, al concentrar la zona superficial, crea una inestabilidad ya que es un fluido más denso que tiende a bajar, generando movimientos convectivos que erosionan la zona superior del gradiente y aumentan el transporte de sal.

### 4. FORMACION DEL GRADIENTE

A mediados de diciembre de 1982, luego de recibir el resto de la sal necesaria para la configuración final planeada para la poza, se formó el gradiente. La operación se realizó según el método de F. Zangrando (1). Este consiste

Tabla I

Costos de construcción de la poza de 600 m<sup>2</sup> y su comparación con costos estimados en otras zonas.

Items	poza 600 m <sup>2</sup>	poza en la Puna
movimiento tierra	6	1
manta impermeabilizante	4	4
compra sal	6	4
transporte sal	6	1
armado y puesta en marcha	2	2
	U\$S 24/m <sup>2</sup>	U\$S 12/m <sup>2</sup>

en inyectar agua a partir del nivel desde el cual se quiere crear el gradiente. Luego de una inyección no mayor de 2 ó 3 cm, se eleva la boca de inyección el doble de la altura de la cantidad inyectada (4 a 6cm) y se reanuda la inyección. Esta operación, en pozas de paredes prácticamente verticales, resulta en la formación de un gradiente de concentración lineal.

La inyección se realizó a razón de 3 m<sup>3</sup>/h, máximo flujo obtenible de la instalación de suministro de agua. Para una poza de 600 m<sup>2</sup> esto significa que el nivel sube 1 cm/h. La inyección inicial se realizó a 60 cm de la superficie; dejando una capa de 10 cm en el fondo con parte de la sal no disuelta. La idea fue crear el gradiente, pero no la capa convectiva de acumulación del fondo hasta no contar con las instalaciones de intercambio de calor pues la presencia de sal no disuelta en el fondo contribuye a la estabilidad. El espesor final del gradiente fue de 1.2 m, por lo tanto la operación insumió del orden de las 60 horas. Se llevó a cabo en varios días para no perturbar el suministro de agua de la Universidad. Las interrupciones en la inyección no causan problemas.

Finalmente, una vez obtenido el gradiente se inyectó sobre la superficie una capa de 20 cm de agua. El viento y la evaporación causan inestabilidades en la superficie creando, como se dijo, zonas de convección. Para que éstas contengan la menor cantidad de sal posible y puesto que son inevitables, es recomendable crearlas uno mismo desde el comienzo.

Las inyecciones se realizan con un di-

fusor en forma de semidisco de 50 cm de diámetro y sección de salida de 3 mm de altura. El difusor se montó sobre un carro que se mueve sobre una rampa metálica. Lleva una regla vertical, la que se debe observar con un pequeño antejo, de manera de poder medir en forma precisa la profundidad cuando se están realizando las inyecciones. Para un control más grueso del nivel se ha instalado un cable con secciones de 2 cm de longitud de diferentes colores, entubado en vidrio.

#### 5. EVOLUCION DE LA TEMPERATURA Y DENSIDAD

En la Fig. 1 se observa la evolución de la profundidad, temperatura y densidad de la poza en la superficie y en el fondo.

- i) profundidad. Durante el año 1982 se puede observar la influencia de las precipitaciones y la evaporación sobre la profundidad, luego a fines de 1982 el aumento con la creación del gradiente y nuevamente las fluctuaciones debidas a precipitaciones y evaporación en 1983. Durante enero y febrero del 82, las precipitaciones superaron ampliamente la evaporación aumentando el nivel en 45 cm. En marzo y abril se produjo un equilibrio de ambos factores manteniéndose la profundidad prácticamente constante en 1,3 m para luego decrecer hasta los 72 cm en diciembre de 1982.
- ii) temperatura de fondo. la gran variabilidad y sensibilidad a los niveles de radiación y temperatura

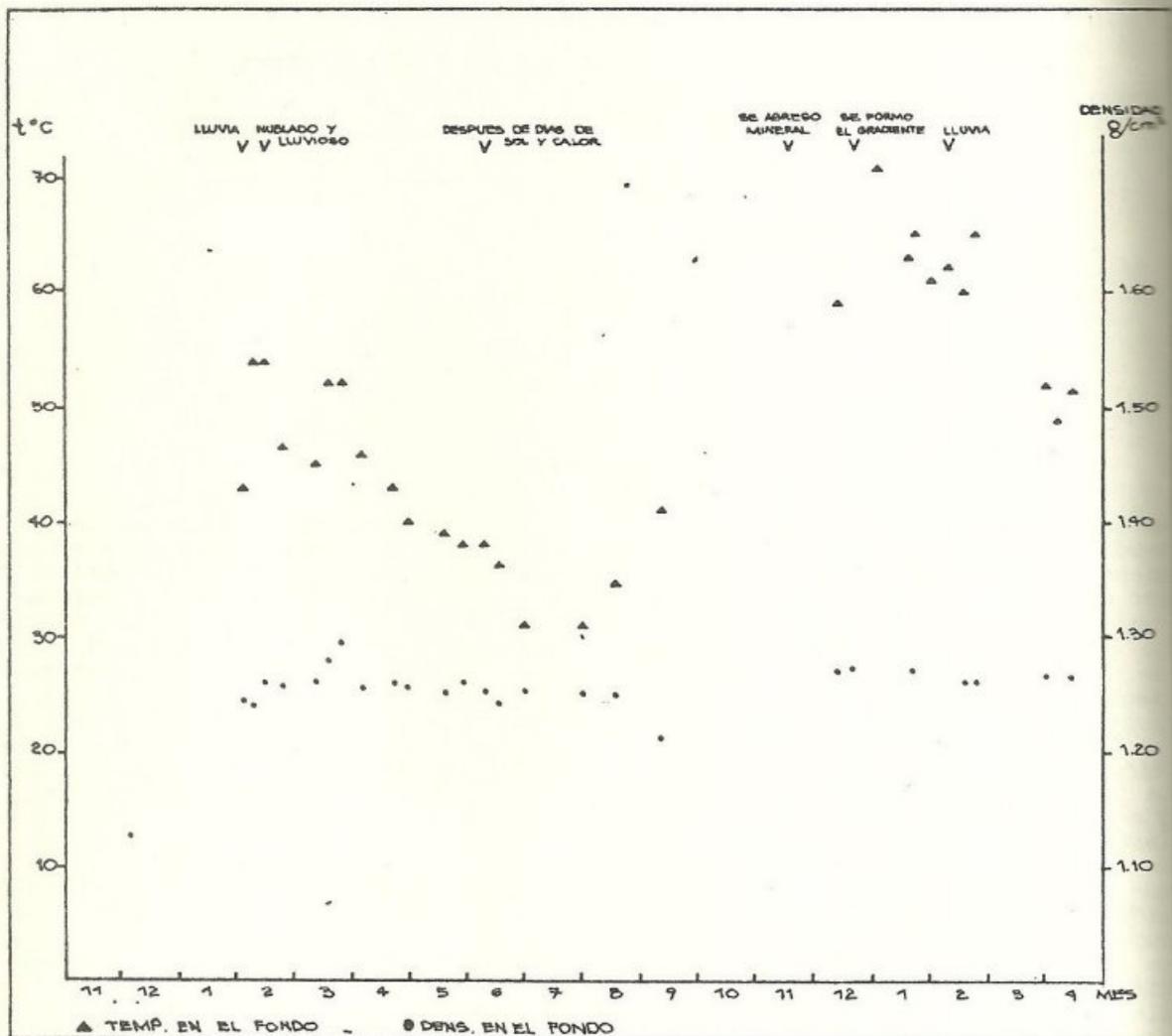


Fig. 1a. Variación de la temperatura y densidad en el fondo en función del tiempo.

exterior de la temperatura del fondo la poza, así como sus rápidos aumentos cuando se mejora la capa de gradiente, se debe a que no existen capa de acumulación en el fondo. La amplitud de las fluctuaciones de la temperatura y su desfase con respecto a la radiación dependen del espesor de la capa de acumulación. Al no existir dicha capa, la poza de la UNSa. es más "ágil". En enero de 1983 se alcanzaron 73°C y con derivada positiva. Para no poner en peligro el polietileno y al no disponerse de equipos de intercambio de calor como para evacuar la energía absorbida se resolvió disminuir la colección cubriendo la mitad del área de la poza (300 m<sup>2</sup>) con planchas flotantes de poliestireno expan-

dido. Con esto se controló eficazmente el crecimiento de la temperatura del fondo, como se ve en la Fig. 1a.

- iii) temperatura de superficie. Sigue a la temperatura ambiente con algunos grados de diferencia en más o en menos según la hora del día. Puede observarse en la Fig. 1b. el efecto de un día cálido de viento Norte en junio/82 donde la temperatura de la superficie subió a 18°C.
- iv) concentración en la superficie. La difusión del sulfato de sodio hacia la superficie es uno de los problemas del mantenimiento de la poza. En el futuro se encarará un

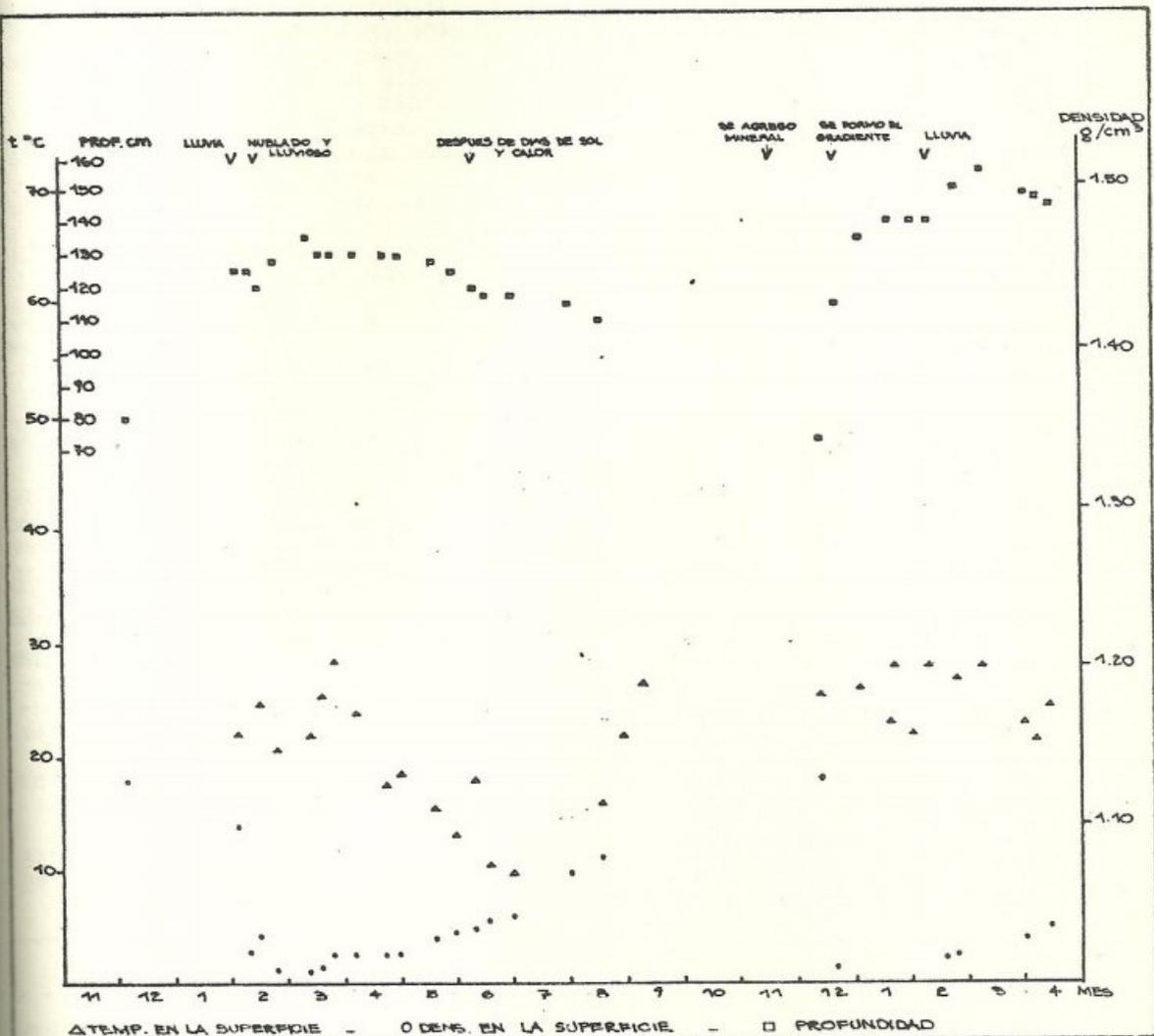


Fig. 1b. Variación de la temperatura, densidad y profundidad en la superficie en función del tiempo.

método de destilación de dicha solución para concentrarla y reingresarla en el fondo. La destilación será alimentada con energía térmica de la misma poza. En la actualidad no se hace mantenimiento de la superficie pero deberá encararse en los próximos meses. A grosso modo se puede decir que la concentración en la superficie aumenta con una velocidad de  $0.01 \text{ g/cm}^3/\text{mes}$  lo que significa  $3 \text{ kg sal/m}^2/\text{mes}$  siendo el espesor actual de la capa superior de 30 cm.

## 6. INSTRUMENTACION

i) Medición de temperatura y densidad. Sobre una ménsula giratoria basada en la orilla y que entra 6 m sobre

el espejo de agua, se ha colocado un motor que permite hacer ascender y descender con velocidad constante una termocupla y un tubo de PVC flexible. La tensión de la termocupla se registra gráficamente. El tubo permite tomar muestras para las medidas de densidad que se realizan en forma discontinua. Existen un conjunto de sensores que llegan hasta 2 m de profundidad por debajo de la poza y en los bordes, para medir las temperaturas de suelo. Para mayor seguridad se colocaron 2 sistemas uno de termocuplas y otro de integrados (AD590). Algunos integrados han quedado fuera de funcionamiento por efecto de la humedad.

ii) El reticulado de alambres para la

detección de fugas, descrito en la parte constructiva, da en ciertas oportunidades medidas de resistencias un orden de magnitud más bajo que el resto sin que haya síntomas de pérdidas de solución. Como las lluvias son abundantes y existen capas arcillosas es probable que estos problemas se deban a humedad del suelo, lo que estaría corroborado también por la falla de los integrados enterrados.

La tendencia entre los encargados de pozas, internacionalmente, es a realizar el control de fugas por balance de la masa de sal. Para ello se desarrolló un programa que, a partir de la temperatura de la poza, la densidad y temperatura de la solución (cuya medida se realiza fuera de la poza) calcula la masa total de sulfato anhidro, la densidad real dentro de la poza y la concentración de sulfato. El control del nivel superficial no es buen indicador para controlar la impermeabilidad de las mantas debido a las precipitaciones y evaporación. Hasta el presente no se han detectado fugas.

Como actualmente en el centro de ensayos donde está instalada la poza se cuenta con un sistema automático de adquisición de datos se está cambiando el sistema de medida para que pueda ser realizado diariamente por la máquina,

sin intervención personal. La descripción de la medición automática de las concentraciones de sulfato y cloruro de sodio presentes en la solución y la densidad es objeto de otro trabajo(2). La temperatura se continuará midiendo mediante termocuplas. Para completar la automatización es necesario que el motor que realiza el barrido vertical sea encendido, su sentido de giro invertido y luego detenido por la computadora. También es necesario que se conecten la bomba que bombea la solución para la medida de concentraciones, el termostato y el puente. Para ello se ha desarrollado un accionador de relays. Los sistemas PDP11 pueden incluir interfases tales como la DLV11J, que maneja hasta 4 periféricos. Aprovechando uno de los PORTS de salida de dicha interfase se puede conectar un accionador de relays, adaptado a la norma RS232. Su diseño, por el tipo de carga a comandar, no tiene requerimientos de velocidad, aunque en la actualidad funciona a 1200 bauds. Fue concebido originariamente para comandar 4 relays de 12 V.D.C (200Ω), y éstos pueden manejar cargas de 3A, 220V, cada uno, tales como motores pequeños, instrumental de medición, reflectores, o bien relays mayores para cargas mayores. Su tecnología permite expandirlo a 64 relays y está construido con circuitos integrados CMOS, por lo que su consumo es bajo y su inmunidad al ruido es alta. El manejo de este aparato en su modo automático se puede efectuar a través del teclado o bien por

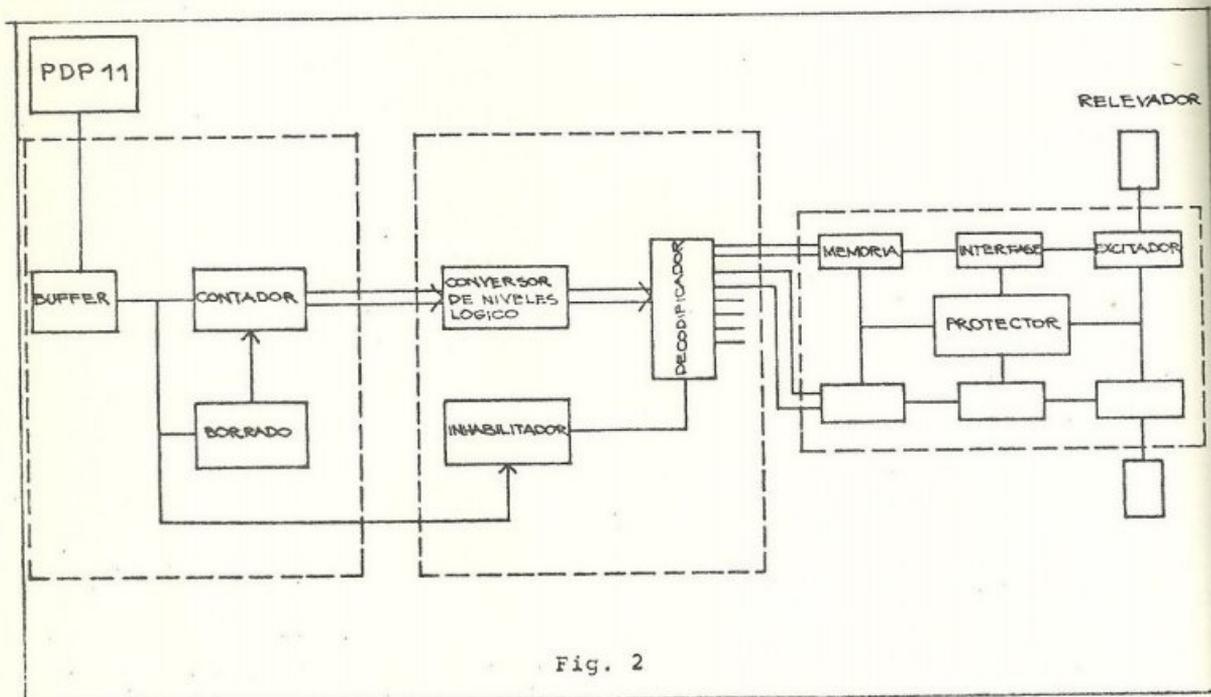


Fig. 2

programación, ya que responde a un código prefijado de caracteres. La comunicación computadora-periférico es unidireccional, ya que el aparato tiene capacidad para recibir mensajes, pero no para transmitirlos. Posee además comandos manuales individuales para la activación de relays y un sistema de protección especial previamente programado para que no se activen simultáneamente algunos de ellos ante fallas de operadores o eventuales cortes de energía. En la Fig. 2 se observa el diagrama de bloques.

## 7. LIMPIEZA DE POZA

Una buena transparencia de la solución es necesaria para alcanzar las temperaturas deseadas en el fondo. Si bien la energía absorbida en las zonas intermedias no se pierde pues compensa parcialmente las pérdidas hacia arriba de la poza, la eficiencia baja y la temperatura de fondo también. Existen dos causas de pérdida de transparencia:

- el crecimiento de algas. Hay zonas en la poza, cerca de la superficie, cuya temperatura y salinidad son adecuadas para la proliferación de algas halófilas. El control de su crecimiento se realiza por adición de sulfato de cobre. Se aconseja una concentración de 6 a 10 pp.m de ión cobre lo que significa unos 10 a 15 kg de sulfato de cobre para los 600 m<sup>2</sup>. Luego de agregado, la poza toma un aspecto lechoso durante 4 ó 5 días, clarificándose luego. Ha sido necesario agregar sulfato de cobre repetidas veces por lo que actualmente se contempla la posibilidad de sembrar una especie de braquiópodos que se alimenta de materia orgánica y que crece bien en lagunas saladas. Su propia proliferación se detiene al desaparecer la materia orgánica por lo que sería un método autocontrolado.
- otras causas. El viento, a pesar de ser moderado, arrastra papeles, algunas hojas, etc. Caen en la poza pequeños roedores y aves, insectos y también por no ser el acceso a la zona completamente restringido se tiran trozos de madera y ramas. Todo este material flota al comienzo y luego al degradarse se va hundiendo. Para eliminar ese aporte de materia orgánica se barre periódicamente la zona superficial con una red de pesca, desde las orillas y ayudándose con un bote dentro de la poza. Como dichas tareas no deben realizarse con frecuencia, la limpieza es una tarea relativa

mente sencilla.

## 8. CAPAS CONVECTIVAS INTERMEDIAS. CRECIMIENTO Y CORRECCION

Al formarse el gradiente, quedó en el centro del mismo una pequeña capa de 3 cm la que comenzó a crecer rápidamente a una velocidad promedio de un 0,6 cm/día.

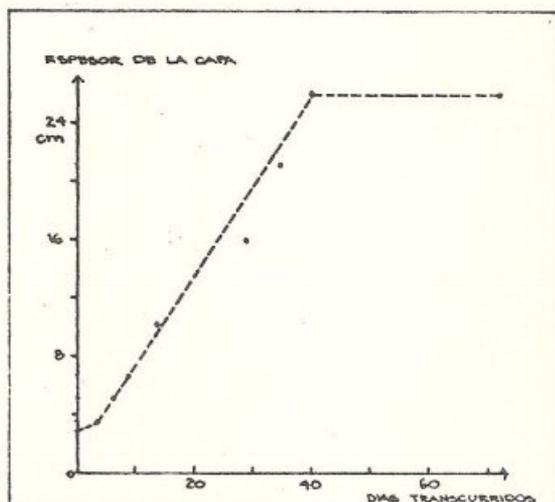


Fig. 3

Dado que existe muy poca experiencia a nivel internacional en materia de control y eliminación de capas intermedias, se decidió dejarla crecer para luego tratar de corregirla. En la Fig. 3 se observa la variación de espesor de la capa con el tiempo. El primer aspecto interesante es que el crecimiento prácticamente ha desaparecido al llegar a los 26 cm. Se encuentra en la bibliografía algunos comentarios sobre la desestabilización de una capa de solución con gradiente cuando trasmite un flujo de calor hacia arriba. Al producirse el cambio aparecen dos capas convectivas rodeando a otra que aún conserva el gradiente. Las capas convectivas crecen hasta llegar a un límite que depende del flujo de calor. Existe una similitud entre ambos fenómenos, esperándose que una comparación más profunda permita obtener conclusiones cuantitativas sobre la relación entre el flujo de calor y el espesor máximo obtenido.

El segundo aspecto de interés se refiere a los métodos de corrección de la capa formada. Hasta ahora se han propuesto dos métodos para hacerlo. El primero de ellos consiste en el bombeo de la capa convectiva hacia el exte-

rior, su concentración y luego su inyección en el fondo, lo que implica o bien un agregado de sal con su consiguiente costo o la evaporación del agua que necesita de piletas de gran área y clima adecuado.

El segundo método usado por F. Zangrando(1) consiste en determinar qué zona del gradiente de densidad es más aceptable: la que está por encima o la que está por debajo de la capa convectiva intermedia. Si es la superior, se inyecta solución de baja densidad de la superficie subiendo el difusor a una velocidad tal que se produzca la mezcla tratando de inyectar el menor volumen posible. La operación finaliza cuando el difusor llega a la capa superior. Si la zona más estable es la inferior, se invierte el procedimiento, utilizando solución densa del fondo. Ambas operaciones implican levantar sal hacia la superficie, por lo que son onerosas. De allí el interés mencionado de inyectar los menores volúmenes posibles.

Con la idea de no tener que barrer el total de la zona de gradiente se intentó romper las capas en otras de menor espesor que pudieran estabilizarse en forma similar a lo que ocurre cuando se forma el gradiente inicial de la poza. Un primer intento fallido creó una capa extra de 10 cm, razón por la cual en lo sucesivo se trabajó sobre ella. En un segundo intento se inyectó solución más concentrada de densidad 1,08 g/cm<sup>3</sup> extraída 5 cm por debajo del borde inferior de la capa, 5 cm por sobre el mismo borde de la capa de densidad 1,07 g/cm<sup>3</sup> a un gasto de 1,8 m<sup>3</sup>/hora. Después de 3 horas no se observó diferencia alguna a pesar de haber bombeado 1 cm de fluido. Para acentuar el efecto se bajó la boca de succión de manera de inyectar solución de 1,15 g/cm<sup>3</sup>. Se observó el perfil de temperatura cada 20 minutos. Al cabo de 3 horas se apreció que éste había sido linealizado. Un perfil de densidades mostró una ligerísima estratificación por lo que se procedió a cortar la inyección. Siete días más tarde el perfil de densidad era casi lineal y la capa no ha reaparecido hasta el presente. Un principio de explicación del efecto obtenido es el siguiente. El comportamiento de una inyección de un chorro de fluido en una capa homogénea con densidad diferente a la de ésta, cambia sustancialmente con el valor del número de Richardson local Ri

$$Ri = g \frac{\Delta \rho}{\rho} d / u^2$$

donde  $\rho$  es la densidad del líquido,  $\Delta \rho$  es la diferencia entre las densidades del chorro y la capa,  $d$  el espesor de la boca de inyección,  $u$  la velocidad del chorro y  $g$  la aceleración de la gravedad. Si Ri es menor que 0,85 el chorro produce un gran arrastre del fluido circundante. Si Ri es mayor que 0,85 el chorro se dispersa poco. En nuestra situación Ri es menor que 0,85 ya que:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{1,15 - 1,07}{1,15} = 0,07$$

$$d = 3 \text{ mm} \quad , \quad u = 0,21 \text{ m/s},$$

$$Ri = 0,047$$

Esto indica que el chorro produce mezcla, habiéndose conseguido un punto de regulación tal que se ha obtenido la formación del gradiente. Se está preparando la realización de experiencias de este tipo con tanques pequeños y solución coloreada para permitir la cuantificación del fenómeno.

Las consecuencias prácticas de esta experiencia son importantes ya que permite desarrollar un método de corrección de capas convectivas intermedias con un mínimo de movimiento de solución y una sola inyección.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Subsecretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación.

## 9. REFERENCIAS

1. Zangrando, F. Tesis -New México, 1975.
2. Blasco D, et al. Medición automática de concentraciones salinas en pozas solares. Presentado a la 8a. Reunión de ASADES, 1983.
3. Zangrando, F. Laboratory Experiments on Heat and Mass Extraction from Solar Ponds. SERI/PR. -252-1941, Enero 1982.