

# CORRECCION DE CAPAS CONVECTIVAS INTERNAS EN EL GRADIENTE SALINO DE UNA POZA SOLAR

Gustavo Hannecke\* y Graciela Lesino \*\*

INENCO \*, Universidad Nacional de Salta

Buenos Aires 177 - 4400 Salta

## Resumen

Se encara en un modelo de laboratorio el estudio y corrección de capas convectivas internas en el gradiente salino de un modelo de poza solar. Tales capas aparecen por efecto de la difusión de la sal combinado con el flujo de calor proveniente del fondo de la poza. Es importante la corrección de tales capas, porque el crecimiento de las mismas puede erosionar el gradiente hasta destruir la poza.

## Introducción

En las pozas solares, por efecto de la difusión de la sal y del gradiente térmico, puede suceder que alguna zona en el interior del gradiente comience a convectar, originándose eventualmente una capa convectiva intermedia. Dicha capa, si no desaparece naturalmente, deberá ser corregida porque su existencia produce una disminución en el rendimiento de la poza y, si no detiene su crecimiento, puede llegar a destruirla.

Se construyó un modelo de laboratorio (1) en el que se estudió el mezclado o estratificación de fluidos inyectados en condiciones típicas de las pozas solares, analizándose los números adimensionales  $Re$  y  $Ri$ .

Como segunda etapa de utilización del modelo de laboratorio se realizaron diversas experiencias tendientes a estudiar las capas

convectivas internas en el gradiente, como así también su eventual corrección. Particularmente existe interés de probar un método de corrección, llevado a cabo en el Instituto (2), que consiste en inyectar directamente solución en las capas a corregir. Cabe destacar que cada experiencia tuvo una duración de una semana a 10 días como mínimo, a fin de asegurarse la visualización de estados estables en el tiempo.

## Experiencias y resultados

Se iniciaron las experiencias creando modelos con la siguiente configuración: un gradiente separando dos capas convectivas; una superficial y otra de acumulación. Ver figura nº 1. Los valores típicos usados están tabulados en la tabla 1.

capa	ancho	densidad	temp.
conv. sup.	5 cm	1.005gr/cm <sup>3</sup>	15-22°C
gradiente	10 -15 cm	---	---
conv. inf.	10 cm	1.05 gr/cm <sup>3</sup>	35-40°C

Tabla 1

Inicialmente se entregó a la capa de acumulación una potencia de 350 vatios/m<sup>2</sup>

\* Becario del CONICET

\*\* Investigador del CONICET

# Instituto UNSa - CONICET

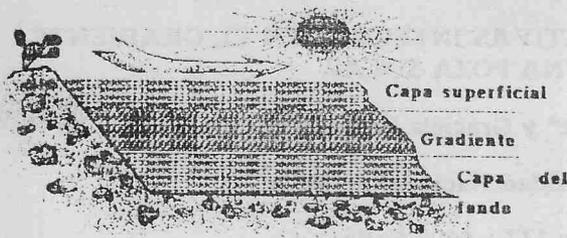
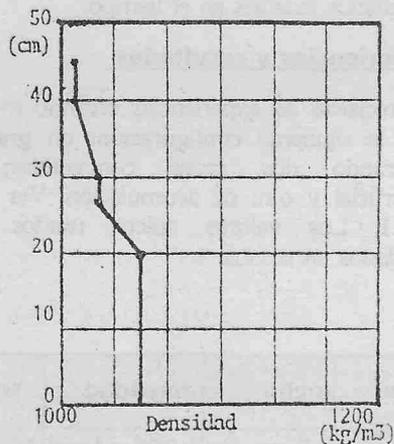


Figura 1. Esquema de una poza solar 1

(sin descontar las pérdidas). Con estos valores, dada la altura del recipiente, se podía crear capas convectivas internas en el gradiente de hasta 10 cm de alto como máximo, con temperaturas entre 20 y 25 °C. Las Gráficas 1 y 2 muestran perfiles correspondientes a dos de las experiencias realizadas.

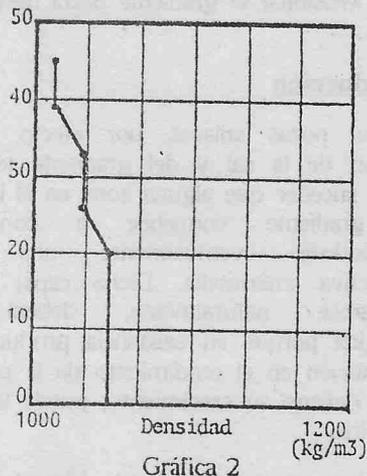


Gráfica 1

Se crearon numerosos modelos de este tipo, con capas internas a las que se les aumentaba paulatinamente el espesor; en cada caso se dejó evolucionar las mismas hasta que se estabilizaban, antes de hacer la corrección. Aquí se presentó el primer resultado cualitativo significativo; en todos los casos las capas convectivas internas al gradiente, antes de estabilizarse involucionaban hasta desaparecer. La energía recibida por dichas capas no era suficiente para mantenerlas convectando, produciéndose así la desaparición de las

mismas. Se aumentó entonces el flujo de calor desde el fondo, a fin de que las capas estudiadas recibieran más energía. Al aumentar el flujo de calor aumenta el espesor de la capa convectiva de acumulación en desmedro del gradiente, por lo que se creaban capas convectivas intermedias de espesores cada vez menores. A pesar de aumentar el flujo de calor alrededor de un 50 % de su valor original, las capas convectivas intermedias continuaban desapareciendo naturalmente.

Llegado este punto se presentó el problema de que no se podía aumentar mucho más el flujo de calor desde el fondo, ya que esto produce un aumento proporcional en el espesor de la capa convectiva de acumulación, quedando cada vez menos espacio para el gradiente y la capa



Gráfica 2

convectiva interna en él.

Dados estos resultados se decidió adoptar otra modalidad de trabajo, cambiando el tipo de modelo experimental utilizado, se comenzó a trabajar con un modelo con solución saturada en el fondo. Este modelo presenta la particularidad de no tener capa convectiva de acumulación, en reemplazo de la cual se tiene solución saturada, con un depósito de sal que cubre el fondo de la poza. Sobre la solución saturada se crea el gradiente con el método de F. Zangrando

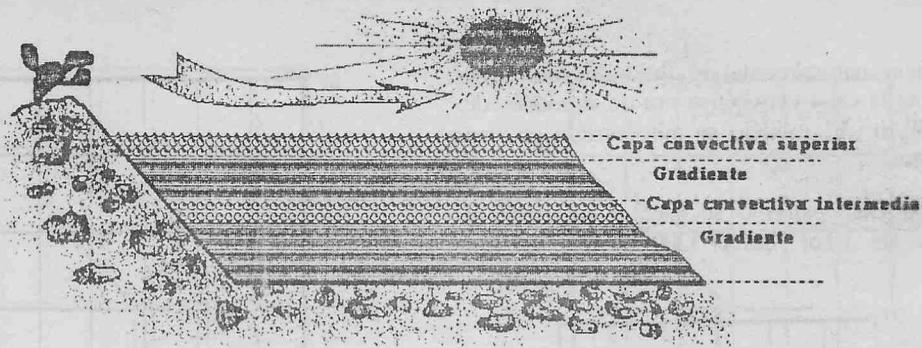


Figura 2 - Esquema de una poza solar

in capa convectiva del fondo

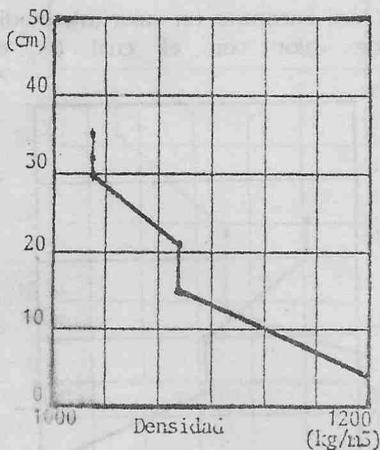
(3). Un perfil típico de este modelo es el que se muestra en la fig. 2.

Un modelo con estas características da lugar, en el mismo espacio físico, a la creación de un gradiente mucho más ancho que el correspondiente al modelo utilizado anteriormente. Con un gradiente más ancho se pueden crear capas convectivas internas notablemente mayores que en los casos anteriores. Se puede aumentar además el flujo de calor, sin que esto produzca una disminución perjudicial en el espesor del gradiente.

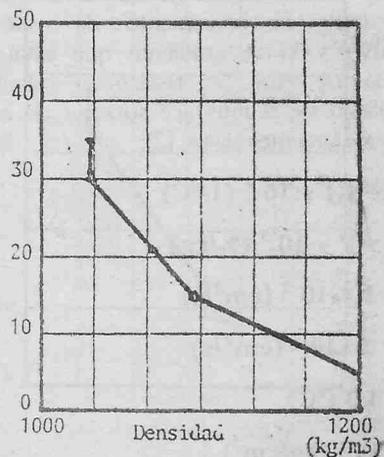
Con este modelo se repitieron las experiencias anteriores, comenzando con un flujo de calor de  $350 \text{ W/m}^2$ , hasta llegar a un valor tope de  $1200 \text{ W/m}^2$ .

Se iniciaron las experiencias con capas convectivas internas en el gradiente de un espesor de 6 cm, llegando a un máximo de 13 cm de espesor en la creación de las mismas.

Nuevamente, para flujos de  $350 \text{ W/m}^2$  las capas convectivas intermedias desaparecieron naturalmente. Las gráficas 3 y 4 corresponden a perfiles de un modelo que se



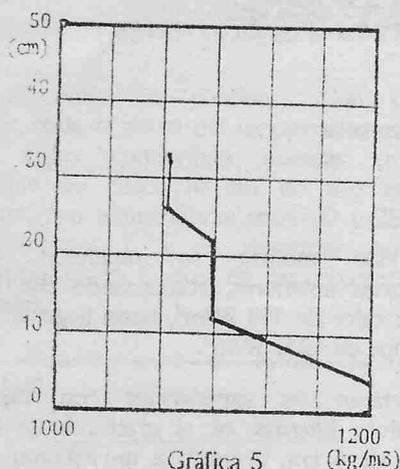
Gráfica 3



Gráfica 4

corrigió naturalmente; el flujo de calor que recibía la capa convectiva era de alrededor de  $45 \text{ W/m}^2$ . El modelo se autocorrigió en una semana.

Como caso extremo se llegó a aumentar el flujo de calor hasta  $1200 \text{ W/m}^2$ , en un



Gráfica 5 (kg/m<sup>3</sup>)

modelo con capa convectiva interna de 10 cm, cuyo perfil es el de la gráfica 5. Esta capa recibía alrededor de  $1200 \text{ W/m}^2$  y comenzó a crecer, erosionando el gradiente que se encontraba por encima de ella. A los 3 días de su creación el perfil obtenido era el correspondiente a la gráfica 6. Cuatro días más tarde el crecimiento de esta capa destruyó todo el gradiente que estaba por encima de ella. Se realizó el cálculo de estabilidad de la interface superior de la capa con los siguientes datos (3):

$$\alpha = 4.1 \times 10^{-4} \text{ (1/}^\circ\text{C)}$$

$$\beta = 7 \times 10^{-3} \text{ (%/kg)}$$

$$K_1 = 1.4 \times 10^{-3} \text{ (cm}^2\text{/s)}$$

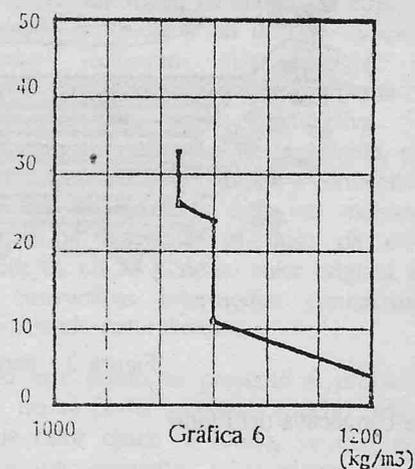
$$\nu = 3 \times 10^{-3} \text{ (cm}^2\text{/s)}$$

$$\Delta T = 3.0 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\Delta S = 0.2 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

$$h = 1 \text{ (cm)}$$

$$g = 980 \text{ (cm/s}^2\text{)}$$



Gráfica 6

obteniéndose estos resultados para los números adimensionales de Rayleigh térmico y salino respectivamente:

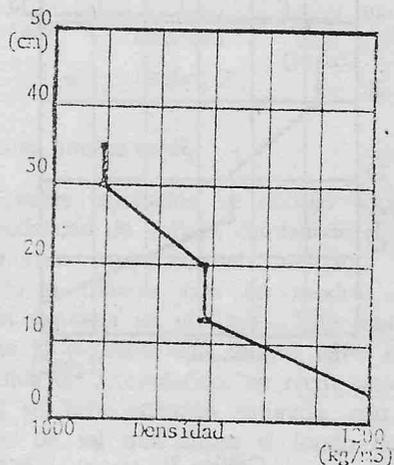
$$R_t = 287000$$

$$R_s = 326666$$

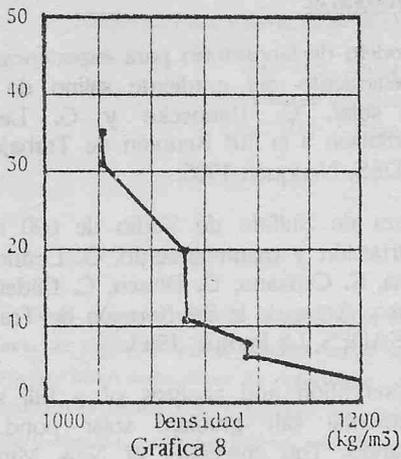
mientras que  $R^* = 261000$

es decir  $R_t \sim R^*$ , lo que en un diagrama  $R_t$ - $R_s$  indica que dicha zona está sujeta a oscilaciones inestables; tal resultado concuerda con lo observado experimentalmente.

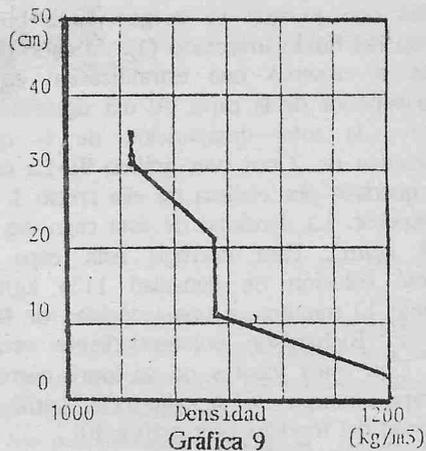
No fué fácil encontrar un valor intermedio de flujo de calor con el cual las capas



Gráfica 7



Gráfica 8



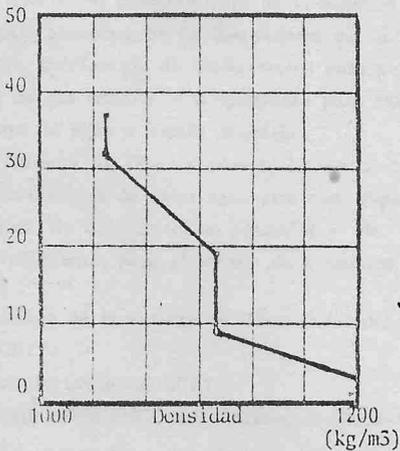
Gráfica 9

convectivas se estabilizaran antes de destruir las pozas o desaparecer naturalmente. El caso más claro encontrado corresponde al modelo cuyo perfil es el mostrado en la gráfica 7, cuya capa intermedia, originalmente de 7 cm de espesor, recibía una energía de 150 W/m<sup>2</sup>. Después de 3 días el estado del modelo presentaba el perfil de la gráfica 8, es decir, la capa convectiva creció hasta estabilizarse en 9 cm y se formó naturalmente una nueva capa convectiva

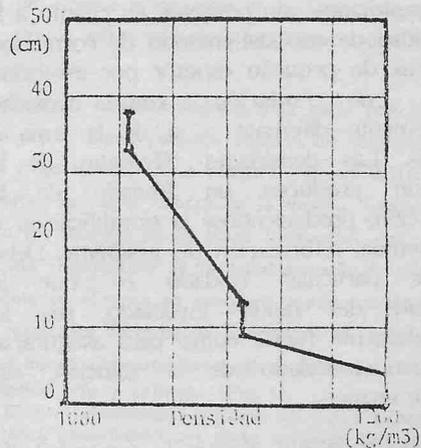
interna en la parte inferior del gradiente de 2 cm de espesor.

Dicha capa recibía un flujo de calor de alrededor de 180 W/m<sup>2</sup>, mientras que la superior recibía alrededor de 135 W/m<sup>2</sup>.

Con el modelo en este estado se decidió tratar de corregir la capa convectiva de 2 cm, para lo cual se eligió inyectar agua pura. Se realizó la inyección durante 4 minutos, con una velocidad de 0.12 m/s. El



Gráfica 10



Gráfica 11

Richardson correspondiente es de 0.165 ( $< 0.85$ ) con lo que se aseguró una buena mezcla del fluido inyectado (1). Al cabo de 4 horas se observó una estratificación en la zona superior de la capa. Al día siguiente se observó la total desaparición de la capa convectiva de 2 cm (ver gráfico 9). La capa que quedaba por encima de ella creció 1 cm de espesor. La densidad de esta capa era de  $1092 \text{ kg/m}^3$ . Para corregir esta capa se inyectó solución de densidad  $1136 \text{ kg/m}^3$ , durante 12 minutos, a una velocidad de 0.12 m/s. El Richardson correspondiente es de 0.07. Con estos valores no se logró corregir la capa, aunque sí se alteró el perfil de densidad del modelo. (ver gráfica 10)

Después de este último intento se decidió probar de corregir nuevamente la capa, pero inyectando agua pura en vez de solución concentrada. Se colocó la boca de inyección 4 cm por encima de la interface inferior de la capa y se inyectó durante 7 minutos con una velocidad de 0,13 m/s; el Richardson en esta oportunidad es de 0.123; con esta inyección se logró corregir la zona de la capa convectiva que estaba por encima del inyector (ver gráfico 11).

### Conclusión

Estos resultados son positivos en cuanto a la factibilidad de uso del método de corrección de capas de pequeño espesor por inyección directa de solución con densidad notablemente diferente a la de la capa a corregir. Las densidades diferentes de la inyección producen un frenado de la convección, produciéndose la estratificación y una eventual reformación del gradiente. Debe ponerse particular cuidado en que la velocidad del fluido inyectado sea lo suficientemente fuerte como para asegurarse un buen mezclado de la solución, sin producir erosión.

Surge del presente análisis la necesidad de realizar experiencias de corrección de capas de mayor espesor en el modelo y luego pasar a experiencias en el prototipo de  $600 \text{ m}^2$  (2).

### Bibliografía

1. Modelo de laboratorio para experiencias de mantenimiento del gradiente salino de una poza solar. G. Hannecke y G. Lesino. Presentación a la 10ª Reunión de Trabajo de ASADES, Neuquén 1985.
2. Poza de Sulfato de Sodio de  $600 \text{ m}^2$  : Construcción y mantenimiento. G. Lesino, L. Saravia, S. Cenzano, D. Blasco, C. Cadena y R. Caso. Actas de la 8ª Reunión de Trabajo de ASADES, La Pampa, 1983.
3. Observation and analysis of a full scale experimental salt gradient solar pond. F. Zangrando. The university of New Mexico. May 1979.