

FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE POZA  
SOLAR CON GRADIENTE SALINO SATURADO

Josefina Mangussi, Graciela Lesino, Luis Saravia\* y Alicia Ronco  
Grupo de Energía Solar, Departamento de Ciencias Exactas  
Universidad Nacional de Salta - 4400 Salta, Argentina.

Resumen

En un trabajo previo (1) se propuso el uso en las pozas solares de soluciones salinas saturadas. Experiencias realizadas con un modelo de laboratorio en el que se emplea sulfato de sodio permiten afirmar que dichos sistemas pueden auttomantenerse en cuanto a su gradiente salino.

Se exponen diversos resultados referentes al crecimiento y desaparición de las capas convectivas en el fondo y en zonas intermedias de la poza.

En vistas a su posible aplicación en purificación de sales se dan resultados de concentración de impurezas en la solución y en los cristales obtenidos.

Abstract

In a previous paper (1) the use of saturated salt solutions in solar ponds was suggested. Experiments made in a laboratory model with sodium sulfate solutions show that in such systems the concentration gradient can be self maintained.

The results obtained about the growing and disappearance of convective layers at the bottom and in intermediate zones of the pond are shown.

In view of possible applications to salt purification, impurity content in the solution and in the crystals obtained are given.

1.- Introducción

Uno de los problemas que surgen en la utilización de pozas solares es el de desaparición del gradiente de concentración, producido por la difusión de la sal desde el fondo, donde la concentración es mayor, hacia la superficie. Con el fin de mantener el gradiente, usualmente se utilizan métodos de lavado de la superficie e inyección de solución en el fondo lo que exige un cierto grado de atención técnica continua. En un trabajo anterior (1) se ha estudiado la posibilidad de utilizar un método alternativo, en que el gradiente se construye con sales de concentración de saturación dependiente de la temperatura. En la superficie de la poza se coloca una solución saturada, con lo que la sal difundida desde el fondo cristaliza y precipita, automanteniendo el gradiente.

En esta exposición se discuten los resultados obtenidos al respecto, con

\* Investigador de la CNEGH

la poza de laboratorio en la que se utiliza una solución de sulfato de sodio, descrita en dicho trabajo.

El funcionamiento de esta poza ha permitido obtener datos sobre otros aspectos técnicos, los que también son discutidos.

En la sección 2 se detallan los resultados obtenidos en relación con el automantenimiento y en la 3 los referentes a la pureza de los cristales que se forman en la superficie. En la sección 4 se discute el problema de la formación de capas convectivas de fondo y en la 5 la generación y estabilidad de capas convectivas intermedias.

## 2.- Automantenimiento del gradiente

El sulfato de sodio es una de las sales de fácil disponibilidad en la que la propiedad necesaria para el automantenimiento, una concentración de saturación dependiente de la temperatura, se presenta en forma marcada.

Las experiencias se realizan en un modelo de laboratorio ya descrito (1) que esencialmente consiste en un recipiente de 40x40x40 cm<sup>3</sup> calentado eléctricamente en el fondo, aislado lateralmente y refrigerado en la superficie.

Esta poza se ha mantenido en funcionamiento durante un año con el fin de apreciar la posible aparición de problemas a largo plazo. Durante todo este período no se ha realizado ningún lavado de la superficie lo que demuestra la efectividad del método. Aunque se han producido variantes del gradiente con el fin de realizar otros experimentos, especialmente en lo que se refiere al crecimiento de capas convectivas, no fue destruido durante todo ese período. En la fig. 1 se muestran curvas de densidad a lo largo de la poza en tres épocas diferentes.

Es de indicar que los cristales no tienden a formarse en la masa del líquido tan pronto como éste llega a la saturación. Se constata la aparición de una sobresaturación que termina con la formación de cristales sobre las superficies sólidas, sumergidas en la masa, ya sea de las paredes de la poza o el serpentín de enfriamiento. En la Fig. 2 se muestran algunas curvas de densidad en la zona enfriada, donde se comparan con la densidad correspondiente a la saturación para la temperatura de trabajo. Una vez iniciada la formación, los cristales crecen rápidamente, pudiendo alcanzar tamaños considerables a medida que pasan los días. Este comportamiento sugiere como método práctico de funcionamiento del sistema, la colocación de una red liviana con puntas que faciliten el crecimiento de los cristales. Esta red sería sacudida a períodos espaciados para volver la sal al fondo.

En algunas ocasiones se ha simulado una variación diurna-nocturna de temperatura en la superficie de la poza, cortando el funcionamiento del refrigerador durante un cierto período. Se ha constatado que el período de enfriamiento es suficiente para producir los cristales. Dado que las velocidades de difusión son pequeñas, no se producen cambios de importancia en el gradiente durante los períodos en que la sal no vuelve al fondo. Estas experiencias confirman la idea de que el automantenimiento del gradiente sólo necesita unas pocas horas de la superficie a baja temperatura. Esto es lo que ocurre en la

realidad durante la noche, especialmente en las regiones en que la poza tiene mayor potencial de uso.

### 3.- Contaminación de los cristales formados

Se ha sugerido en un trabajo anterior (1) la posibilidad de que el mecanismo aquí descrito sea utilizado para la obtención de sulfato de sodio con el grado de pureza que se requiere en la industria, a la vez que el calor recogido en el fondo es utilizado en otros procesos. El sulfato viene contaminado con arcillas y cloruro de sodio, principalmente. Las arcillas se depositan en el fondo de la piscina mientras que el cloruro de sodio se disuelve en el agua. No obstante, el grado de saturación de las soluciones de cloruro no varía con la temperatura, por lo que no se depositan cristales de esta sal en la superficie. Los cristales de sulfato que crecen en la superficie sólo se contaminan con la solución lo que se elimina con un lavado rápido. De usar este procedimiento habrá que agregar cristales o solución contaminada en el fondo de la poza y retirar periódicamente la red superficial con los cristales más puros. Un procedimiento con algunas de estas características es utilizado hoy día, usando piletones en que se vierte solución bombeada de la salina durante el día enfriándose y depositándose cristales durante la noche. El aquí sugerido tiene, presumiblemente, una producción menor por unidad de superficie ya que ésta estaría controlada por la velocidad de difusión de la sal. No obstante, en aquellos casos en que se deba producir calor, por ejemplo para calefacción, la producción combinada puede mejorar en mucho la amortización del costo del sistema.

A los efectos de verificar la pureza de los cristales se realizaron ensayos de determinación de cloruro utilizando el método de Mohr (2). La sal de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  utilizada en la poza tiene 0,9%, expresado en gr de Na Cl por gramo de muestra sólida. Los cristales obtenidos en la poza contenían menos del 0,2%. Se realizó un ensayo separado, en condiciones más realistas, donde el contenido de NaCl de la solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  era de 10% (expresado en gr de NaCl/gr de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Los cristales obtenidos contienen entre 0,65 y 0,85% de NaCl. Teniendo en cuenta que los requerimientos industriales exigen un contenido de NaCl menor del 1%, los resultados obtenidos pueden considerarse como satisfactorios.

### 4.- Formación de capas convectivas

Cuando la temperatura en el fondo de la poza sube lo suficiente, el equilibrio de densidades producido por la contraposición del gradiente de concentraciones y el gradiente térmico se rompe, formándose una capa en el fondo donde la solución convecta manteniendo prácticamente constantes la temperatura y concentración. Esta capa puede ir creciendo y acabar totalmente el gradiente.

Las sales como el cloruro de sodio y el sulfato de sodio tienen una densidad relativamente baja, por lo que este fenómeno se produce con relativa facilidad.

El control de crecimiento de esas capas es de importancia fundamental para

el funcionamiento de una poza. Se ha aprovechado el modelo con soluciones de sulfato de sodio para realizar algunas experiencias al respecto, ya que no se tienen antecedentes del comportamiento convectivo de esta sal.

Se ha encontrado que en el rango de densidades utilizado, que se muestra en la Fig. 2, la temperatura de fondo a la que comienza a formarse la capa se encuentra entre los 32 y 35° C. Para obtener esta temperatura se necesita una potencia de calentamiento mínimo. Por encima de esta potencia la capa comienza a crecer. La Fig. 3 nos muestra perfiles de temperatura de la poza en función de la profundidad a lo largo de 32 días. En ellos se aprecia claramente el crecimiento de la capa hasta que alcanza un espesor de 7,6 cm. a potencia entregada constante, del orden de 100 W/m<sup>2</sup>, este crecimiento va acompañado de un decrecimiento de la temperatura de la capa, la que baja de 34,7 hasta 24,2° C.

Estas capas fueron inducidas varias veces en distintas condiciones de potencia entregada y cantidad total de sal, tratando de determinar en qué condiciones podría inducirse un detenimiento del proceso de crecimiento. En principio podría esperarse que al bajar la temperatura de la capa esta terminase por estabilizarse. En la Fig. 4 se muestra otro proceso de crecimiento que duró 80 días a potencia constante sin que se lograra observar detención en la velocidad de crecimiento cuyo valor es de aproximadamente 0,4 cm/día. Cuando se optó por bajar la potencia, la capa pareció estabilizarse. No obstante, es de hacer notar que los cambios en temperatura son muy pequeños y la variación de factores no controlados, como por ejemplo la oscilación de la temperatura de la pieza, enmascaran el fenómeno no permitiendo obtener conclusiones definitivas. Por tal razón se decidió mejorar sensiblemente el modelo en cuanto al control de los parámetros ambientales y los procedimientos de medida. Dada la importancia del fenómeno en lo que respecta al uso práctico del colector y la falta de una explicación básica que permita entender la influencia de los distintos parámetros térmicos e hidrodinámicos, se impone la necesidad de un estudio más detallado cuyo planteo inicial se explica en otro trabajo (3).

Puede lograrse la detención de la capa convectiva por agregado de sal al fondo. Cuando los cristales que se forman en la superficie se caen al fondo, reconstituyen los gradientes de densidad y de temperatura cerca de él. Si la capa es muy extensa la sal no es suficiente para eliminarla totalmente, por lo que queda una capa convectiva intermedia que desaparece si se agrega sal a la altura adecuada. La Fig. 5 muestra un proceso de tal tipo. Inicialmente se tiene una capa de 17,5 cm a 26° C. Al caer los cristales se forma un gradiente de 6 cm. de espesor a partir del fondo y cuando se agrega sal a una altura intermedia, la capa desaparece paulatinamente, linealizando el gradiente. En la Fig. 6 se grafica simultáneamente el espesor de la capa, la altura de su frente de avance, su temperatura y la temperatura del fondo.

Este método de control es muy efectivo aunque exige el agregado de sal y por tanto un mayor consumo de ésta. Es frecuente la formación de capas convectivas en la superficie de las pozas. En este modelo experimental la ubicación de los refrigeradores, entre 5 y 8 cm de profundidad, da a los perfiles de

temperatura una depresión característica donde se registran las temperaturas mínimas. Los pocos centímetros desde los refrigeradores a la superficie presentan un gradiente invertido y se considera poza "efectiva" desde los refrigeradores al fondo.

En algunas ocasiones se ha formado una zona convectiva por debajo de los refrigeradores, creciendo hacia abajo. Ellas se eliminan fácilmente bajando la temperatura del serpentín. La Fig. 7 muestra una capa convectiva de este tipo de 5,5 cm de espesor a  $T \neq 13^\circ \text{C}$ , desapareciendo al cabo de 23 días.

#### 5.- Generación y estabilidad de capas convectivas intermedias

En algunos trabajos experimentales (4), se ha observado la aparición de capas convectivas intermedias, que desaparecen espontáneamente.

En el modelo experimental se generó artificialmente una capa convectiva con un agitador mecánico, a unos 22 cm de profundidad. Esta capa que inicialmente tuvo 6 cm de espesor demostró ser una perturbación que el sistema puede eliminar por sí mismo. Para estos fenómenos, el doble gradiente difusivo demuestra ser muy estable y la capa es reabsorbida en 3 días y se restaura el gradiente lineal como se muestra en la Fig. 8.

#### Referencias

- (1) - J. Mangussi, L. Saravia, "Pozas Solares con Gradiente Salino Saturado", 3° Reunión de Trabajo de Energía Solar de ASADES, Mendoza, (1977).
- (2) - D.A. Skoog, and D.M. West, en "Fundamentals of Analytical Chemistry", pág. 261, Ed. Halt, Rinehart y Winston, 1963.
- (3) - G. Lesino, J. Mangussi, A. Ronco, L. Saravia, "Capas convectivas en pozas solares", 4° Reunión de Trabajo de Energía Solar de ASADES, La Plata (1978).
- (4) - C. Nielsen, "Experience with Prototype Solar Pond for Space Heating" ISES, Winnipeg (Canadá) (1976).

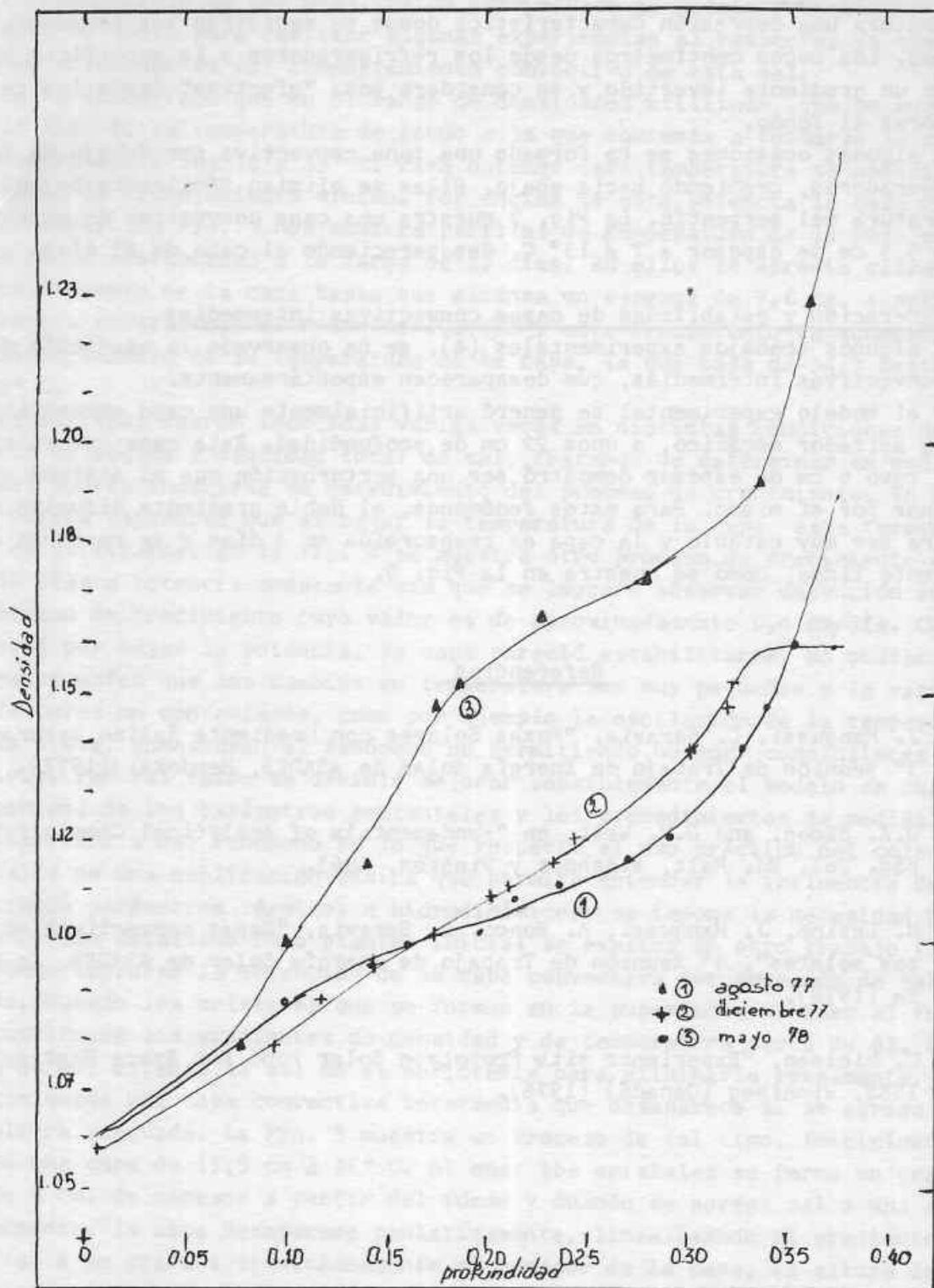


FIGURA 1: Perfiles de densidad de la poza en distintas fechas.

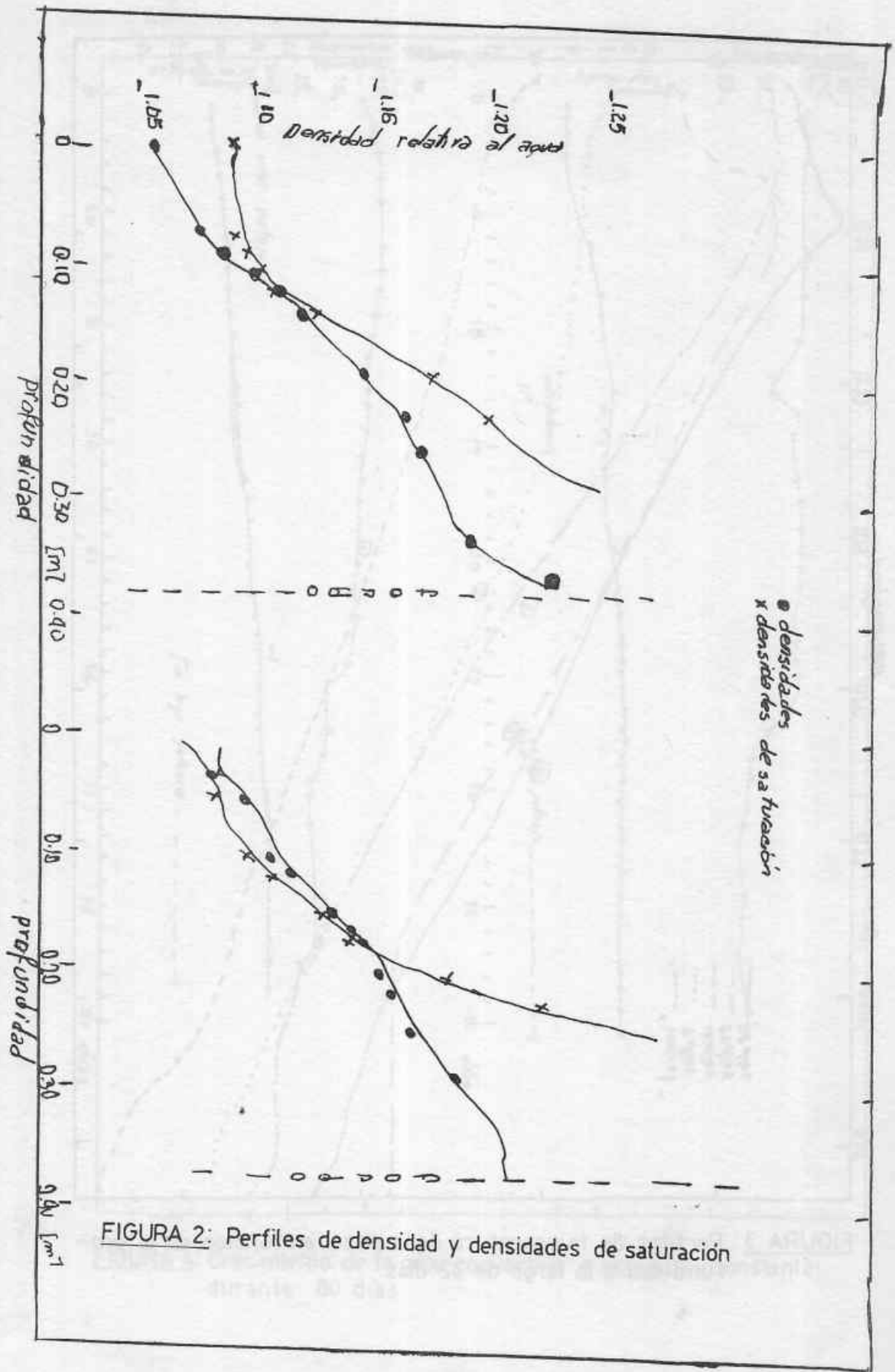


FIGURA 2: Perfiles de densidad y densidades de saturación

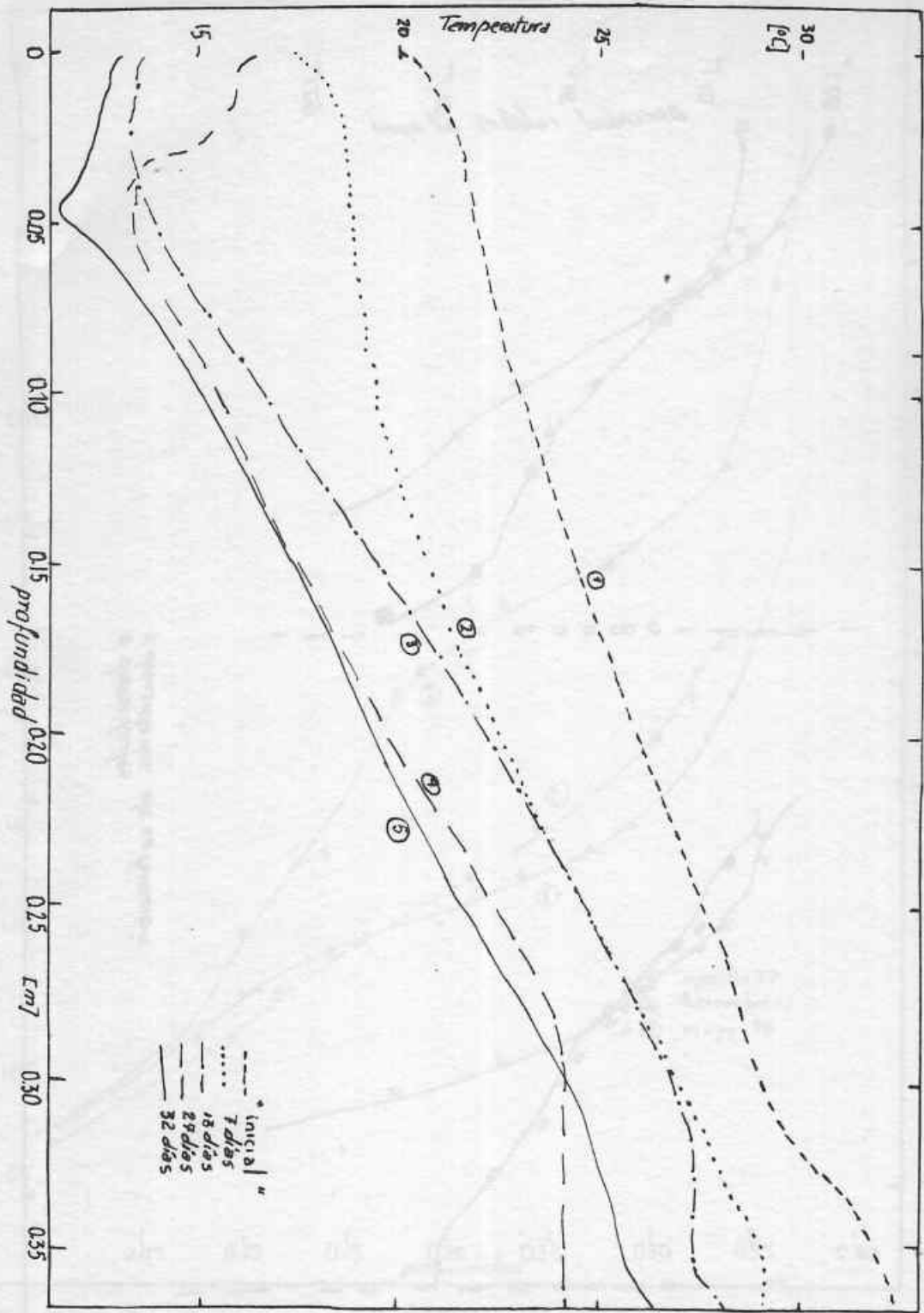


FIGURA 3: Perfiles de temperatura de la poza en función de la profundidad a lo largo de 32 días.



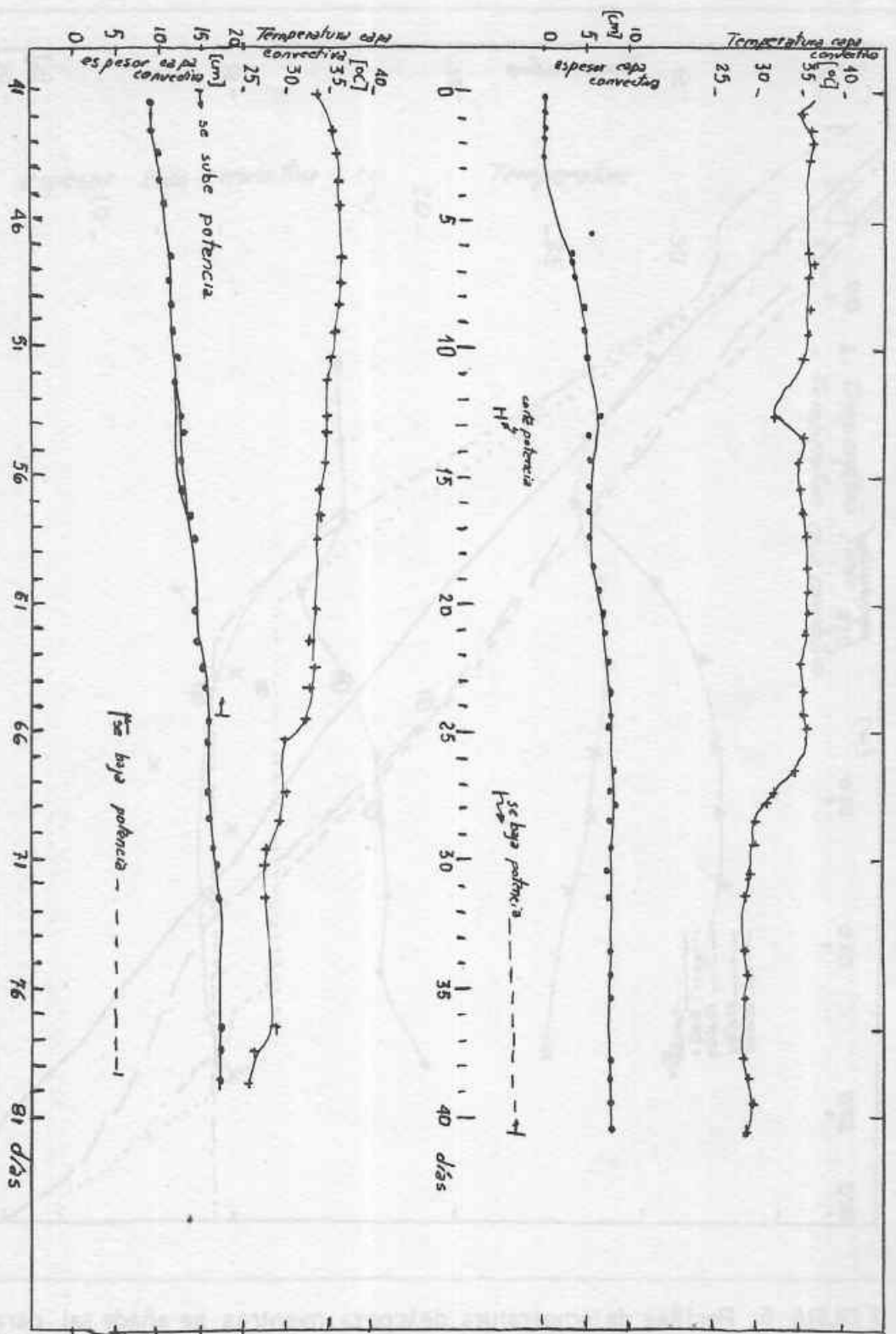


FIGURA 4: Crecimiento de la capa convectiva a potencia constante durante 80 días.

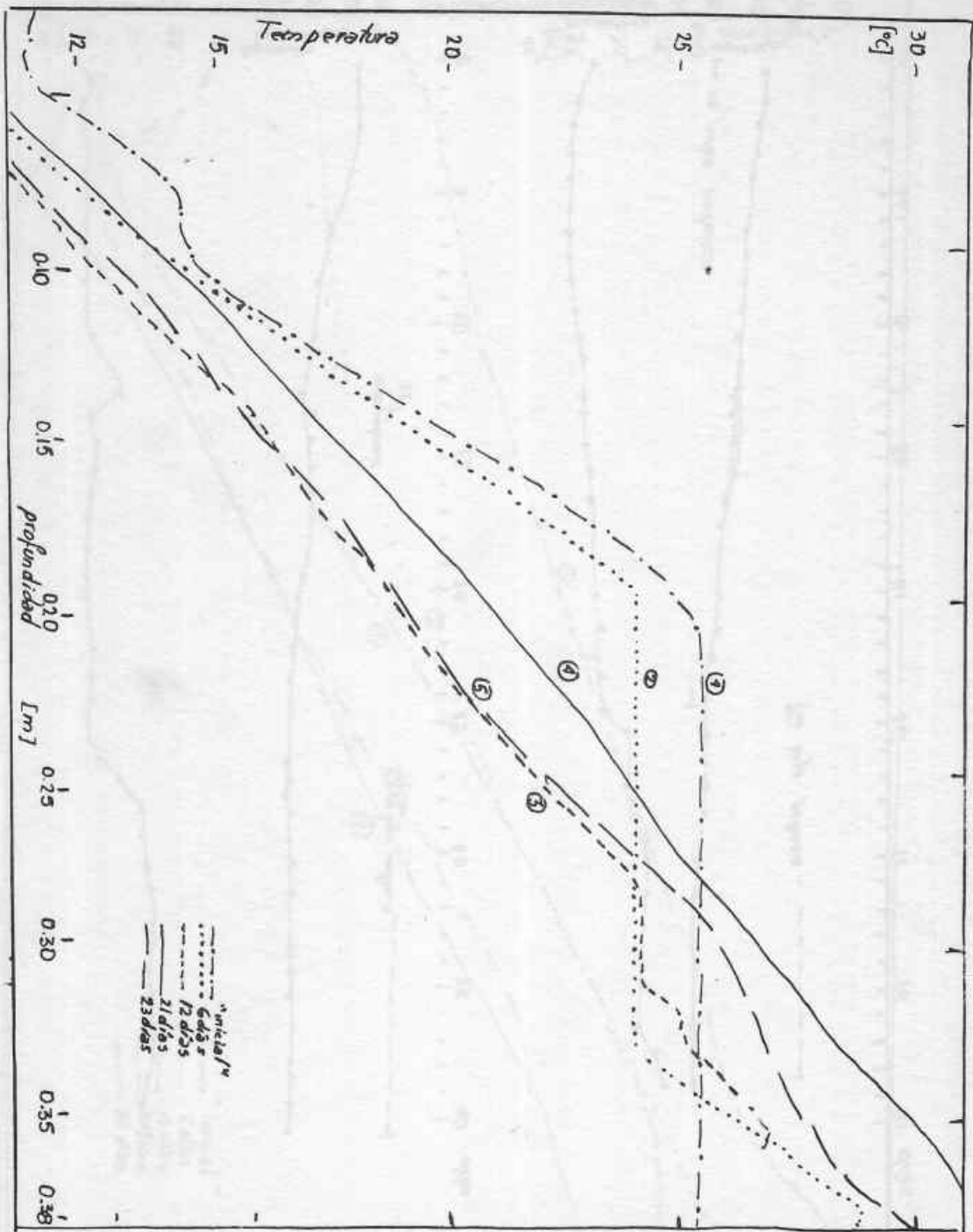


FIGURA 5: Perfiles de temperatura de la poza mientras se añade sal para eliminar la capa convectiva.

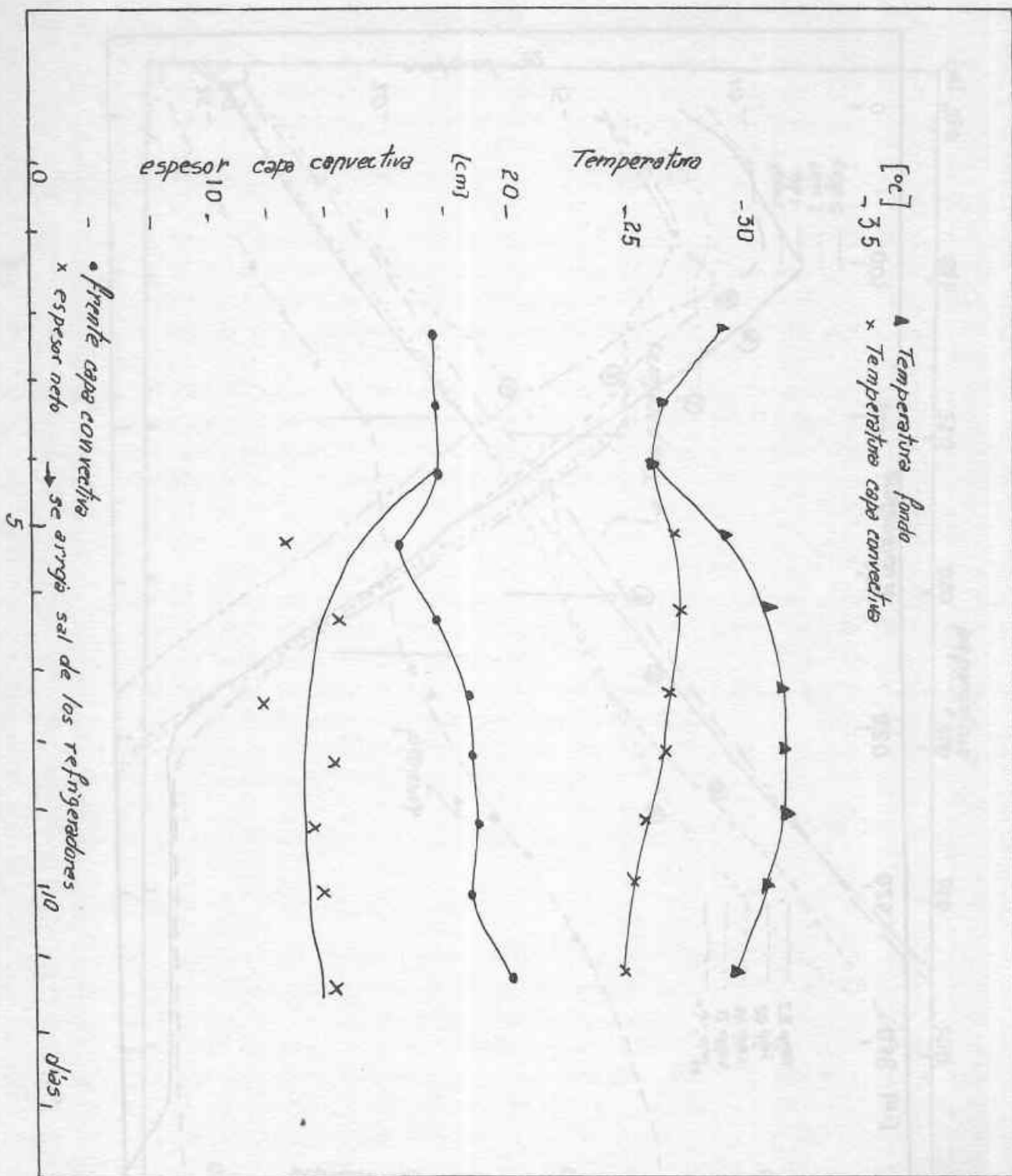


FIGURA 6: Crecimiento del frente y del espesor de la capa convectiva y las temperaturas del fondo y de la capa convectiva en función del tiempo.

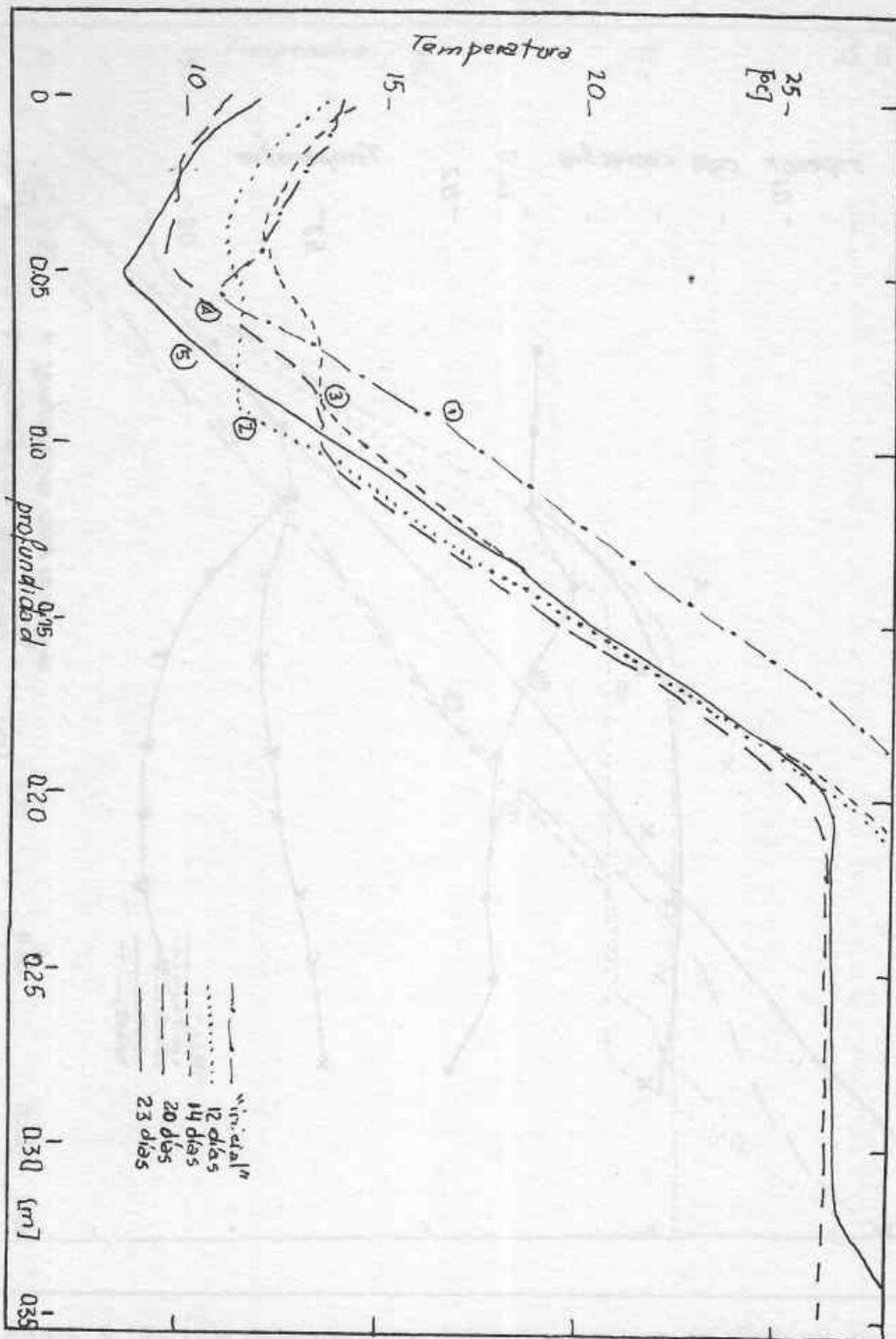


FIGURA 7: Perfiles de temperatura en la zona próxima a la superficie al desaparecer la capa convectiva.

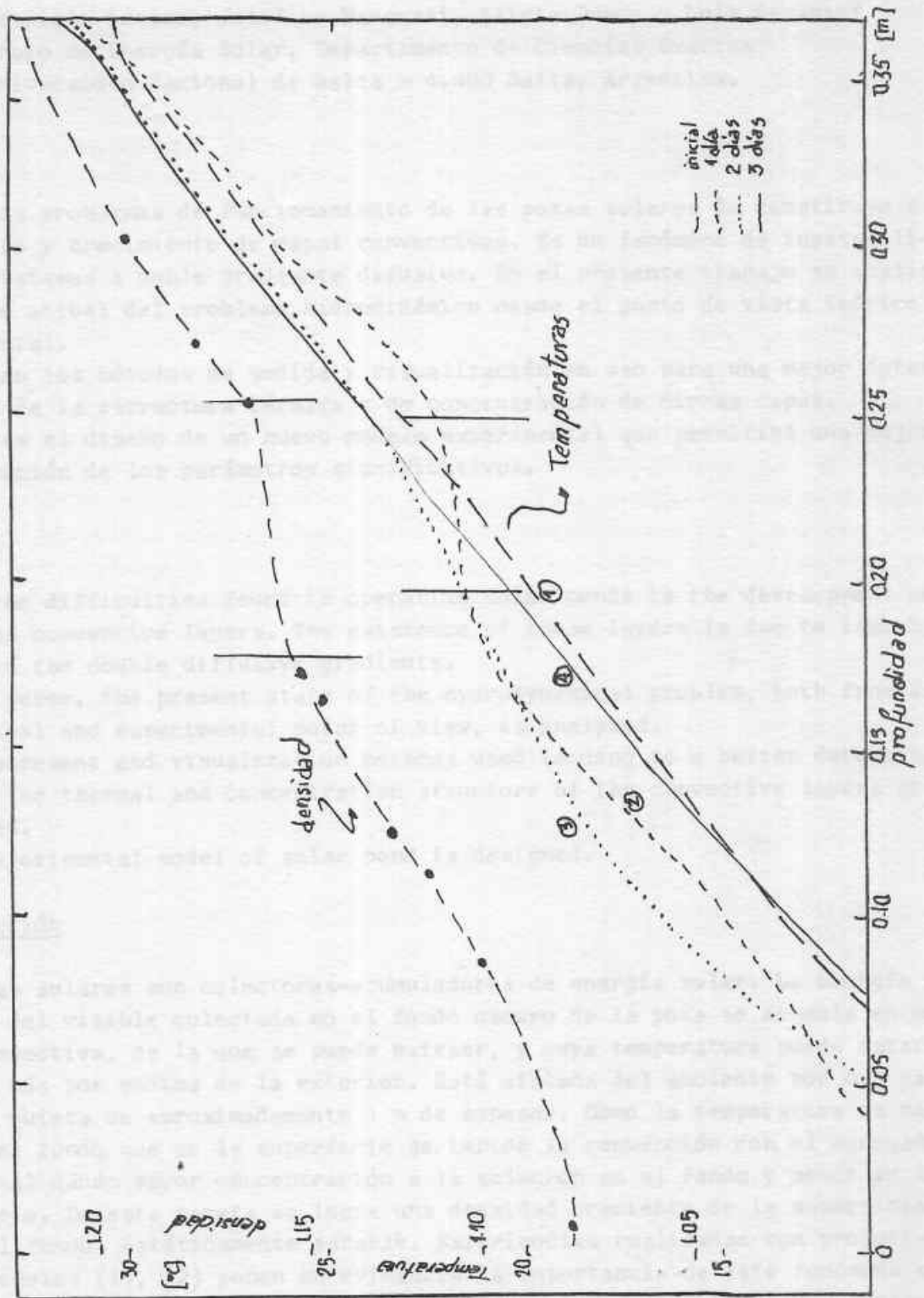


FIGURA 8: Generación y desaparición de una capa convectiva intermedia.