

ONDAS INTERNAS EN EL PACIFICO ECUATORIAL ORIENTAL

Por:

JOSE CHIRIGUAYA (1)

RESUMEN

De la información obtenida del crucero CO-1-88, llevado a cabo desde el 8 al 30 de agosto de 1988, se efectuó un análisis de ondas internas en el mar ecuatoriano, para lo cual se realizaron mediciones desde la superficie hasta los 500 metros durante observaciones continuas de 24 horas denominadas estaciones fijas, con un intervalo de 3 a 4 horas aproximadamente entre cada uno de los lances.

Basándose en los registros de temperatura del agua de mar y relacionando este parámetro con las fluctuaciones de salinidad, densidad y velocidad del sonido se establece, en el Pacífico Ecuatorial Oriental, la existencia de ondas internas. Su presencia fue mayormente observada en la zona de la termoclina, relacionada ésta a movimientos ascendentes y descendentes. Además, se pudo notar que este patrón de comportamiento de la temperatura incidía de una forma directa en el perfil de distribución de la salinidad como de densidad. Se encontró también una amplitud de onda de 40 metros aproximadamente, siendo igual coincidentalmente para las tres estaciones fijas.

La temperatura y velocidad del sonido tienen similitud en la distribución de sus perfiles y secciones sobre toda la columna de agua.

ABSTRACT

An internal waves analysis ecuadorian sea was made based on the information obtained from august 8 to 30/ 1988 aboard the BAE ORION.

Measurements from surface down to 500 m., every 3 to 4 hours were made during 24 hours at three oceanographic stations.

Sea temperature records, related to salinity, density, and sound velocity fluctuations, show the existence of internal waves in the Eastern Tropical Pacific Ocean.

The presence of internal waves, with maximum amplitude of 40 m, was often observed associated to the thermocline layer, which was related to fluctuating movements.

Furthermore, it was noted that this temperature behaviour pattern, directly affect the salinity and density profiles.

The temperature and sound velocity sections show similar tendencies.

INTRODUCCION

Los datos tomados en el análisis del presente trabajo, corresponden a los obtenidos durante el crucero CO-1-88, agosto -30, realizado a bordo del BAE. ORION.

No existen antecedentes de alguna investigación

anterior, realizada por científicos ecuatorianos, sobre ondas internas en el Ecuador. Debido a esto la información que se tiene y que ha sido utilizada como bibliografía y referencias es la que se ha efectuado en otros países, en particular los que se han llevado a cabo en las costas de Estados Unidos, tanto en el Pacífico como en el Atlántico (tropical). Entre ellos cabe destacar el de Fjeldstad (1933), Sverdrup, Johnson, Fleming

(1942), Andreyeva (1976), Olbers (1980) y Romea (1982).

La teoría de ondas internas que desarrolló Stokes (1932), para un caso simple de dos capas de diferentes densidades y la teoría general de ondas progresivas internas en aguas heterogéneas fue desarrollada por Fjeldstad en 1933. Ambas teorías tienen una aplicación estable al fenómeno oceanográfico.

En aguas estratificadas y en aguas en las cuales la densidad varía con profundidad, diferentes tipos de ondas pueden ocurrir, las cuales se denominan ondas internas y están caracterizadas por tener grandes desplazamientos verticales en función del tiempo. En el océano en donde se puede observar capas de agua de diferentes densidades, una superior de menor salinidad y otra inferior y más salina, dos tipos de ondas se presentan: la onda superficial ordinaria; y la onda interna en el límite entre la capa ligera superior y la capa de agua inferior más pesada. Ekman (1904) explicó este fenómeno llamándolo "agua muerta". En muchas ocasiones los Capitanes de barcos reportaban que con una brisa ligera los barcos ocasionalmente parecían hundirse en el agua, actuando lentamente y haciendo pequeños avances. La experiencia fue similar y común en aguas Árticas, en presencia de una capa delgada superior y poco salina producida por el derretimiento de hielo y de ríos de los cuales agua fresca se extiende hacia afuera. Cuando los buques se mueven lentamente tienen una experiencia similar, cuando su velocidad es incrementada unos pocos nudos esto desaparece. Esta razón es la cual el buque parece hundirse en el agua y la energía para vencer la resistencia del agua es lo que genera y mantiene las llamadas ondas internas, según Ekman.

MÉTODOS USADOS

Las ondas internas en el océano son un fenómeno geofísico descubierto en años anteriores, pero muy poco estudiado. Los métodos más comunes para analizar tales ondas se basan en los registros de temperatura del agua de mar a largos períodos tomados simultáneamente en diferentes profundidades.

Las isotermas construidas se las estima como el resultado de movimientos oscilatorios de masas de agua u ondas internas. Otro método es el acústico que registra las profundidades de los niveles de dispersión del sonido (SOUND SCATTERING LAYERS), el cual asciende y desciende sobre las ondas internas en las profundidades del océano.

El crucero CO-1-88, a bordo del BAE ORION, se llevó a cabo desde el meridiano 81°W al 92°W y del 1°N al 3°S de latitud, en el cual se utilizó una Roseta General Oceanic, botellas Niskin de 1.7 litros de capacidad y un CTD 9040 Grundy.

El estudio se realizó en tres estaciones fijas ubicadas en 0° 10' N - 82° W (#2), 2° 59.42' S - 81° 40.92' W (#8) y 0° 40' S - 92° W (#14). Se hicieron observaciones desde el nivel de la superficie hasta los 500 mts. y durante 24 horas continuas para la estación #2 y 12 horas también continuas para cada una de las otras dos estaciones respectivamente, con un intervalo de tres a cuatro horas aproximadamente.

RESULTADOS

Temperatura, Salinidad y Densidad

En los perfiles de temperatura de las estaciones 2 a 2F, se observa que una capa de mezcla común en todas ellas se mantiene desde la superficie hasta aproximadamente los 20 metros. Esta capa homogénea permaneció durante todo el tiempo que duraron las mediciones en esta estación. A partir de esta profundidad se nota que en la termoclina localizada entre los 20 y 40 metros se producen marcados ascensos y descensos de ésta, en los diferentes intervalos de tiempo en que se realizaron tales mediciones (estaciones 2-2F). Esto conlleva a detectar perturbaciones ondulatorias dentro de la columna de agua que se está desplazando en forma vertical. Dichas perturbaciones las conocemos como ondas internas (Figs. 1 y 2). La temperatura

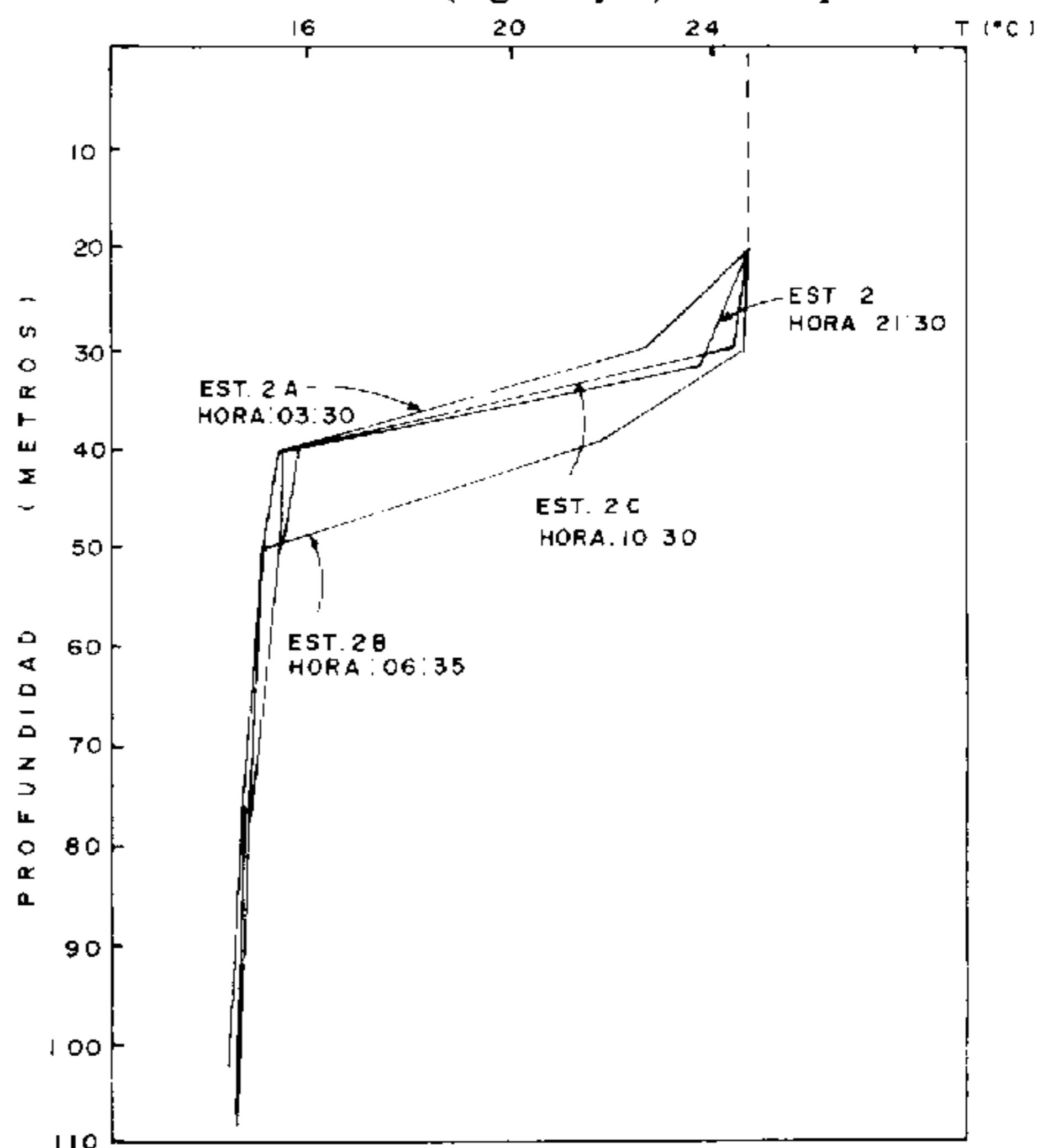


Fig. 1. Perfil de temperatura vs profundidad. Estación 2 Primera Fija de 24 horas VIII-8-9/88.

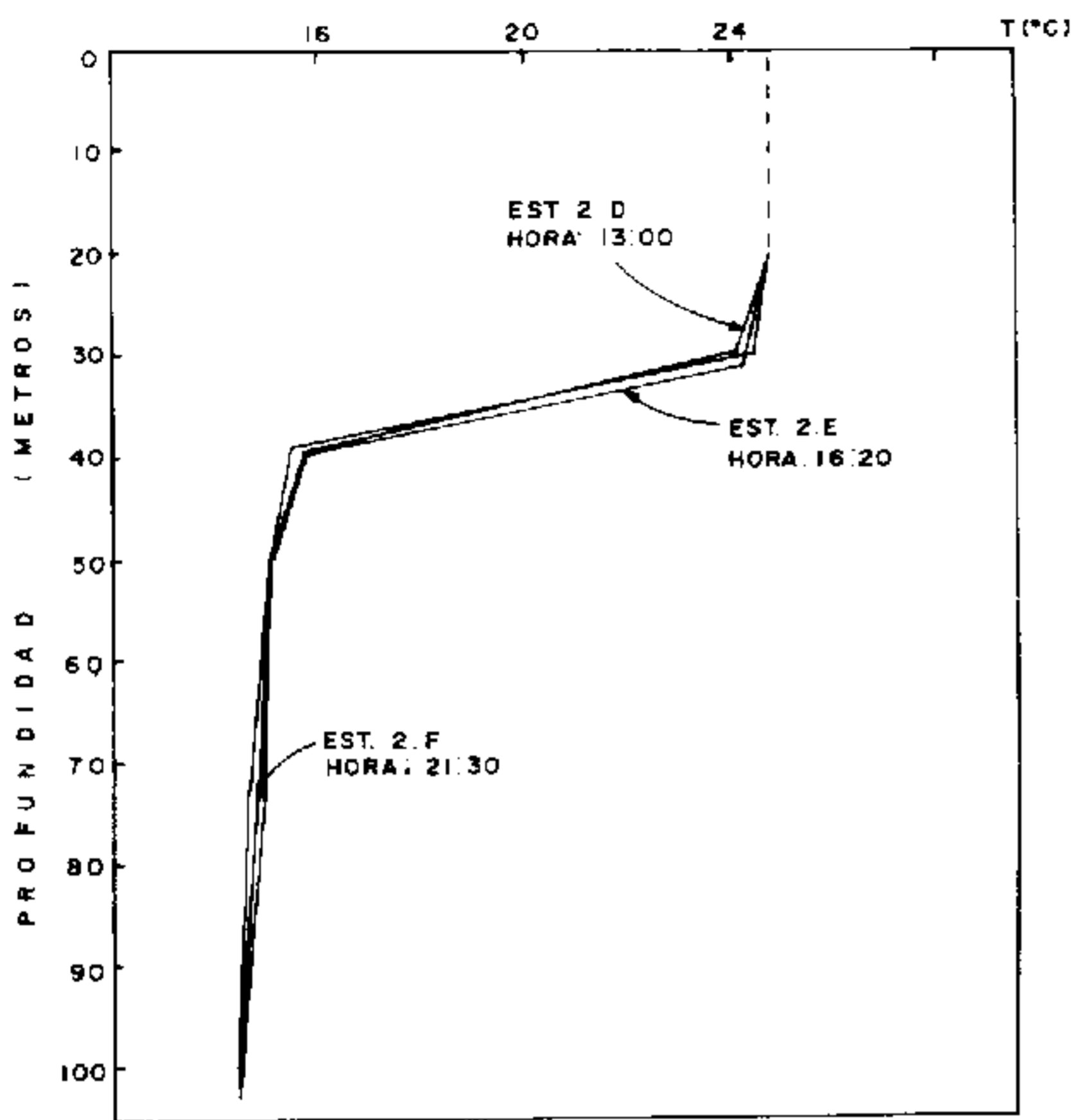


Fig. 2. Perfil de temperatura vs profundidad. Estación 2 Primera Fija de 24 horas. VIII-8-9/88.

superficial del mar osciló entre los 24.5 y 24.7°C. Para comprobar lo expuesto hasta el momento, es decir, la existencia de estas perturbaciones ondulatorias se puede tomar los perfiles de salinidad y densidad. Tanto la haloclina como la piconclina cambian su posición con profundidad; es decir, conforme las mediciones se hacen en diferentes horas, éstas han variado su ascenso o descenso según el caso (Figs. 3, 4 y 5). Más aún, si se

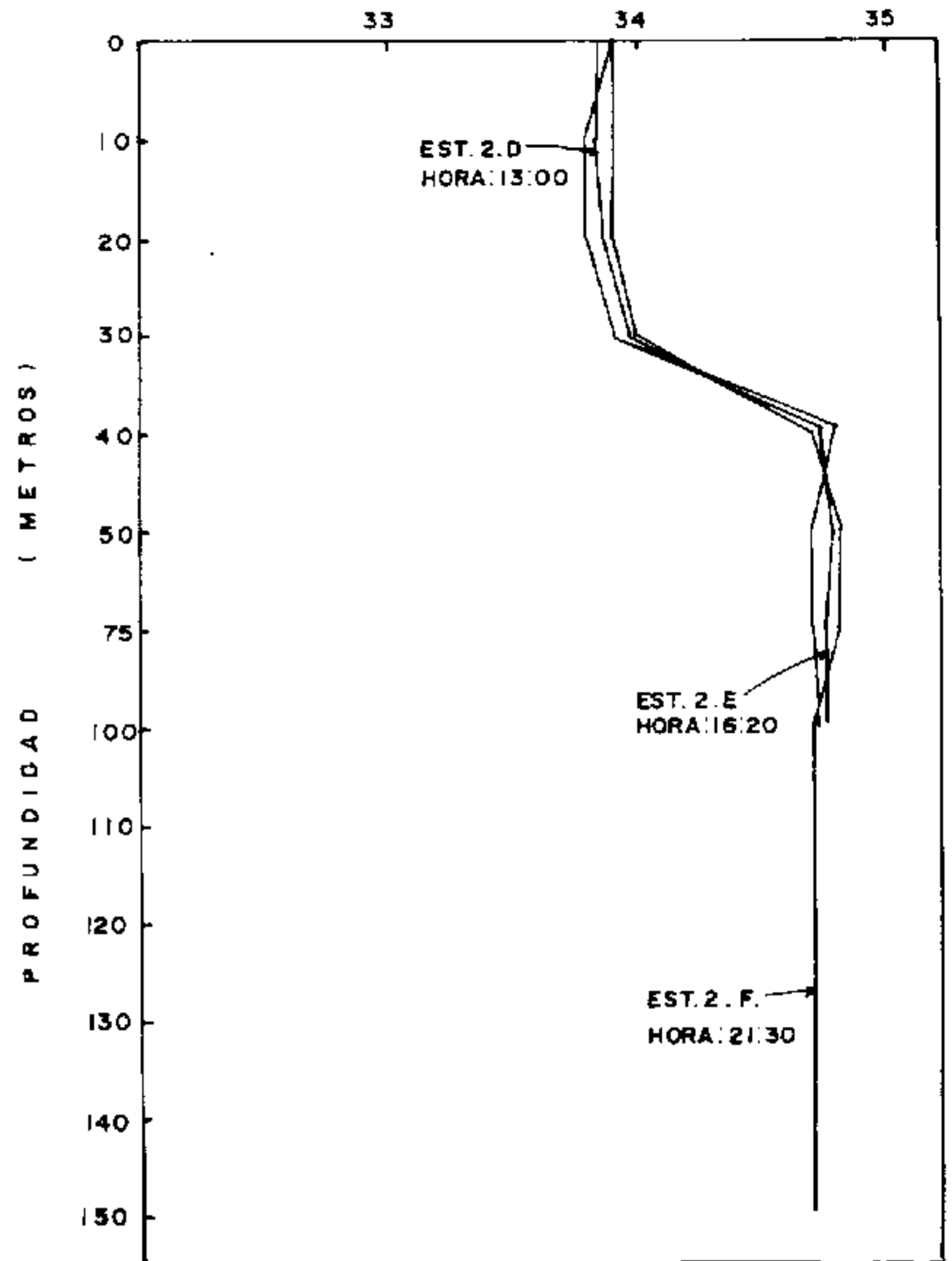


Fig. 4. Perfil de Salinidad vs. Profundidad Estación 2. Fija, VIII-8-9/88.

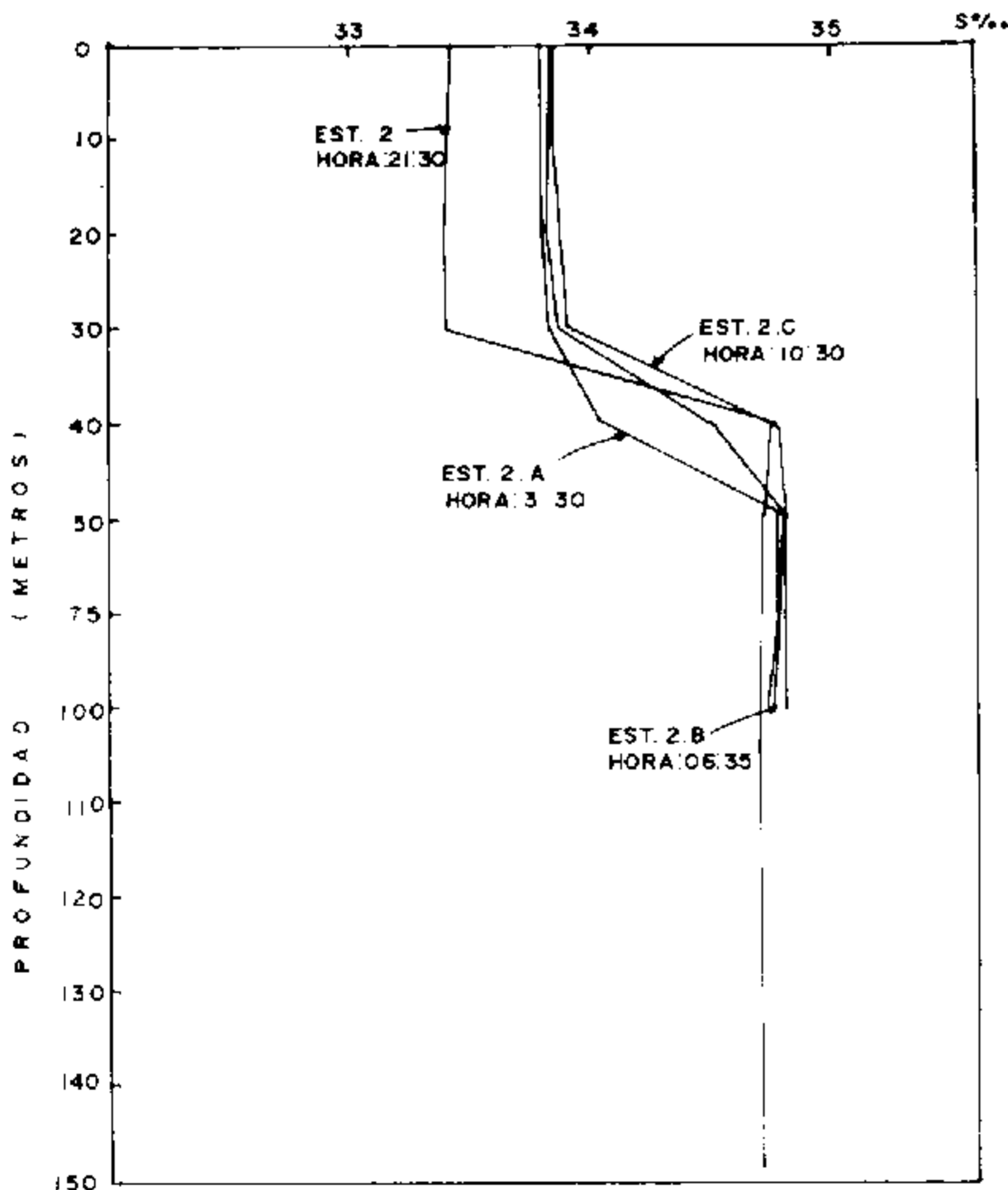


Fig. 3. Perfil de Salinidad vs. Profundidad Estación 2. Fija, VIII-8-9/88.

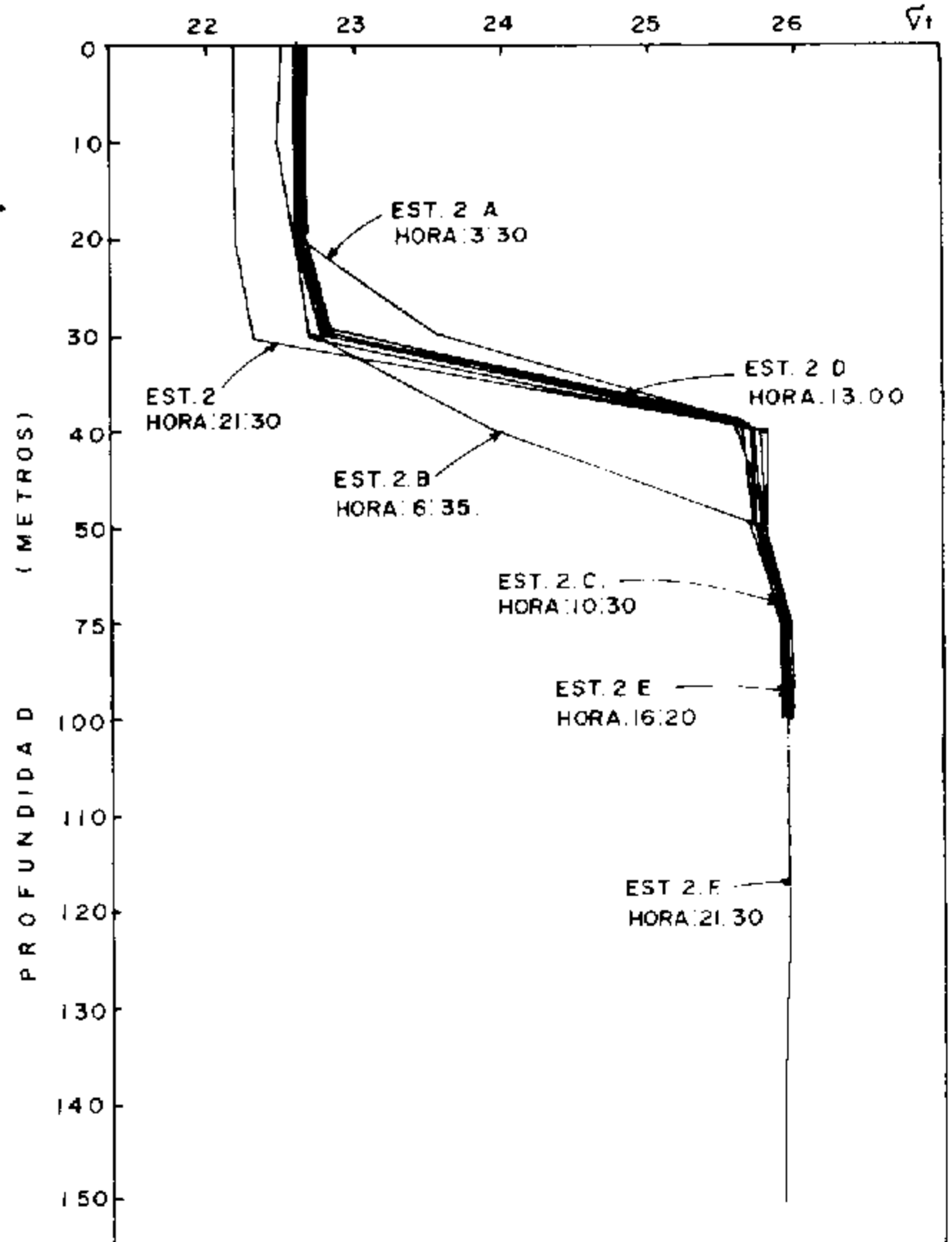


Fig. 5. Perfil de Vt vs. Profundidad Estación 2. Fija, VIII-8-9/88.

revisan los gráficos de las secciones de estos parámetros físicos (temperatura y salinidad), se observa que el paquete de ondas se está desplazando en función de profundidad y tiempo debido a la presencia de ondas internas (Figs. 6 y 7).

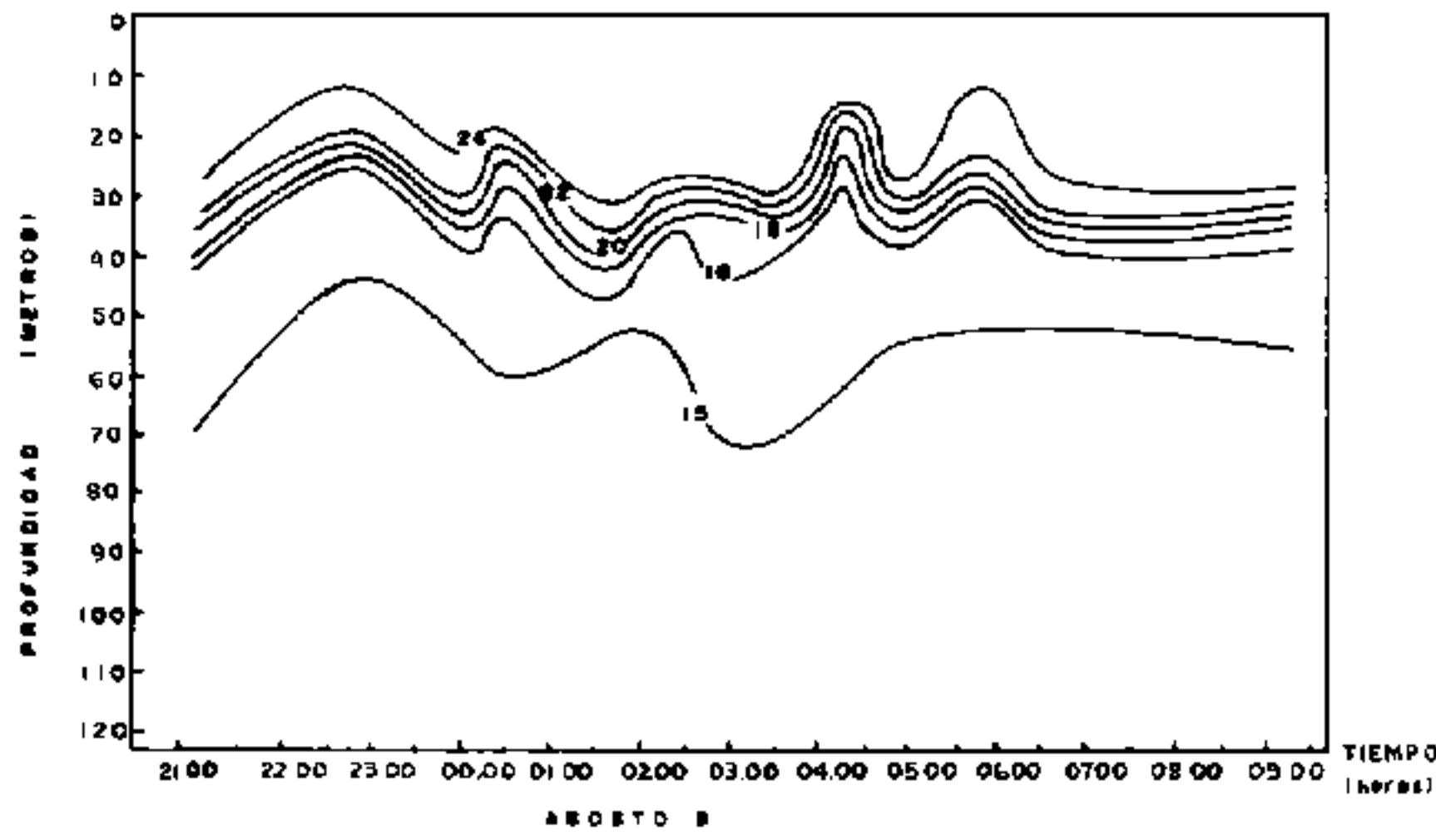


Fig. 6. Sección de Temperatura Estación 2

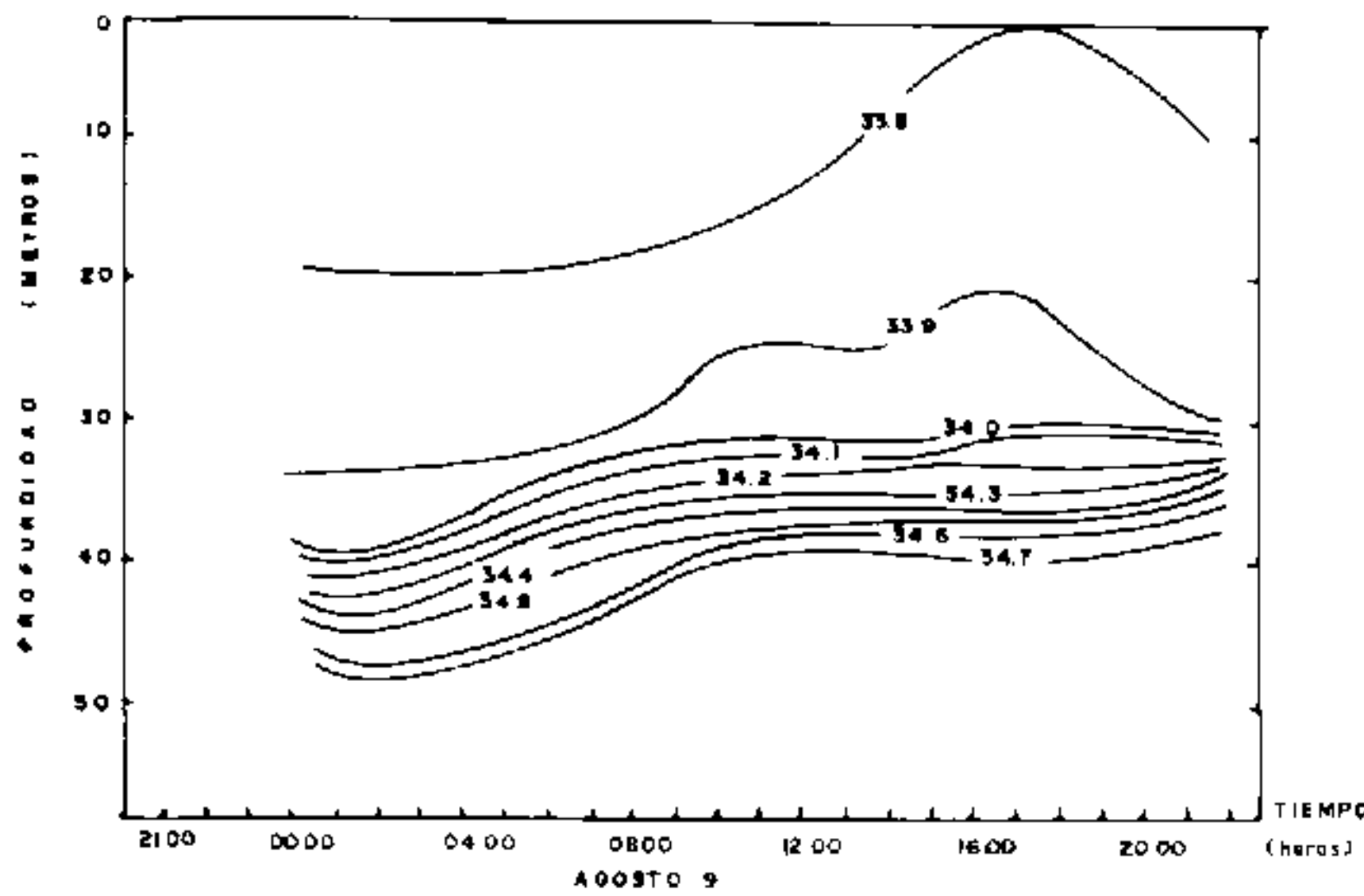


Fig. 7. Sección de Salinidad Estación 2

En la estación 8 a 8C las características son similares a lo anteriormente expuesto en lo que corresponde al movimiento vertical tanto para los perfiles de temperatura, salinidad y densidad como para las secciones, pero exceptuando que la capa de mezcla en el perfil de temperatura no es común para dichas estaciones ya que varía para cada una de ellas (Figs. 8, 9, 10, 11, 12 y 13). También aquí se nota la presencia de ondas internas. La temperatura superficial del mar varió desde los 17.5 a los 18.3°C.

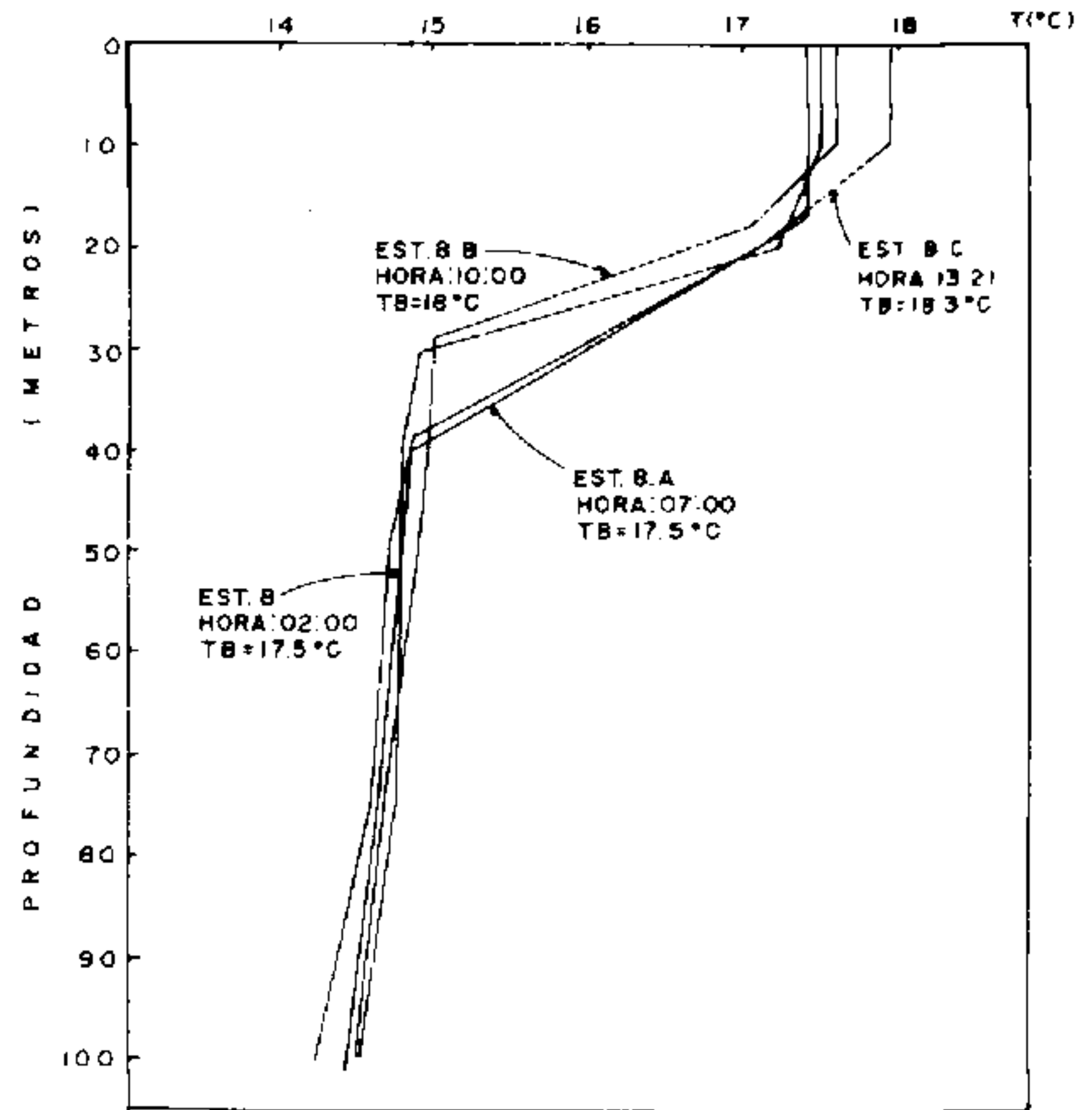


Fig. 8. Perfil de Temperatura vs. Profundidad Estación 8. Segunda fija de 12 horas VIII-12/88.

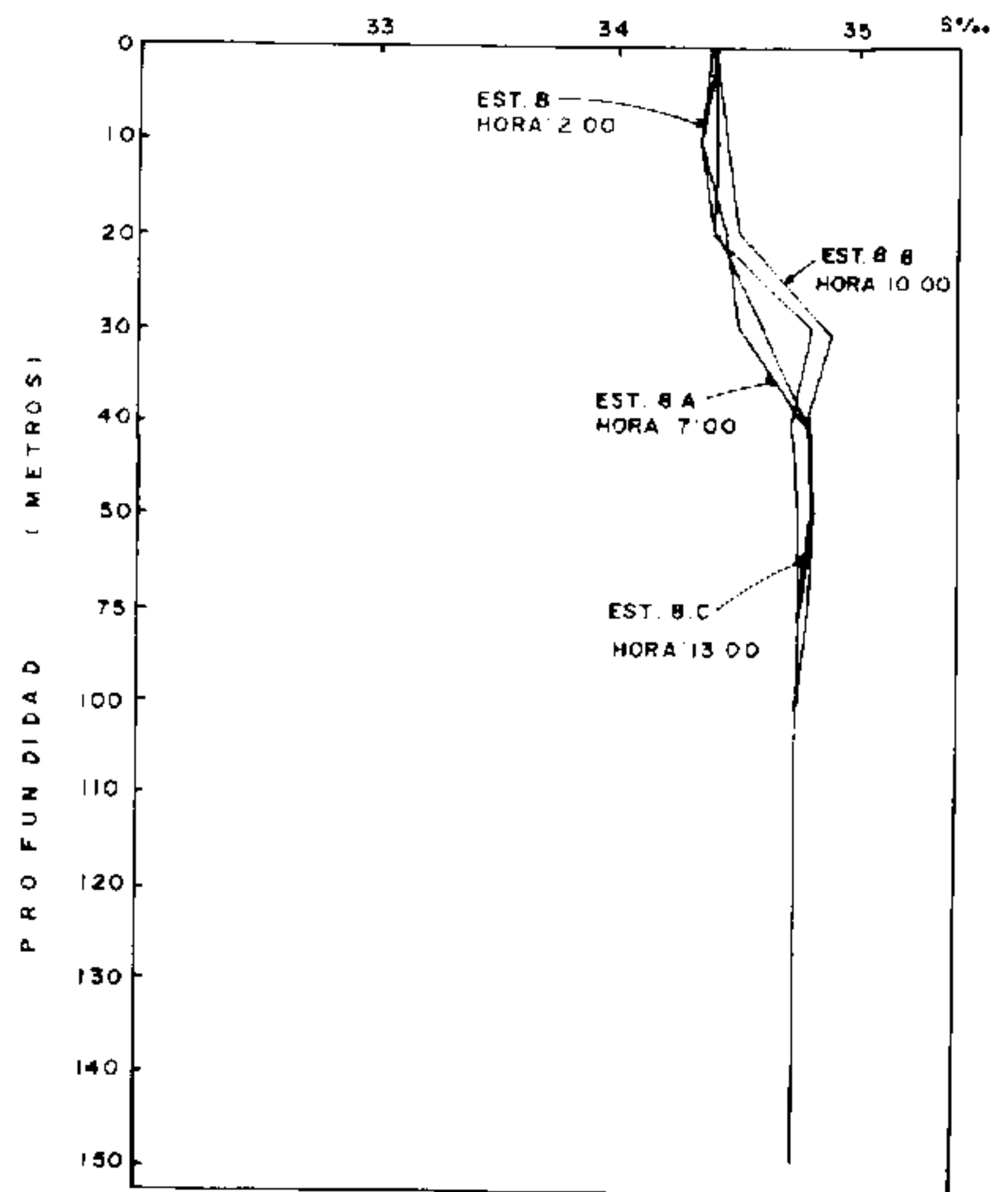


Fig. 9. Perfil de Salinidad vs. Profundidad Estación 8. Fija, VIII-12/88.

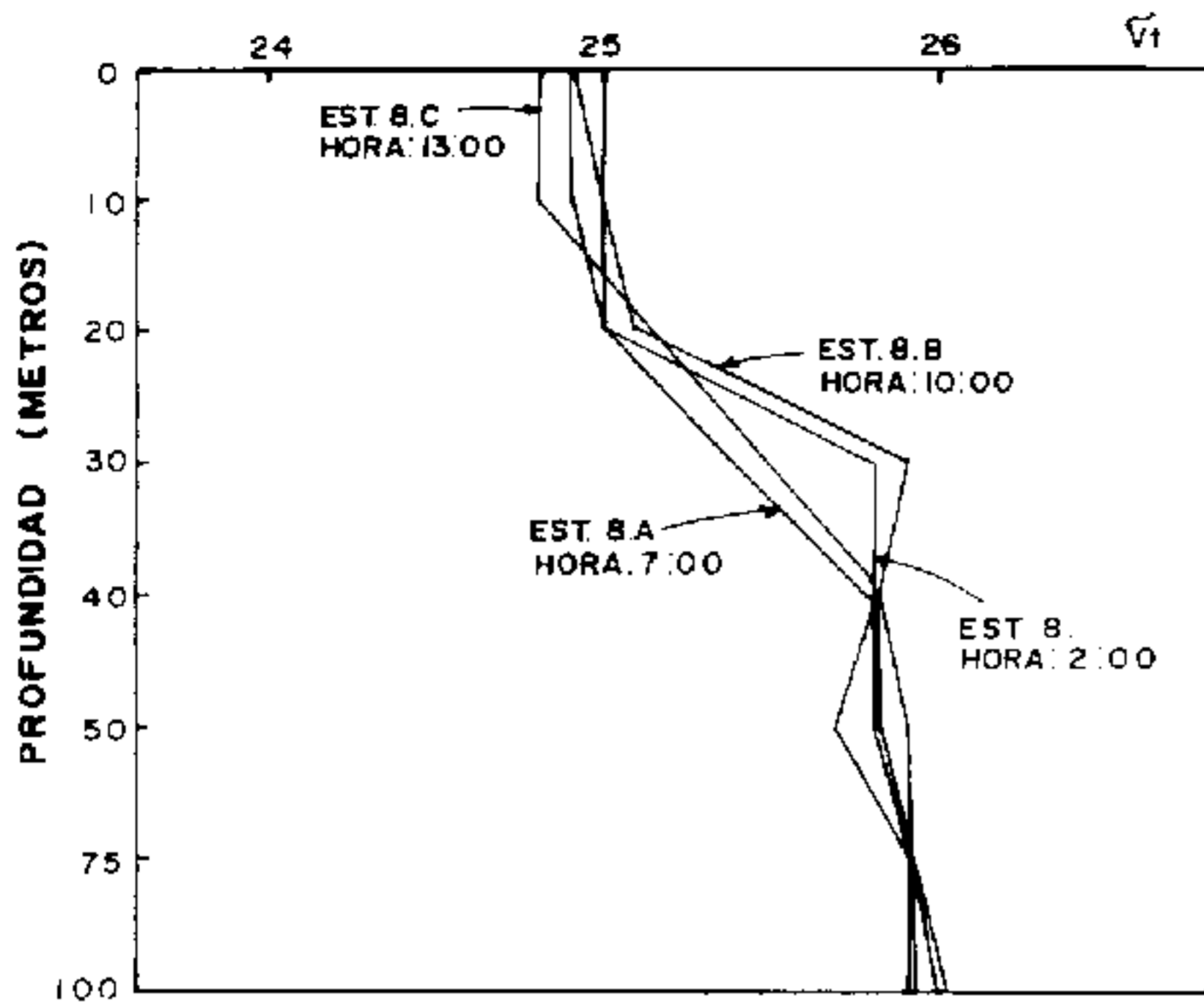


Fig. 10. Perfil de V_t vs profundidad. Estación 8. Fija. VIII-12/88.

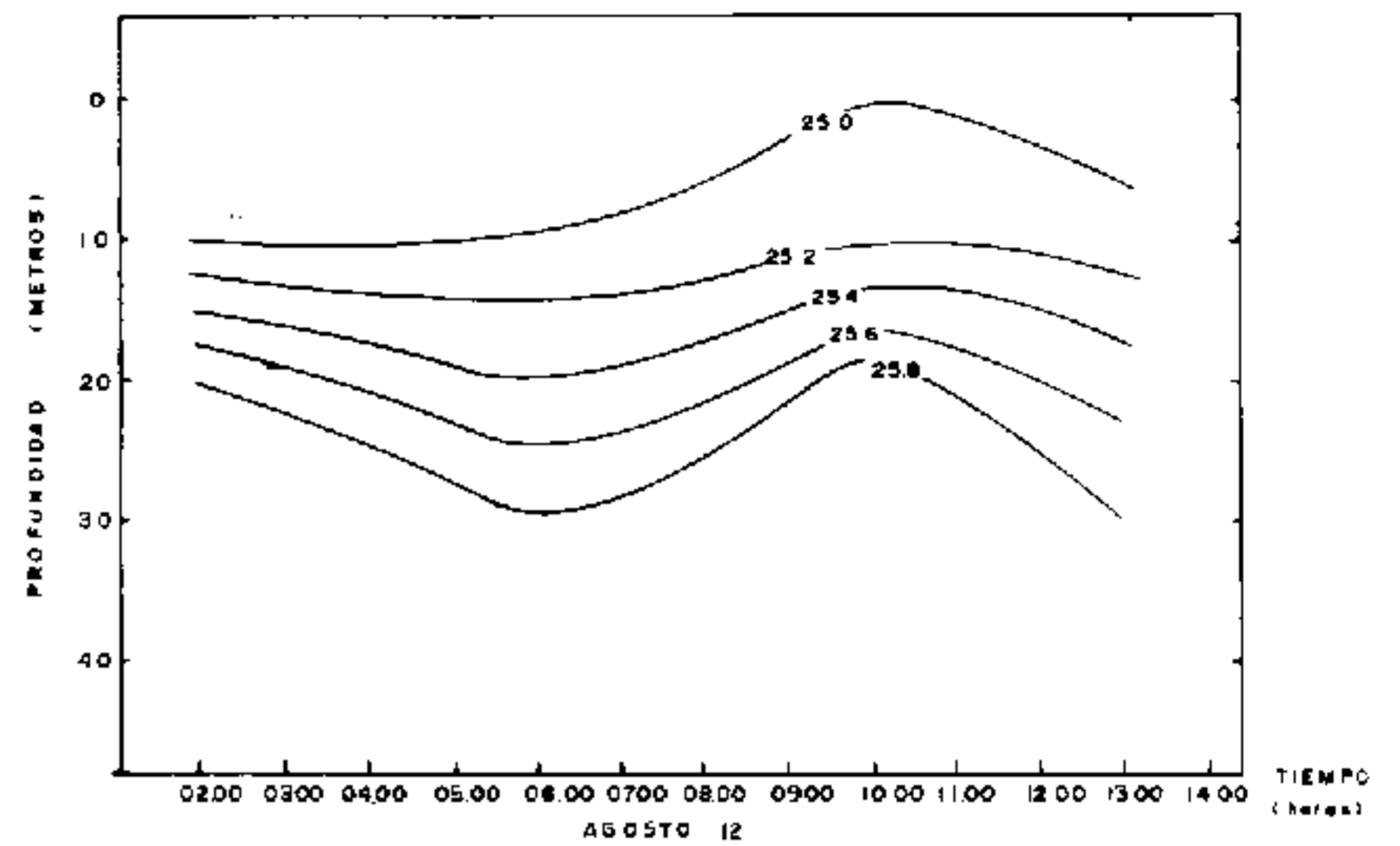


Fig. 13. Sección de V_t . Estación 8

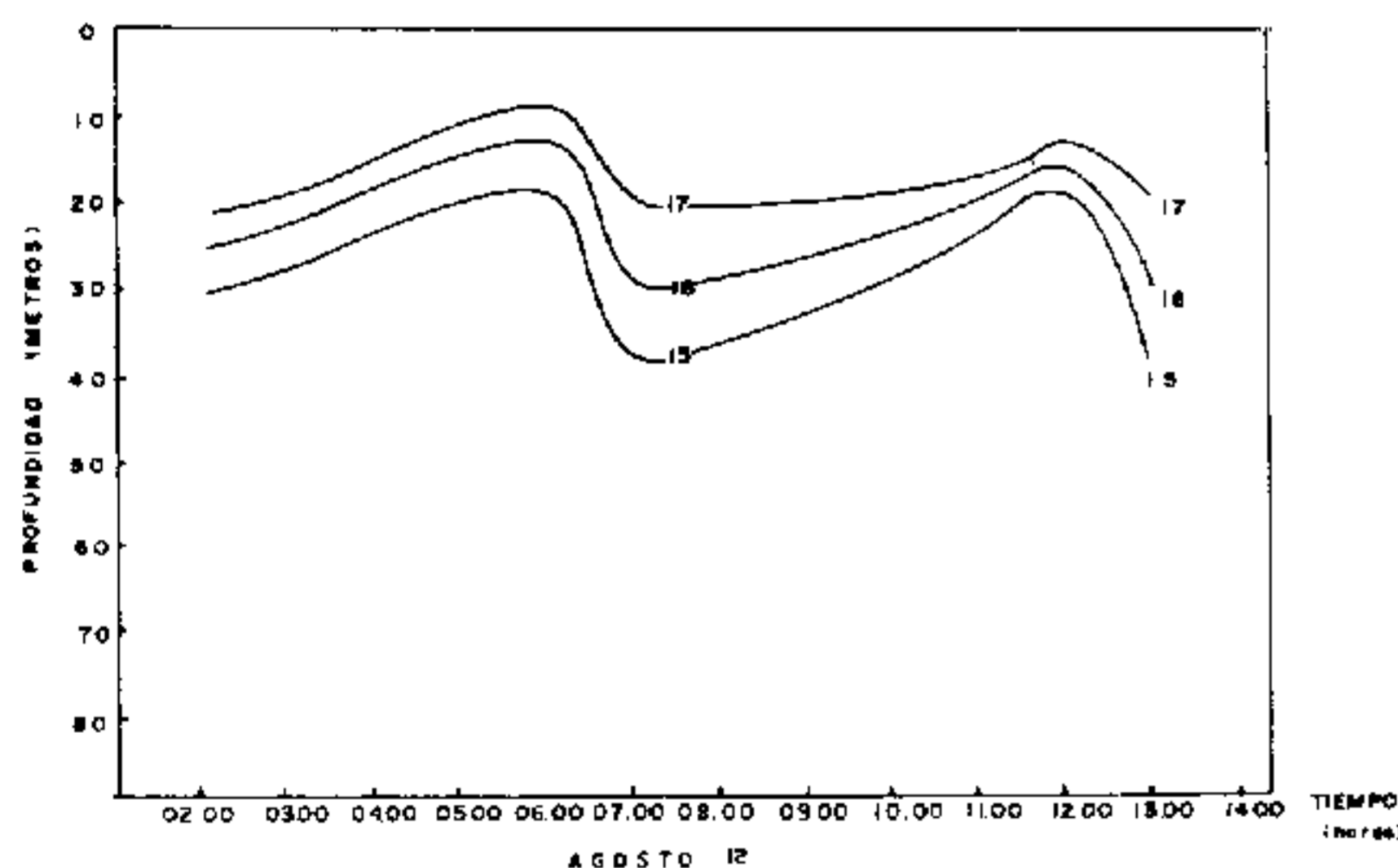


Fig. 11. Sección de Temperatura Estación 8

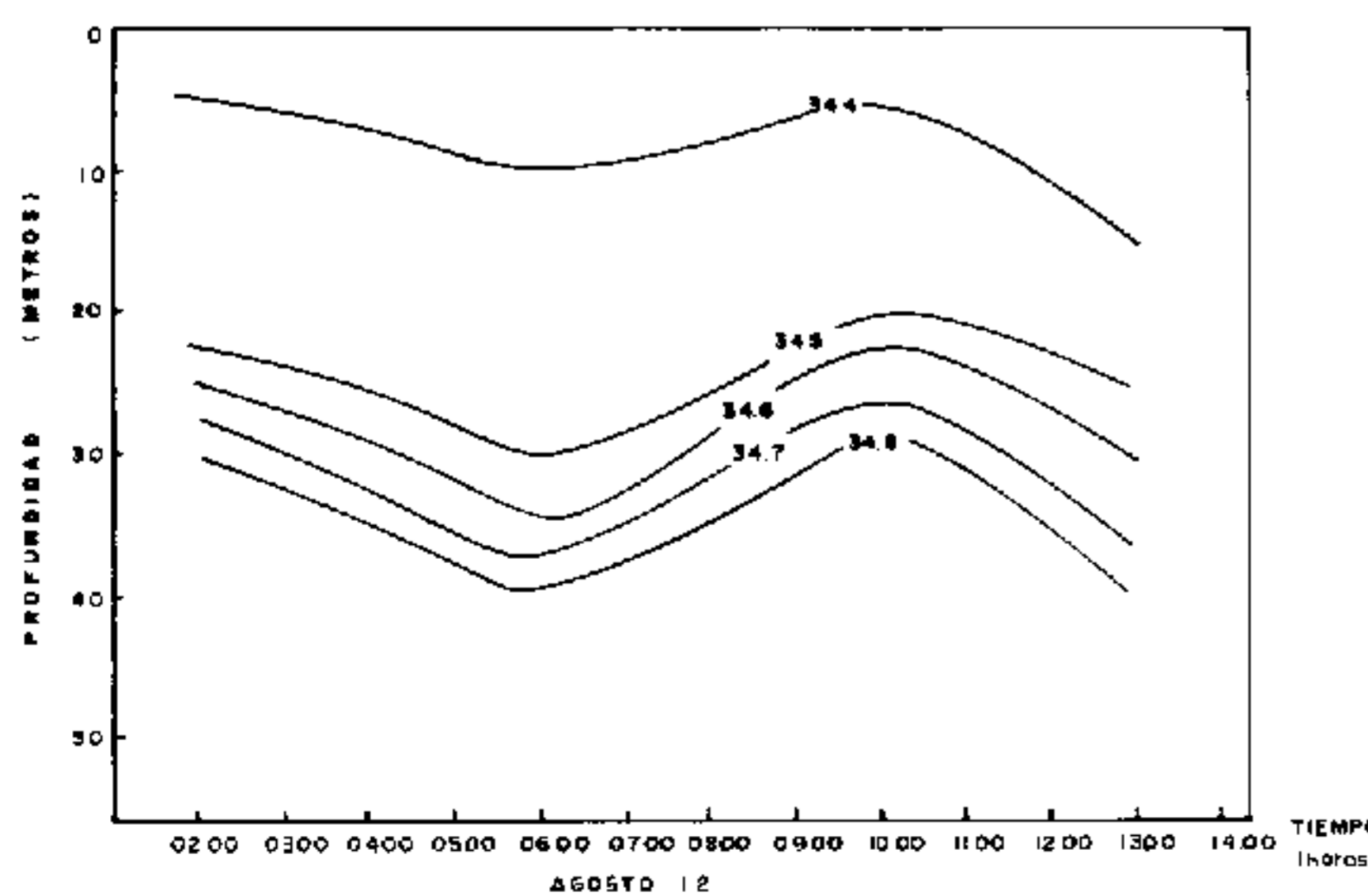


Fig. 12. Sección de Salinidad Estación 8

En las estaciones 14 a 14C no se observa una termoclina bien marcada y sus perfiles de temperatura cambian significativamente uno con respecto al otro en tiempo, pero cada uno de éstos en particular se presentan quasi-homogéneos. A pesar de esta relativa homogeneidad en los perfiles de temperatura, el ascenso y descenso de éstos se hacen presentes (Fig. 14), la temperatura superficial del mar varió entre 16 y 16.3°C.

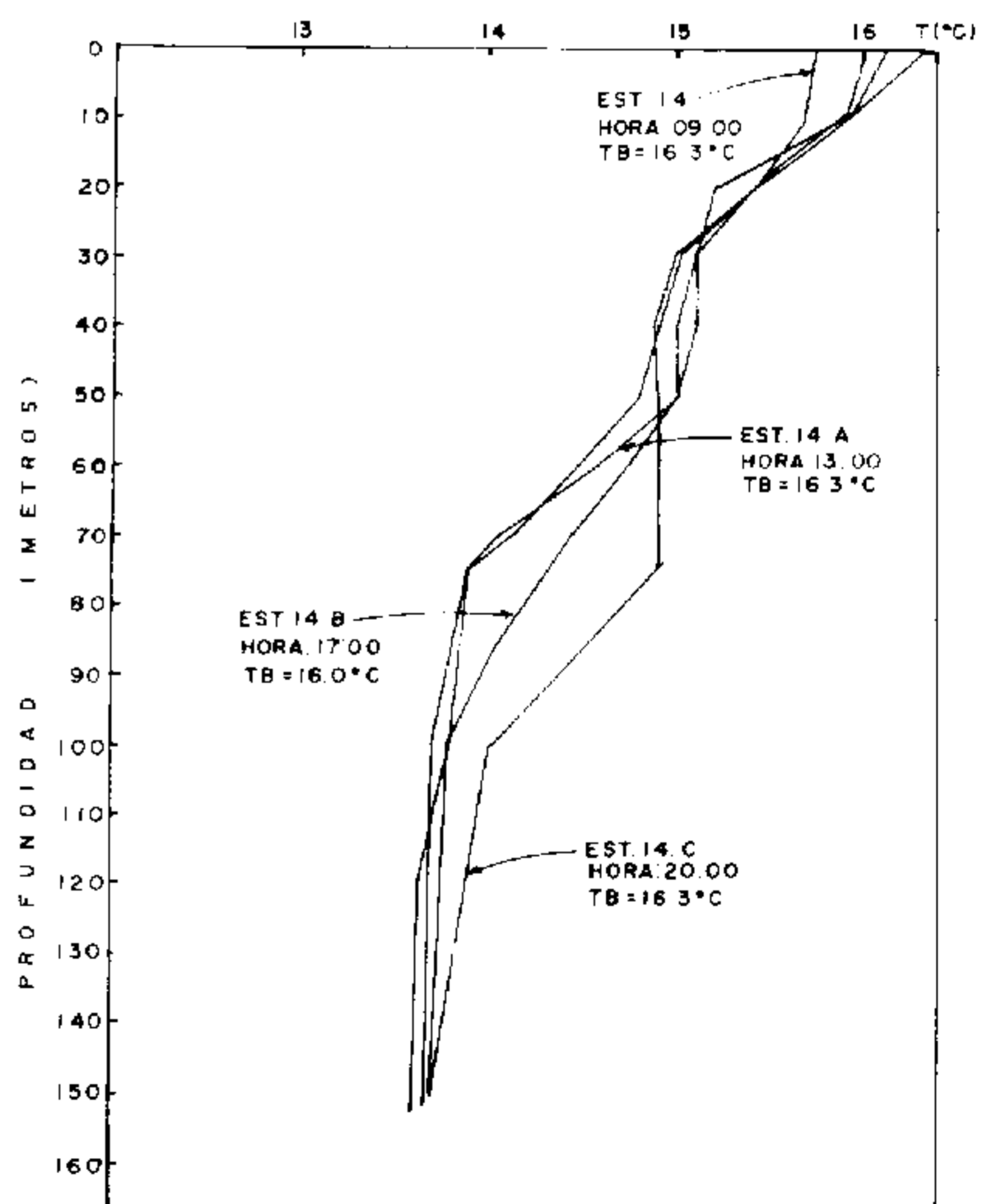


Fig. 14. Perfil de Temperatura vs. Profundidad Estación 14. Tercera fija de 12 horas VIII-17/88

Los perfiles de salinidad y sigma - T (Figs. 15 y 16) demuestran un comportamiento casi isohalino e isopical. En el gráfico de sección de temperatura (Fig. 17), el movimiento vertical del paquete de ondas conforme varía el tiempo se ha notado más fácilmente; es decir, las ondas internas contribuyen a la variación en tiempo de las estructuras termohalinas y de temperatura.

En las tres estaciones fijas se encontró el mismo valor de amplitud de la onda que fue aproximadamente de 40 metros.

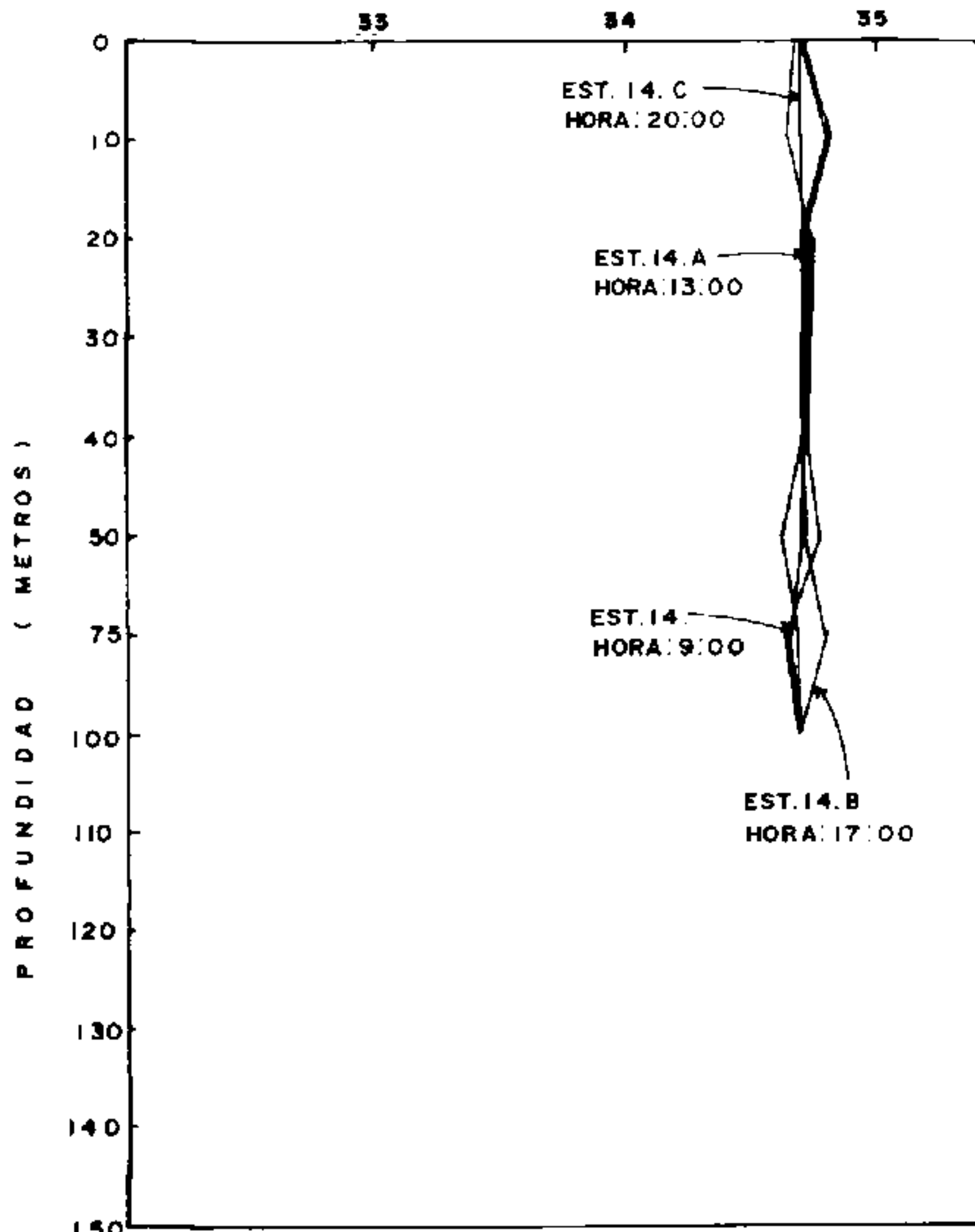


Fig. 15. Perfil de Salinidad vs. Profundidad Estación 14. Fija, VIII-17/88

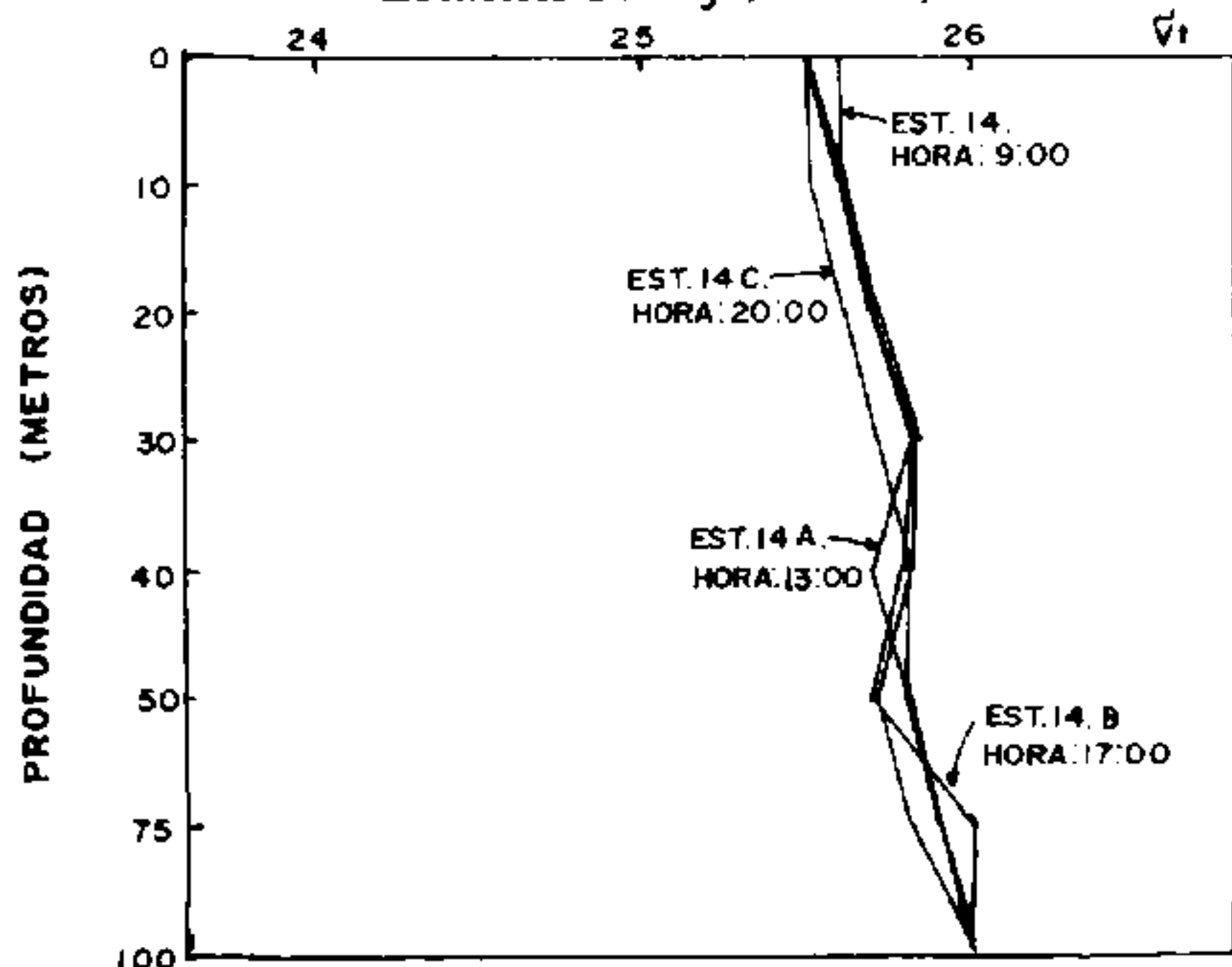


Fig. 16. Perfil de σ_t vs. Profundidad Estación 14. Fija, VIII-17/88

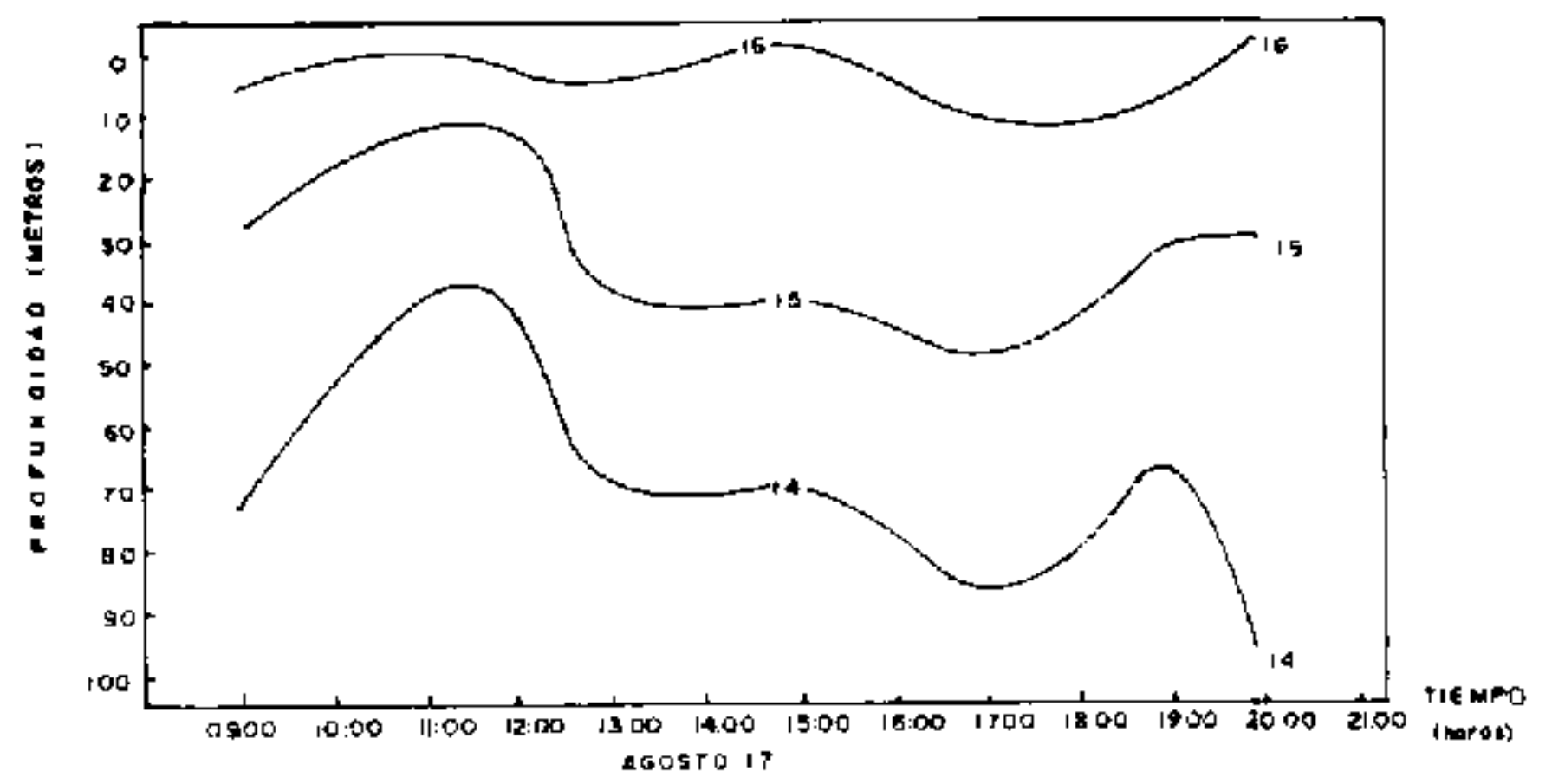


Fig. 17. Sección de Temperatura Estación 14

Temperatura - Velocidad del sonido

Al ser comparados los datos de estos dos parámetros se pretende encontrar alguna relación entre la temperatura y la velocidad del sonido, para hallar la presencia de ondas internas relacionadas con la propagación del sonido.

Estos valores fueron obtenidos sincronizadamente y simultáneamente por el CTD 9040 GRUNDY que además de medir la temperatura del mar, posee un sensor de emisión de sonido que mide su velocidad en metros por segundos. Estos análisis muestran la posibilidad de visualizar ondas internas propagándose (acústicamente) en capas de diferentes densidades y a varias profundidades.

Nótese las figuras 1, 2 y 3 que muestran perfiles de temperatura y que al referirlas con las figuras 18, 19

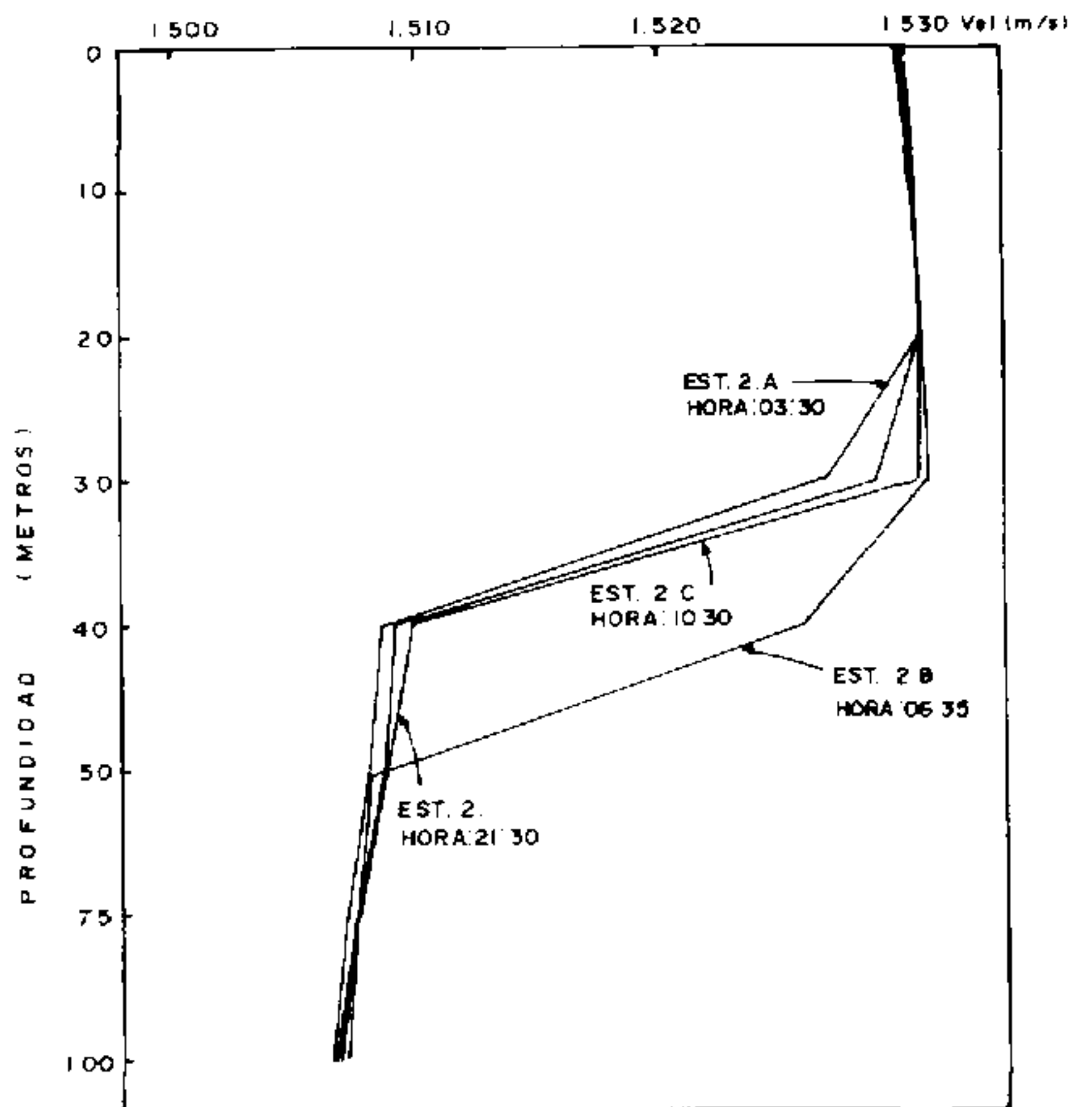


Fig. 18. Perfil de Velocidad del Sonido vs. Profundidad. Estación 2. VIII-8-9/88

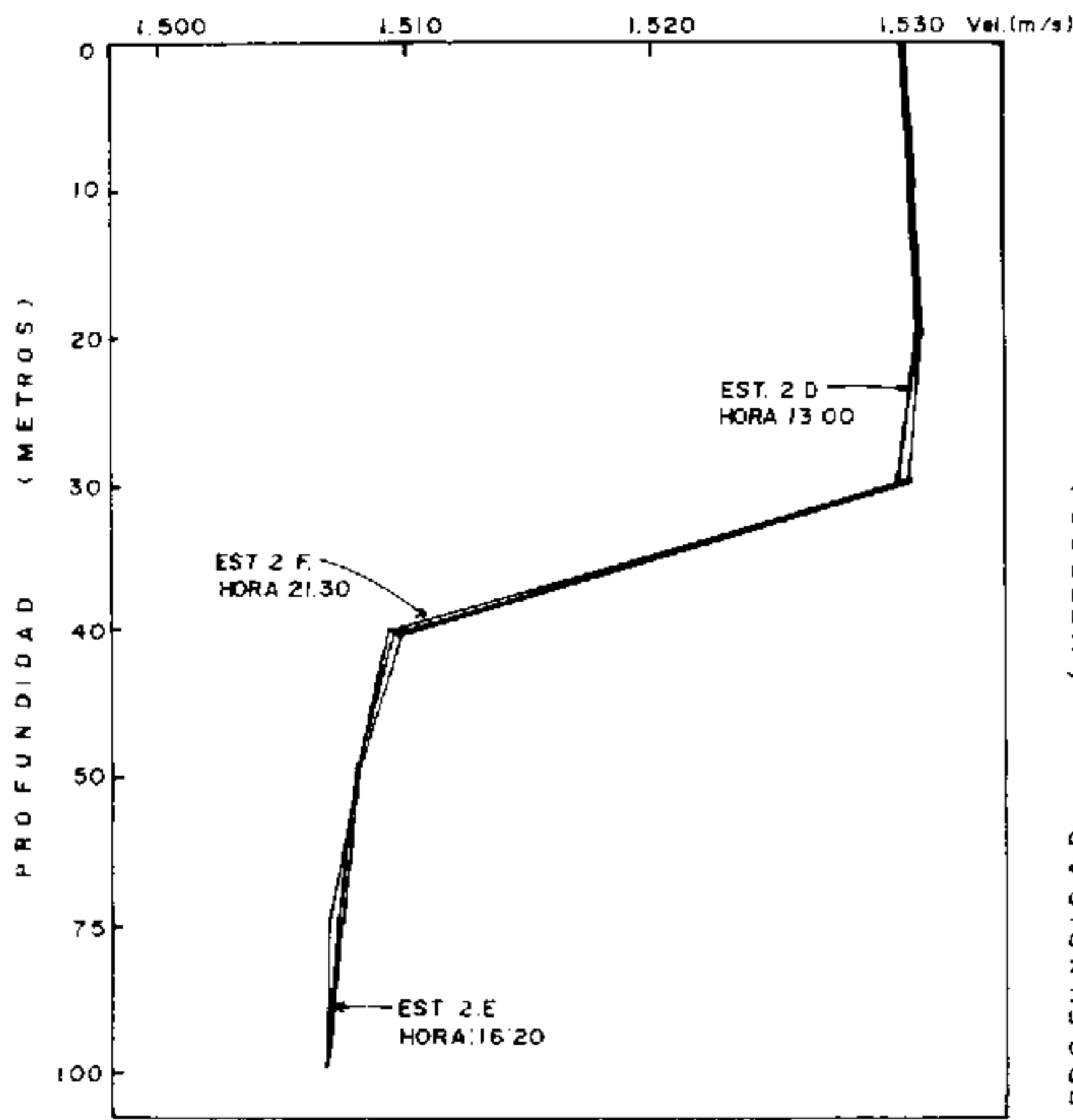


Fig. 19. Perfil de Velocidad del Sonido vs. Profundidad.
Estación 2. Fija, VIII-8-9/88

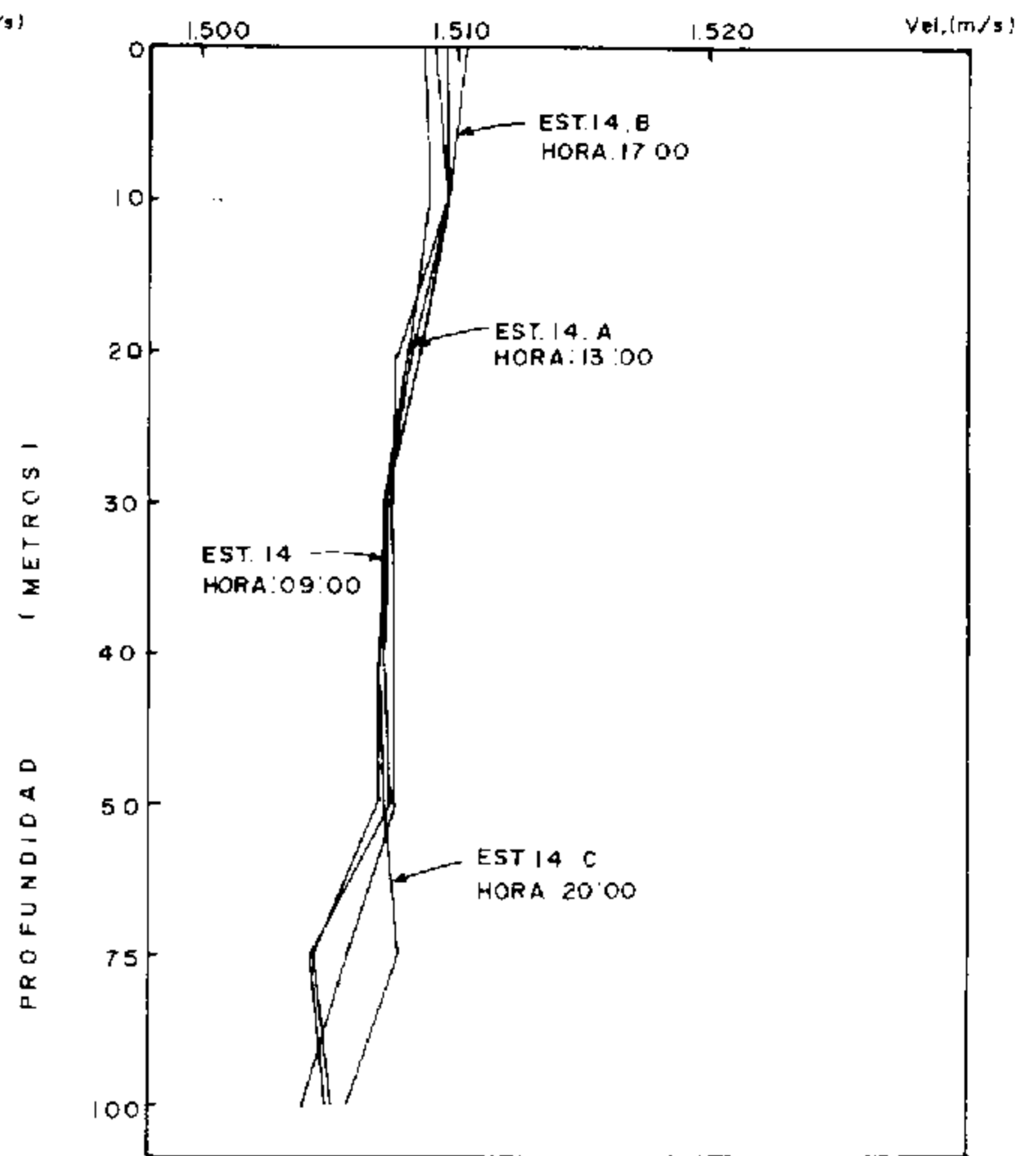


Fig. 21. Perfil de Velocidad del Sonido vs. Profundidad.
Estación 14. Fija, VIII-17/88

20 y 21, que son perfiles de velocidad del sonido, guardan una gran similitud en su comportamiento desde la superficie hasta el fondo (aproximadamente 100 m). Tanto los perfiles de temperatura y sonido sufren ese ascenso y descenso vertical del paquete de ondas producidas entre los 20 y 40 metros, es decir, hay

una relación directa entre estos dos parámetros. Observando estos gráficos se podría decir que existe una propagación de ondas internas a través de un medio acústico, donde dichas ondas desempeñan un rol importante en la dispersión del sonido. Estos registros de velocidad del sonido ascienden y descienden sobre las ondas internas en las profundidades de los océanos.

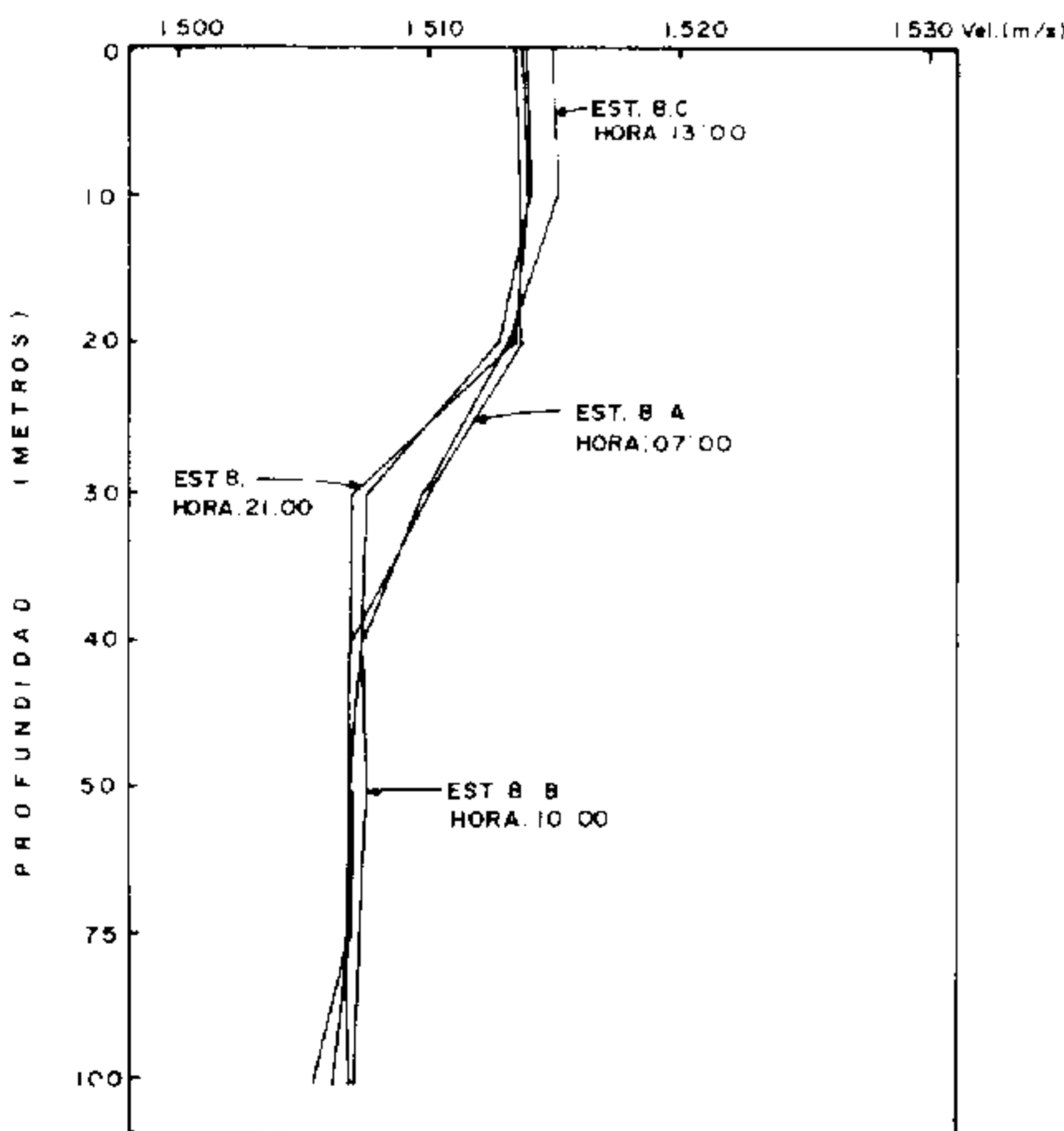


Fig. 20. Perfil de Velocidad del Sonido vs. Profundidad.
Estación 8. Fija, VIII-12/88

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado el análisis se puede concluir que se ha detectado la presencia de "ondas internas" en el área del Pacífico Ecuatorial Oriental. Su comportamiento en estas aguas se refleja como el resultado de movimientos ondulatorios u oscilatorios. La existencia de ondas internas fue mucho más marcada en la zona de la termoclina, ubicada entre los 20 y 40 metros aproximadamente, donde se observó un pronunciado ascenso y descenso de ésta en los diferentes intervalos de tiempo en que se hicieron las respectivas mediciones y una amplitud de onda alrededor de los 40 m.

Esto se refuerza más aún al notar en los gráficos de secciones de temperatura, salinidad y sigma - T el paquete o tren de ondas sufre un desplazamiento ondulatorio conforme varía el tiempo de manera que, las ondas internas contribuyen a la variación en tiempo de las estructuras termohalina y termoclina. También se comprobó que tanto el perfil de temperatura como el de velocidad del sonido tienen un comportamiento similar en toda la columna de agua y que, las ondas internas se propagan también a través de un medio acústico.

Es recomendable, estudiar las ondas internas de una manera en que se las relacione con la dispersión del sonido, también realizar el estudio desde el punto de vista biológico para encontrar la relación de las ondas internas con el Deep Scattering Layers y qué función tienen éstas con la distribución de oxígeno y nutrientes. Para lograr una mayor exactitud del estudio sería apropiado que, en las futuras investigaciones sobre ondas internas las mediciones se las realizaran de manera que el intervalo de tiempo entre cada observación sea más reducido.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a los señores Directivos del INOCAR, por el apoyo brindado para poder publicar este trabajo. A la Jefatura de Ciencias del mar y a todos mis compañeros de esta Sección que en todo momento me prestaron su colaboración y orientación. Gracias a Dios, Fuente de Sabiduría.

BIBLIOGRAFIA

- Andreyeva, I.B., and P. Makshtas, 1976.-** Fluctuations in the Depth of Sound Scattering Layers and internal waves; *Oceanology* 16(3): 242-245.
- Andreyeva, I.B., and Ya. P. Makshtas, 1977.-** Internal Waves and Sound Scattering Layers in the thermocline; *Oceanology* 17(3): 287-289.
- Ekman, V.W., 1904.-** Waves and Tides. En: *The Oceans (Their physics)*, Prentice-Hall, Inc., USA, 585-602 pp.
- Fjldstad, J. E., 1933.-** Interne Wellen *Geofys Publ.* 10(6).
- Fofonoff, N.P., 1969.-** Spectral characteristics of internal waves in the ocean. *Deep Sea Res.* 16 (Suppl) 58-71.
- Garrett, C.J.R., and V. H. Munk, 1972.-** Space-time Scales of internal waves. *Geophys. Fluid Dyn.*, 3, 225-264.
- Groen, P., 1948.-** Contribution to the theory of internal waves, Mededeel, Verch Kgl. Ned Meteorol Inst.; Ser. B, 2(1).
- Le Blond, P.H., and L.A. Mysak, 1978.-** *Waves in the Ocean* Elsevier, 604 pp.
- Olbers, D.J., 1976.-** Non linear energy transfer and the energy balance of the internal wave field in the deep Ocean. *J. Fluid Mech.*, 74, 375-399.
- Romea, R., 1982.-** On coastal trapped waves at low latitudes in a stratified ocean. P.H.D., Thesis. Oregon State University.
- Stokes, Sir G.G., 1932.-** Waves and Tides. En: *The Oceans (Their Physics)*, Prentice-Hall, Inc., USA, 585-602 pp.
- Sverdrup, H.V., M.W. Johnson and R.H. Fleming, 1942.-** *The Oceans. (Their physics, chemistry and general biology)*, Prentice-Hall, Inc., USA, 1-1086 pp.