

INTER - AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín
Vol. VIII, No. 2

**AN OCEANOGRAPHIC ATLAS OF THE EASTERN TROPICAL
PACIFIC OCEAN, BASED ON DATA FROM EASTROPIC
EXPEDITION, OCTOBER-DECEMBER 1955**

**UN ATLAS OCEANOGRAFICO DEL OCEANO PACIFICO
ORIENTAL TROPICAL, BASADO EN LOS DATOS
DE LA EXPEDICION EASTROPIC,
OCTUBRE-DICIEMBRE DE 1955**

by — por
EDWARD B. BENNETT

La Jolla, California
1963

CONTENTS — INDICE
ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
INTRODUCTION.....	33
A REMARK CONCERNING THE 1955 MARINE CLIMATE.....	33
QUALITY AND TREATMENT OF THE DATA.....	34
Average by one-degree quadrangles.....	34
Sea level pressure.....	34
Sea level wind.....	35
GEK surface current.....	35
Number and depth of hydrographic stations.....	35
Number of samples per station.....	36
Determination of depth of sampling.....	37
Temperature.....	37
Salinity.....	37
Dissolved oxygen.....	38
Inorganic phosphate.....	39
Analysis of hydrographic station data.....	39
Distribution in isanosteric surfaces.....	40
Geostrophic flow in isanosteric surfaces.....	41
Zooplankton volumes.....	41

SPANISH VERSION — VERSION EN ESPAÑOL

	Página
INTRODUCCION.....	43
UN COMENTARIO SOBRE EL CLIMA MARITIMO DE 1955.....	43
CALIDAD Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS OBSERVADOS.....	44
Promedios por cuadrángulos de un grado.....	44
Presión al nivel del mar.....	44
Viento al nivel del mar.....	45
Corriente GEK de la superficie.....	45
Número y profundidad de las estaciones hidrográficas.....	46
Número de muestras por estación.....	47
Determinación de la profundidad del muestreo.....	47
Temperatura.....	47
Salinidad.....	47
Oxígeno disuelto.....	48
Fosfato inorgánico.....	50
Análisis de los datos de las estaciones hidrográficas.....	50
Distribuciones en las superficies isanostéricas.....	51
Flujo geostrófico en las superficies isanostéricas.....	51
Volúmenes de zooplancton.....	52

DATA SOURCES — FUENTE DE DATOS.....	53
LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA.....	53
FIGURES — FIGURAS.....	55

**AN OCEANOGRAPHIC ATLAS OF THE EASTERN TROPICAL
PACIFIC OCEAN, BASED ON DATA FROM EASTROPIC
EXPEDITION, OCTOBER-DECEMBER 1955¹**

by

Edward B. Bennett

INTRODUCTION

EASTROPIC Expedition was a cooperative oceanographic study of the eastern tropical Pacific Ocean conducted during the period 2 October through 16 December 1955. The five participating agencies and the ships they operated were: Scripps Institution of Oceanography (SIO), *Spencer F. Baird* and *Horizon*; Pacific Oceanic Fisheries Investigations (POFI) of the U. S. Fish and Wildlife Service, now Honolulu Biological Laboratory (HBL) of the U. S. Bureau of Commercial Fisheries, *Hugh M. Smith*; California Department of Fish and Game, N. B. *Scofield*; the Peruvian Navy, *Bondy*; and the Inter-American Tropical Tuna Commission which operated no vessels but supplied equipment and personnel. In addition to these planned participations in EASTROPIC Expedition, valuable information was provided by CCOFI Cruise 5512 of the California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, conducted during the period 29 November - 16 December 1955 with the two vessels *Stranger* and *Black Douglas*.

While the observational programs of most of the agencies involved, in part, special hydrographic-biological studies of known features and processes in the region (see reports listed under Data Sources) the deployment of ships and therefore of observations was sufficient that EASTROPIC Expedition could be considered a survey of the eastern tropical Pacific. This report is concerned with that aspect of the Expedition and is a presentation in atlas form of most of the hydrographic data collected. For reasons given below, emphasis has been placed on the upper 300 m of the water column.

The approximate tracks and itineraries for those ships on which hydrographic data were collected are shown in Figure 1 (no such data were collected on the vessels operated by California Department of Fish and Game and the Peruvian Navy) and the hydrographic station numbers and the designation of sections used to describe the vertical and latitudinal distribution of properties are indicated in Figure 2.

A REMARK CONCERNING THE 1955 MARINE CLIMATE

Studies of year-to-year variations in sea temperature in the north-eastern Pacific Ocean (Johnson, 1961), and of sea level atmospheric pressure and wind and surface temperature in the North Pacific and at the

¹ This work was supported, in part, by A.E.C. Contract AT (11-1) 34 Project 99 with the Institute of Marine Resources of the University of California.

coast of Peru (Bjerknes and Jurcec, MS), have shown that 1955 was a year of strong sea level atmospheric circulation and, along the eastern boundary of the Pacific, relatively cold surface water. Peterson (1960), in a discussion of time series data from the Gulf of Nicoya, Costa Rica, has shown that record high rainfalls occurred there in October 1955, a year characterized throughout by abnormally high precipitation. These suggest that the cold anomaly was well developed in the eastern tropical Pacific and, therefore, that it is in the data used to prepare this report. What anomalous distributions of currents and water structure and properties would be associated with the temperature anomaly are not known; the reader should bear in mind, however, that the figures presented in this atlas may not be entirely representative of "average" conditions in the northern fall.

QUALITY AND TREATMENT OF OBSERVED DATA

Outlined below are the methods of analysis, interpolation, and calculation used to develop the atlas from the observed data. The data are essentially those published initially by the agencies that participated in EASTROPIC Expedition (see Data Sources). Since that time, however, oversights and miscalculations have been discovered in these materials, so that it is useful to include here also a summary of the methods of sampling and analysis which were used at sea and ashore, together with an indication of those emendations of a general nature that have been made.

Averages by one-degree quadrangles

Examination of the chart of ships tracks and itineraries (Figure 1) shows that in many places a ship crossed its own track or those of other ships. This, together with the fact that in each ship measurements of sea surface variables and observations of meteorological parameters were made routinely several times a day, resulted in observation of local variations and, subsequently, difficulty in contouring maps of observations at sea level and at the sea surface. In order to reduce this difficulty, the data were reduced to averages by one-degree quadrangles of latitude and longitude. Each observation was considered independent, so that no procedure was used in which, for example, the data were averaged first by day and then by month.

The data that were averaged by one-degree quadrangles include the sea level observations of atmospheric pressure and wind, and the sea surface observations of GEK current, temperature, salinity, and, computed from the last two, thermosteric anomaly. Surface dissolved oxygen was measured only at hydrographic stations and therefore the data were not spatially averaged.

Sea level pressure

Sea level air pressure was usually recorded at the time of each bathythermograph observation on *Spencer F. Baird*, *Horizon*, and *Hugh M. Smith*. Each of the 1622 observations was corrected for diurnal variation according to Table 1 in M.O. 518 (1956) and the average was determined

for each of the 443 quadrangles among which the observations were distributed.

Sea level wind

In all ships, observations of local wind were made at the time of each bathythermograph lowering. While the observations from CCOFI vessels were visual, with wind speed deduced from sea state, those from the other ships were by anemometer. The anemometer was about 10 m above sea level on *Spencer F. Baird* and *Horizon*, and 12 m on *Hugh M. Smith*. These differences in kind of observation and anemometer height were considered insignificant in preparing the map of sea level wind (Figure 4). For each of the 486 one-degree quadrangles among which the 1760 observations were distributed, the root mean square vector average wind was determined.

GEK surface current

Surface current was measured by geomagnetic electrokinetograph (GEK) from the CCOFI and SIO vessels a total of about 980 times during EASTROPIC Expedition. From the CCOFI vessels were towed cables whose density was greater than that of seawater, and consequently these data were corrected for cable "droop". On SIO ships, "neutrally-bouyant" cables were used; because these cables in fact float at the sea surface, only partly immersed, they respond to surface wind, sailing through the water in the downwind direction. Knauss and Reid (1957) showed that for an average wind of 12 knots the mean correction for "windage on electrodes" was 13 cm/sec in the downwind direction. This adjustment was introduced in the SIO data by arbitrarily making the magnitude of the correction (cm/sec) equal to the number of knots (twice the number of m/sec) with which the wind was blowing at the time of observation. For each of the 271 one-degree quadrangles among which the measurements were distributed, the vector average current was determined.

The high speed currents ranging up to 250 cm/sec (5 knots) observed at and near the equator at 100° and 115°W are mostly geostrophic, as shown by comparison with the dynamic topography of the sea surface at those locales. The meridional gradient of geopotential just north of the equator corresponds with westerly surface currents of about 100 and 150 cm/sec at 100° and 115°W, respectively. The difference there between geostrophic and GEK current can be attributed in part to the fact that no correction for "depth of current" was made in these data, for at and near the equator the influence of the Pacific Equatorial Undercurrent on a GEK measurement can be to "add" to a westerly surface current. From the Undercurrent profiles observed by Knauss (1960) it was calculated that this correction can be as large as 60 cm/sec.

Number and depth of hydrographic stations

The maximum depth of sampling at any hydrographic station depended on one or more of: depth to the sea bottom, observational program, and success of observation. In Table 1 all hydrographic casts are tabulated

by maximum successful sampling depth in three intervals. Included in the column labelled >800 m are all those stations which could be used with certainty for computation of geopotential anomaly relative to an assumed equipotential surface of 1000 decibars (db): the assumption was made that a station of maximum sampling depth about 800 m could be extrapolated to 1000 m without introducing significant error. The number of these "deep" stations, 216, is the largest that has been successfully occupied in a three-month period in the eastern tropical Pacific. There are 72 stations in the column labelled 200-800 m; although only some of these could be used to determine geopotential anomaly relative to 1000 db (see below under Geostrophic Flow in Isanosteric Surfaces) most were deep enough to indicate the nature of the physico-chemical environment at the surfaces of uniform thermosteric anomaly considered in this report. The 37 stations sampled to less than 200 m depth were usually those occupied over the continental shelf and, while these were of little value for describing the environment at intermediate and greater depths, they helped to define distributions at the sea surface and in the thermocline. The result, therefore, is that maps of geopotential anomaly and acceleration potential, both relative to 1000 db, are based on a total of about 240 stations; those of distributions of properties in isanosteric surfaces¹ on 260 to 300 stations; and those of distributions of properties at the sea surface on 326 stations, as well as the many between-station surface observations.

TABLE I. Maximum sampling depth (m) of hydrographic stations.

	<200	200-800	>800	TOTAL
EASTROPIC				
<i>Spencer F. Baird</i>	4	4	82	91*
<i>Horizon</i>	2	7	87	96
<i>Hugh M. Smith</i>	0	7	28	35
CCOFI 5512	31	54	19	104
	37	72	216	326*

*Includes one station not tabulated for which the deep cast (219-1181 m) was good but the shallow cast was rejected.

In each map, except those constructed from spatial averages of the data, a black dot marks the position of each station (observed or interpolated datum) used to develop the map.

Number of samples per station

The number of samples obtained at each hydrographic cast differed among the agencies. For a standard cast to 1200 m depth the numbers generally used were 19 by SIO, 13 by POFI, and 17 by CCOFI. In drawing sections where the tracks of ships of different agencies overlapped, those stations with the larger number of observations were used. An example is Sec. 121, where SIO *Horizon* stations were used rather than POFI stations, not only for the reason stated just above, but also because the former were more closely spaced.

¹ In this report a surface of uniform thermosteric anomaly is called an *isanosteric* surface, and an isopleth of thermosteric anomaly, an *isanostere*.

Determination of depth of sampling

Depth determinations were by L-Z curve (Pollak, 1950), the data for which came from paired protected and unprotected reversing thermometer readings on most of the deeper Nansen bottles. The reported depths for all POFI stations have been corrected as suggested by Austin (1962). In each vertical section a black dot marks the depth of each datum used to prepare that figure; at any station in a section the deepest sampling depth for the illustrated property, if less than 1000 m, is indicated by an encircled dot.

Temperature

All agencies used paired, protected reversing thermometers on each Nansen bottle to determine temperature. Supplementary information was supplied for each station by a bathythermogram.

Salinity

All salinity analyses were by titration; those of SIO were done on board ship while those of POFI and CCOFI were carried out at the base laboratories. The SIO and CCOFI samples were analyzed by the Knudsen method and the POFI samples, by a modified Mohr method.

The shipboard analyses done on *Horizon* were found to be too low on the average by 0.05‰ as well as varying somewhat more than would be expected at corresponding depths from station to station. The mean difference was determined from separate comparisons of *Horizon* salinities, in the depth interval 500-1200 m, with the titrated values of EASTROPIC *Spencer F. Baird* in the region of the Costa Rica Dome off Costa Rica, and along 84°W; of EASTROPIC *Hugh M. Smith* at 120°W just north of the equator; of NORPAC Expedition of July-September 1955 at 121°W between 20° and 30°N; and with the values determined by conductivity bridge during Costa Rica Dome Cruise of November-December 1959, and STEP-I Expedition of September-December 1960 in the area southwest of the Galapagos Islands. In each case *Horizon* salinities were the lower, the difference ranging between 0.02 and 0.08‰. Therefore 0.05‰ was added to all reported *Horizon* salinity values.

Although the adjusting of these salinities was reasonable, it was not absolutely certain. The effect of the adjustment on the vertical distribution of salinity was the changing of the apparent depth of isohalines, decreasing the depth above relative salinity maxima and increasing it below minima. Correspondingly, at each station isopycnals were made more shallow, and the anomaly of geopotential of the sea surface relative to 1000 db was reduced by about 0.035 dyn m. The changes in depth were larger below the thermocline, where vertical gradients of properties are relatively small, than in and above the thermocline. This, in addition to the fact that horizontal gradients of properties usually decrease with increasing depth, made the effect of the adjustment in a map of the topography of an isanosteric surface, or of salinity at that thermosteric anomaly more marked at a deep isanostere than at a shallow one. Therefore, because of the not certain, although reasonable, alteration of *Horizon* salinities, no maps are

presented here showing distributions on isanosteric surfaces that occurred deeper than about 300 m.

The overcoming of lateral variability in titrated salinity data is discussed below.

Dissolved oxygen

All agencies ran shipboard analyses for dissolved oxygen by the Winkler method.

No map of dissolved oxygen concentration at the sea surface is included here, but instead one of percent saturation of dissolved oxygen, for it was considered that the latter is more meaningful than the former. The required computations were based on the saturation values determined by Truesdale, Dowing and Lowden (1955).

There were many observations from SIO vessels of dissolved oxygen content in the low oxygen areas off Mexico and Peru. These areas are designated arbitrarily by the 0.25 ml/L oxypleths in the maps and vertical sections of this report. The questions arise first, as to the accuracy of the oxygen analysis at low concentrations, and second, as to what minimum value the oxygen concentration attains in these regions. In Table II the frequency of observation of concentrations 0.25 ml/L and less are tabulated in six intervals of concentration. It was noted that for values 0.15 ml/L and less observed frequencies approximated those of a normal distribution. Calculation showed that these values compared to the tail of a normal curve composed of 380 observations with mean 0.14 ml/L and standard deviation 0.038 ml/L². This suggests that there is a minimum observable concentration in the regions of low dissolved oxygen; that it was 0.14 ml/L for the determinations carried out on *Spencer F. Baird* and *Horizon*, and that lower observed values were due to the errors of measurement. The Winkler method underestimates by 0.017 ml/L at this small oxygen content, as determined by the difference between electrometric and starch end-points (Strickland and Parsons, 1960). On the other hand, there is an introduction of oxygen with the first two reagents of the method. For these determinations, 2 ml each of solutions of manganous chloride (200‰ by weight) and potassium hydroxide-potassium iodide (130‰) were pipetted into 263 ml BOD bottles. It was assumed that at a given temperature the ratio of the saturation oxygen concentration for each reagent to that of seawater (35‰) is simply the inverse ratio of the strengths of these solutions, and calculated that at 30°C (arbitrary laboratory temperature for EASTROPIC Expedition) the saturation concentration for the manganous solution is about 0.75 ml/L, and for the alkaline iodide solution, 1.15 ml/L. These result in over-estimation by 0.013 ml/L at a concentration of 0.10 ml/L, and tend to cancel the end-point error. During the ten seconds required to draw from a Nansen bottle a sample of water containing 0.10 ml/L dissolved oxygen there is a flux of atmospheric

² Under ideal conditions in shore-based laboratories the standard deviation for single Winkler determinations is 0.016 ml/L; under routine conditions at sea the uncertainty is at least doubled (Strickland and Parsons, 1960).

oxygen of magnitude 0.56 ml/m²/sec (Adeney and Becker, 1920) through the air-water interface in the BOD bottle. This subsequently causes over-estimation by up to 0.065 ml/L, the magnitude depending inversely on how much overflow from the BOD bottle was allowed when the sample was drawn. For these determinations where overflow was for "a short time" this error was probably about half maximum magnitude. These considerations suggest, therefore, that in the areas of low dissolved oxygen there is, according to the Winkler method, a minimum observable concentration which is in the range 0.10-0.12 ml/L.

TABLE II. Frequency distribution of dissolved oxygen contents 0.25 ml/L or less.

Concentration	Observed	Normal distribution*
0.00 ml/L	6**	0
0.01-0.05	5	5
0.06-0.10	63	63
0.11-0.15	206	(180)
0.16-0.20	156	(115)
0.21-0.25	150	(16)
Total	586	(379)

* Expected from 380 separate analyses of a concentration 0.14 ml/L, with standard deviation 0.038 ml/L.

** Includes three suspect values.

Inorganic phosphate

In all ships except the CCOFI vessels inorganic phosphate determinations were made. While all analyses were by the molybdenum method (Wooster and Rakestraw, 1951) several kinds of photometers were used and not all worked satisfactorily. Indeed, subsequent to a photometer break-down at station S8 only a few samples from each POFI station were frozen for analysis later ashore at the Honolulu laboratory. Moreover the SIO analyses suffered from questionable reagent blank determinations and an insufficient number of standardizations. The result was a lack of agreement between adjacent observations of ships operated by different agencies, and of ships operated by the same agency. Since there was no sound method by which these data could be made to conform more, it was decided to include here only vertical sections of inorganic phosphate concentration and not to attempt to contour maps of phosphate content at the sea surface or in isanosteric surfaces.

Analysis of hydrographic station data

The discovery of the low and somewhat variable values of salinity reported by *Horizon* led to a method of treating observed hydrographic station data which, although tedious, has the advantage of simultaneous editing of the data and dictating of the drawing of most of the station curves. The method is based on two premises: that the vertical distribution of water properties at any one of a line of stations is related to that at the adjacent stations, and that observed values of salinity, dissolved oxygen and inorganic phosphate (or any other observed property) are nominally

accurate within a range set by the precision of the corresponding chemical determination.

For each station a plotting sheet was used which had temperature as the abscissa and depth, salinity, dissolved oxygen and inorganic phosphate as ordinates, with curves of uniform thermosteric anomaly in the body of the graph. First the reversing thermometer temperatures were plotted as a function of depth. The information in the station bathythermogram was used as a guide in drawing the upper part of the temperature-depth curve while the lower part was merely smoothly drawn. Then the observed values of salinity, dissolved oxygen, and inorganic phosphate were plotted against temperature but the temperature-salinity (T-S), temperature-dissolved oxygen (T-O), and temperature-inorganic phosphate (T-P) curves were not drawn at this time.

For each observed temperature-salinity pair the corresponding value of thermosteric anomaly was read from the graph (these could be computed but in most cases graph accuracy is sufficient). Sections were prepared in which for a line of stations salinity was displayed as a function of thermosteric anomaly, i.e., the sections were the same as vertical sections except that thermosteric anomaly rather than depth was used as the vertical coordinate. Isohalines were drawn in the sections and smoothed by up to 0.03‰, the precision of duplicate salinity titration run on board ship (Wooster and Taft, 1958). For each station this determined salinity as a function of thermosteric anomaly in a statistically significant manner, and in turn, by transfer to the station plot, decided the form of the T-S curve. An example of such a section is Figure i, the distribution of salinity with respect to thermosteric anomaly for *Baird* stations along 116°W. During the drawing of the isohalines rogue salinity values were easily discerned; in particular, a single station for which all salinities were too high or too low by as little as 0.04‰ stood out markedly from the adjacent stations.

In the same manner, the observed values of dissolved oxygen and inorganic phosphate were plotted in sections as functions of thermosteric anomaly, and the T-O and T-P curves were obtained for each station. The precision of the dissolved oxygen determination was taken as 0.05 ml/L. For the inorganic phosphate data the upper limit of smoothing was somewhat subjective, ranging up to ten per cent of the observed concentration, and consequently in the vertical sections the isopleths of inorganic phosphate concentration are more smooth than those of other properties.

Distributions in isanosteric surfaces

Examination of Figure i shows that some features in the distribution of salinity occur at uniform thermosteric anomalies over distances of hundreds of kilometers. For example, a salinity minimum occurs at 300 cl/T between 17° and 30°N and another at 80 cl/T between 0° and 23°N, while a salinity maximum is at 180 cl/T between 0° and 16°N. Such features are seen also in similar sections of dissolved oxygen and inorganic

phosphate. These suggest that flow tends to occur along isanosteric surfaces, and for this reason a few such surfaces, namely those of 300, 180, and 140 cl/T, were selected for description in this report.

Geostrophic flow in isanosteric surfaces

From hydrographic station data geostrophic current at a given isobaric surface p is inferred by calculation of the horizontal gradient of the anomaly of geopotential, defined by the integral along the vertical

$$\varphi_a = \int_p^{p_0} \delta dp,$$

where p_0 is the reference pressure and δ is the specific-volume anomaly. However, isanosteric surfaces are not isobaric. For the former, the equivalent horizontal gradient of geopotential is the gradient of acceleration potential, defined by the integral

$$\varphi_a + p\delta = p_0\delta_0 + \int_{\delta_0}^{\delta} p d\delta$$

where δ_0 is the specific-volume anomaly at the reference pressure. The term $p\delta$ accounts for variation of pressure along the isanosteric surface. When the integration is to the sea surface ($p = 0$), geopotential anomaly and acceleration potential are equivalent. In practice, sufficient accuracy usually obtains when the pressure terms of specific-volume anomaly are neglected, that is, when thermosteric anomaly is used in place of specific-volume anomaly in calculating acceleration potential. The origin, computation, and use of this quantity are reviewed by Montgomery and Stroup (1962).

All calculations of acceleration potential for this report were made relative to a reference pressure of 1000 decibars. For each station at which sampling was to 1000 meters or which could be extrapolated to that depth this quantity was determined for a standard set of isanosteres and for the sea surface, where it is equivalent to geopotential anomaly. For a line of stations thermosteric anomaly was plotted as a function of acceleration potential and distance (Figures 29, 35, 41, 47, 53); from these plots values of acceleration potential were interpolated for the deepest isanostere of shallow stations (open circles in above Figures) and integrations were made from there to the sea surface.

Zooplankton volumes

A map of zooplankton displacement volumes (Figure 11) is included for completeness. The data, which have already been included in a publication by Brandhorst (1958), are those listed in Data Sources as the "volume (ml) of small organisms per 1000 m³ strained". A difference between SIO and POFI in the definition of "small" was considered negligible in preparing Figure 11. A fairly systematic difference between zooplankton volumes obtained during daylight hours and those obtained at night was noted and overcome in the following manner: Local (longitudinal) time was arbitrarily designated "day" if it was in the interval 0600-1800 hours and "night" if it was in the other twelve-hour period. The zooplankton

observations from *Hugh M. Smith*, *Spencer F. Baird*, and *Horizon* were classified accordingly and averages of these separated data were made for each ship (Table III). The ratio of mean nighttime to mean daytime volume was the factor by which daytime observations were multiplied to yield corresponding nighttime volumes; the latter and the observed nighttime volumes were the data on which the zooplankton map is based.

TABLE III. Average daytime and nighttime zooplankton displacement volumes (ml/1000 m³ water strained)

Ship	Daytime		Nighttime		<u>Nighttime</u> <u>Daytime</u>
	Observations	Volume	Observations	Volume	
<i>Hugh M. Smith</i>	37	33.0	39	47.8	1.45
<i>Horizon</i>	45	82	43	109	1.33
<i>Spencer F. Baird</i>	34	127	44	190	1.50

**UN ATLAS OCEANOGRAFICO DEL OCEANO PACIFICO ORIENTAL
TROPICAL, BASADO EN LOS DATOS DE LA EXPEDICION
EASTROPIC, OCTUBRE-DICIEMBRE DE 1955¹**

por

Edward B. Bennett

INTRODUCCION

La Expedición EASTROPIC es un estudio oceanográfico cooperativo del Océano Pacífico Oriental Tropical llevado a cabo durante el período del 2 de octubre al 16 de diciembre de 1955. Las cinco agencias participantes y los barcos operados por ellas son los siguientes: Scripps Institution of Oceanography (SIO), *Spencer F. Baird* y *Horizon*; Pacific Oceanic Fisheries Investigations (POFI) del U. S. Fish and Wildlife Service, ahora Honolulu Biological Laboratory (BHL) del U. S. Bureau of Commercial Fisheries, *Hugh M. Smith*; California Department of Fish and Game, N. B. *Scofield*; la Marina Peruana, *Bondy*; y la Comisión Interamericana del Atún Tropical que no dirigió ningún barco pero proporcionó equipo y personal. Además de estas participaciones planeadas en la Expedición EASTROPIC, fué suministrada información de valor por el Crucero CCOFI 5512 del California Cooperative Fisheries Investigations, llevado a cabo durante el período del 29 de noviembre al 16 de diciembre de 1955 con los barcos *Stranger* y *Black Douglas*.

Aunque los programas de observación de la mayoría de las agencias, comprendieron en parte estudios especiales hidrográficos y biológicos de las características y de los procesos conocidos de la región (véase los informes indicados bajo Fuente de Datos), el despliegue de los barcos, y por lo tanto, de las observaciones, fué suficiente para que la Expedición EASTROPIC pudiera ser considerada como una encuesta del Pacífico Oriental Tropical. Este informe se refiere a este aspecto de la Expedición y es una presentación, en forma de un atlas, de la mayoría de los datos hidrográficos recolectados. Por las razones que se dan a continuación, se le dió énfasis a los 300 m., superiores de la columna de agua.

En la Figura 1 se muestran las rutas y los itinerarios de los barcos, que recolectaron los datos hidrográficos (los barcos del California Department of Fish and Game y la Marina Peruana no recolectaron datos de esta clase); y en la Figura 2, se indican los números de las estaciones hidrográficas y las designaciones de las secciones usadas para describir la distribución vertical y latitudinal de las propiedades.

UN COMENTARIO SOBRE EL CLIMA MARITIMO DE 1955

Los estudios de las variaciones de un año a otro en la temperatura del mar en el Océano Pacífico nordeste (Johnson, 1961) y de la presión atmosférica, el viento, y la temperatura de la superficie en el Pacífico del norte y en la costa del Perú (Bjerknes y Jurcec, MS); han indicado que 1955

¹ Este trabajo estuvo apoyado en parte, por el Contrato AT (11-1) 34, Proyecto 99 de la A.E.C. y el Instituto de los Recursos Marinos de la Universidad de California.

fué un año de una fuerte circulación atmosférica y, que el agua de la superficie era relativamente fría a lo largo del límite oriental del Pacífico. Peterson (1960), en una discusión de los datos de las series del tiempo del Golfo de Nicoya, Costa Rica, explicó que en el mes de octubre se registraron fuertes lluvias, lo que caracterizó este año por una precipitación anormalmente alta. Esto sugiere que la anomalía fría se desarrolló bien en el Pacífico Oriental Tropical y, por lo tanto, que está incluida en los datos que se usaron en la preparación del presente informe. No se sabe que distribuciones anómalas de las corrientes, la estructura del agua y sus propiedades puedan estar asociadas con la anomalía de la temperatura; sin embargo, el lector debe tener en cuenta que las figuras presentadas en este atlas pueden no ser enteramente representativas de las condiciones "promedios" en el otoño del norte.

CALIDAD Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS OBSERVADOS

De los datos observados, se dan a continuación los métodos de análisis, interpolación y cálculo que se usaron para el desarrollo del atlas. Los datos son, esencialmente aquellos que inicialmente publicaron las agencias que participaron en la Expedición EASTROPIC (véase Fuente de Datos). Sin embargo, desde entonces se han descubierto descuidos y errores en éstos, así que, es útil incluir aquí también un resumen de los métodos del muestreo y de los análisis a bordo y en tierra, junto con una indicación de las enmiendas que se han hecho de naturaleza general.

Promedios por cuadrángulos de un grado

El examen del gráfico de las rutas e itinerarios de los barcos (Figura 1) señala que en muchos lugares un barco cruzó su propia ruta o la de otros barcos. Esto, junto con el hecho de que se hicieron varias veces al día mediciones rutinarias de las variables de la superficie del mar y observaciones de los parámetros meteorológicos, dió como resultado, la observación de las variaciones locales y subsecuentemente dificultad en hacer el contorno de los mapas de las observaciones tomadas al nivel del mar y en su superficie. Para disminuir esta dificultad, se redujeron los datos a los promedios de cuadrángulos de un grado de latitud y longitud. Cada observación se consideró independientemente, así que no se usó ningún procedimiento en el cual, por ejemplo se promediaron los datos primero por día y luego por mes.

Los datos que se promediaron por cuadrángulos de un grado incluyen las observaciones al nivel del mar, de la presión atmosférica y del viento, y las observaciones en la superficie del mar de la corriente GEK, temperatura, salinidad, y de las dos últimas se computó la anomalía termostérica. Solamente se midió el oxígeno disuelto en la superficie de las estaciones hidrográficas y por lo tanto, los datos no se promediaron espaciadamente.

Presión al nivel del mar

Generalmente se registró la presión del aire al nivel del mar en el momento de cada observación batitermográfica en los barcos, *Spencer F. Baird*, *Horizon* y *Hugh M. Smith*. Se hicieron ajustes de cada una de las

1622 observaciones, para tomar en cuenta la variación diurna de acuerdo con la Tabla 1 en M.O. 518 (1956), y se determinó el promedio de cada uno de los 443 cuadrángulos entre los cuales las observaciones fueron distribuidas.

Viento al nivel del mar

A tiempo de cada lanzamiento del batitermógrafo, se hicieron en todos los barcos observaciones del viento local. Mientras que las observaciones de los barcos del CCOFI eran visuales, con la velocidad del viento deducida del estado del mar, las de los otros barcos se hicieron por anemómetro. El anemómetro se colocó cerca de los 10 m., sobre el nivel del mar en los barcos *Spencer F. Baird* y *Horizon*, y a los 12 m., en el *Hugh M. Smith*. Estas diferencias en la clase de observación y en la altitud del anemómetro fueron consideradas insignificantes en la preparación del mapa de los vientos al nivel del mar (Figura 4). Se determinó el cuadrático medio del promedio de los vectores de los cuadrados de las observaciones de los vientos, para cada uno de los 486 cuadrángulos de un grado entre los cuales se distribuyeron las 1760 observaciones.

Corriente GEK de la superficie

La corriente de la superficie se midió aproximadamente 980 veces por un electrocinetógrafo geomagnético en los barcos del CCOFI y SIO durante la Expedición EASTROPIC. De los barcos del CCOFI se remolcaron cables cuya densidad fué mayor que aquella del agua del mar, y consecuentemente estos datos fueron corregidos tomando en cuenta la "bajada" de los cables. En los barcos del SIO se usaron cables "neutralmente flotantes"; debido a que estos cables actualmente flotan en la superficie del mar, sumergidos únicamente en parte, respondiendo a los vientos de la superficie, y navegando a través del agua en la dirección del viento. Knauss y Reid (1957) indicaron que para un viento promedio de 12 nudos, la corrección media para el "efecto del viento" sobre los electrodos" era de 13 cm/seg en la dirección del viento. Este ajuste se introdujo en los datos del SIO haciendo arbitrariamente la magnitud de la corrección (cm/seg) igual al número de los nudos (doble al número de m/seg) con que estaba soplando el viento a tiempo de la observación. Se determinó la corriente promedio de los vectores para cada uno de los 271 cuadrángulos de un grado en los cuales se distribuyeron las medidas.

Las corrientes de alta velocidad variando, hasta 250 cm/seg (5 nudos) observadas en, y cerca del ecuador a los 100° y 115°W son geostróficas en su mayor parte como se indica comparativamente con la topografía dinámica de la superficie del mar en estos lugares. La gradiente meridional del geopotencial justo al norte del ecuador, corresponde con las corrientes de la superficie orientadas hacia el oeste cerca de 100 y 150 cm/seg a los 100 y 115°W, respectivamente. La diferencia allí, entre las corrientes geostróficas y la de GEK puede ser atribuida en parte al hecho de que no se corrigió en estos datos "la profundidad de la corriente", porque en, y cerca del ecuador la influencia de la Subcorriente Ecuatorial del Pacífico

sobre una medida GEK puede ser “agregada” a la corriente de la superficie hacia el oeste. De los perfiles de la Subcorriente observada por Knauss (1960) se calculó que esta corrección puede ser tan grande como de 60 cm/seg.

Número y profundidad de las estaciones hidrográficas

La profundidad máxima del muestreo en cualquiera de las estaciones hidrográficas dependía de uno o más factores: la profundidad hasta el fondo del mar, el programa de observaciones, y el éxito de las observaciones. En la Tabla 1 todos los lanzamientos hidrográficos se han tabulado por profundidad de muestreo de un éxito máximo, en tres intervalos. Están incluidas en la columna marcada con >800 m., todas aquellas estaciones que pueden usarse con certeza para la computación de la anomalía geopotencial, relativa a una superficie equipotencial supuesta de 1000 decibares (db); se supuso que una estación de una profundidad máxima de muestreo de 800 m., podía extrapolarse a los 1000 m., sin introducir un error significativo. La cantidad de estas estaciones “profundas”, 216, es el mayor número que ha sido ocupado con éxito en un período de tres meses en el Pacífico Oriental Tropical. En la columna marcada 200-800 m., se encuentran 72 estaciones; aunque solamente algunas de ellas pudieran ser usadas en la determinación de la anomalía geopotencial relativa a los 1000 db (véase más adelante bajo Flujo Geostrofico en la Superficie Isanostérica), la mayoría estaban lo suficientemente profundas como para indicar la naturaleza del ambiente físico-químico en las superficies de anomalía uniforme termostérica considerado en este informe. Las 37 estaciones muestreadas a una profundidad menor de 200 m., eran aquellas usualmente ocupadas sobre la plataforma submarina, y aunque éstas eran de poco valor para describir el ambiente de profundidades intermedias y mayores, ayudaron con la definición de las distribuciones en la superficie del mar y en la termoclina. Por lo tanto, el resultado es que los mapas de la anomalía geopotencial y el potencial de aceleración, ambos relativos a los 1000 db., se basan en un total de aproximadamente 240 estaciones; aquellos de las distribuciones de las propiedades en las superficies isanostéricas¹, en 260 a 300 estaciones; y los de las distribuciones de propiedades en la superficie del mar en 326 estaciones, tanto como las numerosas observaciones de superficie entre las estaciones:

TABLA 1. Profundidades máximas de muestreo (m) de las estaciones hidrográficas.

	<200	200-800	>800	TOTAL
EASTROPIC				
<i>Spencer F. Baird</i>	4	4	82	91*
<i>Horizon</i>	2	7	87	96
<i>Hugh M. Smith</i>	0	7	28	35
CCOFI 5512	31	54	19	104
	37	72	216	326*

* Incluye una estación que no se tabuló, para la cual el lanzamiento profundo (219-1181 m.), fué bueno pero se rechazó el lanzamiento de poca profundidad.

¹ En este informe, una superficie de anomalía uniforme termostérica es llamada superficie *isanostérica* y una isopleta de anomalía termostérica, una *isanostera*.

En cada mapa, con la excepción de los que se hicieron de los promedios espaciados de los datos, se usó para su desarrollo, un punto negro para marcar la posición de cada estación (dato observado o interpolado).

Número de muestras por estación

El número de muestras obtenidas a cada lanzamiento hidrográfico defirió entre las agencias. Para un lanzamiento estándar hasta de una profundidad de 1200 m., los números que generalmente se usaron fueron de 19 por SIO, 13 por POFI, y 17 por CCOFI. En las secciones de diseño en donde se traslaparon las rutas de los barcos de las diferentes agencias, se usaron aquellas estaciones con el número mayor de observaciones. Un ejemplo es la Sec. 121, en donde se usaron las estaciones del *Horizon* del SIO, en vez de las estaciones del POFI, no solamente por la razón antes indicada, sino también porque las primeras estaban más cercanamente espaciadas.

Determinación de la profundidad del muestreo

Las determinaciones de la profundidad se hicieron por la curva L-Z (Pollak, 1950) de los datos, de los cuales provinieron las lecturas de los termómetros pares reversibles, protegidos y no protegidos en la mayoría de las botellas Nansen que estaban a más profundidad. Las profundidades registradas de todas las estaciones del POFI fueron corregidas como lo sugirió Austin (1962). En cada sección vertical un punto negro, marca la profundidad de cada dato que se usó en la preparación de esa figura; se indica por un punto circunvalado, la profundidad máxima del muestreo para la propiedad ilustrada en cualquiera estación de una sección si es menos de 1000 metros.

Temperatura

Para determinar la temperatura, todas las agencias usaron termómetros pares reversibles protegidos en cada una de las botellas Nansen. La información suplementaria de cada estación fué suministrada por medio de un batitermógramo.

Salinidad

Todos los análisis fueron volumétricos; los del SIO se hicieron a bordo del barco, mientras los del POFI y CCOFI se llevaron a cabo en los laboratorios en tierra. Las muestras del SIO y CCOFI fueron analizadas por el método de Knudsen y las del POFI por el método modificado de Mohr.

Los análisis hechos a bordo del *Horizon* fueron por un valor de 0.05‰ en promedio demasiado bajos, y también varían en alguna forma de lo que podría esperarse en las profundidades correspondientes de estación a estación. La diferencia media se determinó por comparaciones separadas de las salinidades del *Horizon*, a profundidades de 500-1200 m., con los valores volumétricos del *Spencer F. Baird* del *EASTROPIC* en la región del Domo de Costa Rica, mar afuera de Costa Rica, y a lo largo de los 84°W; del *Hugh M. Smith* del *EASTROPIC* a los 120°W, inmediatamente al norte del ecuador; de la Expedición NORPAC de julio a septiembre de

1955, a los 121°W entre los 20° y 30°; y con los valores determinados por un puente de conductividad durante el Crucero del Domo de Costa Rica en noviembre-diciembre de 1959, y la Expedición STEP-I de septiembre-diciembre de 1960 en el área al suroeste de las Islas Galápagos. En cada caso, las salinidades del *Horizon* fueron las más bajas con diferencias variando entre 0.02 y 0.08‰. *Por lo tanto se agregó 0.05‰ a todos los valores de salinidad registrados por el Horizon.*

Aunque el ajuste de las salinidades era razonable, no fué absolutamente cierto. El efecto del ajustamiento sobre la distribución vertical de la salinidad es el cambio de la profundidad aparente de las isohalinas, disminuyendo la profundidad sobre la salinidad relativa máxima y aumentándola más abajo del mínimo. De acuerdo los isopícnos de cada estación, se hicieron más someros, y la anomalía del geopotencial de la superficie del mar relativo a los 1000 db., se redujo por un valor aproximado de 0.035 m., din. Los cambios en la profundidad fueron mayores bajo la termoclina, donde las gradientes verticales de las propiedades son relativamente pequeñas, que dentro y sobre la termoclina. Esto, además del hecho de que las gradientes horizontales de las propiedades usualmente disminuyen con el aumento de la profundidad, hizo el efecto de ajustamiento en el mapa de la topografía de una superficie isanostérica, o de la salinidad a esa anomalía termostérica más marcada en una isanostera profunda, que en una somera. Por lo tanto, debido a la alteración de los valores de la salinidad del *Horizon*, que aunque razonable no es cierta, no se presentan mapas aquí indicando distribuciones sobre superficies isanostéricas que ocurrieron a una profundidad mayor que los 300 metros.

Se discute más adelante la manera en que se superó la variabilidad lateral en los datos volumétricos de la salinidad.

Oxígeno disuelto

Todas las agencias hicieron a bordo los análisis del oxígeno disuelto por el método de Winkler.

No se incluyó ningún mapa de la concentración del oxígeno disuelto en la superficie del mar, pero en su lugar uno del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto, porque se consideró que el último es más significativo que el primero. Las computaciones requeridas se basaron en los valores de saturación determinados por Truesdale, Dowing y Lowden (1955).

Hubo muchas observaciones mar afuera de México y del Perú de los barcos del SIO, sobre el contenido del oxígeno disuelto en las áreas del oxígeno bajo. En los mapas y en las secciones verticales del presente informe, se designan estas áreas arbitrariamente por las oxipletas de 0.25 ml/L. Surgen primero las cuestiones en cuanto a la exactitud del análisis del oxígeno a concentraciones bajas, y segundo, a qué valor mínimo alcanza la concentración del oxígeno en estas regiones. En la Tabla II está tabulada en seis intervalos de concentración, la frecuencia de observación de las concentraciones de 0.25 ml/L y menos. Se encontró que para los valores de 0.15 ml/L y menos, las frecuencias observadas se aproximan a la distribución normal. El cálculo demostró que estos valores eran comparados

a la cola de una curva normal compuesta de 380 observaciones con una media de 0.14 ml/L y una desviación estándar de 0.038 ml/L². Esto sugiere que hay una concentración mínima que puede observarse en las regiones de oxígeno bajo disuelto; que era de 0.14 ml/L para las determinaciones llevadas a cabo a bordo de los barcos *Spencer F. Baird* y *Horizon*, y que los valores más bajos observados eran debidos a errores en las medidas. El método de Winkler subestima este contenido de oxígeno tan pequeño por un valor de 0.017 ml/L, como determinado por la diferencia entre el método electrométrico y el punto final del almidón (Strickland y Parsons, 1960). En cambio, hay una introducción de oxígeno con los dos primeros reactivos de este método. Para estas determinaciones se pusieron en botellas BOD de 263 ml, por medio de goteros, 2 ml., de cada una de las soluciones de cloruro de manganeso (200‰ por peso), e hidróxido de potasio y yodo de potasio (130‰). Se supuso que a una temperatura dada, la proporción de la concentración de la saturación de oxígeno para cada reactivo a aquella del agua del mar (35‰), es simplemente la proporción inversa de las fuerzas de estas soluciones, y se calculó que a los 30°C (temperatura arbitraria del laboratorio para la Expedición EASTROPIC), la concentración de la saturación para la solución de manganeso es cerca de 0.75 ml/L y para la solución de yodo alcalino de 1.15 ml/L. Esto resulta en una sobreestimación de 0.013 ml/L a una concentración de 0.10 ml/L, y tiende a cancelar el error del método indicador del punto final del almidón. Durante los 10 segundos requeridos para sacar de una botella Nansen una muestra de agua conteniendo 0.10 ml/L de oxígeno disuelto, existe una fusión del oxígeno atmosférico de una magnitud de 0.56 ml/m²/seg (Adeney y Becker, 1920), a través del límite entre el agua y el aire en la botella BOD. Subsecuentemente ésto causa una sobreestimación hasta de 0.065 ml/L; la magnitud depende inversamente en qué cantidad de derrame se permitió de la botella BOD, cuando se sacaron las muestras. Para estas determinaciones en las cuales hubo un derrame de "corto tiempo", este error fué probablemente cerca de la mitad de la magnitud máxima. Por lo tanto, estas consideraciones sugieren que según el método de Winkler, en las áreas de oxígeno bajo disuelto, hay una concentración mínima que puede observarse, la cual está al alcance de 0.10-0.12 ml/L.

TABLA II. Frecuencia de la distribución de los contenidos del oxígeno disuelto de 0.25 ml/L o menos.

Concentración	Observación	Distribución normal*
0.00 ml/L	6**	0
0.01-0.05	5	5
0.06-0.10	63	63
0.11-0.15	206	(180)
0.16-0.20	156	(115)
0.21-0.25	150	(16)
Total	586	(379)

* Lo que se esperó de 380 análisis separados de una concentración de 0.14 ml/L con una desviación estándar de 0.038 ml/L.

** Incluye tres valores supuestos.

² Bajo condiciones ideales en los laboratorios en tierra, la desviación estándar para las determinaciones individuales de Winkler, es de 0.016 ml/L; bajo condiciones rutinarias en el mar la inestabilidad es más o menos el doble (Strickland y Parsons, 1960).

Fosfato inorgánico

Se hicieron determinaciones de fosfato inorgánico en todos los barcos menos en los del CCOFI. Aunque todos los análisis se hicieron por el método de molibdeno (Wooster y Rakestraw, 1951), se usaron varios tipos de fotómetros y no todos trabajaron satisfactoriamente. En efecto, subsecuente a una rotura del fotómetro en la estación S8, solamente unas pocas muestras de cada estación del POFI, fueron congeladas más tarde para su análisis en tierra en el laboratorio de Honolulu. Además los análisis del SIO sufrieron de determinaciones espaciadas de reactivos dudosos y de un número insuficiente de estandarizaciones. El resultado fué una falta de acuerdo entre las observaciones adyacentes de los barcos operados por las diferentes agencias, y los barcos operados por la misma agencia. Ya que no había ningún método seguro por el cual estos datos pudieran hacerse concordar más, se decidió incluir aquí solamente las secciones verticales de la concentración del fosfato inorgánico y no tratar de contornear los mapas del contenido de fosfato en la superficie del mar o en las superficies isanostéricas.

Análisis de los datos de las estaciones hidrográficas

El descubrimiento de los valores bajos y en alguna forma variables de la salinidad registrados por el *Horizon* condujo a un método de ajustamiento de los datos observados en las estaciones hidrográficas, el cual aunque fastidioso tiene la ventaja de la edición simultánea de los datos y el dictado del diseño de la mayoría de las curvas de las estaciones. El método se basa en dos premisas: Que la distribución vertical de las propiedades del agua en cualquier línea de estaciones esté relacionada a aquella de las estaciones adyacentes, y que los valores observados de la salinidad, oxígeno disuelto y fosfato inorgánico (o cualquiera otra propiedad observada) sean nominalmente exactos dentro del alcance dado por la precisión de la determinación química correspondiente.

Para cada estación se usó una hoja delineada, la cual tenía la temperatura como abscisa y profundidad; como ordenadas, la salinidad, el oxígeno disuelto y el fosfato inorgánico; con curvas de la anomalía termostérica uniforme en el centro del gráfico. Primero se delinearon las temperaturas de los termómetros reversibles como una función de la profundidad. Se usó la información de los batitermógramos de las estaciones como guía en el dibujo de la parte superior de la curva temperatura-profundidad, mientras que la parte inferior fué simplemente diseñada. Luego se delinearon los valores observados de la salinidad, el oxígeno disuelto y el fosfato inorgánico contra la temperatura, pero no se dibujaron en este tiempo, las curvas temperatura-salinidad (T-S), temperatura-oxígeno disuelto (T-O), y temperatura-fosfato inorgánico (T-F).

Por cada par observado de temperatura-salinidad, se leyó del gráfico el valor correspondiente a la anomalía termostérica. (Estos podrían computarse, pero en la mayoría de los casos la exactitud del gráfico es suficiente). Se prepararon secciones en las cuales una línea de salinidad de

las estaciones se indicaba como una función de la anomalía termostérica, esto es: las secciones eran iguales a las secciones verticales, excepto que la anomalía termostérica se usó en vez de la profundidad como coordenada vertical. Las isohalinas se dibujaron en las secciones y se suavizaron hasta 0.03‰, la precisión de los duplicados volumétricos de salinidad se hicieron a bordo (Wooster y Taft, 1958). Para cada estación ésto determinó la salinidad como una función de la anomalía termostérica de una manera estadísticamente significativa, y a su vez, al transferirlo a la estación delineada, decidió la forma de la curva T-S. Un ejemplo de tal sección se muestra en la Figura i; la distribución de la salinidad con respecto a la anomalía termostérica para las estaciones del *Baird* a lo largo de los 116°W. Al dibujar las isohalinas, los valores desviados de la salinidad fueron percibidos fácilmente; de las otras estaciones adyacentes, se destacó en particular una sola estación, en la cual los valores de salinidad eran demasiado altos o bajos por un factor tan pequeño como 0.04‰.

De la misma manera, se delinearon en las secciones los valores observados del oxígeno disuelto y el fosfato inorgánico como funciones de la anomalía termostérica, y se obtuvieron las curvas T-O y T-F para cada estación. Se tomó el valor de 0.05 ml/L, como el de la precisión de la determinación del oxígeno disuelto. Para los datos del fosfato inorgánico el límite superior del suavizamiento es en alguna forma subjetivo, con un alcance hasta del 10 por ciento de la concentración observada, y consecuentemente las isopleas de la concentración del fosfato inorgánico son más suaves que aquellas que tienen otras propiedades.

Distribuciones en las superficies isanostéricas

El examen de la Figura i muestra que algunas características en la distribución de la salinidad ocurren a las anomalías termostéricas uniformes sobre distancias de cientos de kilómetros. Por ejemplo, una salinidad mínima ocurre a 300 cl/T entre los 17° y los 30°N y otra a los 80 cl/T entre los 0° y 23°N, mientras un máximo de salinidad está a los 180 cl/T entre los 0° y 16°N. Dichas características también se han visto en secciones similares de oxígeno disuelto y fosfato inorgánico. Estas sugieren que el flujo tiende a ocurrir a lo largo de las superficies isanostéricas, y por esta razón algunas pocas de estas superficies, especialmente aquellas de 300, 180 y 140 cl/T, fueron seleccionadas para la descripción en este informe.

Flujo geostrófico en las superficies isanostéricas

Se infiere la corriente geostrófica de los datos de las estaciones hidrográficas a una superficie isobárica p , que se ha dado calculando la gradiente horizontal de la anomalía del geopotencial, definido por la integral a lo largo de la vertical.

$$\varphi_a = \int_p^{p_0} \delta dp,$$

donde p_0 es la presión de referencia y δ es la anomalía del volumen específico. Sin embargo, las superficies isanostéricas no son isobáricas. Para la

primera, la gradiente horizontal equivalente del geopotencial es la gradiente del potencial de aceleración, definido por la integral

$$\varphi_a + p\delta = p_0\delta_0 + \int_{\delta_0}^{\delta} p d\delta$$

donde δ_0 es la anomalía del volumen específico a la presión de referencia. El término $p\delta$ informa para la variación de la presión a lo largo de la superficie isanostérica. Cuando la integración es a la superficie del mar ($p = 0$), la anomalía geopotencial y el potencial de aceleración son equivalentes. En la práctica se obtiene generalmente suficiente exactitud cuando se descuidan los términos de presión de la anomalía del volumen específico, esto es, cuando se usa la anomalía del volumen específico al calcular el potencial de aceleración. El origen, el cómputo y, el uso de esta cantidad han sido revisados por Montgomery y Stroup, 1962).

Todos los cálculos del potencial de aceleración para este informe se hicieron relativos a una presión de referencia de 1000 decibares. Para cada estación en la cual el muestreo fué de 1000 metros, o que pudo haberse extrapolado hasta esa profundidad, esta cantidad se determinó para una serie estándar de isanosteras y para la superficie del mar, donde es equivalente a la anomalía geopotencial. Se delineó la anomalía termostérica como una función del potencial de aceleración y distancia para cada línea de estaciones (Figuras 29, 35, 41, 47, 52); de estos valores delineados se interpolaron los valores del potencial de aceleración para la isanostera más profunda de las estaciones someras (círculos abiertos en las Figuras arriba citadas), y se hicieron las integraciones desde allí a la superficie del mar.

Volúmenes de zooplancton

Se incluye un mapa (Figura 11) de los volúmenes del desplazamiento del zooplancton para completar el atlas. Los datos que ya han sido incluidos en una publicación de Brandhorst (1958), son los que se indican bajo la Fuente de Datos como "volumen (ml) de organismos pequeños por 1000 m³ filtrados". Se consideró omitida, una diferencia en la definición de "pequeño" entre SIO y POFI, en la preparación de la Figura 11. Se notó una diferencia bastante sistemática entre los volúmenes de zooplancton obtenidos durante las horas de luz del día y aquellos obtenidos por la noche y se sobrepuso de la manera siguiente: Se designó arbitrariamente la hora local (longitudinal) como "día" si era en el intervalo de las 0600-1800 horas, y como de "noche" si era en el otro período de doce horas. Las observaciones de zooplancton de los barcos *Hugh M. Smith*, *Spencer F. Baird* y *Horizon* fueron clasificados de acuerdo con ésto y para cada barco se hicieron los promedios de estos datos separados (Tabla III). La proporción de la media del tiempo de noche, al volumen de la media del tiempo del día, es el factor por el cual las observaciones del día se multiplicaron para alcanzar el rendimiento correspondiente a los volúmenes de la noche; ésto último y las observaciones de los volúmenes en la noche son los datos en los cuales está basado el mapa del zooplancton.

TABLA III. Promedios del día y la noche de los volúmenes de desplazamiento del zooplancton (ml/1000 m³ de agua filtrada)

Barco	Día		Noche		Noche
	Observaciones	Volumen	Observaciones	Volumen	Día
<i>Hugh M. Smith</i>	37	33.0	39	47.8	1.45
<i>Horizon</i>	45	82	43	109	1.33
<i>Spencer F. Baird</i>	34	127	44	190	1.50

DATA SOURCES — FUENTE DE DATOS

Main

King, J. E., T. S. Austin and M. S. Doty

- 1957 Preliminary report on Expedition EASTROPIC.
U. S. Dept. Int., Fish and Wildlife Serv. Spec. Sci. Rep.-Fish.
No. 201.

University of California (Scripps Institution of Oceanography)

- 1956 Data collected by Scripps Institution vessels on EASTROPIC Expedition, September-December 1955.
1959 Physical and chemical data. CCOFI Cruise 5512 (MLR 79) 29 November-16 December 1955.
SIO Ref. 60-4.

Supplementary

University of California (Scripps Institution of Oceanography)

- 1961 Preliminary Report, STEP-I Expedition, 15 September-14 December 1960. Part I. Physical and chemical data.
SIO Ref. 61-9.

Wilson, R. C. and M. O. Rinkel

- 1957 Marquesas area oceanographic and fishery data, January-March 1957.
U. S. Dept. Int., Fish and Wildlife Serv. Spec. Sci. Rep.-Fish.
No. 238.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

Adeney, W. E. and H. G. Becker

- 1920 The determination of the rate of solution of atmospheric nitrogen and oxygen by water. Part II.
Sci. Proc. R. Dublin Soc., Vol. 15, pp. 609-628.

Austin, T. A.

- 1962 Amendment to the correction in Deep-Sea Research, Volume 8, Number 2, page 152. Letters to the Ed. Deep-Sea Res. Vol. 9, No. 1, p. 75.

Bjerknes, J., and Vesna Jurcec.

- MS The El Niño 1957-58 in its relation to the oceanwide sea temperature anomalies during 1955-59 (in press).

Brandhorst, W.

- 1958 Thermocline topography, zooplankton standing crop, and mechanisms of fertilization in the eastern tropical Pacific.
Jour. du Conseil Int. Explor. Mer, Vol. 24, No. 1.

Johnson, J. H.

- 1961 Sea surface temperature monthly average and anomaly charts, northeastern Pacific Ocean, 1947-48.
U. S. Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci. Rep.-Fish., No. 385.

Knauss, J. A.

- 1960 Measurements of the Cromwell Current.
Deep-Sea Res., Vol. 6, No. 4, pp. 265-286.

Knauss, J. A. and J. L. Reid

- 1957 The effects of cable design on the accuracy of the GEK.
Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 38, No. 3, pp. 320-325.

Meteorological Office

- 1956 Monthly meteorological charts of the eastern Pacific Ocean.
M. O. 518, H. M. Stationery Office, London.

Montgomery, R. B. and E. D. Stroup

- 1962 Equatorial waters and currents at 150°W in July-August 1952.
The Johns Hopkins Oceanogr. Studies, No. 1. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

Peterson, C. L.

- 1960 The physical oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a tropical estuary.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 4, No. 4, pp. 137-190 (English), pp. 191-216 (Spanish).

Pollak, M. J.

- 1950 Notes on determining the depths of sampling in serial oceanographic observations.
J. Mar. Res. Vol. 9, No. 1, pp. 17-20.

Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons

- 1960 A manual of sea water analysis.
Fish. Res. Bd. of Canada, Bull., No. 125.

Truesdale, G. A., A. L. Downing and G. F. Lowden

- 1955 The solubility of oxygen in pure water and sea water.
J. Appl. Chem., Vol. 5, No. 53.

Wooster, W. S. and N. W. Rakestraw

- 1951 The estimation of dissolved phosphate in sea water.
J. Mar. Res., Vol. 10, No. 1, pp. 91-100.

Wooster, W. S. and B. A. Taft

- 1958 On the reliability of field measurements of temperature and salinity in the ocean.
J. Mar. Res., Vol. 17, pp. 552-556.

LIST OF FIGURES

FIGURE i. Salinity (‰) as a function of thermosteric anomaly (cl/T) and latitude for the EASTROPIC Expedition *Spencer F. Baird* stations along 116°W.

FIGURE 1. EASTROPIC Expedition, October-December 1955, and CCOFI Cruise 5512, 29 November-15 December 1955. Ships tracks and itineraries.

FIGURE 2. EASTROPIC Expedition, October-December 1955, and CCOFI Cruise 5512, 29 November-15 December 1955. Designation of stations and sections.

FIGURE 3. Sea level atmospheric pressure (p-1000) mb, average by one-degree quadrangles.

FIGURE 4. Root vector mean square by one-degree quadrangles of observations of sea level wind. The arrows fly with the wind; the isopleths indicate speed in m/sec.

FIGURE 5. Vector average by one-degree quadrangles of GEK observations of surface currents. The arrows point in the direction of the current while the isopleths indicate the speed in cm/sec. The open circles mark speeds less than 10 cm/sec, for which directions are not given. Also shown is the position during 1955 of the magnetic equator at which the GEK measures infinite surface current.

FIGURE 6. Geopotential topography of the sea surface relative to the reference pressure 1000 db, calculated without the pressure-dependent terms of specific-volume anomaly.

FIGURE 7. Sea surface temperature (°C), average by one-degree quadrangles.

FIGURE 8. Sea surface salinity (‰), average by one-degree quadrangles.

FIGURE 9. Sea surface thermosteric anomaly, δ_t (cl/T), average by one-degree quadrangles.

FIGURE 10. Sea surface percent saturation of dissolved oxygen.

FIGURE 11. "Nighttime" zooplankton displacement volumes (ml of small organism/1000 m³ strained).

FIGURE 12. Thermosteric anomaly 300 cl/T. Depth (m). the heavy unmarked lines are the intersections of this surface and the sea surface.

FIGURE 13. Thermosteric anomaly 300 cl/T. Salinity (‰). The heavy unmarked lines are the intersections of this surface and the sea surface.

FIGURE 14. Thermosteric anomaly 300 cl/T. Dissolved oxygen (ml/L). The heavy unmarked lines are the intersections of this surface and the sea surface.

FIGURE 15. Thermosteric anomaly 300 cl/T. Acceleration potential (dyn m) relative to 1000 db. The heavy unmarked lines are the intersections of this surface and the sea surface.

FIGURE 16. Thermosteric anomaly 180 cl/t. Depth (m).

FIGURE 17. Thermosteric anomaly 180 cl/t. Salinity (‰). The 34.75‰ isohaline marked by the broken line is based on data from the 1957 *Hugh M. Smith* Cruise 33 (Wilson and Rinkel, 1957) and the 1960 STEP-I Expedition (SIO, 1961).

FIGURE 18. Thermosteric anomaly 180 cl/T. Dissolved oxygen (ml/L).

FIGURE 19. Thermosteric anomaly 180 cl/T. Acceleration potential (dyn m) relative to 1000 db.

FIGURE 20. Thermosteric anomaly 140 cl/T. Depth (m).

FIGURE 21. Thermosteric anomaly 140 cl/T. Salinity (‰).

FIGURE 22. Thermosteric anomaly 140 cl/T. Dissolved oxygen (ml/L).

FIGURE 23. Thermosteric anomaly 140 cl/T. Acceleration potential (dyn m) relative to 1000 db.

FIGURE 24. Sections 140 and 115-108. Thermosteric anomaly (cl/T).

FIGURE 25. Sections 140 and 115-108. Temperature (°C).

FIGURE 26. Sections 140 and 115-108. Salinity (‰).

FIGURE 27. Sections 140 and 115-108. Dissolved oxygen (ml/L).

FIGURE 28. Sections 140 and 115-108. Acceleration potential (dyn m) relative to 1000 db for various isanosteres.

FIGURE 30. Section 121. Thermosteric anomaly (cl/T).

FIGURE 31. Section 121. Temperature (°C).

FIGURE 32. Section 121. Salinity (‰).

FIGURE 33. Section 121. Dissolved oxygen (ml/L).

FIGURE 34. Section 121. Inorganic phosphate ($\mu\text{g-at/L}$).

- FIGURE 35. Section 121. Acceleration potential (dyn m) relative to 1000 db for various isanosteres.
- FIGURE 36. Section 116. Thermosteric anomaly (cl/T).
- FIGURE 37. Section 116. Temperature ($^{\circ}$ C).
- FIGURE 38. Section 116. Salinity ($\%$).
- FIGURE 39. Section 116. Dissolved oxygen (ml/L).
- FIGURE 40. Section 116. Inorganic phosphate (μ g-at/L).
- FIGURE 41. Section 116. Acceleration potential (dyn m) relative to 1000 db for various isanosteres.
- FIGURE 42. Section 96-112. Thermosteric anomaly (cl/T).
- FIGURE 43. Section 96-112. Temperature ($^{\circ}$ C).
- FIGURE 44. Section 96-112. Salinity ($\%$).
- FIGURE 45. Section 96-112. Dissolved oxygen (ml/L).
- FIGURE 46. Section 96-112. Inorganic phosphate (μ g-at/L).
- FIGURE 47. Section 96-112. Acceleration potential (dyn m) relative 1000 db for various isanosteres.
- FIGURE 48. Sections 96-88 and 84. Thermosteric anomaly (cl/T).
- FIGURE 49. Sections 96-88 and 84. Temperature ($^{\circ}$ C).
- FIGURE 50. Sections 96-88 and 84. Salinity ($\%$).
- FIGURE 51. Sections 96-88 and 84. Dissolved oxygen (ml/L).
- FIGURE 52. Sections 96-88 and 84. Inorganic phosphate (μ g-at/L).
- FIGURE 53. Sections 96-88 and 84. Acceleration potential (dyn m) relative to 1000 db for various isanosteres.

LISTA DE LAS FIGURAS

- FIGURA 1. Salinidad ($\%$) como una función de la anomalía termostérica (cl/T) y la latitud de las estaciones del *Spencer F. Baird* de la Expedición EASTROPIC a lo largo de los 116° W.
- FIGURA 2. Expedición EASTROPIC, octubre-diciembre de 1955, y Crucero del CCOFI 5512, 29 de noviembre-15 de diciembre de 1955. Rutas e itinerarios de los barcos.
- FIGURA 3. Expedición EASTROPIC, octubre-diciembre de 1955, y Crucero del CCOFI 5512, 29 de noviembre-15 de diciembre de 1955. Designación de las estaciones y de las Secciones.
- FIGURA 4. Presión atmosférica al nivel del mar (p-1000) mb, promedio por cuadrángulos de un grado.
- FIGURA 5. Cuadrático medio del promedio de los vectores por cuadrángulos de un grado de las observaciones del viento al nivel del mar. Las flechas siguen la dirección del viento; las isopletas indican la velocidad en m/seg.
- FIGURA 6. Cuadrático medio del promedio de los vectores por cuadrángulos de un grado de las observaciones GEK de las corrientes de la superficie. Las flechas están orientadas en la dirección de la corriente, mientras las isopletas indican la velocidad en m/seg. Los círculos abiertos indican velocidades menores de 10 cm/seg, para las cuales no se dan direcciones. También se muestra la posición durante el año de 1955 del ecuador magnético en el cual el GEK mide una corriente de superficie infinita.
- FIGURA 7. Topografía geopotencial de la superficie del mar relativa a la presión de referencia de 1000 db, calculado sin los términos dependientes de la presión de la anomalía de volumen específico.
- FIGURA 8. Temperatura de la superficie del mar ($^{\circ}$ C), promedio por cuadrángulos de un grado.
- FIGURA 9. Salinidad de la superficie del mar ($\%$), promedio por cuadrángulos de un grado.
- FIGURA 10. Anomalía termostérica de la superficie del mar δt (cl/T), promedio por cuadrángulos de un grado.
- FIGURA 11. Porcentaje de saturación en la superficie del mar del oxígeno disuelto.
- FIGURA 12. Volúmenes de desplazamiento "nocturnos" de zooplancton (ml de organismos pequeños/1000 m³ filtrados).
- FIGURA 13. Anomalía termostérica de 300 cl/T. Profundidad (m). Las líneas gruesas que no han sido marcadas son las intersecciones de esta superficie y la superficie del mar.
- FIGURA 14. Anomalía termostérica de 300 cl/T. Salinidad ($\%$). Las líneas gruesas que no han sido marcadas son las intersecciones de esta superficie y la superficie del mar.

FIGURA 14. Anomalía termostérica 300 cl/T. Oxígeno disuelto (ml/L). Las líneas gruesas que no han sido marcadas son las intersecciones de esta superficie y la superficie del mar.

FIGURA 15. Anomalía termostérica de 300 cl/T. Potencial de aceleración (m din.) relativo a los 1000 db. Las líneas gruesas que no han sido marcadas son las intersecciones de esta superficie y la superficie del mar.

FIGURA 16. Anomalía termostérica de 180 cl/T. Profundidad (m).

FIGURA 17. Anomalía termostérica de 180 cl/T. Salinidad (‰). La isohalina de 34.75‰ marcada por la línea a guiones se basa en los datos del Crucero 38 en 1957 del *Hugh M. Smith* (Wilson y Rinker, 1957) y la Expedición STEP-I (SIO, 1961).

FIGURA 18. Anomalía termostérica de 180 cl/T. Oxígeno disuelto (ml/L).

FIGURA 19. Anomalía termostérica de 180 cl/T. Potencial de aceleración (m din.)

FIGURA 20. Anomalía termostérica de 140 cl/T. Profundidad (m).

FIGURA 21. Anomalía termostérica de 140 cl/T. Salinidad (‰).

FIGURA 22. Anomalía termostérica de 140 cl/T. Oxígeno disuelto (ml/L).

FIGURA 23. Anomalía termostérica de 140 cl/T. Potencial de aceleración (m din.) relativo a los 1000 db.

FIGURA 24. Secciones 140 y 115-108. Anomalía termostérica (cl/T).

FIGURA 25. Secciones 140 y 115-108. Temperatura (°C).

FIGURA 26. Secciones 140 y 115-108. Salinidad (‰).

FIGURA 27. Secciones 140 y 115-108. Oxígeno disuelto (ml/L).

FIGURA 28. Secciones 140 y 115-108. Fosfato inorgánico ($\mu\text{g-at/L}$).

FIGURA 29. Secciones 140 y 115-108. Potencial de aceleración (m din.) relativo a los 1000 db para varias isanosteras.

FIGURA 30. Sección 121. Anomalía termostérica (cl/T).

FIGURA 31. Sección 121. Temperatura (°C).

FIGURA 32. Sección 121. Salinidad (‰).

FIGURA 33. Sección 121. Oxígeno disuelto (ml/L).

FIGURA 34. Sección 121. Fosfato inorgánico ($\mu\text{g-at/L}$).

FIGURA 35. Sección 121. Potencial de aceleración (m din.) relativo a los 1000 db para varias isanosteras.

FIGURA 36. Sección 116. Anomalía termostérica (cl/T).

FIGURA 37. Sección 116. Temperatura (°C).

FIGURA 38. Sección 116. Salinidad (‰).

FIGURA 39. Sección 116. Oxígeno disuelto (ml/L).

FIGURA 40. Sección 116. Fosfato inorgánico ($\mu\text{g-at/L}$).

FIGURA 41. Sección 116. Potencial de aceleración (m din.) relativo a los 1000 db para varias isanosteras.

FIGURA 42. Secciones 96-112. Anomalía termostérica (cl/T).

FIGURA 43. Secciones 96-112. Temperatura (°C).

FIGURA 44. Secciones 96-112. Salinidad (‰).

FIGURA 45. Secciones 96-112. Oxígeno disuelto (ml/L).

FIGURA 46. Secciones 96-112. Fosfato inorgánico ($\mu\text{g-at/L}$).

FIGURA 47. Secciones 96-112. Potencial de aceleración (m din.) relativo a los 1000 db para varias isanosteras.

FIGURA 48. Secciones 96-88 y 84. Anomalía termostérica (cl/T).

FIGURA 49. Secciones 96-88 y 84. Temperatura (°C).

FIGURA 50. Secciones 96-88 y 84. Salinidad (‰).

FIGURA 51. Secciones 96-88 y 84. Oxígeno disuelto (ml/L).

FIGURA 52. Secciones 96-88 y 84. Fosfato inorgánico ($\mu\text{g-at/L}$).

FIGURA 53. Secciones 96-88 y 84. Potencial de aceleración (m din.) relativo a los 1000 db para varias isanosteras.

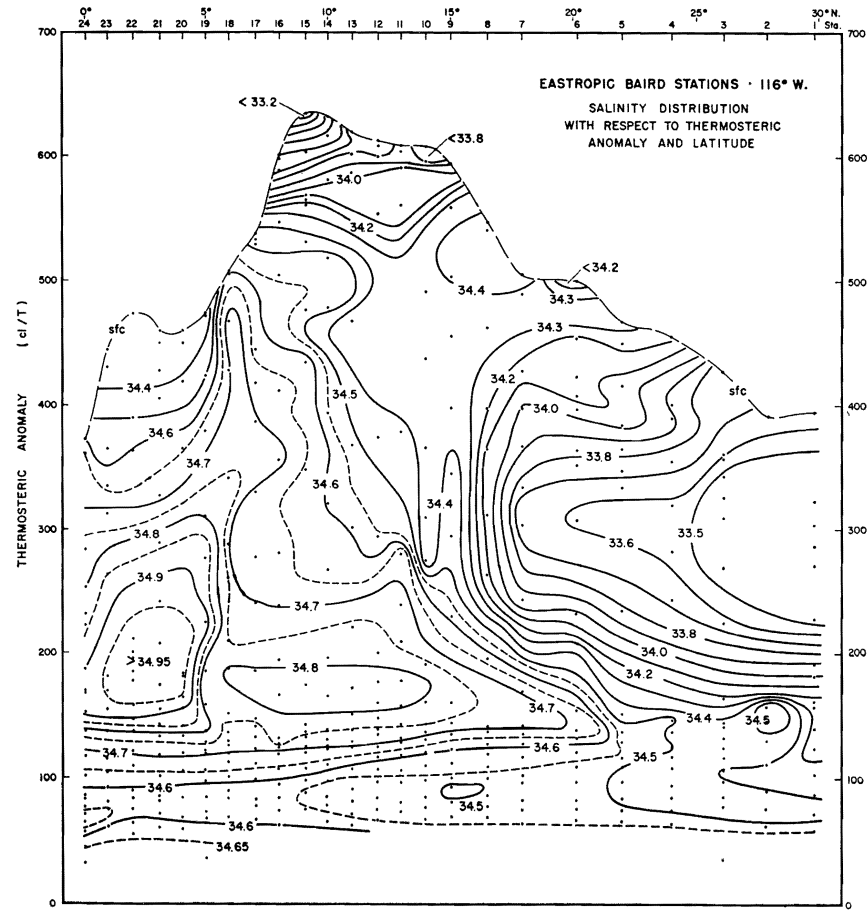


FIG. 1

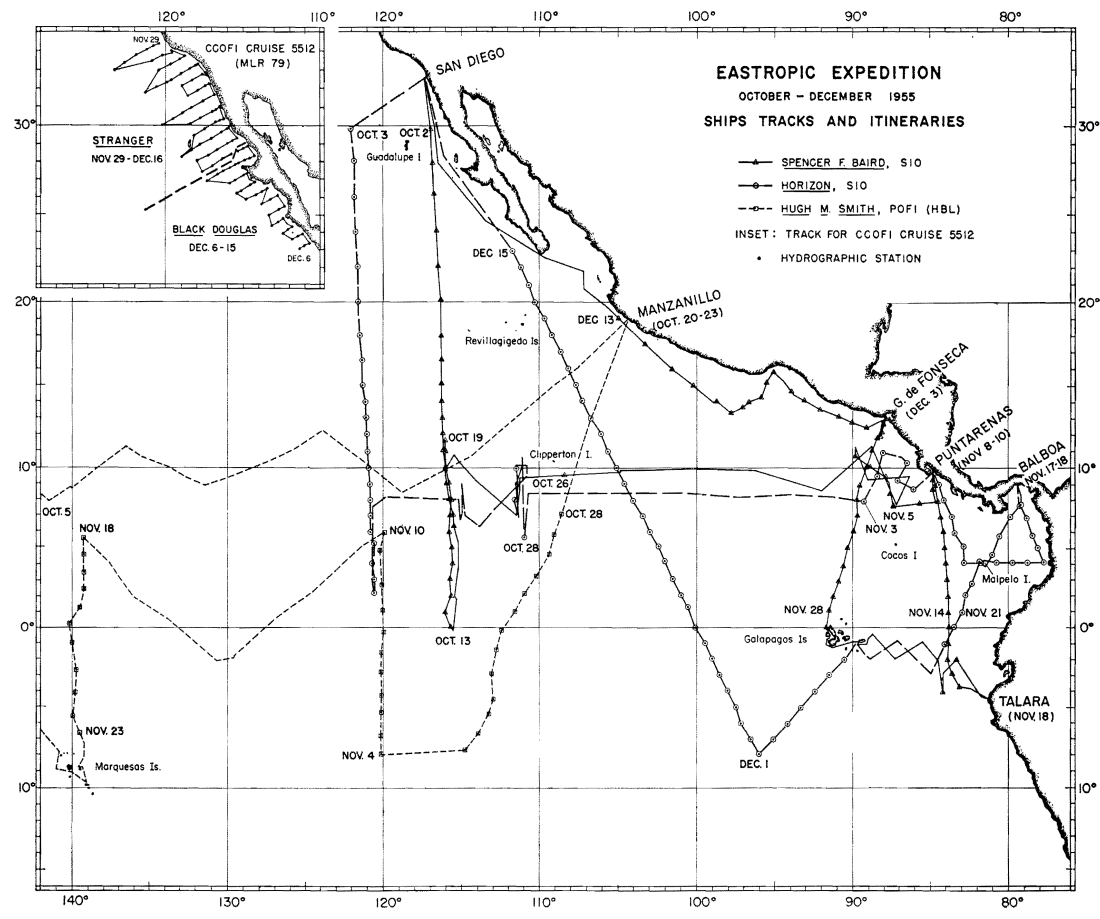
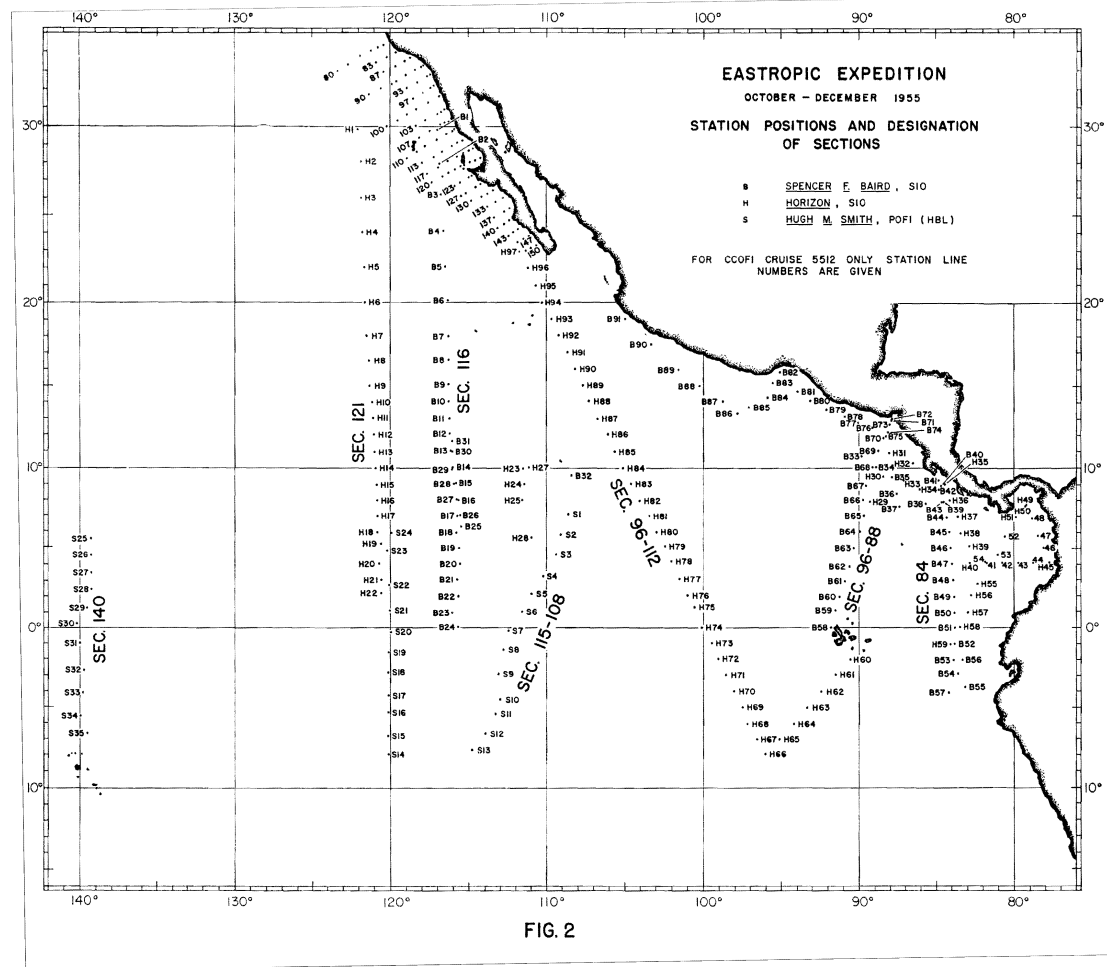


FIG. 1



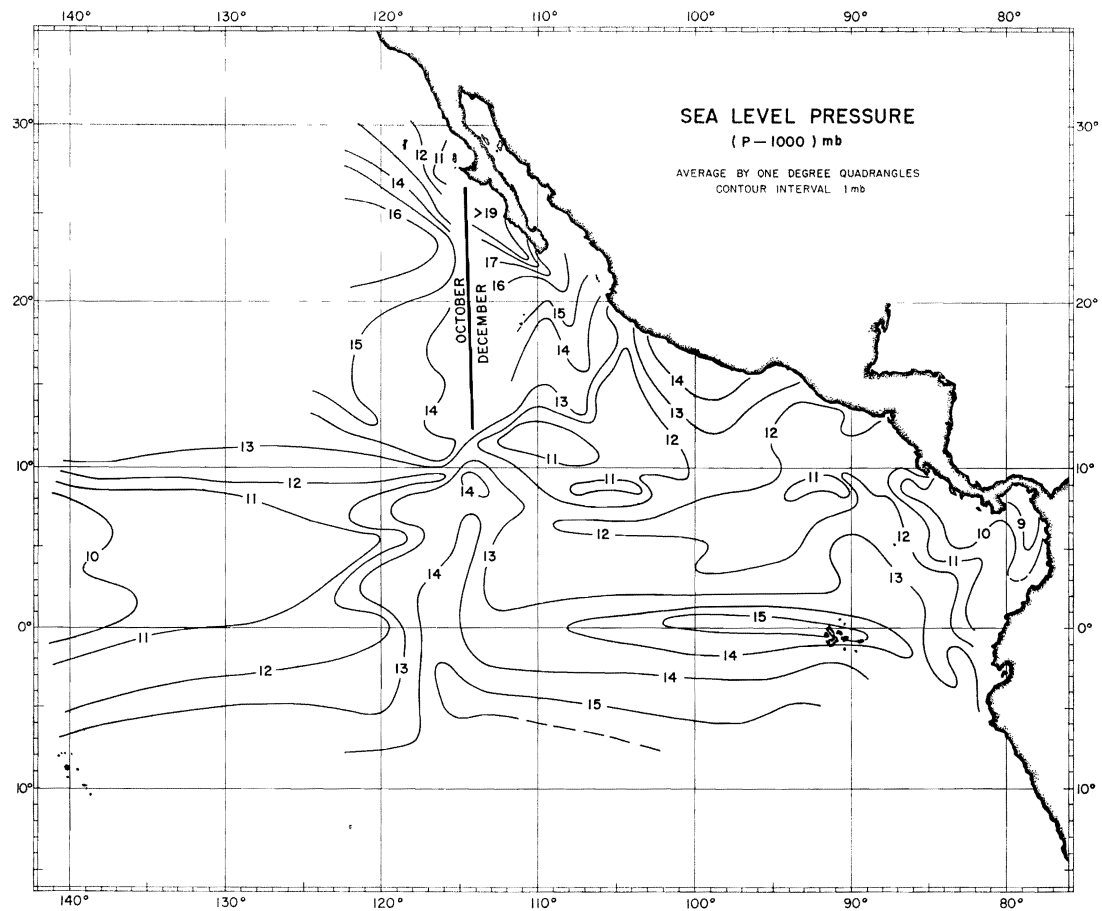


FIG. 3

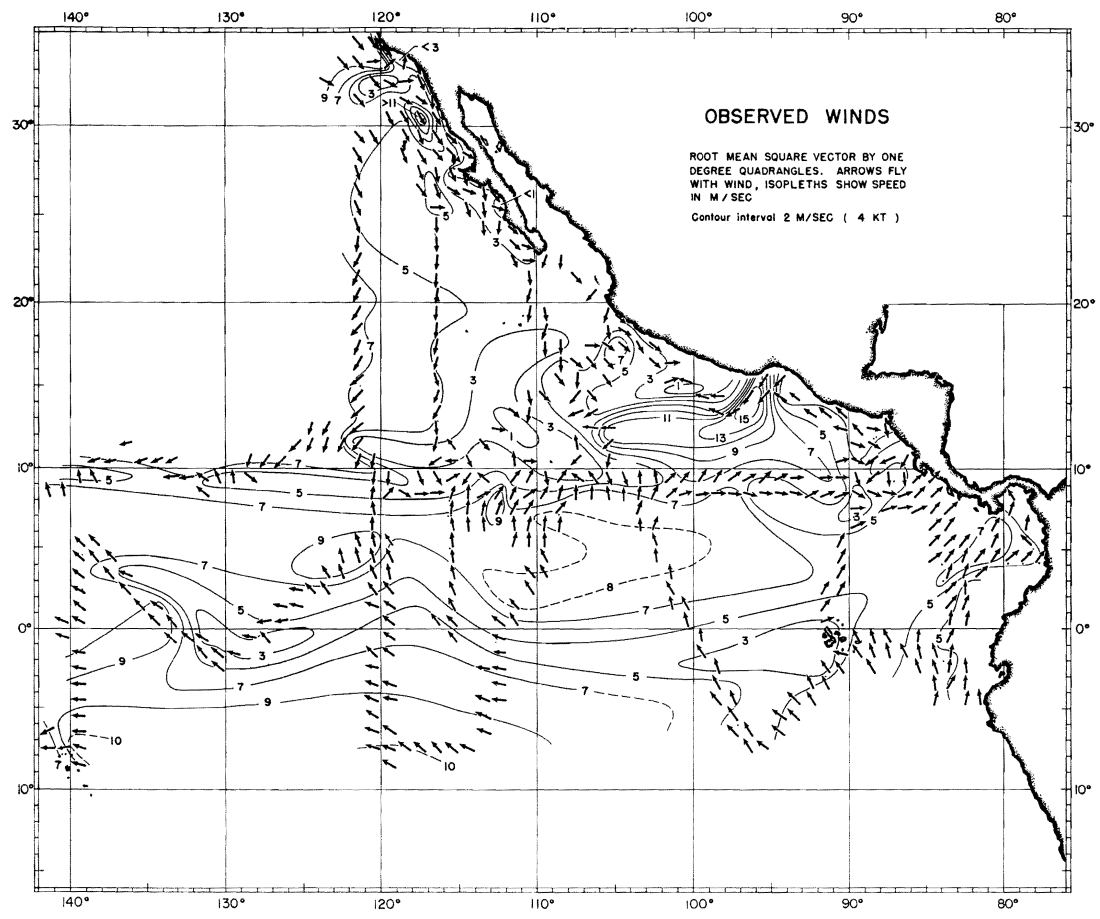


FIG. 4

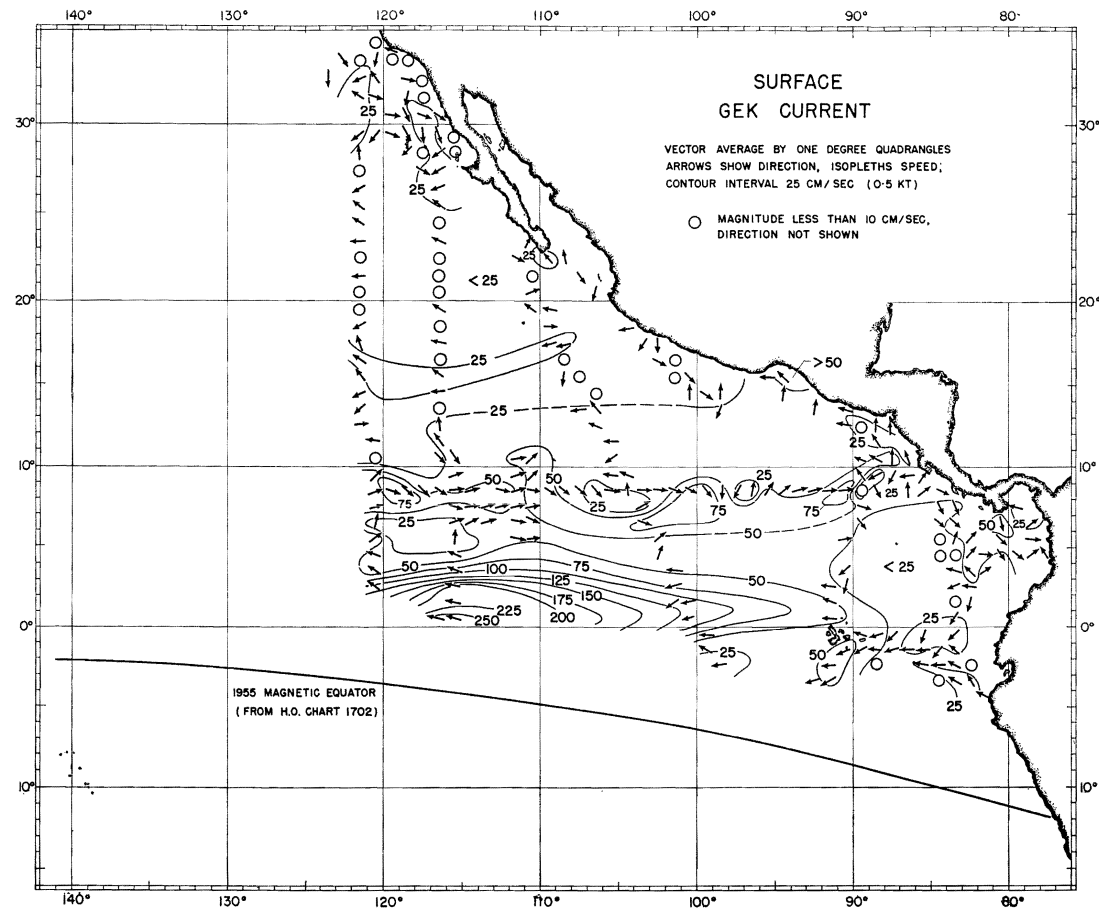


FIG. 5

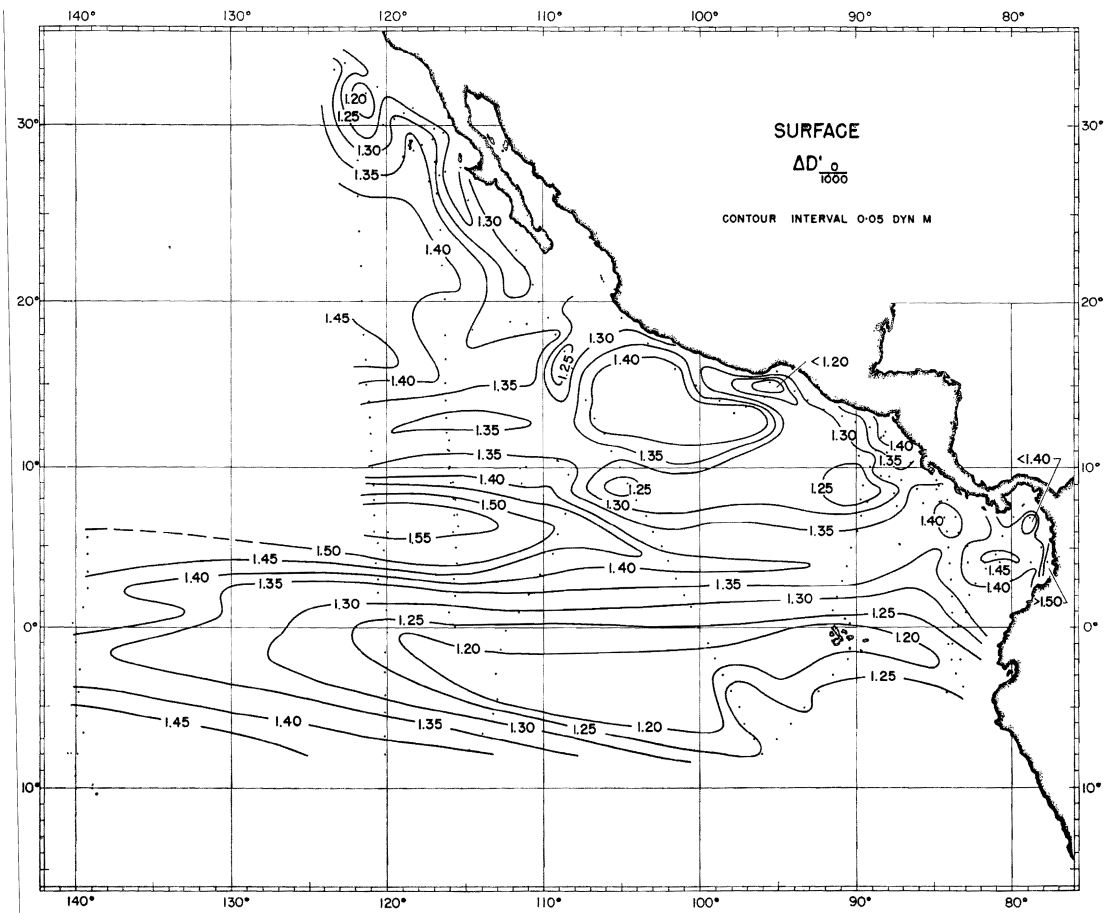
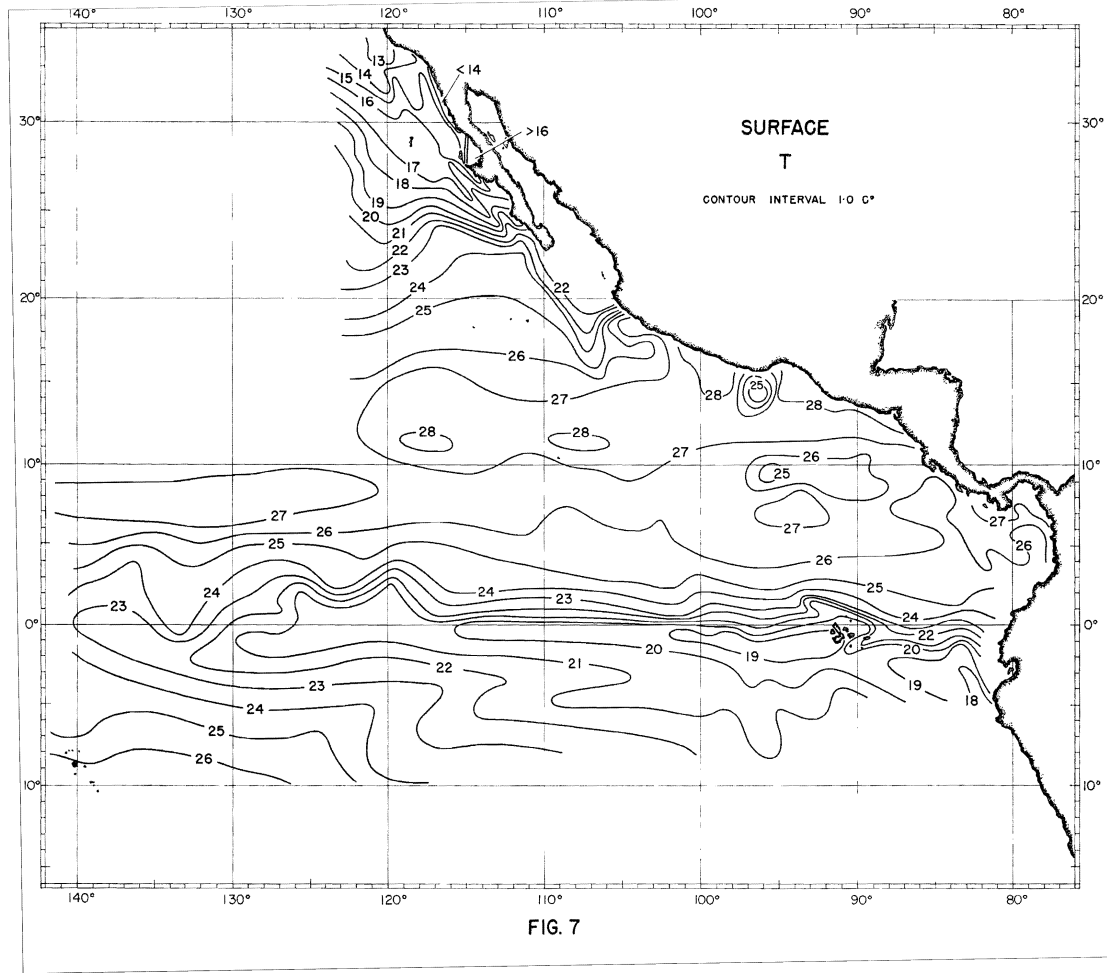


FIG. 6



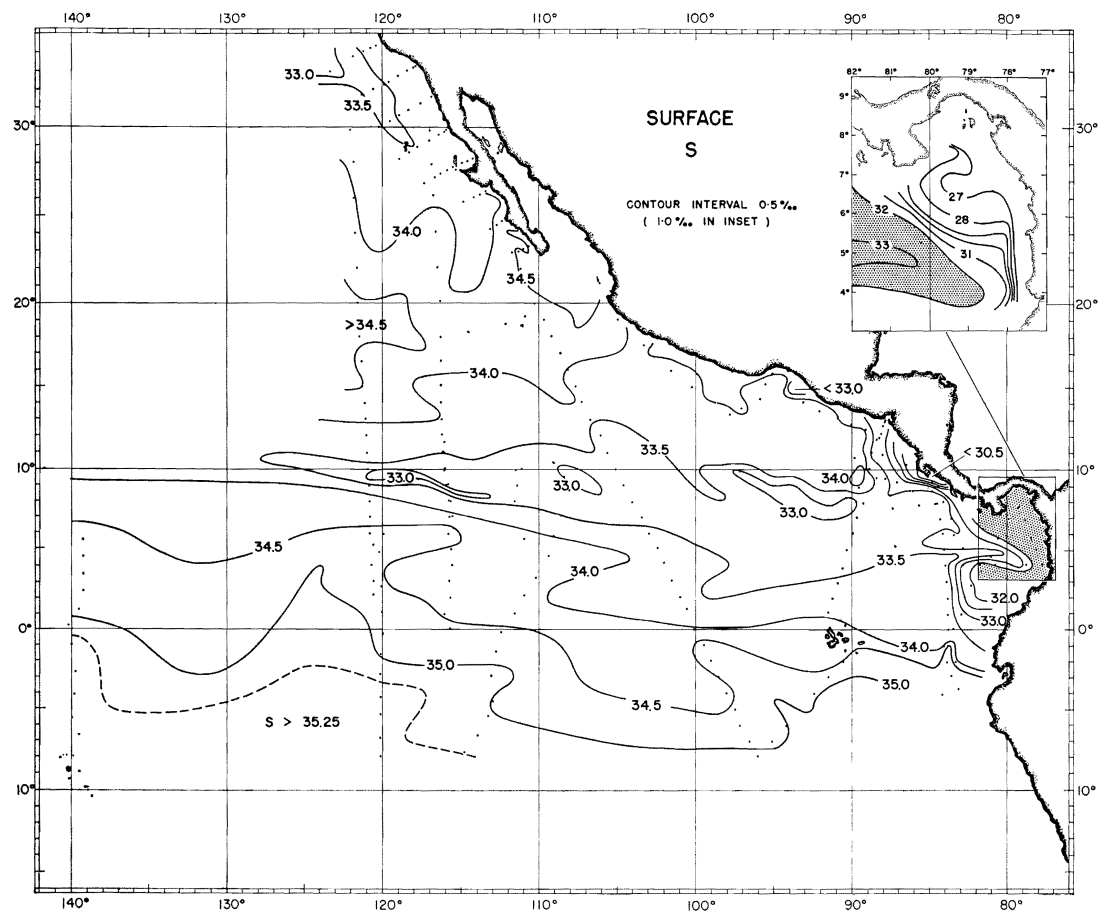


FIG. 8

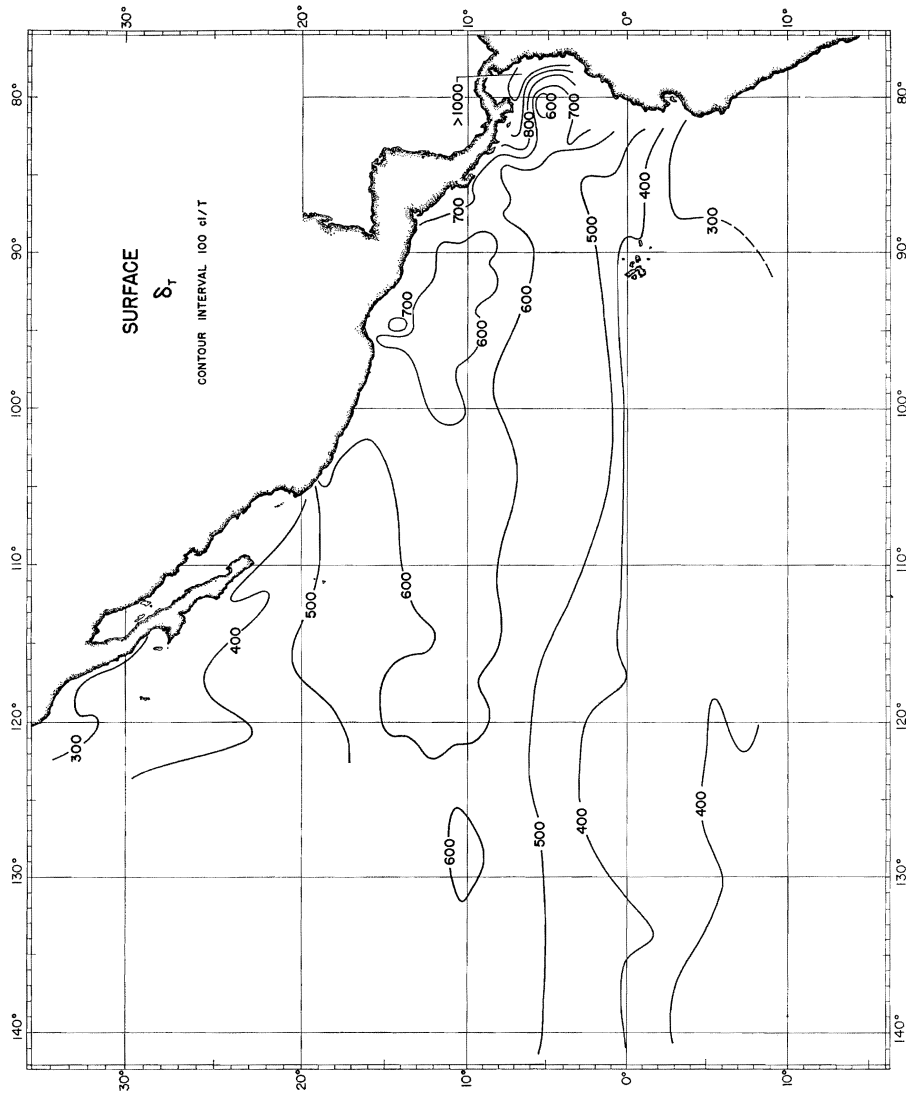


FIG. 9

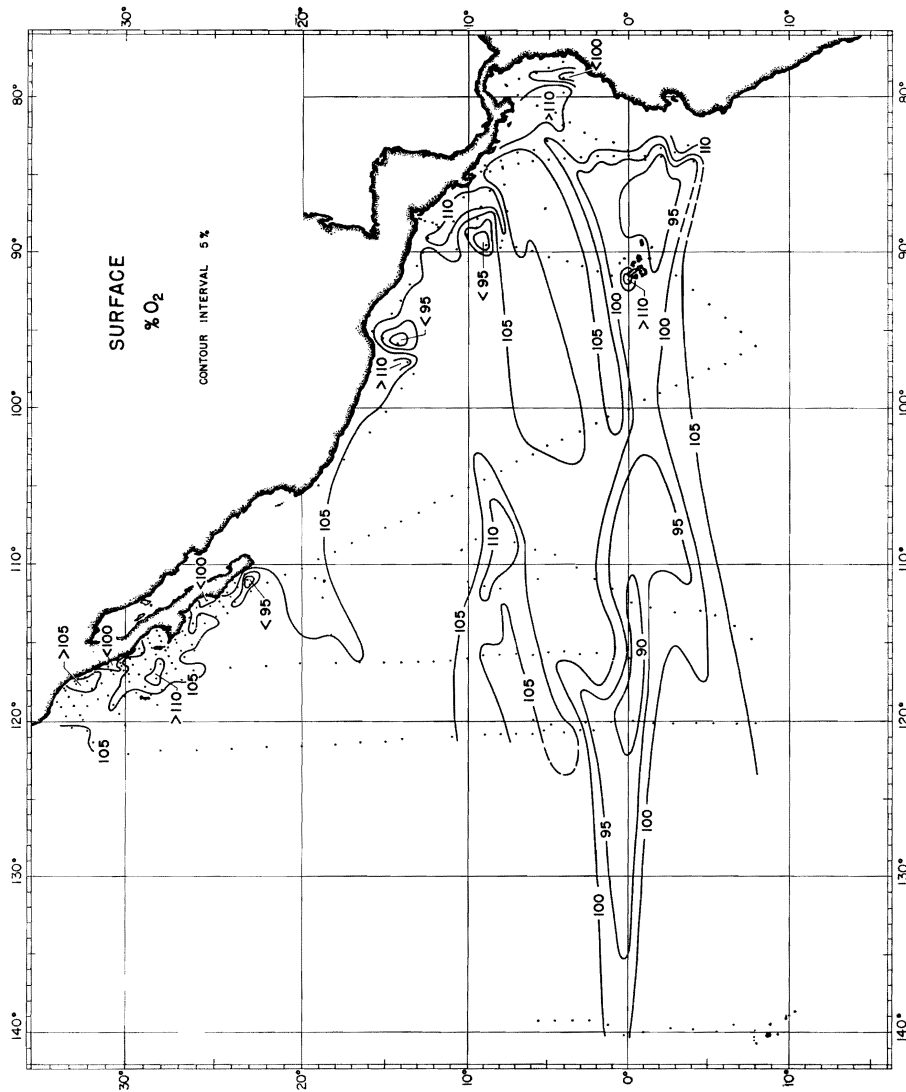


FIG. 10

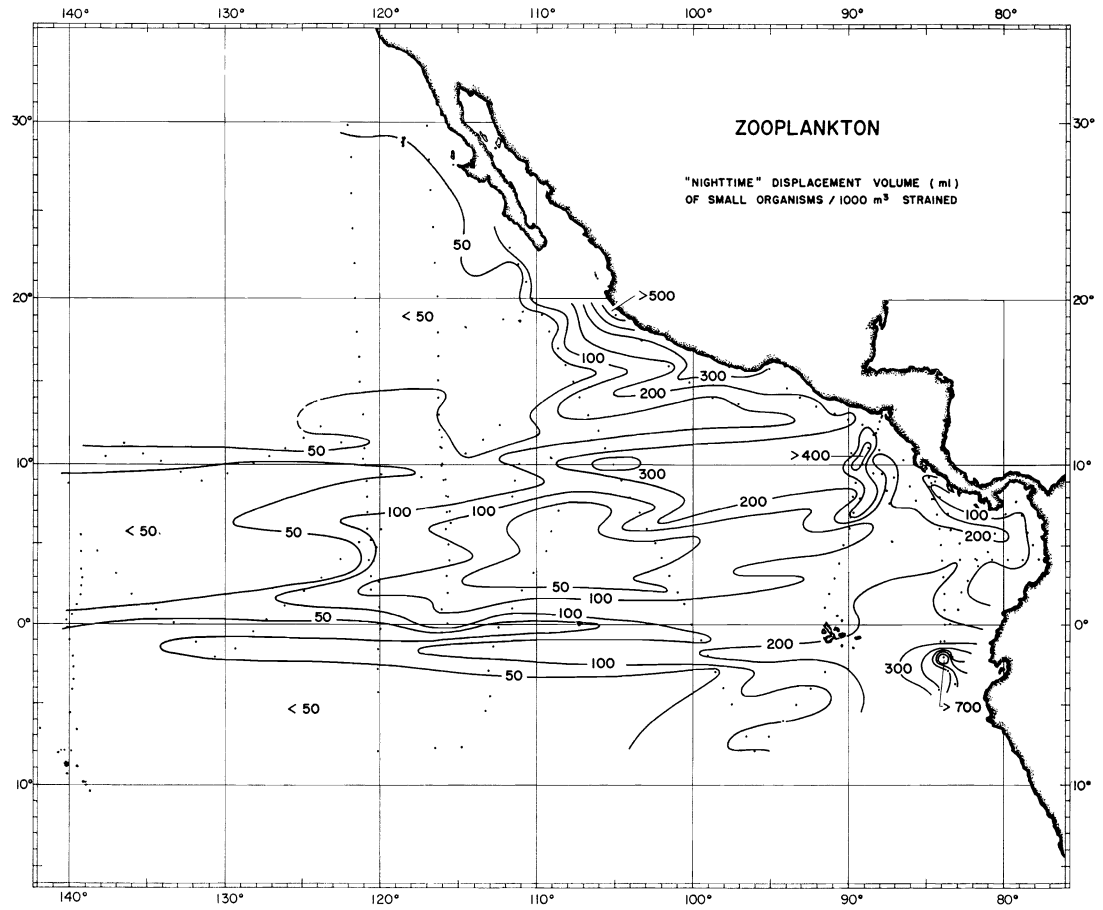


FIG. II

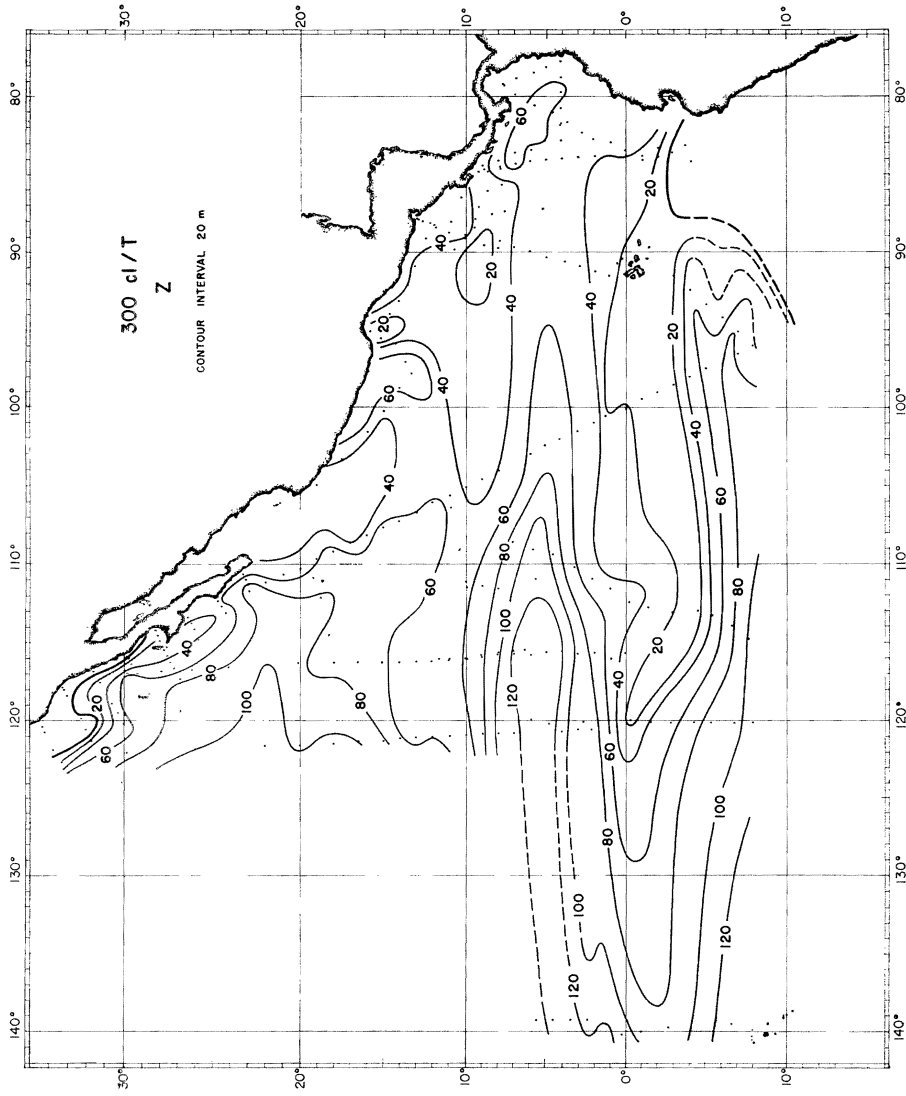


FIG. 12

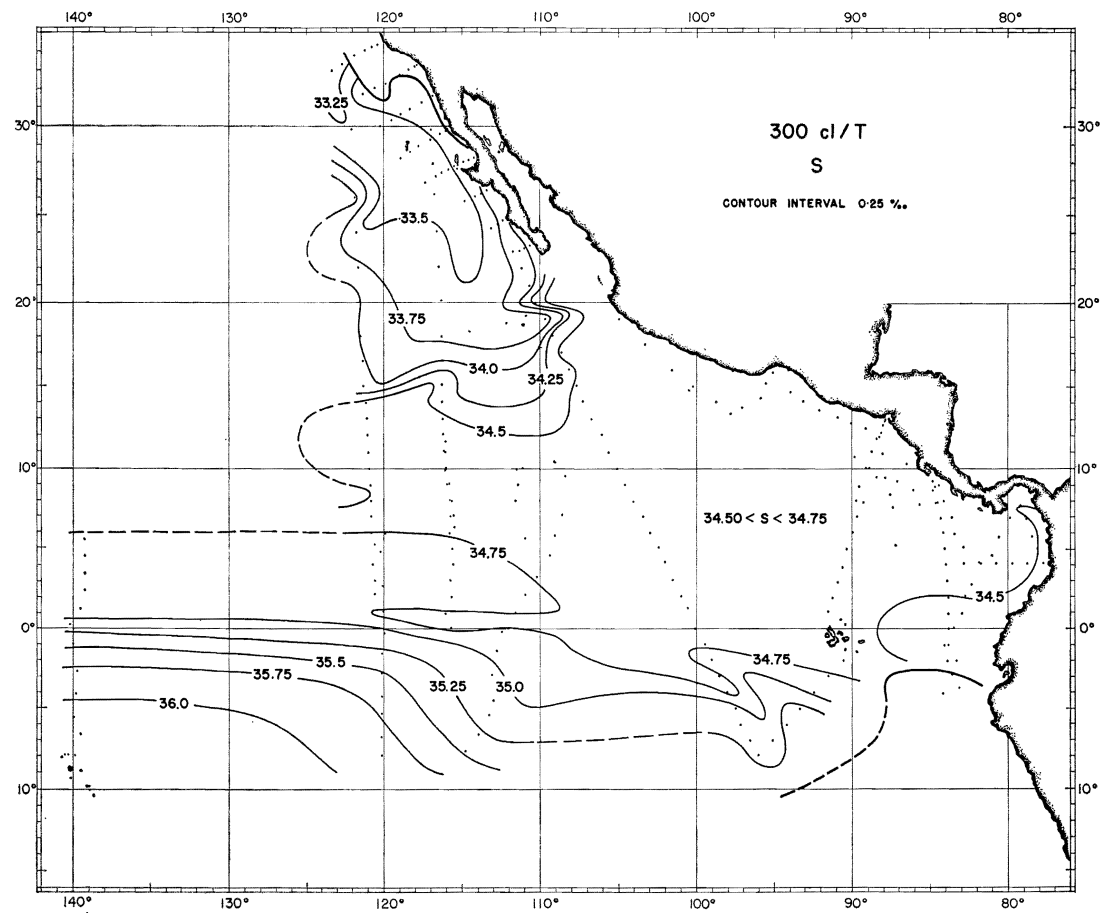


FIG. 13

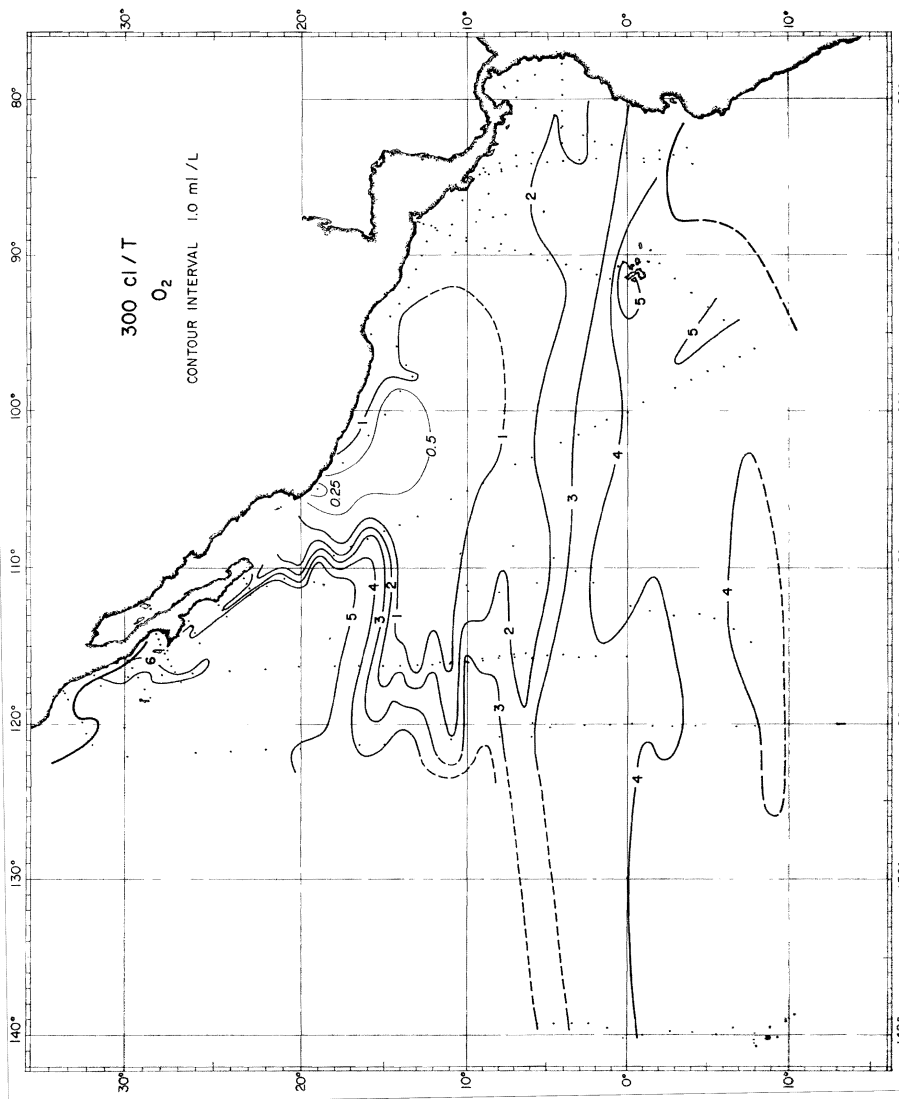


FIG. 14

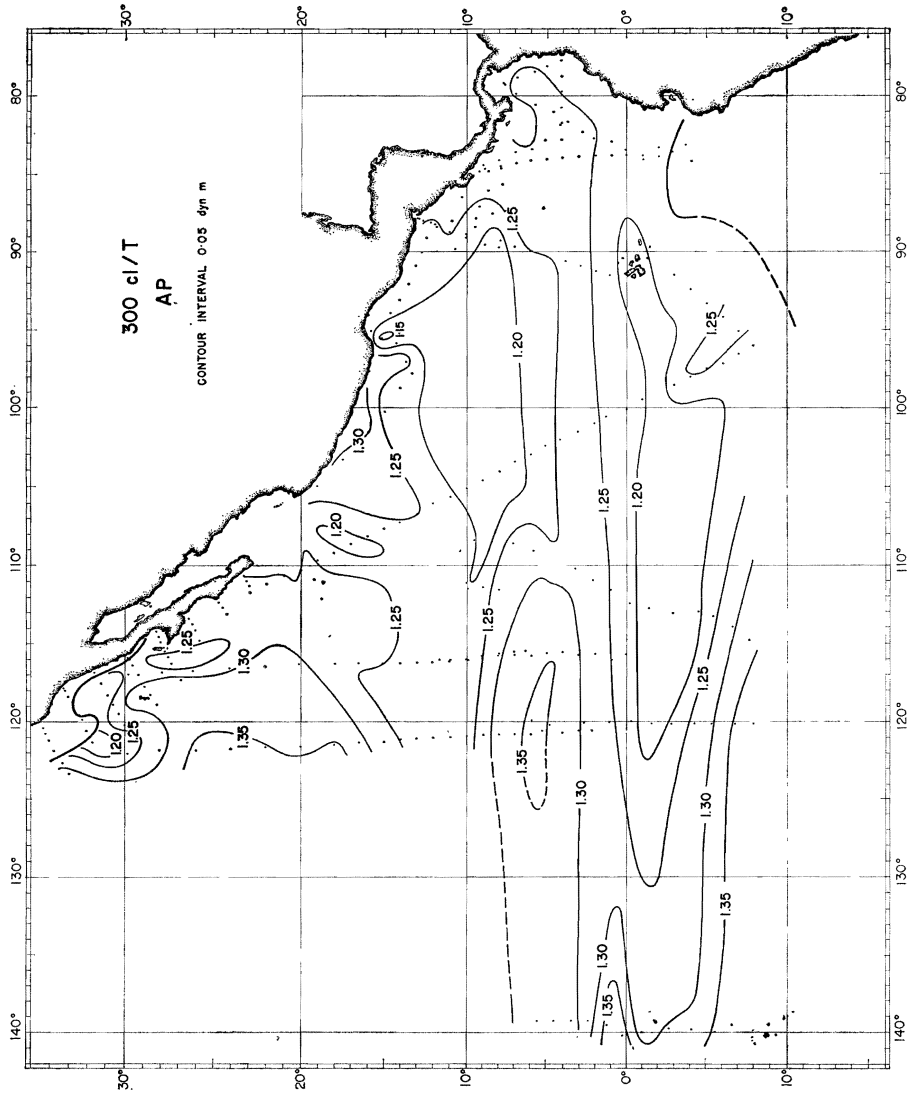


FIG. 15

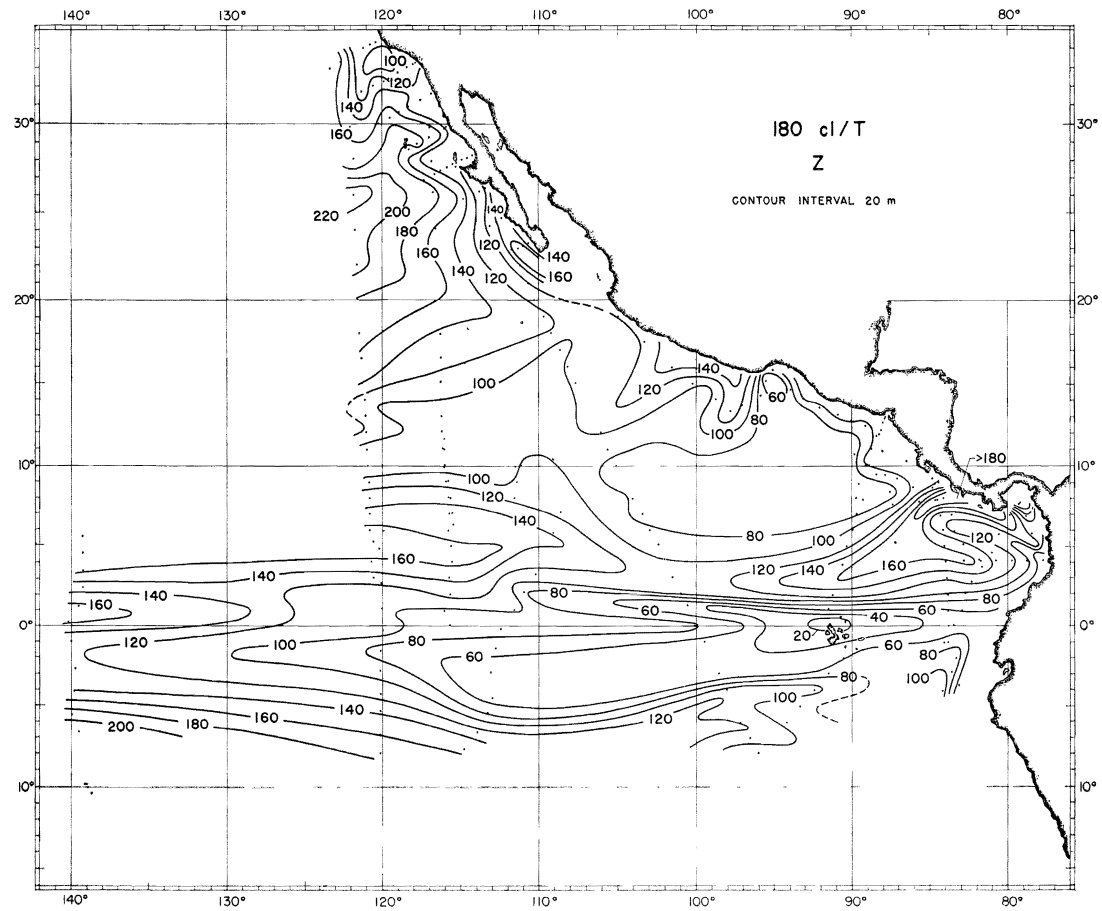


FIG. 16

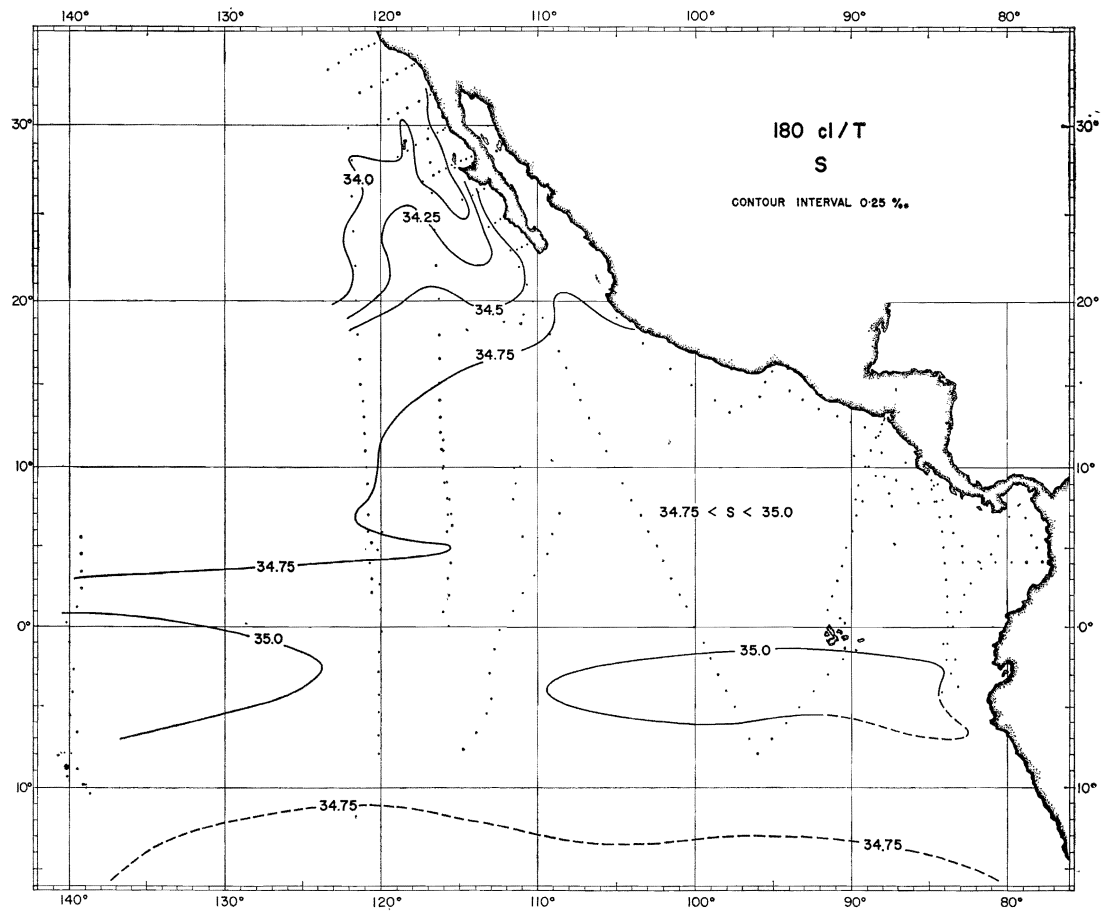


FIG. 17

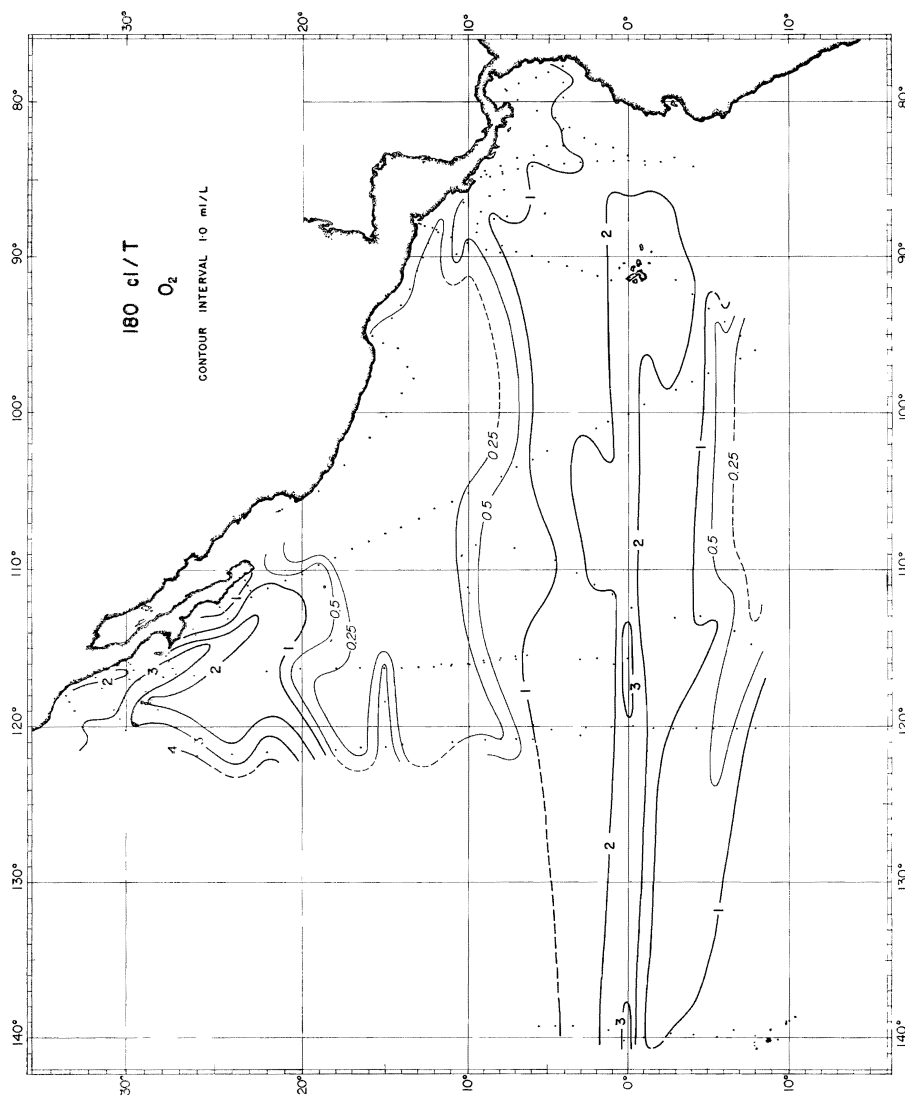


FIG 18

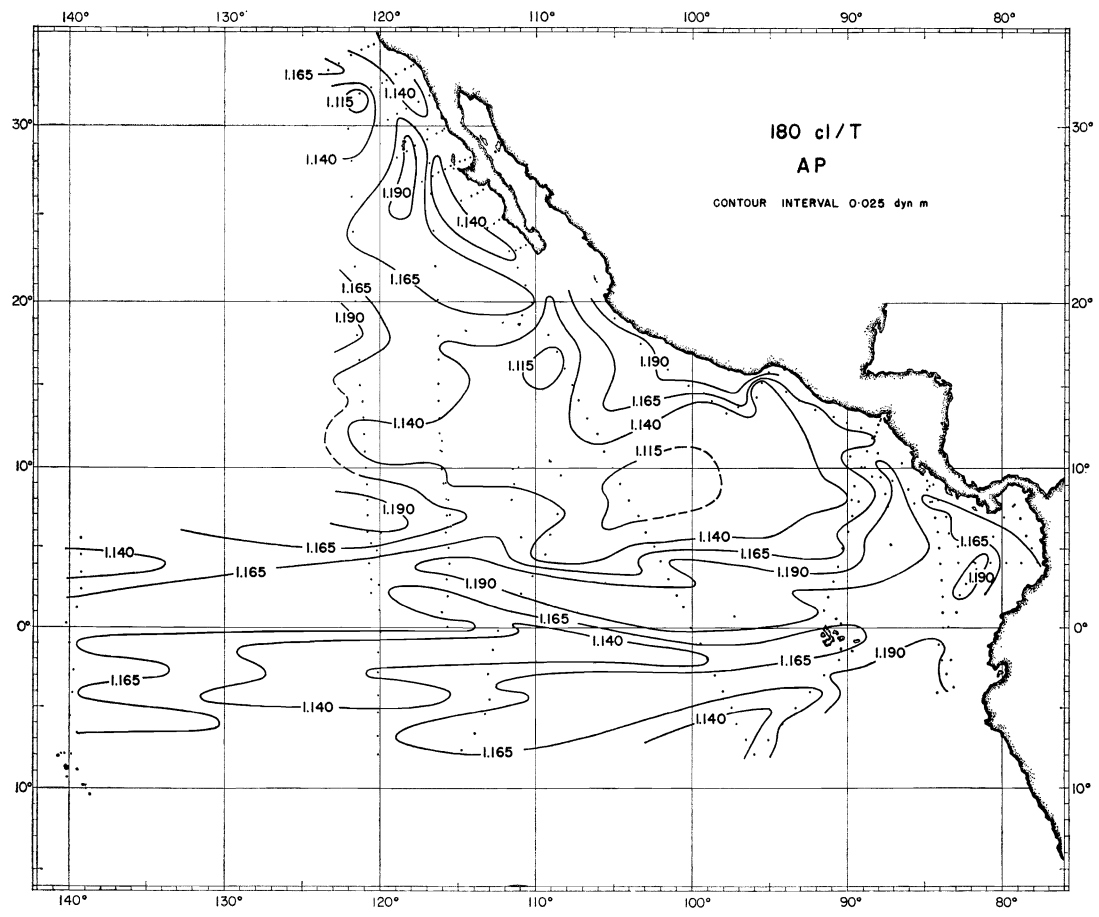


FIG. 19

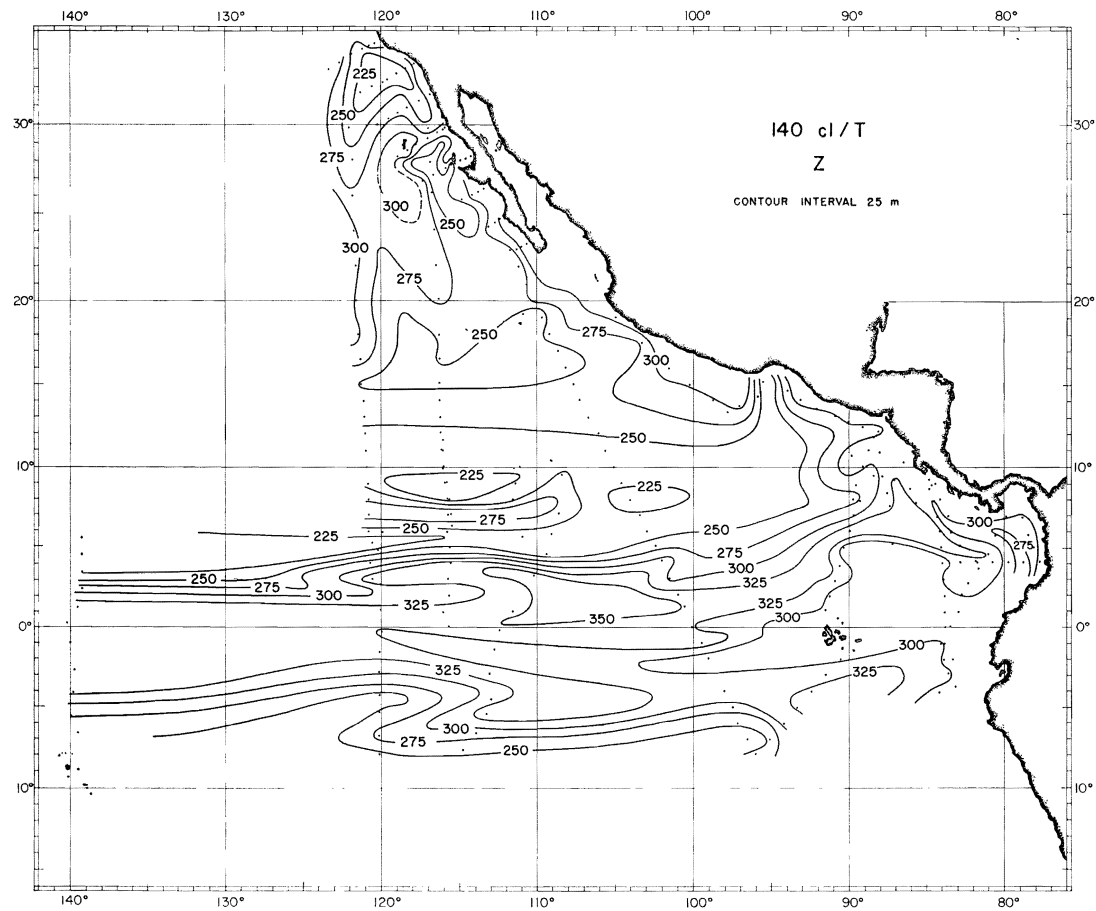


FIG. 20

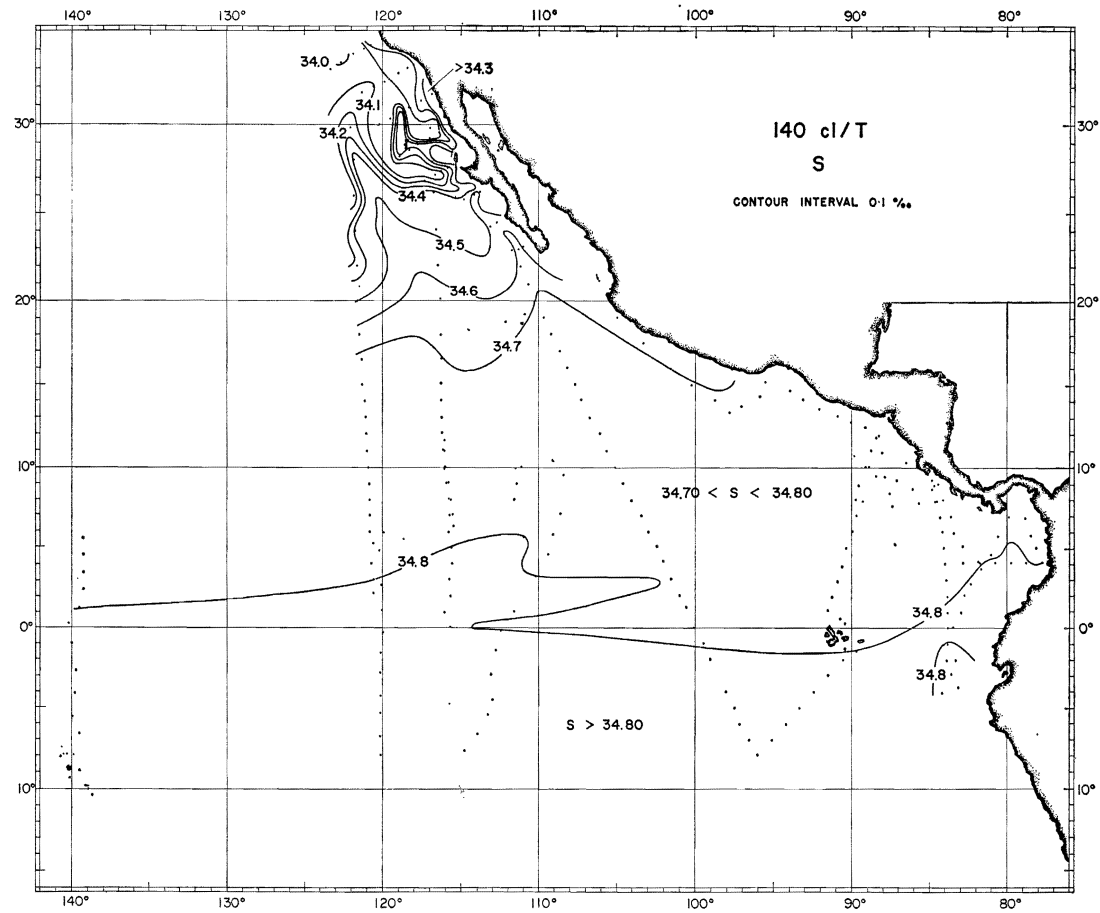


FIG. 21

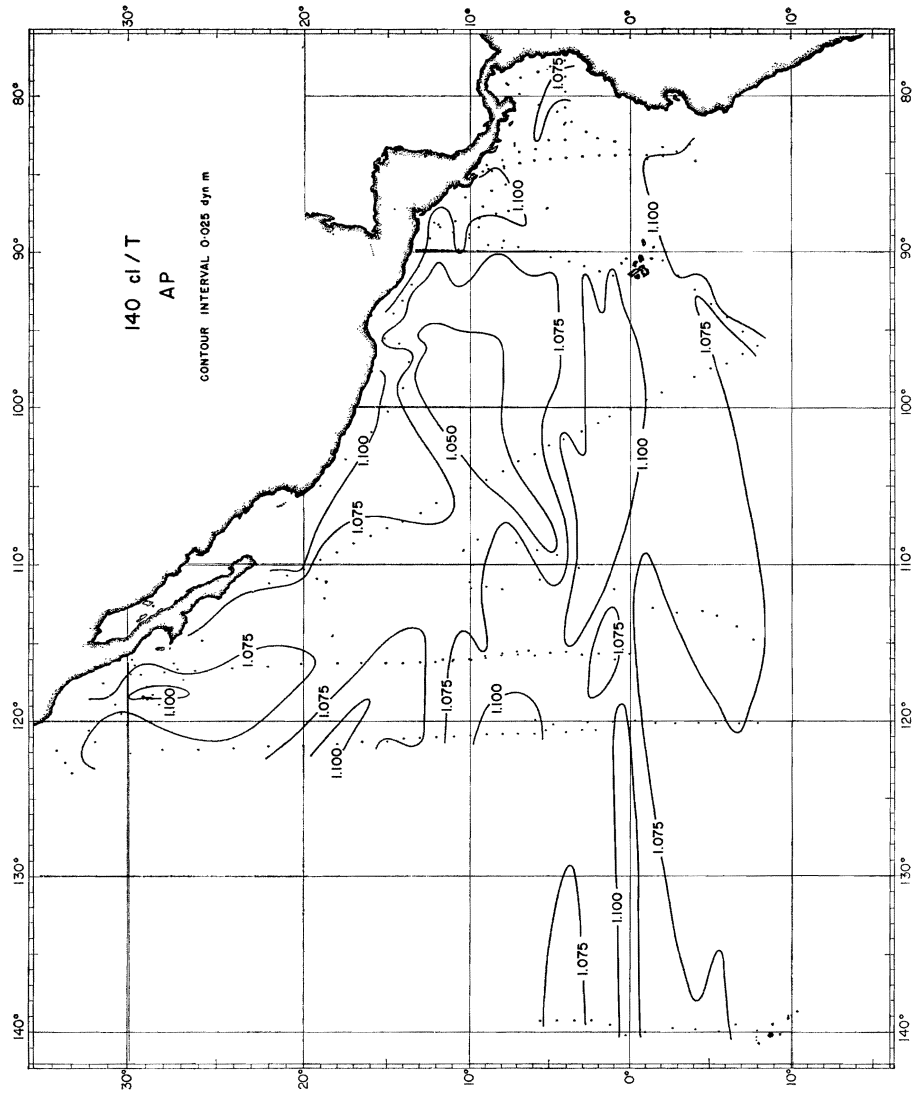
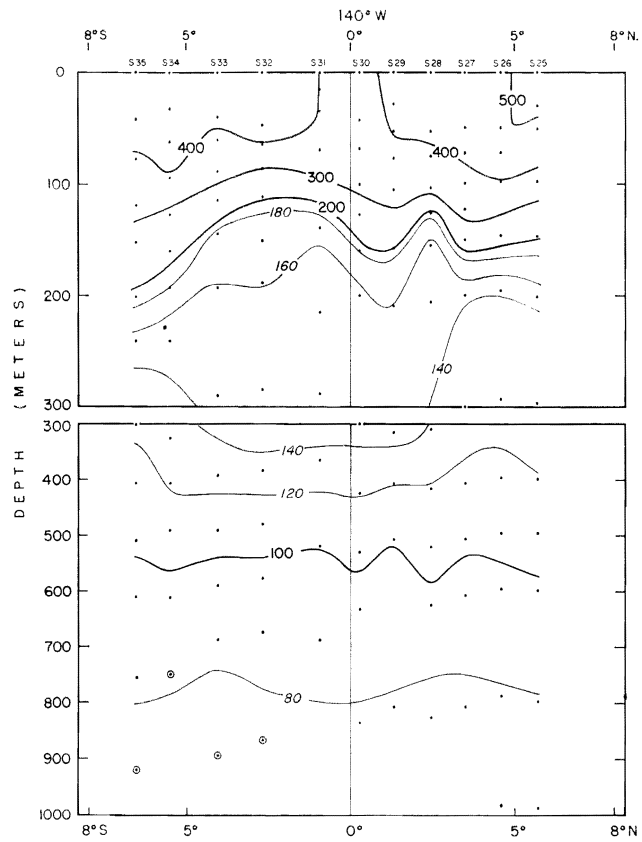
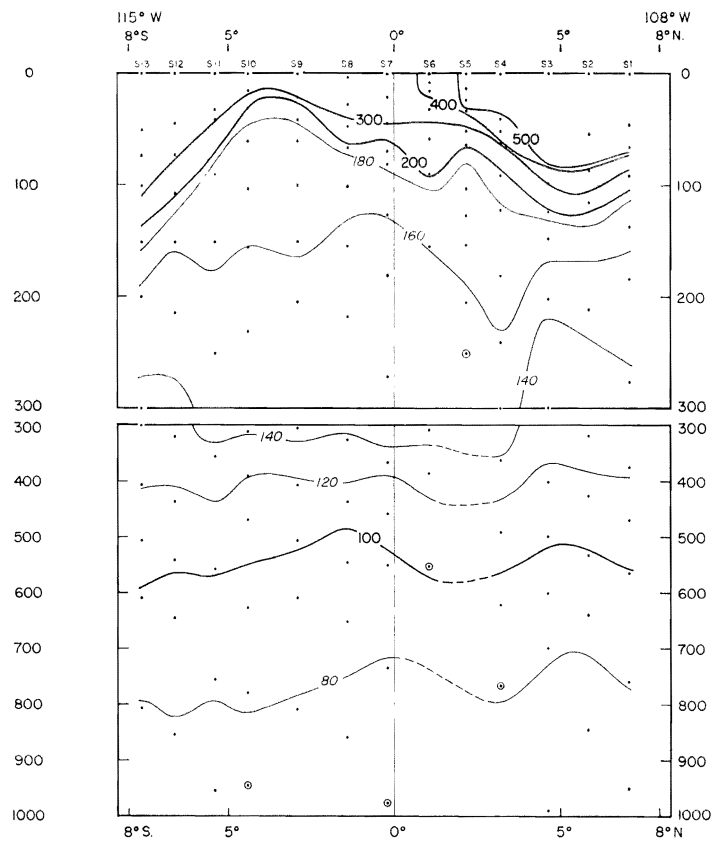


FIG. 23



SEC. 140



SEC. 115-108

δ_T
FIG. 24

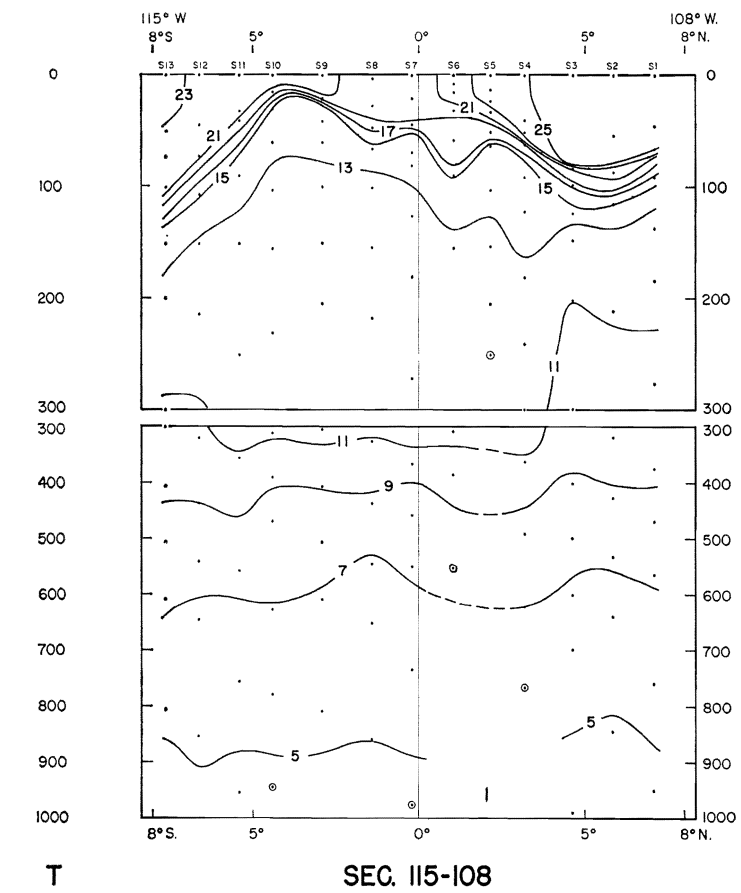
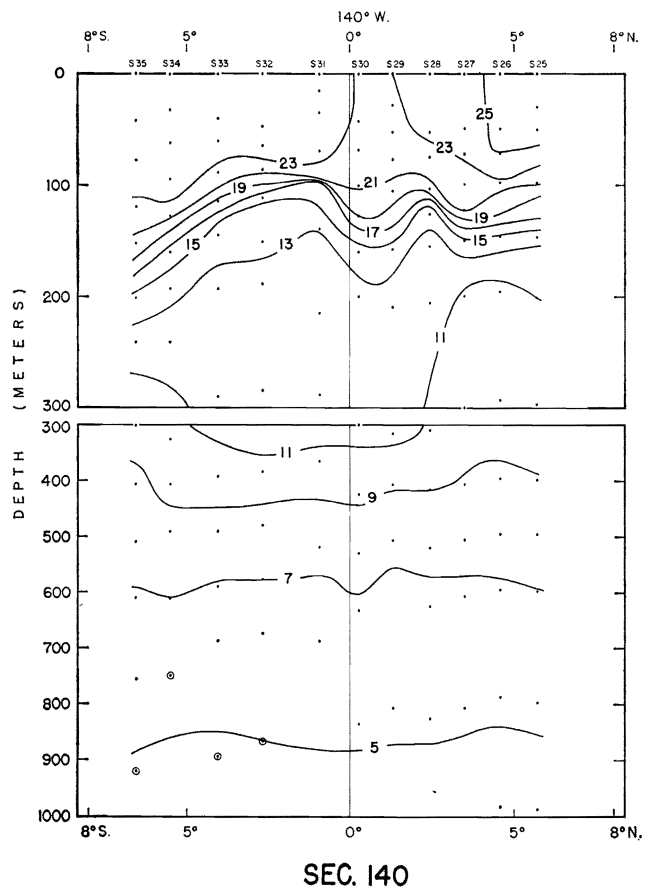
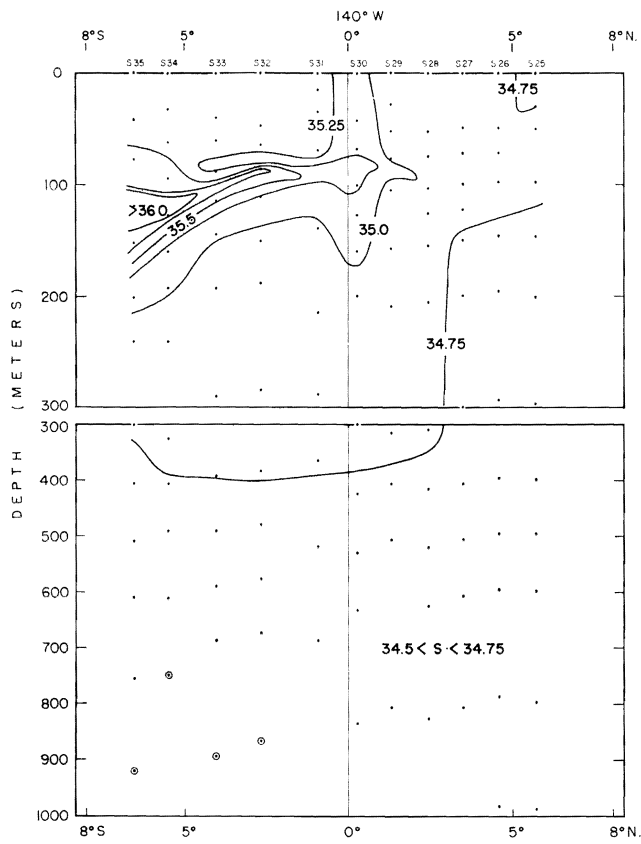
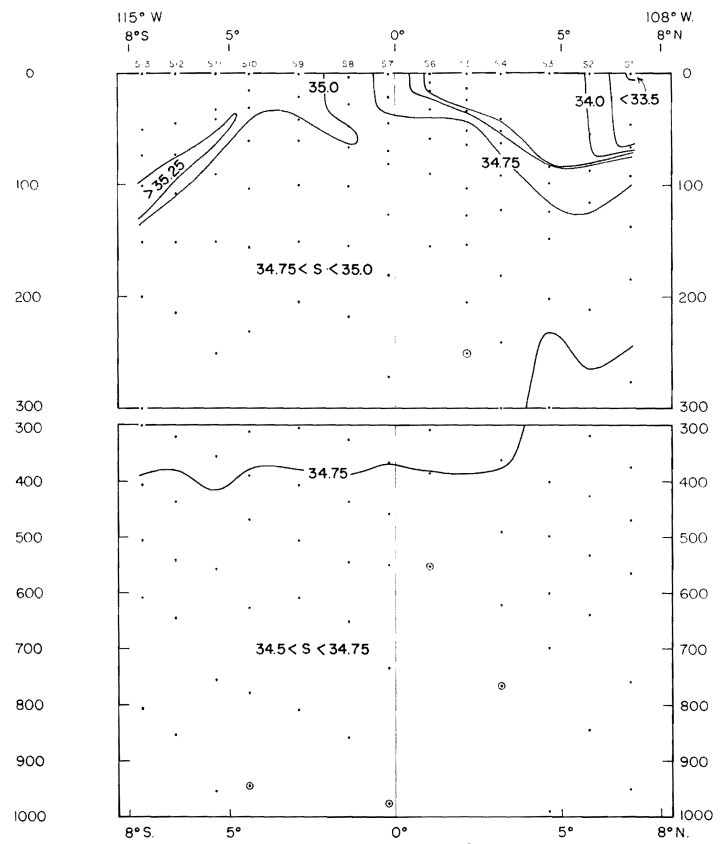


FIG. 25

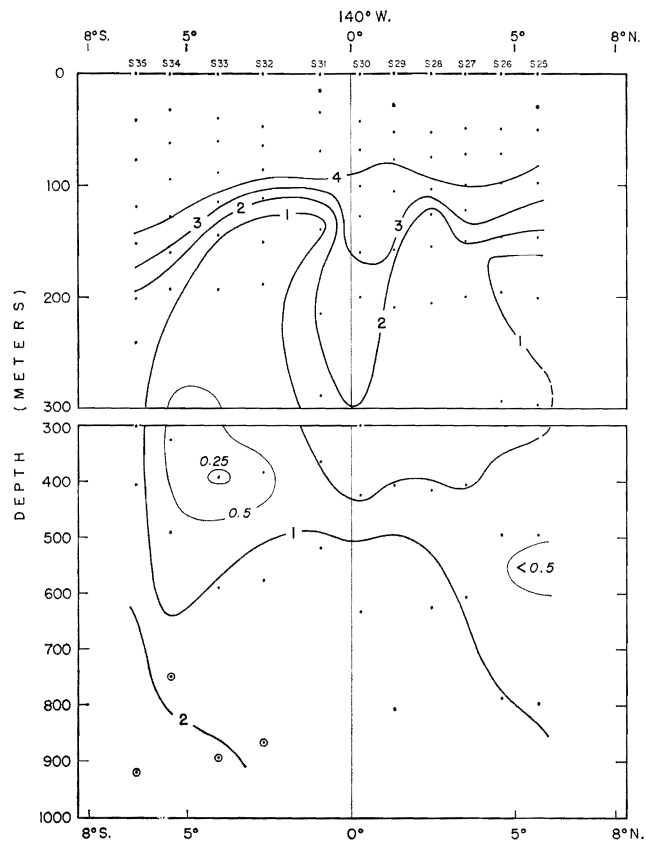


SEC. 140

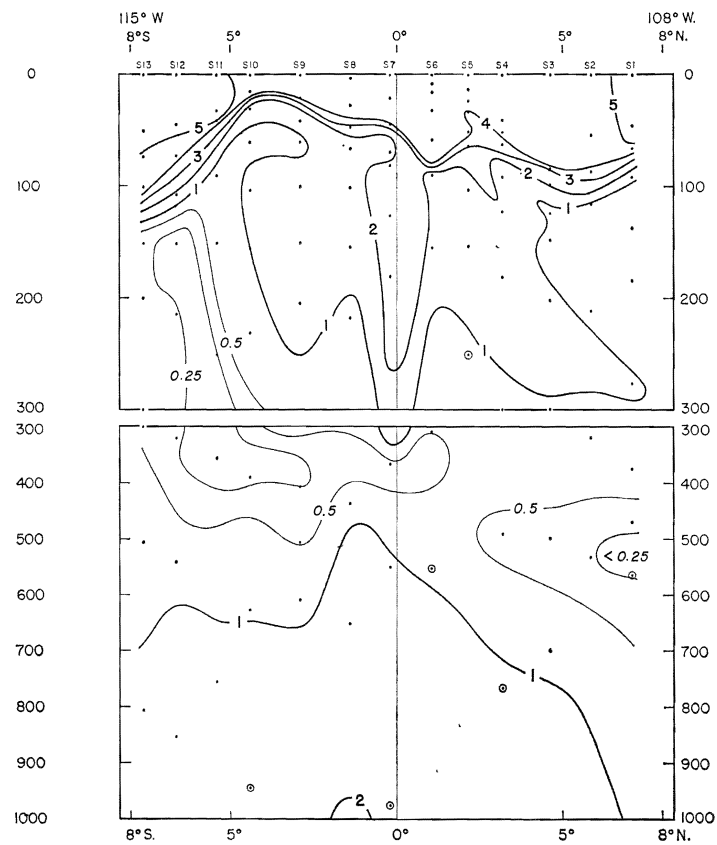


SEC. 115-108

S
FIG. 26

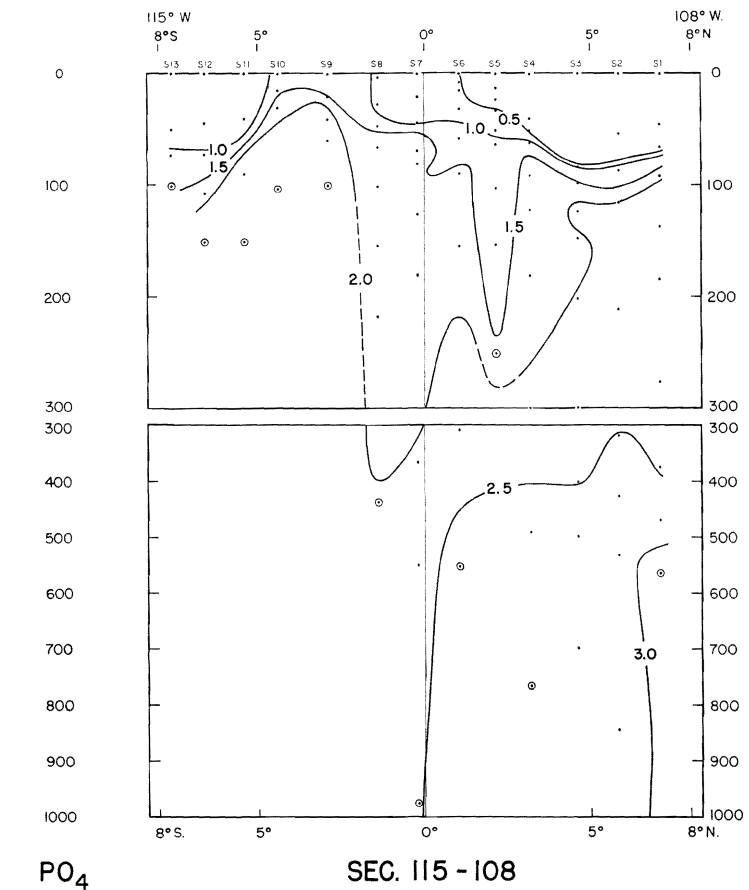
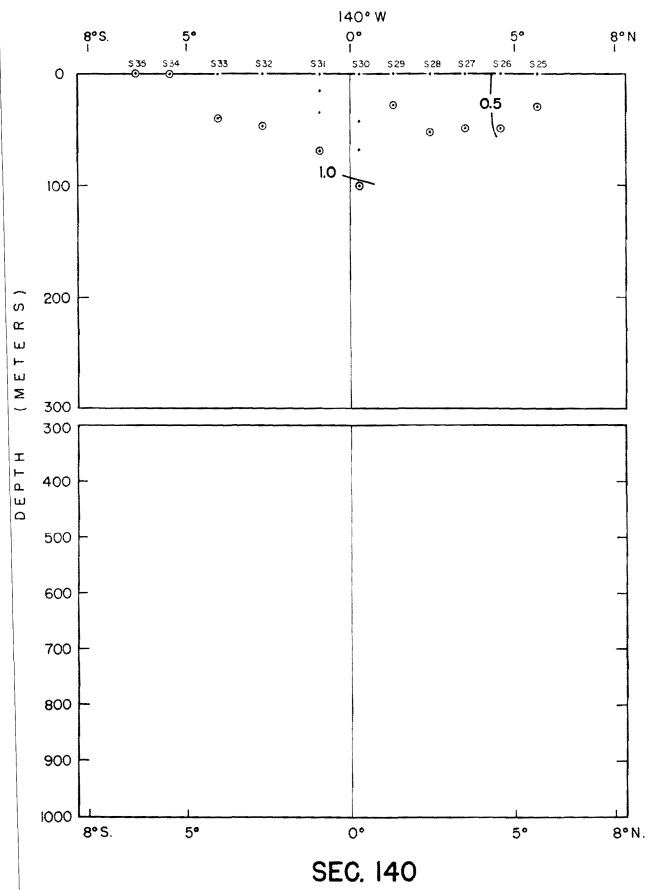


SEC. 140

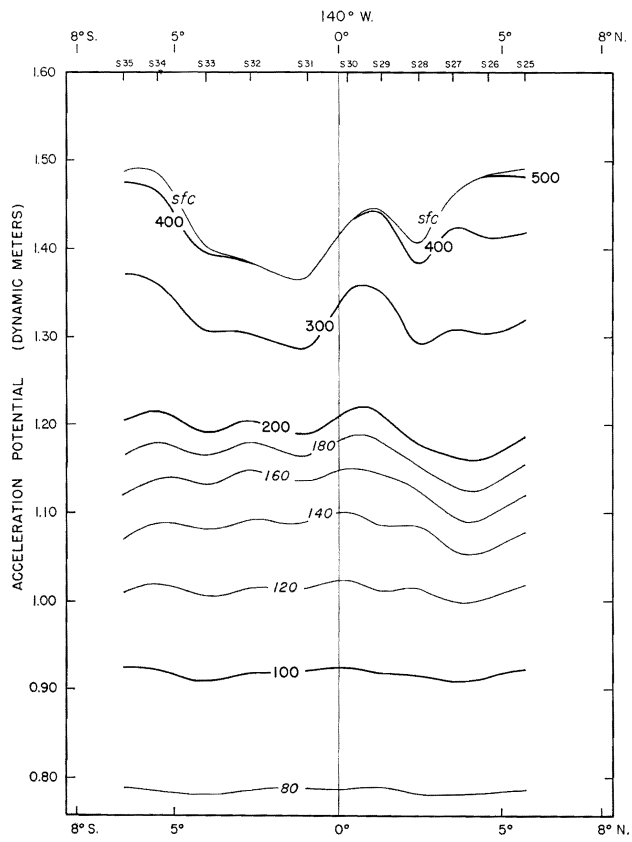


SEC. 115-108

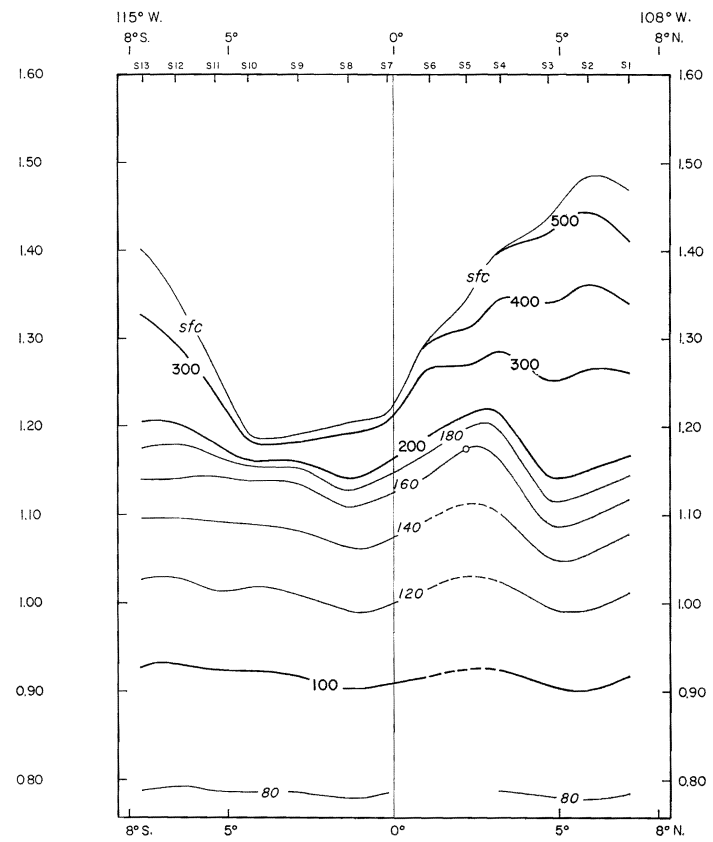
O₂
 FIG. 27



PO₄
 FIG. 28

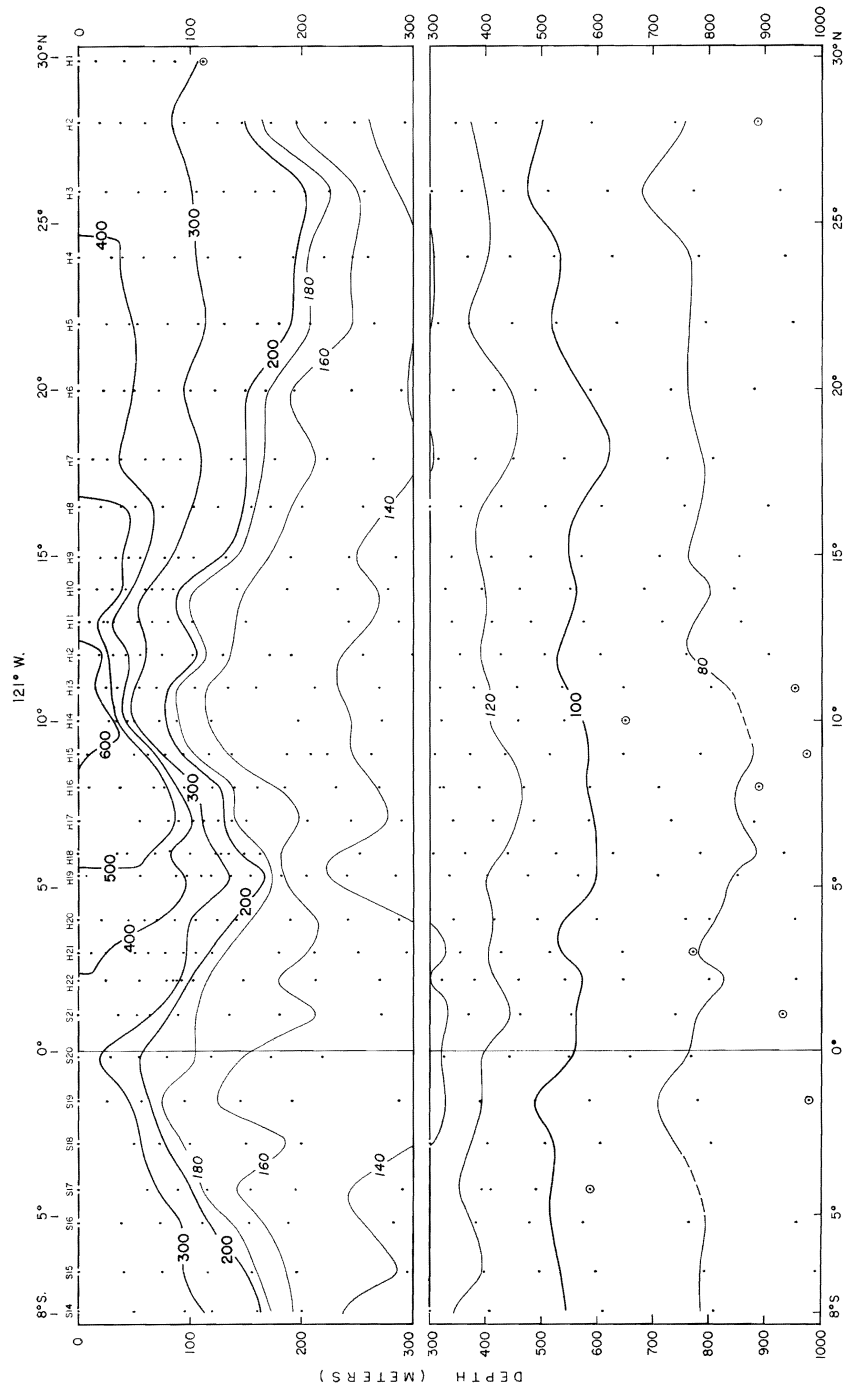


SEC. 140

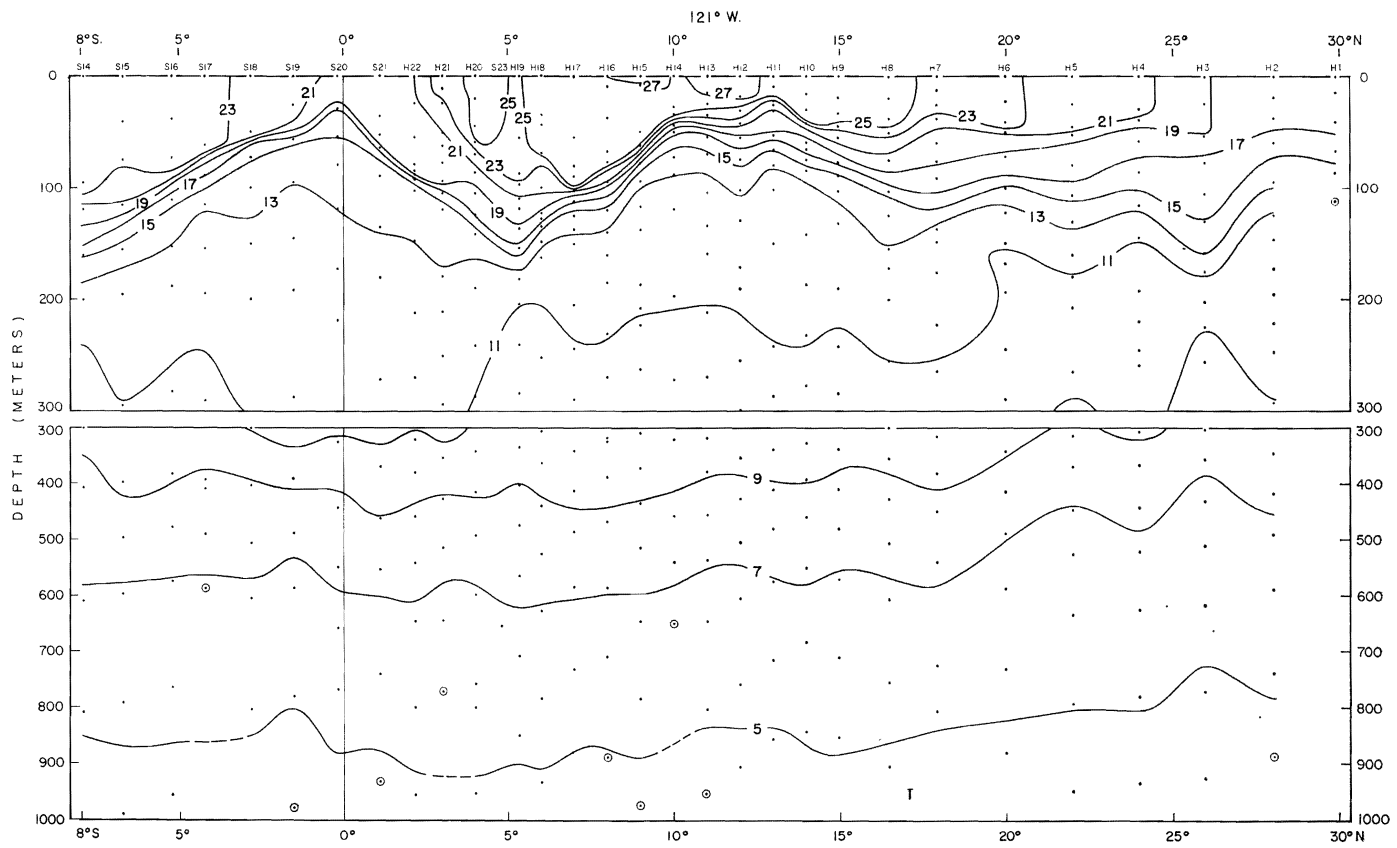


SEC. 115-108

A P
FIG. 29

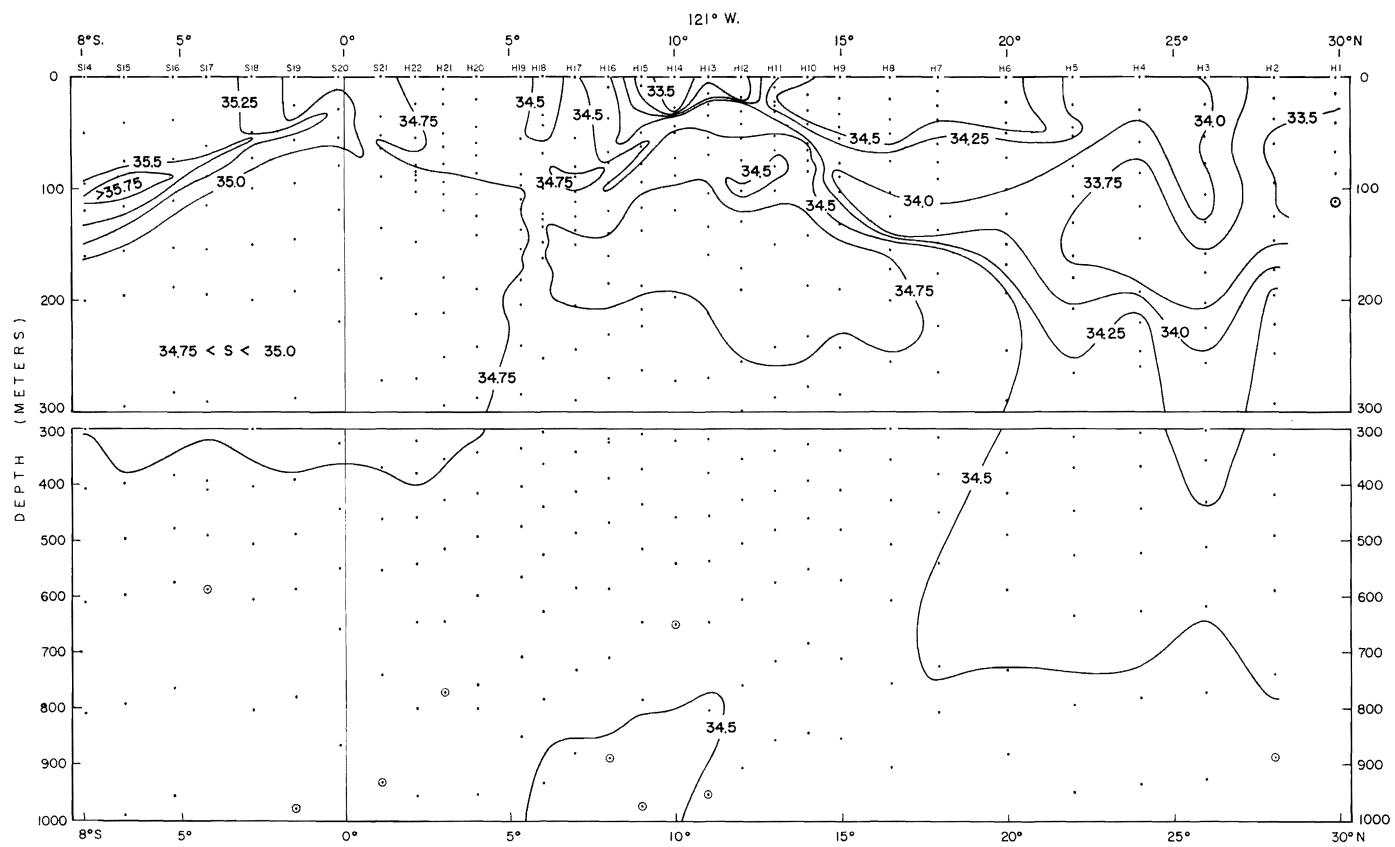


SEC. 121 δT
FIG. 30



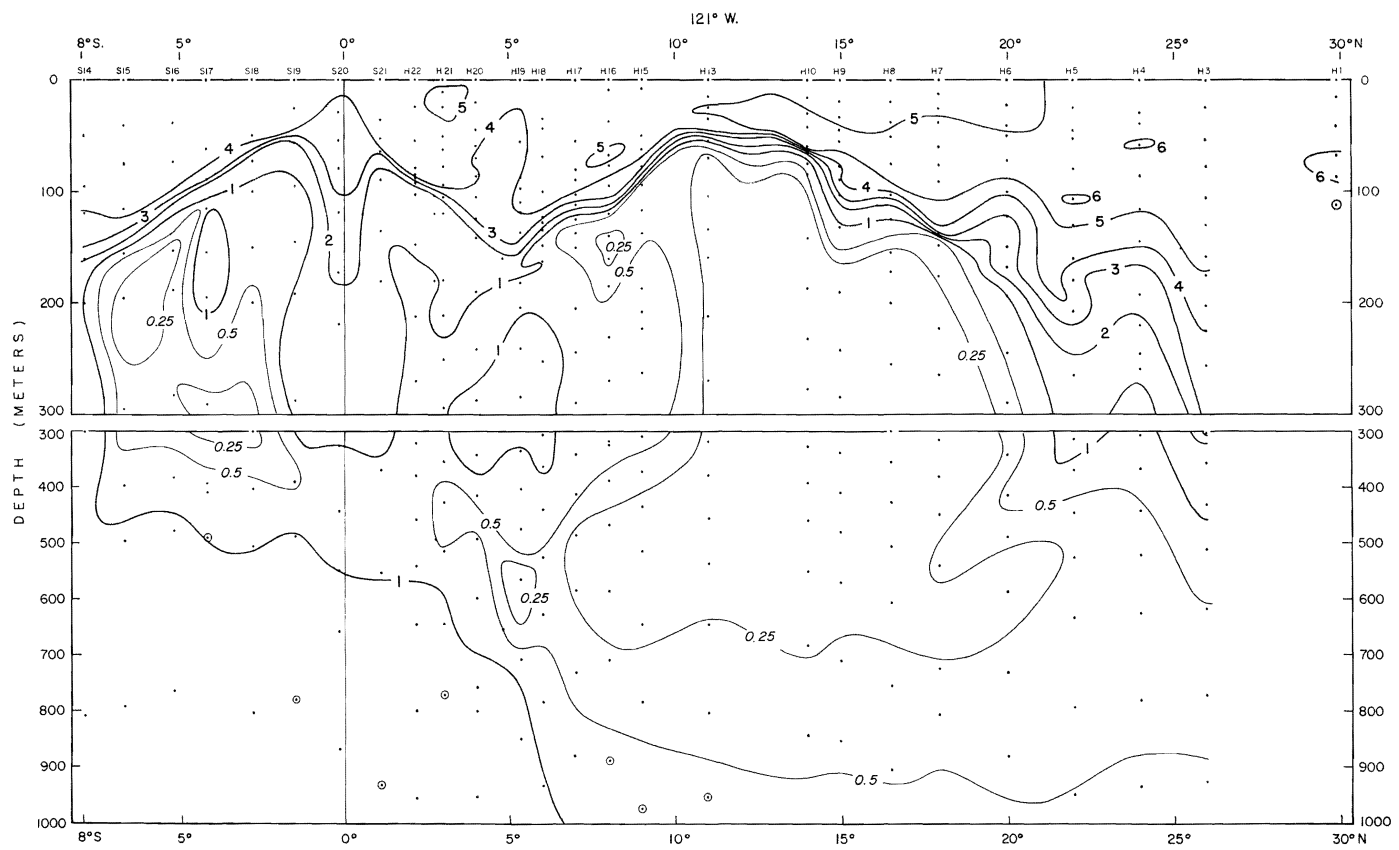
SEC. 121 T

FIG. 31

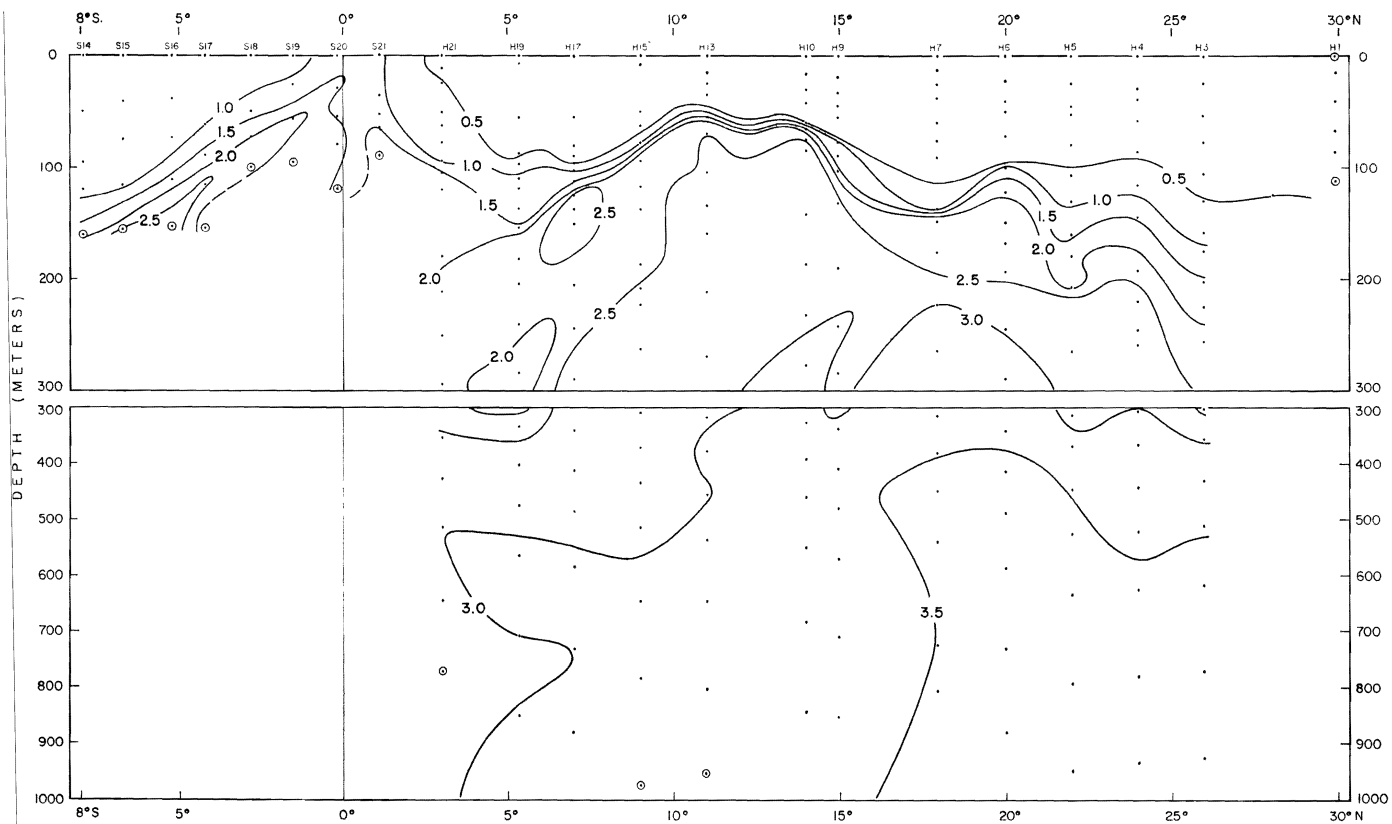


SEC. I21 S

FIG. 32

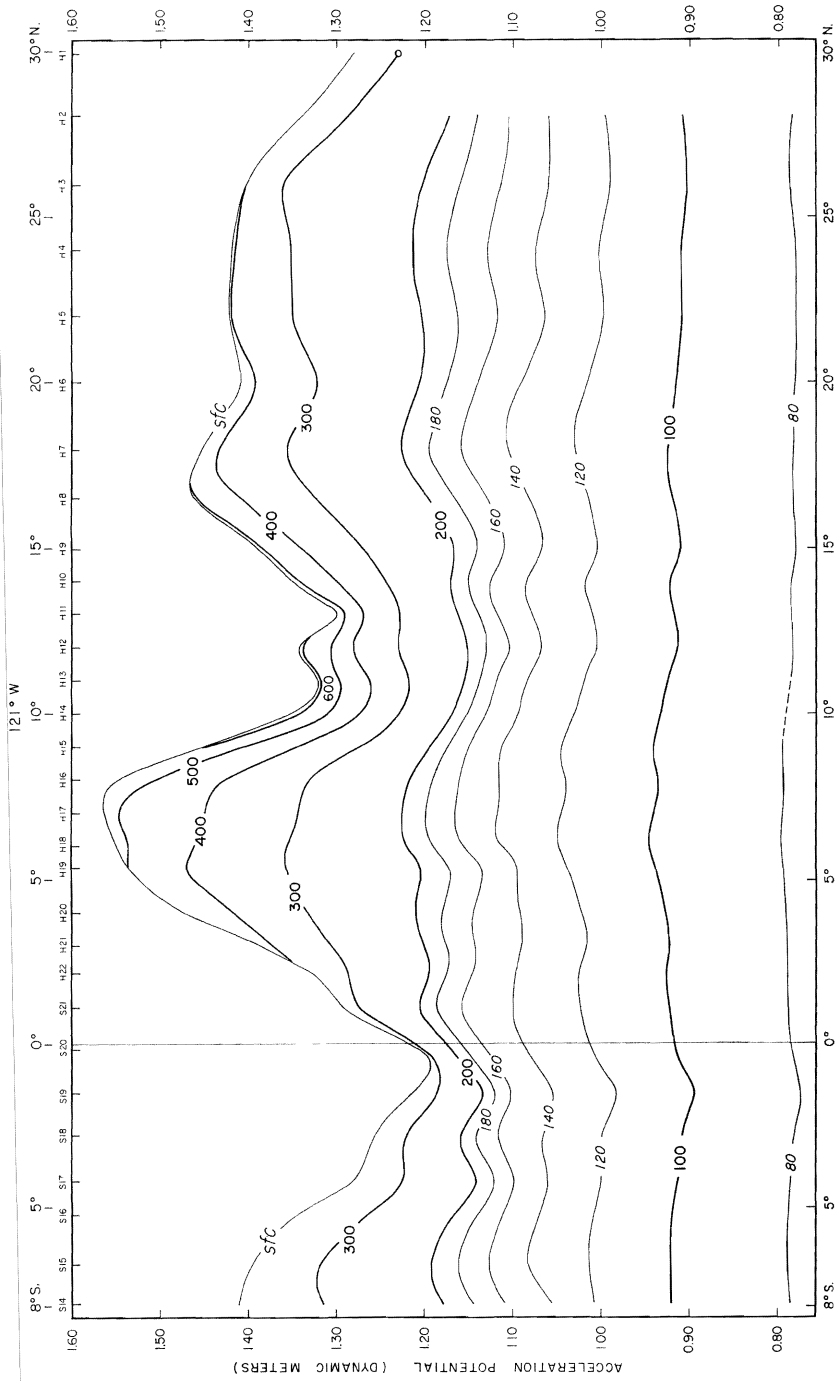


SEC. 121 O₂
 FIG. 33



SEC. 121 PO₄

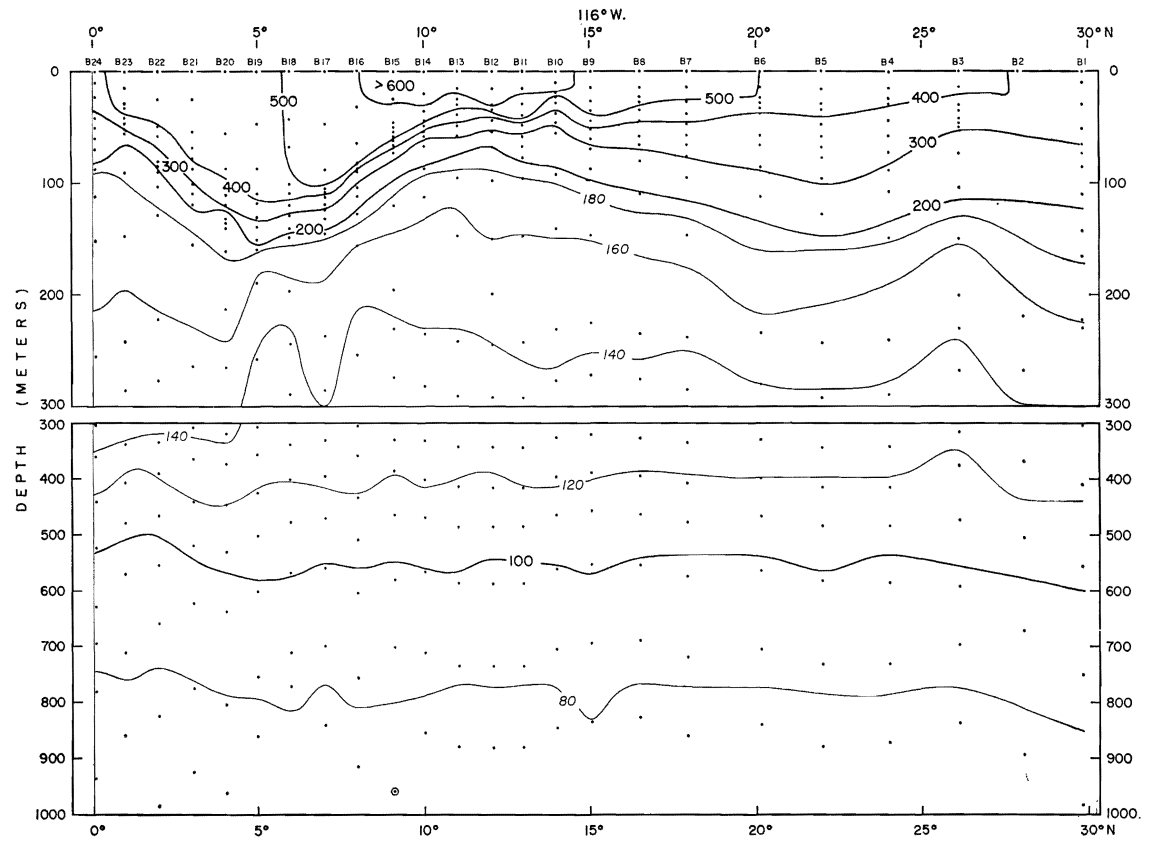
FIG. 34



SEC 121 A P

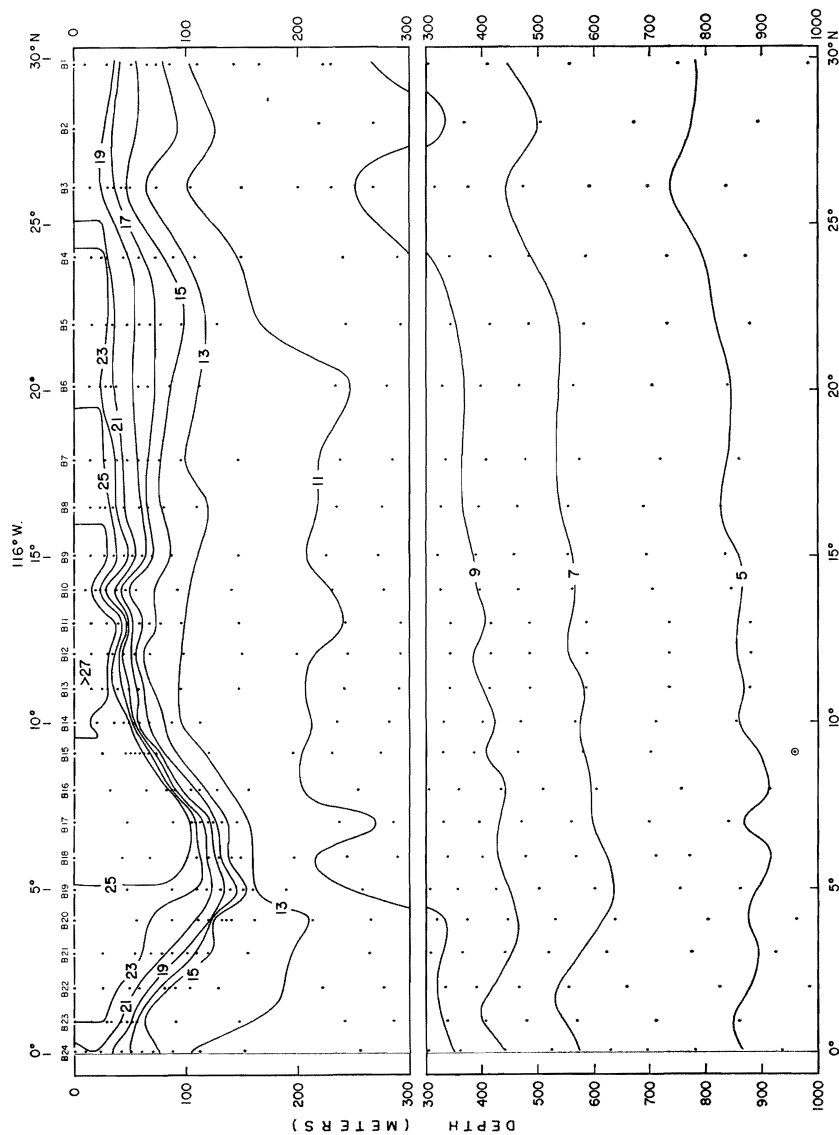
FIG. 35



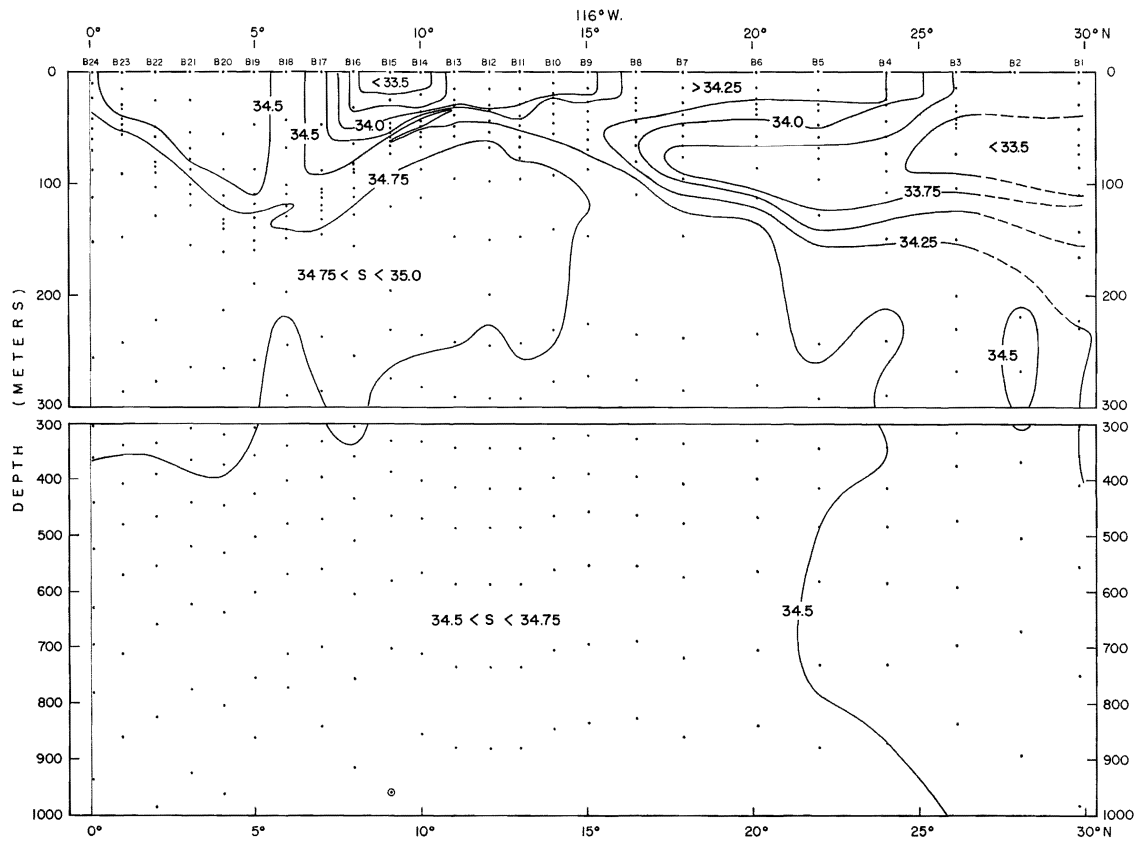


SEC. 116 δ_T

FIG. 36

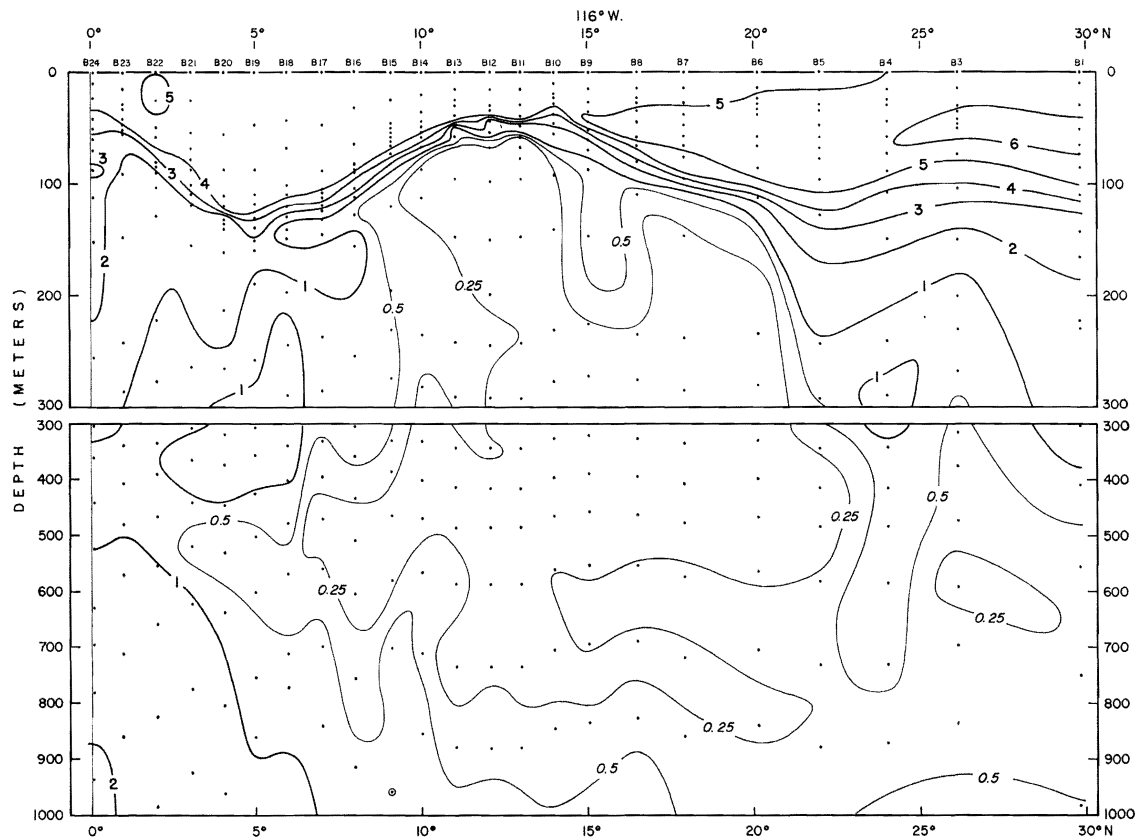


SEC. 116 T
FIG. 37



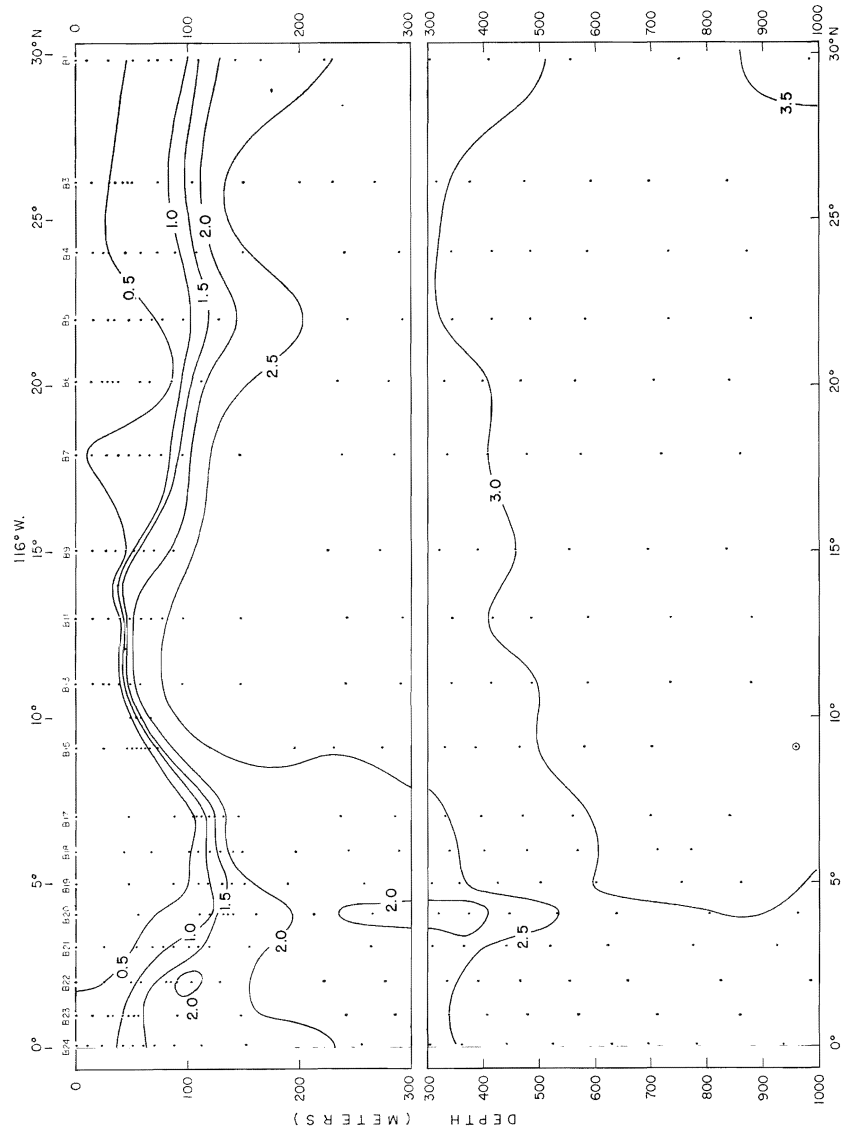
SEC. II6 S

FIG. 38



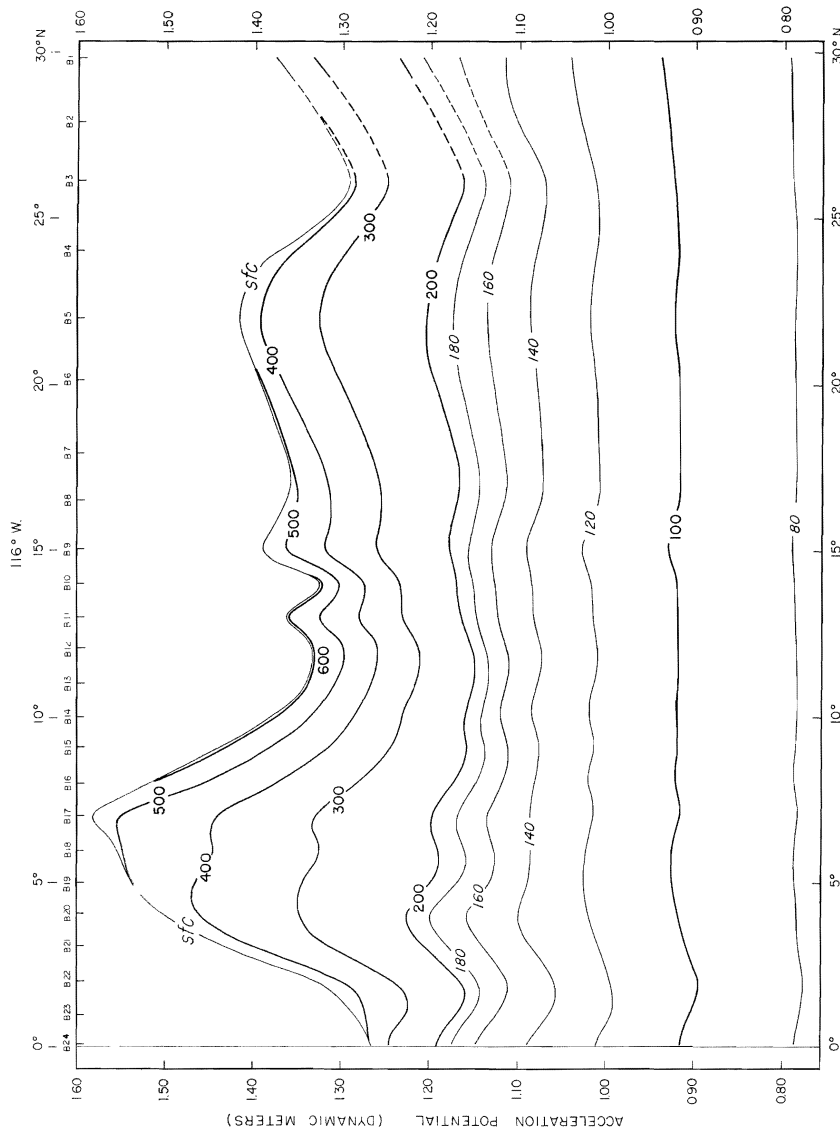
SEC. 116 O_2

FIG. 39



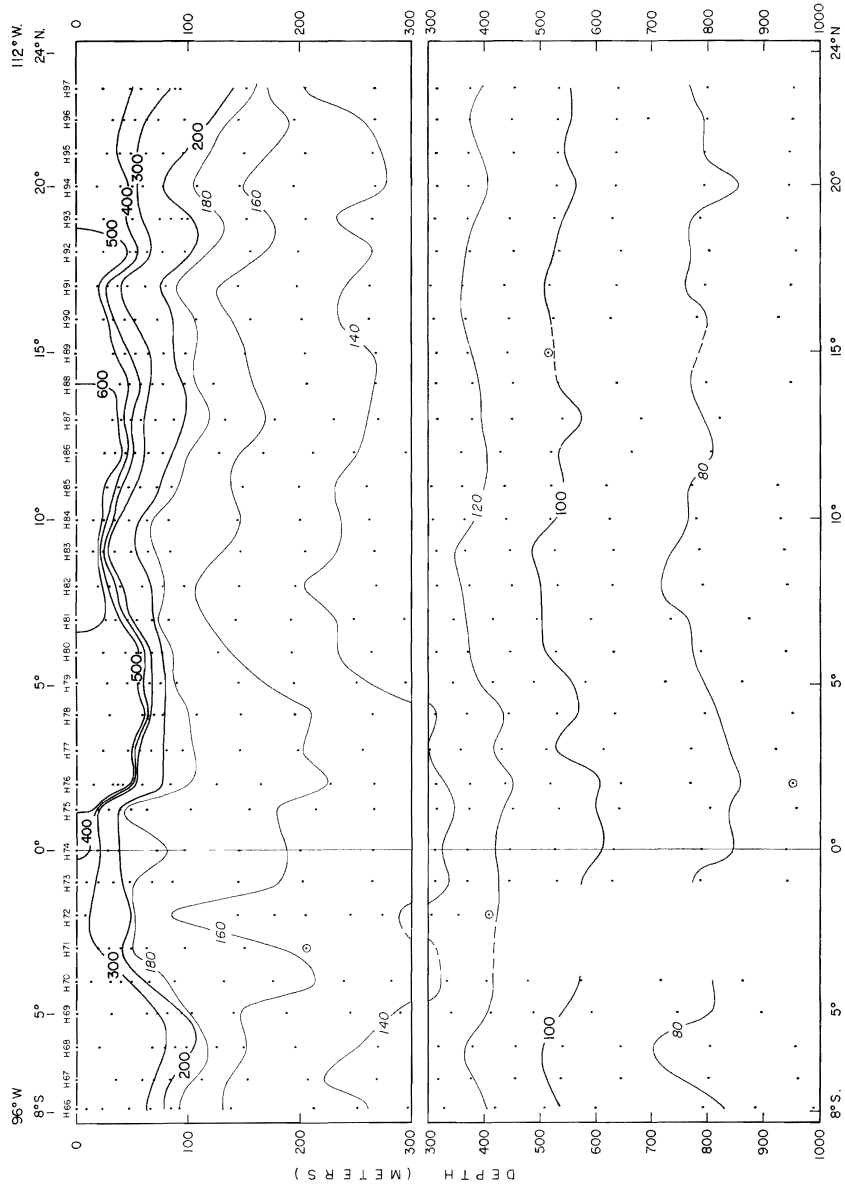
SEC. 116 PO₄

FIG. 40



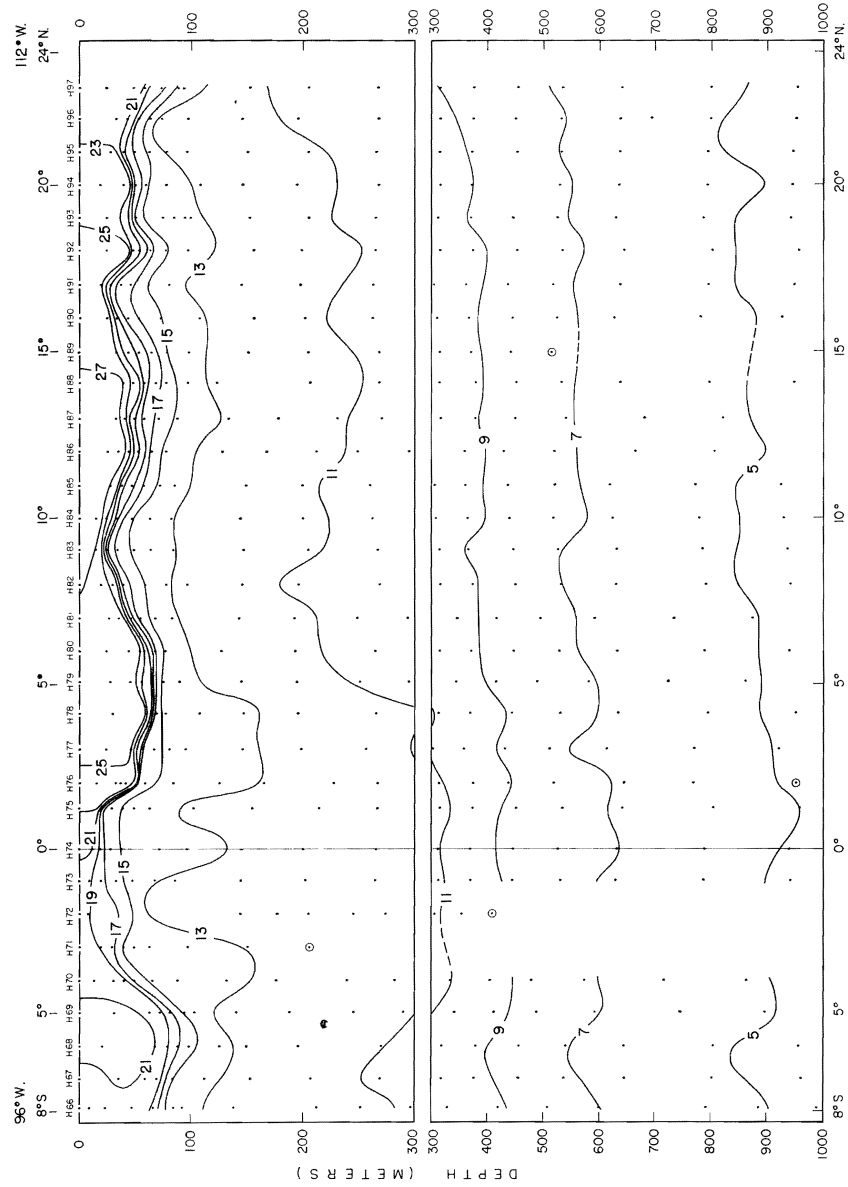
SEC. 116 A P

FIG. 41



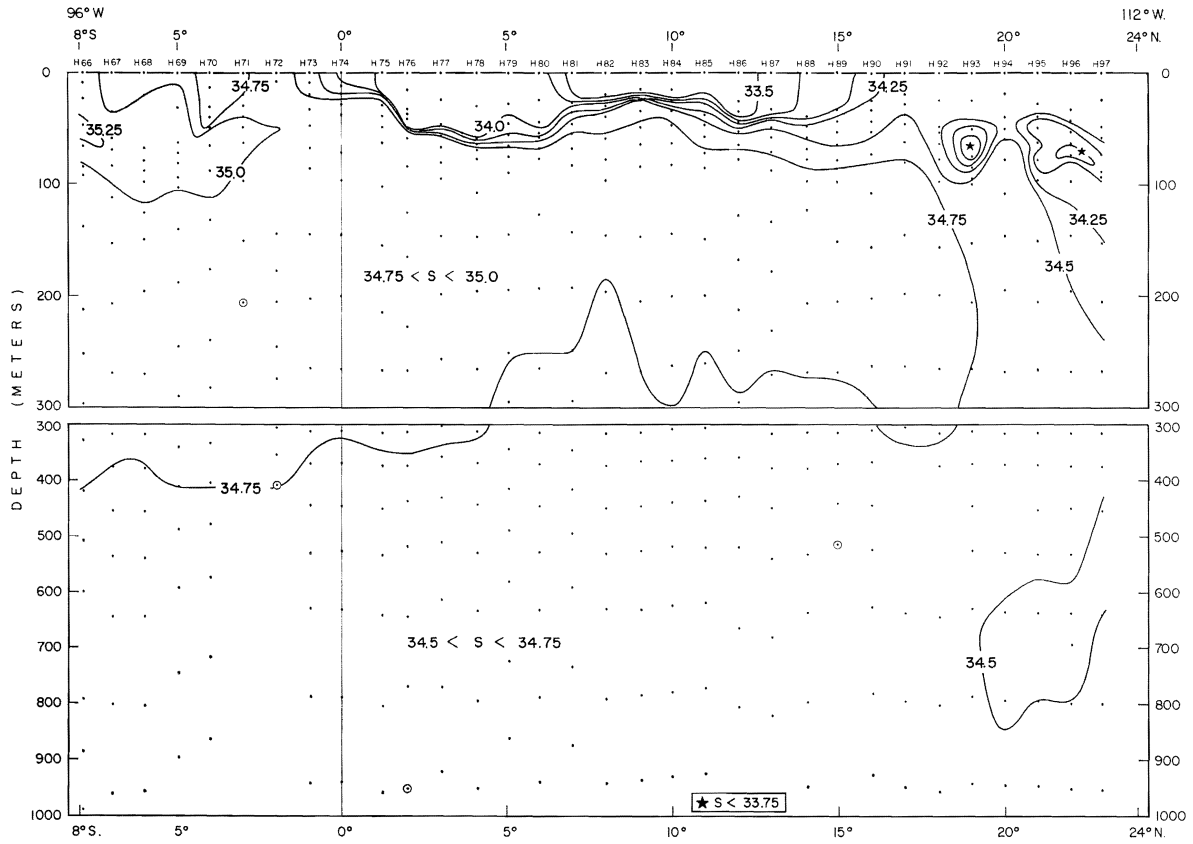
SEC. 96-112 δ_t

FIG. 42



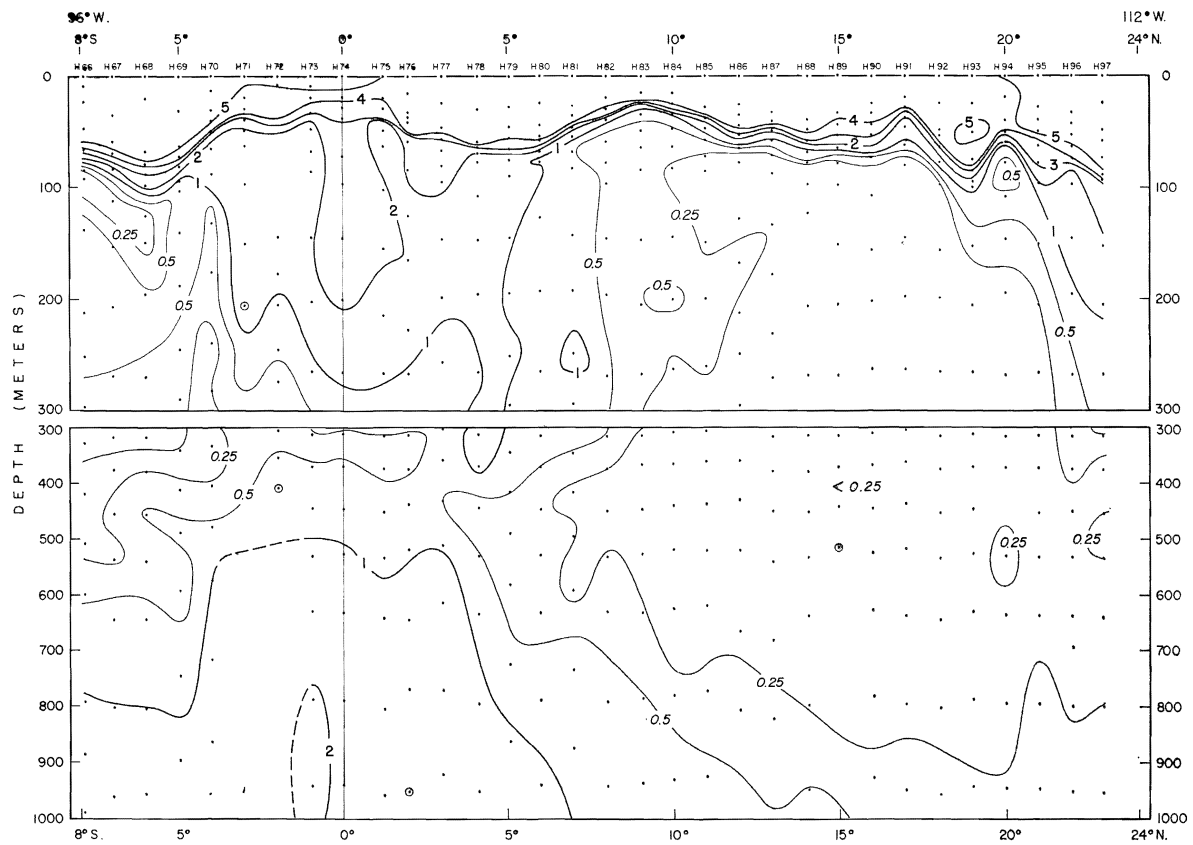
SEC. 96-112 T

FIG. 43



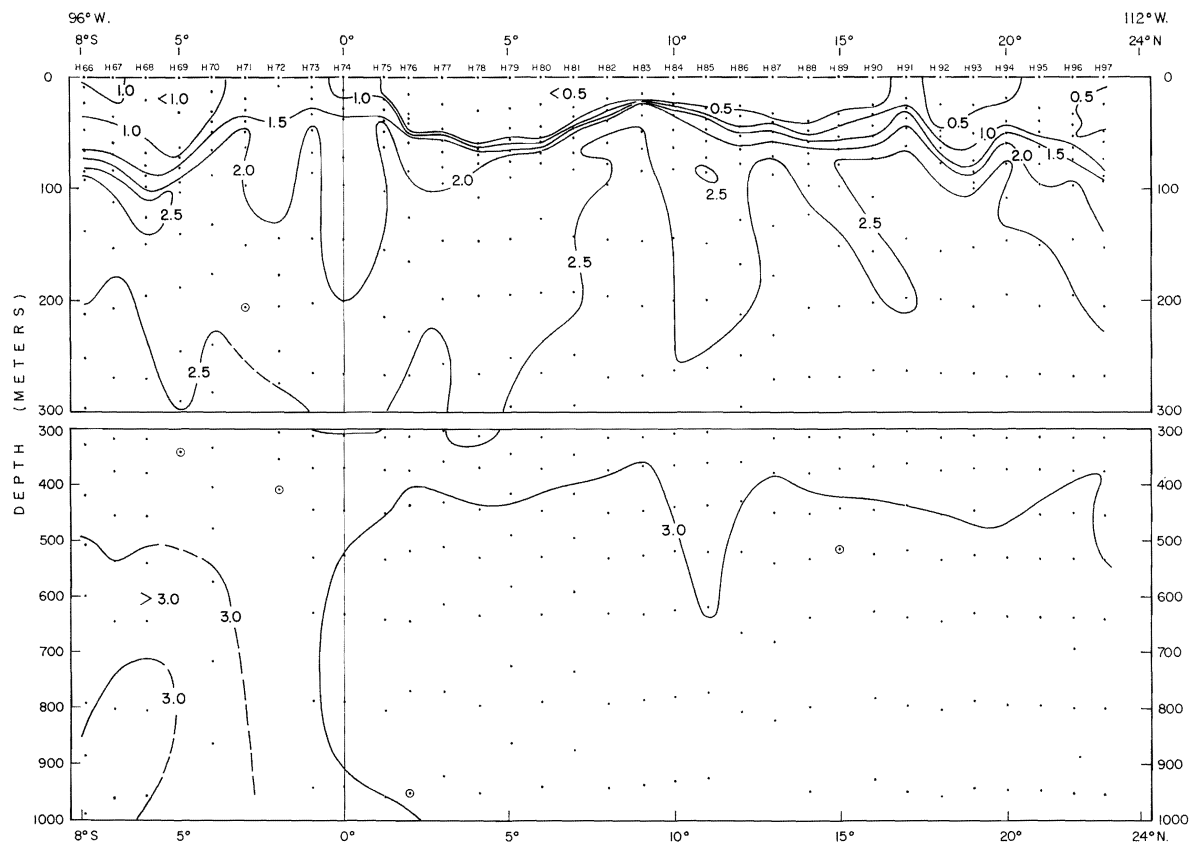
SEC. 96-112 S

FIG. 44



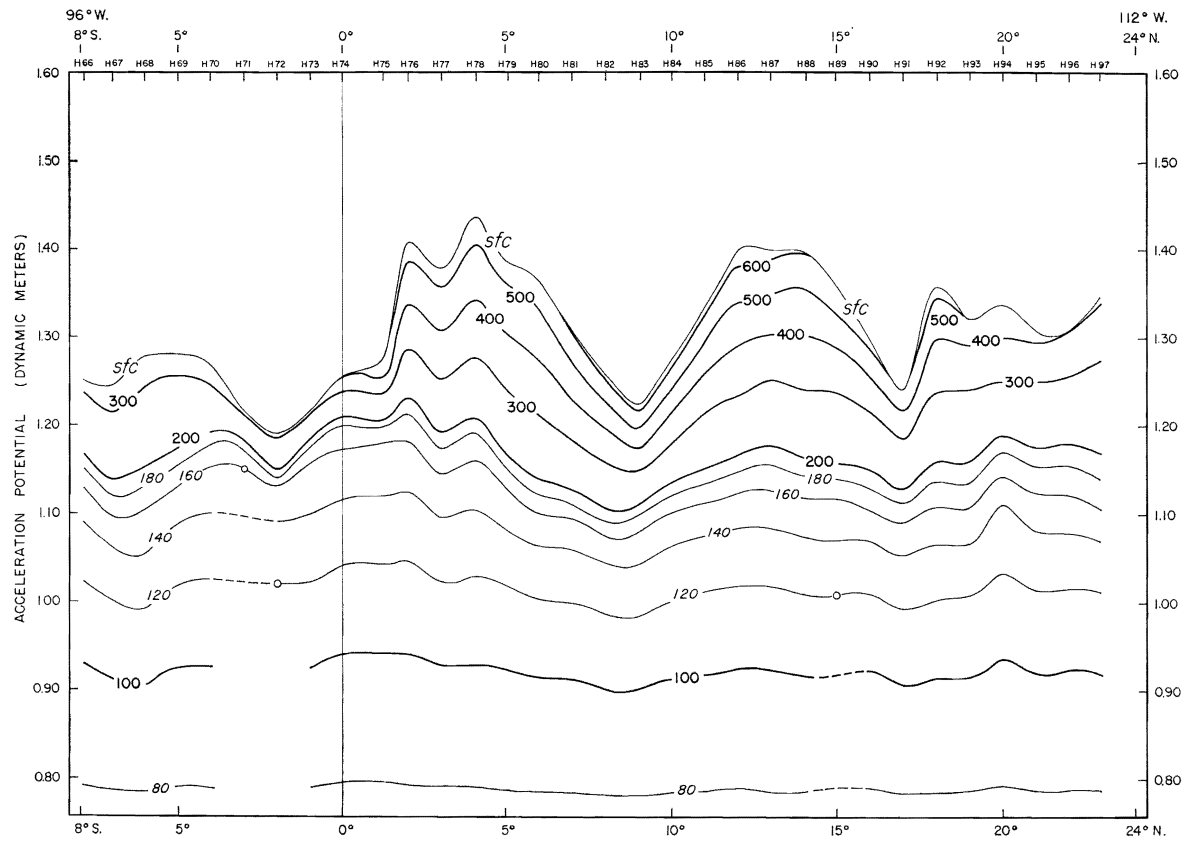
SEC. 96-112 O₂

FIG. 45



SEC. 96-112 PO₄

FIG. 46



SEC 96-112 A P

FIG. 47

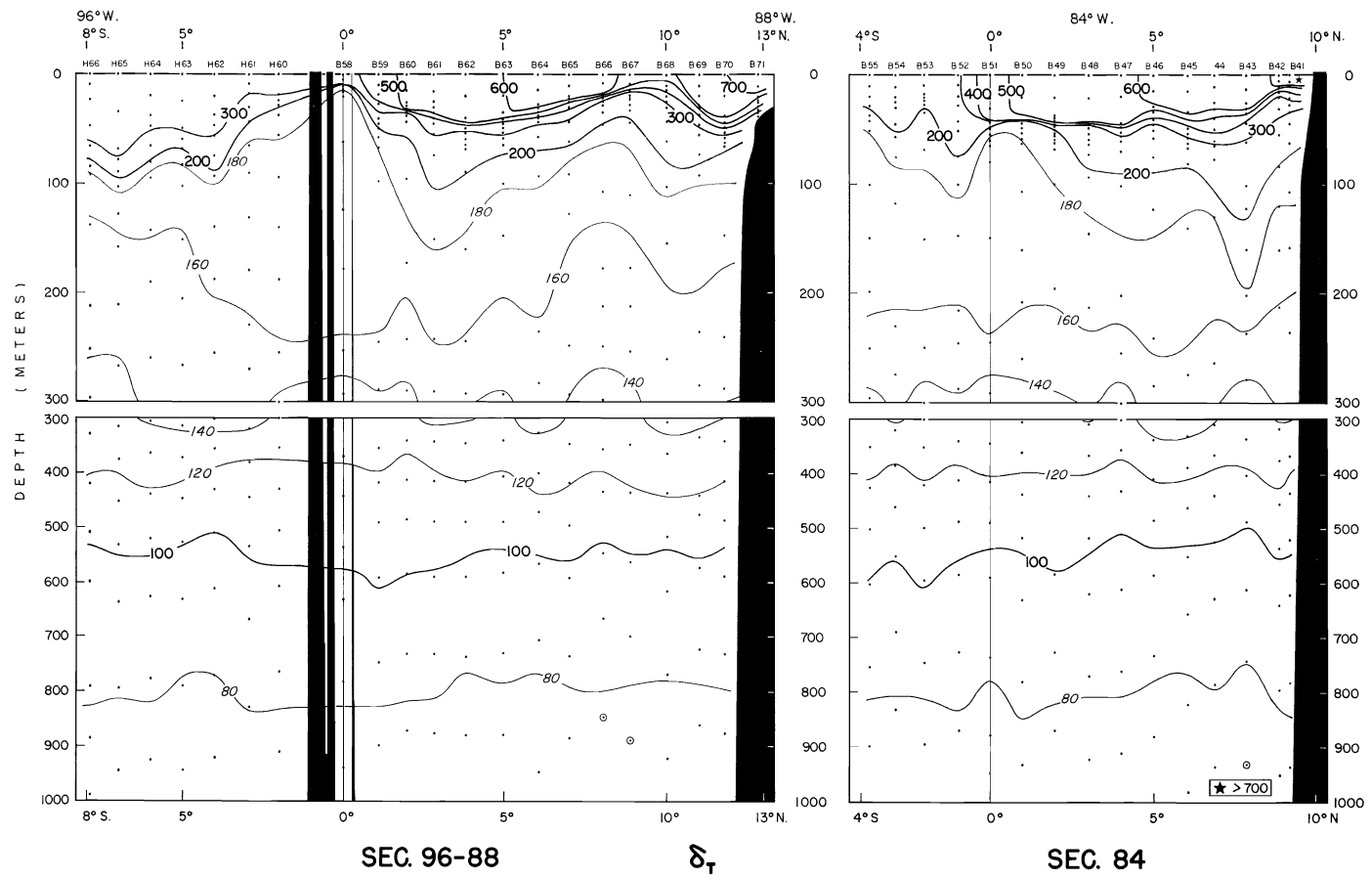


FIG. 48

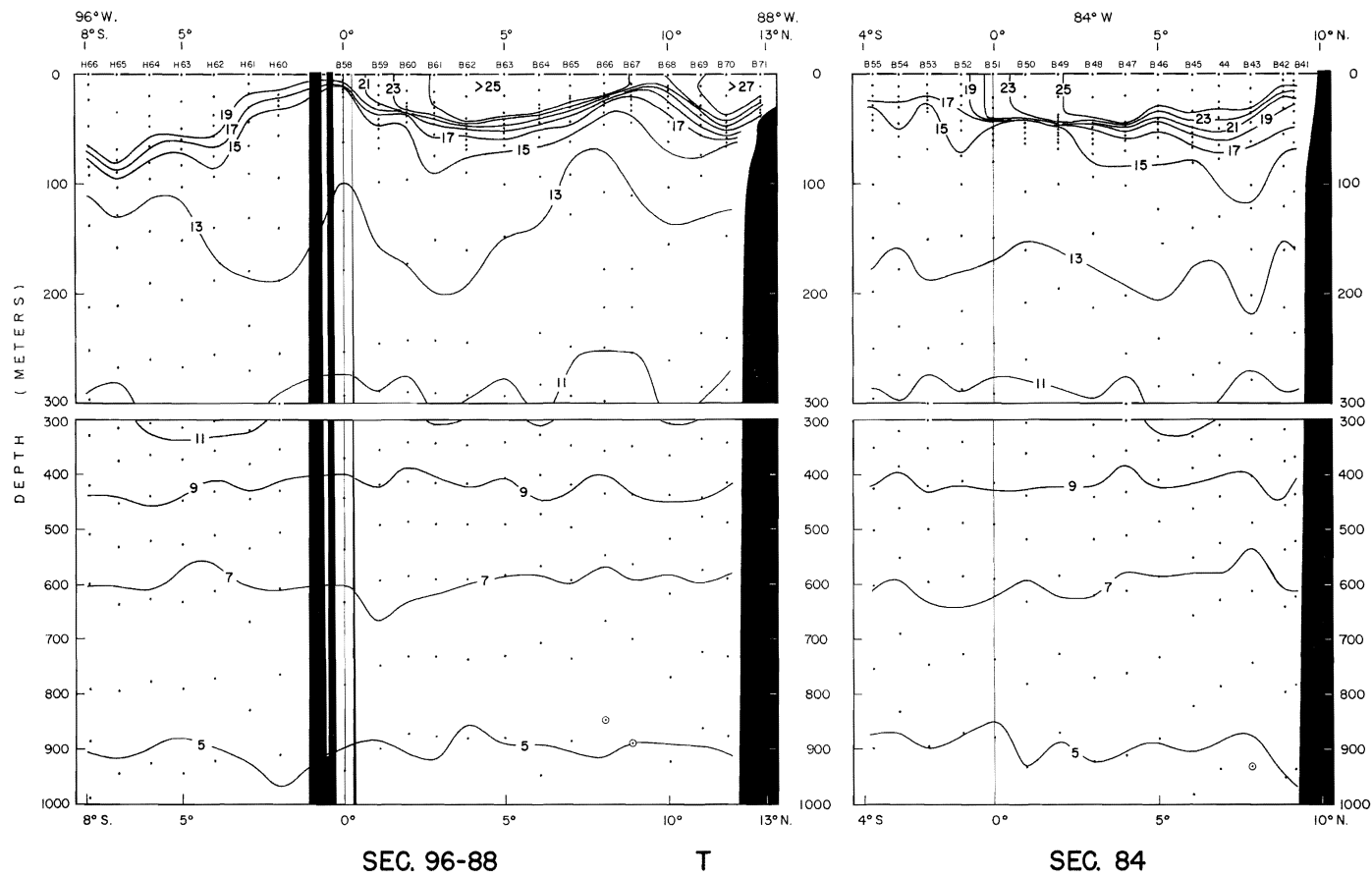
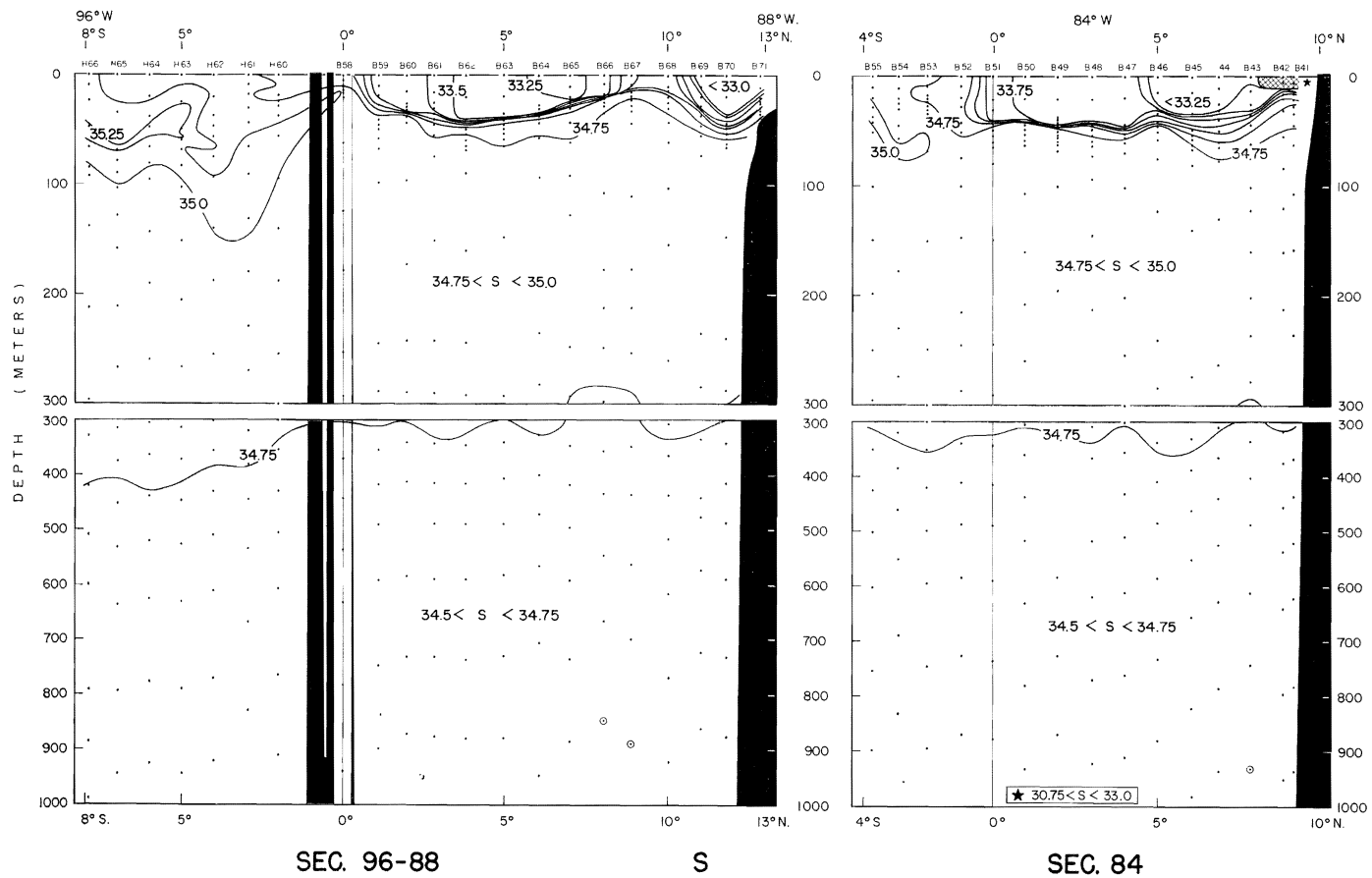


FIG. 49



S
 FIG. 50

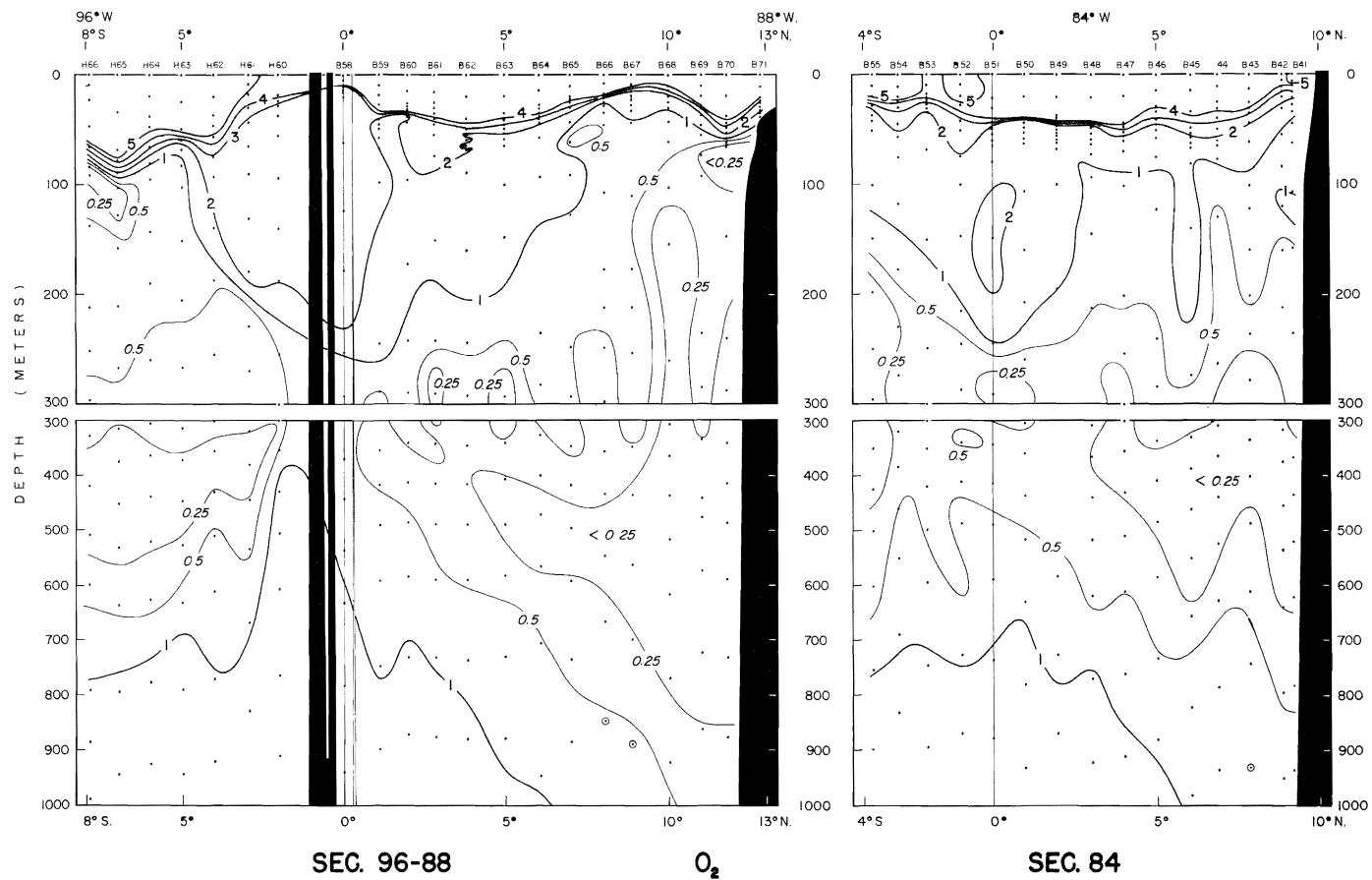


FIG. 51

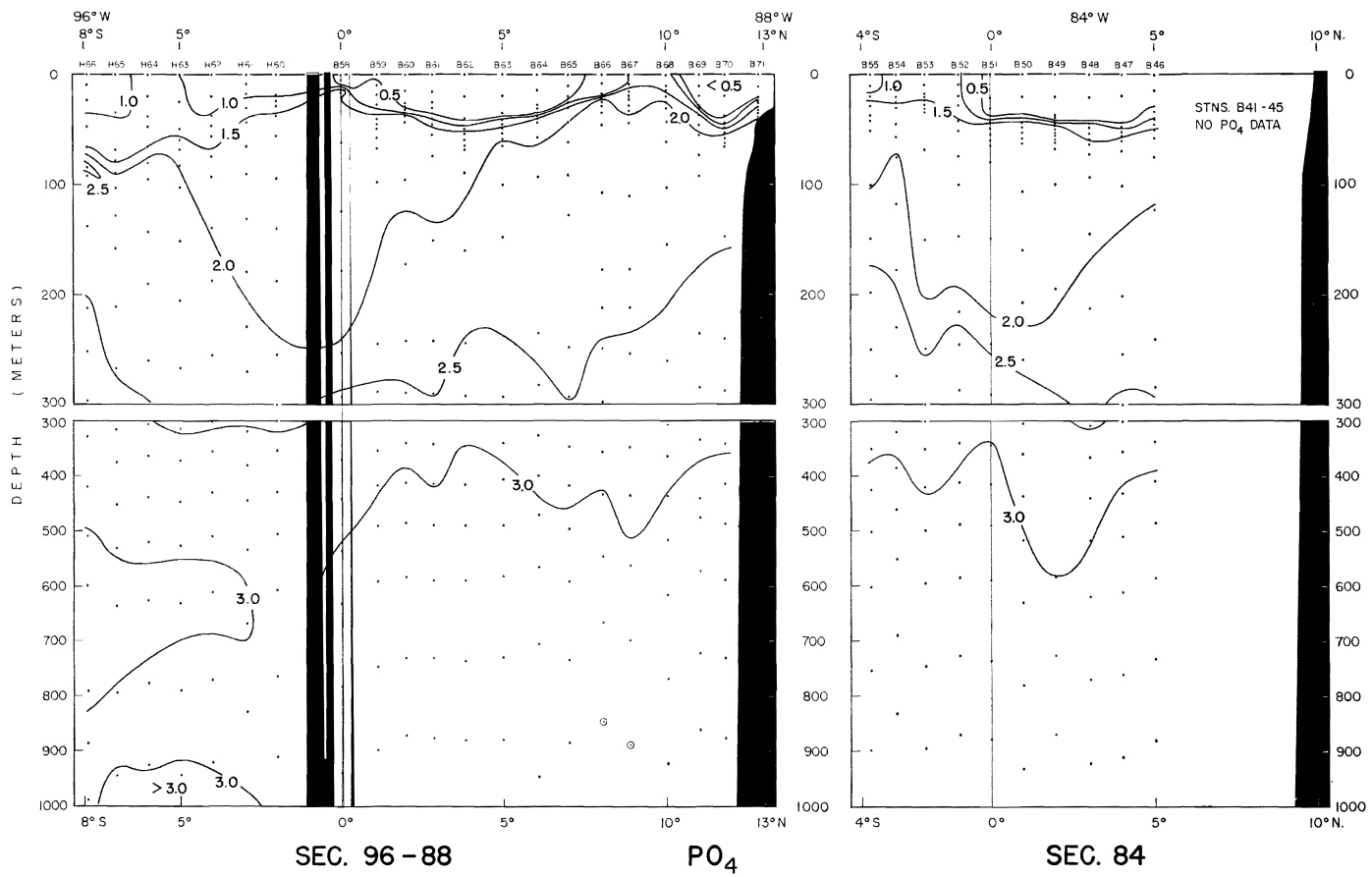


FIG. 52

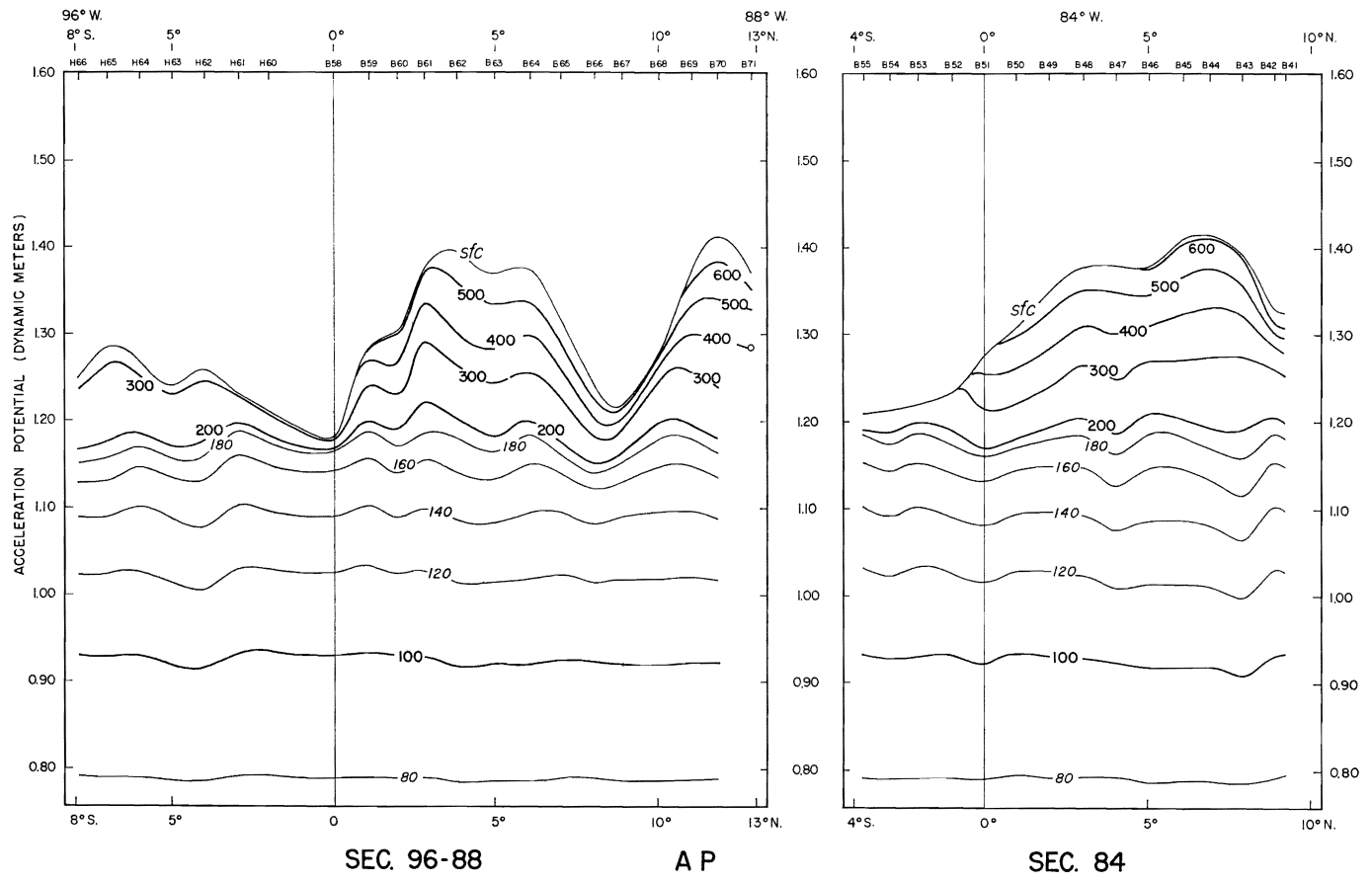


FIG. 53

