

01084

3



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DOCTORADO POR INVESTIGACIÓN EN GEOGRAFÍA

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS
OCÉANOS

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

ALMA ROSA PADILLA PILOTZE

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A EOLO Y TEMOLTZIN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Agradezco a mis sinodales:

Dr. Juan Heberto Gaviño Rodríguez

Dr. Valentino Sorani Dalbon

Dr. Raúl Aguirre Gómez

Dr. Juan Carlos Gómez Rojas

Dr. Jorge López Blanco

Dra. Silvana Levi Levi

Dr. Arturo Mejía Ramírez

Por su valiosa atención y comentarios
en la revisión de la presente tesis.

A Miguel Ángel Alatorre Mendieta
le expreso mi gratitud por todo el
apoyo que me brindó.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla de contenido.

Capítulo	Título	Página.
	Resumen.	1
1	Introducción.	3
1.1	Los sistemas de información y su importancia.	3
1.2	Algunos aspectos de la oceanografía.	6
1.3	Objetivo.	7
2	Los datos.	9
2.1	Adquisición de datos.	9
2.2	Procesamiento tradicional de los datos.	10
3	Conceptos teóricos.	15
3.1	Conceptos generales.	15
3.2	Modelo entidad-relación.	16
3.2.1	Entidad, conjunto de entidades y atributos.	17
3.2.2	Relación-ligada y conjunto de relaciones.	17
3.2.3	Definición de conjuntos.	19
3.2.4	Mapeo.	20
3.2.5	Llave.	22
3.2.6	Diagrama y tablas.	23
3.2.7	Generalización y agregación.	25
4	Definición del modelo conceptual.	29
4.1	Conjuntos de entidades, sus atributos y llaves.	29
4.2	Conjuntos de relaciones y sus atributos.	32
4.3	Esquema del modelo conceptual.	32
4.4	Definición del tipo de datos.	34
4.5	Funciones de la base de datos.	35
5	Sistema explotador.	37
5.1	Consulta.	37
5.2	Procesamiento CTD.	38
5.2.1	Limpia.	39
5.2.2	Niveles.	41
5.2.3	Gráficos de estaciones.	42
5.2.4	Gráficos de perfiles.	47
5.2.5	Gráficos de cortes horizontales.	53
5.2.6	Gráficos de cortes verticales.	60
5.3	Procesamiento viento.	64
5.3.1	Tabla.	67
5.3.2	Gráficos de la profundidad de Ekman.	68
5.3.3	Gráficos del campo del viento.	70

6	Resultado.	73
6.1	Aplicación.	74
6.1.1	Resumen (del trabajo de aplicación).	75
6.1.2	Introducción (del trabajo de aplicación).	75
6.1.3	Materiales y métodos (del trabajo de aplicación).	76
6.1.4	Discusión (del trabajo de aplicación).	87
6.1.5	Conclusiones (del trabajo de aplicación).	89
7	Discusiones y conclusiones.	91
	Bibliografía.	95

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Índice de figuras.

3.1	Conjunto de relaciones binarias entre los conjuntos EST y APTS.	18
3.2	Mapeo 1:1.	21
3.3	Mapeo 1:n.	21
3.4	Mapeo n:1.	21
3.5	Mapeo n:n.	22
3.6	Generalización.	26
4.1	Esquema conceptual del SIGO.	33
5.1	Estaciones oceanográficas MOPPED 17.	43
5.2	Estaciones oceanográficas MOPEED 17 (impresión).	46
5.3	Perfiles de estación 1 del crucero MOPEED 17.	50
5.4	Perfiles (impresión)	51
5.5	Diagrama de dispersión (impresión).	52
5.6	Distribución horizontal de densidad a 5 m de profundidad crucero MOPEED 17.	58
5.7	Distribución horizontal de densidad a 5 m de profundidad crucero MOPEED 17 (impresión).	59
5.8	Distribución vertical de densidad, transecto II Del crucero MOPEED 17.	62
5.9	Distribución vertical de σ_t , transecto II Del crucero MOPEED 17(impresión).	63
5.10	Información que muestra la función tabla, de la estación 1 a la estación 20 del crucero MOPEED 17.	68
5.11	Capa de Ekman en el transecto I del crucero MOPEED 17.	69
5.12	Campo del viento durante el crucero MOPEED 17.	70
5.13	Campo del viento durante el crucero MOPEED 17. (impresión).	71
6.1	Área de estudio.	76
6.2	Distribución superficial de temperatura. Datos del CTD procesamiento manual combinado con paquete GRASS.	78
6.3	Distribución superficial de temperatura. Datos del CTD procesamiento con paquetes ARC/info y GRASS.	78
6.4.a	Distribución superficial de temperatura. Datos del CTD procesamiento con el SIGO.	79
6.4.b	Distribución horizontal de temperatura a 10 m. Datos del CTD procesamiento con el SIGO.	80
6.5.a	Distribución vertical de temperatura en el transecto I. Datos del CTD procesamiento con el SIGO.	81
6.5.b	Distribución vertical de temperatura en el transecto II. Datos del CTD procesamiento con el SIGO.	82

6.6	Imágenes y estaciones ubicadas en el tiempo.	84
6.7	Datos por píxel.	84
6.8	Compuesto máxima.	86
6.9	Compuesto promedio.	86
6.10	Compuesto tiempo.	86
6.11	Series de temperaturas CTD, máxima, promedio y tiempo.	87

Índice de tablas.

6.1	Diferencia de temperaturas.	89
-----	-----------------------------	----

RESUMEN.

En la actualidad la Geografía como la mayoría de las ciencias no puede prescindir de la computación, debido a los grandes volúmenes de datos que son capturados gracias al acelerado desarrollo tecnológico de los más sofisticados instrumentos para tales efectos. La Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con dos buques de investigación oceanográfica, con los que se ha recolectado una gran cantidad de datos de diferentes áreas de estudio. Una parte considerable de los datos de la física marina no han sido procesados por la falta de paquetes computacionales adecuados. El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un sistema computacional para el manejo de los datos y generación de la información, lo que respondió a una necesidad extremadamente específica de un grupo de investigación universitario multidisciplinario. Con la construcción del sistema computacional se persigue contribuir a las investigaciones de la oceanografía en México, al proporcionar elementos que faciliten su estudio. El sistema de información geográfica de los océanos (SIGO) está enfocado a la física marina y se implementó con fundamentos en sistemas computacionales. El SIGO consta de dos partes un modelo conceptual para una base de datos y un sistema explotador. El modelo conceptual se basó en el modelo entidad-relación que incorpora información semántica de importancia sobre el mundo real, que puede ser utilizada para unificar diferentes vistas de los datos, cuenta con un alto grado de independencia de datos y se basa en la teoría relacional y de conjuntos. El SIGO cumple con las funciones de una base de datos y su sistema explotador cuenta con las funciones más utilizadas en el procesamiento de parámetros físicos. Se elaboró un reporte técnico de datos (Padilla, 2001) que sirvió para examinar teóricamente el funcionamiento del modelo conceptual y el sistema explotador. Se presenta un ejemplo de su aplicación en un trabajo de investigación, el cual se eligió debido a que su objetivo fue cotejar diferentes representaciones gráficas de un mismo campo de la temperatura superficial del mar, lo que se aprovechó para incluir la gráfica producida por el SIGO y compararla a su vez con las propias del trabajo de investigación. El ejemplo de aplicación fue útil para probar el SIGO en la práctica. Los resultados en ambos casos cumplieron con las expectativas del proyecto.

2



CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se da una breve introducción a los dos temas que se ligán en este trabajo que son los sistemas de información y la oceanografía. Se finaliza con el objetivo que persigue la presente tesis.

1.1 LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y SU IMPORTANCIA.

El crecimiento de la población del mundo está incrementado seriamente sus demandas sobre los recursos naturales: tierra, agua aire y materias primas. La administración de estos recursos en beneficio de toda forma de vida requiere no sólo del entendimiento espacial y temporal de los recursos sino también de la comprensión de los procesos que gobiernan su disponibilidad. La historia ha demostrado que el deterioro de los recursos no renovables que amenacen la supervivencia produce presión y tensión a la superpoblación y la contaminación créese al punto que la vida civilizada sufre una decadencia (Burrough y McDonnell, 1998).

Las necesidades de la sociedad son un desafío para la ciencia que debe encontrar soluciones para asistir a los procesos políticos y económicos responsables de la administración de los recursos del planeta. Para obtener un mejor aprovechamiento de ellos, primero, se precisa saber los recursos con los que se cuenta y su disponibilidad, segundo, entender como están distribuidos sobre la tierra, su extensión, que derechos se tiene sobre ellos y la mejor manera de utilizarlos y administrarlos (*ibídem*).

Las ciencias de la tierra demandan datos espaciales y análisis espacial. El sector público y privado necesitan: planos de caminos y canales, planos de construcciones sobre la costa, planos urbanos y catastrales, conocimiento de la distribución de la tierra y sus recursos en pueblos y ciudades, la distribución de redes: telefónicas, eléctricas, de agua, etc. Una infinidad de datos de alguna u otra forma precisan ser registrados y manejados como datos espaciales ligados a un mapa (*ibídem*).

La creciente demanda de más datos espaciales y su mejor significado para analizarlos sólo puede ser satisfecho en la actualidad con el uso de las computadoras (*ibídem*).

Los sistemas de información geográfica (SIG) surgen como un caso especial de los sistemas de información y comparten muchas facetas con otros sistemas de información (Maguire *et al.*, 1993). Inician con un humilde desarrollo en 1960's, culminando con un período de intensa actividad en los últimos años en importantes áreas de aplicación,

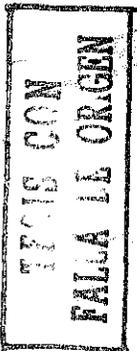
investigación, y en el mundo de los negocios. En 1997 los SIG son materia de estudio en 1500 universidades y en 1000 escuelas, tienen unos 500 000 usuarios, y son un negocio global con valor de 12 billones de dólares aproximadamente (Longley *et al.*, 1999).

Hoy en día los SIG son vistos como una panacea para toda cuestión: urbana, estatal, nacional o global. Se piensa en un SIG como un fin más que como un medio. Pero se debe comprender que no se puede transformar así un desafío que pertenece a la ciencia, la cual está impregnada de valores humanos (Burrough y McDonnell, 1998).

Durante su evolución no ha sido posible ponerse de acuerdo en la definición de lo que es un SIG, en consecuencia se han dado diferentes definiciones que dependen de la perspectiva con que se ven. Existe un debate entre: si un SIG debe ser definido en reducidos términos tecnológicos o si un enfoque organizativo/institucional amplio es más apropiado. DoE (1987) caracteriza el estrecho punto de vista y Carter (1989) representa la visión más extensa (Maguire *et al.*, 1993).

A continuación se presentan algunas definiciones de SIG en orden de tiempo.

- Un caso especial de sistemas de información donde la base de datos consiste de observaciones de distribución espacial de fenómenos, actividades o eventos los cuales son definidos en el espacio como puntos, líneas, o áreas. Un SIG maneja datos en estos puntos, líneas o áreas para hacer preguntas y análisis con un propósito especial (Dueker, 1979).
- Un conjunto automatizado de funciones que mantienen profesionales con ventajas para almacenar, recuperar, manejar y mostrar datos localizados geográficamente (Ozemoy *et al.*, 1981).
- Un poderoso conjunto de herramientas, para coleccionar, almacenar, recuperar, transformar y mostrar datos espaciales del mundo real (Burrough, 1986).
- Un sistema para capturar, almacenar, revisar, operar, analizar y desplegar datos que están referenciados espacialmente a la tierra (DoE, 1987).
- Un sistema de base de datos en el cual la mayoría de los datos están referidos espacialmente, y operados por un conjunto de procedimientos para contestar preguntas sobre entidades espaciales de la base de datos (Smith *et al.*, 1987).



- Una tecnología de información la cual almacena, analiza y muestra datos espaciales y no espaciales (Parker, 1988).
- Un sistema envolvente de soporte de decisiones, que integra datos referidos espacialmente dentro de un ambiente de un problema a resolver (Cowen, 1988).
- Una entidad institucional reflejando una estructura organizada que integra tecnología con una base de datos, destreza y un continuo soporte financiero (Carter, 1989).
- Un conjunto de procedimientos manuales o computacionales, utilizados para almacenar y manipular datos referenciados geográficamente (Aronoff, 1989).

Muchas de las definiciones son relativamente generales y abarcan un vasto rango de temas y actividades. Sin embargo, todas tienen una característica común, esto es, que son sistemas computacionales que tratan con información geográfica. La habilidad de un SIG para manejar datos espaciales es frecuentemente utilizada como clave en su definición. Otra característica relevante para distinguirlo de otros es que permite el despliegue de mapas topográficos o temáticos. Desde el punto de vista de bases de datos se utiliza para realizar operaciones de aplicación específica para su aprovechamiento y análisis, para modelación. Así un SIG puede verse según de la perspectiva de utilización (Maguire *et al.*, 1993).

Los SIG se han vuelto tan populares por la rápida proliferación masiva de información sobre diversos aspectos, como la que proporcionan los satélites y los sensores remotos, muchos de los cuales, explícitamente o implícitamente, proporcionan referencias geográficas asociadas a los datos que capturan, y que los ligan significativamente. Los SIG pueden aplicarse a diversos tipos de problemas. De manera general, las preguntas básicas que pueden ser investigadas a través de un SIG son: la situación de un fenómeno, lugar donde ocurre, sus características, sus cambios, su tendencia principal, que patrón representa, su distribución, comparación y modelos de evolución por ejemplo, qué áreas de la tierra podrían ser afectadas si el nivel de mar tuviera un ascenso (*ibidem*).

La revolución en cuanto al manejo de datos espaciales digitalizados debido a los SIG, la habilitación de paquetes computacionales atractivos, el rápido crecimiento del poder computacional y el énfasis sobre exploración, análisis y modelación de datos han dado paso a los sistemas de análisis de información geográfica (AIG). Los cuales agrupan un gran número de técnicas y

modelos de aplicación formal, comúnmente de matemática y estadística diseñados para sistemas en los que las variables de principal interés varían a través del espacio. Los AIG están entrando en un período de rápido cambio dirigido al término de inteligente. Por lo tanto cercano al concepto de inteligencia computacional, o sea, inteligencia artificial (Stillwel y Geertman, 1999). Concepto computacional diferente al que se tratará en este trabajo.

1.2 ALGUNOS ASPECTOS DE LA OCEANOGRAFÍA.

La oceanografía u oceanología como en China y en Rusia prefieren llamarla es la ciencia que estudia las aguas del mar de nuestro planeta. Tradicionalmente consiste de cuatro ramas: oceanografía física, oceanografía química, oceanografía biológica y oceanografía geológica. El conocimiento obtenido a través de este fascinante y desafiante campo de la ciencia puede ser utilizado por la sociedad para: mejorar su industria pesquera, auxiliar al transporte marítimo, explotar sus recursos marinos y costeros, desarrollar fuentes alternativas de energía oceánicas, reforzar la defensa naval, etc. (Beer, 1997).

Al estar unidos el mar y la tierra, el conocimiento oceanográfico es requerido por las áreas de estudio comprometidas con el medio ambiente. Existen dos intereses principales, primero, ofrecer facilidades de recreación a aquella parte de la población que desee utilizar la playa para su diversión y segundo, prevenir la contaminación para preservar la armonía de la vida biológica marina (*ibidem*).

La oceanografía marina y la oceanografía ambiental se traslapan. El transporte marino requiere de puertos y muelles. Su construcción y subsiguiente dragado pueden causar problemas de contaminación por la gran cantidad de sedimentos removidos. A la inversa el conocimiento de las corrientes marinas ofrece información de gran utilidad a la oceanografía marítima concerniente a las rutas de los barcos, así como, la oceanografía ambiental brinda información referente a la productividad biológica (*ibidem*).

La oceanografía física describe los océanos en términos de sus características físicas e intenta explicar su comportamiento utilizando conceptos de la física. Ofrece respuestas a algunas preguntas que podrían ser hechas para el futuro aprovechamiento de los recursos oceánicos. Por ejemplo: ¿qué tan importantes son las corrientes marinas superficiales para la transportación marítima?, ¿a qué localidades son transportados desechos industriales por las corrientes superficiales?, ¿las olas y mareas dañaran las plataformas en el mar y las estructuras costeras sobre la tierra?, etc. Durante las pasadas cuatro décadas el

conocimiento y entendimiento de la oceanografía física ha tenido un vasto incremento (*ibídem*).

El auge que tuvo la oceanografía en los países desarrollados no se dio en México a pesar de contar con una gran extensión de mar patrimonial. Por otro lado, sus mares han sido estudiados por instituciones extranjeras como Scripps, Woods Hole, la Universidad de Texas A. M, la naval Americana, Instituciones francesas e inglesas entre otras (Gómez, 1986). Los grandes recursos naturales que en ellos existen han despertado el interés de estas instituciones.

México ha vivido de espaldas al mar dando mínima atención al debido aprovechamiento de sus recursos marinos (Beltrán, 1986). A pesar de contar con 2,892,000 km² de mar patrimonial, hasta los 50's el desarrollo de la oceanografía en México fue incipiente. Es en las últimas décadas que empieza a explorar sus mares con un enfoque científico, dentro de este contexto la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) adquirió los buques oceanográficos (B/O) el Puma en el año de 1980 y el Justo Sierra en 1981. Los B/O fueron diseñados y equipados con instrumentos más sofisticados que los que se habían utilizado con anterioridad, incrementando con ellos la calidad y el número de datos que se obtienen durante un crucero oceanográfico (C/O).

1.3 OBJETIVO.

A partir de que la UNAM adquirió los B/O en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología se han desarrollado diversos proyectos de investigación que han involucrado a los B/O, en consecuencia una gran cantidad de datos de oceanografía física se han recolectados durante los C/O. De estos datos una parte considerable se ha acumulando sin ser procesados.

El tratamiento que se daba a los datos de oceanografía física antes de la adquisición de los B/O, no obstante, que se realizaba de forma muy rudimentaria cubría en buena medida las necesidades existentes dado que los datos capturados durante un crucero no eran cuantiosos.

Al enfrentarse con el nuevo reto de manejar grandes volúmenes de datos se encontró con que no se contaba con la infraestructura que se requería para ello. Para procesar los datos se siguió utilizando el método antiguo complementándolo con programas y paquetes computacionales.

El tratamiento que se ha dado a los datos combinando procesos rudimentarios con paquetes computacionales no ha sido efectivo, esta técnica es lenta e inconsistente, lo que ha provocado que muchos de los datos aún estén sin procesar. En consecuencia el potencial de la

información derivada de los datos acumulados durante 20 años no ha sido aprovechado debidamente.

Dentro de los paquetes y sistemas computacionales a los que se ha tenido acceso, no se ha encontrado uno que cubra en conjunto los requerimientos mínimos para acelerar el tratamiento que se debe dar a los datos de manera asequible y fácil, es decir, que todos los procedimientos que son necesarios estén disponibles en menús, de tal forma que se puedan activar con una simple tecla.

Existen algunas necesidades de operar con datos que pueden ser extremadamente específicas para aplicaciones que son incorporadas en un SIG especial únicamente para satisfacer a usuarios particulares (Burrough y McDonnell, 1998).

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un sistema computacional para la generación de información a partir de datos de oceanografía física recolectados con los B/O. Con lo que se pretende contribuir a las investigaciones de la oceanografía física en México aportando un sistema de información geográfica de los océanos (SIGO) que proporcione elementos para el estudio de sus mares.

El SIGO se concibió como un SIG especial para cubrir necesidades particulares, basado en el concepto de SIG capaz de captar, modificar, omitir, organizar, clasificar, consultar y explotar los datos de oceanografía física, es decir, que automatice el almacenamiento y procesamiento de los datos, de tal manera, que se pueda consultar y obtener información de forma simple y eficiente, esto es, que permita a usuarios no especializados en computación el acceso a funciones complejas por medio de menús.

El **SIGO** está formado por dos partes:

- Un modelo conceptual para una base de datos geográfica, enfocada a la oceanografía física, con fundamento en el modelo entidad-relación, el cual proporciona información semántica del mundo real. El modelo consiste de entidades, conjuntos de entidades, atributos, relaciones y conjuntos de relaciones (Ullman, 1988) el cual satisface los requerimientos del manejo de objetos geográficos.
- El sistema explotador para la base de datos que permite procesar los datos, consultar y obtener productos gráficos de la información derivada de los datos, por medio de funciones disponibles en los menús del sistema.

CAPÍTULO 2 LOS DATOS.

Es conveniente dar una descripción general de los datos para los cuales se implementó el SIGO puesto que con base en ellos se proyectó el modelo conceptual de la base de datos (capítulo 4). De igual forma tener una idea del procesamiento que requieren los datos proporciona un mejor entendimiento de porque se desarrollaron unas funciones para el sistema explotador (capítulo 5) y no otras. En el diseño del SIGO se vertió la experiencia de 20 años en el procesamiento de datos de oceanografía física, lo que dio una visión precisa del tratamiento que el SIGO debía dar a los datos y las necesidades que convenía cubrir.

2.1 ADQUISICIÓN DE DATOS.

Los buques oceanográficos (B/O) son el medio para realizar cruceros oceanográficos (C/O) durante los que se obtiene material y datos del medio marino. En los B/O pertenecientes a la UNAM la medición de los parámetros físicos está totalmente automatizada gracias al sistema de adquisición de datos con los que fueron diseñados.

El C/O se plantea con base en una red de estaciones localizadas geográficamente que cubren una zona de estudio. Al iniciar el C/O inmediatamente empieza la captura de datos emitidos por el sistema de satélites Global Positioning System (GPS) mediante el navegador de satélite TRANSIT/GPS que proporciona fecha, hora, latitud y longitud con una precisión de 1 segundo y 37 m respectivamente (Manual, MX/1107, 1987).

Al momento de arribar a un nodo de la red, o sea, a una estación oceanográfica (E/O) se registra: número de estación, fecha, hora, latitud, longitud y profundidad del fondo esta última emitida por una ecosonda.

Una vez que la E/O queda localizada en el tiempo y en el espacio se hace un muestreo en la columna de agua por medio de un instrumento que mide conductividad, temperatura y presión (CTD) con alta precisión: conductividad + 0.002 mho/cm, temperatura - 0.002 °C y presión - 0.05 db (Manual 00201, 1994). El CTD está conectado a una computadora desde la que se tiene el control de la captura de los datos.

La medición de los datos por medio del CTD se inicia unos segundos antes de sumergirlo en el agua y continúa durante el descenso, la adquisición de datos finaliza unos metros antes del fondo dependiendo de la regularidad de éste. Los datos se almacenan en un archivo. Como respaldo se inicia otro muestreo cuando el CTD va ascendiendo y termina cuando alcanza la superficie los datos se guardan en otro archivo.

Al mismo tiempo en que está en el agua el CTD se registran los datos meteorológicos que consisten en la lectura de la presión atmosférica en mb, temperatura del aire en °C, dirección y velocidad del viento en grados y m/s respectivamente. Con la brújula giroscópica se mide el rumbo del barco en grados, con el propósito de corregir la dirección del viento que está medida con respecto a la proa del buque.

2.2 PROCESAMIENTO TRADICIONAL DE LOS DATOS.

Los datos más valiosos que se adquieren en un C/O desde el punto de vista de la física son los que se registran con el CTD, es a partir de ellos que se puede explicar la dinámica marina en una zona de estudio. Con estos datos se obtienen los siguientes parámetros físicos:

- La salinidad en unidades prácticas de sal (ups), que es función de la presión, la temperatura y la conductividad.
- La profundidad en metros, que equivale a la presión en db.
- La densidad en kg/m^3 , que es función de la presión, la salinidad y la temperatura.

La representación gráfica de estos parámetros facilita la interpretación de las características físicas de masas de agua. Los productos gráficos de temperatura, salinidad y densidad más utilizados para tal efecto son:

- Perfil vertical de la columna de agua en un punto localizado geográficamente. Es la gráfica del valor del parámetro contra la profundidad.
- Corte horizontal de un volumen de agua con base en la red de estaciones en diferentes profundidades. Es la distribución del parámetro en un plano horizontal (latitud, longitud).
- Corte vertical de un volumen de agua en un transecto¹. Es la distribución del parámetro en un plano vertical (distancia, profundidad).

Los puntos anteriores se verán con más detalle en las secciones 5.2.4, 5.2.5 y 5.2.6 respectivamente.

Al contrario de la toma de datos con CTD no se ha establecido un sistema automatizado para: el procesamiento de los datos, consulta de la información y obtención de productos gráficos.

¹ Línea de la red de E/O generalmente perpendicular a la costa.

Como se menciona en el capítulo anterior no se ha encontrado un paquete² que cubra todo el tratamiento que comúnmente se da a los datos, sin necesidad de hacer programas computacionales adicionales o en su defecto combinarlos con técnicas casi artesanales. Este método es inconsistente y lento. A continuación se esboza como se han procesado los datos y como se han logrado los productos gráficos.

- Depurar archivos. Debido a la existencia tanto de errores sistemáticos como de errores producidos por el ruido electrónico en el sistema de adquisición de datos, los archivos de datos regularmente están contaminados con datos erróneos. Por lo que inicialmente se depuran los archivos generados por el CTD de la siguiente manera. Se utiliza cualquier paquete que permita ver y modificar los datos por ejemplo Lotus, Excel etc., el analista que realiza la depuración debe tener la experiencia necesaria para diferenciar datos buenos de erróneos revisando los registros de cada archivo. Un muestreo correspondiente a 500 m de profundidad origina aproximadamente 15000 registros. Ésta es la parte más lenta del procesamiento.

El proceso se puede abreviar si se obtienen los perfiles con los datos sin corregir (datos crudos) mediante el sistema computacional del CTD o cualquier otro paquete que permita graficarlos. De no utilizarse el sistema computacional inherente al CTD en los archivos de datos crudos se deben desechar previamente los encabezados y los registros iniciales que corresponden a mediciones en el aire y al estar entrando dentro del agua antes de que el instrumento se estabilice. Una vez que se obtienen los perfiles visualmente se detectan los datos erróneos y se hace una estimación de la profundidad donde aparece el error. Con esta aproximación se busca en el archivo el registro de la profundidad estimada y se corrige o se desecha.

- Perfiles. Con los datos depurados se obtienen los productos finales de los perfiles verticales de la columna de agua en cada E/O y de cada uno de los parámetros, utilizando cualquier paquete que los pueda graficar como Lotus, Excel, etc.
- Cortes horizontales. Para graficar los cortes horizontales de un volumen de agua se utilizan los archivos correspondientes a cada una de las E/O que conforman la red de estaciones. Se procede de la siguiente forma: se selecciona el registro perteneciente a la profundidad en la que se quiere obtener el corte horizontal de los listados de los archivos o visualmente de pantalla mediante

² Se refiere a paquete computacional, el cual está formado por un conjunto de programas computacionales.

cualquier paquete que permita ver los datos, se extrae el valor del parámetro (temperatura, salinidad o densidad) que se esté procesando. Si existe más de un valor para el parámetro en la profundidad que se esté trabajando se promedia o se elige uno de los valores a criterio del analista. Con la profundidad y el valor del parámetro en cada uno de los nodos de la red se hace un archivo que se utiliza para el trazo de las isolíneas usando un paquete apto para ello. Este procedimiento se realiza para cada uno de los parámetros físicos. Si se desea un corte horizontal en otra profundidad debe repetirse la rutina descrita.

Los cortes horizontales normalmente tienen como referencia para la localización de la red de estaciones, un litoral (línea de costa) cuya digitalización está contenida en un archivo, el paquete que se utilice para el trazo de las isolíneas debe ser capaz de manejar estos datos.

Uno de los paquetes más empleado en el trazo de los cortes horizontales es el Surfer, sin embargo, si no se tiene dominio en su manejo, éste puede trazar núcleos donde no existen y otras veces sustituye datos tomados *in situ* por datos interpolados. Quintero y Jaime (1991) hacen una comparación detallada del trazo de isolíneas entre el método manual y el Surfer versión 3.0 (1987), concluyendo que el paquete Surfer proporcionó una buena estimación global con deficiencias en la estimación local. Por esta razón suele optarse por el trazo manual de las isolíneas.

- Corte vertical. En cada uno de los archivos pertenecientes a las E/O que definen un transecto se eligen de uno a trece registros correspondientes a diferentes profundidades (el número de registros depende de la profundidad del fondo de la E/O) de los registros se obtiene el valor del parámetro (salinidad, temperatura o densidad) que se esté procesando mediante cualquier paquete que permita ver los datos. Posteriormente con base en estos datos se trazan manualmente las isolíneas del parámetro y la línea de fondo de las E/O. Este procedimiento se repite para todos los parámetros y para todos los transectos.

En ocasiones se han hecho programas para obtener los cortes verticales y horizontales para algunos datos en particular, de tal manera, que si se quieren utilizar para otros datos se deben modificar los programas.

Para realizar un análisis de la información derivada de las mediciones con el CTD en un C/O es indispensable procesar todos los datos y obtener sus productos gráficos. Independientemente de que sólo

se utilicen los resultados más relevantes, para divulgar la investigación que se esté realizando en publicaciones, congresos, coloquios, etc. Por ejemplo el trabajo publicado por Padilla *et al.* (1990) muestra sólo los productos gráficos más notables derivados de los datos colectados en un C/O.

Por el contrario los resultados del procesamiento de todos los datos medidos en un C/O están contenido en un reporte técnico interno. En los que se presentan los perfiles de la columna de agua en cada una de las E/O de cada uno de los parámetros (temperatura, salinidad y densidad), se muestran los cortes horizontales de un volumen de agua de cada parámetro en tres o cuatro diferentes profundidades y los cortes verticales de un volumen de agua en todos los transectos de la red de E/O de cada uno de los parámetros. En raras ocasiones se han publicado reportes técnicos de datos. Barberán *et al.* (1986) es un ejemplo.

Hoy en día, en que los sistemas de información han tenido grandes avances y los usuarios ordinarios pueden interactuar con los sistemas información de manera simple a través de menús. Dentro de los paquetes y sistemas computacionales a los que se ha tenido acceso no se ha encontrado un sistema que discrimine automáticamente los datos erróneos, que en la mayoría de los casos contaminan los archivos generados por CTD y que también realice todo el proceso descrito en esta sección. Por supuesto en un SIG no todas las necesidades posibles pueden estar disponibles en los menús y quizás los usuarios tengan que escribir sus propios programas computacionales. Algunos SIG cuentan con un lenguaje de programación llamado macro lenguaje. No obstante una de las metas al diseñar el SIGO fue que su utilización no dependiera de personal capacitado en técnicas computacionales.

CAPÍTULO 3 CONCEPTOS TEÓRICOS.

El SIGO se implementó con base en los conceptos teóricos empleados en el desarrollo de sistemas de información. Por lo que se considera conveniente introducir algunos de estos conceptos para entender los términos que se usan al definir tanto el modelo conceptual de la base de datos como las funciones del explotador en los capítulos 4 y 5 respectivamente.

3.1 CONCEPTOS GENERALES.

- Sistema. Cuando pequeños componentes son conectados para formar un todo a este agrupamiento se le llama sistema. Los componentes de un sistema deben interactuar en forma mínima con otro componente del sistema por medio de una interfase, la cual debe tener un control riguroso sobre los datos. Otro aspecto importante de un sistema es la jerarquía de los componentes del sistema. Un componente puede a su vez ser otro agrupamiento de componentes más elementales y así sucesivamente hasta llegar a tener componentes indivisibles. La ventaja de un sistema es que alguno de sus componentes puede ser modificado, eliminado o integrado, sin que los demás componentes sufran cambios. Si acaso se modifican las interfases que los conectan (Ullman, 1976). Un sistema se entiende como un todo, compuesto de módulos los cuales se pueden quitar, aumentar o modificar según se requiera.
- Información. Existe una distinción entre datos e información. Los datos son los valores registrados físicamente y almacenados. La información se refiere al significado de estos valores (Date, 1981). Para generar información es necesario manejar adecuadamente los datos.
- Base de datos. Cuando existe la necesidad de almacenar una gran cantidad de datos utilizados por diferentes usuarios de distintas maneras, se deben organizar de tal forma que sean operacionales, accesibles y modificables. A esta organización de los datos se le conoce como base de datos. Date (1977) define una base de datos como una colección de datos operacionales que están almacenados y son utilizados por sistemas de aplicación de una empresa particular. Por otro lado para Lyon (1983) una empresa es una entidad organizada formalmente para alcanzar objetivos reconocidos, esto es, tiene una misión que cumplir. Para que una base de datos resulte funcional, se debe tener claro el objetivo de la empresa y dependiendo de éste se determina los datos que contendrá y la organización más conveniente. La base de datos

tendrá valor sólo si se diseña, mantiene y emplea debidamente (*ibídem*)

- Sistema explotador. La importancia del sistema explotador radica en su utilidad para consultar y explotar los datos almacenados en una base de datos por medio de sus funciones (programas de aplicación). Su objetivo principal es proporcionar al usuario la mayor facilidad posible para realizar la consulta y explotación de los datos. Con ese criterio se debe hacer un análisis de las funciones que presenten mayor beneficio e interés para los posibles usuarios (Padilla, 1991).
- Modelo conceptual. El núcleo de un sistema de base de datos, es el modelo de los datos (modelo conceptual). El diseño de la estructura de los datos, es un elemento con efectos críticos que actúan sobre los demás componentes del sistema (Date, 1977). Un modelo de datos es una colección de herramientas conceptuales que permiten describir los datos, la relación entre ellos, su semántica y las restricciones a las que están sometidos estos datos (Korth y Silberschaz, 1991). Un modelo esencialmente se conforma de dos partes: una notación para describir los datos y un conjunto de operaciones para manejar los datos (Ullman, 1988).

3.2 MODELO ENTIDAD-RELACIÓN.

Al existir varios modelos conceptuales, la pregunta inmediata es: ¿cuál es el mejor para el manejo de datos oceanográficos?

Considérese la siguiente definición para un fenómeno geográfico citada por Gómez y Márquez (1994):

- Localización del fenómeno.
- Ubicación de las áreas afectadas por el fenómeno.
- Análisis de los procesos.
- Relación con otros fenómenos.

Y si se supone un fenómeno geográfico como un objeto geográfico, se puede entonces enfocar la atención a los modelos de datos orientados a objetos para el desarrollo del SIGO.

El modelo más representativo de los modelos lógicos basado en objetos es el llamado entidad-relación, que incorpora información semántica de importancia sobre el mundo real, la que puede ser empleada para unificar diferentes vistas de los datos, adopta

naturalmente las vistas del mundo real que consisten en un conjunto de objetos básicos llamados entidades y relaciones entre estos objetos. Este modelo cuenta con un alto grado de independencia de datos y se basa en la teoría relacional y de conjuntos (Korth y Silberschatz, 1991).

Con base en sus características el modelo entidad-relación se consideró el más adecuado para diseñar el modelo conceptual de la base de datos del SIGO. En seguida se presentan los conceptos teóricos y la simbología que utiliza este modelo dados por Korth y Silberschatz (1991), mismos que se usaron en el diseño. Adecuando los ejemplos al tema de interés en este trabajo.

3.2.1 ENTIDAD, CONJUNTO DE ENTIDADES Y ATRIBUTOS.

Una entidad³ es un objeto que existe y se identifica por sus características (atributos³). Puede ser una cosa concreta, o algo abstracto tal como un concepto. Un crucero oceanográfico (C/O ver sección 2.1) o una estación oceanográfica (E/O ver sección 2.1) pueden ser ejemplos de objetos o entidades.

Un conjunto³ es un grupo de entidades del mismo tipo o mismas características, es decir, tienen los mismos atributos. Por ejemplo, se puede definir el conjunto de las E/O realizadas en el meridiano 92⁰ W y el conjunto de las E/O efectuadas en el Golfo de México. Estos dos conjuntos no necesariamente son disjuntos, puesto que una estación oceanográfica puede pertenecer a los dos conjuntos.

Una entidad está representada por un conjunto de atributos. Para cada atributo existe un conjunto de valores permitidos llamado dominio de los atributos. Formalmente un atributo es una función que mapea⁴ de un conjunto de atributos a un conjunto de valores.

Los tipos de los atributos pueden ser: números reales o enteros, cadena de caracteres, arreglos de números reales o enteros o caracteres o cadenas de caracteres. De esta manera una entidad siempre está descrita por los valores de sus atributos. Por ejemplo una E/O tiene los atributos latitud (LA) y longitud (LO) que determinan su posición geográfica.

3.2.2 RELACIÓN-LIGADA Y CONJUNTO DE RELACIONES.

Una relación-ligada (relación³) es una asociación entre diferentes entidades. Por ejemplo se puede definir una relación que asocie a todas las E/O que tengan latitud geográfica igual a 21⁰ W. Esta relación

³ Los nombres de: entidades, conjuntos, atributos y relaciones se escribirán con mayúsculas.

⁴ Se refiere a mapeo en teoría de conjuntos.

determina un conjunto de E/O que se hicieron en el paralelo 21° .

Un conjunto de relaciones del mismo tipo, es una relación matemática sobre "n" conjuntos de entidades, donde $n \geq 2$.

Si E_1, E_2, \dots, E_n son conjuntos de entidades no necesariamente distintos, entonces el conjunto de relaciones R es un subconjunto definido como se muestra a continuación.

$$R = \{(e_1, e_2, \dots, e_n) / e_1 \in E_1, e_2 \in E_2, \dots, e_n \in E_n\}$$

donde (e_1, e_2, \dots, e_n) es una relación.

Por ejemplo: supóngase que las E/O tienen datos asociados a cada una de ellas de temperatura y salinidad medidos en diferentes profundidades y estos datos se almacena en un archivo (pts).

Se puede definir el conjunto APTS (archivos pts) y el conjunto EST (datos de las E/O) de la siguiente manera:

$APTS = \{pts_1, pts_2, \dots, pts_n\}$; donde pts es un archivo.

$EST = \{eo_1, eo_2, \dots, eo_n\}$; donde eo son datos de una E/O.

El conjunto APTS tiene un atributo llamado número de pts (NPTS) y el conjunto EST tiene el atributo denominado número de estación (NE).

Se define el conjunto de relaciones EST-APTS que asocia a todas las entidades de los 2 conjuntos que cumplan la igualdad $NPTS = NE$ como:

$$EST-APTS = \{(eo, pts)_1, (eo, pts)_2, \dots, (eo, pts)_n\}$$

El conjunto EST-APTS es un ejemplo de relaciones binarias (figura 3.1). Existen relaciones ternarias, es decir, entre tres conjuntos.

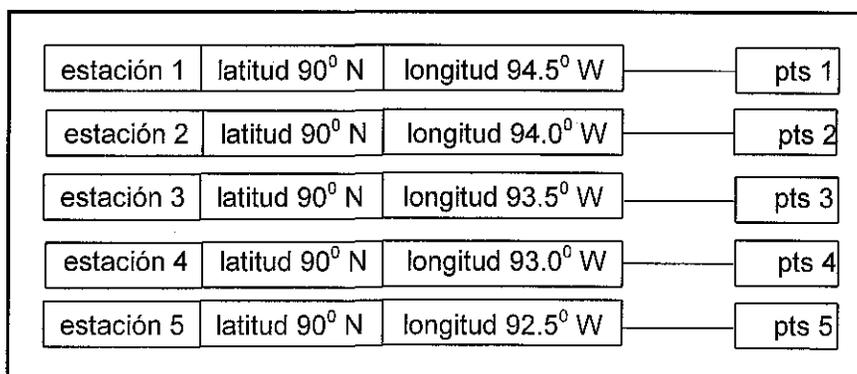


Figura 3.1 Conjunto de relaciones binarias entre los conjuntos EST y APTS.

La función que una entidad desempeña en una relación se llama rol. Normalmente el rol está implícito y sólo es explícito cuando es necesario clarificar la relación.

3.2.3 DEFINICIÓN DE CONJUNTOS.

Existen distintas maneras de definir los conjuntos tanto de entidades, como de relaciones. Esta diferencia estriba en la asignación de atributos a los conjunto, la que depende de los datos y su utilización. Por ejemplo en los dos casos siguientes:

1º Caso (se determina un solo conjunto de entidades):

- El conjunto EST de entidades estaciones oceanográficas (E/O) con los atributos: número de estación (NE), latitud (LA), longitud (LO) y el número de su archivo correspondiente que almacena los datos de temperatura y salinidad en distintas profundidades (NPTS).

$$\text{EST} = \{ (ne, la, lo, npts)_1, (ne, la, lo, npts)_2, \dots, (ne, la, lo, npts)_n \}$$

NE	LA	LO	NPTS
1	91	94	1
2	91	94	2
3	92	94	3

2º Caso (se definen 2 conjuntos de entidades y uno de relaciones):

- El conjunto EST de entidades E/O con los atributos NE, LA, LO.

$$\text{EST} = \{ (ne, la, lo)_1, (ne, la, lo)_2, \dots, (ne, la, lo)_n \}$$

NE	LA	LO
1	91	94
2	92	94
3	93	94

- El conjunto APTS de entidades archivos que contienen los datos de temperatura y salinidad en diferentes profundidades con el atributo número de archivo (NPTS) y el atributo HORA.

$$\text{APTS} = \{ (npts, hora)_1, (npts, hora)_2, \dots, (npts, hora)_n \}$$

APTS

NPTS	HORA
1	20
1	21
1	22
2	8
2	9

- El conjunto de relaciones EST-APTS que asocia a las entidades de los 2 conjuntos que cumplan con la igualdad $NE=NPTS$.

$$EST-APTS = \{ (ne, la, lo, npts)_1, (ne, la, lo, npts)_2, \dots, (ne, la, lo, npts)_n \}$$

EST-APTS

NE	LA	LO	NPTS	HORA
1	91	94	1	20
1	91	94	1	21
1	91	94	1	22
2	92	94	2	8
2	92	94	2	9

El 1º caso implica que cada E/O tiene uno y solo un archivo pts asociado a ella.

En el 2º caso una E/O puede tener cero, uno o más archivos pts asociados por medio de la relación $NE=NPTS$. En este ejemplo la estación 3 no está asociada a ningún archivo pts.

La respuesta a ¿Qué es mejor, definir un conjunto de entidades o un conjunto de relaciones y qué representa el conjunto?. Depende del propósito de la empresa que se esté modelando y de la asociación semántica entre entidades.

Por ejemplo: si sólo interesa tener un archivo pts por cada E/O debido a que una E/O está localizada en el tiempo y el espacio, convendría elegir el 1º caso.

Pero si la E/O sólo está localizada en el espacio, entonces una E/O podría tener diferentes archivos pts asociados a ella correspondientes a diferentes horas, entonces convendría elegir el 2º caso.

3.2.4 MAPEO.

Se llama mapeo⁵ a la asociación entre entidades de un conjunto A y las entidades de un conjunto B debido a una relación ligada (relación).

⁵ Ver nota 4 al pie de página 17.

La cardinalidad de un mapeo expresa el número de entidades de un conjunto A asociadas con otras entidades de un conjunto B, a través de una relación:

- Mapeo 1:1 (de uno a uno) una entidad a del conjunto A está asociada a solo una entidad b del conjunto B (figura 3.2).

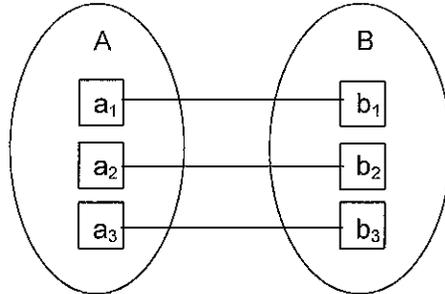


Figura 3.2 Mapeo 1:1.

- Mapeo 1: n (de uno a n) una entidad a del conjunto A está asociada a cualquier número de entidades del conjunto B, una entidad b del conjunto B debe estar asociada al menos con una entidad a del conjunto A (figura 3.3).

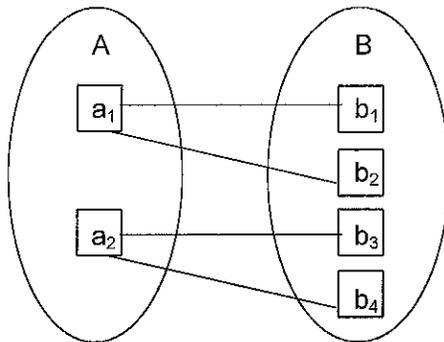


Figura 3.3 Mapeo 1:n.

- Mapeo n:1 (de n a uno) una entidad a del conjunto A está asociada al menos a una entidad b, del conjunto B, esto es, la entidad b puede estar asociada con cualquier número de entidades en A (figura 3.4).

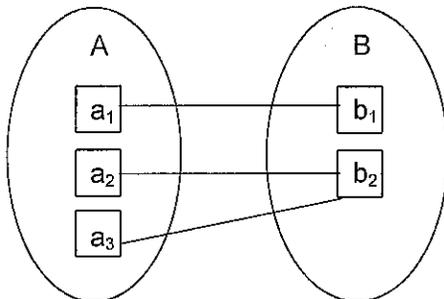


Figura 3.4 Mapeo n:1.

- Mapeo n:n (de n a n) una entidad a del conjunto A está asociada a cualquier número de entidades del conjunto B y una entidad b del conjunto B está asociada a cualquier número de entidades del conjunto A (figura 3.5).

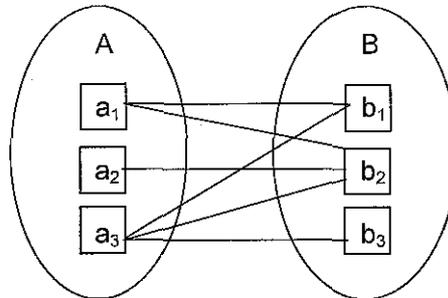


Figura 3.5 Mapeo n:n.

3.2.5 LLAVE.

Conceptualmente las entidades individuales y las relaciones son distintas. En una base de datos esta diferencia se expresa en términos de sus atributos. El concepto de llave permite hacer tal distinción.

Una llave se forma de uno o más atributos por medio de los que se puede identificar a una entidad única, por ejemplo en el conjunto EST con los atributos nombre del crucero (NC), número de estación (NE), latitud (LA) y longitud (LO).

$$\text{EST} = \{ (\text{nc,ne,la,lo})_1, (\text{nc,ne,la,lo})_2, \dots, (\text{nc,ne,la,lo})_n \}$$

Es posible definir una llave (L) de la siguiente manera:

$$L = \text{NE}$$

Una llave que garantizará más seguridad se forma como:

$$L = \text{NC} \cup \text{NE}$$

El atributo LA o LO no conviene utilizarlo como llave porque diferentes E/O podrían tener la misma latitud y/o la misma longitud. Quizás un conjunto no tenga suficientes atributos para formar una llave. A este conjunto se le llama débil. Por el contrario si uno o más atributos sirven como llave se le denomina como un conjunto fuerte.

Si se define el conjunto posiciones (POS) con dos atributos latitud (LA) y longitud (LO).

$$\text{POS} = \{ (\text{la,lo})_1, (\text{la,lo})_2, \dots, (\text{la,lo})_n \}$$

Más de una entidad del conjunto podría tener los mismos valores de los atributos y por lo tanto, éste es un conjunto débil, puesto que no se distinguirían entidades por sus atributos. En una relación el mapeo sería 1:n, por supuesto a veces se necesita de este conjunto, dependiendo del objetivo de la empresa.

Comúnmente se requiere de una llave para identificar entidades, o relaciones en los conjuntos.

El siguiente es un ejemplo de cómo se define una llave para un conjunto de relaciones (R). Supóngase los siguientes conjuntos y sus respectivas llaves.

<u>CONJUNTO</u>	<u>LLAVE</u>
$C_1 \{ (ne, la, lo)_1, (ne, la, lo)_2, \dots, (ne, la, lo)_n \}$	NE
$C_2 \{ (npts, fecha, hora)_1, (npts, fecha, hora)_2, \dots, (npts, fecha, hora)_n \}$	NPTS
$C_3 \{ (met, hora)_1, (met, hora)_2, \dots, (met, hora)_n \}$	MET

El atributo MET se refiere a algún parámetro meteorológico.

La relación R es un conjunto de relaciones, que están formadas por las entidades de los conjuntos C_1, C_2, C_3 .

Los atributos que describen las entidades de R, se determina como la unión de las llaves.

$$\text{llave de } C_1 \cup \text{ llave de } C_2 \cup \text{ llave } C_3$$

Si además se asume que R tiene el atributo denominado HORA, la llave de R se define de la siguiente forma:

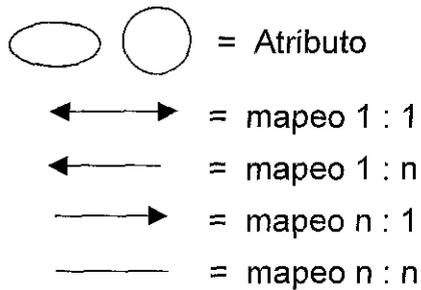
$$NE \cup NPTS \cup MET \cup HORA$$

3.2.6 DIAGRAMA Y TABLAS.

EL esquema conceptual puede ser representado por un diagrama utilizando la siguiente simbología:

 = Conjunto de entidades.

 = Conjuntos de relaciones



Un diagrama entidad-relación puede ser representado por tablas. Cada tabla representa un conjunto ya sea de entidades o relaciones y su nombre es igual al del conjunto.

Las tablas están formadas por renglones y columnas. Cada renglón representa ya sea una relación o una entidad según sea el caso. Las columnas corresponden a los atributos y tendrán un nombre único e igual al del atributo que representan.

Supóngase el conjunto EST de n estaciones oceanográficas (E/O), con los atributos: número de estación (NE), latitud (LA), longitud (LO) y FECHA, este conjunto queda representado en una tabla formada por n renglones y cuatro columnas como se muestra a continuación.

EST

NE	LA	LO	FECHA
1	19.5	93.0	12 mayo 94
2	19.0	93.0	12 mayo 94
3	19.0	93.5	13 mayo 94
4	19.5	93.5	13 mayo 94
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
ne_n	la_n	lo_n	$fecha_n$

Si se denota NE con A, LA con B, LO con C y FECHA con D, entonces los renglones que representan a las entidades del conjunto están constituidos por el producto cartesiano:

$$A \times B \times C \times D$$

Considérese el conjunto EST definido en la tabla anterior cuya llave es el atributo NE y supóngase el conjunto viento (VIE) con los atributos dirección del viento (DV) y el atributo velocidad del viento (VV), parámetros meteorológicos que se miden en una E/O.

VIE

DV	VV
156	7
160	7
156	8
.	.
.	.
.	.
dv_n	vv_n

Si se quisiera establecer una relación entre los conjuntos EST y VIE se encontraría que el conjunto VIE es un conjunto débil, puesto que ninguno de sus atributos permiten identificar una entidad única. Para poder establecer una relación entre los conjuntos EST y VIE, que permitiera asociar entidades de los dos conjuntos, se debe aumentar al conjunto VIE un atributo que funcione como llave por ejemplo NE.

VIE

NE	DV	VV
1	156	7
3	160	7
4	156	8
.	.	.
.	.	.
.	.	.
ne_n	dv_n	vv_n

Un conjunto R que relaciona a las entidades de los conjuntos C_1, C_2, \dots, C_n consiste de m atributos. La tabla que lo representa tiene m columnas, que corresponden a los atributos de la relación.

Ejemplo: Si se define la relación que liga las entidades de los conjunto EST y VIE que cumplen que el valor del atributo NE sea igual en ambos conjuntos y la relación tiene el atributo FECHA. La tabla que representa esta relación es la siguiente:

EST-VIE

NE	FECHA
1	12 mayo 94
3	13 mayo 94
4	13 mayo 94

3.2.7 GENERALIZACIÓN Y AGREGACIÓN.

Se definen dos conjuntos C_1 y C_2 de estaciones oceanográficas (E/O) que están ubicadas en el meridiano $93^0 W$, de la siguiente manera.

- Conjunto C_1 de E/O cuya profundidad es menor o igual a los 200 m y a este atributo se le llama $P \leq 200$.
- Conjunto C_2 de E/O cuya profundidad es mayor a 200 m y a este atributo se le nombra $P > 200$.

Partiendo del conjunto EST de E/O, con los atributos: número de estación (NE), latitud (LA), longitud (LO) y profundidad (PR) para representar la generalización en la figura 3.6.

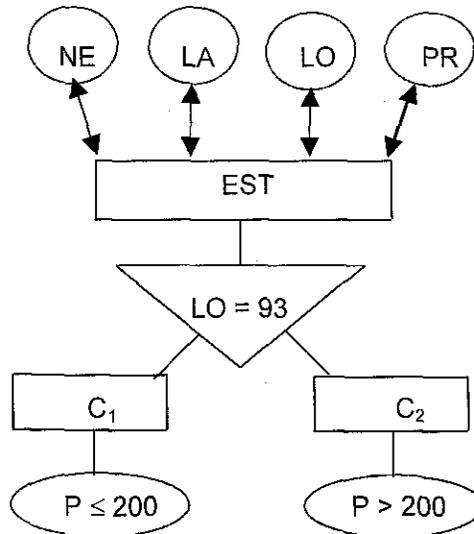


Figura 3.6 Generalización.

En la figura 3.6 el triángulo representa la generalización y se utiliza para enfatizar la similitud entre entidades a un mismo nivel, las cuales tienen atributos inherentes. En el ejemplo el atributo inherente es la longitud.

Existen dos métodos para transformar una generalización a una tabla.

- Primer método. Crear una tabla para el conjunto de entidades del nivel superior, en este caso para el conjunto EST.

EST

NE	LA	LO	PR

Y una tabla para cada uno de los conjuntos de entidades de igual nivel. La tabla incluye una columna por cada atributo más n columnas de los n atributos que conformen la llave del conjunto de entidades del nivel superior. En este ejemplo la llave del conjunto EST es el atributo NE.

$$C_1$$

NE	$P \leq 200$

$$C_2$$

NE	$P > 200$

- Segundo método. Definir dos tablas una para cada conjunto de igual nivel que incluye los atributos del conjunto del nivel superior.

$$C_1$$

NE	LA	LO	PR	$P \leq 200$

$$C_2$$

NE	LA	LO	PR	$P > 200$

Se llama agregación a las relaciones entre un conjunto de entidades y un conjunto de relaciones el cual se considera como un conjunto de entidades.

El modelo entidad-relación tiene una gran flexibilidad para el diseño del esquema conceptual. El mundo real se puede expresar utilizando los conceptos de conjuntos de entidades, conjunto de relaciones con sus respectivos atributos y llaves, así como generalizaciones y agregaciones.

No siempre se tiene claro cuando es mejor expresar un objeto como una relación o como una entidad. En estos casos, es mejor tomar la decisión definitiva cuando se implementa el esquema conceptual.

Generalmente los modelos para facilidad del usuario de alguna manera almacenan la misma información más de una vez. Esto ocasiona redundancia y en consecuencia inconsistencia. Los modelos orientados a objetos son generalmente menos redundantes (Ullman, 1988).

Se asume que el diagrama entidad-relación puede tornarse en un esquema conceptual de otro modelo, esto es, transformarse en un modelo relacional, el cual puede ser construido físicamente (Ullman, 1988).

28

CAPÍTULO 4 DEFINICIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL.

A continuación se define el modelo conceptual de la base de datos del SIGO enfocada a los datos de oceanografía física recolectados en un crucero oceanográfico (ver sección 2.1), con fundamento en el modelo entidad-relación (ver sección 3.2). Definir el modelo conceptual es esencialmente determinar los conjuntos de entidades, los conjuntos de relaciones, sus atributos y sus llaves.

4.1 CONJUNTOS DE ENTIDADES, SUS ATRIBUTOS Y LLAVES.

El conjunto de entidades cruceros oceanográficos (C/O) se denomina **CRU**. Sus atributos se describen a continuación:

- NC: nombre del C/O.
- NZ: nombre de la zona donde se realizó el C/O.
- FI: fecha inicial (día, mes y año) del C/O.
- FF: fecha final (día, mes y año) del C/O.
- CC: clave que le asigna el SIGO al C/O al darlo de alta en la base de datos.
- CL: clave asignada por el SIGO al litoral (línea de costa asociada con el C/O, ver sección 2.2), cuando es dado de alta en la base de datos.
- PF: prefijo, que se utiliza en la mayoría de los archivos relacionados con un C/O. Corresponde a los cuatro primeros caracteres de los nombres de los archivos.
- NB: número de archivos de datos correspondientes a las mediciones registradas al bajar el CTD (ver sección 2.1) durante el C/O.
- NS: igual que el punto anterior pero al subir el CTD.

El conjunto **EST** está formado por las entidades estaciones oceanográficas (E/O ver sección 2.1). Sus atributos se enlistan enseguida:

- NE: número de la E/O.
- FE: fecha (día y mes) de la E/O.

- A: año de la E/O.
- H: hora (hora y minutos) de la E/O.
- PE: profundidad del fondo del mar en m, en la ubicación de la E/O.
- LA: grados de latitud de la E/O.
- MLA: minutos de latitud de la E/O.
- LO: grados de longitud de la E/O.
- MLO: minutos de la longitud de la E/O.
- DV: dirección del viento de 0 a 180 en grados (ver sección 2.1).
- DI: indica si la lectura de la DV es a la derecha o izquierda. Se utiliza para corregir la dirección del viento.
- RB: rumbo del barco en grados. Se usa para corregir la dirección del viento (ver sección 2.1).
- VV: velocidad del viento en m/s (ver sección 2.1).
- PA: presión del aire en milibares (ver sección 2.1).
- TA: temperatura del aire en °C (ver sección 2.1).

El conjunto **PTS** representa un archivo que almacena los valores de temperatura y salinidad medidos por el CTD en diferentes profundidades (ver sección 2.1). Cada entidad del conjunto es un registro del archivo. Los atributos del conjunto son los siguientes:

- P: profundidad en m.
- T: temperatura en °C.
- S: salinidad en unidades prácticas de sal (ups).

En el conjunto **APTS** (nombres de archivos PTS) sus entidades representan llaves formadas con el atributo PF del conjunto CRU y el atributo NE del conjunto EST. Cada una de estas llaves sirve para identificar un conjunto PTS (un archivo). El conjunto APTS tiene sólo el atributo:

- NPTS: llave = PFUNE.

Como se vio en la sección 2.2 la red de las E/O tienen como referencia un litoral, por lo que cada C/O tiene asociado a él un litoral

cuya digitalización está contenida en un archivo. Los datos correspondientes a cada litoral representan una entidad en el conjunto **LIT**. Enseguida se definen los atributos de este conjunto.

- CL: clave que asigna el SIGO a un litoral al darlo de alta en la base de datos.
- NL: nombre del archivo que contiene la digitalización (x,y) del litoral.
- DS: descripción del litoral.
- LAI: latitud inicial del litoral.
- LOI: longitud inicial del litoral.
- LAF: latitud final del litoral.
- LOF: longitud final del litoral.
- SAI: indica si LAI es norte o sur.
- SOI: indica si LOI es este u oeste.
- SAF: indica si LAF es norte o sur.
- SOF: indica si LOF es este u oeste.
- NSM: número de semillas de mar (puntos de control ubicados en el mar).
- NST: números de semillas de tierra (puntos de control ubicados en tierra).

El conjunto **XY** representa un archivo que contiene la digitalización de cada litoral. Cada entidad es un registro que almacena el valor de las coordenadas (x,y) de un punto. Los atributos del conjunto XY son:

- X: coordenada en el eje x que corresponde a la longitud.
- Y: coordenada en el eje y que corresponde a la latitud.

Las entidades del conjunto **AXY** son llaves que se utilizan para identificar los archivos que almacenan la digitalización de un litoral. Su atributo:

- NL: nombre de un archivo XY que almacena la digitalización de un litoral.

Las llaves que permiten identificar una entidad de los conjuntos que se han definido son:

Conjuntos	Entidades	Llaves
CRU	cruceros oceanográficos C/O	CC (clave del crucero)
EST	estaciones oceanográficas E/O	NE (número de estación)
PTS (archivo pts)	temperatura y salinidad a ciertas profundidades	P (profundidad)
APTS	nombres de archivos pts	NPTS (nombre de archivo pts)
LIT	datos de litorales	CL (clave del litoral)
XY (archivo xy)	coordenadas (x,y) de un punto del litoral	
AXY	nombre del archivo xy.	NL (nombre de archivo xy)

4.2 CONJUNTOS DE RELACIONES Y SUS ATRIBUTOS.

CRU-EST Es una relación entre las entidades de los conjuntos CRU y EST, su mapeo⁶ es 1:n, asocia un C/O con n E/O (ver sección 3.2.4 y 2.1).

EST-APST Es una relación entre entidades de los conjuntos EST y APST el mapeo es 1:n, esto es, asocia una E/O con n nombres de archivos pts que almacenan temperatura y salinidad en diferentes profundidades (ver sección 2.1).

APTS-PTS Es una relación entre las entidades de los conjuntos APTS y PTS su mapeo es de 1:n, asocia un nombre de archivo con sus n registros.

LIT-CRU Es una relación entre las entidades de los conjuntos LIT y CRU su mapeo es 1:n, asocia un litoral con n C/O (ver sección 2.2).

LIT-AXY Es una relación entre entidades de los conjuntos LIT y AXY asocia un litoral con un nombre de archivo que almacena su digitalización.

AXY-XY Es una relación entre las entidades de los conjuntos AXY y XY su mapeo es 1:n, asocia un nombre de archivo con sus n registros.

4.3 ESQUEMA DEL MODELO CONCEPTUAL.

La representación esquemática del modelo conceptual se muestra en la figura 4.1.

⁶ Ver nota 4 al pie de página 17.

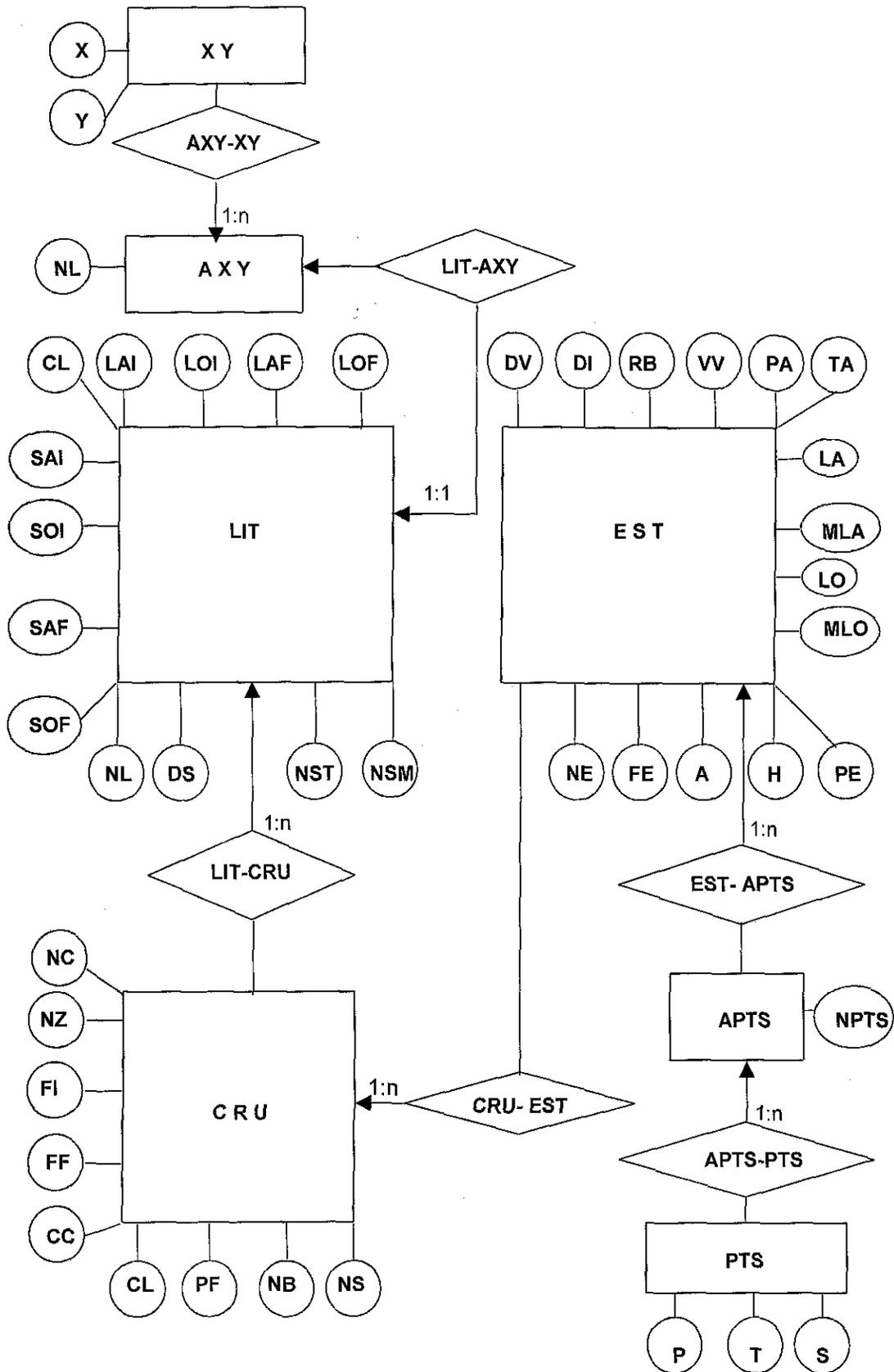


Figura 4.1 Esquema conceptual del SIGO.

4.4 DEFINICIÓN DEL TIPO DE DATOS.

Una vez que se define el modelo conceptual, o sea, los conjuntos de entidades, los conjuntos de relaciones y los atributos, el siguiente paso es definir el tipo de datos de los atributos de los conjuntos. Que pueden ser números enteros o reales y cadenas de caracteres (letras, números, símbolos). Entre más óptima sea la definición del tipo de datos, ésta se reflejará en la programación de las funciones que permiten administrar y operar la base de datos. A continuación se determinan los tipos de datos de cada conjunto.

CRU

ATRIBUTO	TIPO	CAMPOS
NC	cadena de caracteres	25
NZ	cadena de caracteres	25
FI	cadena de caracteres	8
FF	cadena de caracteres	8
CC	entero	3
CL	entero	3
PF	cadena de caracteres	4
NB	entero	3
NS	entero	3

Los atributos FI y FF (día, mes, año) se transforman a enteros cuando es necesario hacer operaciones.

EST

ATRIBUTO	TIPO	CAMPOS
NE	entero	3
FE	entero	4
A	entero	4
H	entero	4
PE	entero	4
LA	entero	2
MLA	real	6
LO	entero	3
MLO	real	6
DV	entero	3
RB	entero	3
DI	entero	1
VV	entero	3
PA	entero	4
TA	real	4

PTS

ATRIBUTO	TIPO	CAMPOS
P	real	7
T	real	5
S	real	5

APTS

ATRIBUTO	TIPO	CAMPOS
NPTS	cadena de caracteres	7

LIT

ATRIBUTO	TIPO	CAMPOS
CL	entero	3
LAI	entero	2
LOI	entero	3
LAF	entero	2
LOF	entero	3
SAI	cadena de caracteres	1
SOI	cadena de caracteres	1
SAF	cadena de caracteres	1
SOF	cadena de caracteres	1
NL	cadena de caracteres	8
DS	cadena de caracteres	25
NST	entero	3
NSM	entero	3

XY

ATRIBUTO	TIPO	CAMPOS
X	real	6
Y	real	6

APTS

ATRIBUTO	TIPO	CAMPOS
NL	cadena de caracteres	8

4.5 FUNCIONES DE LA BASE DE DATOS.

Los datos que se obtienen durante un crucero oceanográfico C/O constituyen la base de datos. Por esta razón se eligió el conjunto CRU como el núcleo del modelo ya que a partir de sus atributos se pueden hacer relaciones con los otros conjuntos que se definieron en el modelo conceptual. De esta manera a partir de este conjunto se tiene acceso a todos los archivos creados durante el C/O.

Si el conjunto CRU es un conjunto vacío el sistema explotador (ver sección 1.3 y 3.1) no está disponible.

El segundo conjunto que le sigue en jerarquía es el conjunto LIT, debido a que dentro del procesamiento tradicional de los datos de oceanografía física los productos gráficos derivados de éstos, son de suma utilidad para la interpretación del patrón de comportamiento de las masas de agua algunos de ellos utilizan los litorales como referencia de localización de la red de E/O (ver sección 2.2). Por tal razón se definió el conjunto LIT cuyas entidades contienen los datos asociados a ellos.

Si el conjunto LIT es un conjunto vacío no se puede tener acceso a las funciones del sistema explotador (se exponen en el siguiente capítulo) que tengan asociado un litoral.

El registro y manejo de las entidades de estos dos conjuntos se realiza en el módulo denominado base de datos, en el que se implementaron las funciones mínimas necesarias para tal efecto. Que permiten; crear, modificar, omitir y consultar los datos de una entidad de los conjuntos CRU y LIT, por medio de menús y son las siguientes.

- ALTA. Con esta función se registran los datos de una entidad, es decir, se capturan los valores de sus atributos. En el caso que todos los valores de los atributos sean nulos, no se registra la entidad, de otra forma el SIGO asigna una clave a la entidad del conjunto (CC para un C/O y CL para un litoral) aún en el caso de capturar sólo un valor para alguno de sus atributos.
- BAJA. Borra toda los datos de una entidad del conjunto, eliminándola de la base de datos.
- MODIFICA. Por medio de esta función se puede cambiar el valor de uno o más atributos de una entidad del conjunto que haya sido dada de alta previamente en la base de datos.
- DIRECTORIO (conjunto CRU). Permite la consulta de los atributos: nombre, fecha y clave de las entidades existentes. La clave que el sistema asigna a cada entidad del conjunto CRU (CC), es requerida por el sistema explotador.
- DIRECTORIO (conjunto LIT). Con esta función se puede consultar los valores de los atributos de las entidades, que han sido registradas, además del nombre del archivo y la clave (CL) que le fijó el sistema, la cual es solicitada al dar de alta un C/O asociado con el litoral.
- INICIALIZA. Es una función que elimina todos los datos existentes en la base de datos de todas las entidades del conjunto que hayan sido dadas de alta previamente. Lo cual significa que no se puede tener acceso al sistema explotador en el caso del conjunto CRU. En el caso del conjunto LIT las funciones del sistema explotador, que tengan asociado un litoral tales como estaciones y cortes horizontales (se verán en el siguiente capítulo), no estarán disponibles.

CAPÍTULO 5 SISTEMA EXPLOTADOR.

Como se mencionó en la sección 1.3 el SIGO está constituido por un modelo conceptual para la base de datos y un sistema explotador (ver sección 3.1).

Los datos almacenados en la base de datos son manejados por el sistema explotador para obtener el mayor provecho posible de ellos por medio de programas de aplicación. Esto es, consultar y explotar los datos para generar información.

El explotador es a su vez un subsistema del SIGO por lo tanto su diseño está basado en el concepto de sistema dado en la sección 3.1. Los componentes de un sistema en este trabajo se denominan módulos y tienen una jerarquía.

Un módulo puede a su vez ser otro agrupamiento de módulos más elementales los cuales están formados por un conjunto de funciones que permiten consultar y procesar los datos contenidos en la base de datos de manera fácil y accesible, a través de menús donde el usuario puede elegir una opción mediante una sola tecla.

Las funciones son los componentes más elementales del explotador y son los programas que lo integran.

Los dos módulos del explotador de mayor jerarquía y a un mismo nivel son: consulta y procesamiento.

Para efecto de ejemplificar las funciones que constituyen cada uno de los módulos del explotador se utilizaron los datos recolectados en el crucero oceanográfico (C/O ver sección 2.1) dentro del proyecto: Monitoreo de prerreclutas de especies estuarino dependientes, comunidades bénticas y mareas internas en el golfo de México (MOPPED 17), a bordo del buque oceanográfico Justo Sierra del 8 al 15 de febrero de 1996. El C/O se realizó con base en 27 estaciones oceanográficas (E/O ver sección 2.1) al sur de la bahía de Campeche.

5.1 CONSULTA.

El módulo de consulta cuenta con la función datos de estación que despliega los valores de los atributos definidos en el modelo conceptual (sección 4.1 y 4.3) para el conjunto EST de entidades (E/O), relacionadas con alguna entidad (C/O) del conjunto CRU por medio de la relación binaria CRU-EST cuyo mapeo es 1:n (ver sección 3.2.4).

Los valores de los atributos están contenidos en un archivo cuyo nombre es el atributo PF (prefijo) del conjunto CRU (ver sección 4.1 y 4.4) el cual actúa como llave, es decir, como apuntador⁷.

La función escribe en pantalla los valores de los atributos de una o n entidades (E/O) del conjunto EST relacionado con una entidad (C/O) del conjunto CRU que se esté consultando.

5.2 PROCESAMIENTO CTD.

El módulo procesamiento está constituido por los módulos CTD (ver sección 2.1) y viento. A continuación se describe el módulo CTD y en la sección 5.3 el correspondiente al viento.

Una de las actividades más relevantes en un crucero C/O en el área de física, es medir los valores de los parámetros: presión, temperatura y conductividad en la columna de agua. En algunas ocasiones también se obtiene el valor del oxígeno.

Las mediciones se realizan por medio de señales analógicas que se transforman a digitales mediante el CTD y una computadora. En dicho proceso pueden ocurrir diferentes tipos de errores desde una falla electrónica hasta una falla humana, lo que ocasiona que existan datos erróneos. Por tal motivo, es necesario depurar los datos.

En la mayoría de los casos el muestreo deseado es de 0.1 m pero como la velocidad de descenso o ascenso del CTD es muy difícil de controlar normalmente esto no es posible, además el intervalo de tiempo entre señales analógicas es tan pequeño que produce una gran cantidad de información. No en pocas ocasiones el descenso o ascenso es interrumpido y el CTD sigue haciendo mediciones de los valores de conductividad y temperatura que corresponde a una misma presión. Por lo cual los valores de las variables profundidad, temperatura y salinidad derivados de los datos crudos (ver sección 2.1) deben ser promediados posteriormente.

En algunos estudios el intervalo de muestreo 0.1 m excede a la precisión que se requiere, por lo que es necesario hacer una selección de los datos cada determinado intervalo de profundidad en metros. Por ejemplo: 0, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 150, 200, ..., hasta la profundidad límite del muestreo que la mayoría de las veces está determinada por la profundidad del fondo.

El paquete computacional inherente al CTD proporciona un archivo ASCII correspondiente a cada muestreo de la columna de agua en las

⁷ Señala una dirección en la base de datos, en este caso a donde está un archivo.

E/O. A partir de estos archivos (archivos ASCII) el SIGO procesa los datos.

Por tal motivo los nombres de los archivos ASCII que van a ser utilizados por el SIGO quedan restringidos al siguiente formato.

- Prefijo de estación PF (ver secciones 4.1 y 4.4) cuatro caracteres, por ejemplo MO17 para representar el nombre del crucero MOPPED 17.
- Clave para saber si el archivo corresponde a un muestreo en descenso o en el ascenso de CTD utilizando la letra D o U respectivamente. En este ejemplo se supone que el muestreo se realizó al descenso.
- Número de E/O a la que pertenece el archivo, tres caracteres numéricos por ejemplo 019.
- Finalmente la extensión del archivo se debe definir como ASC.

En este ejemplo el nombre del archivo ASCII generado por el CTD queda determinado como MO17D019.ASC.

Dentro del procesamiento tradicional de la información que se obtiene con el CTD los productos gráficos derivados de ésta son de suma utilidad para la interpretación del patrón de comportamiento de las masas de agua. Entre los más relevantes están:

- Los perfiles en la columna de agua de los parámetros temperatura, salinidad y densidad.
- Las secciones transversales y horizontales del volumen de agua de los parámetros temperatura, salinidad y densidad.

Al diseñar las funciones del módulo CTD estas necesidades fueron de primera prioridad. Cabe remarcar que en la implementación de las funciones, la experiencia de 20 años en el procesamiento de datos de oceanografía física fue básica. Las funciones que se consideró eran las mínimas necesarias se describen a continuación.

5.2.1 LIMPIA.

Esta función se implementó para eliminar los datos erróneos de los archivos ASCII generados por el CTD. La función es básica para todo el procesamiento de los datos medidos con el CTD y es precisamente esta función la que no se ha podido encontrar disponible en los sistemas de información existentes de forma directa, es decir, sin tener que programar. Lo que posiblemente se debe a su peculiaridad.

La función cuenta con un algoritmo de detección de errores que discrimina datos erróneos por medio de las siguientes acciones.

- Suprime el encabezado del archivo que son comentarios.
- Elimina los registros que no cumplen: que la profundidad y temperatura sean positivas y que la salinidad sea mayor 28 ups (unidades prácticas de salinidad). Se sabe por experiencia que los datos eliminados con estas condiciones son generalmente mediciones que el CTD realizó antes de entrar al agua. También pueden ser resultado de ruido en las señales (poco frecuentes).
- Organiza los registros en orden ascendente con respecto a la profundidad. Debido a que en ocasiones el CTD es detenido por razones ajenas al muestreo se pierde este orden. Por otro lado si se utilizan los archivos correspondientes al ascenso del CTD también se deben ordenar.
- Los registros que almacenan datos de una misma profundidad normalmente son más de uno por ejemplo:

profundidad	temperatura	Salinidad
3.3	21.5010	35.8614
3.3	21.5010	35.8612
3.3	21.5006	35.8615

Debido a que en un conjunto de datos correspondientes a una misma profundidad una diferencia mayor 0.05 (en el valor de la temperatura o salinidad) no es común y de presentarse es un valor solitario dentro del conjunto de valores se desecha, generalmente corresponden a ruido en la señal.

- Se promedian los valores de salinidad y temperatura correspondientes a una misma profundidad.
- Se calculan pendientes de salinidad (s) y temperatura (t) en todas las profundidades (p). De la siguiente manera: se toman los valores de 3 registros supóngase r_1, r_2, r_3 si no se detecta error se avanza en un registro para el siguiente cálculo r_2, r_3, r_4 y así hasta el fin del archivo, el siguiente es un ejemplo de pendientes (gradientes) de temperatura.

$$pt_1 = \text{abs}((t_2 - t_1) / (p_2 - p_1))$$

$$pt_2 = \text{abs}((t_3 - t_2) / (p_3 - p_2))$$

- Si la diferencia entre pendientes de temperatura o salinidad (pt o ps) según sea el caso excede a 0.05.

$$\text{abs}(pt_2-pt_1) > 0.05$$

Se suaviza el segmento de la curva sustituyendo el valor con el promedio de sus vecinos, por ejemplo para t_3 .

$$t_3 = (t_2+t_4)/2$$

Se eligió 0.05 porque después de numerosos ensayos fue el más satisfactorio. Cuando se usaron valores más grandes los perfiles tendían a una recta y cuando se utilizaron valores más pequeños algunos segmentos no eran suavizados por el algoritmo. Con 0.05 se lograron mejores resultados, es decir, suavizar los perfiles y conservar su tendencia original en la mayoría de los casos.

Finalmente la función crea los archivos que contienen los datos depurados cuyos nombres son iguales a los nombres de los archivos .ASC únicamente difieren en la extensión. Ejemplo:

MO17D019.ASC MO17D019.LIM

Cada uno de los archivos .LIM es una entidad del conjunto PST.

Según se seleccione la función puede depurar los archivos ASCII que contienen la información correspondiente al descenso o al ascenso del CTD.

La función utiliza el conjunto de relaciones CRU-EST las cuales asocian a una entidad (C/O) del conjunto CRU con n entidades (E/O) del conjunto EST como se vio en la sección 4.2 y figura 4.1.

5.2.2 NIVELES.

Para algunos estudios se requieren sólo los valores de los atributos a ciertas profundidades (ver sección 5.2). Para cubrir esta necesidad se implementó la función niveles la cual genera archivos que contiene los valores de los parámetros temperatura y salinidad que corresponden a trece diferentes profundidades (niveles), según lo defina el usuario. Se decidió usar como máximo 13 niveles porque es el número límite que comúnmente se maneja.

La función utiliza los conjuntos de relaciones CRU-EST, EST-APTS y APTS-PTS, que relacionan a las entidades de los conjuntos CRU, EST y PTS respectivamente (ver sección 4.2 y figura 4.1).

Cuando se elige una entidad (un C/O) del conjunto CRU, ésta tiene una relación con n entidades (E/O) del conjunto EST y cada una de estas entidades a su vez está relacionada con n entidades (nombres de archivos) del conjunto de APTS, las que tienen una relación con las entidades (registros de archivo) del conjunto PTS, esto es, la función toma los valores de: profundidad, temperatura y salinidad de los registros correspondientes a los niveles escogidos por el usuario de los archivos creados por la función limpia, lo que significa que previamente se empleó dicha función.

El archivo que produce la función niveles tiene el mismo nombre del archivo que utilizó (con extensión .LIM) y le asigna la extensión .NIV. Siguiendo el ejemplo del punto anterior.

MO17019.LIM

MO17019.NIV

Según se prefiera la función utiliza los archivos generados por la función limpia que contienen la información correspondiente al descenso o al ascenso del CTD.

La función despliega una ventana con el valor de la profundidad asignada a cada uno de los 13 niveles en la última llamada, proporciona al usuario la opción de cambiar dicha profundidad si así lo solicita.

La función es capaz de seleccionar una o n entidades (nombres de archivos .LIM) del conjunto APTS según se le indique. De los archivos .LIM extrae los datos correspondientes a cada nivel si es que éstos existen. Crea un archivo con extensión .NIV por cada entidad elegida del conjunto APST con los valores de los parámetros profundidad, temperatura y salinidad para cada uno de los 13 niveles, si existen los datos.

5.2.3 GRÁFICOS DE ESTACIONES.

El módulo gráficos perteneciente al módulo CTD se implementó para mostrar en pantalla diferentes productos gráficos con la opción de mandarlos a imprimir si así se requiere. La función estaciones es parte de este módulo y se diseñó pensando en visualizar la posición geográfica de las E/O, es decir, de la red de estaciones del crucero que se esté procesando. La red de E/O tiene asociado un litoral (línea de costa).

Cuando la red de E/O se despliega en la pantalla la función proporciona los valores de los atributos latitud, longitud y profundidad del fondo de cada una de las estaciones según el usuario se vaya desplazando por la red de E/O.

Los conjuntos de relaciones: LIT-CRU, LIT-AXY, AXY-XY y CRU-EST (ver sección 4.2 y figura 4.1) son usados por esta función.

Al elegir una entidad (C/O) del conjunto CRU, ésta se relaciona con una entidad (un litoral) del conjunto LIT la que a su vez está relacionada con una entidad (nombre de archivo) del conjunto AXY que tiene asociado un archivo xy correspondiente a la digitalización del litoral.

Cuando la función estaciones es llamada tiene la capacidad de mostrar en pantalla una parte del litoral y el mar sobre el plano (longitud, latitud) que el usuario elige siempre y cuando éste esté dentro de los límites que el sistema le indica. Estos límites dependen del valor de los atributos latitud inicial (LAI), latitud final (LAF), longitud inicial (LOI) y longitud final (LOF) definidos al dar de alta la entidad del conjunto LIT asociada al C/O que se esté procesando.

La función inicia con los límites de latitud y longitud asignados en la última llamada. Existe la opción de poderlos cambiar siempre y cuando no rebasen los valores de los atributos LAI, LAF, LOI y LOF definidos para el litoral correspondiente (ver sección 4.1 y figura 4.1).

La función puede desplegar en el plano (longitud, latitud) una o n entidades (E/O) del conjunto EST relacionadas con la entidad (C/O) del conjunto CRU que se esté procesando, siempre y cuando su latitud y longitud se encuentre dentro de los límites predeterminados. En caso contrario la función envía un mensaje de error indicando que la estación oceanográfica está fuera de los límites.

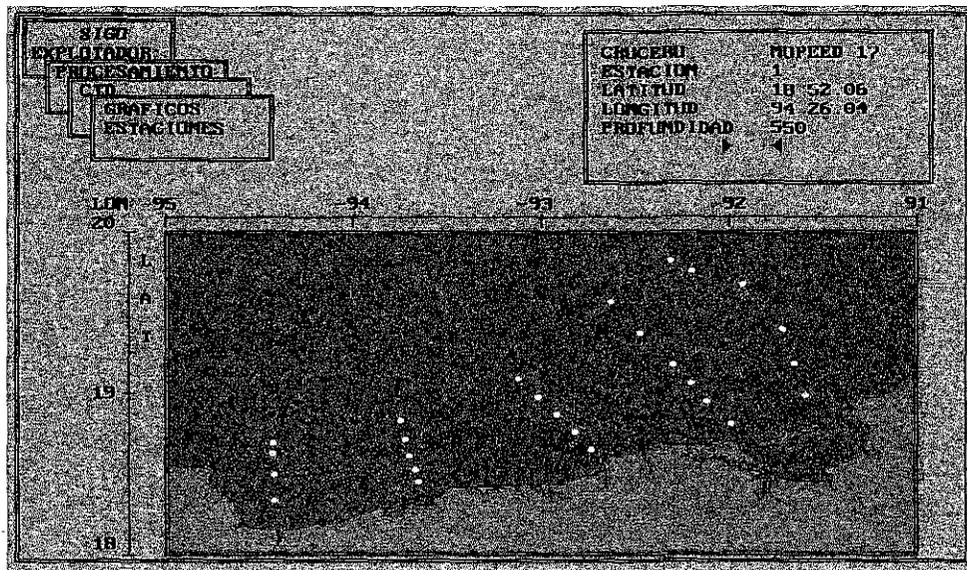


Figura 5.1 Estaciones oceanográficas MOPPED 17.

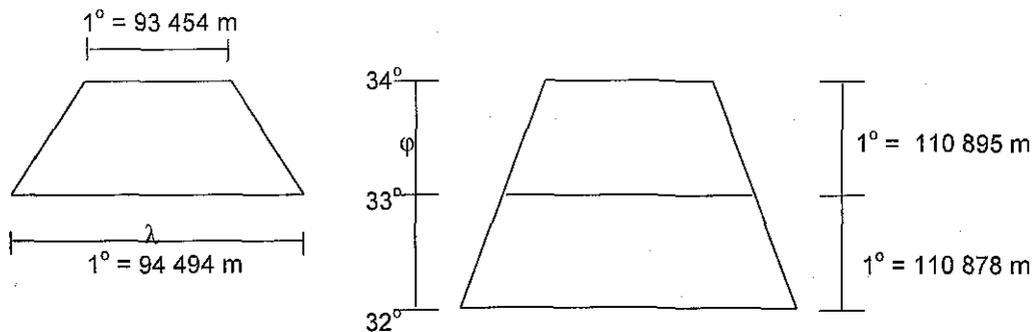
El ejemplo de la figura 5.1 muestra la red de estaciones del crucero MOPPED 17 en pantalla y la figura 5.2 es la impresión del mismo ejemplo.

Para graficar tanto el litoral como las estaciones, la latitud y longitud se transforman a unidades de pantalla o de impresión, según sea el caso, para ser proyectadas en un sistema ortogonal de coordenadas geográficas.

El error por convergencia de meridianos se despreció, con base en las siguientes consideraciones:

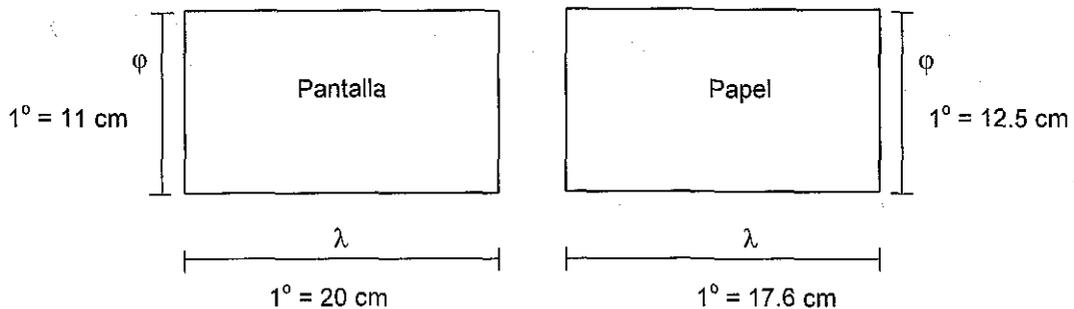
- De la tabla longitud de un grado de meridiano y un grado de paralelo a diferentes latitudes (Raisz, 1985), se tiene para las latitudes 32° N y 33° N (la latitud más alta en México es $32^{\circ} 43'$ N), los siguientes valores.

φ Grados	Longitud de un grado de	
	meridiano m	paralelo m
33	110 878	94 494
34	110 895	93 454



Por lo tanto para México la diferencia máxima entre longitudes de un grado de paralelo es 1040 m y para un grado de meridiano es 17 m.

- El área de dibujo en pantalla es de 20 x 11 cm (500 x 275 pixels) y en papel de 17.6 x 12.5 cm (7000 x 5000 unidades de impresora). La resolución máxima que puede ser representada en estas áreas de dibujo es de un grado de longitud x un grado de latitud.



- Si se considera las diferencias máximas de longitudes de 1° de paralelo y meridiano (1040 y 17 m respectivamente) en la máxima resolución ($1^\circ \lambda \times 1^\circ \phi$) en las áreas de dibujo de 20 x 11 cm (pantalla) o 17.5 x 12.5 cm (papel), se tiene que.

Para los paralelos, el máximo error es 1040 m equivalente a $0.64'$ de paralelo que corresponde a 2.2 mm en la pantalla y 1.9 mm en papel.

Para los meridianos, el máximo error es 17 m equivalente a $0.00919'$ de meridiano correspondiente 0.008 mm en pantalla y 0.009 mm en papel.

Se despreciaron las diferencias de longitudes de 1° de paralelo y 1° meridiano (para México) porque en las áreas de dibujo que utiliza el SIGO para graficar en pantalla o en papel, estas diferencias no son perceptibles.

En este proyecto se dio prioridad a las necesidades actuales sin descartar el desarrollo posterior de módulos o funciones para futuros requerimientos, como sería utilizar la proyección de Mercator para latitudes más altas y/o para graficar en áreas de dibujo donde las diferencias de longitudes entre paralelos y meridianos sean notorias.

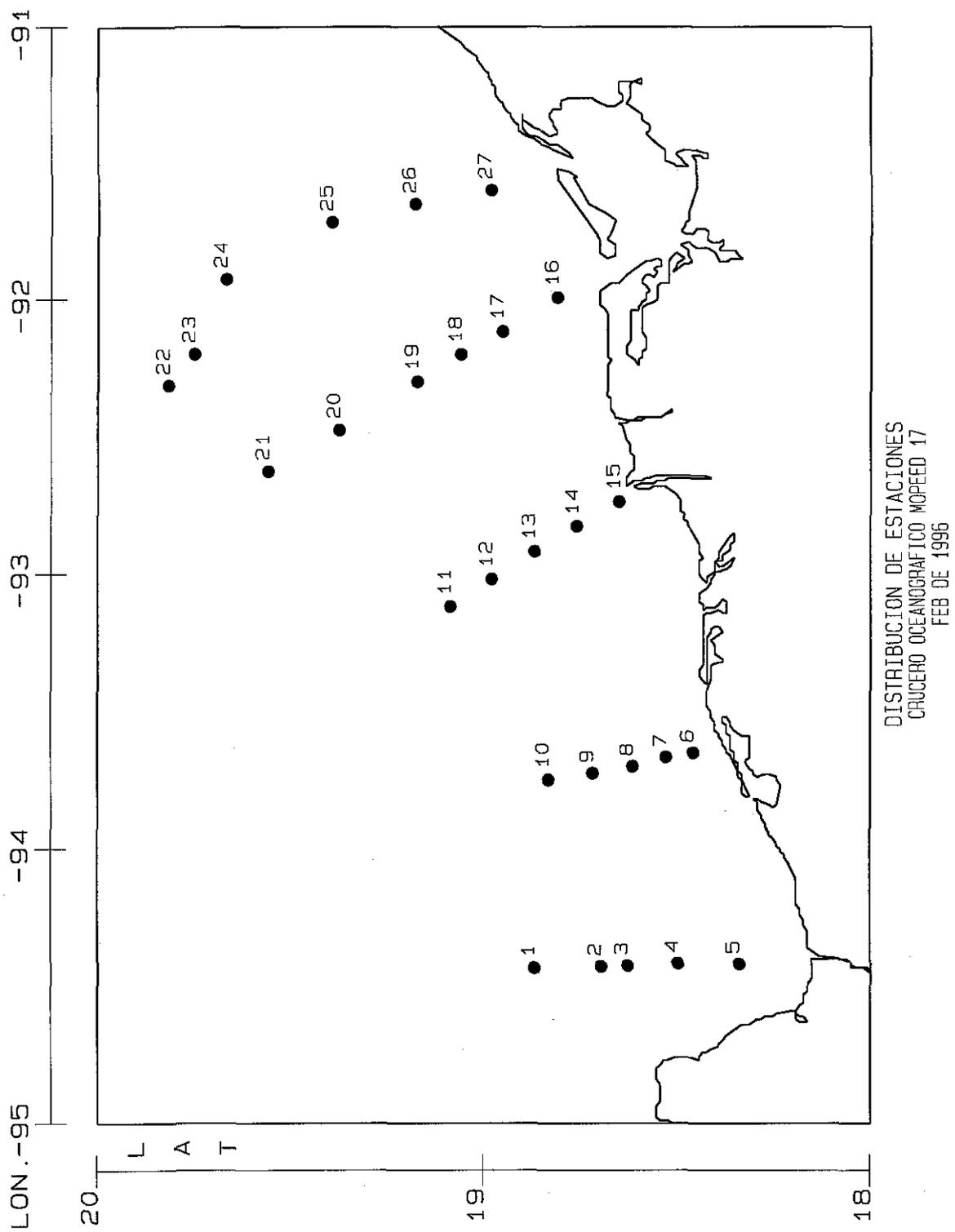


Figura 5.2 Estaciones oceanográficas MOPPED 17 (impresión).

5.2.4 GRÁFICOS DE PERFILES.

Uno de los objetivos de la oceanografía física es describir los aspectos fundamentales de los campos temperatura, salinidad y σ_t de una zona de estudio que se esté investigando. Generalmente para ello se vale de los siguientes productos gráficos: cortes verticales, cortes horizontales, perfiles y diagramas de dispersión (perfiles globales de uno de los parámetros).

En esta sección se describen los perfiles y diagramas de dispersión que se obtienen por medio de la función perfiles. La que forma parte del módulo gráficos que a su vez se integra al módulo CTD.

La oceanografía física tiene particular interés en la salinidad y la temperatura del agua del mar porque ellas son características que ayudan a identificar un cuerpo particular de agua y también porque junto con la presión determinan la densidad (ρ) del agua de mar. La distribución de la densidad puede también relacionarse con la circulación oceánica a gran escala. La densidad se expresa físicamente en kg/m^3 . En mar abierto su valor oscila alrededor de 1021.00 kg/m^3 en la superficie y 1070.00 kg/m^3 a 10, 000 m de profundidad. Por conveniencia en oceanografía es usual utilizar sólo los últimos cuatro dígitos, de tal manera, que a esta cantidad se le llama $\sigma_{s,t,p}$ y se define como:

$$\sigma_{s,t,p} = \text{densidad} - 1000.00 \text{ kg/m}^3$$

donde s = salinidad, t = temperatura y p = presión. Esto es referido como valor *in situ*. Para muchas aplicaciones en oceanografía descriptiva el efecto de la presión sobre la densidad puede ser ignorado y la cantidad $\sigma_{s,t,0}$ es comúnmente abreviado a σ_t . Esto es la diferencia de densidad de la muestra de agua donde la presión total sobre ella ha sido reducida a atmosférica (la presión del agua $p = 0$) pero la temperatura y salinidad son valores *in situ* (Pickard y Emery, 1990).

El agua pura tiene una densidad muy cercana a 1000 kg/m^3 . Actualmente 999.97 kg/m^3 es la máxima densidad que puede tener el agua pura a 4°C . Los oceanógrafos están interesados en pequeñas variaciones de la densidad por lo que se ha establecido la siguiente convención:

$$\sigma = \rho - 1000$$

donde ρ es un valor numérico de la densidad en kg/m^3 . Así para el valor:

$$\rho = 1025.03 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma = 25.03$$

La cantidad σ (sigma) es llamada el exceso de densidad o el parámetro Knudsen. Su definición exacta, símbolo y nomenclatura continúa siendo un debate en la comunidad oceanográfica (Beer, 1997).

En este trabajo se utiliza indistintamente densidad o sigma t para referirse a la densidad del agua del mar.

La función perfiles calcula la densidad (ρ , kg/ m³) de agua de mar como una función de la salinidad práctica (S), temperatura (t, °C) y la presión (p, bares) basada en la ecuación internacional de estado del agua de mar dada por la UNESCO, 1981:

$$\rho(S,t,p) = \frac{\rho(S,t,0)}{1 - p / K(S,t,p)}$$

- La densidad $\rho(S,t,0)$ del agua de mar a una atmósfera ($p = 0$) es calculada como función de (S,t,0) con la siguiente ecuación.

$$\rho(S,t,0) = \rho_w + AS + BS^{3/2} + CS^2$$

donde:

$$A = 8.24493 \times 10^{-1} - 4.0899 \times 10^{-3} t + 7.6438 \times 10^{-5} t^2 - 8.2467 \times 10^{-7} t^3 + 5.3875 \times 10^{-9} t^4$$

$$B = -5.72466 \times 10^{-3} + 1.0227 \times 10^{-4} t - 1.6546 \times 10^{-6} t^2$$

$$C = 4.8314 \times 10^{-4}$$

donde ρ_w , la densidad del agua estándar del océano medio se considera como pura y está dada por:

$$\rho_w = 999.842594 + 6.793952 \times 10^{-2} t - 9.095290 \times 10^{-3} t^2 + 1.001685 \times 10^{-4} t^3 - 1.120083 \times 10^{-6} t^4 + 6.536332 \times 10^{-9} t^5$$

- La densidad $\rho(S,t,p)$ del agua del mar a cierta presión se calcula como función (S,t,p) con la siguiente ecuación:

$$\rho(S,t,p) = \frac{\rho(S,t,0)}{1 - p / K(S,t,p)}$$

donde $\rho(S,t,0)$ es la ecuación de estado del agua de mar a una atmósfera ($p = 0$) y se vio en el punto anterior.

$$K(S,t,p) = K(S,t,0) + Ap + Bp^2$$

donde:

$$K(S,t,0) = K_W + (54.6746 - 0.603459 t + 1.09987 \times 10^{-2} t^2 - 6.1670 \times 10^{-5} t^3) S + (7.944 \times 10^{-2} + 1.6483 \times 10^{-2} t - 5.3009 \times 10^{-4} t^2) S^{3/2}$$

$$A = A_W + (2.2838 \times 10^{-3} - 1.0981 \times 10^{-5} t - 1.6078 \times 10^{-6} t^2) S + 1.91075 \times 10^{-4} S^{3/2}$$

$$B = B_W + (-9.9348 \times 10^{-7} + 2.0816 \times 10^{-8} t + 9.1697 \times 10^{-10} t^2) S$$

$$K_W = 19652.21 + 148.4206 t - 2.327105 t^2 + 1.360477 \times 10^{-2} t^3 - 5.155288 \times 10^{-5} t^4$$

$$A_W = 3.239908 + 1.43713 \times 10^{-3} t + 1.16092 \times 10^{-4} t^2 - 5.77905 \times 10^{-7} t^3$$

$$B_W = 8.50935 \times 10^{-5} - 6.12293 \times 10^{-6} t + 5.2787 \times 10^{-8} t^2$$

Los perfiles de los valores de temperatura, salinidad y σ_t de la columna de agua son de gran utilidad para identificar patrones de masas de agua y corrientes. El perfil de σ_t es una curva representativa de la distribución vertical de la temperatura y salinidad.

La función perfiles utiliza los conjuntos de relaciones CRU-EST, EST-APTS y APTS-PTS (ver sección 4.2 y figura 4.1), es decir, una entidad (C/O) del conjunto CRU tiene asociadas n entidades (E/O) del conjunto EST y cada una de estas entidades a su vez está relacionada con n entidades (nombre de archivo pts) del conjunto APTS.

Para el cálculo de σ_t la función utiliza los datos del conjunto PTS, es decir, σ_t se calcula con la profundidad, temperatura y salinidad que han sido depurados y promediados por la función limpia y están disponibles en los archivos con extensión .LIM.

La función perfiles grafica en pantalla los valores de salinidad, temperatura y σ_t como función de la profundidad lo que proporciona los perfiles en la columna de agua de estos parámetros. Correspondientes a una o n estaciones oceanográficas del crucero que se esté procesando, según se seleccione.

La función cuenta con la opción de graficar los datos medidos al descenso o al ascenso del CTD.

En una ventana despliega los límites de las escalas que utiliza para temperatura, sal, σ_t y profundidad, permite modificar uno o más de estos límites. La función siempre inicia con los límites de las escalas asignados en la última llamada.

En la figura 5.3 se observa los perfiles de los parámetros en la estación 1 del crucero MOPPED 17.

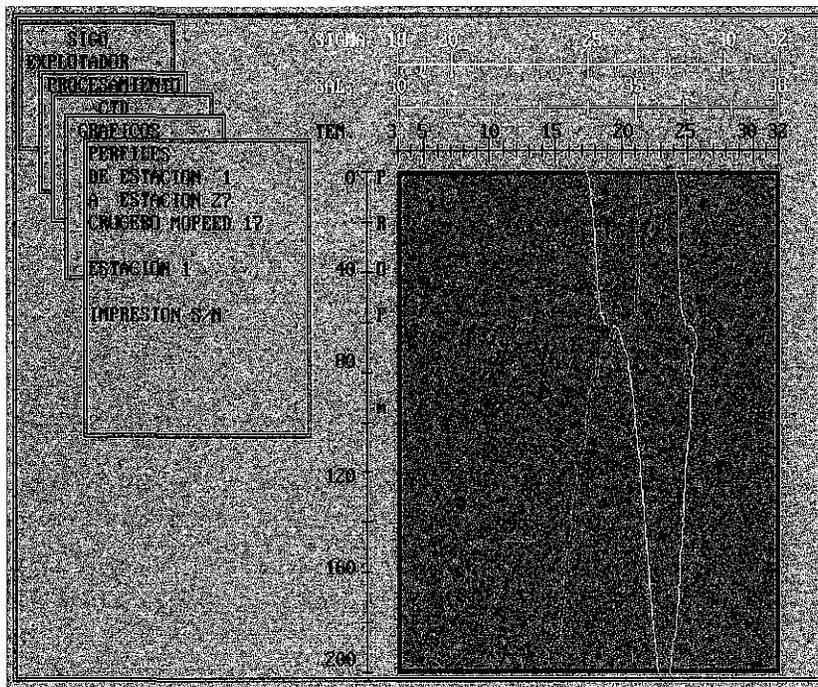


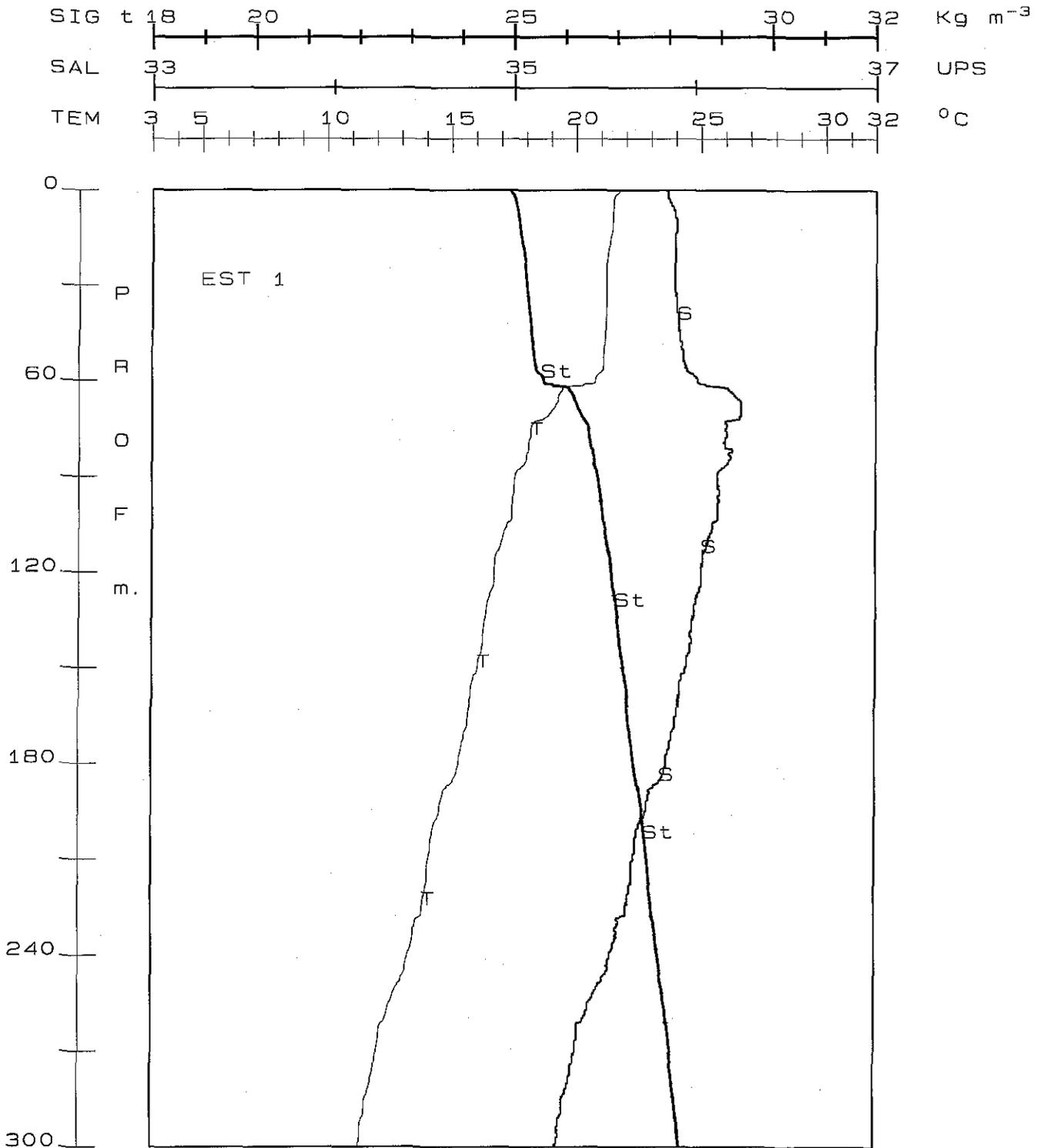
Figura 5.3 Perfiles de estación 1 del crucero MOPEED 17.

Puede desplegar los perfiles como diagramas de dispersión de un parámetro de n estaciones oceanográficas elegidas.

Cuenta con la opción de imprimir los perfiles de temperatura, salinidad y σ_t de una o n estaciones o el diagrama de dispersión de uno de los parámetros de n estaciones.

Dos ejemplos de impresión son la figura 5.4 que muestra los perfiles de temperatura, salinidad y σ_t de la estación 1, y la figura 5.5 expone el diagrama de dispersión de salinidad del transecto I (de la estación 1 a la estación 5). Ambos ejemplos del crucero MOPPED 17.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA t
 CRUCERO OCEANOGRAFICO MOPEED 17
 FEB DE 1996

Figura 5.4 Perfiles (impresión).

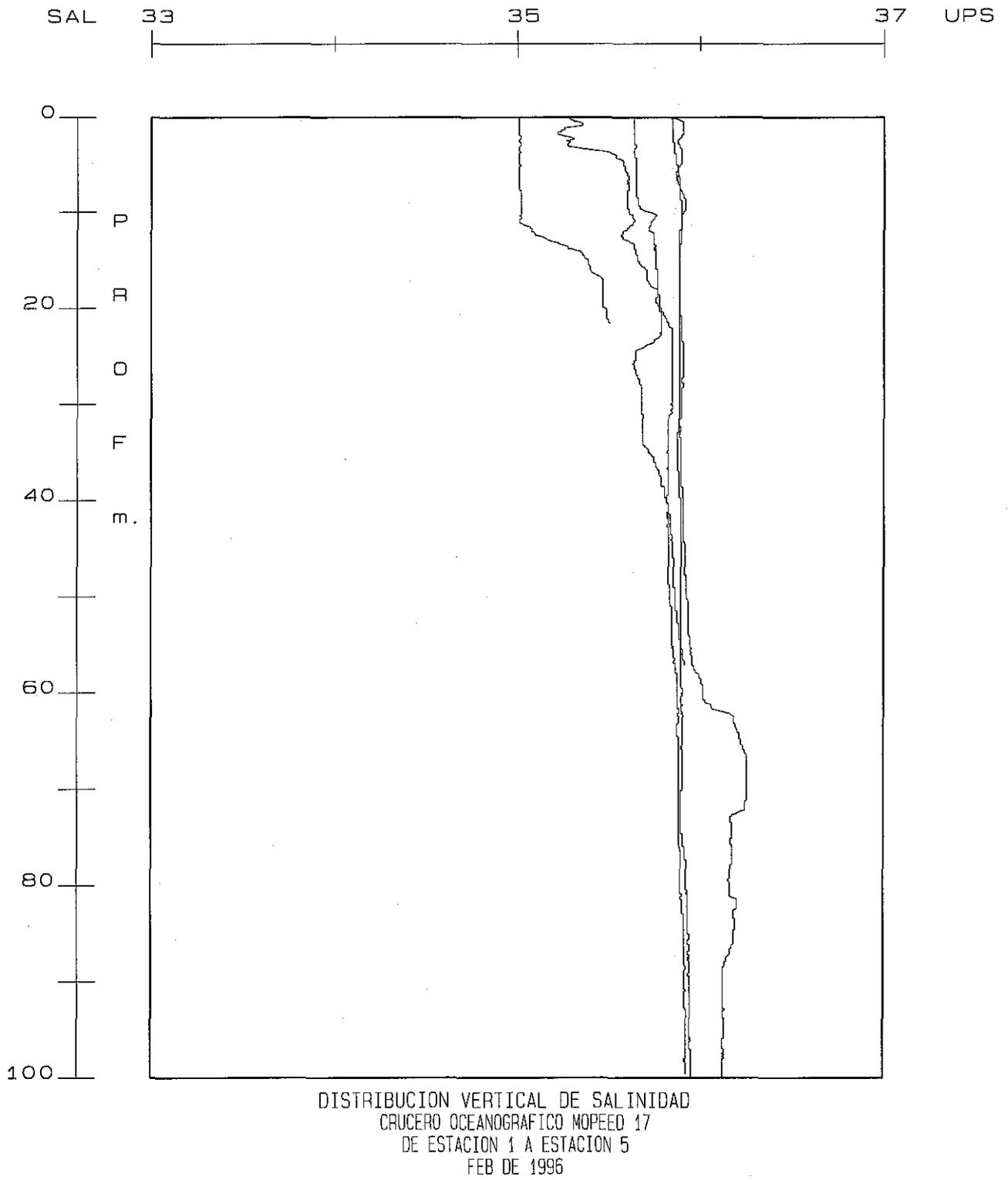


Figura 5.5 Diagrama de dispersión (impresión).

5.2.5 GRÁFICOS DE CORTES HORIZONTALES.

Normalmente en la interpretación de la información de oceanografía física se utilizan cortes horizontales con base en la red de estaciones o parte de ella que proporcionan un patrón de distribución horizontal de los parámetros físicos salinidad, temperatura y σ_t . Para localizar la red de estaciones se usa como referencia un litoral (línea de costa).

Los cortes horizontales son útiles para identificar patrones de distribución en la superficie o muy cercana a ésta donde generalmente los valores de los parámetros son heterogéneos. Sucede al contrario en las capas de agua más profunda donde los valores de los parámetros se mantienen casi constantes, por lo que los cortes horizontales a poca profundidad son de interés para obtener información relevante del comportamiento de las aguas someras.

Horizontales es una función del módulo gráficos que pertenece al módulo CTD. Esta función se diseñó para realizar el procesamiento que permite obtener los cortes horizontales.

Para graficar la red de estaciones en el plano (longitud, latitud) y el litoral correspondiente la función horizontales usa los conjuntos de relaciones LIT-CRU, LIT-AXY, AXY-XY, CRU-EST (ver sección 4.2 y figura 4.1). Cuando se elige un entidad (C/O) del conjunto CRU, ésta tiene asociada una entidad (datos del litoral) del conjunto LIT, que a su vez está relacionada con una entidad (nombre del archivo) del conjunto AXY que se relaciona con un archivo que contiene la digitalización del litoral. La relación CRU-EST asocia un C/O con n E/O.

La función muestra en una ventana los límites del plano en el cual va a trazar el corte horizontal, que son los que se usaron en la última llamada. El usuario puede modificarlos siempre y cuando estén dentro de los que el sistema le indica. Los límites están restringidos a los establecidos al dar de alta el litoral en la base de datos, o sea, al valor de los atributos LAI, LAF, LOF, LOI (ver sección 4.1 y figura 4.1).

La función horizontales construye una malla con la red de estaciones en el plano (longitud, latitud) donde cada nodo está determinado por la posición geográfica de la estación.

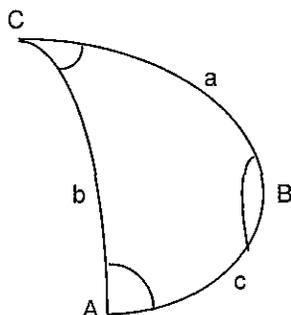
Para obtener los valores de los parámetros físicos la función utiliza el conjunto de relaciones EST-APTS que asocia una entidad del conjunto EST (E/O) con n entidades (nombres de archivos) del conjunto APTS (ver sección 4.1 y figura 4.1).

La función horizontales tiene la capacidad de procesar hasta 13 cortes horizontales (13 niveles). Las profundidades de los cortes dependen de las profundidades determinadas previamente en la función niveles.

Para graficar los cortes horizontales la función utiliza los valores de salinidad y temperatura procesados por la función niveles, es decir, utiliza los archivos con extensión .NIV. Con estos datos realiza el cálculo de la densidad de agua σ_t basado en el algoritmo que proporciona la UNESCO, 1981 (ver sección 5.2.4).

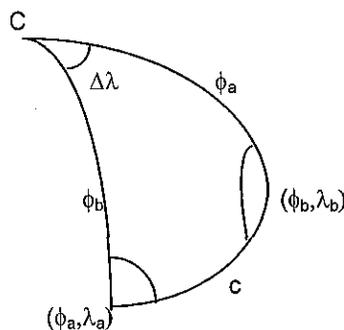
A cada nodo de la malla le corresponde el valor que tiene el parámetro que se esté procesando en la profundidad del corte.

La función calcula la distancia entre nodos a partir de la ley de los cosenos de las fórmulas fundamentales de la trigonometría esférica (Toscano, 1977).



$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

Si los vértices A y B están determinados por su latitud y su longitud (ϕ, λ) y el ángulo del vértice C es igual $\Delta\lambda$. Esto es:

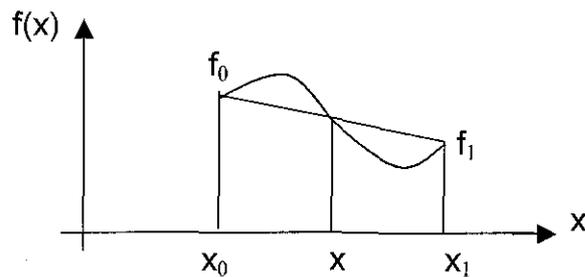


la distancia c entre los vértices A y B está dada por:

$$\cos c = \cos \phi_a \cos \phi_b + \sin \phi_a \sin \phi_b \cos (\lambda_b - \lambda_a)$$

A partir de los valores del parámetro y las distancias entre nodos de la malla, la función utiliza un algoritmo de interpolación lineal extendido al caso bilineal (Press *et al.*, 1989) para obtener los valores interpolados del parámetro en proceso con los cuales la función traza las isolíneas correspondientes.

Si se conocen los pares (x_0, f_0) y (x_1, f_1) .



un valor $f(x)$ se interpola linealmente por:

$$f(x) = \phi_0(x) f_0 + \phi_1(x) f_1$$

donde

$$\phi_0(x) = 1 - a$$

$$\phi_1(x) = a$$

donde

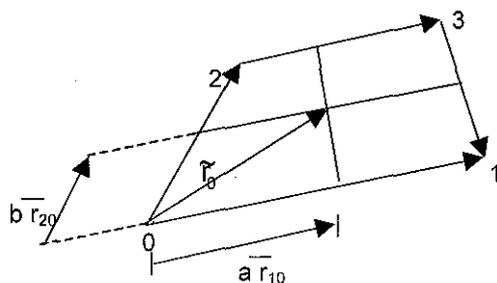
$$a = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \quad a \in [0, 1]$$

esto es

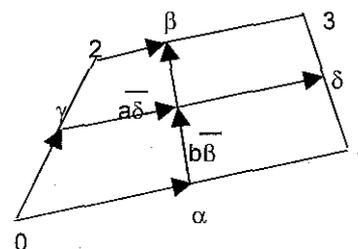
$$\phi_0(x) = 1 - \phi_1(x)$$

ϕ_0 y ϕ_1 son funciones con soporte puntual. Es decir:

$$\phi_k(x_L) = \begin{cases} 1 & \text{si } k = L \\ 0 & \text{si } k \neq L \end{cases} \quad k = 0, 1$$



$$\bar{r}_0 = a \bar{r}_{10} + b [\bar{r}_{20} + a (\bar{r}_{32} - \bar{r}_{10})]$$



$$\bar{r}_0 = \bar{\alpha} + \bar{\beta}$$

$$\bar{r}_{32} = \bar{r}_{30} - \bar{r}_{20}$$

$$\bar{r}_0 = \bar{r}_{10} a(1-b) + b \bar{r}_{20} + ab [\bar{r}_{30} - \bar{r}_{20}]$$

$$\bar{r}_0 = \bar{r}_{10} a(1-b) + b \bar{r}_{20} + ab \bar{r}_{30}$$

O también

$$\bar{r}_0 = b \bar{r}_{20} + a [\bar{r}_{10} + b (\bar{r}_{31} - \bar{r}_{20})]$$

$$\bar{r}_0 = \bar{\gamma} + a \bar{\delta}$$

Esta expresión es la misma para aproximar un valor de la función f .
Esto es:

$$\bar{f}_0 = a f_{10} + b (f_{20} + a (f_{32} - f_{10}))$$

La función horizontales grafica las isolíneas con los valores interpolados de temperatura o salinidad o sigma_t a partir de sus valores en los nodos de la malla. Aquí cabe aclarar que matemáticamente n puede ser cualquier entero mayor que 1. Los n nodos de la malla corresponden n entidades (E/O) del conjunto EST.

Grafica el parámetro salinidad o temperatura o sigma-t según elija el usuario.

Puede utilizar la información procesada por la función niveles a partir de los datos capturados por el CTD de ascenso o descenso.

Despliega en pantalla de uno a 13 cortes horizontales a diferente profundidad, uno por pantalla.

La función tiene la capacidad de trazar isóneas a tres diferentes intervalos, estos son; 0.1, 0.2 y 0.5 de unidad, según se elija.

El trazo de la gráfica en pantalla puede realizarse a velocidad baja o alta, en el primer caso traza una isónea y espera a que el usuario le indique que continúe al mismo tiempo en una ventana escribe el valor de la isónea. En caso contrario despliega todas las isóneas sin pausa.

En cualquiera de los 2 casos anteriores, el color de las isóneas maestra es de color azul marino, esto con la finalidad de poder visualizar mejor el gradiente del parámetro en proceso. La figura 5.6 exponen un ejemplo de un corte horizontal a 5 m de profundidad correspondiente a la densidad que utiliza la malla de E/O del crucero MOPEED 17.

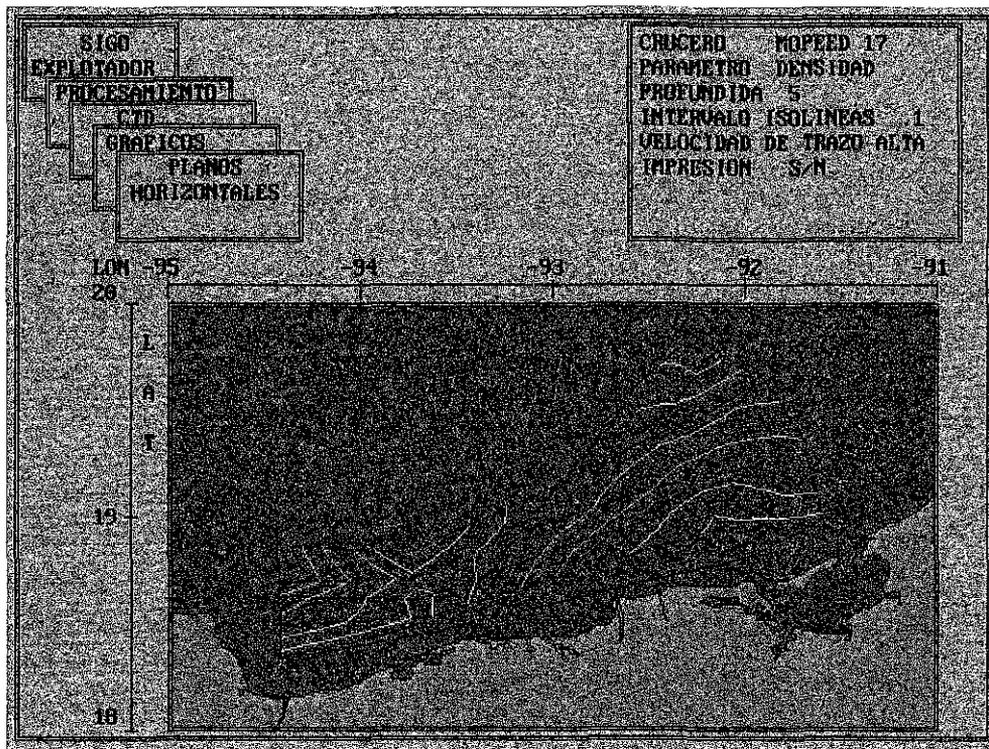


Figura 5.6 Distribución horizontal de densidad a 5 m de profundidad crucero MOPEED 17.

Una vez que la función termina de graficar en pantalla un corte horizontal puede mandarlo a la impresora si el usuario lo solicita. En esta opción se cuenta con la facilidad de elegir el intervalo de etiquetas que puede ser cada 0.2, 0.5 o 1.0 de unidad (ver figura 5.7).

Para graficar en pantalla o en papel los valores de longitud y latitud se convierten a las unidades correspondientes y se representan en un sistema coordenado ortogonal (ver sección 5.2.3).

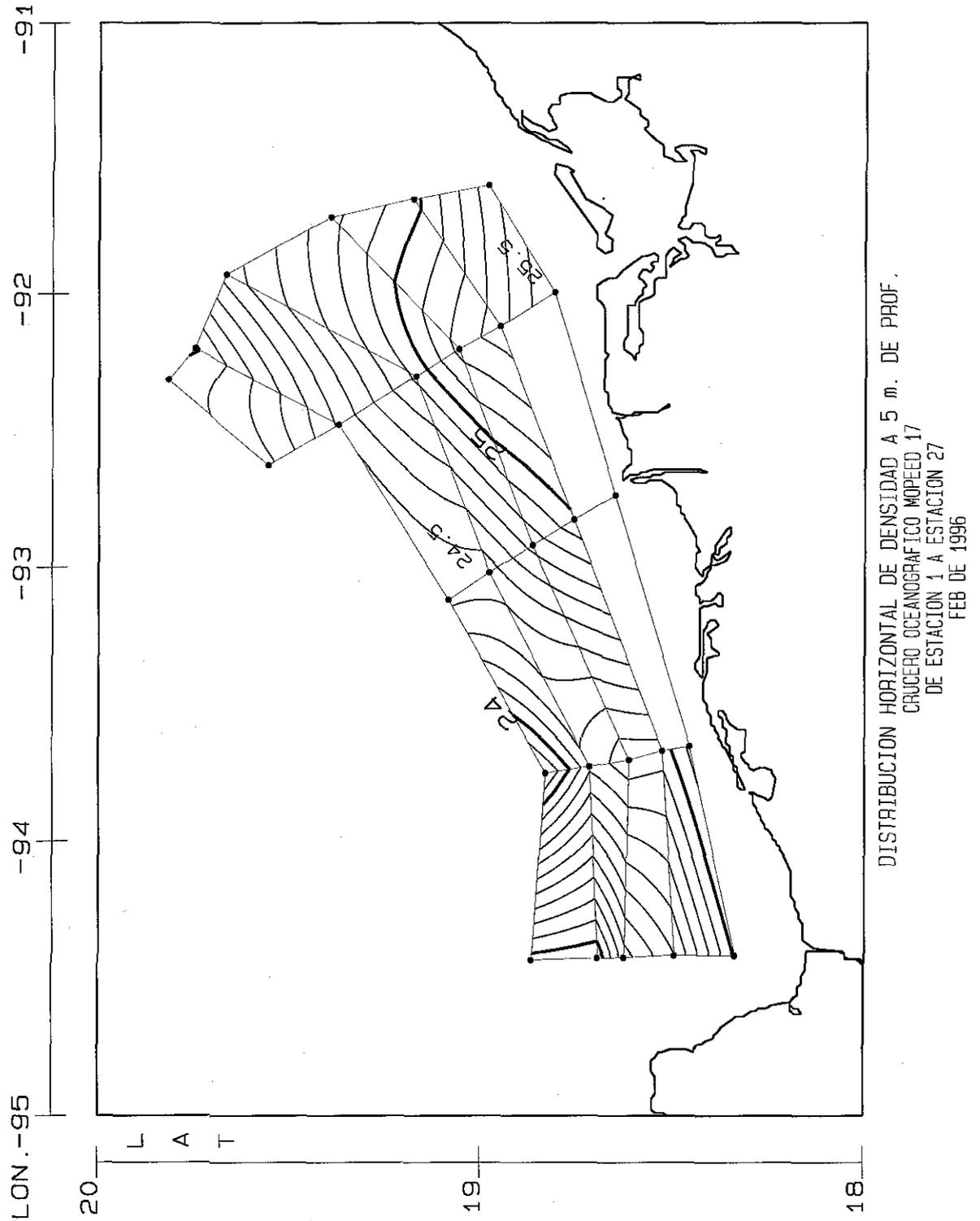


Figura 5.7 Distribución horizontal de densidad a 5 m de profundidad crucero MOPEED 17 (impresión).

5.2.6 GRÁFICOS DE CORTES VERTICALES.

Un transecto está definido por una línea que une estaciones oceanográficas, esto es, los transectos están definidos por una línea de la red de estaciones oceanográficas generalmente perpendicular a la costa.

En la sección 5.2.4 se vio que los perfiles muestran la distribución vertical de la salinidad, temperatura y σ_t en la columna de agua. Una sección transversal sobre un transecto también representa la distribución vertical pero en un corte vertical, es decir, en un plano (distancia, profundidad) que proporciona información más global para la interpretación de un volumen de agua.

Los gráficos de los cortes verticales se obtienen con la función transecto, la que es parte del módulo gráficos que a su vez se integra al módulo CTD.

La función utiliza los conjuntos de relaciones CRU-EST, EST-APTS (ver sección 4.2 y figura 4.1) que asocian una entidad (C/O) del conjunto CRU con n entidades (E/O) del conjunto EST y cada E/O está relacionada con n entidades (nombres archivos) del conjunto APTS.

Para trazar las isolíneas de temperatura o salinidad o σ_t la función transectos construye una malla donde cada nodo está determinado por la distancia entre las E/O que pertenecen al transecto y una profundidad (nivel). Cada estación puede tener hasta 13 niveles, definidos previamente en la función niveles.

Cada E/O tiene asociado un archivo con extensión .NIV (ver sección 5.2.2) donde están almacenados los valores de temperatura y salinidad para cada nivel (profundidad) los que son utilizados por la función transectos para computar el valor de σ_t con base en el algoritmo que proporciona la UNESCO, 1981 (ver sección 5.2.4).

A cada nodo de la malla le corresponde un valor del parámetro que se esté procesando.

La distancia entre los nodos en el eje x (distancia entre estaciones) es calculada por la función transectos a partir de las fórmulas fundamentales de la trigonometría esférica (ver sección 5.2.5). Con esta distancia y los valores del parámetro en proceso en cada nodo, la función transectos usa el método de interpolación lineal extendido al caso bilineal (ver sección 5.2.5) para obtener los valores interpolados con los que traza las isolíneas.

La función dibuja las isolíneas sobre una malla donde el número de nodos está determinado por el número de estaciones del transecto y el número de niveles que tiene cada estación. El número de niveles en cada estación depende de la profundidad del fondo en la ubicación de la estación. Matemáticamente la malla se puede construir con n nodos, donde $n > 1$.

Los algoritmos que emplea la función transectos para calcular: σ_t , distancia entre nodos e interpolación son los mismos que utiliza la función horizontales. Debido a que las dos funciones trazan las isolíneas sobre un plano. La función horizontales en el plano (longitud, latitud) y la función transectos en el plano (distancia, profundidad).

La función permite elegir cuántas y cuáles estaciones forman el transecto y el número de niveles que se requieren utilizar.

Dibuja el fondo correspondiente a cada estación si su profundidad es igual o menor a la del nivel más profundo de ser posible lo interpola con un algoritmo de interpolación lineal. Para tal efecto, extrae el valor del atributo PE (profundidad del fondo) de las entidades (E/O) del conjunto EST que integran el transecto.

Según se elija usa la información generada por la función niveles a partir de los datos capturados por el CTD al descenso o al ascenso.

El usuario selecciona cuál parámetro va a ser representado en el corte vertical.

El intervalo entre isolíneas puede ser: 0.1, 0.2 o 0.5.

La función puede trazar una isolínea y desplegar su valor en una ventana y continuar con el siguiente trazo cuando el usuario se lo indica o dibuja todas las isolíneas sin pausa.

Asigna el color azul marino a las isolíneas maestras para observar más fácilmente el gradiente del parámetro.

Un ejemplo de la distribución vertical de densidad en el transecto II, definido por las estaciones: 10, 9, 8, 7 y 6 del crucero MOPEED 17, se ve en la figura 5.8.

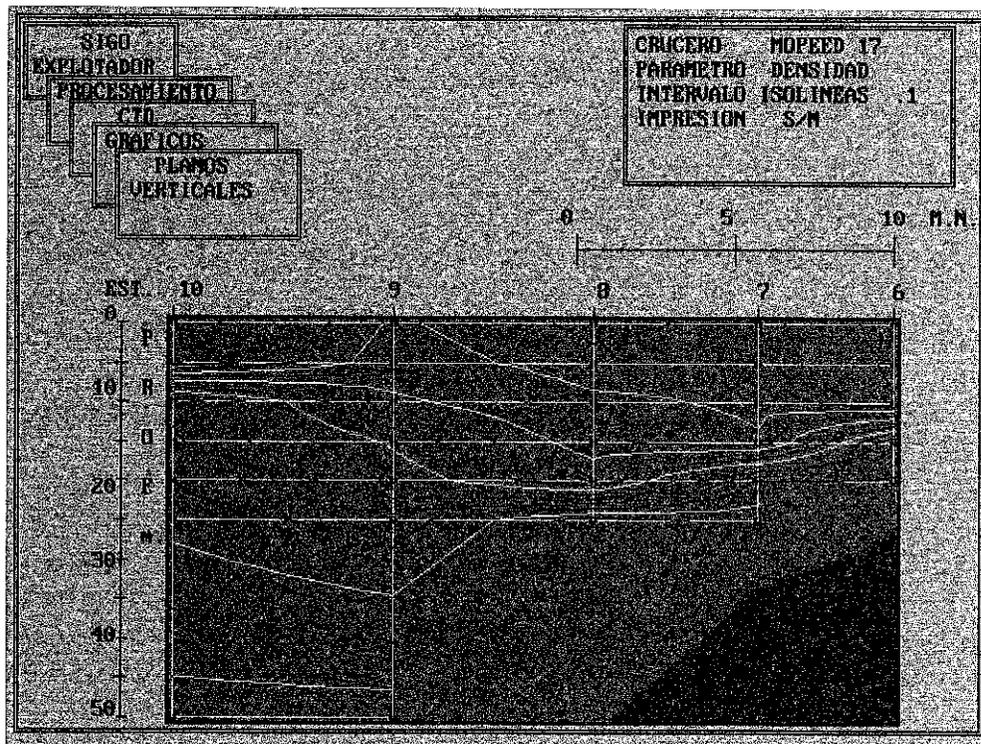


Figura 5.8 Distribución vertical de densidad, transecto II del crucero MOPEED 17.

En el momento que aparece el corte vertical en pantalla se puede mandar a imprimir y elegir el intervalo de etiqueta de las isolíneas entre 0.2 o 0.5 o 1.0.

La función hace las transformación a unidades de impresión o de pantalla según sea el caso.

Se muestra en la figura 5.9 la impresión del mismo ejemplo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

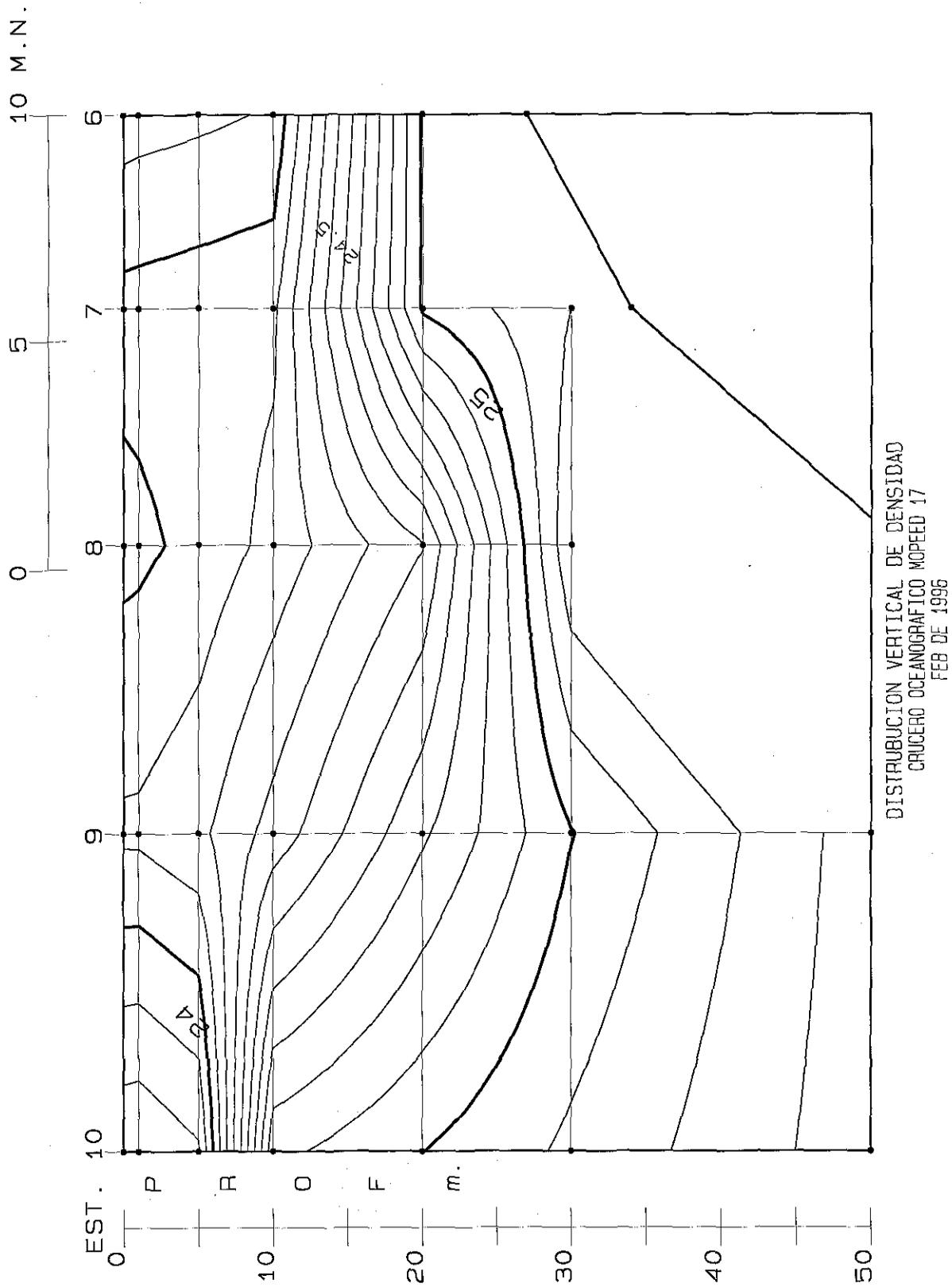


Figura 5.9 Distribución vertical de σ_t , transecto II del crucero MOPEED 17 (impresión).

5.3 PROCESAMIENTO VIENTO.

Una información complementaria para la interpretación de los patrones de distribución horizontal de los parámetros físicos en aguas someras, indudablemente es la influencia del viento al momento de hacer las mediciones. Pensando en ello se diseñó el módulo viento.

Como se mencionó en la sección 2.1 en cada estación oceanográfica se registra información meteorológica, entre ella la dirección y velocidad del viento. Esta información se procesa para complementar el estudio de las masas de aguas superficiales.

Los algoritmos utilizados en el módulo viento se hicieron con base en lo publicado por (Bowden, 1983) y se exponen a continuación.

El viento sopla sobre la superficie del mar ejerciendo un esfuerzo (presión) tangencial efectivo. Si los procesos que actúan sobre la superficie del mar cubierta de olas son considerados en detalle es probable que mucho del esfuerzo del viento esté contribuyendo a la presión normal ejercida sobre la superficie del mar. Desde el punto de vista de la corriente inducida por viento, se considera que el esfuerzo cortante del viento sobre la superficie del mar es comunicado a las capas por debajo de la superficie, sin tomar en cuenta el detalle que pasa en la superficie misma. Una proporción del esfuerzo del viento es usada directamente en la generación de olas en la superficie y algo del momento de las olas es probablemente transmitido a la corriente de deriva por el rompimiento de las olas. El correspondiente esfuerzo será incluido en el esfuerzo tangencial efectivo debido al viento. El campo de olas también reacciona sobre el esfuerzo provocando una agitación efectiva de la superficie del mar. Estos efectos se asumen en el cálculo del esfuerzo tangencial efectivo del viento sobre la superficie del mar denotado por τ_s .

El esfuerzo del viento τ_s usualmente se toma en dirección del viento, relativa a la superficie del mar y su magnitud es proporcional al cuadrado de la velocidad del viento, relativa a la superficie del mar. Esto es:

$$\tau_s = C_D \rho_a W^2 \quad \text{N/m}^2 \quad (\text{newton por metro cuadrado}) \quad (I)$$

donde

W es la velocidad del viento en m/s medida a 10 m sobre la superficie del mar.

$\rho_a = 1.25 \text{ kg/m}^3$ (densidad del aire correspondiente a una presión y temperatura típicas al nivel del mar).

C_D es el coeficiente de arrastre.

El valor del coeficiente de arrastre C_D depende de la altura en la que se mide W y de la magnitud misma de W en otras palabras depende de τ_s sobre W y no es estrictamente cuadrático.

Bajo condiciones neutrales los valores del coeficiente de arrastre C_{DN} como función de la velocidad del viento basados en la publicación de Garratt (1977) son los siguientes:

W_{10} m/s	C_{DN} $\times 10^3$	W_{10} m/s	C_{DN} $\times 10^3$
5	1.11	25	2.36
10	1.45	30	2.65
15	1.77	35	2.95
20	2.07	40	3.25

El esfuerzo del viento sobre la superficie del mar es frecuentemente representado por la velocidad de fricción W_* , dado por:

$$\tau_s = \rho_a W_*^2 \quad (\text{II})$$

de las ecuaciones I y II

$$W_* = C_{DN}^{1/2} W_{10}$$

Otra cantidad de interés a considerar en el perfil de la velocidad del viento sobre la superficie del mar y también en el perfil de la corriente justamente bajo la superficie del mar es la longitud de agitación Z_0 .

$$Z_0 = \frac{\alpha_1 W_*^2}{g} \quad \text{en mm}$$

donde

$$\alpha_1 = 0.0144 \quad \text{constante encontrada por Garrett (1977).}$$

Debido a la rotación de la tierra existe una fuerza aparente llamada fuerza de Coriolis (f) la cual actúa sobre los cuerpos en movimiento, incluyendo el océano y la atmósfera. Cualquier partícula en movimiento será desviada hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur, f está dada por:

$$f = 2 \omega \sin \varphi$$

donde

$$\omega = 7.292 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \quad \text{velocidad angular de rotación de la tierra.}$$

$$\varphi = \text{latitud geográfica.}$$

Dice Bowden (1983): La importancia del papel que juega el efecto de Coriolis sobre la corriente inducida por el viento fue señalada por Nansen y expresada cuantitativamente por Ekman en 1905.

Si se asume que el viento ejerce un esfuerzo cortante τ_s en la superficie del mar que es comunicado a la capa baja y que la superficie del mar es horizontal entonces la corriente inducida por viento está limitada a una capa que puede tener de 10 a 100 m de profundidad que es pequeña en comparación con la profundidad total. El transporte total (T) en una columna de agua que va de la superficie hasta dicha profundidad (D) está desviado a la derecha de la dirección del esfuerzo del viento en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur. El volumen del transporte, por unidad de longitud en la dirección del viento,

está dada por:
$$T = \frac{\tau_s}{\rho f}$$

Así el llamado transporte de Ekman sólo depende del esfuerzo del viento y la latitud independientemente de la profundidad.

Para calcular la variación de la velocidad inducida por viento con respecto a la profundidad, es necesario relacionar el τ_s con el gradiente de velocidad. Si los componentes de τ_s son τ_x y τ_y a una profundidad z , están relacionados con los componentes de la velocidad u y v por:

$$\tau_x = \rho N_z \frac{\partial u}{\partial z} \qquad \tau_y = \rho N_z \frac{\partial v}{\partial z}$$

Y si el coeficiente de viscosidad de giro N_z se considera independiente de z , se puede obtener una solución analítica, llamada espiral de Ekman. De acuerdo a ésta la corriente superficial tiene una dirección a 45° a la derecha de la dirección del viento y el vector de corriente rota más a la derecha (hemisferio norte) cuando la profundidad se incrementa. La magnitud del vector de corriente decrece exponencialmente con la profundidad. A una profundidad $z = -D$, donde D está dada por:

$$D = \pi \left(\frac{2N_z}{f} \right)^{1/2} \qquad \text{(III)}$$

La corriente está en dirección opuesta a la corriente de superficie y tiene una magnitud:

$$u_s \exp(-\pi)$$

donde

$$u_s \text{ es la corriente de superficie.}$$

D es llamada profundidad de la influencia de fricción o profundidad de Ekman.

Si la corriente de superficie u_s es relacionada con el esfuerzo del viento τ_s por:

$$u_s = \frac{\tau_s}{\rho(fN_z)^{1/2}} \quad (IV)$$

de III y IV

$$u_s = \frac{\tau_s \sqrt{2\pi}}{\rho f D}$$

De hecho no hay manera de predecir N_z de los principios fundamentales pero un conocimiento de la corriente de superficie como relación al esfuerzo superficial permite que N_z y D sean estimadas. De esta manera, haciendo uso de observaciones de la corriente inducidas por viento en la superficie determinadas principalmente de sus efectos de deriva de los barcos, la siguiente ecuación para u_s y D en términos de la velocidad del viento W ha sido derivada de (Pond y Pickard, 1978).

$$u_s = \frac{0.0127 W}{(\text{sen}\varphi)^{1/2}}$$

Para φ mayor a 10^0 a partir del ecuador y $W > 6$ m/s:

$$D = \frac{4.3 W}{(\text{sen}\varphi)^{1/2}} \quad \text{en m si } W \text{ está en m/s}$$

5.3.1 TABLA.

La función tabla forma parte del módulo viento y va a construir una tabla donde cada renglón representa información de una entidad (estación oceanográfica E/O) del conjunto EST asociada con el crucero oceanográfico (C/O) que se esté procesando.

La función utiliza sólo algunos atributos del conjunto EST (ver sección 4.1, 4.4 y figura 4.1), por tal motivo, la función crea un subconjunto del conjunto EST denominado VIENTO. Los atributos y los tipos de los atributos se exponen a continuación.

VIENTO

ATRIBUTO	TIPO	CAMPOS
NE	Entero	3
DV	Entero	3
W	Entero	3
FE	Entero	4
A	Entero	4
H	Entero	4
LA	Entero	2
MLA	Real	6

La función permite elegir una o n entidades del conjunto VIENTO, con los valores de los atributos (de cada entidad seleccionada) realiza el cálculo de las fórmulas propuestas por Bowden (1983), que se presentaron en la sección anterior. La función despliega en pantalla la tabla empleando la siguiente nomenclatura.

EST	= NE	(número de estación)
V	= W	(velocidad del viento)
CDN	= C_{DN}	(coeficiente de arrastre)
Ts	= τ_s	(esfuerzo del viento)
T	= T	(transporte)
U	= u_s	(corriente de superficie)
D	= D	(profundidad de Ekman)

La figura 5.10 es un ejemplo de los resultados que produce la función tabla, de la estación 1 a la estación 20 del crucero MOPEED 17.

SIGO EXPLORADOR PROCESAMIENTO VIENTO TABLA VIENTO ESTACIONES EST TODAS									
EST	V m/s	CDN $\times 10^{-3}$	Ts N/m ²	U m/s	Z0 mm	T m ² /s	D m/s	D m	
1	1.00							7.56	
2	1.00							30.38	
3	3.00							22.83	
4	3.00							22.90	
5	5.00	1.11	0.035	0.17	0.04			38.33	
6	5.00	1.11	0.035	0.17	0.04			38.21	
7	2.00							15.26	
8	1.00							7.61	
9	3.00							22.77	
10	7.00	1.25	0.076	0.25	0.09	1298.31	0.16	52.98	
11	7.00	1.25	0.076	0.25	0.09	1281.57	0.16	52.64	
12	7.00	1.25	0.076	0.25	0.09	1288.55	0.16	52.28	
13	8.00	1.32	0.105	0.29	0.12	1785.44	0.18	60.49	
14	2.00							15.17	
15	6.00	1.18	0.053	0.21	0.06			45.62	
16	7.00	1.25	0.076	0.25	0.09	1299.73	0.16	53.01	
17	6.00	1.18	0.053	0.21	0.06			45.27	
18	6.00	1.18	0.053	0.21	0.06			45.15	
19	7.00	1.25	0.076	0.25	0.09	1275.93	0.16	52.52	
20	7.00	1.25	0.076	0.25	0.09	1263.21	0.15	52.26	

Figura 5.10 Información que muestra la función tabla, de la estación 1 a la estación 20 del crucero MOPEED 17.

5.3.2 GRÁFICOS DE LA PROFUNDIDAD DE EKMAN.

Uno de los componentes del módulo viento es el módulo gráficos, el que cuenta con la función profundidad de Ekman.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esta función emplea el conjunto de relaciones CRU-EST que asocia una entidad (C/O) del conjunto CRU con n entidades (E/O) del conjunto EST.

Grafica en el plano (distancia, profundidad) los valores de D (profundidad de Ekman ver sección 5.3) correspondientes a n E/O elegidas por el usuario.

La distancia entre estaciones la calcula utilizando las fórmulas de la trigonometría esférica (ver sección 5.2.5).

La función es complementaria a la función transectos ya que si se opta por las mismas estaciones que definen un transecto se pueden comparar las gráficas y visualizar hasta que profundidad el viento está influyendo en el patrón de comportamiento que muestra el corte vertical en el transecto.

La profundidad de la gráfica está restringida por la función a un intervalo predeterminado, esto es, de los valores de D correspondientes a las E/O que integran el transecto en proceso, la función selecciona el máximo valor (D_M) y le suma 10 m, (D_M+10 m), el intervalo dentro del cual se puede elegir la profundidad de la gráfica es $[D_M+10, 200]$ m.

Grafica el fondo de cada estación si su profundidad es igual o menor a la que haya determinado el usuario para la gráfica de ser posible lo aproxima utilizando un algoritmo de interpolación lineal. Para tal efecto, extrae el valor del atributo profundidad del fondo (PE) de las entidades del conjunto EST que se eligen para la gráfica.

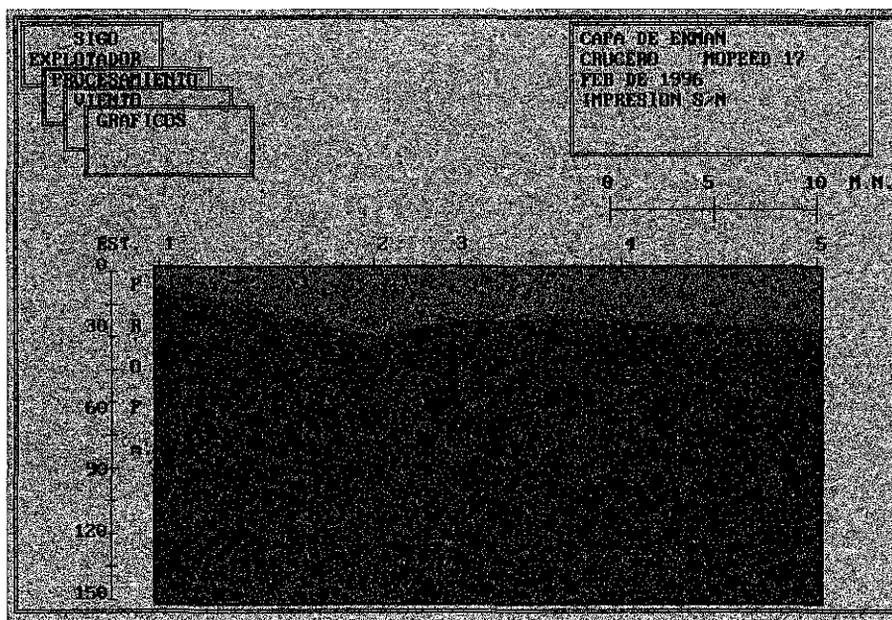


Figura 5.11 Capa de Ekman en el transecto I del crucero MOPEED 17.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La figura 5.11 presenta la gráfica de la profundidad de Ekma de las estaciones 1,2,3,4,5 del crucero MOPEED 17, que son las mismas que forman el transecto I. La gráfica puede ser impresa.

5.3.3 GRÁFICOS DEL CAMPO DEL VIENTO.

La función viento campo se suma al módulo gráficos, el cual es parte del módulo viento. Esta función expone una descripción gráfica del comportamiento del campo del viento, lo que permite una rápida apreciación visual de la magnitud y dirección del viento.

La función utiliza el conjunto VIE (ver sección 5.3.1) del que permite seleccionar n entidades.

Grafica un diagrama vectorial, esto es, traza cada vector del viento en el eje tiempo en el punto correspondiente al momento en que se hizo la medición de las componentes del vector. En una ventana escribe la fecha inicial, hora inicial, fecha final y hora final del intervalo del tiempo en el que se realizaron las observaciones de las entidades elegidas. La figura 5.12 representa el campo vectorial del viento en el eje tiempo durante el cual se realizó el crucero MOPEED 17.

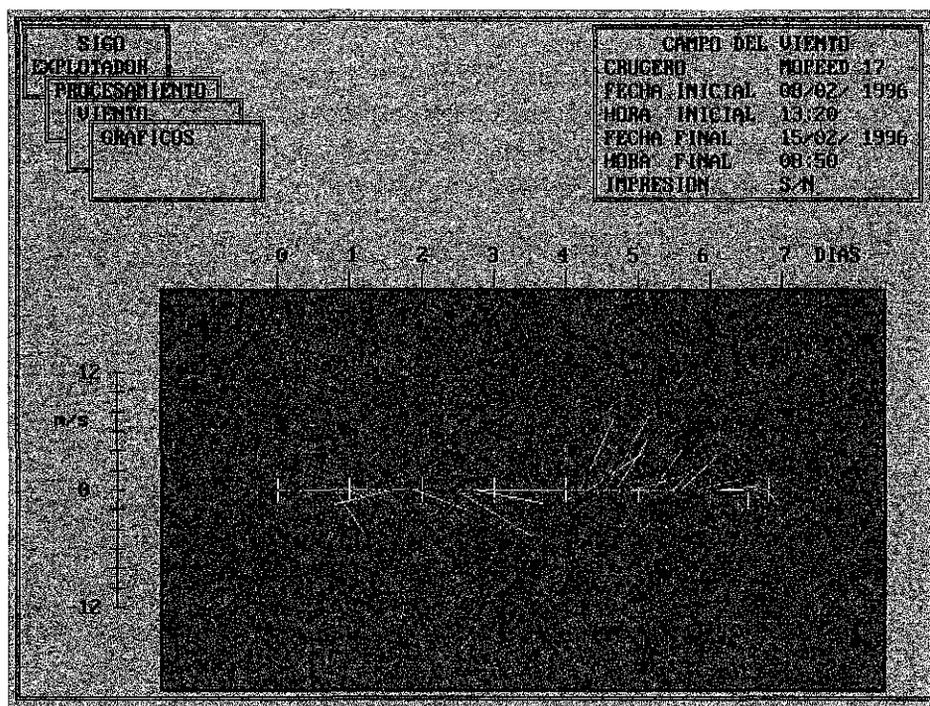


Figura 5.12 Campo del viento durante el crucero MOPEED 17.

La función cuenta con la opción de imprimir la gráfica si se le indica. La figura 5.13 muestra un producto impreso del ejemplo anterior.

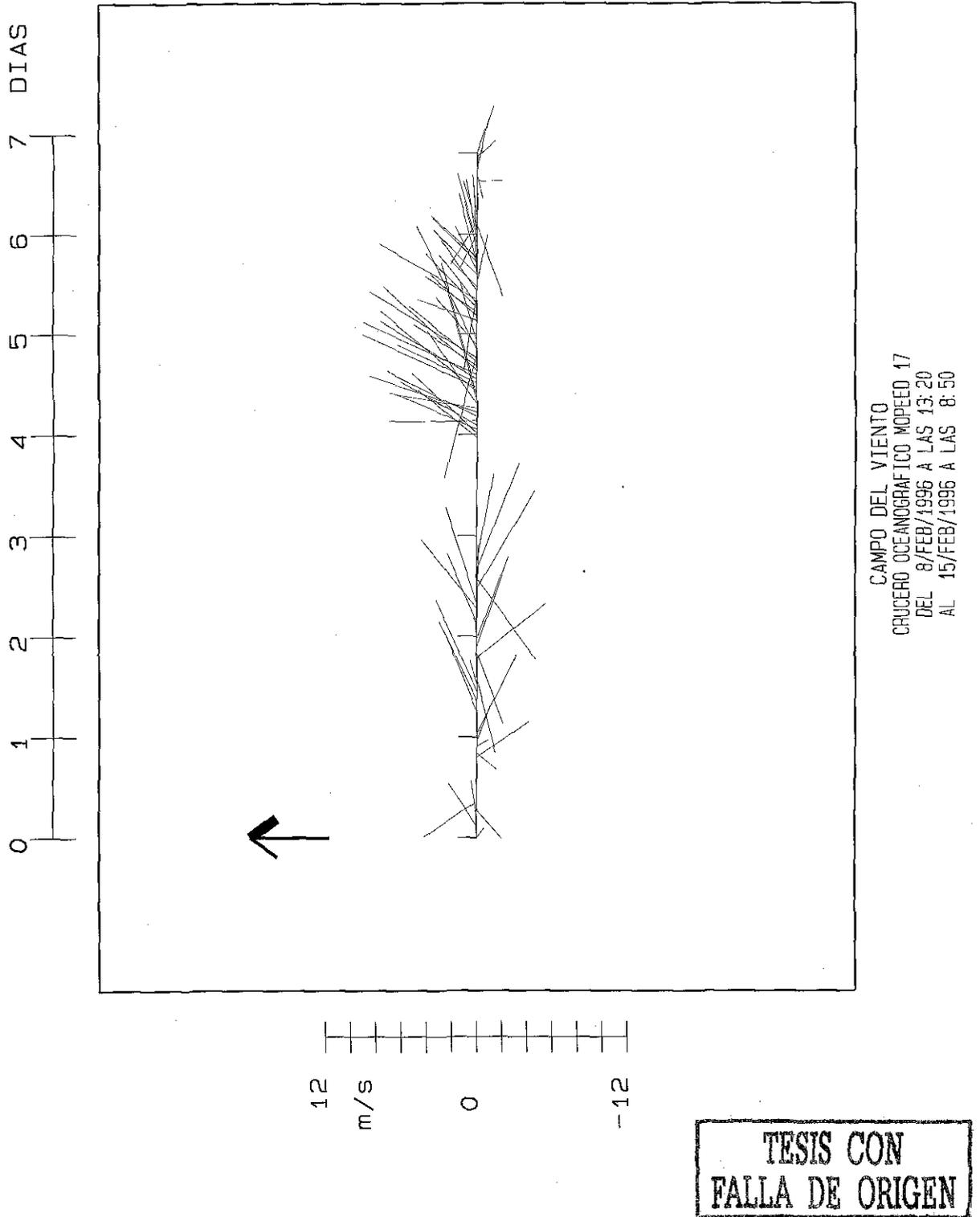


Figura 5.13 Campo del viento durante el crucero MOPEED 17 (impresión).

CAPÍTULO 6 RESULTADO.

En el anteproyecto se planteó como última etapa la referente a efectuar pruebas a todos los módulos implementados en el SIGO. El propio desarrollo del sistema condujo a realizar dichas pruebas conforme se programaban los módulos del SIGO, puesto que era fundamental examinar la funcionalidad de las relaciones entre los conjuntos.

Se consideró conveniente hacer las modificaciones pertinentes en cuanto se detectó alguna falla; bajo este criterio se decidió hacer el procesamiento de datos reales de cruceros oceanográficos (C/O) ejecutados en diferentes fechas.

Las primeras pruebas se llevaron a cabo en los módulos de la base de datos cruceros y litorales en cada una de sus funciones que los integran, las cuales están definidas en la sección 4.5.

Posteriormente se efectuaron ensayos en las funciones de los módulos del explotador (capítulo 5) conforme se iban desarrollando.

Las pruebas se hicieron con 7 cruceros, aproximadamente 500 estaciones oceanográficas sólo para las funciones limpia y niveles. Para las funciones restantes se realizaron ensayos exhaustivos únicamente con un crucero (MOPEED 17). Debido a que para comparar las gráficas que se obtienen con el SIGO, se necesitaban sus equivalentes elaboradas con el procedimiento tradicional. No se disponía de estas gráficas. Realizar el procesamiento tradicional (trazo manual de isolíneas) para producirlas requería de una gran inversión de tiempo (ver sección 2.2).

El alimentar al SIGO con datos reales permitió detectar fallas existente, hacer las correcciones pertinentes y detallar algunos módulos, funciones y relaciones con base en estos ensayos.

Como se mencionó en la sección 2.2 es necesario hacer el procesamiento de todos los datos medidos con el CTD (ver sección 2.1) en un crucero oceanográfico independientemente de la cantidad de información (derivada de estos dato) que se utilice en la divulgación de la investigación que involucre al C/O en cuestión. No en pocas ocasiones la información que se divulga es un bajo porcentaje del total que se logra por medio de un C/O y esto tiene que ver con su relevancia en el tópico que se esté tocando en la investigación.

No es usual publicar la totalidad de la información que se consigue al procesar los datos medidos con él CTD. Lo común es manejar esta información como reportes de datos internos.

Es precisamente en la producción de estos reportes donde reside el valor del SIGO, puesto que con él se podrán procesar grades volúmenes de datos registrados con el CTD. De estos reportes se extrae sólo la información relevante para una investigación en particular. En la cual no se percibe todo el proceso que se requiere dar a los datos.

Para probar la utilidad del SIGO se elaboró con él, en su totalidad, el reporte de datos (Padilla, 2001) del crucero MOPEED 17. Crucero cuyos datos han servido para dar los ejemplos durante el desarrollo de la presente tesis. Y de este reporte se seleccionaron sólo algunos gráficos que tenían importancia para un trabajo de investigación. El que se presenta en la siguiente sección.

6.1 APLICACIÓN.

El trabajo de aplicación que se expone, se eligió porque el tema que trata es la comparación de dos diferentes procedimientos para obtener la distribución horizontal de temperatura superficial del mar. Uno, a partir de datos obtenidos con imágenes de satélite y el otro, con mediciones del CTD.

Se decidió aprovechar las gráficas del trabajo de investigación para hacer una comparación entre las derivadas del CTD procesadas con otros paquetes⁸ y trazo manual contra las producidas con el SIGO.

De hecho en los avances del trabajo de aplicación que fue presentado en el X Congreso Nacional de Oceanografía (Padilla *et al.*, 1996) los datos medidos con el CTD se procesaron de manera tradicional (ver sección 2.2). Sin embargo posteriormente se decidió incluir algunas gráficas elaboradas con el SIGO con dos propósitos.

- Para tener un producto más de comparación dentro del propio trabajo de aplicación, partiendo de que el objetivo de dicho trabajo fue la comparación de patrones de distribución de temperatura logrados de diferentes formas.
- Aprovechar las gráficas (donde se muestra la distribución horizontal de temperatura) que se presentan en este particular estudio y cotejarlas a su vez con las gráficas que produjo el SIGO, estas últimas derivadas únicamente de los datos del CTD. Para

⁸ Ver nota 2 al pie de página 11.

evaluar si el resultado respondían a las expectativas esperadas en una aplicación concreta. Dado que las pruebas que se mencionan al inicio de este capítulo se hicieron con la finalidad de verificar únicamente el funcionamiento del modelo conceptual del SIGO desde un punto de vista teórico.

6.1 .1 RESUMEN (del trabajo de aplicación).

Este trabajo tiene como objetivo comparar los campos de distribución de temperatura superficial, los cuales se obtuvieron mediante: I) datos medidos con un CTD en el crucero oceanográfico MOPEED 17 que se realizó del 8 al 15 febrero de 1996 a bordo del buque oceanográfico Justo Sierra con base en una red de 27 estaciones oceanográficas ubicadas geográficamente, las cuales cubren una área aproximada de 34,000 Km². II) imágenes AVHRR del satélite NOAA correspondientes a los días en que se efectuó el crucero. Las correlación entre las mediciones *in situ* y las generadas con las imágenes no fueron mayores a 0.75. Sin embargo, el comportamiento entre los patrones de distribución de la temperatura superficial resultantes fueron similares cualitativamente. Los cortes verticales refuerzan el comportamiento superficial de la temperatura en ambos casos. De hecho existen los errores por efecto atmosférico, (Ruttenberg, 1981) Los resultados reafirman que las imágenes de satélite son una manera práctica de obtener una estimación del campo de distribución de temperatura superficial semejante al que se obtiene con mediciones *in situ*, lo que es de gran valor para visualizar estructuras con gran alcance espacial donde se podrían detectar: frentes térmicos (McClain, 1991) remolinos y giros (Stewart, 1985), independientemente de la precisión de los valores de la temperatura. La mediciones *in situ* proporcionan información más puntual y de mayor exactitud.

6.1.2 INTRODUCCIÓN (del trabajo de aplicación).

La Bahía de Campeche representa una región de importancia del mar patrimonial mexicano por el valor económico de sus pesquerías y la existencias de mayor importancia de depósitos de hidrocarburos; estos últimos son recursos estratégicos en la economía nacional. Por los dos aspectos mencionados la Bahía de Campeche ha sido foco de atención en diversos estudios tanto por instituciones oficiales como privadas.

Dentro de este contexto los estudios hidrodinámicos adquieren una importancia especial debido al papel que la circulación juega en la distribución de desperdicios industriales y en las pesquerías presentes.

En el ámbito del proyecto monitoreo de prerreclutas de especies estuarino dependientes, comunidades bénticas y mareas internas del sur del Golfo de México, se realizó el crucero oceanográfico MOPEED 17, durante el cual se hicieron 27 estaciones oceanográficas distribuidas en 5 transectos perpendiculares a la costa figura 6.1. Los transectos se numeran del uno al cinco (de oeste a este). El área de estudio está situada entre los $18^{\circ} 20'$ y $19^{\circ} 50'$ de latitud norte y los $91^{\circ} 30'$ y $94^{\circ} 30'$ de longitud oeste, con una superficie aproximada de $34,000 \text{ km}^2$ al sur de la Bahía de Campeche.

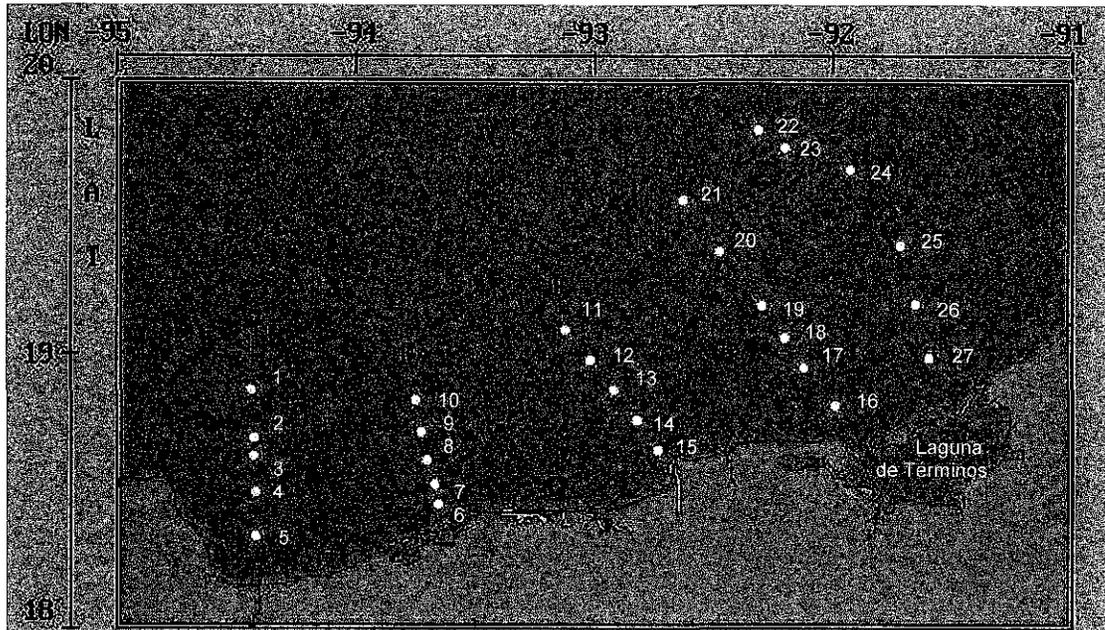


Figura 6.1 Área de estudio.

Cada una de las estaciones que integran la red se ubicó por medio del navegador por satélite GPS.

Las imágenes de satélite utilizadas en este trabajo fueron proporcionadas por el Instituto de Geografía de la UNAM, el cual cuenta con una antena receptora del satélite NOAA.

6.1.3 MATERIALES Y MÉTODOS (del trabajo de aplicación).

Datos *in situ*. El procedimiento para medir los datos con el CTD en cada estación oceanográfica de la red se llevó a cabo conforme a lo descrito en la sección 2.1.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las gráficas de las isotermas de los cortes horizontales superficiales, se trazaron mediante tres procedimientos diferentes, es decir los datos capturados por el CTD se procesaron de tres distintas maneras y se obtuvieron tres productos finales. A continuación se describen los 3 procedimientos.

- I. Procesamiento tradicional, trazo manual combinado con el paquete GRASS versión 3.0 (1989). De las planillas de campo se sacaron los valores de la latitud y la longitud de cada estación. Con esta información se localizaron las estaciones sobre un plano de la zona. Se seleccionaron los valores correspondientes a la temperatura superficial de los archivos generados por el CTD. A partir de estos datos se calcularon valores interpolados linealmente para el trazo de las isotermas sobre el mapa de la zona. En la gráfica se localizaron puntos perfectamente situados por sus coordenadas y de fácil reconocimiento (puntos de control). Hasta aquí el procedimiento fue manual. A partir de esta gráfica, mediante el rastreador (scanner) se creó un archivo en formato raster es decir a cada punto se le da un valor, para posteriormente transformarlo en formato binario para procesarlo con el paquete ARC/Info versión 6.1.1 (1992) con el propósito de vectorizarlo, o sea, tener un valor por cada punto ubicado en un plano geográfico, con este mismo paquete se transformaron las coordenadas geográficas a UTM. Todo este procesamiento fue necesario para obtener un archivo que pudiera ser manejable por medio del paquete GRASS. En la figura 6.2 se observa la distribución horizontal de temperatura que se obtuvo mediante la combinación del trazo manual y el paquete GRASS.
- II. Procesamiento tradicional utilizando los paquetes ARC/Info y GRASS. Cada estación oceanográfica se localizó geográficamente sobre un plano. De los archivos ASCII generados por el CTD se eligieron los valores correspondientes a la temperatura superficial de cada estación con estos datos se hizo otro archivo. (la selección del valor de temperatura y la creación del archivo se efectuó manualmente). A partir de este archivo se utilizó el paquete ARC/Info, que usa el método inverso del cuadrado de la distancia para interpolar los valores de las isotermas con este procedimiento y el paquete GRASS se logró la gráfica que se presenta en la figura 6.3.
- III. Procesamiento con el SIGO. Se dio de alta en la base de datos del SIGO el crucero MOPEED 17 se cargaron los archivos ASCII producidos por el CTD. Automáticamente se obtuvieron los cortes horizontales a diferentes profundidades y los cortes verticales que

se solicitaron al SIGO. Las figuras 6.4 (a, b) corresponden a los cortes horizontales en la superficie y a 10 m de profundidad de la distribución de temperatura. Las figuras 6.5 (a, b) presentan los cortes verticales de los transectos 1 y 2, donde se localizan los gradientes más fuertes de temperatura. También visibles en los cortes horizontales. Reforzando así su existencia.

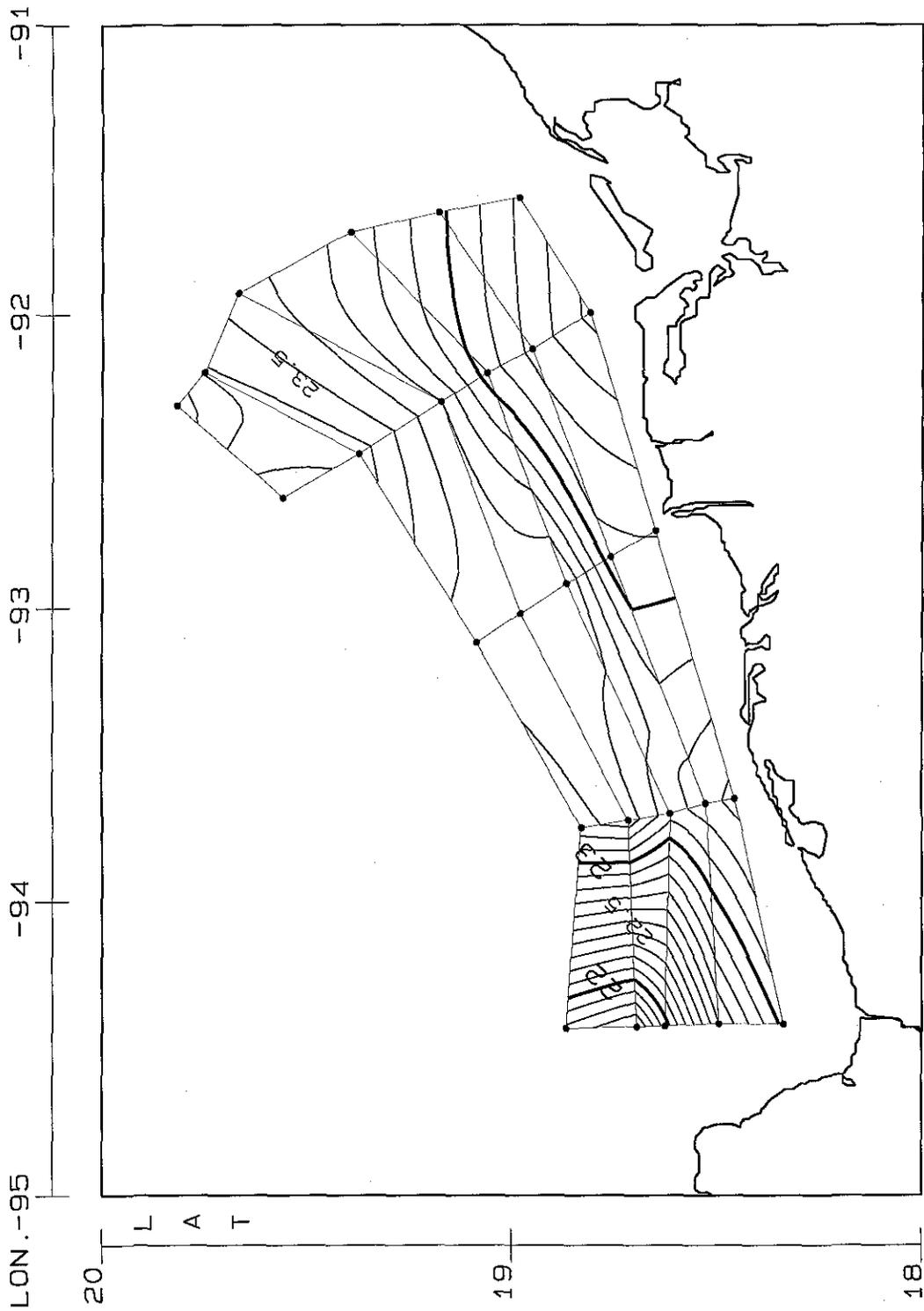


Figura 6.2 Distribución superficial de temperatura. Datos del CTD procesamiento manual combinado con paquete GRASS.



Figura 6.3 Distribución superficial de temperatura. Datos del CTD procesamiento con paquetes ARC/Info y GRASS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



DISTRIBUCION HORIZONTAL DE TEMPERATURA A 0 m. DE PROF.
CRUCERO OCEANOGRAFICO MOPEED 17
DE ESTACION 1 A ESTACION 27
FEB DE 1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 6.4.a Distribución superficial de temperatura. Datos del CTD procesamiento con el SIGO.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

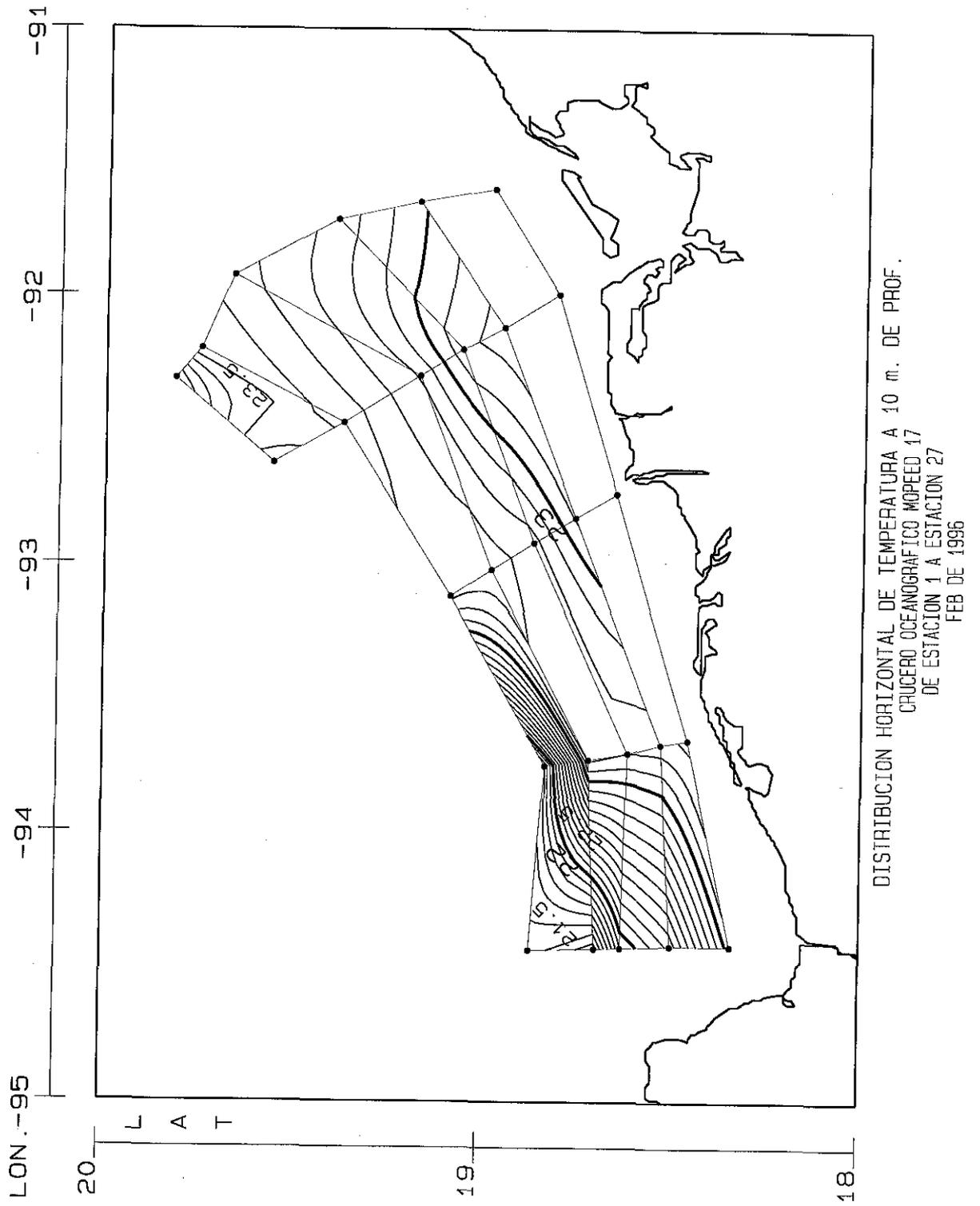


Figura 6.4.b Distribución horizontal de temperatura a 10 m. Datos del CTD procesamiento con el SIGO.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

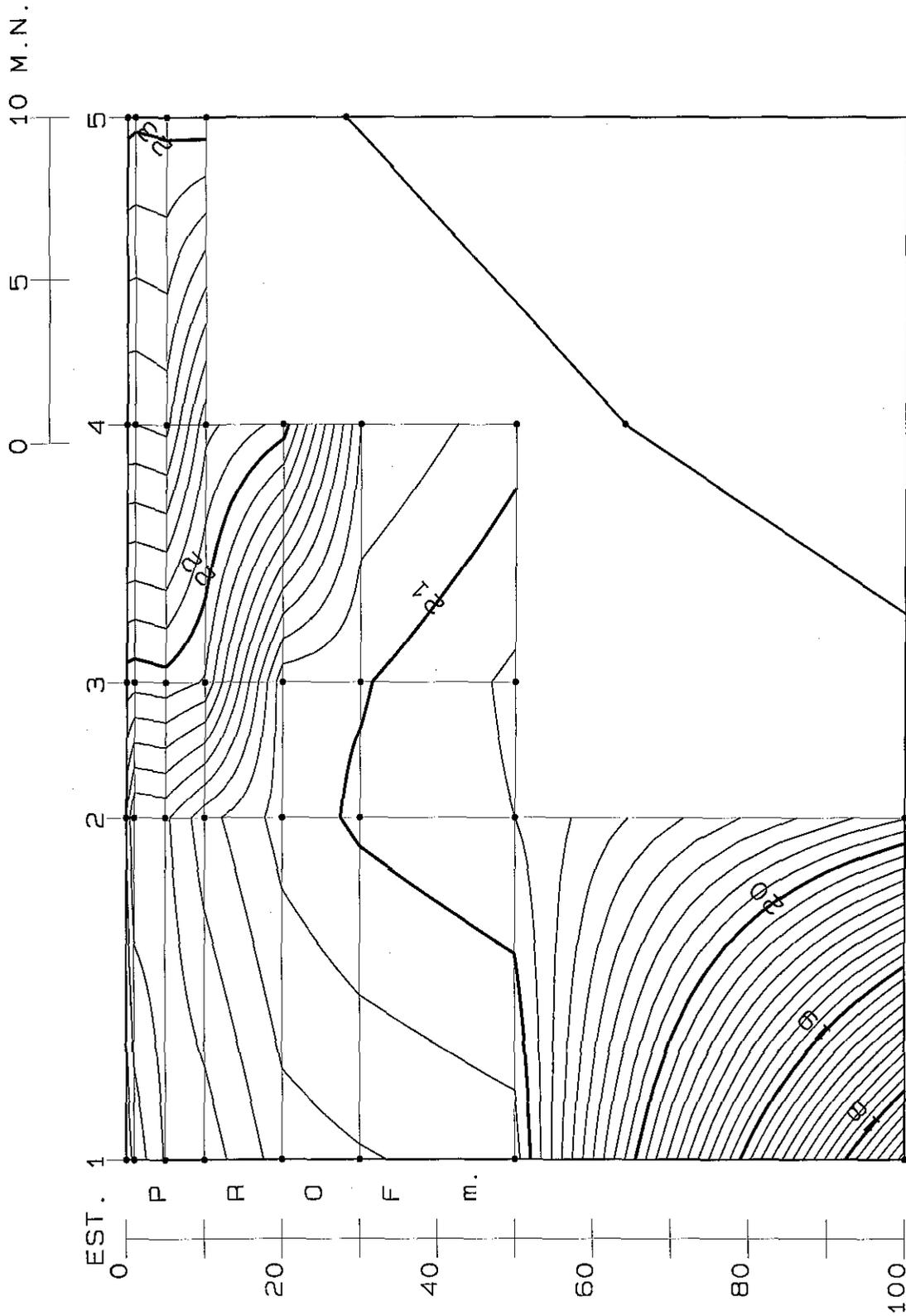


Figura 6.5.a Distribución vertical de temperatura en el transecto I. Datos del CTD procesamiento con el SIGO.

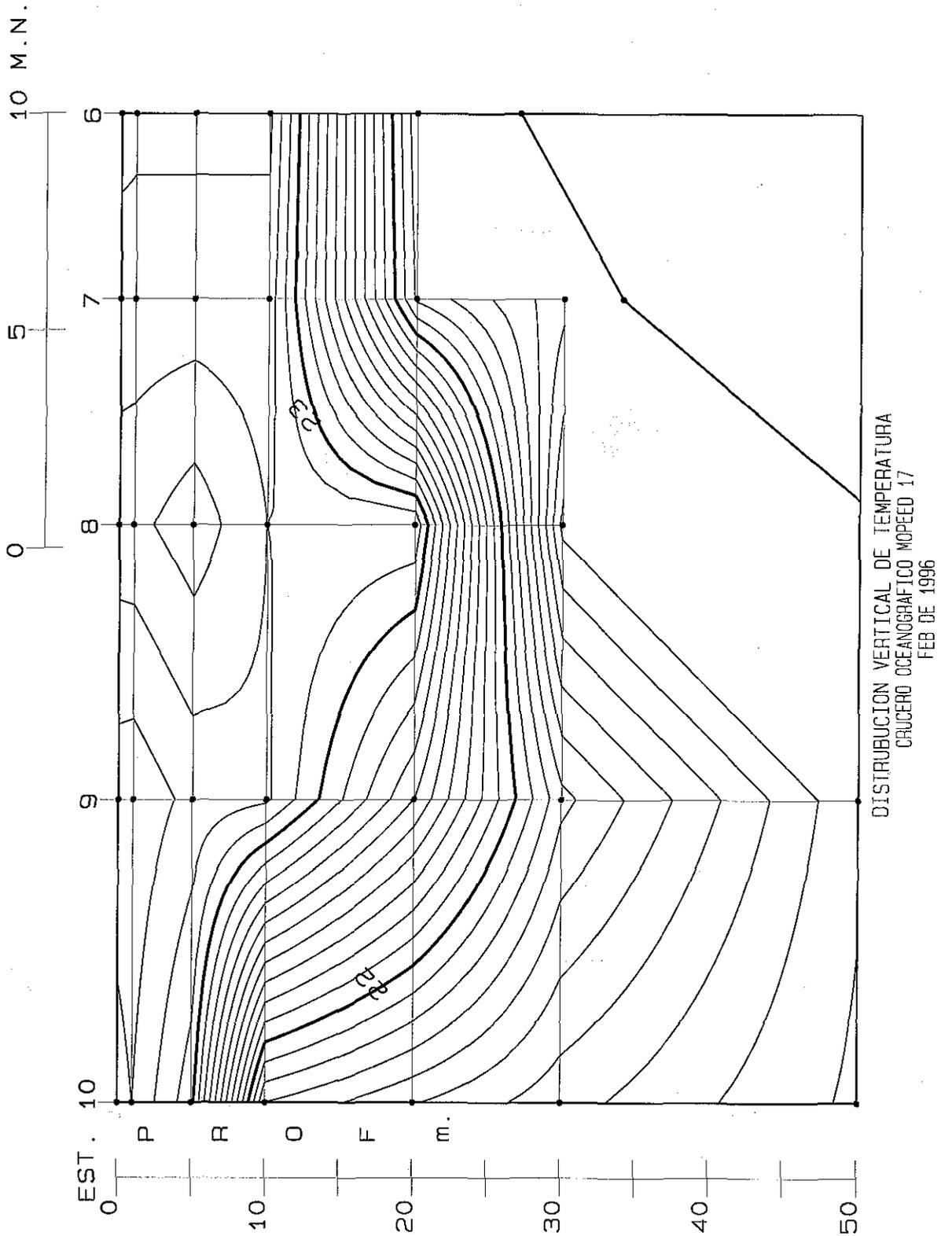


Figura 6.5.b Distribución vertical de temperatura en el transecto II. Datos del CTD procesamiento con el SIGO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Imágenes AVHRR. El AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer) está montado en los satélites de órbita polar NOAA, tiene una resolución de 1.1 km^2 sobre el nadir. Los datos de radiancia y brillantez de la temperatura derivan de los 5 canales con los que cuenta, dos en el visible ($0.62 \mu\text{m}$ y $0.91 \mu\text{m}$) y tres en el infrarrojo ($3.7 \mu\text{m}$, $10.8 \mu\text{m}$ y $12.0 \mu\text{m}$). Para los canales del infrarrojo el ruido aproximado es de $0.12 \text{ }^\circ\text{C}$ (Manual TeraScan, 1994).

Las imágenes AVHRR se capturaron por medio de la antena receptora instalada en el Instituto de Geografía y el sistema TeraScan, el que está provisto de paquetes computacionales para el procesamiento de los datos crudos. Los cuales se obtienen de las imágenes transmitidas, las que tienen una alta resolución radiométrica dentro de un intervalo de 0 a 1023 ($10 \text{ bits} = 2^{10}$).

Por medio de las funciones con las que cuenta el sistema TeraScan se hizo el siguiente procedimiento. El cual está indicado en su manual (1995).

- Se extrajeron los datos AVHRR de los datos HRTP (High Resolution Picture Transmission) con la función avin.
- Se calibraron los datos con la función avcal (los datos se convirtieron a temperatura radiométrica, en grados Celsius).
- Con las funciones avfix y fixline se corrigieron los datos erróneos y se llenaron los huecos por interpolación.
- Se redujo el ruido con la función avfilt3.
- Con la función nitpix se calculó la temperatura superficial del mar.

Posteriormente, con el sistema GRASS las imágenes se corrigieron geoméricamente y se remuestrearon con celdas de $1 \times 1 \text{ Km}$. Los valores de temperatura se transformaron en décimas de grados.

De las 12 imágenes AVHRR existentes que correspondían a las fechas durante las cuales se realizó crucero MOPPED 17, se seleccionaron ocho que tenían menor cobertura (de nubes) de las cuales cinco aún tenían mayor cobertura que las otras tres, no obstante, se consideró aceptable.

La localización en el tiempo tanto de las estaciones (líneas vertical) como de las imágenes AVHRR (círculos) se ve en la figura 6.6.

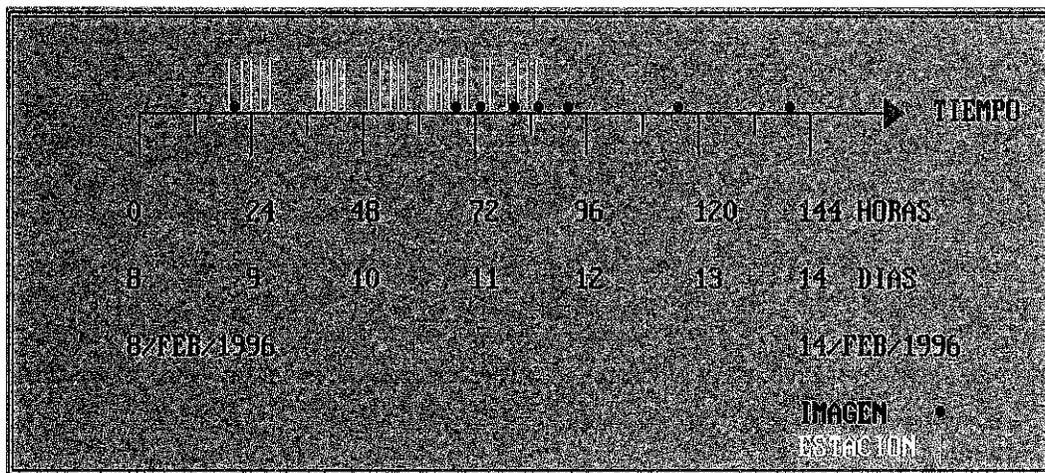


Figura 6.6 Imágenes y estaciones ubicadas en el tiempo.

La figura 6.7 muestra un contador de la frecuencia de datos por píxel de las ocho imágenes. Que va de 0 a 8 datos por píxel y de blanco a negro respectivamente, con el fin de estimar cuantos datos por píxel se tiene del las 8 imágenes.

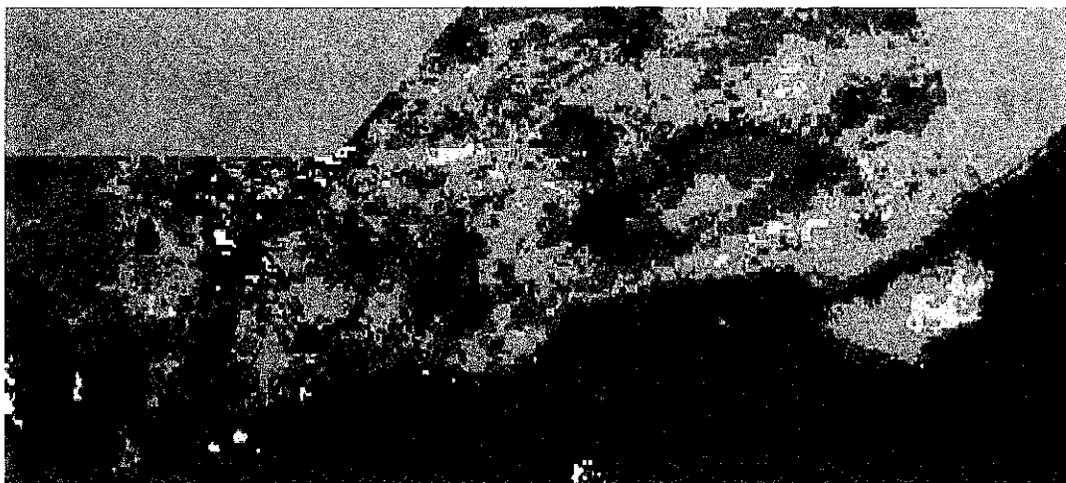


Figura 6.7 Datos por píxel.

Compuestos. A partir del juego de las ocho imágenes con diferente cobertura de nubes, donde cada píxel puede tener de 0 a 8 datos, se decidió hacer tres compuestos utilizando uno de los tres criterios siguientes para cada uno de ellos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- En cada píxel se seleccionó la máxima temperatura (compuesto máxima).
- No obstante que en cada píxel los valores no corresponden al mismo punto en el tiempo ni el número de datos es el mismo se calculó el promedio de los valores de temperatura en cada píxel (compuesto promedio). En algunos fenómenos físicos el tiempo es importante debido a la dinámica de los procesos, sin embargo, si la estructura es estacionarias el tiempo no es relevante. Por razones prácticas los cortes horizontales y verticales se trazan ignorando que los datos no corresponden a un mismo punto en el tiempo, con este criterio se hizo el compuesto promedios.
- Se tomó una imagen base y se fueron llenando los huecos con datos de las otras imágenes en este compuesto se dio prioridad a las imágenes más cercanas en tiempo a las horas en que se realizaron las estaciones (compuesto tiempo). Como ya se mencionó el campo de temperatura obedece a procesos dinámicos donde el tiempo puede ser un factor determinante en las mediciones.

En las figuras 6.8, 6.9 y 6.10 se exponen los compuestos correspondientes. Donde se puede observar que cualitativamente los patrones de comportamiento de la temperatura que se lograron en los compuestos máxima y tiempo muestran estructuras del campo de la temperatura muy semejantes.

La gráfica del compuesto promedio expone una mayor distribución de agua de menor temperatura (a la izquierda de la laguna de Términos) hacia mar adentro, que no se ve en los otros dos compuestos.

Si se comparan los compuestos (figuras 6.8, 6.9 y 6.10) resultantes de las imágenes y los productos derivados de las mediciones *in situ* (figuras 6.2, 6.3 y 6.4.a). Se puede ver que cualitativamente los productos gráficos que tienen más semejanza entre sí son: el compuesto máxima, el compuesto tiempo, el procesamiento manual combinado con el paquete GRASS y el producido con el SIGO (figuras 6.8, 6.10, 6.2 y 6.4.a). La gráfica procesada con el paquete ARC/Info y GRASS (figura 6.3) presenta núcleos de agua fría y también de agua caliente, que no se advierten en las otras 5 gráficas.

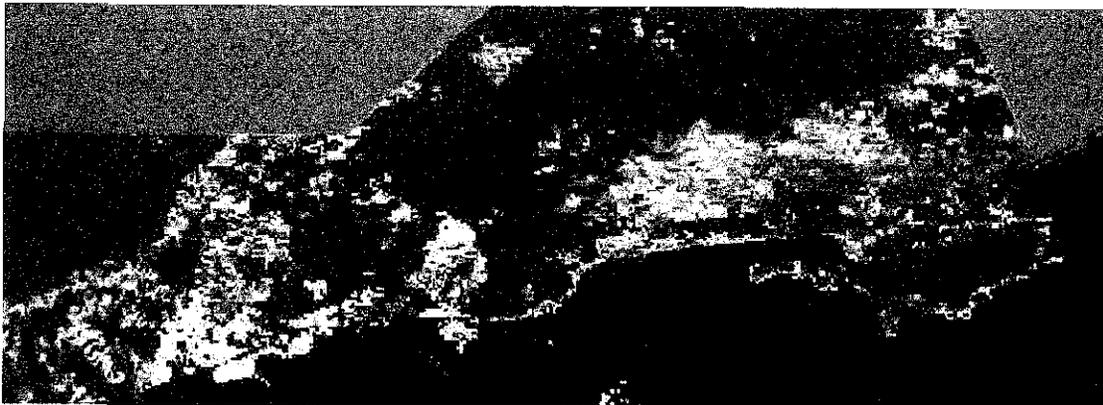


Figura 6.8 Compuesto máxima.

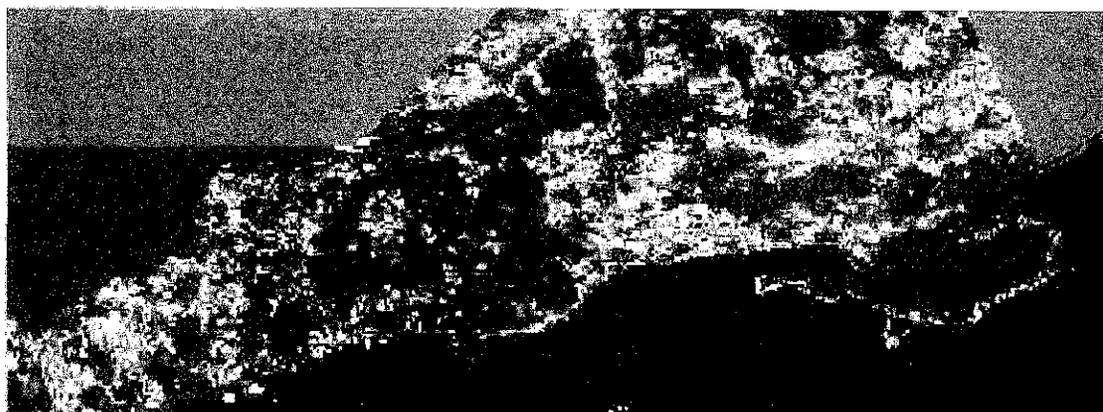


Figura 6.9 Compuesto promedio.

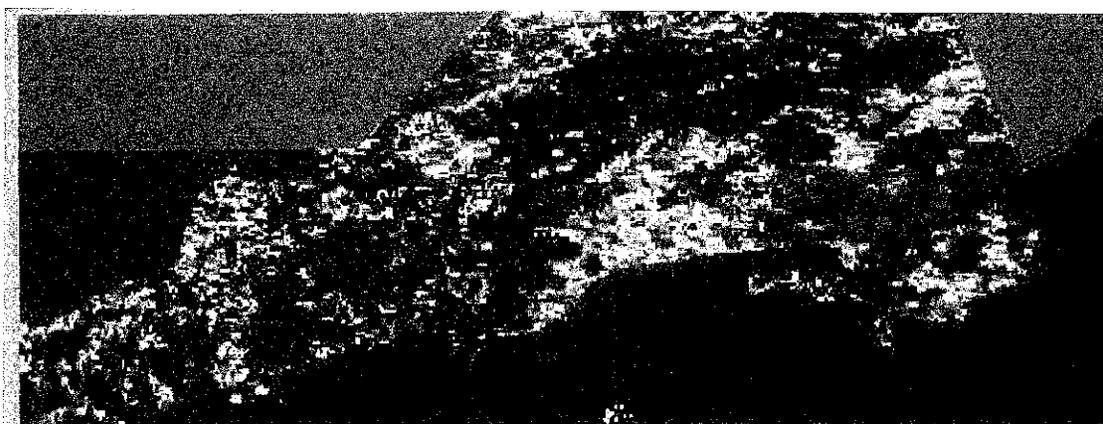


Figura 6.10 Compuesto tiempo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.1.4 DISCUSIÓN (del trabajo de aplicación).

Correlación. Con el fin de calcular la correlación entre las temperaturas medidas *in situ* y las generadas de las imágenes de satélite, para las estaciones oceanográficas, se hicieron cuatro series de valores con base en la información de la temperatura obtenida a partir de las mediciones con el CTD y la derivada de los compuestos máxima, promedio y tiempo (ver sección anterior).

Series de valores

Est.	CTD °C	máxima °C	promedio °C	tiempo °C
1	21.8	22.0	21.5	21.9
2	21.6	22.5	21.6	22.5
3	21.0	22.9	22.1	22.9
4	22.6	23.1	22.9	23.1
5	23.0	23.3	23.0	23.3
6	23.3	24.3	23.6	24.3
7	23.3	24.4	23.5	23.7
8	23.1	23.7	23.2	23.7
9	23.4	23.0	22.2	23.0
10	23.3	24.1	22.6	23.2
11	23.3	24.0	23.4	23.3
12	23.4	23.7	23.5	23.6

continuación

Est.	CTD °C	máxima °C	promedio °C	tiempo °C
13	23.4	23.6	23.4	23.6
14	22.9	23.9	23.3	23.2
15	22.9	23.5	22.6	23.5
16	22.6	23.5	22.8	22.7
17	22.8	23.4	23.0	23.4
18	23.0	23.4	23.3	23.4
19	23.3	23.5	22.8	23.1
20	23.6	24.2	23.6	23.0
25	23.3	23.8	23.6	23.8
26	23.0	23.4	21.6	23.4
27	22.8	24.3	23.3	24.3

En los compuestos no se encontraron valores para las estaciones 21, 22, 23 y 24 por lo que no se consideraron para calcular la correlación.

En la figura 6.11 se exponen las gráficas de las series de los valores de la temperatura para las estaciones: CTD, máxima, promedio y tiempo.

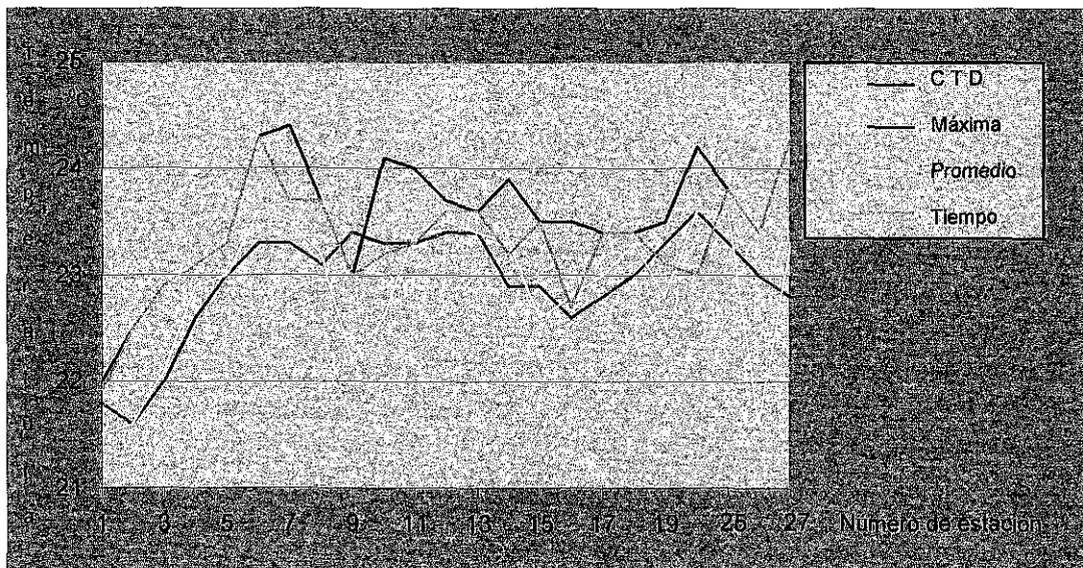


Figura 6.11 Series de temperaturas CTD, máxima, promedio y tiempo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para calcular la correlación se utilizó la siguiente fórmula (Wayne, 1993).

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\left(\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \right) \left(\sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2} \right)}$$

La correlación entre la serie del CTD y cada una de los compuestos arrojaron los siguientes resultados:

CTD – Máxima	r = 0.75
CTD – Promedio	r = 0.70
CTD – Tiempo	r = 0.61

De los resultados anteriores se puede ver que la correlación más baja fue CTD – Tiempo, lo que sugiere que nuestro experimento se realizó ante un fenómeno físico en el que el tiempo (en un lapso de días) no fue relevante en su dinámica.

Ninguna de las tres correlaciones calculadas fue mayor a 0.75, hecho que hay que tomar en cuenta cuando se define la exactitud que se requiere en un estudio específico del campo de temperatura superficial utilizando imágenes de satélite. Sin embargo cualitativamente las estructuras de la temperatura superficial que tiene mayor similitud de los compuestos y las derivadas de los datos del CTD como se vio en la sección anterior son: el compuesto máxima, el compuesto tiempo, el procesamiento manual combinado con el paquete GRASS y el producido con el SIGO. Hay que resaltar que cualitativamente, el compuesto promedio mostró ser el menos similar, no obstante, su correlación fue mayor a la del compuesto tiempo. La información que se obtiene de las imágenes es de gran utilidad cualitativamente, debido a que proporciona una descripción del patrón de comportamiento de la temperatura superficial semejante al que se obtiene con mediciones *in situ*.

Pasos del satélite. Se analizaron las coincidencias que pudiera haber entre las horas de los pasos de satélite de las imágenes y las horas en que fueron realizadas las estaciones con el fin de comparar los valores de temperatura. Se encontró que prácticamente sólo la estación 20 concordó con el paso del satélite. Las estaciones 19, 25, 26 y 27 estuvieron cercanas a los pasos (ver tabla 6.1).

Est.	Hora estación	Hora del paso	Diferencia de hora	Temp. CTD °C	Temp. imagen °C	Diferencia de temp. °C
19	66.56	68.06	-1.50	23.3	23.1	0.2
20	68.08	68.06	0.02	23.6	23.0	0.6
25	81.35	80.50	0.85	23.3	23.3	0.0
26	83.33	85.55	-2.22	23.0	22.9	0.1
27	85.20	85.55	-0.35	22.8	22.9	0.1

Tabla 6.1 Diferencia de temperaturas.

De 27 valores correspondientes a las estaciones únicamente se pudieron comparar 5 contra los valores de las imágenes debido a que la sincronía entre las horas de los pasos de satélite y las horas en que se realizaron las estaciones oceanográficas es una condición deseable pero difícil de lograr. Por otro lado aunque se pudiera conseguir esta sincronía, la cobertura de nubes en las imágenes es un fenómeno sobre el cual no se tiene control alguno.

Contrario a lo esperado la diferencia más grande entre temperaturas se encuentra en la mayor coincidencia en el tiempo entre la hora que se realizó la estación 20 y el paso del satélite.

Se descarta que esta diferencia sea resultado de un error en el CTD, considerando que la estación vecina (21) tuvo una temperatura de 23.8 además que los valores de temperatura por debajo de la superficie de la estación 20 refuerzan el valor superficial.

Profundidad m	Temperatura °C
0	23.65
1	23.66
2	23.66
3	23.65
4	23.66
5	23.63

6.1.5 CONCLUSIONES (del trabajo de aplicación).

Si bien, la correlación entre los valores de temperatura generados a partir de las mediciones *in situ* y los derivados de las imágenes fue menor a 0.8, los patrones de distribución de temperatura emanados de las imágenes resultaron similares a los que se obtuvieron de las mediciones con el CTD. Aunque el compuesto promedio muestra una mayor distribución de agua de menor temperatura (a la izquierda de la

laguna de Términos) hacia mar adentro, que no se ve en los otros dos compuestos su correlación respecto a los datos medidos *in situ* fue mayor a la del compuesto tiempo lo que sugiere una estructura térmica estacionaria. Por otro lado la gráfica que se obtuvo con paquete ARC/Info y GRASS mostró núcleos de agua fría y también de agua caliente, que no se manifiestan en los otros productos gráficos procedentes del CTD y de las imágenes.

Las imágenes son una herramienta de gran utilidad para la planeación de las mediciones *in situ* puesto que por medio de ellas se logra observar la estructura de la temperatura superficial con gran alcance espacial, en donde se podrían detectar fenómenos físicos tales como remolinos, frentes, núcleos fríos, núcleos calientes etc.

Las imágenes no pueden sustituir las mediciones que se realizan en un crucero oceanográfico desde un punto de vista cuantitativo además que están limitadas a proporcionar sólo valores de temperatura superficial pero tampoco el barco puede remplazar satélite debido a su alcance espacial para detectar fenómenos físicos de gran escala.

Las imágenes y los cruceros oceanográficos son complementarios ya que uno proporciona información de mayor alcance espacial y el otro arroja información más puntual, de mayor precisión y de la columna de agua.

Un factor aleatorio es la nubosidad la que se puede convertir en una gran limitante para obtener información puntual.

CAPÍTULO 7 DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.

Existen algunas necesidades de tratamiento de datos que pueden ser extremadamente específicas para aplicaciones que son incorporadas en un SIG especial únicamente para satisfacer a usuarios particulares (Burrough y McDonnell, 1998).

El SIGO se implementó en respuesta al requerimiento concreto de almacenar y procesar los datos de oceanografía física medidos con el CTD en cruceros oceanográficos, así como para consultar y obtener productos gráficos de la información derivada de estos datos. De tal forma que el proceso fuera totalmente automático y en un sólo paquete computacional.

Hasta el momento dentro de los paquetes⁹ y sistemas computacionales a los que se ha tenido acceso no se ha encontrado un SIG que discrimine automáticamente los datos erróneos, que en la mayoría de los casos contaminan los archivos generados por CTD ni que cubra en su totalidad el procesamiento de los datos de manera fácil y simple, es decir, que permita a usuarios no capacitados en computación tener acceso a funciones complejas disponibles en los menús del sistema mediante una simple tecla.

El tratamiento de los datos capturados con el CTD se ha realizado comúnmente combinando diversos paquetes con procesos rudimentarios para depurar y seleccionar datos así como para generar productos gráficos, lo que ha provocado inconsistencia y lentitud en dicho procedimiento.

El valor de SIGO es más evidente en el procesamiento masivo de los datos medidos con el CTD, como el que se requiere para elaborar un reporte técnico de datos.

Por otro lado, un trabajo de investigación que utilice datos medidos con el CTD necesita contar con el reporte técnico de datos, el que es básico para el análisis de la información, aunque del reporte se extraigan sólo los productos más relevantes para la investigación en cuestión.

Para probar la utilidad y funcionalidad del SIGO se elaboró un reporte técnico de datos (Padilla, 2001), del cual se seleccionaron únicamente las gráficas de importancia para el trabajo de aplicación que se presenta en esta tesis (capítulo anterior).

⁹ Ver nota 2 al pie de página 11

En la producción del reporte técnico de datos con el SIGO no se detectaron inconsistencias, por lo que la funcionalidad tanto del modelo conceptual como del sistema explotador desde un punto de vista teórico cumplió con las expectativas del diseño.

El trabajo de investigación se eligió debido a que su objetivo fue cotejar diferentes productos gráficos lo que se aprovechó para incluir los elaborados con el SIGO y compararlos a su vez con los propios de la investigación, esto permitió probar la respuesta del SIGO ante un trabajo que involucraba información de temperatura superficial del mar medida con el CTD y la derivada de imágenes de satélite. La comparación entre gráficas producidas por el SIGO y otros métodos fue de gran utilidad para probar el procedimiento implementado en el SIGO para trazar isolíneas.

En el mencionado trabajo se puede observar que el producto gráfico de las isolíneas realizado con el SIGO (figura 6.4.a) se asemeja más a la gráfica que se logró combinando el trazo manual de las isolíneas y el paquete GRASS (figura 6.2). Que a la gráfica que se obtuvo con el paquete ARC/Info (figura 6.3), el cual dibujó núcleos que no se manifiestan en las otras gráficas. Este problema se presenta frecuentemente con otros paquetes computacionales como el Surfer cuando el usuario no tiene un completo dominio de su manejo. La inexistencia de los núcleos fue reforzada por las gráficas generadas a partir de las imágenes (figuras 6.8, 6.9 y 6.10) donde no se advierten tales núcleos. La gráfica producida por el SIGO y el compuesto de mayor correlación (máxima) cualitativamente muestran campos de temperatura muy semejantes.

Un factor de confiabilidad del SIGO fue el hecho señalado en el párrafo anterior en cuanto a que el SIGO generó las isolíneas más semejantes a las dibujadas manualmente, que de no ser por el tiempo que se debe invertir, el procedimiento manual sería el más recomendado debido a que en él intervienen la experiencia en el trazo de las isolíneas combinado con la interpretación de la información de expertos en el tema para graficarlas.

Una vez que se da de alta un crucero oceanográfico en la base de datos del SIGO, se pueden procesar los datos, consultar la información por pantalla y mandar a impresión los productos gráficos seleccionados. Todo el procedimiento se realiza automáticamente por medio de menús, lo que implica una gran ventaja sobre la forma de los procesamientos tradicionales de los datos, medidos con el CTD, en el que cualquier modificación o gráfica adicional implica rehacer el proceso.

En el ejemplo de aplicación cuando se empleó el SIGO para el tratamiento de los datos, todo el procesamiento fue automatizado y además se obtuvo información complementaria para reforzar el análisis (figuras 6.4.b, 6.5.a y 6.5.b) sin necesidad de procesos adicionales.

La ventaja de un sistema es que sus componentes pueden ser modificados, eliminados o integrados, sin que los demás componentes sufran cambios. Si acaso se modifican las interfases que los conectan. (Ullman, 1976)

El SIGO se desarrolló con fundamentos en sistemas computacionales para sacar beneficio de las ventajas que estos proporcionan, es decir, con el propósito de adecuarlo a las necesidades futuras así como de incrementar sus módulos y funciones tanto en el área de física como en otras áreas de la oceanografía.

El hecho de poseer los programas fuentes equivale a tener independencia en la programación (computacional), prerrogativa que no se tiene cuando se utilizan sistemas computacionales comerciales.

El esquema conceptual del SIGO se basó en el modelo Entidad-Relación, donde se maneja el concepto de objeto, el que se adaptó a la definición de un fenómeno geográfico citada por Gómez y Márquez (1994).

La base de datos del SIGO cumple con las funciones de bases de datos. El explotador del SIGO cuenta con las funciones más relevantes para el procesamiento de datos físicos medidos en un crucero oceanográfico. Estas dos partes integran un sistema computacional de información enfocado a la oceanografía física.

El SIGO al facilita el procesamiento de los datos y aportar elementos para el análisis de la información, derivada de estos datos, persigue contribuir a las investigaciones de oceanografía. Las que pueden ser utilizadas en la administración de los recursos marinos y costeros de nuestro país en beneficio de toda forma de vida.

9A

BIBLIOGRAFÍA.

ARC/Info version 6.1.1 (1992), ESRI Environmental Systems Research Institute.

Aronoff (1989), Geographic Information Systems: a management perspective. WDL Publications, Ottawa Canada.

Barberán J., Gallegos A., Fernández a., Ruiz F., Padilla A., Czitrom S., Alatorre M. (1986), Observaciones oceanográficas en el Golfo de California y áreas adyacentes enero-febrero 1984. Cuadernos Técnicos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Serie B: 1.

Beer T. (1997), Environmental Oceanography, CRC Press, Marine Science Series.

Beltrán E. (1986), El océano y sus recursos. Fondo de Cultura Económica.

Bowden K.F.(1983), Physical Oceanography of Coastal Waters. Ellis Horwood Ltd.

Burrough P.A. (1986), Principles of Geographical Information's Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford.

Burrough P.A. McDonnell R.A. (1998). Principles of Geographical Information's Systems. Oxford University Press.

Carter J.R. (1989), On defining the geographic information system. In: Ripple W. J.(ed) Fundamentals of Geographic Information System: a compendium. ASPRS/ACSM. Falls Church Virginia.

Cowen D.J. (1988), GIS versus CAD versus DBMS: what are differences?. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.

Date C.J. (1977), An Introduction to Database Systems. Addison-Wesley, Publishing Company.

Date C.J. (1981), An Introduction to Database Systems. Addison-Wesley, Reading, Mass.

DoE. (1987), Department of the environment , Handling Geographic Information. HMSO, London.

Dueker K.J. (1979), Land resource information systems: a review of fifteen years experience. Geo- Processing 1:1979.

Garret J.R. (1977), Review of drag coefficients over oceans and continents., Monthly Weather Review, 105, 915-929.

GRASS version 3.0 (1989), The Geographic Resource Analysis Support System, Army Corps of Engineer's Construction Engineering Research Laboratory (CERL), Champaign, Illinois.

Gómez A.S. (1986), Relatoría General I Simposio Nacional sobre el desarrollo Histórico de las Investigaciones Oceanográficas en México. 26-28 Nov. 1986, CIIO e Inst. Históricas UNAM 788-789.

Gómez J.C. y Márquez H.J. (1994) Geografía General, Publicaciones Cultura.

Korth H.F., Silberschatz A. (1991), Database Systems Concepts. McGraw-Hill.

Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. (1999), Geographical Information Systems. John Wiley & Sons, Inc.

Lyon J.K. (1983), Bases de Datos. El Ateneo.

Maguire J.D. (1993), Goodchild M.F., Rhind D.W., Geographical Information Systems. Longman Scientific and Technical.

Manual 00201 (1994), MARK III C/WOCE Conductivity, Temperature, Depth Profiler, Underwater Unit, operation and maintenance. General Oceanics, Neil Brown Instrument Division, January.

Manual service (1987), MX 1107 GPS, Transit/GPS Satellite Navigator. Magnavox Advanced Products and Systems Company.

Manual Terascan (1994,1995), SeaSpace Corporation.

McClain E. P. (1991), Multiple Atmospheric-Window Technique for Satellite-Derived Sea Surface Temperatures. Oceanography room Space vol. 13 pp 73-85, Plenum press. New York and London.

Ozemoy V.M., Smith D.R., Sicherman A. (1981), Evaluating computerized geographic information system using decision analysis. Interfaces.

Padilla A.R., Salas D.A., Monreal M.A. (1990), Evidencia de un giro ciclónico en la Bahía de Campeche. Ciencias Marinas, 16(3): 1-14.

Padilla A.R. (1991), Sistema explotador para una base de datos geográfica. Maestría en Ciencias de la Computación UACyP del CCH de la UNAM.

Padilla A.R., Sorani V., Gaviño J., Gómez G. (1996), Comparación entre mediciones de temperatura superficial del mar *in situ* y las obtenidas con imágenes AVHRR. X Congreso nacional de oceanografía. Manzanillo, Colima. Del 4 al 7 de noviembre de 1996.

Padilla A.R. (2001), MOPEED 17 reporte técnico de datos oceanográficos medidos con el CTD en el sur de la Bahía de Campeche. Reporte interno ICMYL, UNAM.

Parker H.D. (1988), The unique qualities of geographic information system: commentary. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.

Pickard G.L. and Emery W.J. (1990), Descriptive Physical Oceanography. An introduction. Butterworth Heinemann.

Pond S. and Pickard G.L. (1978), Introductory dynamic oceanography. Pergamon Press, Oxford.

Press William H., Flannery B.P. (1989), Teukolsky S.A., Vetterling W.T. Numerical Recipes, The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press.

Quintero M., y Jaime F. (1991), Procesamiento y comparación de la configuración de datos Oceanográficos, desde un punto de vista Topográfico. Licenciatura Facultad de Ingeniería, UNAM.

Raisz E. (1985), Cartografía. Ediciones Omega. S.A. Barcelona.

Ruttenberg S. (1991), On the Accuracy of Satellite-Observed Sea Surface Temperature Oceanography from Space. vol.13 pp 71-72, Plenum Press. New York and London.

Smith T.R., Menon S., Star J.L. (1987), Requirement and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems. International Journal Geographical Information Systems 1, 1987.

Stewart H. R. (1985), Methods of Satellite Oceanography. University of California Press.

Stillwell J., Geermen S. (1999), Geographical Information and Planning, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Surfer version 3.0 (1987) Golden Software Inc.

Toscano R. (1977), Métodos Topográficos. Editorial Porrúa, S. A.

Ullman J.D. (1976), Fundamental Concepts of Programming Systems. Addison-Wesley.

Ullman J.D. (1988), Principles of Database Systems. Computer Science Press.

UNESCO (1981), report 38, Background papers and supporting data on the international Equation of State of Seawater.

Wayne W. D. (1993), Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la salud. UTEHA Noriega editores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN