

01026  
56



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**

**SISTEMA DE UNIVERSIDAD ABIERTA**

**COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

U. N. A. M.

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

Jefatura de la División del  
Sistema de Universidad Abierta

**Mapa Batimétrico Digital de la  
Porción Meridional del Golfo de  
México (Bahía de Campeche)**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADO EN GEOGRAFÍA**  
**P R E S E N T A :**  
**JESÚS MANUEL TAPIA LÓPEZ**



**FACULTAD DE FILOSOFÍA  
Y LETRAS**

**ASESOR: DR. DAVID ALBERTO SALAS DE LEÓN**

**MÉXICO, D. F. CIUDAD UNIVERSITARIA  
OCTUBRE DEL 2003**

A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## DEDICATORIA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo receptorial.

NOMBRE: GUADALUPE TABOADA

FECHA: 22/04/2023

FIRMA: [Firma]

*A mis padres ( Santiago y Joaquina)*

*A mis hermanos*

*A todos aquellos que por alguna razón no pudieron estudiar*

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los sinodales que con sus sugerencias contribuyeron a mejorar el presente trabajo, particularmente al Dr. David Salas de León por el apoyo y la confianza que como ser humano me brindo para realizar esta tesis y desde luego a la Dra. Adela Monreal por todo su ayuda.

A mis compañeros del laboratorio de Oceanógrafa Física, en quienes en muchas ocasiones me apoye y quienes no se negaron a proporcionarme la ayuda necesaria y desde luego al área de computo de Ciencias del Mar y Limnología.

A mis compañeros los Geógrafos con quienes compartí la amistad y la enseñanza.

A todos mis profesores, muy en particular, en quienes creyeron en mi, en verdad les estoy muy agradecido por todo el apoyo brindado.

A CONACYT por el financiamiento del proyecto "Procesos Oceánicos y Mecanismos de Producción Biológica en el sur del Golfo de México" (G-27777B), de la cual esta tesis es producto de ello.

Al Dr. Ingvar Emilsson por su apoyo e información del "Chart Navigator", para la elaboración de esta tesis.

A Dulce Maria Abraján Cordero por su ayuda en la sala de computo de la Facultad de Filosofía y Letras y como persona mis mas sincero cariño.

A Raquel Diaz Rivera (Raquelita) por su cariño y comprensión y por todo lo que representa para mi.

A Carmen Castillo y Dominga Gonzáles, mi cariño y respeto

A todos aquellos que de alguna manera participaron en mi formación académica y que se involucraron en este trabajo.

**Gracias a todos**

# CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPITULO I. MARCO GEOGRÁFICO DE LA REGIÓN MERIDIONAL DEL GOLFO DE MÉXICO (BAHÍA DE CAMPECHE).....	5
1.1 Zona Económica Exclusiva.....	5
1.2 Descripción de la zona.....	7
1.3 Clima.....	10
1.4 Economía de la región.....	11
1.4.1 Pesca.....	11
1.4.2 Petróleo.....	12
1.5 Navegación marítima.....	13
CAPITULO II. HISTORIA DE LAS CARTAS DE NAVEGACIÓN Y BATIMÉTRICAS ....	15
2.1 El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y su participación en la cartografía del fondo oceánico .....	17
2.2 Aportes de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) .....	19
2.3 Aportes de la Secretaría de Marina .....	20
2.4 Cartas náuticas .....	21
2.4.1 Definición y generalidades .....	21
2.4.2 Clasificación de las cartas náuticas según la escala.....	22
2.4.2.1 Cartas Generales.....	22
2.4.2.2 Cartas de rumbo.....	22
2.4.2.3 Cartas de navegación costera.....	23
2.4.2.4 Cartas de aproximación.....	23
2.4.3 signos y abreviaturas empleados en las cartas náuticas.....	24
2.4.4 Catálogo de cartas .....	24
2.5 Cartas batimétricas .....	25
2.5.1 Las primeras cartas batimétricas .....	26
2.5.2 Contenido de las cartas batimétricas .....	27
2.6 El manejador de Información Marina ( MIM ).....	28
2.7 Las cartas de navegación electrónicas (Chart Navigator) .....	29
CAPITULO III. ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS DE LA TIERRA.....	30
3.1 Sistemas de coordenadas.....	30
3.5 Análisis de la deformación en las proyecciones.....	32

<b>CAPITULO IV CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Proyección en función de sus propiedades.....</b>	<b>35</b>
4.1.1 Conformes u ortomorfas.....	35
4.1.2 Equivalentes o equiáreas .....	36
4.1.3 Equidistantes .....	36
4.1.4 Azimutales.....	37
4.1.5 Afilácticas.....	37
<b>4.2 Clasificación de las proyecciones según su construcción en la superficie.....</b>	<b>37</b>
4.2.1 Proyecciones cilíndricas .....	38
4.2.2 Proyecciones cónicas .....	40
4.2.3 Proyecciones azimutales o zenitales .....	41
4.2.3.1 Gnómonica.....	42
4.2.3.2 Estereográfica.....	42
4.2.3.3 Ortográfica.....	43
4.2.4 Proyección convencional .....	44
<b>CAPITULO V FORMAS DE POSICIONAMIENTO EN EL MAR .....</b>	<b>45</b>
5.1 El sextante y su historia .....	45
5.2 Navegación astronómica .....	53
5.3 Navegación marina moderna .....	54
5.3.1 Navegación práctica .....	54
5.3.2 Navegación Conteo .....	54
5.3.3 Navegación Electrónica .....	55
5.3.3.1 Radiogoniómetro .....	56
5.3.3.2 Radiofaro direccional .....	56
5.3.3.3 Radio balizas .....	56
5.4 Sistema de navegación de larga distancia .....	56
5.4.1 Gee .....	56
5.4.2 Loran o Shoran.....	57
5.4.3 Omega .....	57
5.4.4 Consolan .....	57
5.5 Sistemas de navegación por satélite .....	58
<b>CAPITULO VI. MÉTODO DE GENERACIÓN DE LA MAPA BATIMÉTRICO .....</b>	<b>59</b>
6.1 Justificación de la proyección cilíndrica de Mercator.....	59
6.2 Selección del método de interpolación.....	60
<b>CAPITULO VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>66</b>
7.1 Análisis de los datos.....	66

7.3 Factor de escala de la proyección cilíndrica de Mercator.....	69
7.2 Escala.....	73
CONCLUSIONES .....	75
LITERATURA CITADA .....	77
ANEXOS.....	81
Anexo I Terminología en las proyecciones.....	81
Anexo II Forma de ubicación de la estrellas importantes para la navegación.....	82
Anexo III Tipos de navegación.....	84
Anexo IV Cartas disponibles en la Secretaría de Marina.....	85
Anexo V Puntos digitalizados .....	87
Anexo VI Glosario .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zona Económica Exclusiva de México en la Bahía de Campeche.....	6
Figura 2 Zona Económica Exclusiva de México en el Gofo de México.....	6
Figura 3 Delimitación de la Plataforma Continental del Golfo de México.....	7
Figura 4 Principales ríos de México.....	9
Figura 5 Mapa Base de la Bahía de Campeche.....	10
Fig. 6 Las cinco grandes regiones de la República Mexicana.....	12
Fig. 7 Áreas productora de petróleo .....	13
Fig.8 Los puertos más importantes de México.....	14
Figura 9- Mapa índice de las cartas náuticas de la Secretaría de Marina de México.....	21
Figura 10. Primer guía impresa para pilotos con cartas publicada en Ámsterdam en 1690. ....	22
Fig. 11 Costas de Galicia y Portugal de Johannes Van Keulen (1680).....	23
Fig. 12 Trayectoria de la onda acústica al sondear el fondo del océano.....	27
Fig 13 Sistema de coordenadas geográficas.....	31
Fig. 14 Indicatriz de Tissot .....	33
Fig.15 Proyección cilíndrica.....	38
Fig. 16 Proyección cilíndrica ortomórfica.....	39
Fig. 17 Proyección cónica simple.....	40
Fig.18 Proyección azimutal o zenital.....	42
Fig. 19 Kamal.....	46
Fig. 20 Cuadrante y astrolabio.....	46
Fig. 21 Astrolabio.....	47
Fig. 22 Astrolabio de Goes .....	47
Fig. 23 Uso de astrolabio.....	48
Fig. 24 Cruz personal. Reproducción moderna.....	48
Fig. 25 Cruz personal en uso.....	49
Fig. 26 Cuadrante de Davis.....	50
Fig. 27 Diagrama del sextante moderno.....	50
Fig. 28 Octante temprano de Hadley.....	51

Fig. 29. Sextante temprano de Juan Bird.....	51
Fig. 30 Sextante de ébano.....	52
Fig. 31 Ejemplos de diseños del marco de sextantes.....	52
Fig. 32 Instrumento fabricado por Ramsden.....	53
Fig. 33 comparación entre un variograma experimental y uno modelado.....	62
Fig. 34.- Puntos de profundidad obtenidos de la digitalización de mapas batimétricos de la Secretaría de Marina y las campañas Oceanográficas de la UNAM.....	67
Fig. 35 Mapa batimétrico resultante.....	74
Fig. de anexo II.1 Localización de la cruz del sur.....	82
Fig. del anexo II:2 Localización de la Osa Mayor.....	83
Fig. II.3 Localización de la Estrella Polar.....	83
Fig. V.1 Puntos digitalizados de las cartas SM 721, SM 722, SM 800, SM 810, SM 822, y SM 840. de la Secretaría de Marina.....	87
Fig. V.2 Puntos digitalizados con datos de los cruceros del barco "Justo Sierra" de la UNAM.....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Características generales de las proyecciones azimutales.....	43
Tabla II.I Los principales tipos de navegación.....	84
Tabla IV:I de las cartas disponibles en la Secretaria de Marina.....	85

## RESUMEN

El objetivo de esta tesis es contribuir a un mayor conocimiento del territorio nacional, particularmente, consiste en la actualización del mapa batimétrico de la región del Golfo de México conocida también por la Secretaría de Marina como Bahía de Campeche, todo para que sirva de sustento para las diferentes actividades económicas y de investigación que se efectúen en la región. La estructura de la tesis es la siguiente: en el capítulo I se presenta el marco geográfico de la región del Golfo de México, en el cual se efectúa la descripción geográfica de las interacciones de esta con el continente. En ello se relacionan las interacciones del aspecto físico como son: el clima, la hidrología y otros factores. En el capítulo II se hace una reseña histórica de las cartas de navegación y batimétricas; se describe el manejador de información marina (MIM) y las cartas electrónicas de navegación asimismo se presenta una breve descripción de los programas desarrollados por diversas instituciones dedicadas a la producción de cartografía marina o que han publicado algún aspecto relacionado con las cartas batimétricas. En el capítulo III se realiza la descripción de los principales elementos cartográficos de la Tierra, como son: los sistemas de coordenadas, puntos y líneas sobre la superficie terrestre, y finalmente, el análisis de la deformación de la indicatriz de Tissot en las proyecciones. En el capítulo IV se presentan algunas de las características de las proyecciones cartográficas como son las propiedades conformidad, equivalencia, azimutabilidad y las afiláticas y la clasificación de esas proyecciones según su construcción en la superficie como lo son la cilíndrica, cónica y azimutales principalmente. En el capítulo V se presentan las formas de posicionamiento y navegación en el mar como son: la historia del sextante, la navegación astronómica, la navegación electrónica, el sistema de navegación de larga distancia y el sistema de navegación por satélite. En el capítulo VI se presenta la metodología usada en la construcción de la carta batimétrica; se justifica la proyección cilíndrica de Mercator y se describe el método de interpolación usado (kriging). Dentro del capítulo VII se incluyen los resultados y la discusión de esta tesis. Por último, se realizan los análisis y las conclusiones del trabajo y se incluyen varios cuadros de anexos que complementan a los diferentes capítulos de esta tesis, así como un glosario de algunos de los términos empleados.

## **INTRODUCCIÓN**

Los océanos y los mares han desempeñado un papel importante para la humanidad y México no ha sido la excepción. Por sus características y ubicación geográfica México es un país eminentemente oceánico con costas en el Océano Pacífico y Atlántico.

Una de las estrategias para el desarrollo económico del país es la de conocer cualitativa y cuantitativamente sus recursos naturales. Para esto, se requiere de investigaciones oceanográficas sistemáticas que aporten información fundamental sobre los mares, en todas sus características: físicas, químicas, biológicas, geológicas, etc., para los fines de exploración, explotación, conservación y administración de los recursos naturales renovables y los no renovables de los fondos marinos.

Dentro de la gran riqueza biológica que ofrece el mar se encuentra la fauna, que integra gran parte de la pesca comercial. Los conocimientos para llevar a cabo dichas pesquerías implican tener elementos previos y detallados de las características de los fondos oceánicos.

La pesca comercial representa para el país grandes recursos alimenticios y económico. En particular la pesca de camarón, que es una de las actividades económicas que deja mayor cantidad de divisa y es un recurso que se encuentra a profundidades oceánicas no mayores a 200 metros; de ahí también la importancia de conocer mejor la plataforma continental que cubre una extensión de 431,051 km<sup>2</sup> (Carrillo,1986).

El Instituto de Geografía de la UNAM tiene en su mapoteca 19,107 mapas, de los cuales solo 82 son batimétricos y de navegación, elaborados estos por la Secretaría de Marina y por el INEGI; es decir, que la totalidad de los mapas con información continental, como son: mapas topográficos, edafológicos, de uso del suelo, hidrológicos, geológicos, urbanos, entre otros, suman 19,025.

En cuanto se refiere al Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) han hecho batimetría muy fina en algunas zonas específicas del Golfo de México, como por ejemplo, en la sonda de Campeche, y han usado como base las cartas náuticas que la Secretaría de Marina tiene a disposición del público.

La reseña de esta tesis consiste en lo siguiente: En el capítulo uno se presenta el marco geográfico de la región meridional del Golfo de México, empezando con la descripción de la Zona Económica Exclusiva después se efectúa la descripción geográfica de las interacciones de esta región del Golfo de México con el continente. En ello se relacionan las interacciones del aspecto físico como son: El clima, la hidrología y otros factores como son la pesca, el petróleo y navegación marítima. En el capítulo dos se hace una reseña histórica de las cartas de navegación y batimétricas; dentro de la cual se presenta una breve descripción de los programas desarrollados por diversas instituciones dedicadas a la producción de cartografía marina o que han publicado algún aspecto relacionado con las cartas batimétricas. como son: El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en la cartografía del fondo oceánico (COI), los aportes del Colegio de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y las cartas de navegación de la Secretaría de Marina. Asimismo se realiza una reseña y clasificación de las cartas náuticas y las cartas batimétricas; por último se describe el manejador de información marina (MIM) y las cartas electrónicas de navegación. En el tercer capítulo trata de los principales elementos cartográficos de la Tierra, como son: los sistemas de coordenadas, puntos y líneas sobre la superficie terrestre, y el análisis de la deformación de la indicatriz de Tissot en las proyecciones. En el capítulo cuarto se presentan algunas de las características de las proyecciones cartográficas como son las propiedades conformes, equivalentes, azimutales y afiláticas y la clasificación de esas proyecciones según su construcción en la superficie como son la cónica, azimutales y la cilíndrica, dentro de esta última tratamos a Mercator En el capítulo cinco vemos las formas de posicionamiento y navegación en el mar, ellos son: la historia del sextante, la navegación astronómica y la navegación electrónica, el sistema de navegación de larga distancia y el sistema de navegación por satélite.

En el capítulo seis se presenta la metodología usada en la construcción del mapa batimétrico; Empezando con la justificación de la proyección cilíndrica de Mercator y se describe el método de interpolación usado dentro del programa Surfer Versión 7.02 (kriging). Dentro del capítulo siete se incluyen los análisis de los datos, el factor escala de deformación de los paralelos y meridianos y el resultados de esta tesis. Por último, se realizan las conclusiones del trabajo y se incluyen varios cuadros de anexos que complementan a los diferentes capítulos de esta tesis, así como un glosario de algunos de los términos empleados.

Los materiales bibliográficos para la elaboración de esta tesis se centraron principalmente en la digitalización de las cartas de navegación proporcionados por la secretaria de marina, las cuales fueron: SM 721, SM 722, SM 800, SM 810, SM 822 y SM 840, Cartografía Básica, de Caire Lómeli, La cartografía marina en México de frías Salasar, entre otros

## CAPÍTULO I

# MARCO GEOGRÁFICO DE LA REGIÓN MERIDIONAL DEL GOLFO DE MÉXICO (BAHÍA DE CAMPECHE) Y SU INTERACCIÓN CON LA ZONA ALEDAÑA DEL CONTINENTE

### 1.1 Zona Económica Exclusiva

La extensión territorial de México es de 1'964,375 km<sup>2</sup>, de los cuales 1'959,248 km<sup>2</sup> son superficie continental y 5,127 km<sup>2</sup> corresponden a superficie insular. La frontera marina del mar territorial es de 12 millas náuticas. A partir de esta línea se cuenta con una distancia adicional de 188 millas denominada Zona Económica Exclusiva (ZEE, que anteriormente era conocida como Mar Patrimonial), haciendo un total 200 millas náuticas, equivalentes a 3'149,920 km<sup>2</sup>; que al añadir esta superficie, la extensión territorial de México suma en total 5'114,295 km<sup>2</sup>.;Lo anterior se muestra en las siguientes figuras:

La figura 1 se muestra la Zona Económica Exclusiva del país en su totalidad; la figura 2 la zona económica exclusiva del Golfo de México y en la figura 3 se tiene un corte del perfil de dicha zona.



Fig. 1 Zona Económica Exclusiva de México  
(<http://www.inegi.gob.mx/territorio/español/proyserv/oceanografia/oceano23.html>)



Fig. 2 Zona Económica Exclusiva de México en el Golfo de México

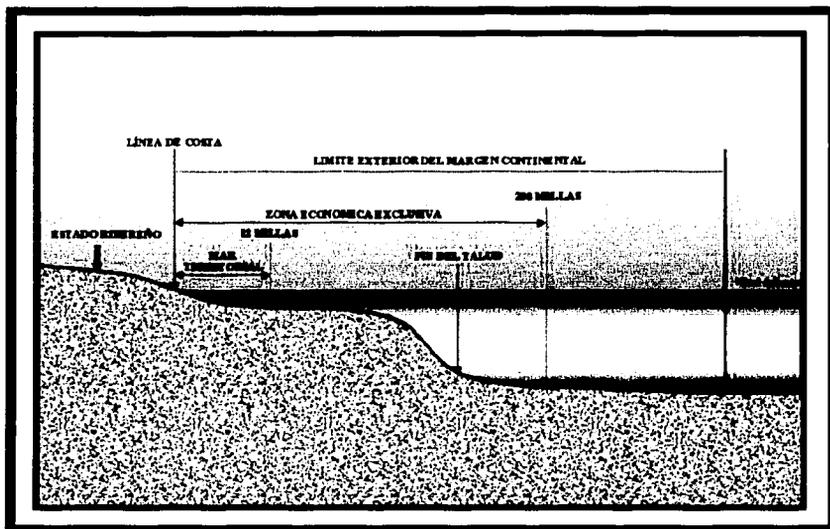


Fig. 3. Delimitación de la Plataforma Continental del Golfo de México

## 1.2 Descripción de la zona

La región meridional del Golfo de México, se ubica en las coordenadas geográficas de 24° latitud norte, 98° 10" longitud oeste, 18° latitud norte y 89° 30' longitud oeste. El litoral del Golfo de México es de 2,059 km, y a este litoral, corresponde una gran llanura costera con una débil inclinación de pendiente y muchas barras de arena, con frecuentes islotes y arrecifes. e involucra a los estados ribereños de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán.

El Golfo de México es una cuenca de forma elíptica-semicerrada que se conecta con el Océano Atlántico y el mar Caribe por el canal de Yucatán y el estrecho de Florida.

Existen profundidades someras cerca de la costa, su profundidad máxima sobrepasa los 3000 metros, alcanzando su máximo valor de 3685 metros según la digitalización realizada.

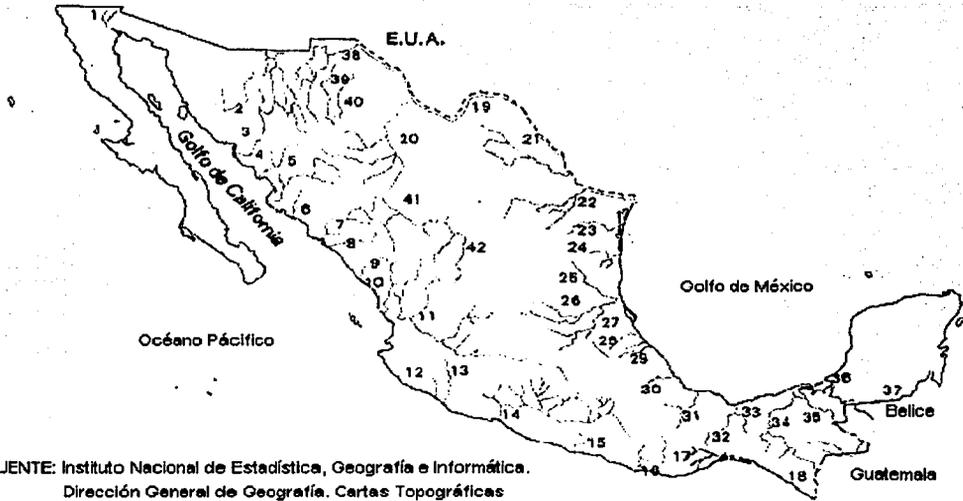
Su plataforma continental está caracterizada por ser ancha en su parte este (aproximadamente 216 km) y angosta en el oeste (de 30 a 55 km). En esta bahía, los ríos, como el Grijalva, el Usumacinta, el Papaloapan y el Coatzacoalcos, originan un complejo sistema de estuarios, deltas y lagunas costeras, entre las cuales destaca la Laguna de Términos. Los ríos que llegan al Golfo de México son maduros. Estos ríos en su desembocadura cuentan con depósitos aluviales y algunos ríos son navegables como el Pánuco. (Velasco, 1994).

La desembocadura del río Coatzacoalcos y el sistema del Grijalva–Usumacinta llegan a representar la tercera parte de la descarga fluvial de México durante al época de lluvias influyendo en la salinidad y la temperatura de las aguas costeras, además aportan gran cantidad de nutrimentos de tipo alóctono, los cuales son aprovechados por diversos organismos como las microalgas planctónicas.

A lo largo de la zona costera del Golfo de México se han localizado áreas influenciadas en mayor o menor grado por sistemas fluviales, los cuales aportan una gran cantidad de sedimentos terrígenos y materia orgánica, incluyendo contaminantes y desechos urbanos (Esparza Castillo, 1992). La bahía de Campeche se caracteriza por presentar dos grupos de sedimentos: por un lado, los terrígenos (arcillas, limos, arena y grava), que son transportados principalmente por los ríos y por el otro, los carbonatados.

La vertiente oriental del Golfo de México está constituida por 46 ríos importantes, (Fig. 4) entre los que destacan los ríos Usumacinta, Papaloapan, Grijalva, Coatzacoalcos y Pánuco

### Principales ríos de México



FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.  
Dirección General de Geografía. Cartas Topográficas  
Escala 1 : 1 000 000. México.

Fig.4 Principales ríos de México (Tomada de:  
<http://www.inegi.gob.mx/difusión/español/figdat.html>).

La parte del Golfo situada frente a la Laguna de Términos, es una zona altamente dinámica condicionada por los factores propios de la zona costera, la cual es influida también por los aportes de aguas epicontinentales. La figura 5 muestra la región del Golfo de México, misma que se elaboró en esta tesis.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

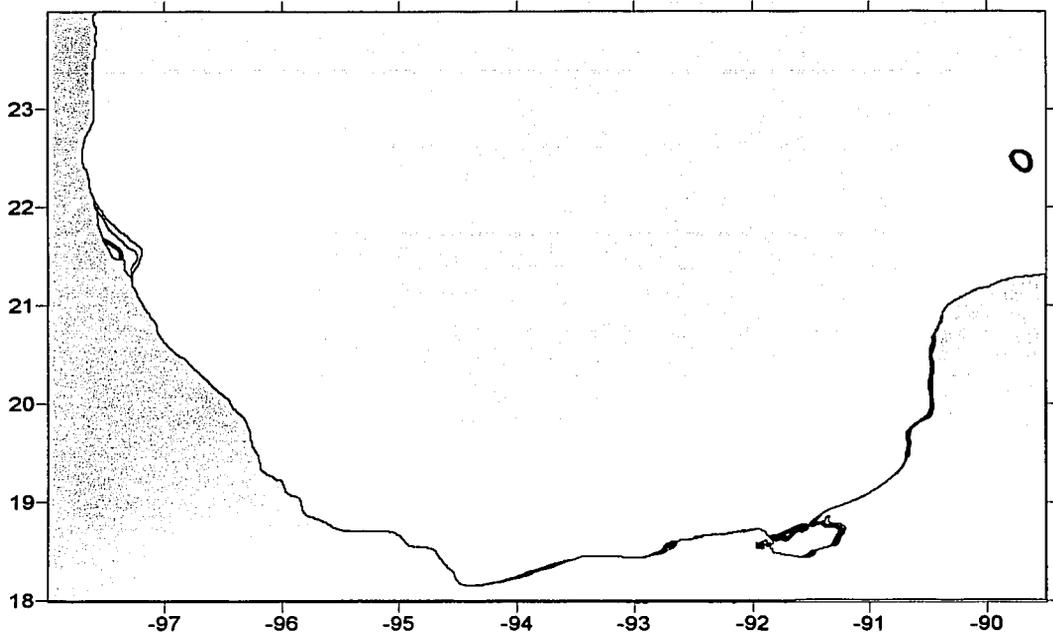


Fig.5 Región de la Bahía de Campeche. Mapa base de esta tesis (digitalizado).

### 1.3 Clima

La circulación en el Golfo de México está dominada por una intensa corriente anticiclónica que se extiende desde el Canal de Yucatán hasta el Estrecho de Florida; asimismo, el Golfo de México es influenciado por el intercambio de masas de aire frío y seco, provenientes del interior del continente (Estados Unidos y Canadá), y las masas propias del Golfo, de origen marino y tropical. Las condiciones atmosféricas del Golfo de México se presentan de manera tal que las masas de aire frío y seco que llegan del norte y las masas de aire del Golfo de origen marítimo y tropical provocan frentes fríos conocidos como "Nortes" entre los meses de octubre a abril. (Otoño-invierno). Estos vientos fríos de origen continental influyen en la circulación atmosférica del Golfo de México lo que origina enfriamiento y mezcla de la capa superficial, con un impacto considerable en la zona de la costa.

Aunque, en general, el Golfo de México es dominado por vientos del norte en épocas de invierno. La Sonda de Campeche, es influenciada por los esfuerzos de vientos que provienen del noreste. Durante esta misma época, el Golfo de México se ve afectado por las tormentas tropicales, siendo esta región una de las más afectada por los huracanes.

## **1.4 Economía de la región**

### **1.4.1 La pesca**

La Dirección General de Pesca e Industrias Conexas, dependiente de la Secretaría de Industria y Comercio, considera cinco grandes regiones de pesca, de las cuales, cuatro se hallan en el mar y una en las aguas de ríos y lagos. En el Golfo de México y principalmente en Veracruz, se captura 20.7 % del total de las capturas del país y los principales centros pesqueros son los de Tamiahua, Nautla, Veracruz, Tuxpan, Alvarado y Coatzacoalcos.(González, 1993). La segunda región corresponde a Tamaulipas, las diversas especies que en ella se capturan se destinan principalmente al mercado nacional y sus principales centros pesqueros son los de Soto la Marina, Laguna Madre y Tampico.

La tercera región se extiende frente a Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Los principales centros pesqueros son: Villahermosa y Paraíso en Tabasco, Campeche y Ciudad del Carmen en Campeche; Celestún y Progreso en Yucatán; e Islas Mujeres y Cozumel en Quintana Roo (Fig. 6).

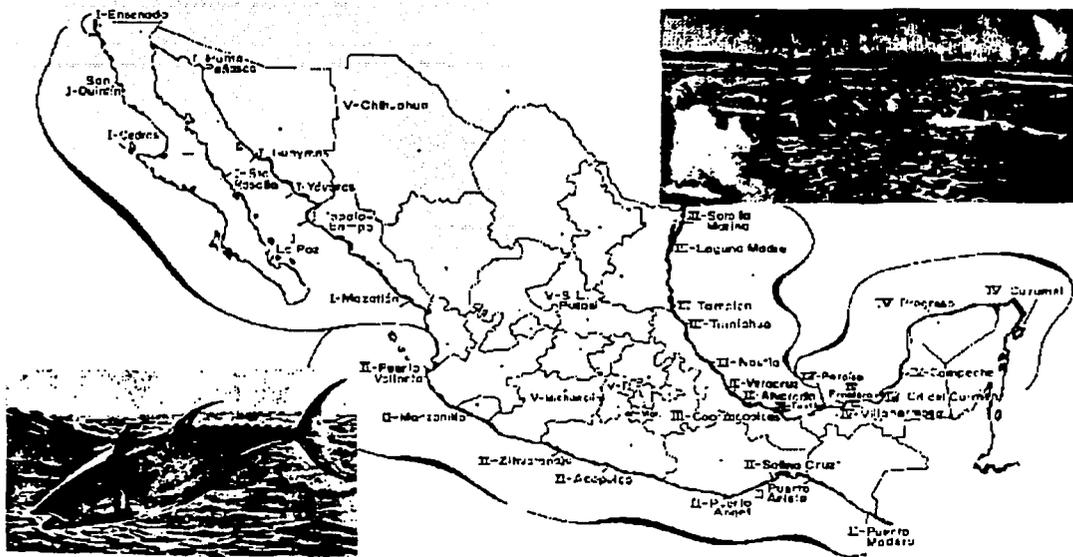


Fig. 6 Las cinco grandes regiones pesqueras de la República Mexicana (Sánchez 1970)

Actualmente, los niveles de captura las especie muestran un notable descenso. Esto puede atribuirse al agotamiento real del recurso por mal manejo; las obras hidráulicas desarrolladas en la zona, la introducción de especies exóticas y la deforestación del manglar son otras causas de la disminución del recurso pesquero en los sistemas lagunares.

#### 1.4.2 Petróleo

El sur del Golfo de México es una zona con alta importancia económica para el país, posee una gran actividad petrolera y depósitos de hidrocarburos y gas natural, que incluye gran parte de la península de Yucatán. El petróleo, se localiza en el litoral del Golfo de México, tanto en depósitos terrestres de la llanura costera de Veracruz, Tabasco y norte de Chiapas, como en la plataforma continental.

Los estudios sobre las reservas de hidrocarburos en el país indican una distribución diferencial en el territorio (Fig. 7). Las reservas probadas se localizan principalmente en la cuenca de Chicontepec, en la parte norte del estado de Veracruz y en las entidades de Tabasco y Chiapas (19 % del total del país), en la plataforma marítima de la sonda de Campeche (48 %) y en la cuenca de Sabinas, entre los estados de Coahuila y Nuevo León (Carabias, 1993).



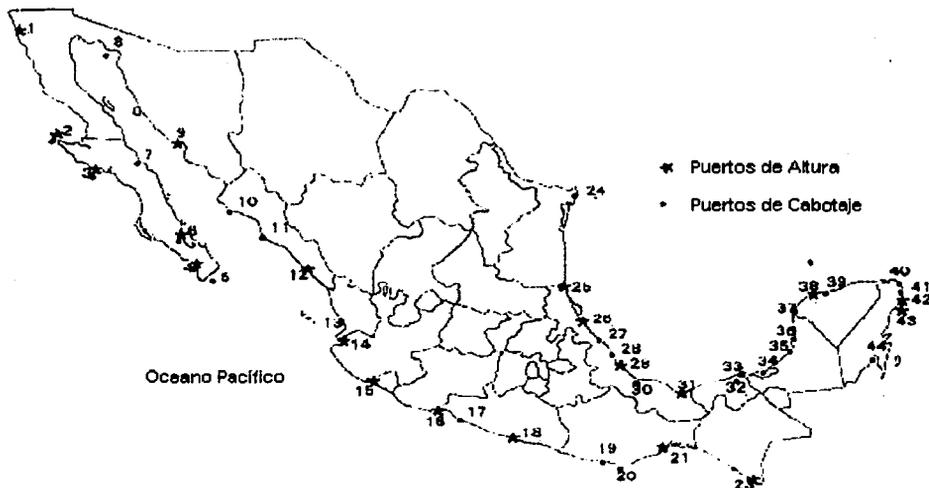
Fig.7 Áreas productoras de petróleo (Tomado de Sánchez, 1970)

### 1.5 Navegación Marítima

La transportación marítima es otro factor a considerar en la interacción del hombre con el ambiente marino, misma que requiere ser abordada con un enfoque interdisciplinario con el fin de lograr el conocimiento que permita una planeación adecuada de su uso.

Por lo que hace al tráfico internacional o de altura, en el Golfo de México los puertos más visitados son: Tampico, Madero y Altamira en Tamaulipas; Campeche en Campeche; Coatzacoalcos, Tuxpan y Veracruz en Veracruz; Cozumel, Puerto Morelos e Islas Mujeres en Quintana Roo. En la figura 8, aparecen los puertos más importantes de México.

**Puertos de Altura y Cabotaje de la República Mexicana**



FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Dirección General de Geografía.  
 Carta Geográfica Escala 1 : 4 000 000. México.

Fig. 8 Los puertos más importantes de México.  
 ((Tomada de <http://www.inegi.gob.mx/difusión/español/figdat.html>)

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## CAPÍTULO II

### HISTORIA DE LAS CARTAS DE NAVEGACIÓN Y BATIMÉTRICAS

La Oceanografía se inició como una ciencia sistemática a fines del siglo XIX y podría decirse que adquiere un carácter formal a partir del crucero oceanográfico realizado por el Challenger (1872-1876) durante el cual se realizaron investigaciones y se recopiló gran cantidad de datos en forma multidisciplinaria (Cruz, 1993; Carrillo, 1986).

A partir de 1911, los estudios de los océanos empezaron a ser más complejos, pues contaban con novedosos equipos como la ecosonda, aparato que permitió un gran avance en el conocimiento de la forma del fondo oceánico. A la par de estos avances tecnológico surgió la necesidad de representar dicha información mediante cartas.

En México, durante el siglo XVI se cartografiaron por primera vez las costas del país, y en la Carta Portulana Mundial de Juan de la Cosa, figura en la cartografía de origen europeo, la costa oriental de México, esto en 1500. En cuanto a las cartas geográficas, se considera que el mapa más antiguo de las costas del Golfo de México es el que fue elaborado por Álvarez de Pineda en 1519.

En la carta llamada "*Universal*" de Diego Ribero (1529), se registra toda la costa oriental americana, desde el norte de Labrador hasta el estrecho de Magallanes, apareciendo el litoral mexicano y la "Isla de Yucatán".

En el siglo XVIII, según Orozco y Berra, se estudiaron las costas americanas del Pacífico. En el siglo XIX se recopila un atlas y un portulano, mandado a publicar en 1825 por el entonces presidente de México Guadalupe Victoria (Frías, 1996).

En el siglo XX los trabajos de importancia en cuanto a cartografía de las costas de México fueron: Las cartas hidrográficas de Tampico, Puerto de Alvarado, Puerto México, Puerto de Veracruz y sus alrededores

En 1960 se creó la Dirección de Faros e Hidrología de la Secretaría de Marina, hoy Dirección General de Oceanografía Naval, la cual elabora cartografía náutica y algunas cartas temáticas. En 1968 se creó la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, llamada después Dirección General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Este organismo ha elaborado toda la cartografía continental e insular del territorio nacional, tanto básico como temática, y a partir de 1982 ha incursionado en la elaboración de cartas batimétricas escala 1:1 000 000 con cubrimiento de la Zona Económica Exclusiva (ZEE)

A partir de 1980 el INEGI inició los trabajos relacionados con el establecimiento de un sistema de cartografía oceánica que permitiera el conocimiento de los fondos marinos. Por lo tanto, fue elaborada la serie cartográfica batimétrica a escala 1:1 000 000, la cual incluye la totalidad de las aguas marinas nacionales y muestra áreas más allá de la Zona Económica Exclusiva, con curvas de nivel batimétricas a cada 100 m, en proyección cilíndrica transversal de Mercator y formatos de siete por nueve grados.

En 1987 fue elaborado por la Dirección General de Oceanografía Naval, un Atlas Memoria del Levantamiento Geofísico de la ZEE y margen continental oeste de México, conteniendo nueve cartas de gravedad, magnetismo y batimetría.

En la XIII Reunión de la Asamblea de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), perteneciente a la UNESCO, que tuvo lugar en marzo de 1985 en París, surge el Proyecto Regional de Cartografía Oceánica para elaborar la Carta Batimétrica Internacional del Mar Caribe y Golfo de México (IBCCA, por sus siglas en inglés)

El principal antecedente del proyecto IBCCA lo encontramos en la realización de la Carta Batimétrica General de los Océanos (GEBCO por sus siglas en inglés) escala 1:10 000 000, auspiciada por la Oficina Hidrográfica Internacional (IHB, siglas en inglés) de Mónaco y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO. Esta carta muestra, por medio de isolíneas, las principales características del fondo oceánico y fue elaborada con base en los estudios oceanográficos en general y geológico-marinos en particular. La información no está digitalizada ni automatizada.

En el laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM se trabajó en la obtención de una carta batimétrica automatizada a partir de los datos de una de las cartas del proyecto IBCCA. Uno de los resultados fue el programa mapascad. Este programa permite graficar e imprimir una zona o la totalidad de la República Mexicana con diversos señalamientos como ríos, ciudades, batimetría, estaciones geográficas y abundancia de especies.

Otras dependencias que han realizado cartas marinas son: la Secretaría de Marina, la de Pesca, el Instituto Nacional de Pesca, Petróleos Mexicanos, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (a través de la Dirección de Obras Marítimas y la Dirección General de Dragado), la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (a través del Consejo de Recursos Minerales) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas y más recientemente, el Instituto de Geografía de la UNAM (en 1993), publicó el Atlas Nacional de México incluyendo algunos mapas oceanográficos escala 1:5 000 000.

## **2.1 El Instituto Nacional Geografía e Informática (INEGI) y su participación en la cartografía del fondo oceánico**

Del 9 al 11 de noviembre de 1998 se realizó en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes, México, la Conferencia Internacional para la Elaboración de la Carta Batimétrica del Mar Caribe y Golfo de México donde estuvieron presentes miembros de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) y organismos equivalentes como

el Comité Editorial de la COI para la elaboración de la Carta Batimétrica Internacional del Mar Caribe y el Golfo de México.

El objetivo de la reunión fue conocer los avances de los últimos dos años en la compilación de información batimétrica del área de responsabilidad de cada país participante, con el fin de concertar acciones para completar la edición de la cartografía batimétrica escala 1:1 000 000 del Mar Caribe y del Golfo de México ([http://www.documentos/resumende20\\_batimetria.htm](http://www.documentos/resumende20_batimetria.htm)).

En el caso de México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI) señaló que se concluyó la digitalización de las 37 hojas de graficación a escala 1:250 000, cubriendo la parte centro-sur del Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec.

Durante 1997 se inició la digitalización de 24 hojas de graficación batimétrica escala 1:250 000 para el Pacífico mexicano, generándose así los nombres de las formas del relieve submarino, las líneas de transectos y la información marginal. El INEGI digitalizó también información topográfica de Centroamérica para la hoja 1 - 06 con un cubrimiento de 85° a 91° longitud oeste y de 15° a 18° latitud norte, incluyéndose parte de la información topográfica generada con anterioridad.

Los archivos digitales generados fueron estructurados y ligados en virtud de que se contaba con información generada por levantamientos con ecosondas de barrido lateral (multibeam); se actualizaron diversas zonas de la hoja, la cual se encuentra en proceso de revisión y de reestructuración de archivo para su envío a la base de datos del INEGI, lo que estaba programado para realizarse en abril de 1999: sin embargo, hasta la fecha de elaboración de esta tesis, en las oficinas de ventas de INEGI no existen tales cartas.

## **2.2 Aportes de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)**

Existen en el Colegio de Geografía tres tesis de licenciatura en Geografía que hacen referencia a cartas de navegación y batimétricas; las características generales de éstas, son:

En la tesis "*Diseño de un prototipo de Atlas*" de Carrillo Brito (1986), se expone un prototipo de atlas que tiene un marco espacial la zona cubierta por la carta batimétrica CB/001 "Pacífico Norte". Específicamente el punto de coordenada 28° 30' 33" latitud norte y 115° 119' 00" longitud oeste a escala 1:1 000 000, publicado por la Dirección General de Geografía de la Secretaría de Programación y Presupuesto. La información está constituida por tres parámetros básicos: temperatura, salinidad y corrientes superficiales, los cuales se presentan por medio de datos puntuales y vectores con información trimestral bajo una base batimétrica.

La tesis titulada "*Cartas Batimétricas Actualizadas del Golfo de México Oriental*" de Cruz Arana, (1993), tiene como objetivo presentar el desarrollo de un sistema capaz de generar cartas batimétricas dinámicas a diferentes escala, intervalos entre isobatas y fuentes de información, con fines diversos.

En la tesis "*Cartografía Marina en México*" de Frías Salazar (1996) se tiene como objetivo principal el determinar el estado que guarda la cartografía marina en México. Este autor destaca la importancia en el conocimiento de los mares mexicanos; Asimismo enfatiza el papel en las diversas actividades y operaciones relacionadas con el mar. Se ocupa de enmarcar él por qué impulsar una disciplina como la cartografía marina en el país y hace énfasis en la relación que tiene con las diversas áreas de actividad económica. Destaca también, la importancia de desarrollar la cartografía temática marina aplicada a diversas áreas de la actividad económica, así como de las operaciones en el mar entre otras aplicaciones, para el mejoramiento de los servicios y la optimación de las actividades económicas.

Por ejemplo, señala la correlación que existe entre la economía marítima de la nación con la disponibilidad y la adecuación de la cartografía requerida para la seguridad de la flota y embarcaciones empleadas para el tránsito marítimo.

En algunas partes de dicha tesis se describen de manera general los aspectos geológicos, físicos y meteorológicos, a partir de resultados de las investigaciones oceanográficas.

También se hace mención sobre la situación actual del servicio de cartografía marina que presta el Estado y las instituciones de investigación y educación superior conectados a recursos del mar en México.

### **2.3 Aportes de la Secretaría de Marina**

La Secretaría de Marina, a través de la Dirección General de Oceanografía Naval, tiene a disposición del público un conjunto de cartas batimétricas con diferentes escalas, que son las de mayor uso en la navegación y en estudios de investigación. La información se presenta en un catálogo (anexo I) y mediante una mapa general el cual se muestra en la figura 9.

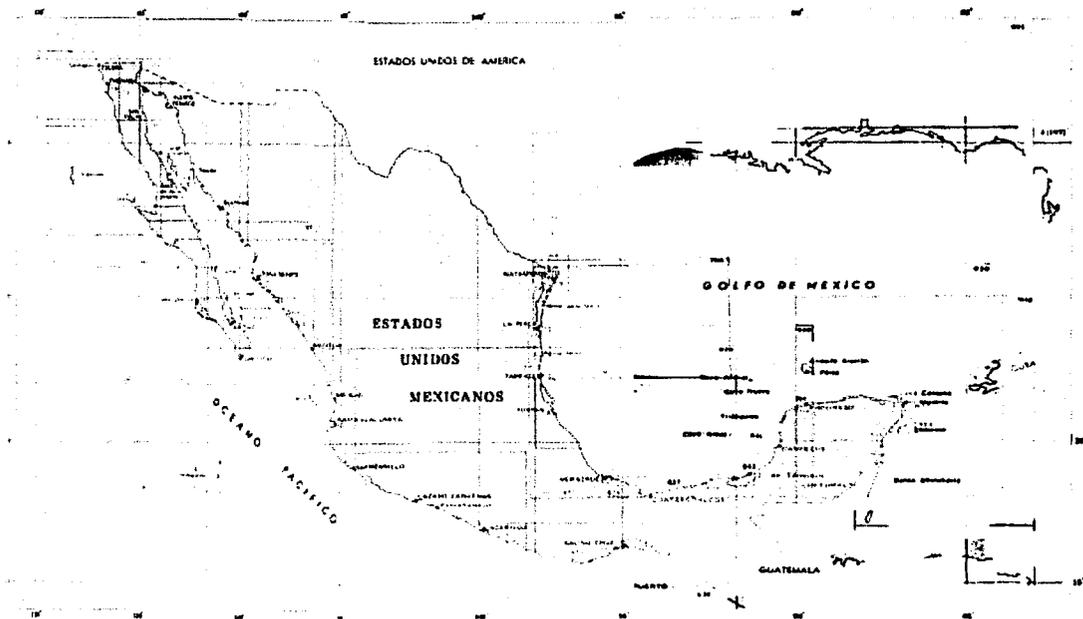


Figura 9- Mapa índice de las cartas náuticas de la Secretaría de Marina de México.

## 2.4 Cartas náuticas

### 2.4.1 Definición y generalidades

Las cartas náuticas tienen como finalidad la representación de zonas marítimas y costeras, con objeto de facilitar la navegación. Las cartas se caracterizan tanto por el tipo de proyección empleada como por su escala, respondiendo a la necesidad de resolver los problemas de ubicación y navegación que se plantean al marino, según las peculiaridades de la navegación y de cada momento. En la figura 10, tenemos la primera guía impresa para pilotos publicada en Ámsterdam en 1690.

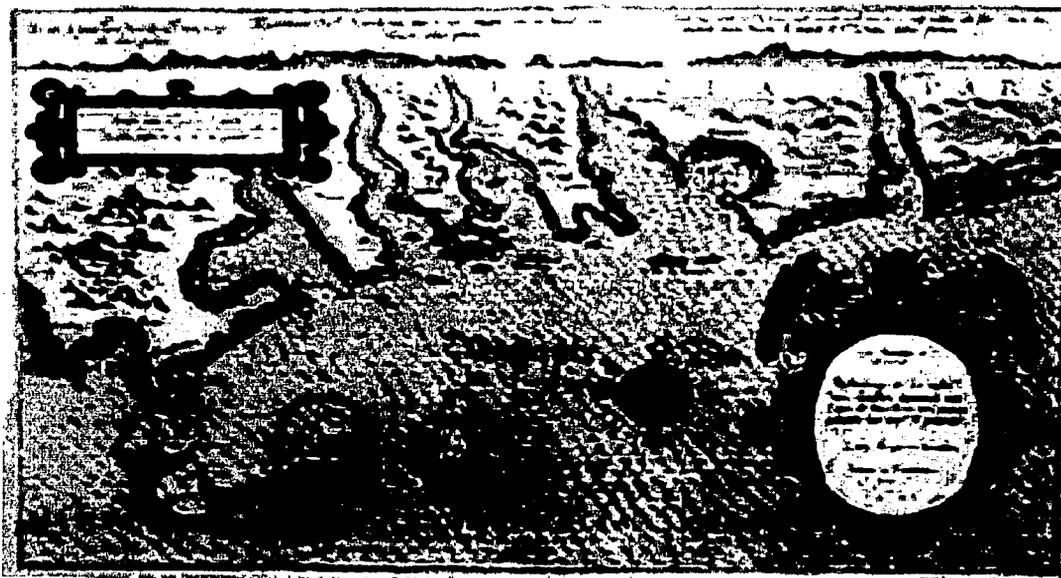


Figura 10. Primer guía impresa para pilotos con cartas publicada en Ámsterdam en 1690. (Tomado de <http://www.arrrakis.es/~rogea/nautica.htm>, Lucas Janszoon 1533/4-1606)

#### 2.4.2 Clasificación de las cartas náuticas según la escala

Dependiendo de sus escalas, las cartas náuticas se clasifican y definen como pertenecientes a uno de los grupos siguientes (Frías, 1996):

**2.4.2.1 Las cartas generales.** Tienen una escala comprendida entre 1:30 000 000 y 1:3 000 000 y sirven para la planeación y la realización de navegaciones oceánicas.

**2.4.2.2 Las cartas de rumbo** tienen escala comprendida entre 1:3 000 000 y 1:2 000 000, utilizándose para navegación de tipo medio.

**2.4.2.3 Las cartas de Navegación costera** la escala varía entre 1:2 000 000 y 1:500 000 y su aplicación responde a su título. Estas cartas, sobre todo en las de

escala próxima a 1:500 000, constituyen un documento básico de la cartografía ya que contienen gran número de detalles de la costa y del fondo submarino, usándose más frecuentemente para la navegación.

**2.4.2.4 Las cartas de aproximación** con una escala de alrededor de 1:25 000 facilitan el acceso a los puertos o puntos de recalada costeros. También se utilizan para representar accidentes geográficos de importancia. Los portulanos tienen escala muy variada, siempre por debajo de 1:25 000, muestran al marino con el máximo detalle posible, las particularidades de los accesos a los puertos y fondeaderos, entre otros. La figura 11 muestra una carta portulano.

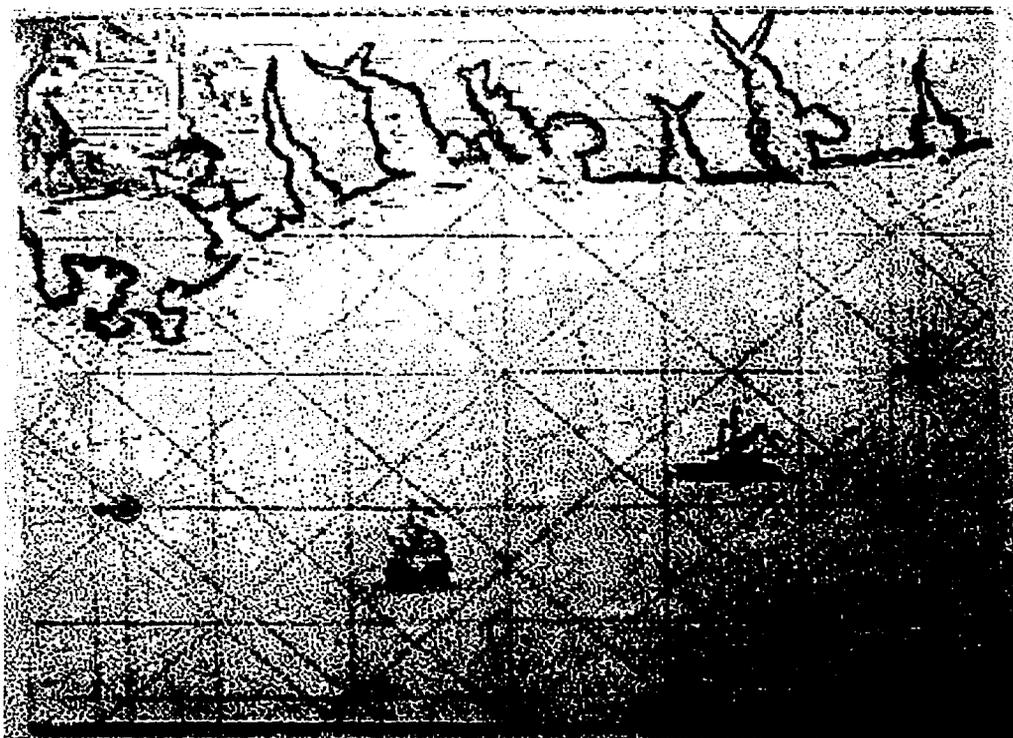


Fig. 11 Las costas de Galicia y Portugal de Johannes Van Keulen (1680) (Tomado de [www.arrrakis.es/~rogea/nautica.htm](http://www.arrrakis.es/~rogea/nautica.htm).)

### 2.4.3 Signos y abreviaturas empleados en las cartas náuticas

La representación gráfica de la carta náutica se completa con una serie de símbolos y abreviaturas que precisan los detalles y accidentes marítimos y costeros y cuyo conocimiento es fundamental para la navegación (Frias,1996).

Estos símbolos figuran en la publicación titulada "*signos convencionales y abreviaturas usadas en las cartas náuticas*" y que se pueden resumir en:

A	La costa
B	Accidentes de la costa
C	Topografía (accidentes naturales)
D	Puntos de referencia
E	Unidades
F	Adjetivos La costa
G	Puertos
H	Topografía (accidentes artificiales)
I	Edificios
J	Estaciones diversos
K	Luces, boyas y balizas
L	Estaciones de radio y radar
M	Señales de niebla
N	Peligros
O	Límites diversos
P	Sondas
Q	Contornos
R	Naturaleza del fondo
S	Mareas y corrientes
T	Agujas

### 2.4.4 Catálogo de cartas

La cartografía náutica no se limita exclusivamente a un solo tipo de carta pues, además de las empleadas para llevar las navegaciones de rutina, existen muchas otras que facilitan información complementaria o que sirve para llevar derroteros especiales. La relación que sigue detalla los principales tipos de cartas y gráficos que se editan por los distintos servicios hidrográficos mundiales, marcándose con un asterisco las que se publican en México (Frias,1996).

Navegación oceánica de altura y costera  
General del Golfo  
En blanco  
Navegación por círculo máximo  
Derrotas oceánicas más frecuentes  
Pilot Charts  
Navegación polar  
Navegación en botes salvavidas  
Sistema de radionavegación Consol  
Sistema de radionavegación Decca  
Sistema de radionavegación Loran  
Sistema de radionavegación Omega  
Magnéticas\*  
Cuadro de signos y abreviaturas\*  
Corrientes oceánicas\*  
Corrientes de mareas  
Temperaturas y densidades del agua\*  
Naturaleza del fondo\*  
Estado del mar  
Zonas y variedades de pesca\*  
Usos meteorológicos  
Planisferios celestes  
Carta gnomónica  
Medida y trazado de rumbos

## **2.5 Cartas batimétricas**

Por lo menos desde el año 450 A.C., está documentado que los navegantes dependieron del conocimiento que poseyeran del fondo marino, pues el historiador Herodoto escribía: *"en los viajes a Egipto, al haberse acercado a un día de navegación de sus costas, cada vez que se ice la plomada se traerá a la superficie gran cantidad de lodo y de detritos fétidos, incluso en lugares donde el agua alcanza una profundidad de once anas"*. Es evidente que los navegantes de hace 2,400 años empleaban el sondeo de las profundidades como técnica náutica y extraían muestras de sedimentos del fondo marino como información adicional sobre la cual podían basar la posición relativa del barco.

En 1697, se calcularon por primera vez isobatas o líneas de igual profundidad, cuando Pierre Ancelin y Róutterdam las empleó para mostrar la topografía del fondo del mar

llamado "Nieve Mass". Después, el holandés N. Criquiuis (1730) representó el fondo del río Merwede mediante isobatas, para fines náuticos. En 1737, el francés Felipe Bauche utilizó isobatas para delinear las profundidades en el Canal de la Mancha.

Se le atribuye la primera medición correcta de las profundidades del fondo marino al capitán Constantine Jhon Phipps, de la marina de guerra británica quien, en 1773, realizó sondeos hasta las 683 brazas de profundidad, utilizando un cordel resistente de lino y una plomada de unos 70 kg, en una cuenca entre Islandia y Noruega.

### **2.5.1 las primeras cartas batimétricas**

La marina de guerra estadounidense mejoró las técnicas de sondeo mediante pesas separables y cables de alambre fino con malacates de vapor. De 1850 a 1860, los sondeos en la ruta propuesta para el tendido del cable del Atlántico Norte, dieron como resultado la primera carta publicada que mostraba la topografía de la cuenca del Océano Atlántico Norte. Con ello, se marcó el primer paso en la cartografía batimétrica de las profundidades oceánicas. En 1885, la cantidad de sondeos profundos en los archivos de la marina había crecido a tal punto que la oficina hidrológica naval confeccionó una serie de canevá de navegación para registrar estos sondeos y ponerlos a disposición de los navegantes de todas las naciones.

Hayes, de la estación experimental naval de los Estados Unidos de América, inventó en 1921 la sonda acústica o ecosonda lo que resultó en el mayor avance para la obtención de la batimetría oceánica y abrió las puertas para realizar la topografía del fondo marino. Para esas fechas había en el Atlántico, en promedio, un sondeo por cada 5,500 millas cuadradas; en el Pacífico uno por cada 10,000 y uno por cada 10,500 en el Océano Indico. A pesar de tal pobreza de datos, el gabinete científico de Mónaco ya había publicado su primera edición de la carta batimétrica general de los océanos y el trabajo de la segunda edición ya se hallaba adelantado. En 1923 el servicio hidrológico naval estadounidense publicó en 1923 la primera carta batimétrica HO5194, copilada

con ecosondeos. La figura 12 muestra un ejemplo de ecosondeo. ([http://www.cafi.edu.co/departamentos/geologia/mar\\_equipos/sondeo,htm](http://www.cafi.edu.co/departamentos/geologia/mar_equipos/sondeo,htm)).

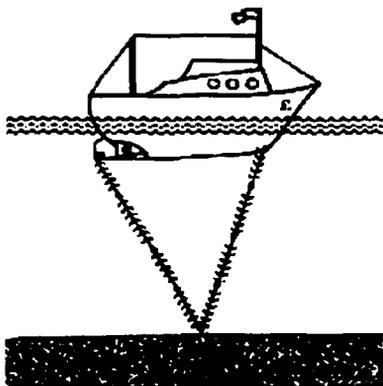


Fig. 12 Trayectoria de la onda acústica al sondear el fondo del océano (Tomado de <http://webs.sinectis.com.ar/meagliani/ecosonda.htm>).

Hoy se utilizan regularmente isobatas en todas las cartas náuticas para destacar importantes accidentes náuticos, tales como canales y bajos fondos. Las isobatas son comparables con las curvas de nivel de los mapas topográficos continentales. En las cartas náuticas y batimétricas cada isobata representa un contorno del fondo marino donde cada punto se encuentra en la misma profundidad.

### **2.5.2 Contenido de las cartas batimétricas**

Los mapas batimétricos no están destinados a la navegación y presentan diferencias importantes con referencia a las cartas náuticas. En estas últimas, el navegante está acostumbrado a ver isobatas y numerosos sondeos individuales, cada uno de los cuales representa la profundidad en el punto, no como el caso de las isobatas que representan la misma profundidad. (Frias, 1996).

La carta batimétrica, sustituyó los sondeos individuales por isobatas y a su vez, las isobatas son el resultado de todos los datos batimétricos conocidos.

La información que muestra una carta batimétrica incluye: gradícula de grado en grado en la proyección cilíndrica de Mercator, subdividida en intervalos de un minuto sobre los paralelos y meridianos, línea de costa generalizada sin ayuda de navegación, isobatas a intervalos equidistantes, sondeos locales que muestran la profundidad conocida mínima y máxima, líneas de declinación magnética y su variación anual, nomenclatura aprobada, nombres de puertos, cabos, islas, cursos de ríos y accidentes batimétricos tales como montañas, cañones, colinas, llanuras y fosas oceánicas, marco, cuadrícula, sistema de localización, escala, simbología y notas marginales, entre otros aspectos. Las cartas batimétricas representan todo el conocimiento disponible en el momento de su compilación y muestran una información más detallada que las cartas náuticas. Por lo general, las cartas batimétricas son de escala mayor que las náuticas

## **2.6 El manejador de datos Manejador de Información Marina (MIM)**

El Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México a través del Laboratorio de Oceanografía Física desarrolló un Manejador de Información Marina (MIM)

El MIM es un conjunto de programas que pretende facilitar el análisis, proceso y control de calidad de datos oceanográficos. El MIM puede desplegar los datos de manera gráfica de cualquier región de interés de la zona económica exclusiva de México, misma que se puede cargar fácilmente y, asimismo se puede georreferenciar de manera sencilla. El MIM puede leer mapas de tipo BLM (Surfer), DXF (Autocad) o TXT (archivos planos), la georreferenciación se puede realizar en UTM, GP (Posición Geográfica en grados, minutos y segundos) o en unidades propias del usuario.

El MIM requiere del acceso a una base de datos georreferenciados; una vez georeferenciado el mapa con la información de la base de datos se pueden desplegar,

y realizar diferentes operaciones, como interrogar sobre la información de esos datos directamente sobre el mapa,

Calcular la distancia entre puntos, dibujar polígonos, iluminar ciertas áreas, realizar acercamientos y/o alejamientos, buscar información específica, etc. El MIM permite realizar análisis estadísticos y gráfica de barras.

La realización de análisis estadísticos de los datos es también una de la funciones que tiene incorporado el programa. Una de las características importantes del MIM es el control de calidad de datos. Este control de calidad se realiza en función de dos factores: el primero se refiere a que se trabaja directamente sobre la base de datos y el segundo se refiere a los algoritmos empleados

## **2.7 Las cartas por método de electrónica de navegación (Chart Navigator)**

En fechas recientes se desarrolló y comercializó un sistema de cartas de navegación electrónicas, con información batimétrica. Estas cartas fueron digitalizadas mediante el procedimiento conocido como "escaneo" y transformadas de forma tal que cada punto de la carta en cuestión, puede dar información georeferenciada. El sistema cuenta con un manejador sofisticado, pero amigable.

El programa está entrelazado con información importante para la navegación, por ejemplo da el estado de la marea en los puertos, en caso existir dicha información, las corrientes principales y puntos especiales de señalamiento. Se cuenta con un número grande de cartas de navegación, las cuales pueden ser adquiridas por separado.

No obstante lo sofisticado del programa, éste no permite la inclusión de nuevos puntos de profundidad y se limita a presentar sólo las cartas existentes.

## **CAPÍTULO III**

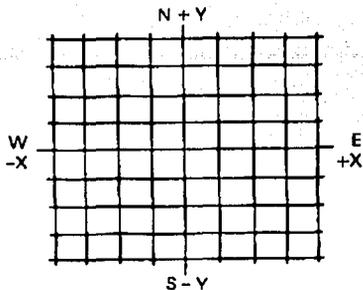
### **ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS DE LA TIERRA**

Actualmente la forma esférica es la más usada para la solución de problemas de posicionamiento astronómicos, de navegación y en algunos cálculos geodésicos (Caire 2002). Hoy en día en diferentes partes de la Tierra se utilizan radios de elipses de varias dimensiones debido a que cada región en particular requiere parámetros distintos aplicables a la línea promedio de su contorno terrestre dando lugar a utilizar, según el caso, a uno de los seis elipsoides mundialmente conocidos y que en este apartado no describiremos por no ser objetivo central de esta tesis.

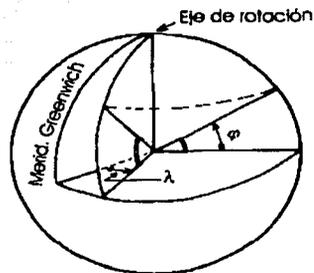
#### **3.1 Sistemas de coordenadas**

En coordenadas esféricas, y al referirse a la Tierra, existen dos puntos de referencias llamados polos, donde se intersecta el eje de rotación con la superficie esférica. Al suponer que dicho eje es vertical, los valores ordenados en el sistema coordenado rectangular correspondiente en el sistema esférico, la latitud a la ordenada y el valor de las abscisas a la longitud, como se aprecia en la figura 2.1 (a) y (c), nos permitiría localizar con facilidad un punto sobre la superficie en la Tierra.

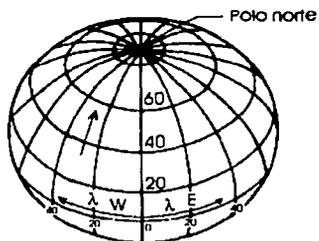
El sistema de coordenadas geográfico que permite la localización de puntos sobre la superficie de la Tierra está constituido por un conjunto de líneas: los paralelos, que son líneas circulares paralelas al Ecuador y los Meridianos, que son círculos máximos que pasan por los polos, como se muestra en las figuras 13 (b), (d) y (e).



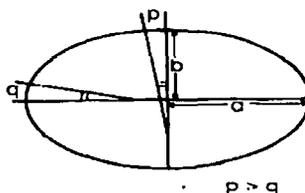
a. Coordenado rectangular



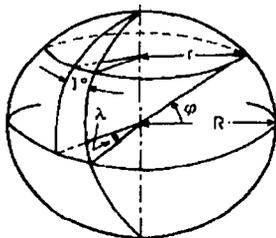
b. Coordenadas geográficas



c. Coordenadas geográficas



d. Elipsoida de meridianos



e. Valor lineal de un grado

$$r = R \cos \varphi$$

$$C = 2 \pi R \cos \varphi$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} R \cos \varphi$$

$$1' = \frac{\pi}{180 \cdot 60} R \cos \varphi \text{ si } \varphi = 0^\circ$$

1' = una milla

Fig. 13 Sistema de coordenadas geográficas (Caire, 2002).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2 Análisis de la deformación en las proyecciones

Con el fin de analizar la deformación en las proyecciones, se procederá a analizar la ley de determinación e indicatriz de Tissot. (Caire, 2002)

La figura 14 es una representación del concepto de la indicatriz de Tissot

Donde observamos que  $OB \perp OA$

Si se considera que el círculo es unitario, entonces que  $OB = OA = OM$ .

Donde "a" es el factor de escala en la dirección OA y "b" en la dirección OB

Lo cual es un caso particular de la elipse En su forma mas general, la elipse se está transformado con los semiejes mayor OA y el semieje menor OB.

Como la escala de radios es igual a una proyección equivalente, entonces la proyección sobre la elipse "a"=1.25 y "b"=0.80, las cuales son las direcciones de cambios máximos de escala en la indicatriz, y los valores de "a" y "b" es todo lo que se necesita para determinar cualquier punto o proyección la cantidad de alteración areal o angular que ocurre en ese punto.

Analizando la deformación tenemos que el punto B se cambió al punto B' al pasar a una elipse, y A a A'. Por tanto, el ángulo  $BOA \cong \text{ángulo } B'O'A'$  por lo que no hay un cambio angular en estas direcciones.

El punto que está sujeto a mayor o menor deflexión es M, de donde deducimos que el ángulo MOA cambia a M'O'A' en la proyección.

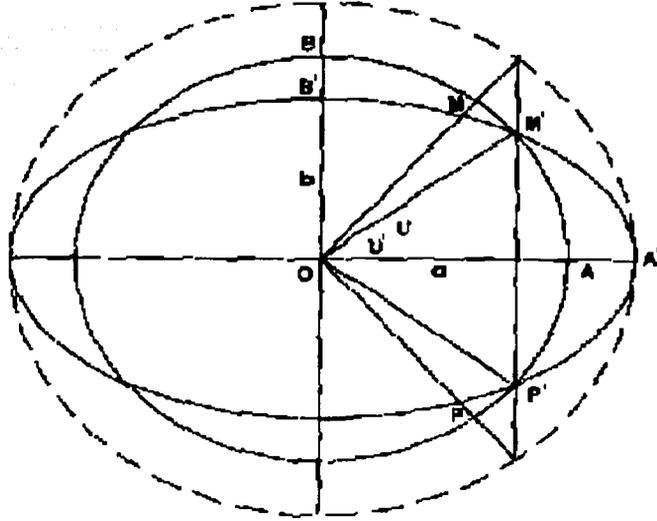


Fig. 14 Indicatriz de Tissot (Caire, 2002).

Como el ángulo  $MOA = U$  y el ángulo  $M'O'A' = U'$ , entonces su diferencia  $U - U' = \omega$ , lo cual denota la deformación máxima en un cuadrante.

En la figura observamos que el ángulo  $MOP$  abarca dos cuadrantes y si ellos estuvieran ocupando la posición de cambio máximo en ambas direcciones, tenemos que:

El ángulo  $MOP$  cambia a  $M'O'P'$  y podría, de este modo, incurrir la deflexión máxima en un cuadrante en ambos lados. Consecuentemente su valor es de  $2\omega$ , lo cual denota el máximo cambio angular posible que puede ocurrir en un punto.

Si existe un cambio en la superficie del área su magnitud puede ser fácilmente establecida comparando el área contenida en el círculo original con aquél de la elipse.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Como el área de un círculo es  $\pi r^2$ , y el área de una elipse es  $ab\pi$ .

Donde  $\pi$  es constante y  $ab = S$ , entonces tenemos que  $S$  comparado con la unidad expresa que tanto el área ha sido cambiada.

Para comparar dos proyecciones sólo se necesitan los valores de  $2\omega$  y  $S$ .

En proyecciones conformes el factor de escala por definición, es el mismo en todas las direcciones del punto. Por lo tanto, en toda proyección conforme  $a = b$  y  $2\omega = 0$ , ya que no existe deformación angular pero debido a que los valores  $a$  y  $b$  varían de un lugar a otro, el producto de  $ab$ , es decir,  $S$ , consecuentemente varía. Por lo tanto, todas las proyecciones exageran o reducen áreas relativas, y  $S$  en varios puntos provee un índice del grado de cambio de área.

En proyecciones equivalentes las relaciones de escala en cada punto son tales que el producto  $ab = 1$ , consecuentemente, todas las proyecciones equivalentes deforman ángulos y el valor de  $2\omega$  provee un índice del grado de la deformación angular.

En todas las proyecciones que no son conformes ni equivalentes  $a \neq b$  y  $ab \neq 1$  por lo tanto, en tales proyecciones los valores de  $S$  y  $2\omega$  variarán de un lugar a otro. Estas magnitudes relativas proveerán un índice del grado del cambio del área y de deformación angular.

La indicatriz de Tissot está limitada en su función analítica a los valores de un punto y no proporciona mucha ayuda para representar cualquiera otra clase de deformación, la cual siempre existe en las proyecciones.

## **CAPITULO IV**

### **CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS**

Una de las partes importantes en la elaboración de mapas batimétricos o de navegación, es el dibujar la información, que originalmente está en una superficie casi esférica, en una superficie bidimensional. Esto induce errores en la aproximación, y tratando de evitar dichos errores se han hecho diferentes formas de proyecciones

Los puntos que se localizan por sus valores coordenados de latitud y longitud en una "red de paralelos y meridianos"; se les denomina gradícula o caneová y a la construcción en una superficie plana se le nombra proyección cartográfica.

Para pasar de la superficie casi esférica del elipsoide de la Tierra a un mapa que se dibuja sobre un plano, es preciso realizar una adecuada correspondencia entre los diferentes puntos del elipsoide y los del plano. Así, una proyección cartográfica es una correspondencia biunívoca entre los puntos de la superficie terrestre y los puntos de un plano llamado plano de proyección. Cada una de las proyecciones tiene sus propias características a continuación se describen.

#### **4.1 Proyecciones en función de sus propiedades**

##### **4.1.1 Conformes u ortomorfas**

Son aquéllas que conservan los ángulos (o direcciones) reales en cualquier superficie de la esfera; sin embargo, las superficies y las áreas aumentan a medida que nos separamos del punto central de proyección, por lo que las áreas son alteradas. Los meridianos y los paralelos se cruzan o se cortan perpendicularmente y, por tanto, no tienen una deformación angular, formando así un ángulo de  $90^\circ$  en cualquier punto del mapa.

Es preciso que la razón entre las distancias (la escala) sea la misma para cada punto en todas las direcciones posibles alrededor de un punto, sea el punto que sea, lo que implica que se modifique en forma constante un punto determinado. Mantener esta propiedad es conveniente en las aplicaciones en que la conservación de los ángulos y direcciones es indispensable como en el caso de la navegación o en mapas de escala grande. El término "mapa conforme" es a veces erróneo, pues las condiciones de conformidad pueden llevarse a cabo sólo en pequeñas áreas de un mapa plano (Deetz 1994).

Los tipos de propiedades de proyecciones conformes u ortomorfas las encontramos en las proyecciones cónicas, de Lambert, Cilíndrica de Mercator y Azimutal Estereográfica, entre otras.

#### **4.1.2 Equivalentes o equiáreas**

Son también conocidas como homolográficas o autálicas; estas proyecciones conservan las áreas y alteran los ángulos, es decir, la relación entre la superficie medida en el mapa y la superficie medida en el globo mantiene el área, aunque no las formas. En este caso, la razón entre las distancias varía en cada punto. Los tipos de proyecciones que la usan principalmente son la cilíndrica equivalente y la azimutal equivalente.

#### **4.1.3 Equidistancia**

La escala se mantiene constante para las distancias sostenidas en una sola dirección de uno o dos puntos. Mediante la elección adecuada de estas líneas se puede mantener en todo el mapa los errores de escala en un mínimo tolerable. Se aplican en la cartografía de comunicaciones y transporte.

#### **4.1.4 Azimutales**

Este grupo de proyecciones conserva las direcciones o azimut en forma verdadera para todos los puntos de la hoja, con respecto al centro de la misma (o a algún otro punto importante que se escoja). Todos los círculos máximos que pasan por el centro de proyección están representados por líneas rectas cuyo azimut es verdadero y pueden ser simultáneamente conformes o equidistantes.

#### **4.1.5 Afiláticas**

No son conformes, ni equivalentes, ni mantienen las áreas. Son sistemas híbridos que pretenden aprovechar las ventajas de los anteriores. La deformación angular no es tan grande como en una proyección equiárea y la deformación de las áreas no es tan grande como en las conformes (Caire, 2002).

Las proyecciones también se clasifican por su construcción en tres clases de figuras que pueden desenrollarse sobre un plano y que son utilizadas para proyectar mapas: el cilindro, el cono y el plano. De hecho, los tres casos pueden considerarse como un cono en el cual el ángulo del vértice tiene como límite el cilindro y el cono.

#### **4.2 Clasificación de las proyecciones según su construcción en la superficie**

En forma general, la clasificación de las proyecciones cartográficas está basada en las características teóricas de la superficie esférica al ser transformada a una plana desenrollada a través de un cono, cilindro o plano.. A continuación se señalan las clasificaciones más importantes de estas.

#### 4.2.1 Proyecciones cilíndricas

Las proyecciones cilíndricas se basan en el artificio de circunscribir un cilindro alrededor de la esfera terrestre; si enrollamos un cilindro en torno al globo terrestre de manera que sea tangente o secante a la Tierra en el Ecuador, los meridianos se proyectarán como líneas rectas perpendiculares al Ecuador y equidistantes entre sí y los paralelos lo harán según círculos paralelos a éste con cierto espaciamiento variable, pero definido matemáticamente. Al desenrollar el cilindro tendremos meridianos y paralelos perpendiculares entre sí, La figura 15 muestra este tipo de proyección.

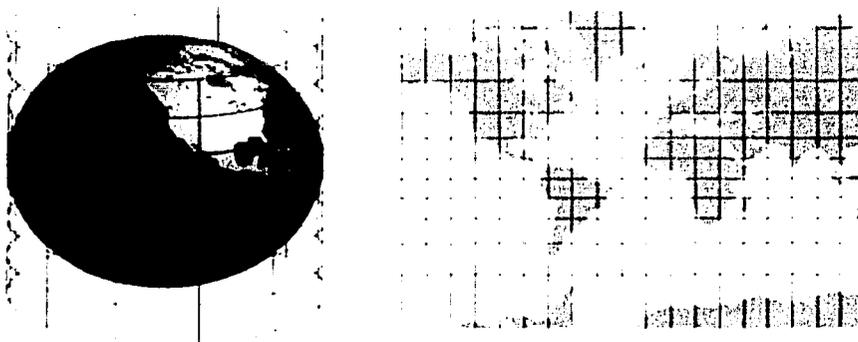


Fig.15 Proyección cilíndrica (<http://nivel.euito.upm.es/~mab/tematica/htmls/proyecciones.html>).

Las principales proyecciones en este sistema son:

Dentro de esta proyección cilíndrica tenemos la Proyección la Transversa, la normal y la oblicua de Mercator. La propiedad más importante de esta proyección es la ser el único sistema en que todos los azimutes o loxodrómicos son líneas rectas La proyección de Mercator es una proyección conforme que si bien distorsiona las áreas al separarse del Ecuador, corta una dirección dada bajo los mismos ángulos a los meridianos; por esta característica se emplea en la navegación.

Los meridianos y paralelos forman un ángulo de  $90^\circ$  y las áreas aumentan a partir del centro de proyección, pues los paralelos aumentan considerablemente en función de la latitud. La separación en los polos de los meridianos es infinitamente grande, debido a que los polos son puntos.

El aspecto transversal es conocido con el nombre de Gaussen o bajo las siglas de UTM. La Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) donde se ha fraccionado el globo en 60 zonas de  $6^\circ$  de amplitud en longitud, numeradas del 1 al 60, partiendo del meridiano de  $180^\circ$  hacia el este. (Fig. 16 a y b).

#### Proyección Cilíndrica Ortomórfica o de Mercator

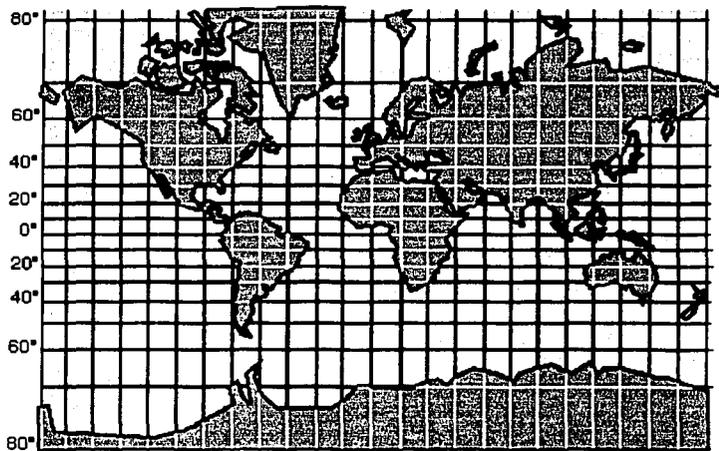


Fig. 16 Proyección cilíndrica ortomórfica (<http://nivel.euito.upm.es/~mab/temtica/Htmls/proyecciones.html>).

Otras proyecciones de este sistema son la cilíndrica con dos paralelos base, la cilíndrica equivalente, la cilíndrica perspectiva, cilíndrica de Gall, y la cilíndrica equivalente de Lambert.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 4.2 2 Proyecciones cónicas

Las proyecciones cónicas (Fig. 17) se producen al enrollar un cono sobre la superficie de la Tierra y proyectar los puntos sobre él, es decir, si sobre el globo colocamos un cono, con su vértice sobre el eje polar de la tierra, será tangente o secante en algún paralelo y al proyectar sobre él los detalles del globo, se producirá la proyección cónica. El eje del cono coincide con el eje de los polos y el contacto del cono y la esfera se produce a lo largo de un paralelo llamado base; si se trata de la condición secante tocará a dos paralelos tipos; éstas son las únicas líneas que se representan en su magnitud verdadera a escala como arcos de círculos concéntricos. Los meridianos se proyectan como líneas rectas que concurren en el vértice del cono, así como los paralelos serán círculos paralelos entre sí.

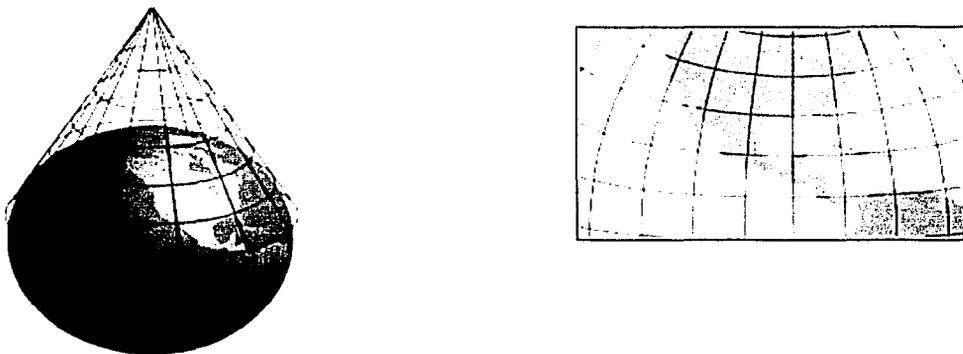


Fig. 17 Proyección cónica simple (<http://nivel.euito.upm.es/~mab/temática/htmls/proyecciones.html>).

Las proyecciones que pertenecen a este tipo son: cónica equidistante con un paralelo tipo, la cónica de Lambert con un paralelo tipo, las policónicas y la conforme de Lambert con dos paralelos tipo. Las características más generales de esta proyección son:

Si el cono es tangente a la esfera, existe un "paralelo de contacto" sobre el que se conserva la escala, mientras que en cualquier otro punto del mapa es mayor y crece a partir del paralelo de referencia. La escala se conserva a lo largo de los paralelos pues guardan entre sí sus verdaderas distancias; los meridianos no conservan las escalas. No deforma áreas. La proyección no es conforme ni equivalente, pero los meridianos y los paralelos se cortan en ángulos rectos.

Otras proyecciones de este tipo son las proyecciones cónicas de Lambert y la cónica con dos paralelo tipo. La proyección de Lallamand es considerada como una de las proyecciones de la familia de las cónicas modificadas y las principales proyecciones cónicas modificadas son: policónicas, policónica rectangular, policónica modificada, de Sanson Flamsteed, de Werner y la de Bonne esta última, es un caso particular de un paralelo estándar en una proyección equiárea. No es exactamente una proyección cónica puesto que los meridianos no se representan como rectas concurrentes sino como arcos, pero se aproxima bastante al ser los paralelos círculos concéntricos

#### **4.2.3. Proyecciones azimutales o zenitales**

Las proyecciones azimutales también se les nombra como horizontales o zenitales. Las proyecciones azimutales se obtienen proyectando la superficie del globo sobre un plano desde un cierto centro de perspectiva o punto de vista del cual depende el sistema resultante, es decir, un plano tangente o secante al globo en uno de sus polos.

En este tipo de proyecciones todos los meridianos se proyectan como radios que concurren al polo, mostrando los ángulos que forman entre sí en su verdadera magnitud. En este caso, la escala es constante a lo largo del meridiano y los paralelos se muestran como círculos concéntricos en los polos. Todos los círculos máximo que pasan por el centro de proyección están representados por líneas rectas y su azimut es verdadero. En la figura 18 se muestra este tipo de proyección.

**PROYI**

**ECIÓN PLANA**

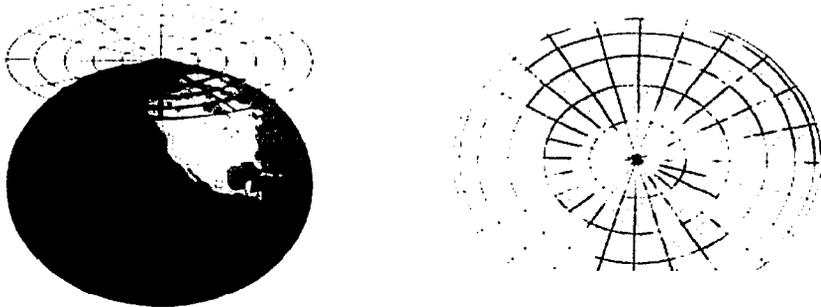


Fig.18 Proyección azimutal o zenital ([http://omega.ilce.edu.mx.3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/081/htm/SEC\\_9.htm](http://omega.ilce.edu.mx.3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/081/htm/SEC_9.htm)).

#### **4.2.3.1 Proyección gnómica**

Si el punto de vista se encuentra en el centro del globo terráqueo se nombra Gnomónica y la separación de los meridianos y los paralelos aumentan desde el centro del mapa. La escala también aumenta desde el centro al exterior; las áreas no sufren distorsión. Tiene la cualidad de representar como líneas rectas a todos los círculos máximos. Los tipos de estas proyecciones son gnomónica ecuatorial y polar;

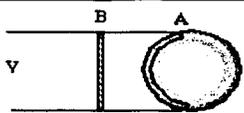
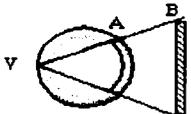
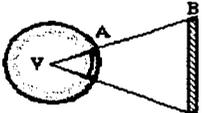
#### **4.2.3.2 Proyección estereográfica**

Si el punto de vista es antípoda al plano de proyección, dicho de otro modo, si el centro de proyección está opuesto diametralmente al punto de tangencia, se llama estereográfica y se caracteriza porque la distancia entre el meridiano y el paralelo contiguos aumenta a medida en que se desplaza desde el centro del mapa hacia sus márgenes. La proyección estereográfica es conforme y la escala aumenta desde el centro hacia la periferia. Posee una red de meridianos y paralelos deliberadamente espaciados de forma equidistante desde el centro del mapa hacia el exterior y la escala permanece constante a lo largo de todos los radios que salen del centro.

### 4.3.2.3 Proyección ortográfica

Si el punto de vista se aleja al infinito se llama proyección ortográfica y, por lo tanto, sus rayos son paralelos. En el campo de la Geografía se utiliza poco y actualmente se prefiere para las representaciones de astronomía. Las proyecciones ortográficas pueden ser: polar y ecuatorial. Las características resumidas de estas proyecciones azimutales se muestran en la tabla I

Tabla I  
Características generales de las proyecciones azimutales.

<p>proyecciones azimutales</p> <p>Toda la superficie se proyecta sobre un único plano de proyección.</p>	<p>ortográficas</p>	 <p>Punto de vista obtenida desde un punto de origen situado en el infinito (afilática)</p>
	<p>estereográficas</p>	 <p>Punto de vista o de origen en las antípoda del punto de tangencia del plano con la esfera.</p>
	<p>gnomónicas</p>	 <p>Punto de vista en el centro de la esfera.</p>

([http://omega.ilce.edu.mx.3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/081/htm/SEC\\_9.htm](http://omega.ilce.edu.mx.3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/081/htm/SEC_9.htm))

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Pueden presentarse en cada una, tres casos diferentes en cuanto a la posición que tenga en el plano de proyección: polar, si el plano de proyección es perpendicular al eje de la Tierra, ecuatorial o meridiana, si el plano de proyección es normal al Ecuador y oblicua, si el plano de proyección ocupa cualquier posición.

#### **4.2.4 Proyección convencional**

Se han encontrado diversas formas convencionales que definen la posición de las líneas en la gradícula que satisface esa condición y no se sujetan a leyes de la perspectiva ni tampoco se basan en una superficie desenrollable; a estas proyecciones se les llama convencionales. Dentro de estas proyecciones están: la globular, la de Cassini, Aitof, la interrumpida de Goode y la de Mollweide. Algunas de las terminologías en las proyecciones se muestran el anexo I.

## CAPITULO V

### FORMAS DE POSICIONAMIENTO EN EL MAR

Una de las herramientas básicas del navegante es la carta náutica que es una representación - dibujo a escala - de las áreas del mar y de una región particular de la superficie de la Tierra. (<http://isa.dknet.k/~janj/avigation.html>). a continuación se describen algunas de las formas de posicionamientos en el mar.

#### 5.1 El sextante y su historia

El sextante es un instrumento que se usa para medir ángulos. La lectura típica de un sextante se obtiene midiendo simultáneamente dos ángulos entre tres "estaciones" claramente marcadas en la Tierra, cuyas situaciones son conocidas de anteriores mediciones. A partir de estas mediciones, es posible encontrar la posición exacta del barco (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

En épocas anteriores el navegante que planeaba viajar medía simplemente la altitud de la estrella polar, ya que la altura de la estrella polar es aproximadamente la latitud del lugar. Los árabes conocían bien esta técnica y en aquellos tiempos utilizaban el pulgar o el meñique y el brazo en forma extendida o bien una flecha sostenida en la longitud de los brazos para avistar el horizonte del extremo inferior y la estrella polar (véase anexo II de cómo localizar la Estrella Polar).

En los últimos años del imperio arábigo, se utilizó un dispositivo simple llamado kamal para hacer las observaciones de las estrellas. El kamal mostrado en la figura 19 es una reproducción moderna que hizo el navegante Piter Ifland, pero es semejante al que se utilizó hace mil años, y probablemente mucho antes. Note los nudos en la cuerda unida al travesañ de caoba tallado. Antes de dejar el puerto el navegante ataba un nudo en la cuerda de modo que, sosteniéndola en sus dientes pudiera avistar la estrella polar a lo largo de la tapa del travesañ y del horizonte.

Para volver al puerto de partida, se navegaba al norte o al sur, pues era necesario ver la estrella polar a la altitud que antes se había observado antes de salir del hogar.



Fig. 19 Kamal (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

En la antigüedad, los griegos y los árabes avanzaron considerablemente en la Astronomía. En el siglo X los árabes introdujeron en Europa dos instrumentos astronómicos importantes: el cuadrante y el astrolabio (Fig. 20)



Fig. 20 Cuadrante y astrolabio (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

En 1450, el astrolabio o cuadrante del marinerero era un cuarto de un círculo hecho de madera o de latón como el que se muestra en la Fig.21.

“El cuadrante del marinerero” fue importante para los marineros en la navegación celeste de alta mar, así como el nudo lo fue para los navegantes árabes.

El cuadrante proporcionó una medida cuantitativa, en grados, de la altitud de la Estrella Polar o del Sol, y lo relacionó con una posición geográfica: la latitud respecto a la superficie de la Tierra. Pero pese a su utilidad, el cuadrante tenía una limitación importante: era difícil mantenerlo exactamente vertical en el plano cuando soplaban el viento.



Fig. 21 Astrolabio (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

La figura 22 muestra un astrolabio para navegación realizado por J. de Goes en 1608.

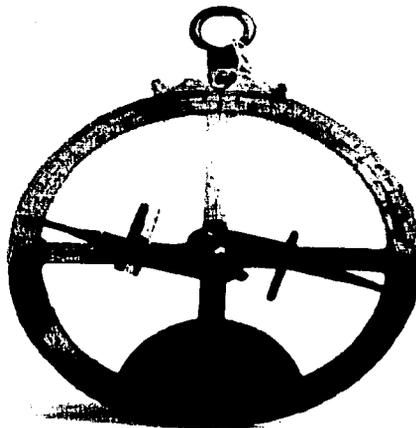


Fig. 22 Astrolabio de Goes (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

El astrolabio fue muy popular por más de 200 años porque era confiable y fácil de utilizar. El uso del astrolabio para medir la altitud del Sol se muestra en la figura 23

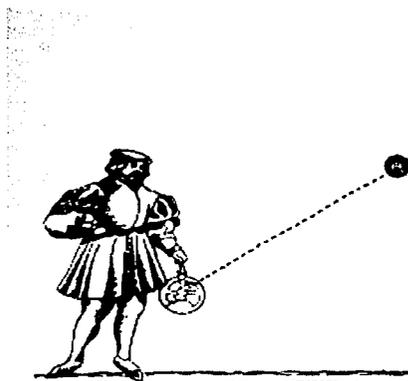


Fig. 23 Uso de astrolabio (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

En la evolución de los instrumentos celestes de navegación, la cruz personal, fue un instrumento muy popular entre los navegantes holandeses del siglo XVII (Fig. 24);

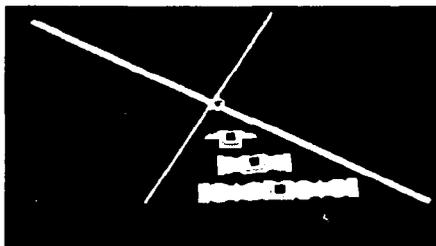


Fig. 24 Cruz personal. Reproducción moderna (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

La figura 25 muestra un dibujo de un libro español publicado en 1552, donde se muestra el uso de la cruz personal para determinar la altitud de la estrella polar.

Las primeras cruces personales tenían solamente dos partes: el personal y un travesaño. Después de un cierto tiempo se hicieron más elaboradas. Para 1650, la mayoría de las cruces personales tenían cuatro travesaños de longitudes.

El problema principal con la cruz personal era que el observador tenía que mirar en dos direcciones de forma simultánea, a lo largo del travesaño del horizonte y a lo largo de la tapa del travesaño hacia el Sol o a una estrella.



Fig. 25 Cruz personal en uso (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

Uno de los instrumentos populares del siglo XVII fue el llamado cuadrante personal de Davis (Fig. 26). Una de las principales ventajas del cuadrante de Davis era que el navegante tenía que mirar solamente en una dirección para ver a través de la abertura en la paleta del cuadrante al horizonte, mientras que simultáneamente alineaba la sombra de la paleta con la sombra del horizonte.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

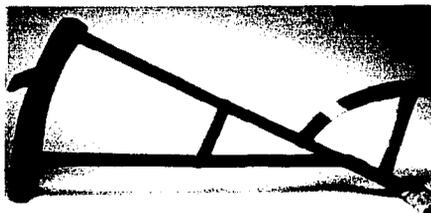


Fig. 26 Cuadrante de Davis hecho por el artesano inglés Walter Henshaw en 1711. Esta elaborado en palo de rosa con una escala diagonal (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

Casi simultáneamente, Juan Hadley y Thomas Godfrey inventaron en 1731, el uso de dos espejos, los cuales fueron los precursores del sextante moderno (Fig. 27).

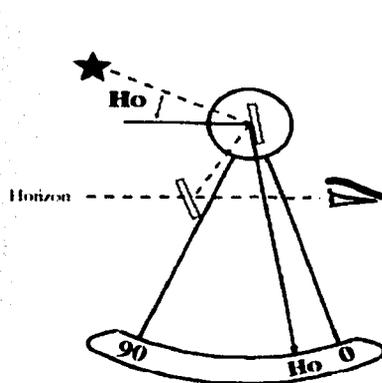


Fig. 27 Diagrama del sextante moderno (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

Los primeros octantes de doble reflejo de Hadley fueron hechos con hojas sólidas de latón (Fig.28); eran pesados y tenían resistencia a los vientos. Después, fueron hechos instrumentos de madera que eran más ligeros.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

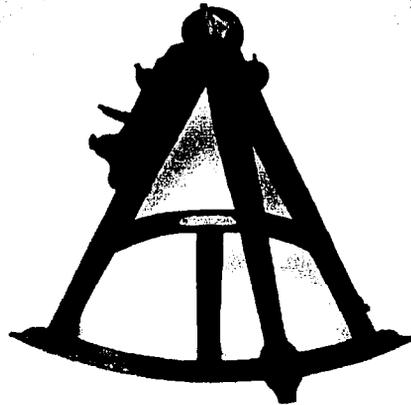


Fig. 28 Octante temprano de Hadley. Este octante de caoba fue hecho cerca de 1760 por el famoso fabricante de Londres George Adams (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

El primer sextante de 120° fue producido por Juan Bird en 1759 (Fig. 29).

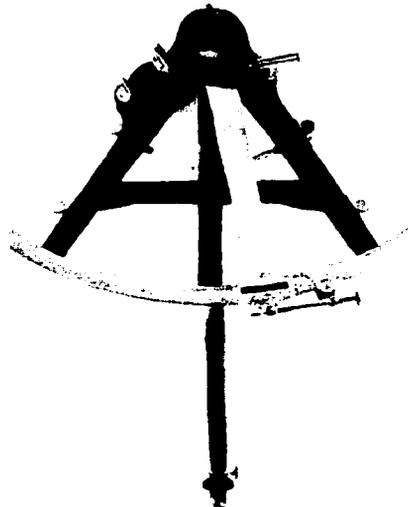


Fig. 29. Sextante temprano de Juan Bird (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

A mediados del siglo XVIII había una tendencia a producir nuevos octantes y sextantes para hacer instrumentos más ligeros comparados con los de latón (Fig. 30).

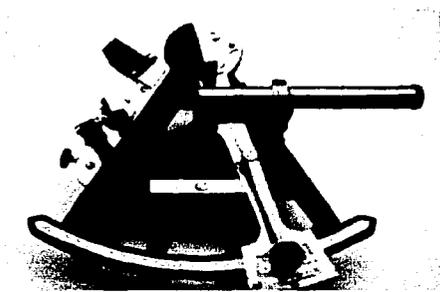


Fig. 30 Sextante de ébano (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

Limbach uso ébano en la construcción de los sextantes debido a la resistencia a la humedad de esa madera y la escala y el vernier fueron construido con marfil (Fig. 31)

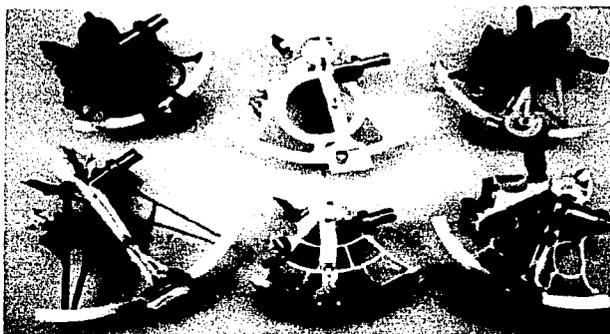


Fig. 31 Ejemplos de diseños del marco de sextantes (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

Durante el siglo XVIII, el mejor fabricante de instrumentos de posicionamiento fue el inglés Jesse Ramsden. Su especialidad era la división exacta de la escala. En la figura 32 se muestra un sextante de cobre amarillo pequeño que Ramsden hizo poco antes su muerte en 1800 (<http://wwwmat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

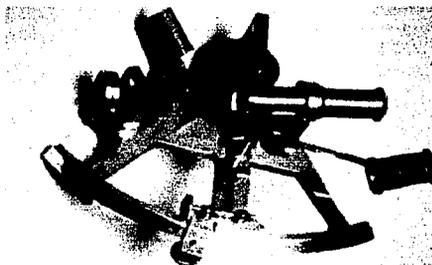


Fig.32 Instrumento fabricado por Ramsden. (<http://www.mat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>).

## 5.2 Navegación astronómica

En la navegación, mediante un sextante, el navegante mide las altitudes de dos o más cuerpos celestes y anota el tiempo en el que hizo sus observaciones. El navegante debe establecer el tiempo preciso al que se hace la observación y después comparar con los datos de los astrónomos, que indican la posición a la cual deberían estar los objetos celestes vistos desde un lugar conocido, la diferencia en la posición se relaciona con la posición de la embarcación. Este método fue antes utilizado sobre todo en alta mar, donde los navegantes se servían de los objetos celestes

La navegación astronómica permite determinar la posición de una embarcación, pero su gran limitación está en la visibilidad, la cual puede impedir la visión de los cuerpos astronómicos. Así, la limitación la pueden causar las nubes, la niebla, la lluvia, la nieve y la bruma o la neblina. Por otra parte tenemos que las principales naciones marítimas publican almanaques náuticos anuales que tabulan las coordenadas de cuerpos astronómicos usados en la navegación en cualquier época.

En navegación, el sistema primario de tiempo se basa en el movimiento aparente del Sol hacia el oeste,  $15^\circ$  de longitud por hora, hoy se usa el almanaque náutico en conjunto con uno de los diversos métodos tabulares, que incluyen soluciones precalculadas del triángulo astronómico para situar cualquier posición del observador y

de cualquier cuerpo astronómico observado. En el anexo II se observa una tabla relacionada con este tema.

### **5.3 Navegación marina moderna**

#### **5.3.1 Navegación práctica.**

El navegante dirige el barco de un lugar a otro observando señales en la superficie de la Tierra, tales como los faros, las rocas prominentes, los acantilados, etc. En este tipo de navegación se usan marcas, lugares o señalamientos conocidos para ubicar la posición de los buques. Los señalamientos pueden ser estaciones y buques con señalamientos de luz que se mantienen a lo largo de las costas para advertir a los barcos que se acercan de los peligros que existen, tales como rocas o zonas poco profundas. La mayoría de las luces funcionan en ciclos de encendido – apagado; y estos señalamientos son conocidos como faros. Existen también ayudas para la navegación llamadas boyas, que emiten señales de radio.

#### **5.3.2 En la de conteo.**

El navegante determina la posición de una nave teniendo en cuenta un cómputo de la distancia y de la dirección del recorrido a partir de una posición conocida. En el conteo, el navegante estima la posición de una nave de acuerdo con la historia del movimiento del barco.

En la salida, el navegante fija, con ayuda de algunos objetos en Tierra, su posición como punto de partida del viaje. Desde este punto, el curso del barco es dirigido y se trazan las trayectorias en una carta tomado en cuenta la estimación de la velocidad del barco y el tiempo que transcurre en el tránsito entre un punto y otro; de esa forma se calcula o “cuenta” la distancia recorrida.

Los puntos a lo largo de la línea cuentan las posiciones sucesivas del barco. El conteo empieza nuevamente cada vez que la brújula, las observaciones celestes o las ayudas electrónicas proporcionan una posición exacta. La línea de conteo que se anota en la carta es importante para el navegante porque indica de un vistazo la posición teórica de la nave, el recorrido que el barco debió haber seguido y la dirección en la cual está viajando.

### **5.3.3 En la navegación electrónica.**

El navegante determina la posición de una nave con la ayuda de dispositivos tales como el radar. Estos instrumentos hacen uso de las características direccionales de las ondas de radio; usan las diferencias de los tiempos de llegada de las señales de radio enviadas simultáneamente a diversos lugares o la diferencia en velocidad entre las ondas de radio y las ondas acústicas (<http://isa.dknet.dk/~janj/navigation.html>).

Los dispositivos electrónicos modernos son de gran importancia para encontrar la posición en el mar. Este método de navegación se basa en el uso de equipos y sistemas en los que las ondas de radio y las técnicas electrónicas se utilizan para poner en una carta la posición y la ruta de un navío.

La ayuda electrónica y la precisión, en la mayoría de los casos, ha incrementado la seguridad de la navegación suministrando información importante, y de forma rápida en períodos de baja visibilidad.

La radio como ayuda a la navegación fue utilizada por primera vez a comienzos del siglo XX en barcos. La ayuda en la navegación moderna consiste en indicar la dirección de radio utilizada en una de las siguientes formas: un barco toma la dirección a partir de transmisores instalados en puntos fijos y determina su posición relativa con respecto a dos o más transmisores, o toma la dirección mediante estaciones terrestres en una transmisión que desde un barco se correlaciona a un centro, lo que establece la posición del aparato (<http://www.sai-systems.com/aviación/TEORIA/Tipos%20de%20>

navegación.htm). Los principales mecanismos y sistemas de navegación electrónica se describen a continuación.

#### **5.3.3.1 Radiogoniómetro**

El radiogoniómetro fue la primera ayuda a la navegación usada de forma general. En su forma más simple, un radiogoniómetro moderno consta de un receptor de radio convencional con una antena en la forma de una bobina de alambre llamada "espira".

#### **5.3.3.2 Radiofaro direccional**

Operan en bajas frecuencias (200 a 415 kHz) por lo que están sujetos a desviaciones, por efecto de la noche, y otras anomalías. Un radiofaro direccional consta de dos pares de antenas de transmisión en código Morse. Las formas de la transmisión se entrelazan hasta que si ambas son oídas a la vez, el sonido es continuo y se tiene la intersección de la trayectoria de las señales.

#### **5.3.3.3 Radio balizas**

Una baliza es una estación de radio equipada con una antena no direccional; se usa principalmente para dar la dirección por radio. Las balizas de poca potencia se denominan localizadores y se utilizan junto con las brújulas de radio.

### **5.4 Sistemas de navegación de larga distancia**

#### **5.4.1 Gee**

Consiste de tres pulsos de radio de diferentes frecuencias. El Gee trabaja bajo el principio de medir la diferencia en tiempo de la llegada de los pulsos de dos transmisores; midiendo esta diferencia de tiempo se traza una línea a la estación

emisora en un mapa. Repitiendo esta operación y usando otro par de pulsos y un segundo juego de líneas en el mapa, se determina la posición del buque.

#### **5.4.2 Loran o shoran**

Este es el sistema por pulsos de baja frecuencia, para hacer posible la navegación a larga distancia sobre el mar para barcos y aviones (FAO, 1990).

La frecuencia de radio utilizada en Loran es de unos 2 mHz, lo que permite la recepción a larga distancia sobre los océanos, pero no es efectivo a largas distancias sobre la tierra excepto durante la noche. Las estaciones Loran están localizadas en tierra y agrupadas para formar una "cadena"; una de las estaciones se marca como maestra y las otras se denominan estaciones secundarias. Las señales transmitidas desde la secundaria están sincronizadas con la señal maestra.

#### **5.4.3 Omega**

El sistema Omega proporciona posiciones en todo el mundo y condiciones meteorológicas a buques, aviones y submarinos, con una exactitud de una milla durante el día y de dos durante la noche. En la actualidad es ampliamente utilizado por embarcaciones civiles (FAO, 1990). El Omega es un sistema global de ocho estaciones terrestres, situadas de tal forma que el usuario recibe señales de al menos tres estaciones. Al igual que con el Loran, el Omega es un sistema de radionavegación hiperbólico de muy baja frecuencia.

#### **5.4.4 Consolan**

Este sistema proporciona señales a partir de las cuales se puede determinar la dirección de una estación, asegurando así lecturas precisas independientes de todo el equipo de navegación a bordo. (<http://www.sai-systems.com/aviación/TEORIA/Tipos%20de20%navegación.htm>).

## **5.5 Sistemas de navegación por satélite**

Es un sistema de navegación muy usado últimamente, basado en una red de 24 satélites que orbitan alrededor de la Tierra y que efectúan dos órbitas en sólo 24 horas. Este sistema transmite señales que son recibidas por los receptores denominados GPS (Sistema de Posición Global). Los GPS dan una localización precisa del barco; normalmente a menos de diez metros de la posición en la que se esté, sin importar en qué parte del globo terrestre se encuentre el barco (Mardones Costa, 1989; <http://www.canal37.net/Html/gps.html>).

El GPS recibe el mensaje del satélite, y para determinar la posición, el equipo compara la hora en que el mensaje fue enviado con la hora en que fue recibido. La diferencia de tiempo indica al GPS cuán lejos se encuentra de ese satélite en particular. Si añadimos las mediciones de distancia que efectuó con otros satélites, podemos entonces triangular la posición.

El GPS requiere un mínimo de tres satélites para calcular la longitud y la latitud de la posición. Con cuatro satélites, el GPS puede determinar la posición en tres dimensiones, esto es, altitud, longitud y latitud. Con una continua actualización de la posición, el GPS puede determinar la velocidad y la dirección en la que se está navegando (Figuroa, 1977). De manera complementaria se presenta un resumen de los diferentes tipos de navegación en el anexo III.

## **CAPITULO VI**

### **MÉTODO DE GENERACIÓN DEL MAPA BATIMÉTRICO**

#### **6.1 Justificación de la proyección cilíndrica de Mercator**

La proyección cilíndrica de Mercator tiene grandes cualidades cuando se trata de extensiones cercanas al Ecuador, con la ventaja de que puede prolongarse hacia el este o hacia el oeste. Con esta proyección, cualquier dirección a partir de un punto dado puede trazarse con seguridad y facilidad. Este es un requisito conveniente para la navegación a causa de que la trayectoria de la nave sobre la superficie del mar conserva el azimut constante, es decir, es una línea recta en la proyección; los meridianos quedan siempre representados paralelamente a los bordes este y oeste del mapa; Luego entonces, la latitud y la longitud de cualquier lugar se localizan fácilmente a partir de su posición en el mapa, y por consiguiente, como la proyección cilíndrica de Mercator cumple con esas características, es que fue seleccionada para este trabajo. Particularmente se eligió la proyección cilíndrica normal de Mercator.

El objetivo de esta tesis es elaborar un mapa batimétrico de la porción meridional del Golfo de México, incorporando información de los mapas náuticos existentes de la Secretaría de Marina (los cuales fueron SM 721, SM 722, SM 800, SM 810, SM 822, y SM 840) y los datos de las profundidades georreferenciadas obtenidas durante las campañas oceanográficas efectuadas a bordo del buque oceanográfico "Justo Sierra" de la UNAM

La carta batimétrica digital de la Bahía de Campeche está comprendida entre las coordenadas geográficas de latitud  $18^{\circ} 00'$  y  $24^{\circ} 00'$  norte y longitud de  $89^{\circ} 30'$  y  $98^{\circ} 10'$  oeste bajo la proyección de Mercator.

Con el resultado de la digitalización de los puntos de profundidad marcados en las cartas, se elaboró una base de datos, a la cual le fueron añadidos los datos

obtenidos en los diferentes cruceros oceanográficos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (ICMyL) mismas que se encuentran en el Laboratorio de Oceanografía Física (LOF).

Los datos de las cartas de la Secretaría de Marina están georreferenciados de acuerdo con su posición en la carta y fueron digitalizados usando una tableta de digitalización electrónica. Los datos aportados por el ICMyL - LOF se tomaron con ecosondas y se referenciaron geográficamente usando GPS en el momento de su captura.

La digitalización se llevó a cabo con un programa llamado Digi; la cual permitió digitalizar uno a uno los punto de las diferentes cartas, de esta manera se tuvo un alto grado de confiabilidad para la elaboración del presente mapa batimétrico.

Los datos digitalizados y los obtenidos en las campañas oceanográficas fueron revisados uno a uno para verificar su validez, lo que se realizó viendo la tendencia de la superficie sobre la cual se encontraba cada dato, es decir, si el dato presentaba una profundidad muy diferente a la forma de la superficie, se consideraba dudoso y se verificaba la existencia de posibles cañones submarinos, hondonadas o rasgos fisiográficos que pudieran explicar su comportamiento; en caso contrario, se eliminaba.

## **6.2 Selección del método de interpolación**

Con la base de datos resultante, se construyó la carta batimétrica usando el método Kriging de interpolación por puntos del programa Surfer Version 7.02, el cual consiste en un sistema de mapeo digital de superficies que permite el levantamiento de datos y la representación tridimensional de la superficie; además del trazado y mapeo de isolíneas. Proporciona una serie de comandos que posibilitan la ubicación del modelado y ha través de transectos es capaz de representar relaciones de áreas condicionadas a alguna variable. La información topográfica de las isolíneas generada en el área que

aquí se presenta ha tenido su aplicación directa como herramienta de apoyo para la creación del mapa batimétrico.

El programa Surfer interpola los datos en una malla regular de filas y columnas a partir de datos irregularmente espaciados. La adopción de la cantidad de filas y columnas es realizada por el operador y el resultado obtenido dependerá de su correcta elección, siendo la densidad de los puntos la condicionante del espaciamiento. El programa Surfer Version 7.02 tiene diferentes métodos de interpolación (Inverso de la distancia, Kriging, Regresión polinomial, y curvatura mínima) cada uno de los cuales puede arrojar diferentes resultados. Para este trabajo se eligió el Kriging por ser uno de los más flexibles y eficaces para cualquier serie de datos.

Kriging es un método de interpolación que predice a través de un variograma los valores desconocidos usando puntos conocidos: es decir se basa en la suposición de que el parámetro que es interpolado puede tratarse como una variable regionalizada. Una variable regionalizada es intermedia entre una variable al azar y una variable totalmente determinista. La variable determinista varía de una manera continua a partir de una localización a otra y, por lo tanto, los puntos que están cerca de la continua tienen cierto grado de correlación espacial; sin embargo, los puntos más alejados son estadísticamente independientes. Kriging utiliza el variograma para expresar la variación espacial y reduce al mínimo el error de los valores predefinidos.

El primer paso del Kriging ordinario o puntual es construir un variograma del sistema del punto de la dispersión que se va a interpolar. Para ello, utiliza puntos ya conocidos llamados variograma experimental y a partir de estos calcula el variograma modelo. Esta se encontrara trazando las variaciones, por lo que tendremos la siguiente gráfica (Fig. 33):

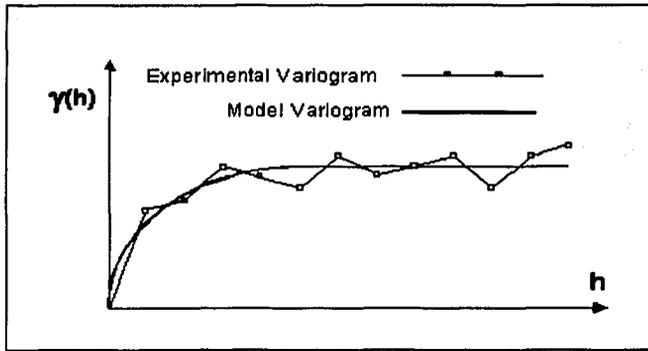


Fig. 33 comparación entre un variograma experimental y uno modelado (<http://www.cee.vt.edu/program.areas/environmental/teach/smprimer/kriging/kriging.html&prev=/search%3Fq%3Dkriging%26hl%3Des%26lr%3D%26ie%3DUTF-8%26sa%3DG>)

Donde :  $h$  es la distancia y  $\gamma(h)$  es la variación de cada punto con respecto a cada uno de los otros puntos.

Una vez calculado el variograma experimental el siguiente paso es definir la variable modelo, es decir, es encontrar una función matemática que modele la tendencia del variograma experimental, la cual puede ser por cualquier método de tendencia central como por ejemplo mínimos al cuadrado.

Como se puede ver en la figura 6.1 la forma del variograma indica que las distancias de separación entre el variograma modelo y el experimental es pequeña, es decir, que los puntos cercanos tienen valores similares. Después de cierto nivel de la separación, la variación en los valores llega a ser un poco aleatorio y el variograma modelo aplanar hacia fuera a un valor que corresponde a la variación media.

De lo anterior podemos deducir que la ecuación:

$$Y_{i,j} = \sum_{i=1}^n w_i y$$

donde:

$n$  es el número o cantidad de la dispersión en el sistema  
y son los valores de los puntos de la dispersión  
 $w$  son los pesos asignados a cada punto de la dispersión

Esta ecuación permite calcular una serie de puntos desconocidos en un punto  $P$  y  $(Y_{E,P})$  y se aplica como un promedio calculado de los puntos conocidos para después interpolar.

El cálculo del error de valoración en el punto  $(Y_{E,P}, Y_{A,P})$  está como:

$$\varepsilon_P = (Y_{E,P} - Y_{A,P})$$

donde  $\varepsilon_P$  es el error de la valoración.

En las medidas de distancias de dispersión (que tan alejados están los valores) con respecto a un valor central, se consideran la totalidad de las observaciones. De esta manera, el calculo de la dispersión está dada por:

$$S_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{E,P} - Y_{A,P})_i^2}{n}$$

donde:  $(Y_{A,P})$  Es la variable de cada punto

$(Y_{E,P})$  Es la medida de tendencia central

$n$  Es el número total de observaciones.

.Es también llamado también varianza.(que es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones de cada uno de los valores respecto a la media)

o bien, como su raíz cuadrada, conocida como el error o desviación estándar

$$S_r = \sqrt{S_r^2}$$

La estimación y el error de la valoración dependen de los pesos elegidos. Kriging intenta elegir los pesos óptimos que producen el error mínimo de la valoración. Los pesos óptimos que producen estimaciones imparciales y una variación mínima de la valoración se obtienen resolviendo un sistema de ecuaciones simultáneas.

Ejemplo: la interpolación del punto  $(P, Y_{E,P})$  en los puntos aleatorios  $Y_1, Y_2, y Y_3$ , los pesos que deben ser determinados son  $W_1, W_2, y W_3$ . Estos se encuentran con tres ecuaciones simultáneas.

$$\begin{aligned} W_{1\gamma}(h_{11}) + W_{2\gamma}(h_{12}) + W_{3\gamma}(h_{13}) &= \gamma(h_{1P}) \\ W_{1\gamma}(h_{21}) + W_{2\gamma}(h_{22}) + W_{3\gamma}(h_{23}) &= \gamma(h_{2P}) \\ W_{1\gamma}(h_{31}) + W_{2\gamma}(h_{32}) + W_{3\gamma}(h_{33}) &= \gamma(h_{3P}) \end{aligned}$$

donde  $\gamma(h_{ij})$  es la semivarianza del modelo calculado entre los puntos de control  $i$  y  $j$  que corresponde a una distancia que hay entre ellos llamada  $h$ .

Por ejemplo,  $\gamma(h_{1P})$  es el variograma modelo evaluado en una distancia igual a la separación de los puntos desde  $(i,j)$  de  $h$

Para asegurar que la solución sea imparcial, utilizamos una cuarta ecuación, donde la suma sea igual a la unidad, esto es:

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1$$

También se introduce una cuarta variable para asegurar que el error sea mínimo. Por lo tanto, el sistema completo de ecuaciones simultáneas queda como:

$$\begin{aligned} W_{1\gamma}(h_{11}) + W_{2\gamma}(h_{12}) + W_{3\gamma}(h_{13}) &= \gamma(h_{1P}) \\ W_{1\gamma}(h_{21}) + W_{2\gamma}(h_{22}) + W_{3\gamma}(h_{23}) &= \gamma(h_{2P}) \\ W_{1\gamma}(h_{31}) + W_{2\gamma}(h_{32}) + W_{3\gamma}(h_{33}) &= \gamma(h_{3P}) \\ W_1 + W_2 + W_3 + 0 &= 1 \end{aligned}$$

Se introduce en la cuarta variable el multiplicador de Lagrange ( $\lambda$ ) y escribiendo estas ecuaciones en forma matricial tenemos:

$$\begin{pmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \gamma(h_{3p}) \\ 1 \end{pmatrix}$$

o, en general:

$$[A] \cdot [W] = [B]$$

Esta ecuación se soluciona despejando para los coeficientes  $[W]$  que son los valores de los pesos  $W_1$ ,  $W_2$  y  $W_3$ .

Luego, el valor de  $Y_{E,p}$  del punto de interpolación queda como:

$$Y_{E,p} = \sum_{i=1}^n w_i y_i$$

$$Y_{E,p} = W_1 Y_1 + W_2 Y_2 + W_3 Y_3$$

por lo tanto, una variación de la valoración se puede calcular como:

$$S_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{E,p} - Y_{A,p})_i^2}{n}$$

$$S_r^2 = W_1 \gamma(h_{1p}) + W_2 \gamma(h_{2p}) + W_3 \gamma(h_{3p}) + \lambda$$

## **CAPITULO VII**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La elaboración del presente mapa batimétrico es el resultado del procesamiento de un conjunto de los datos que se obtuvieron por ecosondeo durante las diferentes campañas oceanográficas realizadas por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, a bordo del buque oceanográfico "Justo Sierra" de la UNAM, por el grupo de Oceanografía Física y por otro lado, de la inserción de los puntos digitalizados de las cartas de la Secretaría de Marina (ver anexo V).

#### **7.1 Análisis de los datos**

Se empleó el elipsoide de Clark (1866), asimismo, la República Mexicana está referida a un datum conocido como NAD 27, misma que se encuentra en Meades Ranch, Kansa City, en Estados Unidos de Norteamérica

Para la elaboración del mapa batimétrico se consideró el nivel medio del mar (nmm) como sistema de referencia para el datum vertical y horizontal (de las profundidades) para fijar la posición.

Cada "sping" de ecosondeo, se realizo a aproximadamente cada 8 metros

Si comparamos los datos obtenidos durante las campañas oceanográficas del ICMYL, y los datos digitalizados de los mapas náuticos SM 721, SM 722, SM 800, SM 810, SM 822 y SM 840 de la Secretaría de Marina, (figura 34), se observa que la mayor cantidad de datos en los mapas digitalizados, se concentran en los bloques siguientes:

Latitud	Longitud
22° 00' 00" a 23° 48' 00"	97° 12' 00" a 97° 48' 00"
19° 48' 00" a 21° 18' 00"	96° 00' 00" a 97° 00' 00"
18° 30' 00" a 20° 30' 00"	90° 30' 00" a 93° 18' 00"

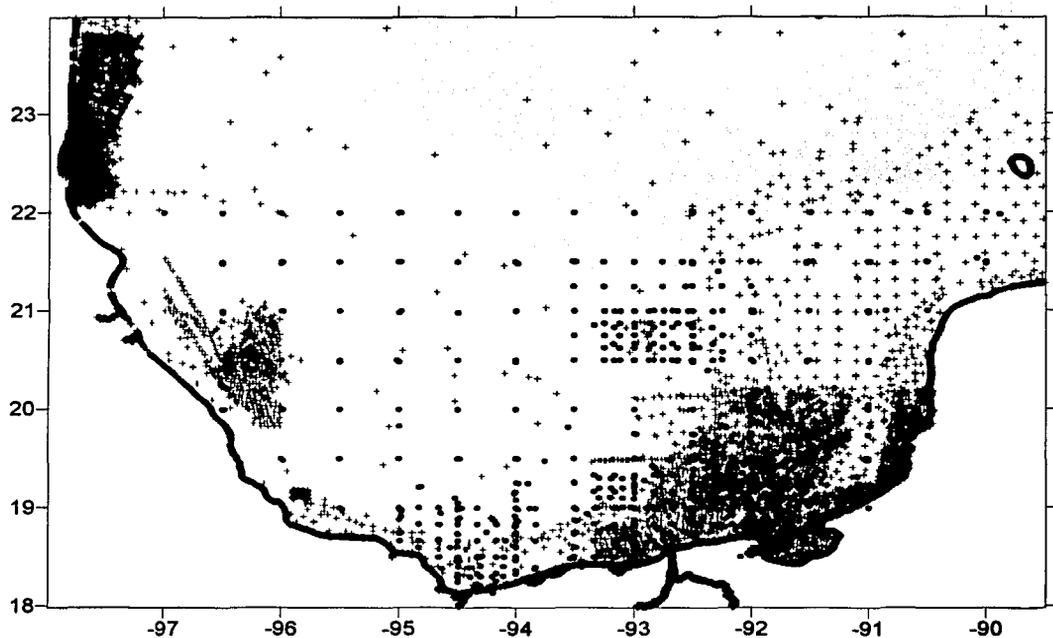


Fig. 34.- Puntos de profundidad obtenidos de la digitalización de mapas náuticos de la Secretaría de Marina (cruces en azul) y de las campañas oceanográficas del ICMYL-LOF de la UNAM (puntos en rosa). La línea negra representa la costa del Golfo de México.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En cambio, los datos obtenidos de las campañas oceanográficas del ICMYL-LOF de la UNAM por el buque oceanográfico, concentran su mayor número de datos dentro de las siguientes coordenadas:

Latitud	Longitud
18° 18' 00" a 19° 42' 00"	91° 48' 00" a 95° 00' 00"
20° 30' 00" a 21° 00' 00"	90° 18' 00" a 93° 30' 00"

En los demás puntos de la bahía, estos datos se encuentran dispersos.

De lo anterior podemos intuir que en el primer caso se debe a que son zonas donde se realizan exploraciones para buscar yacimientos de hidrocarburos, de gas, etc., y por lo tanto, representan zonas de interés económico.

En cambio, los datos obtenidos durante los cruceros del ICMYL-LOF se concentran en zonas donde se realiza actividad científica y de interés biológico - pesquero. Sin embargo, existen zonas en las cuales coinciden y éstas son:

Latitud	Longitud
18° 24' 00" a 19° 48' 00"	91° 48' 00" a 95° 00' 00"

Así, los datos digitalizados de los mapas náuticos (SM 721, SM 722, SM 800, SM 810, SM 822 y SM 840) y los obtenidos en los cruceros de los barcos se complementan.

En cuanto a la precisión con que se tomaron los datos con la ecosonda, tenemos que a una profundidad menor a 50 metros, el rango de error es 5 cm, y a una profundidad mayor a 50 metros, dicho rango fue de 1 % de la profundidad medida. Por lo que la veracidad de este mapa batimétrico cumple con la tolerancia permitida.

Para la realización del presente mapa batimétrico se ha considerado realizarlo a una equidistancia de 10 y 100 metros ya que estas equidistancias son suficientes para tener una buena resolución de las isolinias de la plataforma continental, de esta manera las cotas de profundidad varían de 0 (la línea de costa) a 3700 metros de profundidad.

- 1) Para las cotas de 0 a 100 metros de profundidad se consideraron intervalos de 10 m, debido a que es una zona relativamente llana, en la cual el relieve topográfico no es muy notorio.
- 2) Para las cotas de 100 a 3,800 metros de profundidad se consideraron intervalos de 100 metros, debido a factores de relieve que son muy contrastante. Así, vemos que de la línea de costa a la cota de 100 metros tenemos una superficie poco accidentada, pero a partir de 100 metros hasta los 3,600 metros las isolinias muestran un terreno muy accidentado pues existen grandes escarpes y, por lo tanto, las pendientes tienden a incrementarse, lo que hace que las isolinias aparezcan muy juntas.

## 7.2 Factor de escala de la proyección cilíndrica de Mercator

Si suponemos que la Tierra es esférica, el radio de un paralelo ( $r$ ) será  $r = R \cos \theta$ , donde  $R$  es el radio de la Tierra y  $\theta$  la latitud.

Por otra parte, como la longitud de un paralelo está en función de su latitud, (porque la longitud varía con el coseno de la latitud). tenemos que

$$\text{Si } \tau = R \cos \theta$$

y

$$l = 2 \pi \tau$$

Sustituyendo  $r$ , tenemos:

$$l = 2 \pi R \cos \theta$$

Donde:

- $r$  es el radio del paralelo es cuestión
- $l$  es la longitud de un paralelo cualquiera
- $\theta$  es la latitud de ese paralelo
- $R$  es el radio de la tierra

Para encontrar ese valor es necesario comparar la longitud de un paralelo en la proyección con la longitud del mismo paralelo en la esfera (Estrada, 1988).

En la proyección equidistante todos los paralelos son iguales y su longitud está dada por:

$$L = 2\pi R$$

En la esfera, la longitud de un paralelo es  $l = 2\pi R \cos\theta$ . Luego el valor numérico de la deformación, en un paralelo dado en la proyección, es la relación entre la proyección equidistante y la longitud de un paralelo, ambos de la esfera terrestre, esto es:

$$F_p = \frac{2\pi R}{2\pi R \cos\theta} = \frac{1}{\cos\theta}$$

donde  $F_p$  es la proyección de un paralelo dado

y como:

$$\frac{1}{\cos\theta} = \sec\theta$$

$$F_p = \sec\theta$$

$F_p$  es el factor de escala en el paralelo de latitud  $\theta$ , de esta manera, se puede definir al factor de escala como el coeficiente de deformación de una línea de proyección, en un paralelo dado.

Aquí se ha descrito el factor de escala a lo largo de un paralelo; en cuanto al Ecuador terrestre, es la línea de tangencia entre la esfera y el cilindro. Luego, al desenrollar el cilindro, el Ecuador no sufre deformación alguna, como consecuencia, el valor del factor escala en el Ecuador estará dado como  $l = 2\pi R \cos \theta$ , donde en este caso  $\theta = 0^\circ$ , entonces  $l = 2\pi R (1)$ , y como:

$$F_e = \frac{2\pi R}{2\pi R} = 1$$

El valor unitario significa que no existe deformación con respecto al arco de meridiano que fue rectificado y que tampoco presenta deformación alguna al factor escala que a lo largo del meridiano también es unitaria.

Para el caso de este mapa, se han calculado las deformaciones para cada uno de los paralelos dados

- 18° la deformación es de 1.0514
- 19° la deformación es de 1.0576
- 20° la deformación es de 1.0641
- 21° la deformación es de 1.07114
- 22° la deformación es de 1.0785
- 23° la deformación es de 1.0863

Lo anterior significa que la longitud de estos paralelos han sido incrementada la cantidad de veces que aparece en la deformación, su valor en la proyección.

La deformación máxima que sufre el mapa en el intervalo de 18° a 23° es de 0.349; sin embargo, la deformación total que sufre desde el Ecuador al paralelo 23° es de .0863. (es decir, que representa la 3/8 parte de la deformación de una unidad),

Por lo tanto la escala de este mapa, cumple con la tolerancia de deformación, ya que a partir del paralelo  $80^\circ$  la deformación se hace mayor y por lo tanto, ya no es recomendable utilizar la proyección transversal de Mercator, sino otra que se adapte a esas condiciones. Para nuestro caso, estamos dentro del rango donde la deformación es tolerable para esta escala.

Para calcular la deformación que sufren los meridianos tenemos que( de acuerdo con Mercator), modificar las distancias meridianas en la proyección equidistante, de tal forma que en el punto de intersección entre un meridiano y un paralelo dados, el factor de escala a lo largo del meridiano sea igual al factor de escala a lo largo del paralelo, esto es:

$$F_p = F_m$$

Así, Luego para que el factor de escala a lo largo de un meridiano sea igual al paralelo, es necesario multiplicar la longitud del arco de meridiano por ese factor  $F_p$ . Para los casos anteriores tenemos que:

Para 18, el  $l_m = (2\pi R \cos \theta)(\sec \theta)$  Todas en la proyección de Mercator

$$l_m = (2\pi R \cos 18^\circ)(\sec 18^\circ)$$

$$l_m = (2\pi R \cos 19^\circ)(\sec 19^\circ)$$

$$l_m = (2\pi R \cos 20^\circ)(\sec 20^\circ)$$

$$l_m = (2\pi R \cos 21^\circ)(\sec 21^\circ)$$

$$l_m = (2\pi R \cos 22^\circ)(\sec 22^\circ)$$

$$l_m = (2\pi R \cos 23^\circ)(\sec 23^\circ)$$

### 7.3 Escala

Cabe señalar que en los mapas batimétricos no es común agregarle al mapa una escala numérica, puesto que la escala de referencia la obtenemos a partir de la medición de la distancia entre dos paralelos que se encuentren en la parte media de nuestro mapa, que en este caso son el paralelo 21° y 22° latitud norte; es decir, que la distancia entre los paralelos mencionados es el valor de la escala de los mapas batimétricos.

Sin embargo, si se desea calcular la escala numérica tendremos que, un minuto equivale a 1.85 Km., entonces 1° = 111 Km., luego de:

$$E = \frac{MD}{MR}$$

Donde la magnitud dibujada del mapa (*MD*) es de 1.9 cm, que es la distancia medida en centímetros entre los paralelos 21° y 22° latitud norte.

La magnitud real (*MR*) es de 111 Km, (111 Km = 11,100,000 cm) y sustituyendo obtenemos:

$$E = \frac{1.9 \text{ cm}}{11,100,000 \text{ cm}}$$

y para obtener la unidad en el numerador (por ser una escala de reducción), tenemos:

$$E = E = \frac{1.9 \text{ cm}}{1.9 \text{ cm}} \div \frac{11,100,000 \text{ cm}}{1.9 \text{ cm}} = \frac{1}{5842105.26}$$

O bien; 1:5 842 105.26.

En el mapa batimétrico de la figura 35, se muestran los resultados de graficar las isobatas de la zona de este estudio.

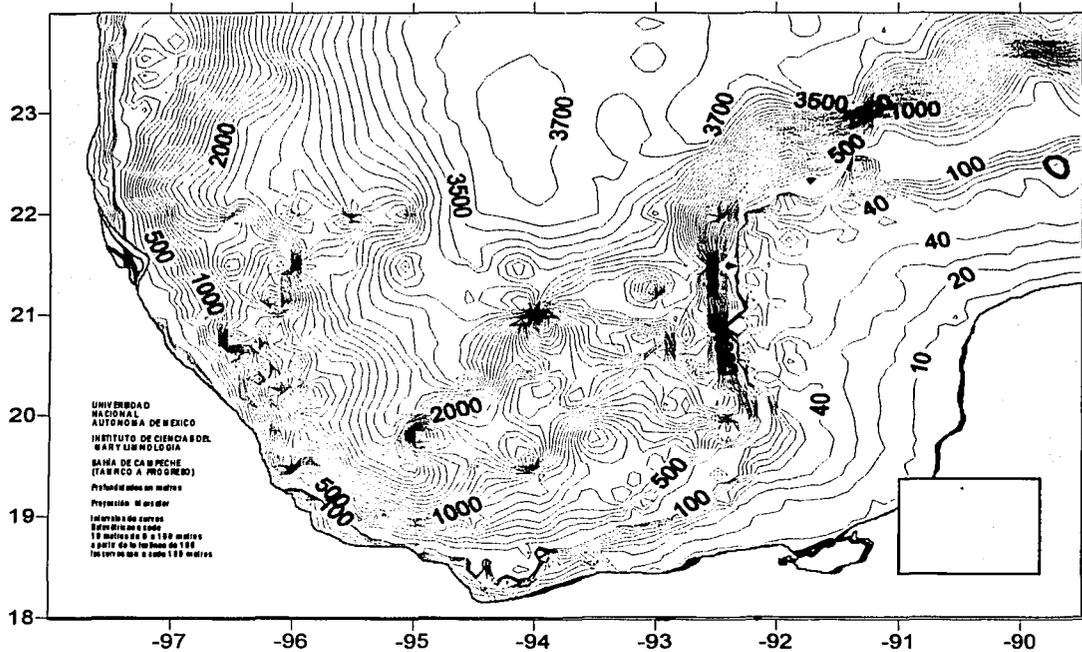


Fig. 35 Mapa batimétrico (desde Tampico a Progreso) resultante de este estudio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES

La posición geográfica de nuestro país lo hace rico en recursos marítimos tales como sus pesquerías e hidrocarburos. Sin embargo, no será posible lograr un aprovechamiento racional de dichas riquezas si no se cuenta con una cartografía adecuada que ubique las características del relieve marino y donde se puedan ubicar los diferentes recursos naturales del fondo oceánico como son los minerales, el gas, el aceite, etc.

El conocimiento adecuado de nuestro espacio marítimo a través de mejores documentos cartográficos permitirá un mejor desarrollo del mismo y coadyuvará a la reafirmación de nuestra soberanía. Desde luego, la cartografía marítima es sólo una herramienta de toda una serie de investigaciones oceanográficas como lo son las geológicas, biológicas, químicas, físicas, y geofísicas, entre otras.

Existen una gran cantidad de datos de profundidad georreferenciados en diversas instituciones y dependencias en el país, los que pueden y deben ser integrados a los mapas batimétricos y de navegación, para que, de esta manera se pueda enriquecer la información y obtener una alta resolución en los mapas batimétricos actualizados. Por todo lo anterior, se requiere unificar los criterios para la elaboración de las cartas batimétrica y náutica.

La confiabilidad de un documento cartográfico depende en gran parte de la calidad de los datos de los cuales se parte para su elaboración, pues existen publicaciones aisladas y dispersas que no permiten unificar criterios de presentación. Es recomendable pues que exista un centro de información nacional donde las diferentes instituciones y dependencias interactúen y se coordinen adecuadamente para realizar mejores cartas de navegación y batimétricas por el bien del país.

En cuanto a la elaboración de este mapa batimétrico se actualizó la información en cuanto a profundidades del Golfo de México, la cual permite tener una mejor idea de la forma general del fondo. Esta tesis forma parte de un proyecto de Conacyt, el cual tiene como título: "Procesos Oceánicos y Mecanismos de Producción Biológica en el Sur del Golfo de México" G27777-B, y desde luego, la zona llamada "Bahía de Campeche", es materia de estudio de este proyecto.

Este mapa batimétrico fue realizado con el propósito de tener un mejor conocimiento de la batimetría de nuestros mares y de esta manera poder realizar mejores investigaciones de carácter científico como los que lleva a cabo la UNAM, y otras dependencias; asimismo se espera que sirvan de apoyo para actividades diferentes a la investigación ya que este mapa se ha realizado con los recursos y la técnica con los que se cuenta en el Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Quizá lo más importante de la presente tesis es que ahora se cuenta con una metodología sobre elaboración de cartas batimétricas y el reconocimiento de colaborar en la construcción de mapas actualizados, actividad en si misma geográfica, puesto que el quehacer de mapas o cartas es parte del instrumento del geógrafo, por lo que es necesario que los profesionistas de esta área se integren a la realización de los mapas marinos.

Por último, es una necesidad asegurar que el país esté en posición de cumplir con las obligaciones internacionales sobre su derecho al mar y la explotación de éste, así como el de ejercer la soberanía y derechos en cuanto a las actividades de navegación, obras, instalaciones y estructuras, aprovechamientos económicos del mar, protección y preservación de las especies y del ambiente marino, así como de la investigación científica que se desarrolle para lo cual es necesario conocer mejor el fondo marino a través de mapas batimétricos actualizados. Cuando contemos con dicha información, tendremos mejores posibilidades de aprovechar estos recursos.

## LITERATURA CITADA

- Caire J, 2002. *Cartografía Básica*. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM México. pp17-126.
- Carabias, J, 1993. *Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales*. UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades. Porrúa, México. Pp 334-336.
- Carrillo A., 1986. *Diseño de un prototipo de Atlas Oceanográfico. Un ejemplo con parámetros técnicos en la zona Pacífico Norte de México*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. pp1-3 y pp153-154.
- Chimal S.G.1998. *La cartografía en México Pasado, presente y futuro*. Tesis de licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México pp119-139.
- Coll Hurtado A, 2000. *México: una visión geográfica II*. Editorial Plaza y Valdes. Instituto de Geografía. UNAM. México. pp 15-23 y 76-77.
- Crúz A.,1993. *Carta batimétrica actualizada del Golfo de México Oriental y del Mar Caribe*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. pp 6-11.
- Deetz, A, 1994. *Elementos de Proyección de Mapas y su Aplicación a la Construcción de Mapas y Cartas*. Washington, EUA. pp 97-118, 145-155, 169-173, 187-192.
- Estrada J.M., 1988. *Laboratorio de cartografía*. Editorial Trillas. México. pp 84-92.
- Esparza L., 1992. *Variación estacional de la microfauna de ostracodos de la zona de plataforma petrolera del sur del Golfo de México*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. México pag 92.
- FAO, 1990. *Cartografía de recursos marinos. Un manual de introducción de pesca*. Roma, Italia. pp 56-82.
- Figuerola, F., 1977: *Apuntes de cartografía aplicada a la navegación aérea*. Madrid, España. Pp 10-19, 25-45 y 70-72.
- Frías A., 1996. *La cartografía marina en México*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. UNAM.México. Pp 110, 133 y 136-150.

<http://www.aventuranatural.com/estrellas.htm>. Página web de localización de la estrella polar

<http://www.arrakis.es/~rojea/nautica.htm>. Página web española sobre navegación.

<http://www.canal37.net/Html/gps.html>. Página web de sistema de posicionamiento global (GPS).

[http://www.cafi.edu.co/departamentos/geologia/mar\\_equipos/sondeo.htm](http://www.cafi.edu.co/departamentos/geologia/mar_equipos/sondeo.htm). Página web geología marina; tema: ecosonda.

<http://club.telepolis.com/geografo/general/mercator.htm>. Página Web de la proyección de Mercator.

[http://www.documentos/resumen de 20 batimetria.htm](http://www.documentos/resumen_de_20_batimetria.htm) Página sobre Boulder-international Bathymetric Chart of the Caribbean Sea and Gulf of Mexico.

[http://www.electrónica.http//omega.ILCE.edu.mx.3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/02/hm/SEC\\_14.htm](http://www.electrónica.http//omega.ILCE.edu.mx.3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/02/hm/SEC_14.htm). Página web de ciencia y electrónica.

[http://www.electrónica.http//omega.ILCE.edu.mx.3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/081/hm/SEC\\_9.htm](http://www.electrónica.http//omega.ILCE.edu.mx.3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/081/hm/SEC_9.htm). Página web de ciencia y electrónica.

<http://www.geocities.com/padrgj.geo/metricbi.htm>). Página web de proyección de Mercator.

<http://isa.dknet.dk/~janj/navigation.html>). Página web de navegación

<http://www.inegi.gob.mx/territorio/español/proyserv/oceanografia/oceano23.html> página web de las delimitaciones del territorio Nacional editadas por INEGI.

<http://www.inegi.gob.mx/difusión/español/figdat.html> página de mapas de la República Mexicana editadas por INEGI

<http://www.mat.uvpt/~helios/Mestre/Novemb/Hgliflan.htm>. Página web sobre navegación.

<http://nivel.euito.upm.es/~mab/temática/htmls/proyecciones.HTML>).Página de proyecciones cartográficas.

<http://www.semarnat.gob.mx/regiones/terminos-campeche/actividad.shtml>. Página web de la sonda de Campeche

[http://www.sai-systems.com/aviación/TEORIA/Tipos%20 de %20navegación.htm](http://www.sai-systems.com/aviación/TEORIA/Tipos%20de%20navegación.htm)). Página web de navegación.

<http://www.semar.gob.mx/hidrogr/htm> Página web de mapas de México editadas por SEMARNAT

<http://webs.sinectis.com.ar/meagliani/ecosonda.htm>. Página web sobre ecosonda.

[http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.cee.vt.edu/program\\_areas/environmental/teach/smprimer/kriging/kriging.html&prev=/search%3Fq%3Dkriging%26hl%3Des%26lr%3D%26ie%3DUTF-8%26sa%3DG](http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.cee.vt.edu/program_areas/environmental/teach/smprimer/kriging/kriging.html&prev=/search%3Fq%3Dkriging%26hl%3Des%26lr%3D%26ie%3DUTF-8%26sa%3DG). Página sobre kriging.

[http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation\\_Schemes/Kriging/Kriging.htm&prev=/search%3Fq%3Dkriging%26hl%3Des%26lr%3D%26ie%3DUTF-8%26sa%3DG](http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation_Schemes/Kriging/Kriging.htm&prev=/search%3Fq%3Dkriging%26hl%3Des%26lr%3D%26ie%3DUTF-8%26sa%3DG).  
Página sobre kriging.

Madones I, 1989. *sistema de Posicionamiento Global*. Revista de tecnología militar. México. pp 1-5.

Secretaría de Marina 1997. *Carta Tampico a Punta del Morro. SM810*. Escala 1:250,000 en latitud 21° 41' N. Dirección General de Oceanografía Naval. Costa Este. México.

Secretaría de Marina 1997. *Carta La Pesca a Punta Jerez. SM 721*. Escala 1:100 000 en latitud 23° 20' N. Dirección de Hidrología de la Dirección General de Oceanografía. México.

Secretaría de Marina 2000. *Carta Bahía de Campeche. SM 840*. Escala 1:250 000 19° 20' en latitud N. Dirección General de Investigación y Desarrollo. Costa Este. México.

Secretaría de Marina 2000. *Veracruz a Puerto de Alvarado. SM 822*. Escala 1:60 000 en latitud 19° 00' N. Dirección General Adjunta de Hidrografía y Cartografía. México.

Secretaría de Marina 2000. *Carta Tampico a Progreso. SM 800*. Escala. 1:1,023,400 en latitud 21° 00' N. Dirección General de Investigación y Desarrollo. Costa Este. México..

Secretaría de Marina 2001. *Carta Punta Jerez a Tampico. SM 722*. Escala 1:100 000 en latitud 22° 32' N. Dirección General de Oceanografía Naval. Costa Este. México.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (1982) *publicación 3031*, 1ra edición. México.

Velasco H., 1994. *Modelo numérico de circulación para la Bahía de Campeche*. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.. México. pp 6-14.

## ANEXO I

### Terminología usada en las proyecciones

Una variedad de términos especiales se usa en la descripción y análisis de las proyecciones de los mapas. En sí, debe señalarse el proceso de proyección como dos etapas: la reducción de la Tierra a un globo nominal y la proyección de éste reducido a un plano. A continuación se muestran algunos de los términos usados en las proyecciones (Tomado de Caire Lomelí, 2000)

*Equivalencia.* Es la cualidad de aquella proyección en la cual el producto de las cantidades a y b es casi siempre la unidad sobre la proyección, de manera que el tamaño de todas las áreas representadas está en correcta proporción.

*Conformidad.* Característica de una proyección en la cual las cantidades a y b son en cada punto iguales pero difieren de un punto a otro. Los ángulos alrededor de cada punto están correctamente representados.

*Azimutalidad.* Es aquella característica que tienen algunas proyecciones en las que el ángulo formado entre cualquier línea recta desde A hasta B a partir del meridiano A, es igual al ángulo correspondiente sobre el globo terráqueo desde el meridiano A y el arco de círculo máximo que va desde A hasta B.

*Escala lineal.* Se refiere a la comparación de la distancia sobre el mapa en alguna dirección y la correspondiente en las mismas direcciones sobre la Tierra.

*Escala de áreas.* La relación de las áreas sobre el mapa y sus correspondientes sobre la Tierra.

*Meridiano central.* Divide a la tierra en dos partes simétricas de igual tamaño. Puede ser línea recta o curva y la proyección de un lado del meridiano central es la imagen reflejada del otro lado.

*Deformación angular.* Es el cambio en la relación angular que puede ocurrir en un punto, de la realidad a la proyección.

*Gradícula.* Es el sistema de paralelos y meridianos representados a escala en una proyección. También se le llama caneavá.

## ANEXO II

### FORMAS DE UBICACIÓN DE ESTRELLAS IMPORTANTES PARA LA NAVEGACIÓN

#### Hemisferio sur

Si nos encontramos en el hemisferio sur, podemos utilizar la "Cruz del Sur" para orientarnos. En realidad el polo sur celeste está mas cercano a la estrella Sigma Octantis, pero ésta es difícil de ubicar a simple vista. El otro método admite un margen de error de 5°. Así, observando el cielo alargue el brazo más largo de la "Cruz del Sur" cuatro veces y media y así se tendrá al Polo Sur celeste.



Fig. II.1 Localización de la Cruz del Sur (Tomado de <http://www.aventuranatural.com/estrellas.htm>.)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Hemisferio norte

Si estamos en el hemisferio norte, simplemente debemos ubicar la estrella Polar. Una forma es hallando la constelación de la Osa Mayor:

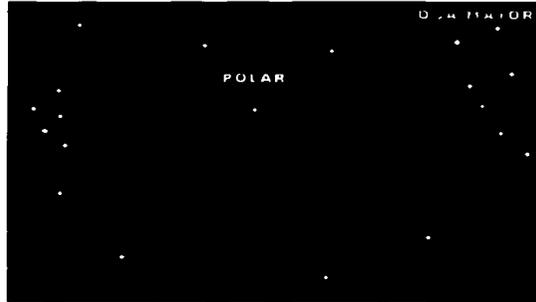


Fig. II.2 Localización de la Osa Mayor (Tomado de <http://www.aventuranatural.com/estrellas.htm>)

Para esto trazamos una línea imaginaria entre Merar y Dubhe y encontraremos las estrellas conocidas como los Punteros y prolongándola unas cinco veces hallaremos la Polar.

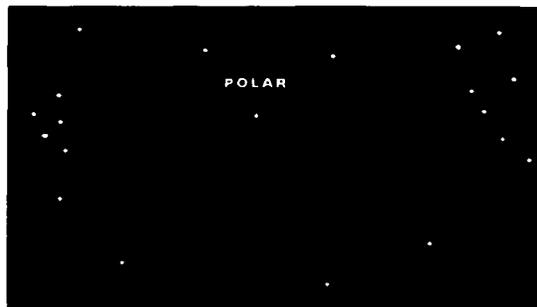


Fig. II.3 Localización de la Estrella Polar (Tomado de <http://www.aventuranatural.com/estrellas.htm>)

## ANEXO III

### TIPOS DE NAVEGACIÓN

En la tabla a continuación se presenta un resumen de los principales tipos de navegación.

<b>Tipos de navegación</b>	<b>Características</b>	<b>Usos</b>
Astronómica	Es aquella navegación que se realiza por medio de los astros.	Se utilizan tabla de almanaque, sextante, cronómetro y astrolabio
Práctica	Es aquella que se hace con el contacto del terreno, es decir, se toman puntos de referencia como cerros, ríos, lagos, ciudades, etc., ajustándose a las reglas de vuelo visual.	Se utilizan cartas del terreno, cronómetro y visibilidad
Conteo	Es aquella navegación que se realiza por medio del cálculo, tomando, como factores la velocidad, tiempo y la distancia y se aplica en las navegaciones visuales como las de instrumentos.	Se utilizan triángulo de vientos, computador cronómetro, distancias y medidas
Electrónica	Es aquella navegación que se hace por medio de equipos electrónicos tanto de día como por la noche, así como, en condiciones de excelente visibilidad, como visibilidad media o casi nula	Se utilizan receptores a bordo, cronómetro y satélites

Tabla III.1(Tomada de [http://www.sai-systems.com/aviación/TEORIA/Tipos%20de 20%navegación.htm](http://www.sai-systems.com/aviación/TEORIA/Tipos%20de%20navegación.htm))

## ANEXO IV

### CARTAS DISPONIBLES EN LA SECRETARÍA DE MARINA

Carta Núm.	Escala	Título
SM 001	1:3 700 000	Ensenada a Mazatlán incluyendo Golfo de California
SM 010	1:1 601 538	Mazatlán a Puerto Madero
SM 020	1:1 700 000	Mazatlán a Puerto Madero
SM 100	1:750 000	San Diego a Punta San Pablo
SM 110	1:350 000	San Diego a Cabo Colonett
SM 115	1:35 000	Bahía de Todos los Santos
SM 116	1:10 0000	Portulano de Ensenada
SM 216	1:25 000	Puerto Peñasco y proximidades
SM 224	1:20 000	Bahía de los Angeles
SM 227	1:10 000	San Carlos, Sonora
SM 228	1:25 000	Guaymas y proximidades
SM 229	1:15 000	Portulano de Guaymas - Punta San Pablo a Mazatlán
SM 336	1:30 000	Bahía de Topolobampo y proximidades
SM 337	1:15 000	Canal de acceso a Puerto Tolobampo
SM 343	1:20 000	Puerto San Carlos B.C.S.
SM 353	1:20 000	Bahía de San Lucas
SM 357	1:25 000	La Paz y proximidades
SM 358	1:10 000	Bahía de Pichilingue
SM 359	1:10 000	Portulano de la Paz
SM 362	1:100 000	Río San Lorenzo a río Elota
SM 363	1:10 000	Río Elota a Mazatlán
SM 367	1:12 500	Mazatlán y proximidades
SM 368	1:7 500	Portulano de Mazatlán
SM 400	1:750 000	Cabo San Lucas a Manzanillo e islas Revillagigedo
SM 425	1:15 000	Puerto Vallarta
SM 500	1:750 000	Manzanillo a punta Maldonado
SM 513	1:25 000	Bahías Manzanillo y Santiago
SM 514	1:5 000	Portulano de Manzanillo
SM 518	:20 000	Puerto Lázaro Cárdenas
SM 524	1:25 000	Ixtapa -Zihuatanejo
SM 525	1:10 000	Bahía de Isla Grande (Ixtapa)
SM 526	1:10 000	Bahía de Zihuatanejo
SM 527	1:4000	Puerto Vicente Guerrero, Gro.
SM 528	1:25 000	Acapulco y proximidades
SM 529	1:10 000	Portulano de Acapulco
SM 600	1:707 300	Punta Maldonado a Puerto Madero
SM 601	1:511 550	San Quintín a Punta Eugenia
SM 602	1:525 575	Punta Eugenia a Cabo San Lázaro
SM 603	1:639 400	Golfo de California parte Norte
SM 604	1:667 680	Cabo San Lázaro a Cabo San Lucas y parte sur del Golfo de California
SM 614	1:12 000	Bahía de San Agustín a Bahía de Maguey
SM 615	1:12 000	Bahía de Maguey a Bahía Conejos
SM 615*	1:3 000	Santa Cruz Huatulco
SM 616	1:12 500	Bahías de Huatulco y proximidades

SM 629	1:3 500	Portulano de Salina Cruz
SM 638	10 000	Puerto Madero
SM 4(Int.)	1:3 725 000	Golfo de México y mar Caribe
SM 030	1:1 200 000	Río Bravo a Bahía de Chetumal
SM 700	1:600 000	Río Bravo a Tampico
SM 710	1:7 500	Puerto El Mezquital
SM 711	1:100 000	Brazos Santiago a El Mezquital
SM 712	1:100 000	El Mezquital a Boca Jesús María
SM 713	1:100 000	Boca Jesús María a La Pesca
SM 714	1:20 000	La Pesca a Tampico
SM 721	1:100 000	La Pesca a Punto Jerez
SM 722	1:100 000	Punta Jerez a Tampico
SM 727	1:10 000	Puerto de Altamira
SM 728	1:20 000	Río Pánuco-Puerto de Tampico
SM 800	1:1 023 400	Tampico a Progreso
SM 810	1:250 000	Tampico a Punta del Morro
SM 815	1:15 000	Tuxpan
SM 822	1:60 000	Veracruz a Puerto de Alvarado
SM 823	1:25 000	Veracruz y proximidades
SM 824	1:7 500	Portulano de Veracruz
SM 825	1:25 000	Fondeadero Antón Lizardo
SM 826	1:15 000	Puerto de Alvarado
SM 834	1:30 000	Coatzacoalcos y proximidades
SM 837	1:30 000	Puerto de Dos Bocas y Proximidades
SM 838	1:15 000	Frontera y proximidades
SM 840	1:250 000	Bahía de Campeche
SM 841	1:60 000	Laguna de Términos y proximidades
SM 842	1:25 000	Laguna de Términos entrada oeste
SM 843	1: 20 000	Laguna de Términos entrada este
SM 847	1:30 000	Lerma-Campeche
SM 900	1:906 630	Canal de Yucatán y proximidades
SM 913	1:12 500	Progreso-Yukalpetén
SM 914	1:5 000	Portulano de Yukalpetén
SM 922	1: 32 500	Islas Mujeres, Cancún y proximidades
SM 923	1:17 500	Bahía de Mujeres
SM 924	1:100 000	Isla de Mujeres a Cozumel
SM 925	1:60 000	Isla Cozumel
SM 926	1:15 000	Portulano de San Miguel de Cozumel
SM 1191	1: 15 000	Laguna de Tequesquitengo (aguas interiores)

#### CARTAS EN PROCESO

SM 226	sin escala	Santa Rosalía Baja California
SM 418	sin escala	Isla Socorro
SM 419	sin escala	Portulano Isla Socorro
SM 848	1:7 500	Portulano de Lerma
SM 914	1.5 000	Portulano de Yukalpetén
SM 936	1:15 000	Majahual, Quintana Roo

Tabla IV.1 (Tomado del mapa índice de las cartas náuticas de la Secretaría de Marina de México)

## ANEXO V

### PUNTOS DIGITALIZADOS

Los puntos digitalizados de las cartas SM 721, SM 722, SM 800, SM 810, SM 822, y SM 840. y graficados se muestran a continuación.

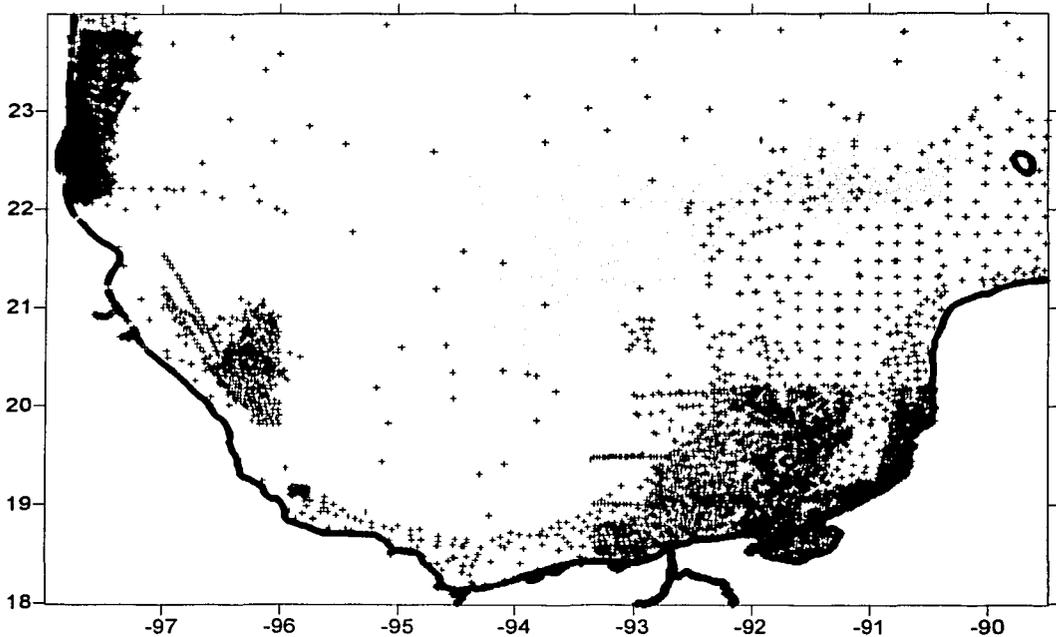


Fig. V.1 Puntos digitalizados de las cartas SM 721, SM 722, SM 800, SM 810, SM 822, y SM 840. de la Secretaría de marina

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los puntos obtenidos de los diferentes cruceros por el Instituto de Ciencias del Mar de la UNAM se muestran en la siguiente figura.

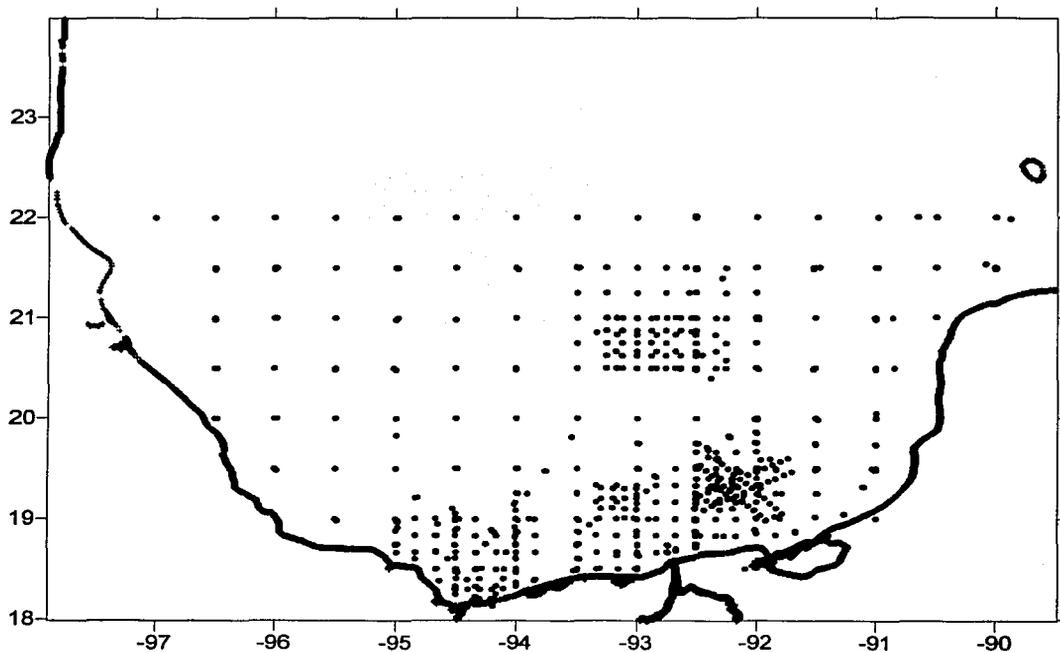


Fig. V.2 Puntos digitalizados con datos de los cruceros del barco "Justo Sierra" de la UNAM

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO VI

### GLOSARIO

- Azimut.**-Llamado también orientación, dirección y curso, es el ángulo horizontal que se establece entre una dirección principal N y S y la línea la cual está indicando la dirección. Siempre se mide en el sentido de las agujas del reloj, normalmente a partir del norte geográfico, se habla de azimut geodésico si se mide a partir del sur geográfico y se expresan los ángulos por cuadrantes de 0° a 90°.
- Altimetría.**- Medida de altitud o elevación. La altitud se mide sobre la superficie de referencia (datum); la medida de profundidad bajo agua se denomina batimetría.
- Astrolabio.**-Instrumento empleado para medir la altura de los astros y deducir la hora y la altitud.
- Base de datos.**-Conjunto de datos estructurados para permitir su almacenamiento, consulta y actualización en un sistema informático.
- Batimetría.**- Escala utilizada en representaciones cartográficas para mostrar diferencias de profundidad en el relieve submarino.
- Brújula.**- Instrumento que indica el rumbo, empleado por marinos, pilotos, cazadores, excursionistas y viajeros para orientarse.
- Canevá Geográfico.**- Está constituido por la red de meridianos y paralelos, los cuales tienen como objetivo, facilitar la ubicación de un punto específico, es decir, obtener sus coordenadas geográficas: latitud y longitud.
- Carta.**-Es un documento donde se presenta una parte o toda la superficie de la Tierra, tomando en cuenta la curvatura de la misma. Está matemáticamente definida con base en una proyección, contiene coordenadas geográficas y sus escalas son medianas, que van de 1:10 000 hasta 1:500 000, se utilizan para aspectos regionales o locales en la elaboración de proyectos y forma parte de otras series de cartas que cubren todo el país.
- Carta base.**- El mapa o la carta matriz que se emplea para reproducirlas tantas veces como temas se tengan que representar.
- Carta náutica.**- Representación gráfica de una extensión de agua y la costa con indicación de todos los datos de interés al navegante. Equivale al mapa de uso terrestre.

**Carta portulano.-** Carta de navegación de un puerto a otro que se utilizaba en la Edad Media.

**Cartografía.-** Disciplina encargada de estudiar los diferentes métodos o sistemas que permiten representar en un plano una parte o la totalidad de la superficie terrestre, con el fin de elaborar mapas, planos y otros modos de expresión, así como su utilización.

**Círculo máximo.-** Círculo de la superficie terrestre cuyo plano pasa a través de su centro (meridiano y Ecuador); la distancia más corta entre dos puntos cualesquiera de la superficie terrestre es el arco de un círculo máximo.

**Coordenadas geográficas.-** Cada uno de los tres elementos que sirven para determinar la posición sobre la superficie de la Tierra: latitud, longitud y altitud, las dos primeras tienen su punto de origen y referencia en el Ecuador y en el meridiano de Greenwich y en el nivel medio del mar, respectivamente.

**Cuadrícula.-** Es una red de rectas ortogonales que proporciona una serie de valores coordenados que permiten también referir cualquier punto del mapa y que son más cómodos de utilizar.

**Cuenca.-** Una área o zona de captación de agua. Está conectada por ríos.

**Gradícula.-** Utiliza el sistema de referencia universal constituido por una red de meridianos y paralelos.

**Datum.-** Sistema geométrico de referencia empleado para expresar numéricamente la posición geodésica de un punto sobre el terreno. Cada datum se define en función de un elipsoide y por un punto en que el elipsoide y la Tierra son tangentes.

**Declinación magnética.-** Angulo formado entre las direcciones del norte magnético y el norte geográfico llamado también norte verdadero.

**Deformaciones de las proyecciones.-** Variantes de un mismo sistema de proyección que están centradas en el polo de la esfera, en el Ecuador o sobre un paralelo, se dice que éstas son proyecciones polar, ecuatorial o directa.

**Digitalizar.-** Operación de codificar la información en cifras. La digitalización se aplica habitualmente a la codificación de la información gráfica (mapas y planos convencionales), pero puede ser aplicada con propiedad a todo tipo de información para la construcción de bases de datos numéricos.

**Delta.-** Isla triangular comprendida entre dos brazos con que algunos ríos desembocan al mar, y se llama así porque es semejante a la figura de la letra griega delta.

**Eje terrestre.-** Es una línea ideal que atraviesa la Tierra pasando por su centro.

**Elipsoide.-** Figura matemática que se genera a partir de la rotación de una elipse en torno a su eje, su utilización en cartografía se debe a que dicha figura se asemeja a la forma achatada de la Tierra; los cálculos son mucho más complejos, pero son aún más precisos que los realizados a partir de la esfera. Se definen en función de un radio ecuatorial y un radio polar.

**Equidistancia.-** Es la distancia vertical entre dos curvas de nivel contiguas en un mapa.

**Escala.-** Relación entre cualquier magnitud (distancia o superficie) medida en el plano y la homóloga en terreno; dicha relación es variable de un plano a otro, pero constante, cualquiera que sea la dirección que se tome en un mismo plano.

**Esferoide.-** Cuerpo aproximadamente esférico, generado por la rotación de una esfera sobre su eje.

**Factor de escala.-** Factor por el cual el valor numérico de una distancia obtenida en un mapa debe de multiplicarse para obtener la distancia efectiva (longitud del terreno).

**Golfo.-** Una parte del océano o el mar, extendiéndose a la tierra.

**Gradícula.-** Reticula representada por líneas geográficas con base en paralelos y meridianos en la proyección de un mapa.

**Isolínea.-** Se aplica a una curva que une los puntos de igual valor de la característica cuantitativa de un fenómeno, por ejemplo, la curva de nivel en la topografía terrestre, las isobatas que unen la misma profundidad del fondo marino, las isobaras para presión atmosférica, las isotermas para temperatura y las isoyetas para la precipitación.

**Laguna.-** Depósito natural de agua salobre, ubicadas en las costas y, generalmente, de menores dimensiones que el lago.

**Lago.-** Gran masa de agua dulce con comunicación al mar (o sin ella). Los lagos pueden tener orígenes diversos como tectónicos, por erosión, etc.

**Latitud.-** Es la distancia angular en grados medida a partir del Ecuador, considerando que a partir del centro de la Tierra va creciendo la abertura del ángulo hasta alcanzar los 90° hacia el norte o sur geográficos.

**Línea de costa.-** Línea señalada en los mapas marítimos entre la Tierra y la altura media del agua.

**Longitud.-** Es la distancia angular medida en grados a partir del observatorio de Greenwich, como meridiano principal hacia el este u oeste, partiendo también del centro de la tierra. La longitud oscila entre 0° y 360°.

**Loxodromía.**- Propiedad de una línea de rumbo constante, es decir, aquélla que corta todos los meridianos con el mismo ángulo. En la proyección de Mercator aparece como línea recta.

**Magnetismo terrestre.**- Propiedad magnética de la Tierra (empleada en la brújula para encontrar el norte) que origina la mayor parte del campo magnético.

**Mapa.**- Modelo gráfico de la superficie terrestre normalmente, a escala y matemáticamente esta sobre un plano, tomando en cuenta la curvatura de la Tierra, donde se representan objetos abstractos o concretos y sus propiedades métricas, topológicas y atributivas. Sus escalas son pequeñas, desde 1:500 000 o menores. La representación de las características de la superficie terrestre puede ser una parte o total. Un mapa puede ser analógico (impreso sobre papel, por ejemplo) o digital (codificado en cifras, almacenado en una computadora y presentado en una plantilla).

**Mapa batimétrico.**- Es un modelo a escala que muestran las profundidades del agua y la topografía submarina. Esta topografía de las profundidades está generalmente unida por líneas continuas llamadas isobatas.

**Meridianos.**- Semi-elipses que cortan a la Tierra por su eje, cuyos extremos coinciden con los polos norte y sur geográficos de la Tierra. Siempre cortan a los paralelos formando un ángulo de  $90^\circ$ . La distancia entre meridianos es máxima en el Ecuador y mínima en los polos.

**Norte del mapa.**- También llamado norte de la cuadrícula, es la dirección de las líneas arbitrarias del sistema de la cuadrícula de referencia de coordenadas planas que se ha utilizado en la realización del mapa que tiene que ver con el sistema de proyecciones utilizado.

**Norte geográfico.**- Dirección al polo norte desde cualquier punto a la superficie terrestre.

**Norte magnético.**- Dirección en la cual se orientan las agujas imantadas de una brújula en cualquier lugar de la superficie terrestre. La Tierra tiene un eje de rotación y un eje de campo magnético y la diferencia entre ellos se llama variación o declinación magnética.

**Notas marginales.**- Informaciones inherentes al mapa, como son fecha de compilación de la información, edición y publicación del mapa, elipsoide de referencia, nombre del productor, fuentes de información, etc., que se suele incluir junto a la simbología.

**Organismos plantónicos.**- Organismos de 25 a 100 micras, como los foraminíferos, radiolarios, fitopláncton, etc., que viven flotando en el agua y se mueven principalmente arrastrados por la corriente.

**Organismos pelágicos o necton.**- Organismos que nadan independientemente de las corrientes, de ahí sus aletas y su propulsión de equilibrio y su forma hidrodinámica. A este grupo pertenecen entre otros los calamares, pulpos, mamíferos marinos y peces, en general.

**Organismos bentónicos.**- Organismos que viven en el fondo del océano, algunos de los cuales se arrastran y otros no tienen movimiento. A este grupo pertenecen los corales, las ostras, las estrellas de mar, los cangrejos, y los peces que viven en el fondo marino.

**Paralelos.**- Líneas imaginarias que unen puntos de igual latitud, su separación es constante y son paralelos entre sí.

**Plano.**- Representación de una parte de la superficie de la Tierra que no considera la curvatura de la tierra por la poca extensión de superficie que representa; esto ocasiona que las líneas de latitud y longitud sean perpendiculares entre sí. Sus escalas son grandes van de 1:10 hasta 1: 10 000 y se utilizan en aspectos urbanos como delimitación de manzanas o viviendas, entre otros.

**Proyección.**- Sistema que es utilizado en la representación cartográfica de la superficie terrestre. La superficie terrestre se encuentra proyectada sobre un elipsoide de referencia sobre el cual se representan gráficamente los paralelos y los meridianos; sin embargo, como una superficie esférica no puede transformarse a una plana sin modificar la geometría de la superficie, entonces, sólo puede conservar una o dos propiedades, pero no todas.

**Sextante.**- Instrumento que sirve para medir la altura del Sol sobre el horizonte y para determinar las latitudes.

**Sistema de Posicionamiento Global.(GPS).**- Acrónimo de Global Positioning System, o sistema de posicionamiento global por satélite; hace referencia a un sistema mediante el cual es posible estimar las coordenadas actuales de la estación en tierra mediante la recepción simultánea de señales emitida por varios satélites (llamados en conjunto *constelación GPS*).

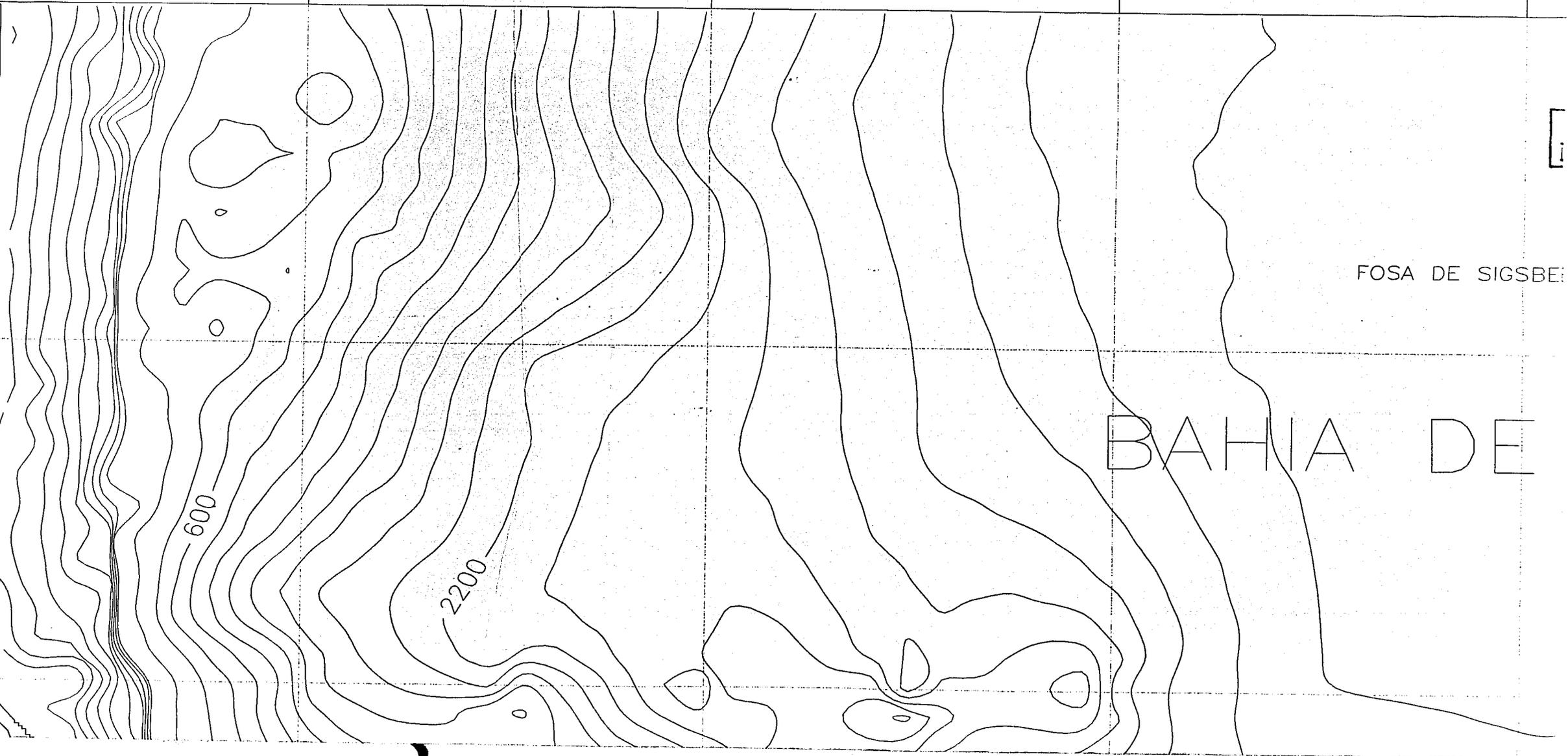
94

TERRAS CON  
FALLA DE ORIGEN

SOTO LA MARINA  
TAMPICO

23

22



FOSA DE SIGSBEI

BAHIA DE

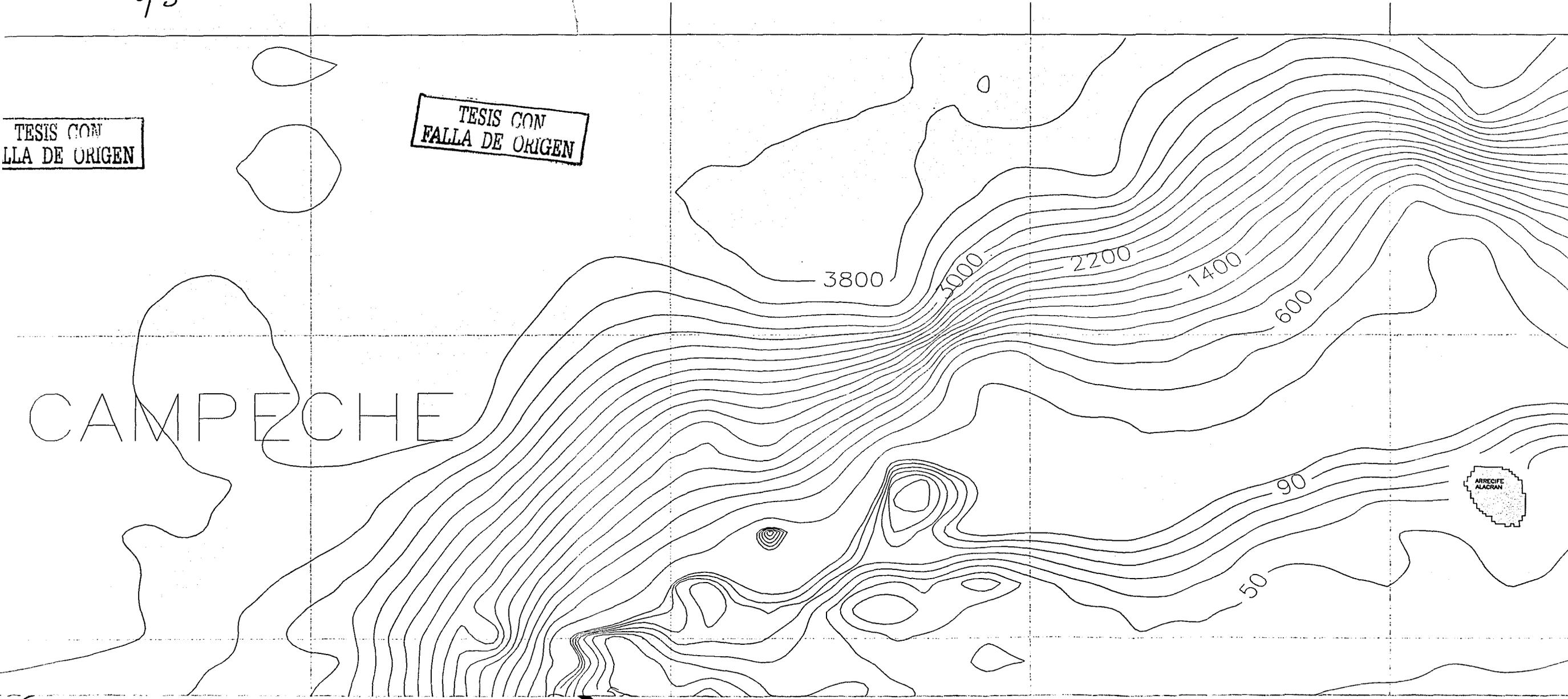
95

TESIS CON  
LLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CAMPECHE

TESIS CON ORIGEN I

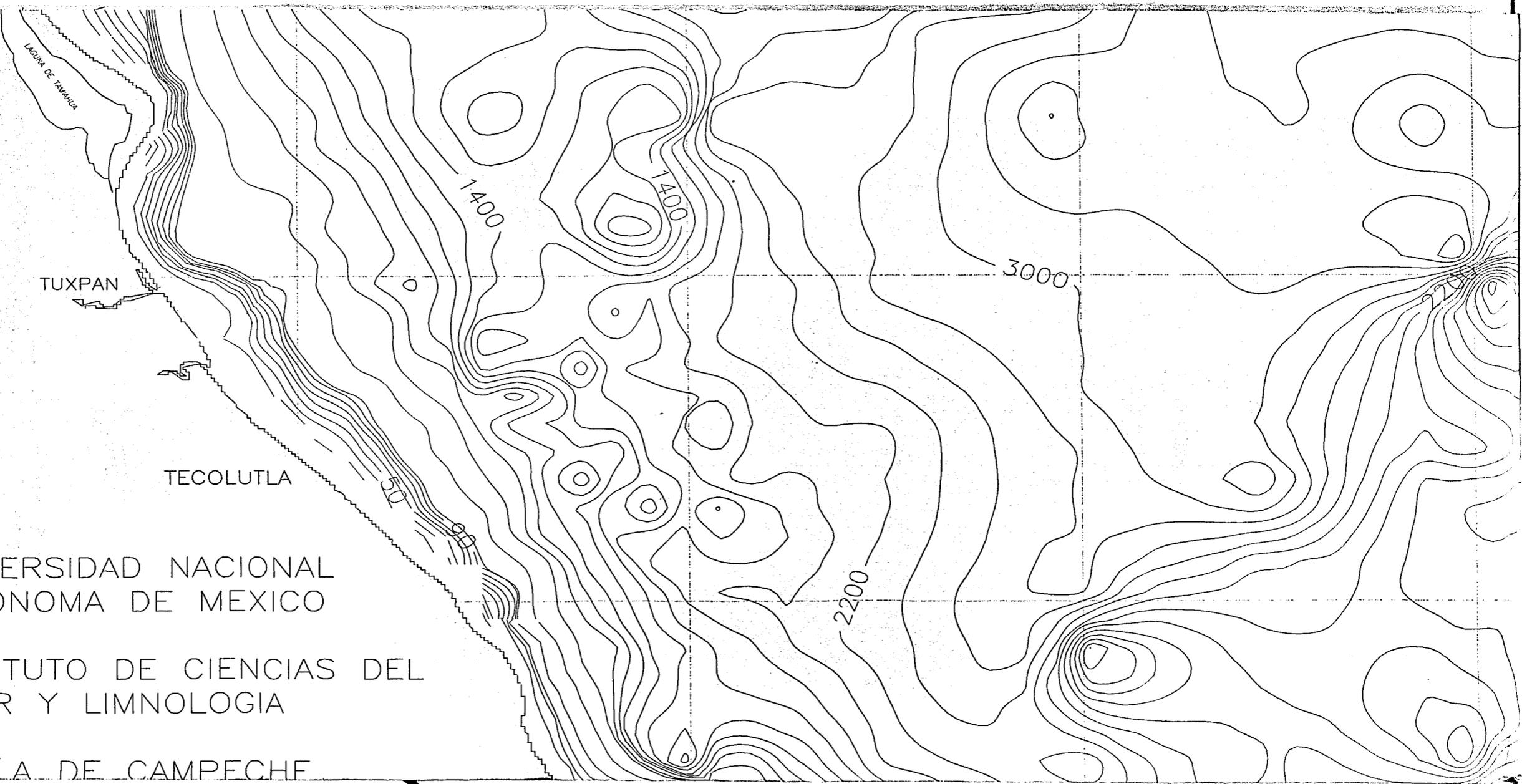


96-

21

ORIGEN

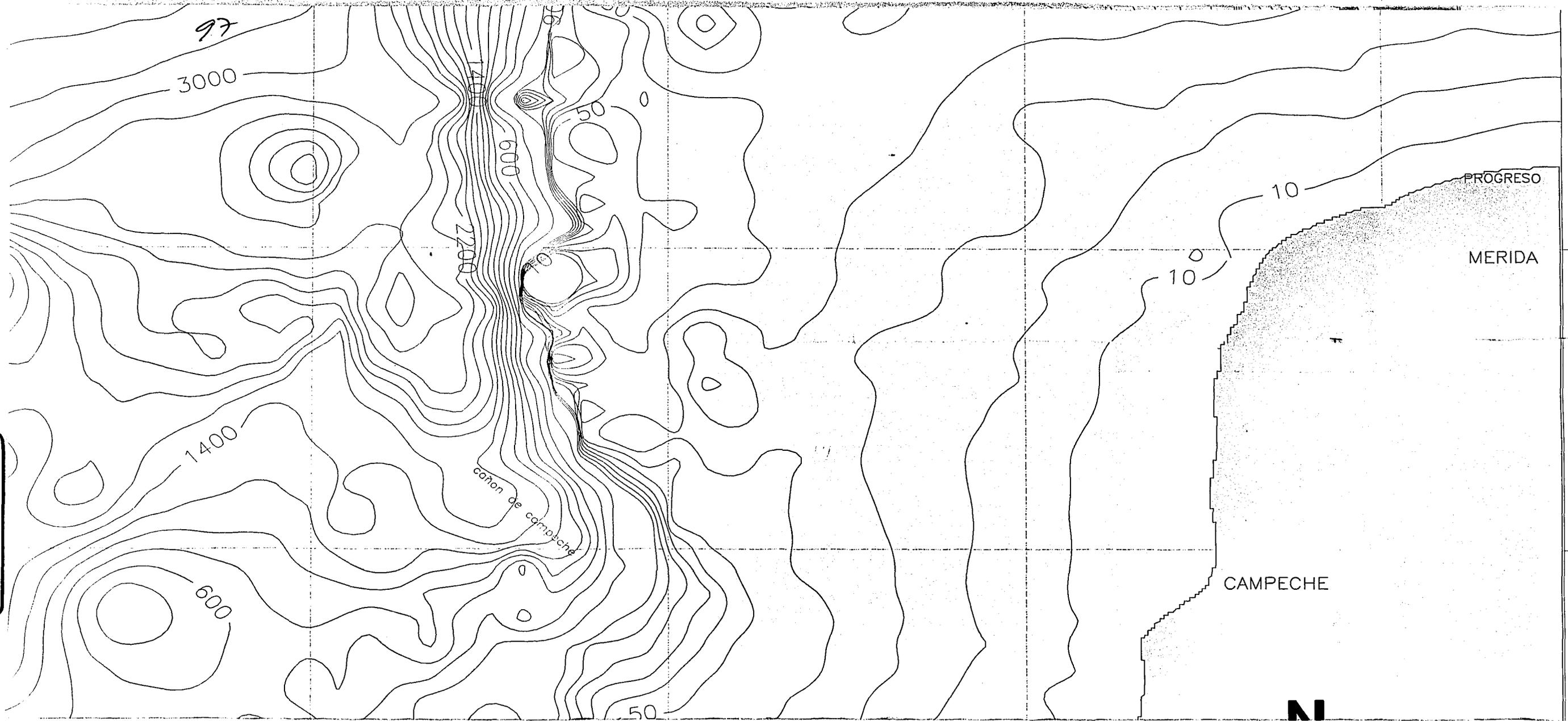
20



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL  
MAR Y LIMNOLOGIA

BAHÍA DE CAMPECHE



(SOTO LA MARINA — PROGRESO)

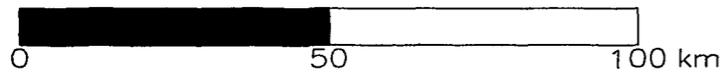
Profundidades en metros

VERACRUZ

19 — Proyección Normal de Mercator

Batimetría

De 0 a 100 m intervalo de contorno de 10 m  
mayores de 100 m intervalo de contorno de 200 m.



MEXICO

COATZACOALCOS

18

98-

97

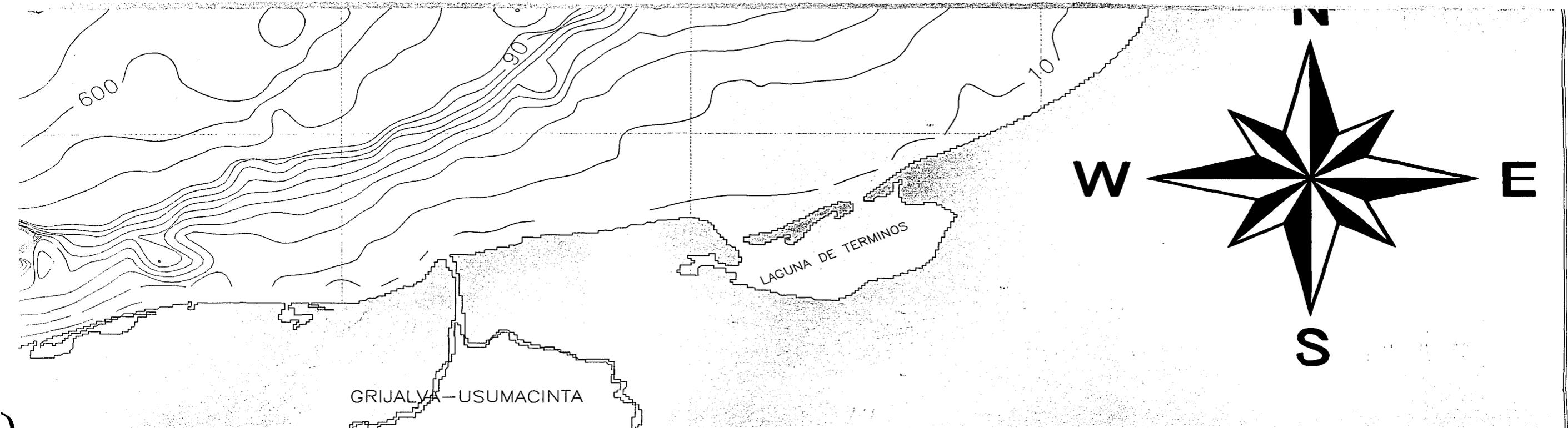
96

95

94

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



99.

93

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

92

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

91

90

ELABORÓ: JESÚS M. TAPIA LOPEZ