



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA  
ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS

" RECONOCIMIENTO OCEANOGRAFICO PARA LA  
INSTALACION DE UN CABLE ELECTRICO  
SUBMARINO, EN LA PARTE CENTRAL DEL  
GOLFO DE CALIFORNIA "

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
O C E A N O L O G O  
PRESENTA  
GABRIEL DELGADO CARBELLIDO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MAYO DE 1985.


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA  
ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS

" RECONOCIMIENTO OCEANOGRAFICO PARA LA  
INSTALACION DE UN CABLE ELECTRICO  
SUBMARINO, EN LA PARTE CENTRAL DEL  
GOLFO DE CALIFORNIA "

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
O C E A N O L O G O  
PRESENTA

GABRIEL DELGADO CARBELLIDO

Ensenada, Baja California, Mayo de 1985.



## R E S U M E N

Debido a la necesidad de fomentar el desarrollo en la Península de Baja California, la Comisión Federal de Electricidad encomendó un estudio para evaluar la factibilidad de instalar un cable eléctrico submarino sobre el fondo del Golfo de California. Dicho estudio se llevó a cabo en el mes de Junio del año de 1982 y durante el trabajo se tomaron datos sobre profundidad, geofísica, sedimentos, corrientes, oleaje, mareas y la columna de agua. Para delimitar el marco físico se utilizó aerofotogrametría y sistemas electrónicos automáticos de posicionamiento y localización en el mar. Los equipos para la obtención de datos geofísicos y oceanográficos fueron aparatos electrónicos con registro en película, cinta magnética y papel. Para la columna de agua se emplearon botellas muestreadoras y un analizador de iones específicos.

Con respecto a la batimetría se encontró que la profundidad máxima en la ruta seleccionada fué cercana a los 625 metros mientras que en la mayor parte de la ruta, la profundidad permanece entre los 200 y 300 metros.

Se detectaron más de 100 fallas en la zona estudiada, además de varios lugares con manifestaciones subterráneas y pocas áreas con sedimentos, generalmente las plataformas y fosas.

Durante el transcurso de los trabajos de campo no se presentaron vientos ni lluvias, por lo que las olas y corrientes registradas no fueron extremas ni representativas de las condiciones generales de la zona. No obstante, las predicciones realizadas indican que las áreas de contacto tierra-mar, tendrán que incluir como ola de diseño, una de 7.5 a 12.7 metros de altura, así como corrientes paralelas a la costa con máximos alrededor de los 6 m/seg. Para aguas profundas se consideró que la velocidad de la corriente cercana al fondo no será mayor de un metro por segundo.

En cuanto a la físico-química no se encontraron valores fuera de los descritos con anterioridad sobre el Golfo, a excepción de las zonas con anomalías localizadas cerca de "El Barril", en la Península.

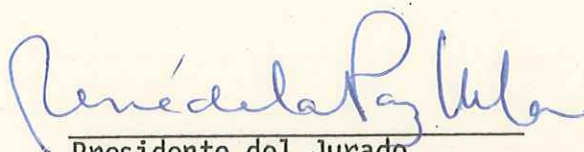
Como conclusión, estimo que la instalación de un cable eléctrico submarino en la parte central del Golfo de California será una empresa sumamente costosa y de alto riesgo, independientemente de que no se cuenta con tecnología nacional suficiente para su ejecución y mantenimiento. Por otra parte, los asentamientos humanos existentes en la Península podrían ser apoyados por plantas termoeléctricas en lugar de proporcionarles energía de la red nacional. Sin embargo, este trabajo ha generado información reciente y más precisa, sobre la zona de transición entre las dos cuencas principales del Golfo, que a su vez es la más estrecha y por ende, de las más complejas.

"RECONOCIMIENTO OCEANOGRAFICO PARA LA  
INSTALACION DE UN CABLE ELECTRICO  
SUBMARINO, EN LA PARTE CENTRAL DEL  
GOLFO DE CALIFORNIA"

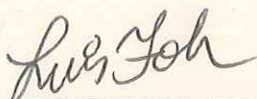
T E S I S  
QUE PRESENTA:

GABRIEL DELGADO CARBELLIDO

Aprobada por:



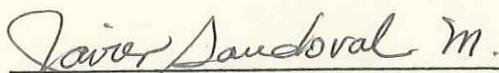
Presidente del Jurado  
Ocean. René de la Paz Vela.



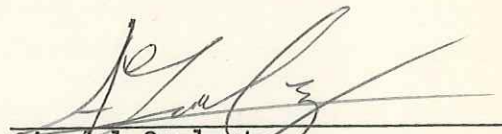
Sinodal Propietario  
M.C. Luis Fok Pun.



Sinodal Propietario  
M.C. René Pinet Plasencia.



Sinodal Suplente  
Oc. Francisco J. Sandoval  
Mayorquin.



Sinodal Suplente  
M.C. Adolfo González Calvillo.

AGRADECIMIENTOS

# C O N T E N I D O

	Página
1. INTRODUCCION.....	1
2. INFORMACION PRELIMINAR.....	3
2.1. Geografía.....	3
2.2. Meteorología.....	6
2.2.1. Vientos.....	6
2.2.2. Temperatura.....	7
2.2.3. Precipitación.....	9
2.2.4. Evaporación.....	14
2.3. Geología.....	17
2.3.1. Evolución del Golfo de California.....	17
2.3.2. Descripción de los Márgenes del Golfo.....	24
2.3.3. Geología Submarina.....	28
2.3.3.1. Batimetría.....	29
2.3.3.2. Afollamiento.....	34
2.3.3.3. Sedimentos.....	38
2.4. Oceanografía.....	44
2.4.1. Corrientes.....	44
2.4.2. Mareas.....	47
2.4.3. Temperatura.....	51
2.4.4. Salinidad.....	55
2.4.5. Oxígeno.....	60
2.4.6. El Potencial de Hidrógeno.....	62
3. PLANEACION DE LA INVESTIGACION.....	64
3.1. Descripción de la Zona de Investigación.....	66
3.2. Zonificación del Area de Estudio.....	70
3.3. Secuencia de Actividades en el Campo.....	72

	Página
4. INSTRUMENTACION Y PROCEDIMIENTOS.....	86
4.1. Apoyo Terrestre.....	86
4.2. Posicionamiento Electrónico.....	87
4.3. Aparatos Oceanográficos.....	88
4.4. Sondeos Acústicos.....	94
4.4.1. Eco-sondeos Batimétricos.....	94
4.4.2. Sondeos Acústicos en el Subsuelo Marino.....	96
4.5. Obtención de Muestras.....	98
4.5.1. Muestreos en la Columna de Agua.....	98
4.5.2. Muestras de Fondo.....	100
4.6. Fotografía Submarina.....	101
5. INFORMACION Y PROCESAMIENTO.....	103
5.1. Aerofotogrametría.....	103
5.2. Geología Submarina.....	103
5.2.1. Sondeos en el Agua.....	103
5.2.2. Sondeos en el Subsuelo Marino.....	105
5.2.3. Muestras del Lecho Marino.....	106
5.3. Meteorología.....	107
5.4. Oceanografía Dinámica.....	112
5.4.1. Corrientes.....	112
5.4.1.1. Diagramas Vectoriales.....	114
5.4.1.2. Componentes de las Corrientes...	114
5.4.1.3. Clasificaciones Estadísticas....	126
5.4.1.4. Modelo de Weibull.....	133
5.4.1.5. Relaciones Teóricas aplicadas pa ra Aguas Someras.....	137
5.4.1.5.1. Corrientes Generadas por el Viento.....	137

	Página
5.4.1.5.2. Corrientes a lo largo de la Costa.....	145
5.4.2. Presión.....	155
5.5. Físico-Química de la Columna de Agua.....	161
6. DESCRIPCIONES E INTERPRETACIONES.....	163
6.1. Aerofotogrametría.....	164
6.2. Geología Submarina.....	166
6.2.1. Aguas Profundas.....	166
6.2.1.1. Batimetría.....	166
6.2.1.2. Afallamiento.....	171
6.2.1.3. Sedimentación.....	174
6.2.2. Aguas Costeras.....	183
6.2.2.1. Zona A, El Barril, B. C.....	183
6.2.2.2. Zona B, Ensenada de la Cruz....	187
6.2.2.3. Zona C, Canal del Infiernillo..	191
6.2.2.4. Zona D, Kino.....	195
6.2.3. Fotografías del Lecho Marino.....	200
6.3. Meteorología.....	213
6.4. Oceanografía Dinámica.....	219
6.4.1. Corrientes.....	219
6.4.1.1. Diagramas de Componentes.....	220
6.4.1.2. Aplicación del Modelo de Weibull	226
6.4.1.3. Corrientes a lo largo de la Cos- ta.....	234
6.5. Físico-Química Marina.....	246
6.5.1. Temperatura.....	246
6.5.2. Salinidad.....	248
6.5.3. Oxígeno Disuelto.....	248
6.5.4. El Potencial de Hidrógeno.....	251

	Página
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	255
7.1. La Ubicación del Cable.....	255
7.2. Consideraciones acerca del Diseño del Cable.....	260
8. LITERATURA DE REFERENCIA.....	263

. INDICE DE FIGURAS

FIGURA Núm. :

- 2.1-1 EL GOLFO DE CALIFORNIA Y AREAS CIRCUNDANTES.
- 2.2-1 TRAYECTORIAS DE LOS HURACANES EN EL NORESTE DEL PACIFICO  
(Roden, 1964)
- 2.2-2 DISTRIBUCION DE LA TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO EN EL MES  
MAS FRIO (GYMSA, 1981)
- 2.2-3 DISTRIBUCION DE LA TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO DEL MES  
MAS CALIENTE (GYMSA, 1981)
- 2.2-4 PORCENTAJE DE LA LLUVIA MAYO - OCTUBRE RESPECTO A LA  
ANUAL (GYMSA, 1981)
- 2.2-5 PORCENTAJE DE LA LLUVIA NOVIEMBRE - ABRIL RESPECTO A  
LA ANUAL (GYMSA, 1981)
- 2.2-6 NUMERO PROMEDIO DE DIAS CON LLUVIA APRECIABLE EN EL AÑO  
(GYMSA, 1981)
- 2.3-1 RECONSTRUCCION DEL PROTO-GOLFO (Normark y Curray, 1968)
- 2.3-2 DESPLAZAMIENTO SEGMENTADO DE LA PENINSULA (Rusnak, Fisher  
y Shepard, 1964)
- 2.3-3 ETAPAS DE FORMACION DEL GOLFO DE CALIFORNIA (Anderson,  
1971)
- 2.3-4 PROVINCIAS GEOLOGICAS QUE LIMITAN AL GOLFO DE CALIFORNIA  
(GYMSA, 1981)
- 2.3-5 BATIMETRIA GENERALIZADA DEL GOLFO DE CALIFORNIA (Bischoff  
y Niemitz, 1980)
- 2.3-6 FOSAS LOCALIZADAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA (Bischoff y  
Niemitz, 1980)

FIGURA Núm.:

- 2.3-7 a. FALLAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA  
b. BLOQUES QUE INTEGRAN EL GOLFO DE CALIFORNIA  
(Rusnak, Fisher y Shepard, 1964)
- 2.3-8 FUENTES DE SEDIMENTOS Y SU DISPERSION DENTRO DEL GOLFO DE CALIFORNIA (Van Andel, 1964)
- 2.4-1 ZONAS DE SURGENCIAS Y FLORECIMIENTO DE PLANCTON EN EL GOLFO DE CALIFORNIA (R.H. Parker, 1964)
- 2.4-2 TOPOGRAFIA DINAMICA DE LA SUPERFICIE DEL GOLFO REFERIDA A LOS 500 DECIBARES. ISOLINEAS EN METROS DINAMICOS. MES DE FEBRERO. (Alvarez - Borrego, 1981)
- 2.4-3 TOPOGRAFIA DINAMICA DE LA SUPERFICIE DEL GOLFO REFERIDA A LOS 500 DECIBARES. ISOLINEAS EN METROS DINAMICOS. MES DE JUNIO. (Alvarez - Borrego, 1981)
- 2.4-4 CORRIENTES PROVOCADAS POR LA MAREA EN EL GOLFO DE CALIFORNIA (Alvarez - Borrego, 1981)
- 2.4-5 MAREAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA (Roden, 1964)
- 2.4-6 DISTRIBUCION VERTICAL DE LA TEMPERATURA A TRAVES DEL GOLFO (Alvarez - Borrego, 1981)
- 2.4-7 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LA TEMPERATURA A UNA PROFUNDIDAD DE 10 m. (Roden, 1964)
- 2.4-8 DISTRIBUCION VERTICAL DE LA SALINIDAD A TRAVES DEL GOLFO (Alvarez - Borrego, 1981)
- 2.4-9 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LA SALINIDAD A UNA PROFUNDIDAD DE 10 m. (Roden, 1964)
- 2.4-10 DISTRIBUCION VERTICAL DEL OXIGENO DISUELTO A TRAVES DEL GOLFO (Alvarez - Borrego, 1981)

FIGURA Núm.:

- 2.4-11 DISTRIBUCION VERTICAL DEL POTENCIAL DE HIDROGENO A TRAVES DEL GOLFO (Alvarez - Borrego, 1981)
- 3.1-1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.
- 3.2-1 ZONIFICACION DEL AREA DE ESTUDIO.
- 3.3-1 LOCALIZACION DE VERTICES Y LINEAS DE BASE.
- 3.3-2 LOCALIZACION DE LAS LINEAS DE SONDEO Y ESTACIONES ESCOGIDAS EN AGUAS PROFUNDAS.
- 3.3-3 LOCALIZACION DE LAS LINEAS DE SONDEO Y ESTACIONES ESCOGIDAS EN LA ZONA A.
- 3.3-4 LOCALIZACION DE LAS LINEAS DE SONDEO Y ESTACIONES ESCOGIDAS EN LA ZONA B.
- 3.3-5 LOCALIZACION DE LAS LINEAS DE SONDEO Y ESTACIONES ESCOGIDAS EN LA ZONA C.
- 3.3-6 LOCALIZACION DE LAS LINEAS DE SONDEO Y ESTACIONES ESCOGIDAS EN LA ZONA D.
- 4.3-1 INSTALACION Y ANCLAJE TIPICO DE LOS SENSORES OCEANOGRAFICOS.
- 5.3-1 TRAYECTORIAS TIPICAS DE HURACANES QUE HAN AFECTADO LA ZONA DE ESTUDIO.
- 5.4-1 DIAGRAMA VECTORIAL DE LA CORRIENTE MEDIDA EN LA ESTACION B-1.
- 5.4-2 VELOCIDADES MAXIMAS CERCA DEL FONDO, BAJO LA CRESTA DE LA OLA, SEGUN VARIAS TEORIAS.
- 5.4-3 FLUCTUACIONES EN EL NIVEL DEL MAR PARA EL 14 DE JUNIO DE 1982 EN LA ESTACION B-1.

FIGURA Núm. :

- 6.1-1 LOCALIZACION DEL TRAZO TERRESTRE SOBRE LA ISLA TIBURON.
- 6.2-1 BATIMETRIA GENERALIZADA DE LA ZONA DE ESTUDIO.
- 6.2-2 PERFILES BATIMETRICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.
- 6.2-3 AFALLAMIENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO.
- 6.2-4 FRECUENCIA DIRECCIONAL DE LAS FALLAS ENCONTRADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.
- 6.2-5 SEDIMENTOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.
- 6.2-6 CORTE GEOLOGICO "EL BARRIL, B.C. - PUNTA IGNACIO, SON."
- 6.2-7 BATIMETRIA DE LA ZONA A.
- 6.2-8 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LA ZONA A.
- 6.2-9 BATIMETRIA DE LA ZONA B.
- 6.2-10 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LA ZONA B.
- 6.2-11 BATIMETRIA DE LA ZONA C.
- 6.2-12 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LA ZONA C.
- 6.2-13 BATIMETRIA DE LA ZONA D.
- 6.2-14 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LA ZONA D.
- 6.3-1 HURACAN KATRINA DURANTE EL 31 DE AGOSTO DE 1967.
- 6.3-2 HURACAN KATRINA DURANTE EL 1o. DE SEPTIEMBRE DE 1967.
- 6.3-3 CONDICIONES METEOROLOGICAS A INTERVALOS DE 6 HORAS DURANTE EL PASO DEL HURACAN KATRINA.

FIGURA Núm. :

- 6.4-1 VARIACION TEMPORAL DE LA COMPONENTE ESTE, PARA LAS CORRIENTES EN LA ESTACION B-1. JUNIO 10 A 16 DE 1982.
- 6.4-2 VARIACION TEMPORAL DE LA COMPONENTE ESTE PARA LAS CORRIENTES EN LA ESTACION B-1. JUNIO 10 A 16 DE 1982.
- 6.4-3 VARIACION TEMPORAL DE LA COMPONENTE NORTE PARA LAS CORRIENTES EN LA ESTACION B-1. JUNIO 10 A 16 DE 1982.
- 6.4-4 VARIACION TEMPORAL DE LA COMPONENTE NORTE PARA LAS CORRIENTES EN LA ESTACION B-1. JUNIO 10 A 16 DE 1982.
- 6.4-5 AJUSTE OCULAR DE LOS DATOS EMPIRICOS; ESTACION C-5.
- 6.4-6 AJUSTE OCULAR DE LOS DATOS EMPIRICOS; ESTACION B-1.
- 6.4-7 COMPONENTES A LO LARGO DE LA COSTA DE LAS CORRIENTES MAXIMAS CALCULADAS PARA LA ZONA A.
- 6.4-8 COMPONENTES A LO LARGO DE LA COSTA DE LAS CORRIENTES MAXIMAS CALCULADAS PARA LA ZONA B.
- 6.4-9 COMPONENTES A LO LARGO DE LA COSTA DE LAS CORRIENTES MAXIMAS CALCULADAS PARA LA ZONA D.
- 6.5-1 TEMPERATURA EN LA ZONA DE STUDIO.
- 6.5-2 SALINIDAD EN LA ZONA DE ESTUDIO.
- 6.5-3 OXIGENO DISUELTO EN LA ZONA DE ESTUDIO.
- 6.5-4 POTENCIAL DE HIDROGENO EN LA ZONA DE ESTUDIO.
- 6.5-5 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD.
- 7-1 POSIBLES RUTAS PARA EL CABLE ELECTRICO.

## INDICE DE TABLAS

### TABLA Núm.:

- 2.3-1      ALGUNOS DE LOS RASGOS MAS IMPORTANTES DE LAS FOSAS ENCON-  
            TRADAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA.
- 2.3-2      GENESIS DE LOS SEDIMENTOS MARINOS.
- 3.3-1      COORDENADAS UTM Y GEOGRAFICAS DE LOS VERTICES DE LA POLI-  
            GONAL DE REFERENCIA.
- 3.3-2      LINEAS DE BASE PARA POSICIONAMIENTO.
- 3.3-3      LINEAS DE SONDEO LEVANTADAS POR ZONA.
- 3.3-4      RESUMEN DE ACTIVIDADES POR ESTACION Y ZONA.
- 3.3.-5     COORDENADAS UTM Y GEOGRAFICAS DE LAS ESTACIONES SELECCIO-  
            NADAS PARA EL ESTUDIO EN AGUAS COSTERAS Y PROFUNDAS.
- 5.4-1      CONSTITUYENTES ARMONICOS PARA EL ANALISIS DE LOS REGISTROS  
            DE CORRIENTES.
- 5.4-2      RESULTADO DEL ANALISIS DE LAS CORRIENTES IMPULSADAS POR LA  
            MAREA.
- 5.4-3      CORRIENTE MAXIMA ENCONTRADA EN CADA DIA DE MEDICION EN LA  
            ESTACION B-1.
- 5.4-4      CORRIENTE MAXIMA ENCONTRADA EN CADA DIA DE MEDICION EN LA  
            ESTACION C-5.
- 5.4-5      PORCENTAJE DE LA FRECUENCIA EN OCURRENCIA DE LA RAPIDEZ  
            DE LA CORRIENTE VERSUS DIRECCION. ESTACION III-1.
- 5.4-6      PORCENTAJE DE LA FRECUENCIA EN OCURRENCIA DE LA CORRIENTE  
            VERSUS DIRECCION. ESTACION B-1.
- 5.4-7      PORCENTAJE DE LA FRECUENCIA EN OCURRENCIA DE LA CORRIENTE  
            VERSUS DIRECCION. ESTACION C-5.

TABLA Núm. :

- 5.4-8           ERRORES INTRODUCIDOS AL APROXIMAR LA TANGENTE HIPERBOLICA, (ver ecuacion 5.4-38).
- 5.4-9           VALORES DE Q y P EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD Y EL ANGULO DE INCIDENCIA DEL VIENTO.
- 5.4-10          TEORIAS DE OLEAJE Y SUS ZONAS DE VALIDEZ.
- 5.4-11          RELACIONES BASE ENTRE PRESION Y PROFUNDIDAD.
- 5.4-12          ESPECTRO DIARIO DE ELEVACIONES SUPERFICIALES DEBIDAS AL OLEAJE.
- 5.5-1           RESUMEN DE CONDICIONES FISICO-QUIMICAS POR ZONA Y ESTACION.
- 6.3-1           VALORES BASE PARA EL MODELO DE EVALUACION DE OLAS GENERADAS POR KATRINA (Bretschneider, 1972)
- 6.3-2           PREDICCION DE LAS CARACTERISTICAS DEL OLEAJE GENERADO POR LA TORMENTA DADA, CON EL MODELO DE BRETSCHNEIDER (1972).
- 6.4-1           VALORES DE q (Estación C-5).
- 6.4-2           DATOS BASE PARA EL AJUSTE TIPO WEIBULL EN LA ESTACION C-5.
- 6.4-3           TIEMPO PROBABLE DE RECURRENCIA.
- 6.4-4           DATOS BASE PARA EL AJUSTE TIPO WEIBULL EN LA ESTACION B-1.
- 6.4-5           VALORES DE q (Estación B-1).
- 6.4-6           TIEMPO PROBABLE DE RECURRENCIA...
- 6.4-7           CORRIENTES A LO LARGO DE LA COSTA; PARA DIFERENTES CONDICIONES Y ANGULO DE INCIDENCIA IGUAL A 60°.
- 6.4-8           CORRIENTES A LO LARGO DE LA COSTA; PARA DIFERENTES CONDICIONES Y ANGULO DE INCIDENCIA IGUAL A 45°.

TABLA Núm. :

6.4-9           CORRIENTES A LO LARGO DE LA COSTA; PARA DIFERENTES CONDI-  
CIONES Y ANGULO DE INCIDENCIA IGUAL A 22.5°.

6.4-10          CORRIENTES A LO LARGO DE LA COSTA; PARA DIFERENTES CONDI-  
CIONES Y ANGULO DE INCIDENCIA IGUAL A 0°.

## 1. INTRODUCCION.

En la Península de Baja California se observa un proceso acelerado en el desarrollo poblacional, el cual se encuentra ligado a un rápido incremento en muchas de las actividades productivas. Esto trae como consecuencia una demanda creciente de energía eléctrica. Con el objeto de satisfacer dicha demanda, la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) contempló con más detenimiento la posibilidad de conectar a la Península de Baja California con la red nacional de energía eléctrica. Con esta idea se analizaron las rutas que podrían servir para conducir el fluido eléctrico, estimándose que por medio de un cable submarino la distancia se acortaba considerablemente. Entre las opciones presentadas ante la C. F. E., ésta escogió una zona en la parte central del Golfo para aprovechar las islas que ahí se encuentran y encomendó a la compañía GYMSA, los estudios requeridos para el trazo de la ruta terrestre y submarina de un cable eléctrico, desde un lugar cercano a Bahía Kino en Sonora hasta un lugar entre Punta San Gabriel y Punta San Miguel, en la margen peninsular.

El autor tuvo la oportunidad de participar en el estudio desde su fase de planeación hasta su ejecución y presentación. Los objetivos planteados al tener la facilidad de intervenir en un proyecto de esta envergadura fueron muchos, no obstante los más importantes se refieren al conocimiento de la "Cintura del Golfo", la cual presenta características oceanográficas únicas debido a su fisiografía y posición geográfica. Por otra parte, esta zona del Golfo nunca había sido estudiada con el detalle con que se investigó en esta ocasión, lo cual representa una aportación de información nueva en unos aspectos y actualizada en otros. Durante la fase de recopilación y planeación de las actividades colaboró activamente, en el campo tuvo a su cargo toda la operación así como la toma de decisiones. En gabinete intervino en el procesamiento y elaboró este documento bajo la supervisión y asesoría de los técnicos que intervinieron en la realización de este trabajo.

Como un primer paso en la planeación logística de los estudios terrestres y marinos, se efectuó una recopilación y síntesis de la información bibliográfica accesible. Los resultados se exponen en la presente tesis, dentro del Capítulo de Información Preliminar que consta de cuatro secciones en las que se define a grandes rasgos el marco regional del Golfo de California. El siguiente Capítulo, Planeación de la Investigación cuenta con tres secciones que profundizan en la información disponible y describen la parte más estrecha del Golfo, separándola por zonas para detallar las actividades a realizar en cada una.

El Capítulo cuarto, Instrumentación y Procedimientos describe en sus seis secciones, cada uno de los aparatos empleados durante las diversas fases del estudio, así como los métodos de operación.

El Capítulo quinto, Información y Procesamiento, que cuenta con cinco secciones, contiene una descripción de la información obtenida así como la teoría involucrada en su procesamiento e interpretación.

En el Capítulo sexto, Descripciones e Interpretaciones, se exponen los resultados obtenidos con el procesamiento y algunas interpretaciones efectuadas a partir de lo anterior.

Los últimos dos Capítulos contienen las Conclusiones del estudio y la Bibliografía que sirvió de base.

## 2. INFORMACION PRELIMINAR.

### 2.1. GEOGRAFIA

El Golfo de California se encuentra situado entre los paralelos 20° y 32° N y los meridianos 105° y 115° W. Colinda al Norte con los estados de Baja California Norte y Sonora, al Sur con el Océano Pacífico, al Oeste con los estados de Baja California Norte y Sur y al Este con los estados de Sonora y Sinaloa.

Tiene una longitud aproximada de 1 100 Km. y una anchura media de 160 Km. Contiene alrededor de 50 islas, de las cuales las más grandes son, de Norte a Sur: *Angel de la Guarda, Tiburón, San Lorenzo, San Esteban, San Marcos, El Carmen, Santa Catalina, San José, Espíritu Santo y Cerralvo.*

La margen Occidental es árida y presenta series de escarpes con diferente elevación. Solo el río Colorado desemboca en su porción Norte. Las playas son pequeñas, arenosas y generalmente cubiertas con médanos. Sus principales bahías son: *San Felipe, San Luis Gonzaga, De los Angeles, De las Animas, Concepción y La Paz*, ver figura 2.1-1.

Prolongándose a partir de la Sierra Nevada en los Estados Unidos, se encuentra una serie de macizos montañosos que corren a todo lo largo de la Península de Baja California e interfieren en la climatología del Golfo. Las sierras más importantes son las de *Juárez, San Pedro Mártir, Santa Isabel, La Asamblea, San Borja, Las Vírgenes, Santa Lucía y *La Giganta.**

La margen Oriental está formada, en más de un 60% por planicies desérticas y semidesérticas con elevaciones menores

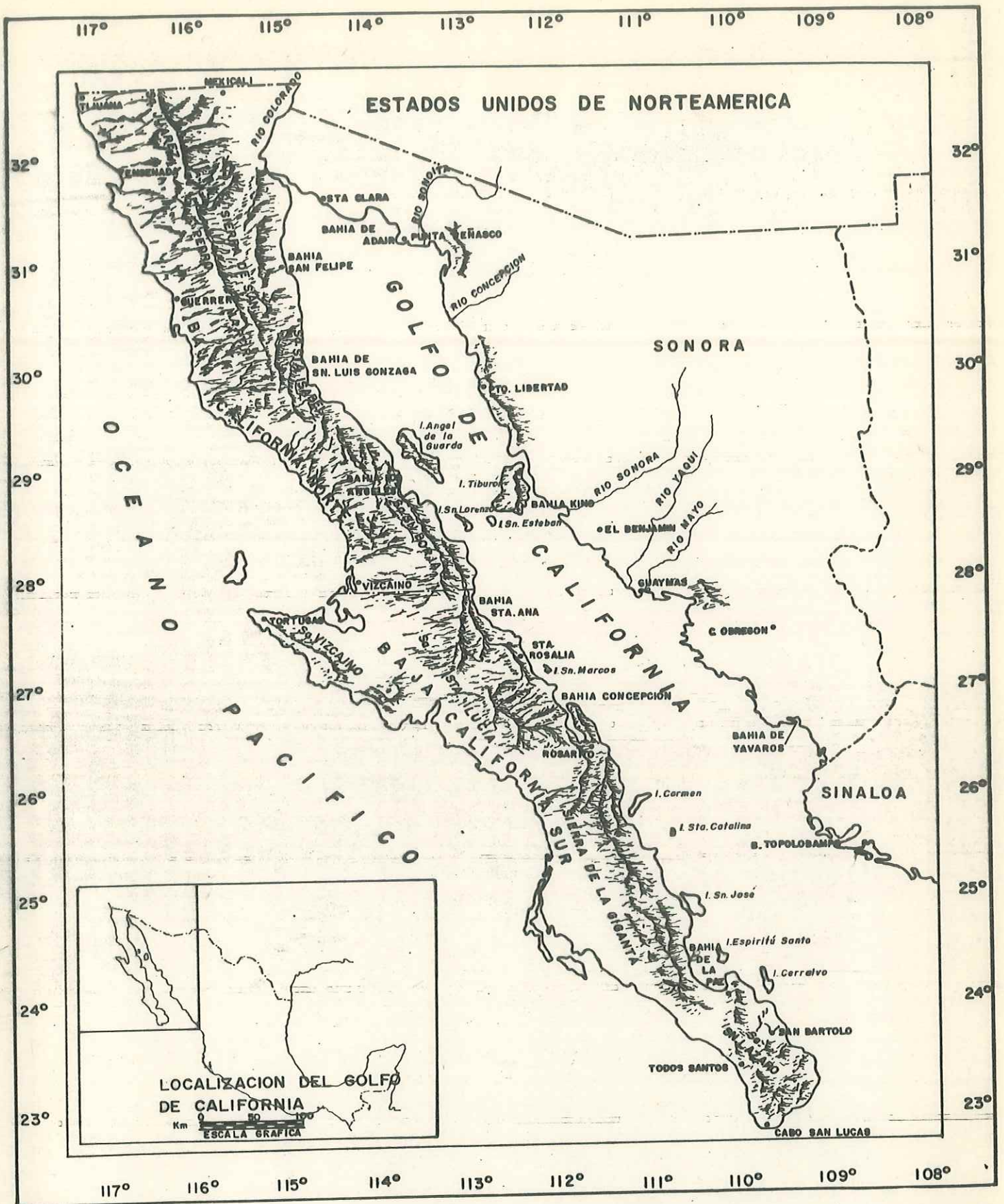


FIG. 2.1-1  
EL GOLFO DE CALIFORNIA Y  
AREAS CIRCUNDANTES.

a los 1 000 metros. Hacia el Sur se encuentra una llanura con máxima anchura en su parte Norte; con frecuentes manglares, extensos esteros y con abundantes palmeras en playas arenosas.

En ella desembocan 12 ríos principales de los que 11 se encuentran en Sinaloa. De Norte a Sur son: *Sonoita, Concepción, Sonora, Yaqui, Mayo, Del Fuerte, Sinaloa, Mocorito, Culiacán, San Lorenzo, Elota y Piaxtla*. Entre las numerosas configuraciones de la costa sobresalen las bahías *De Adair, San Jorge, Kino, Guaymas y Yavaros, San Ignacio, Topolobampo, Navachiste y San Carlos*.

## 2.2. METEOROLOGIA

Debido a la cadena montañosa que se encuentra en la Península de Baja California, el efecto moderativo del Océano Pacífico no se presenta en el Golfo. De aquí que su clima sea más bien continental que oceánico. Funciona como una gran cuenca de evaporación conectada al Sur con el Pacífico.

### 2.2.1. VIENTOS

De acuerdo con Roden (1964), los vientos en el Golfo de California son muy variables tanto en dirección como en rapidez. En la zona costera prevalece el régimen de brisas, con vientos provenientes del mar hacia la costa que alcanzan una rapidez de hasta 5 y 7 m/seg. al atardecer y se extinguen generalmente después de la puesta del sol. Los vientos de la tierra hacia el mar son más débiles y por lo general no exceden de los 2 m/seg.

Por otra parte sobre las aguas profundas, mar adentro en el Golfo, dominan desde el mes de noviembre hasta el mes de mayo, los vientos que vienen del Noroeste. En ocasiones estos vientos pueden convertirse en tempestades de fuerza moderada y duración de dos a tres días; exceptuando los del canal de Ballenas, limitado por parte de las montañas de la Península y las altas laderas de la isla Angel de la Guarda, donde los vientos pueden ser tan fuertes que la navegación queda ocasionalmente interrumpida.

Durante el resto del año, de junio a octubre, dominan los vientos contrarios del Sureste, que pueden venir acompañados con chubascos de corta duración que alcan

zan una rapidez entre 12 y 19 m/seg.; o bien huracanes que llegan hasta las islas de la Cintura del Golfo (figura 2.2-1). No obstante, algunos más fuertes penetran hasta Arizona y en su paso, han ocasionado considerables daños en lugares como Mazatlán, Manzanillo y San Felipe. Incluso hubo cientos de muertos debido al huracán "Liza", que alcanzó La Paz en octubre de 1976.

### 2.2.2. TEMPERATURA

Debido a la fuerte influencia del Continente sobre el clima del Golfo, se presentan comparativamente grandes rangos de temperatura, tanto diurnos como anuales, (Hernández, 1923 citado por Roden, 1964).

En la parte Norte se encuentran frecuentemente masas de aire caliente y seco, que se originan en las áreas desérticas adyacentes, mientras que en la parte Sur predomina más bien la interacción con el Océano Pacífico.

Roden (1964), basándose en datos de Page (1930) y Ward junto con Brooks (1936), elaboró un sumario de la distribución espacial de la temperatura del aire sobre el Golfo y áreas adyacentes. En invierno se presenta un gradiente negativo hacia el interior del Golfo, con pequeñas diferencias entre las costas Este y Oeste de la Península. También se observa que la margen izquierda del Golfo es algo más cálida que la derecha.

En el verano hay poco aumento térmico hacia el Norte del Golfo y las diferencias entre las costas de la Península son grandes, en ocasiones excediendo los 10°C,

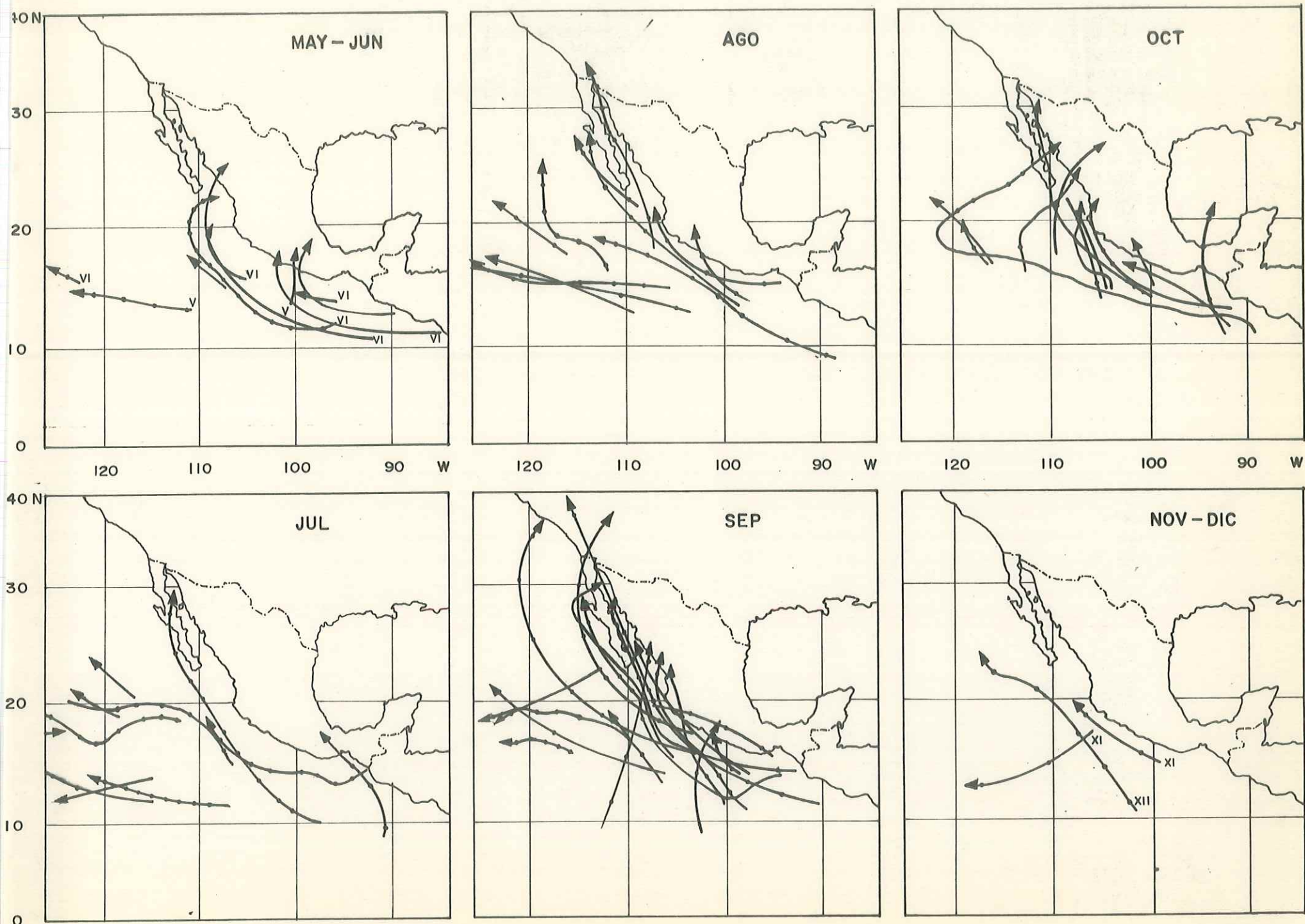


FIG. 2.2-1 TRAYECTORIAS DE LOS HURACANES EN EL NORESTE DEL PACIFICO. (RODEN, 1964)

mientras las márgenes del Golfo se mantienen con poca variación.

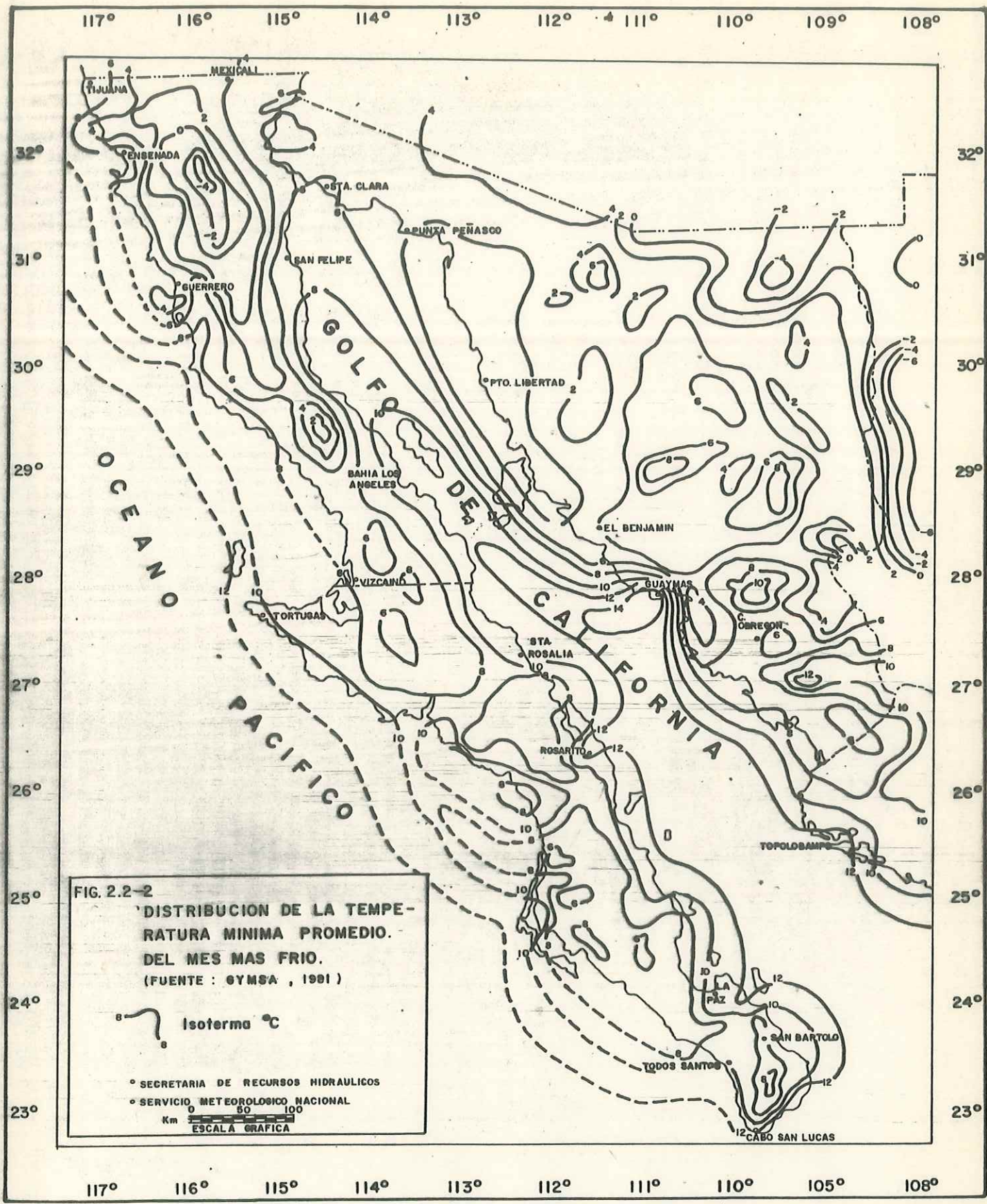
Una distribución de la temperatura mínima promedio en el mes más frío se muestra en la figura 2.2-2. En ella se nota que el Golfo se divide en dos partes. En el Norte, desde la desembocadura del río Colorado hasta la altura de Santa Rosalía y Guaymas, la temperatura aumenta de 6 a 12°C, con un máximo local en Guaymas. De ahí al Sur, la temperatura se mantiene alrededor de los 12°C sobre las aguas.

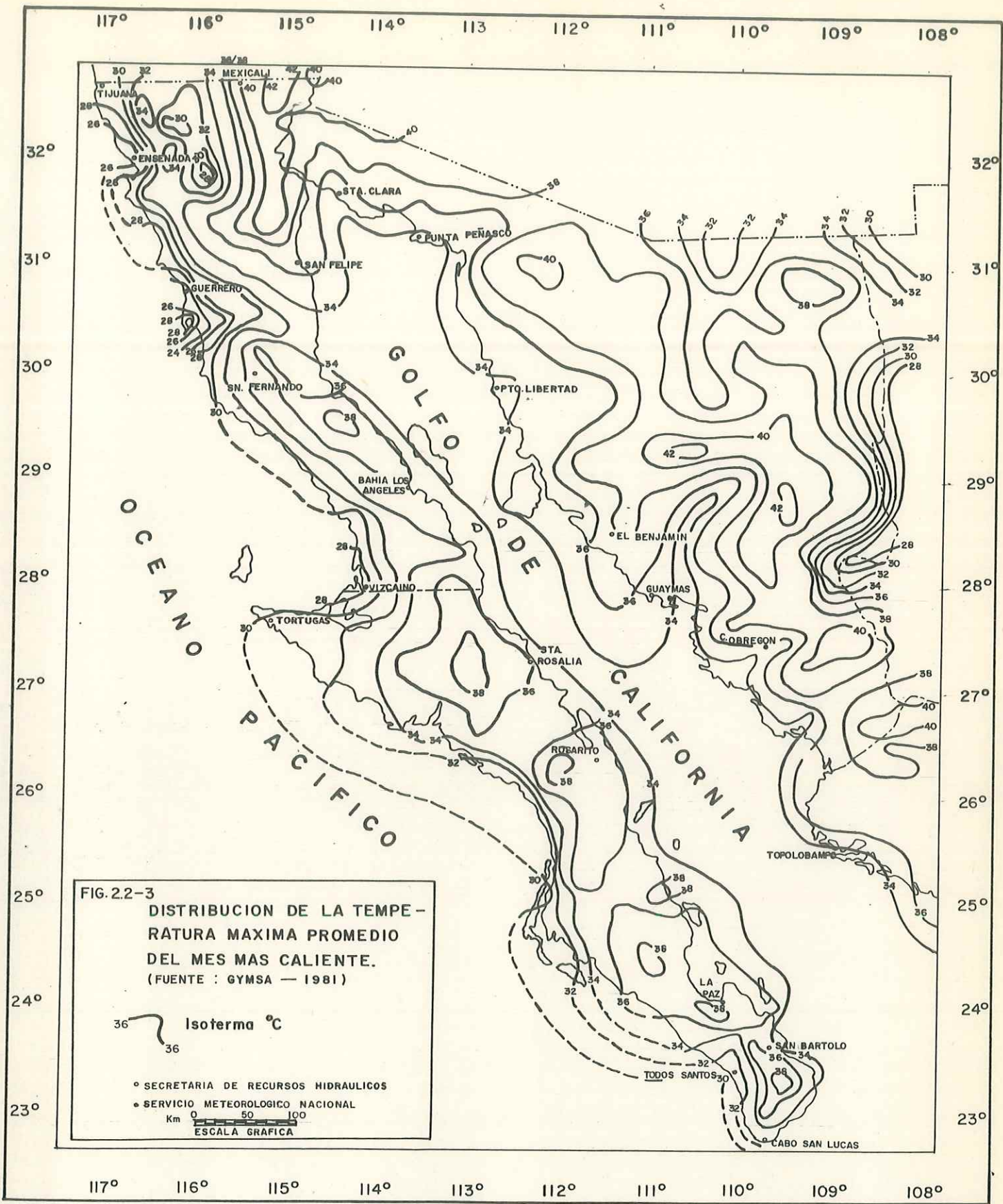
Una distribución de la temperatura máxima promedio en el mes más cálido se muestra en la figura 2.2-3. En ella se observa que la división encontrada en el mes más frío no se presenta. Más bien, la temperatura se mantiene uniforme en la mayor parte del Golfo, alrededor de los 34°C, teniendo un máximo local entre los 36 y 38°C sobre la desembocadura del río Colorado.

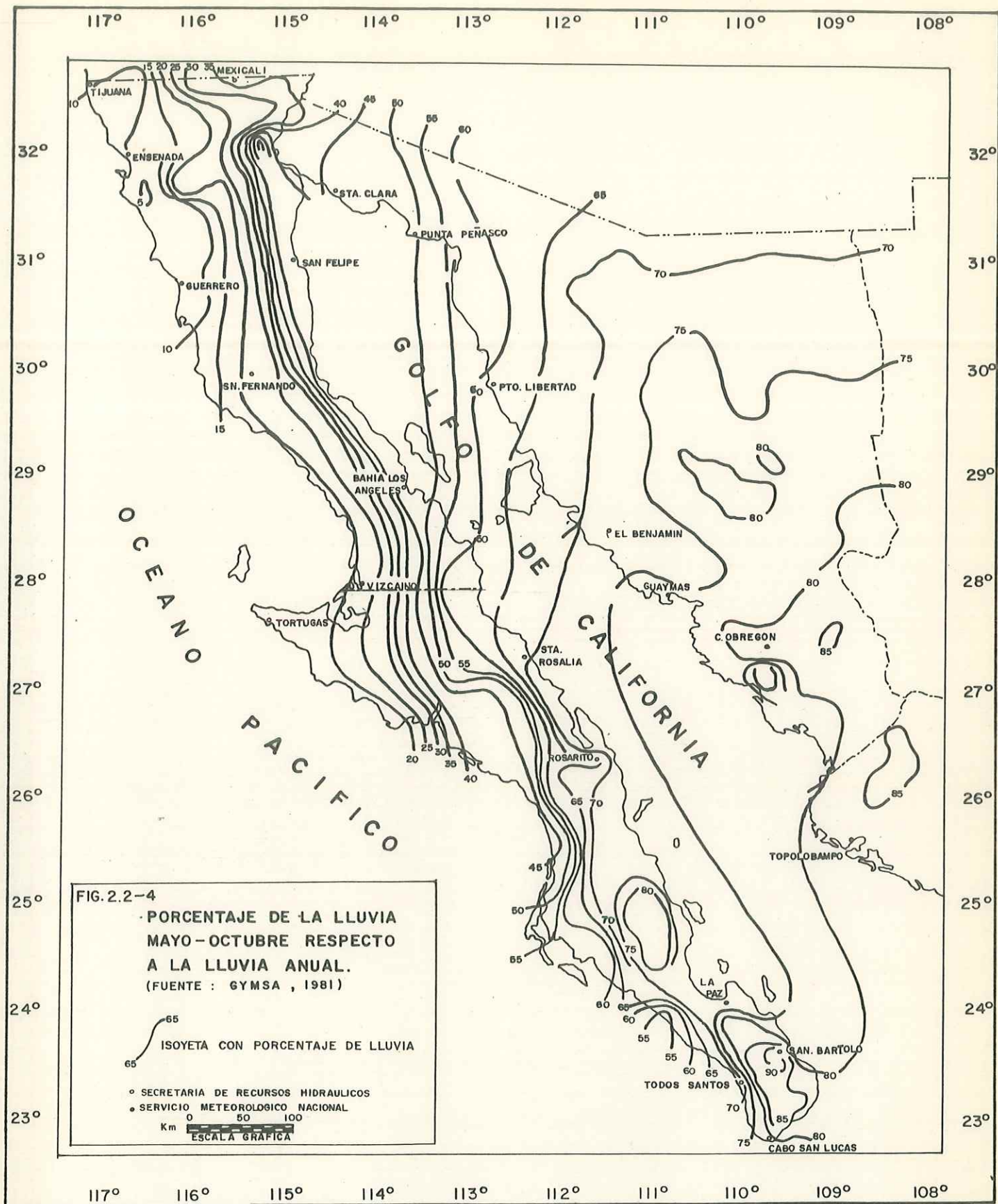
### 2.2.3. PRECIPITACION

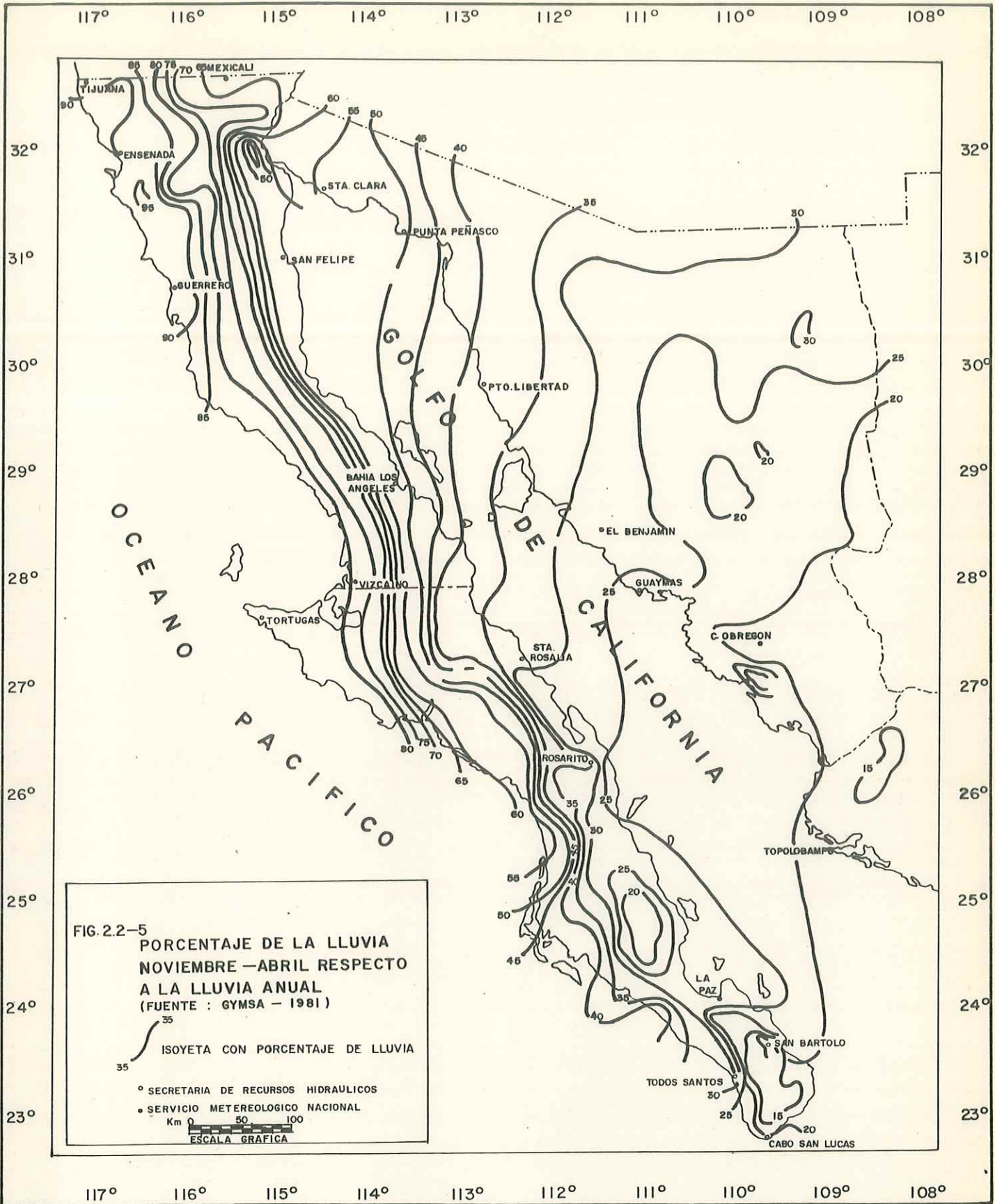
Las lluvias sobre el Golfo obedecen principalmente a dos tipos de perturbaciones atmosféricas, las cuales dominan durante una mitad del año cada una. De mayo a octubre se presenta la influencia de los ciclones que se originan frente a las costas de América Central y se desplazan hacia el Norte. Estos son los causantes de la variación tan grande que existe año con año. En esta temporada, la precipitación es mayor en la porción Sur del Golfo así como en su margen continental (ver figura 2.2-4).

En invierno, las masas de aire frío procedentes del Norte tienen menor efecto que las tormentas tropicales, sin embargo invierten el esquema de lluvias (ver fig. 2.2-5).









Se provoca una precipitación mayor en la mitad Norte con respecto a la del Sur y se aumentan las lluvias en la margen peninsular comparadas a aquellas del lado continental.

Con respecto al ciclo anual de lluvias podemos observar que el número de días con lluvia apreciable (más de 0.1 mm. al día) durante el año presenta un aumento de Norte a Sur. En la margen izquierda, en su parte Norte, oscila entre números menores que 10 y en la parte Sur entre menos de 10 y un poco más de 20. La costa continental al Norte muestra entre menos de 10 hasta 20 días, mientras que en el Sur va desde más de 20 hasta más de 50 días al año (ver figura 2.2-6).

#### 2.2.4. EVAPORACION

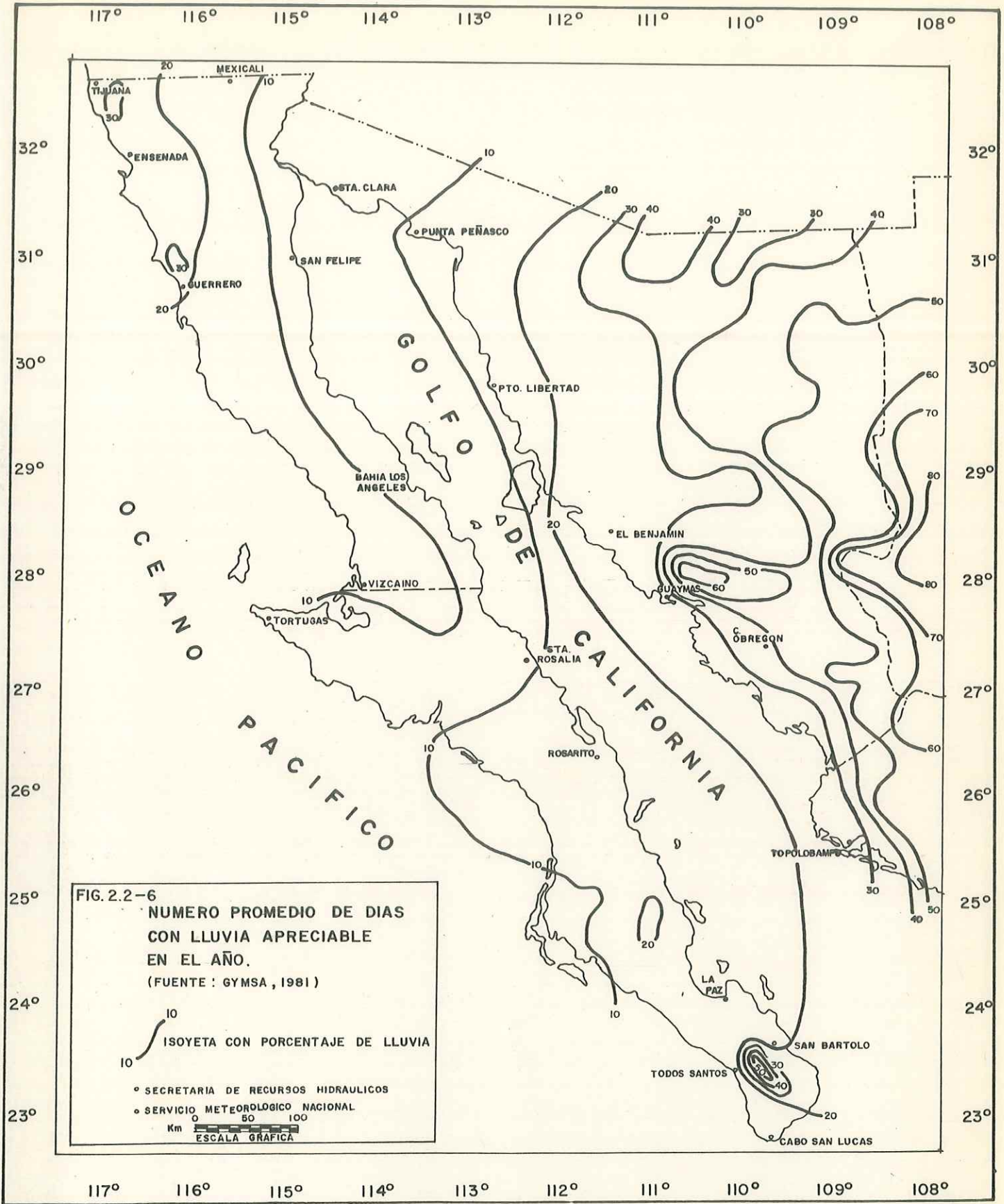
Debido a que el aporte de agua dulce al Golfo está muy limitado, se puede considerar que es una gran cuenca de evaporación, con máxima evaporación en el verano y mínima en el invierno.

Roden (1964), estimó la evaporación de la superficie del mar sólo en la porción Sur puesto que la advección del aire desértico en la parte Norte es considerable. La ecuación utilizada para el cálculo fué:

$$2.2-1 \quad E = K \Delta e V$$

Donde:

- E = Evaporación (cm/día).
- K = Factor de proporcionalidad (0.011)
- $\Delta e$  - La diferencia entre las presiones de vapor en la superficie del mar y el aire encima de él. (mB)



**FIG. 2.2-6**  
**NUMERO PROMEDIO DE DIAS**  
**CON LLUVIA APRECIABLE**  
**EN EL AÑO.**  
 (FUENTE : GYMSA , 1981 )

10  
 10  
 ISOYETA CON PORCENTAJE DE LLUVIA

• SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS  
 • SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

Km 0 50 100  
 ESCALA GRAFICA

$V$  = Rapidez del viento (m/seg).

Con esta ecuación se calculó un valor aproximado de 128 cm/año, aplicando un valor de  $V$  promedio anual igual a 4 m/seg.

Para la sección Norte del Golfo no se cuenta con suficiente información sobre este proceso.

## 2.3. GEOLOGIA

### 2.3.1. EVOLUCION DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Durante el transcurso del tiempo se han propuesto diversas hipótesis para explicar el origen del Golfo.

La compleja geología de la provincia estructural a la que pertenece ha sido investigada con métodos modernos, desde el inicio de los años cuarenta, apoyándose en los conceptos de la tectónica de placas y la teoría de la Deriva Continental postulada por el meteorólogo alemán Alfred Wegener en el año de 1912.

Las primeras noticias acerca de su existencia datan de 1524, cuando Hernán Cortés reportó al Rey de España en su carta número cuatro, la existencia de una isla (La Península de Baja California), en 1535 navegó él mismo hasta el área de la Bahía de La Paz, (León Portilla, 1972). Finalmente, en 1539, Francisco de Ulloa circunnavegó el Golfo y lo llamó el Mar Bermejo. El primer crucero oceanográfico lo realizó el barco de vapor llamado Albatros en 1889. (Townsend, 1901). Cincuenta años después la investigación moderna del Golfo inicia a bordo del crucero E.W. Scripps en el año de 1939.

Shepard (1950), concluye que la topografía del Golfo se debe principalmente a una serie de afallamientos en Zig-Zag. Más tarde R.P. Phillips (1964) y J. C. Harrison y S.P. Marthur (1964) deducen, mediante datos de sísmica y gravimetría, que el fondo del Golfo de California se constituye por materiales de carácter oceánico. Dada la vecindad de la falla de San Andrés

con el inicio del Golfo de California, Hamilton (1961) sugiere que esta falla debería de continuar dentro del Golfo. Kovach (1962) comprueba mediante estudios geofísicos que dicha falla penetra en el Golfo como un sistema de fallas dispuestas en echelón. Rusnak, Fisher y Shepard (1964) utilizan la batimetría para corroborar la existencia de un sistema de fallas con rumbo Noroeste puesto que los límites abruptos de las fosas profundas encontradas, muestran un marcado patrón en Zig-Zag. Morgan (1968) opina que una de estas direcciones preferenciales representa trazas de las fallas transformes con rumbo Noroeste, mientras que la otra, delineada por Rusnak, tiene una orientación principal Norte-Sur. Sykes (1968) sugiere que las fallas tensionales, que separan a las fallas en echelón, pueden ser centros de dispersión. En el mismo año Moore y Buffington (1968) indican la existencia de un llamado Proto-Golfo presente hace cuatro millones de años, antes de iniciarse el proceso de separación.

Normark y Curray (1968) hicieron una reconstrucción de la posición que ocupaba la Península antes de que empezara su deriva, cerrando las distancias a lo largo de las estructuras Noroeste, con criterios topográficos, geológicos y geofísicos. Ellos concluyeron que, con anterioridad al desplazamiento ocurrido durante el Plioceno Superior, existía un antiguo Golfo, denominado Proto-Golfo. Basándose en datos batimétricos, presentaron una reconstrucción que muestra el desplazamiento segmentado de la Península, con movimientos que fluctúan entre 150 y 250 Km., ver figura 2.3-1.

Según Rusnak y Fisher (1964), los primeros estadios evolutivos del Golfo de California iniciaron con el combamiento paulativo del margen prebatolítico conti-

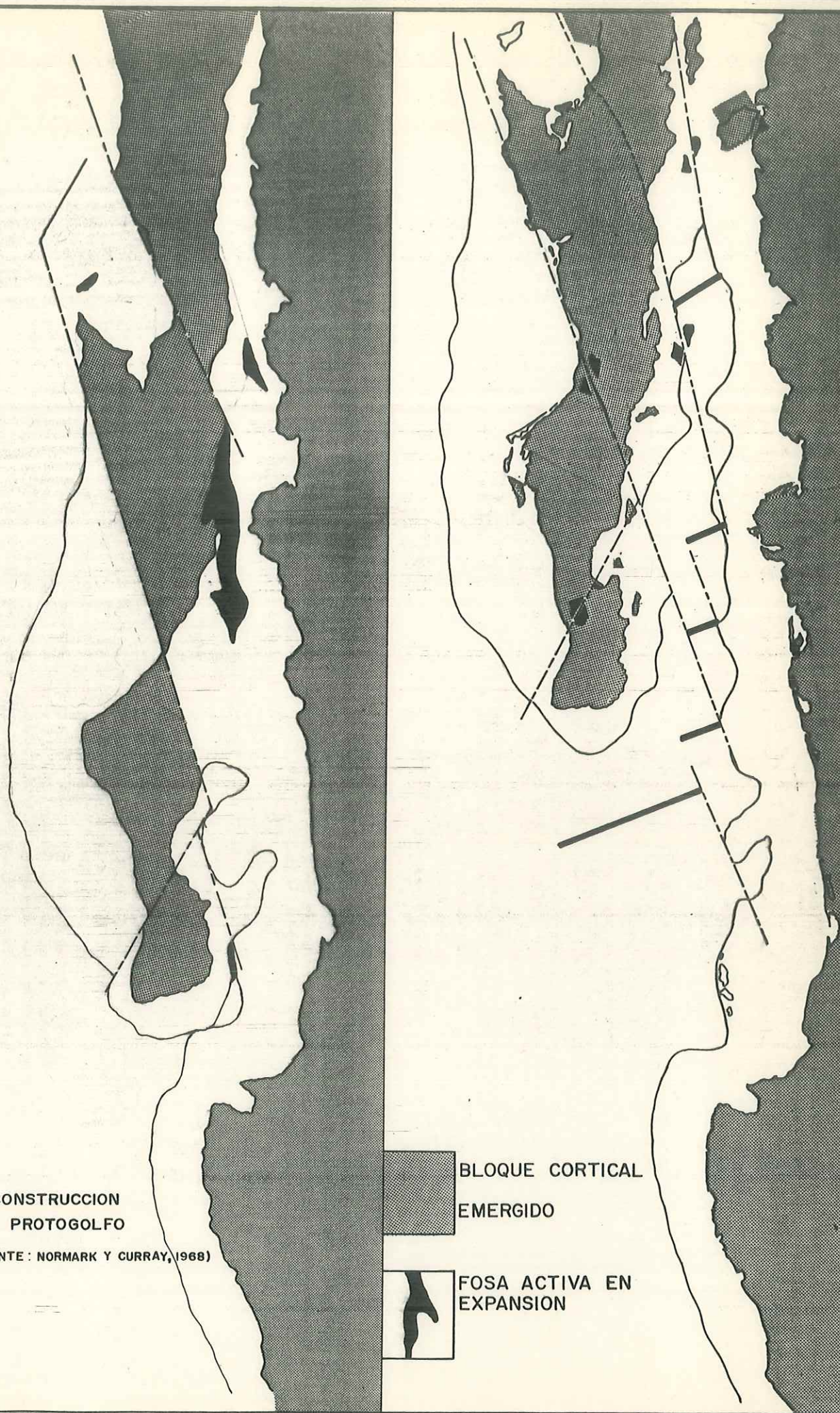


FIG. 2.3-1

RECONSTRUCCION  
DEL PROTOGOLFO

(FUENTE : NORMARK Y CURRAY, 1968)

BLOQUE CORTICAL  
EMERGIDO

FOSA ACTIVA EN  
EXPANSION

mental a medida que el Levantamiento del Pacífico Este se convertía en una fuerza efectiva bajo el Continente.

La falla de San Andrés debió empezar a ser activa alrededor del Cretácico Medio (Hill y Dibblee, 1953) y pudo ser acompañada por una serie continua de fallas en echelón del tipo de la de Agua Blanca, para crear los desplazamientos iniciales complementarios en Zig-Zag que persisten a todo lo largo del presente Golfo.

A medida que el Levantamiento Regional continuaba, la capa de sedimentos fué removida en parte por la erosión, y parte por denudación tectónica. La Península se movió hacia el Noroeste siguiendo el flanco del Levantamiento del Pacífico Este, debido a ajustes gravitacionales a lo largo de fallas paralelas, causando desplazamientos ortogonales complementarios donde las fuerzas eran mayores.

Hacia el fin del Mioceno, ya se había formado un estrecho Golfo, el Proto-Golfo (Wilson, 1949). La parte Norte y Central de la Península continuaba deslizando hacia el Noroeste; la parte Sur le seguía aunque con una rotación más al Oeste. Las islas de la parte Central del Golfo, excluyendo Tiburón, fueron formadas y desplazadas hasta su posición actual. Por otra parte, en Sonora, parece haber ocurrido deriva e inclinación hacia el Oeste en función del incremento en la tensión de los bloques corticales continentales sobre la cresta y flancos del plegamiento subcortical.

Rusnak, Fisher y Shepard (1964) indican que los desplazamientos segmentados de la Península varían entre 300 y 445 Km., cuando se toma como base el desplazamiento máximo observado en la falla de San Andrés y

sus fracturas relacionadas hacia el Sur. (ver figura 2.3-2).

Gastil, Phillips y Allison (1972), basándose en levantamientos geológicos detallados, consideran que el extremo Sur de la Península estuvo unida a la Bahía de Banderas en la Costa del Estado de Jalisco a la altura de Cabo Corrientes. En la actualidad la distancia que separa estos dos puntos es de 445 Km.

Los estudios sobre anomalías magnéticas realizados por Moore y Buffington (1968) y Larson, Mudie y Larson, (1972) en la entrada del Golfo, indican que la separación final de la placa tectónica debe tener una antigüedad entre cuatro y seis millones de años, con un promedio de separación anual de 6 cm.

Molnar (1973) señaló, que las deformaciones internas de la placa del Pacífico tienen una orientación diferente a las encontradas en el Golfo de California. Tomando como referencia la escala radiométrica de Bergren se concluye que el inicio de la formación definitiva del Golfo de California se realizó en el Plioceno Superior, lo que se corrobora con determinaciones paleontológicas realizadas por el mismo investigador en las fosas de Pescadero y Farallón.

Hasta la fecha las teorías más aceptadas son las de Anderson (1971), Moore (1973) y Reichle (1975). Estos autores sostienen como origen del Golfo, un desplazamiento segmentado de la Península, centros de dispersión y movimientos a lo largo de fallas transformes como la de Agua Blanca (Allen, Silver y Stelhe 1960), Santa Rosalía (Allison, 1964) y La Paz (Rusnak, 1964) (ver figura 2.3-3).

ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA

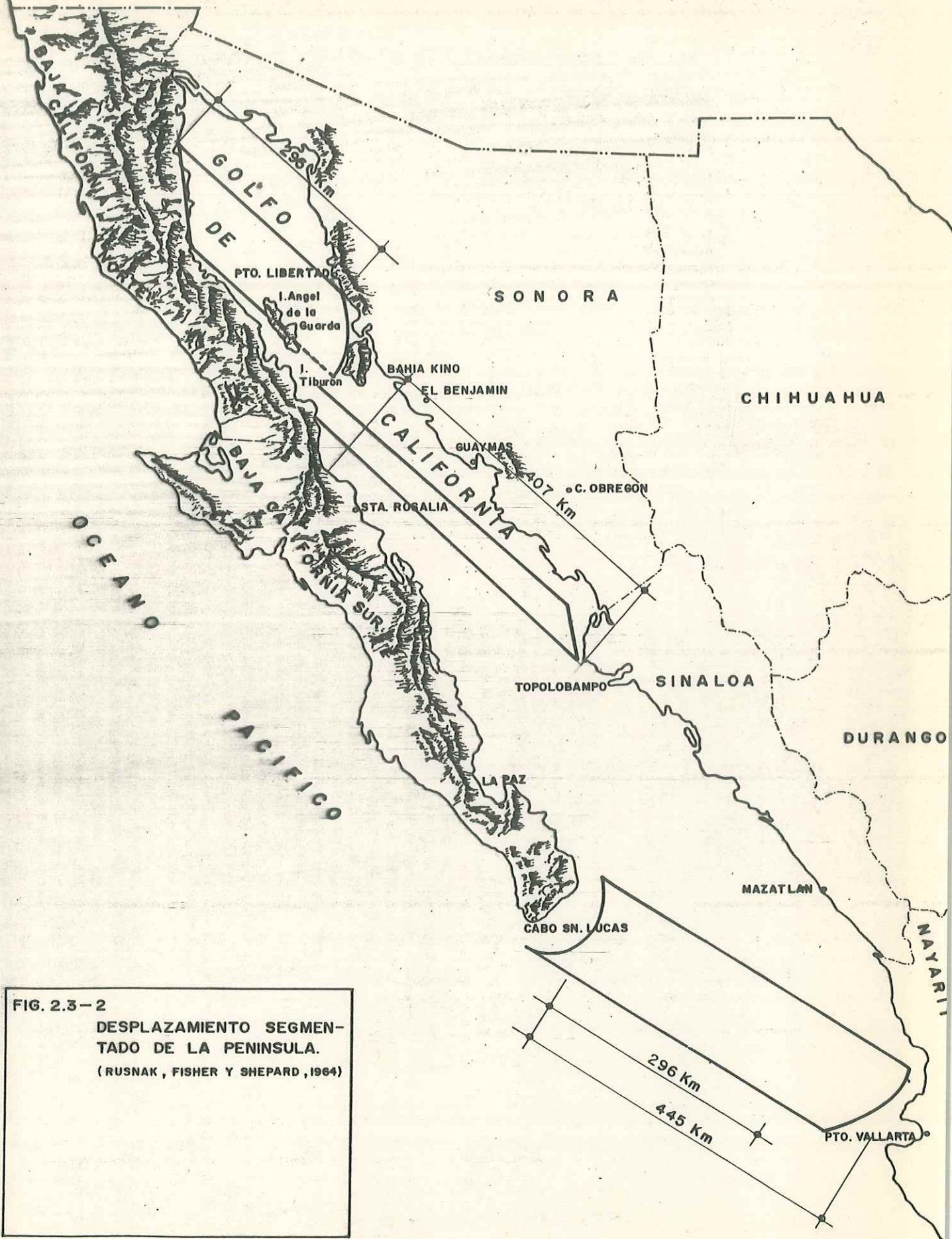


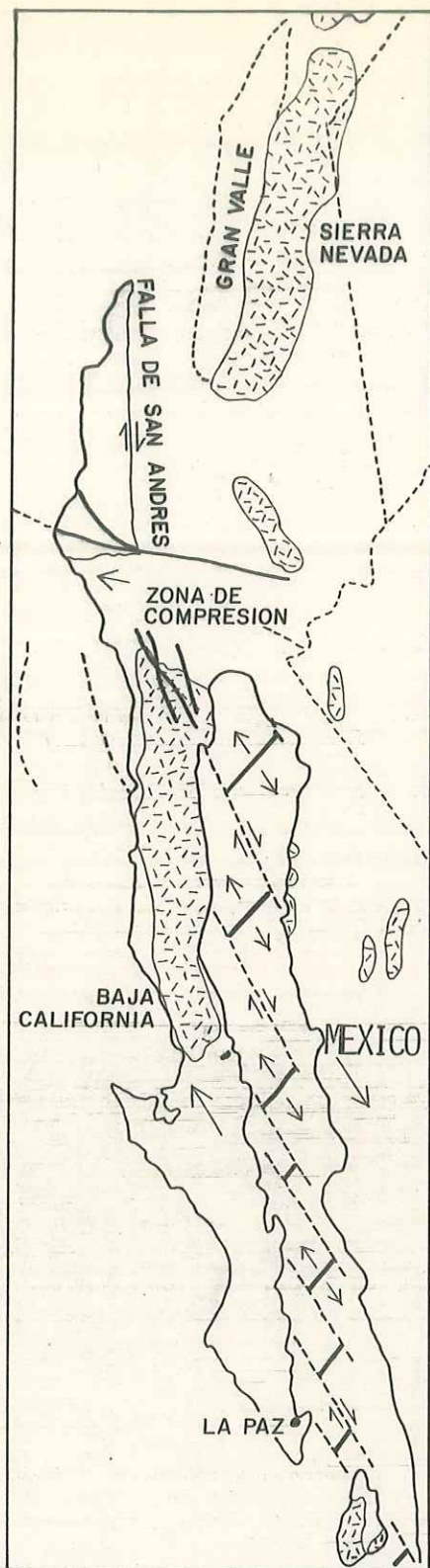
FIG. 2.3-2

DESPLAZAMIENTO SEGMENTADO DE LA PENINSULA.

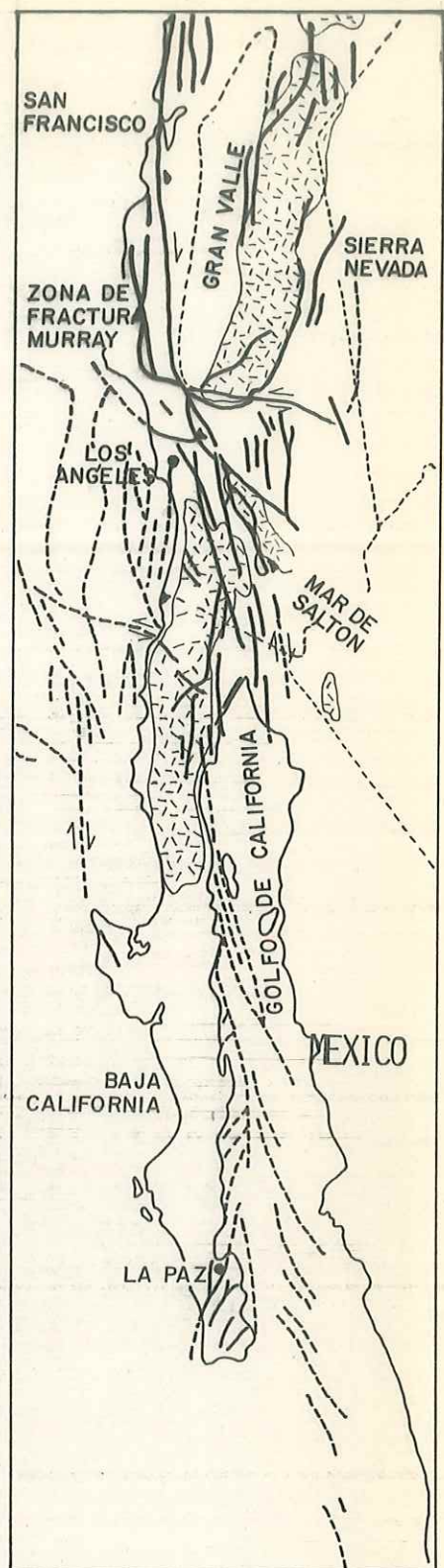
(RUSNAK, FISHER Y SHEPARD, 1964)



HACE 25 MILLONES DE AÑOS



HACE 3 MILLONES DE AÑOS



ACTUALMENTE

FIG. 2.3-3 ETAPAS DE FORMACION DEL GOLFO DE CALIFORNIA (FUENTE: ANDERSON, 1971)

### 2.3.2. DESCRIPCION DE LOS MARGENES DEL GOLFO.

El Mar de Cortés, como también se le nombra al Golfo de California, se encuentra delimitado por tres provincias geológicas. La primera comprende toda la margen Occidental, mientras que la Oriental está formada por las otras dos (figura 2.3-4).

La vertiente peninsular Este está integrada por cinco subprovincias con las características que se describen a continuación:

- *Subprovincia 1-a. (Valle de Mexicali)*  
Comprende sedimentos deltáicos poco o nada consolidados del río Colorado de edad Cenozoica, que descansan sobre depósitos consolidados de tipo Continental del Terciario. Ellos muestran alternancia de lutitas, limolitas y areniscas que a su vez yacen sobre rocas cristalinas del Mesozóico; observándose granitos, esquistos y gneises.
- *Subprovincia 1-b. (Sierra de Juárez)*  
Está constituida por cuatro unidades de rocas bien diferenciadas; las pre-batolíticas, las batolíticas, probablemente de la era Paleozóica, las post-batolíticas sedimentarias, que van del período Cretácico al Cuaternario, y las post-batolíticas volcánicas, que son del Cuaternario. La unidad más abundante es aquella constituida por rocas sedimentarias post-batolíticas que en orden de importancia corresponden al tipo aluvial, lacustre, marino y fluvial. Después sigue la unidad de rocas post-batolíticas volcánicas integradas por basaltos, andesitas y riolitas. Las otras dos unidades no afloran en extensiones tan

ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA

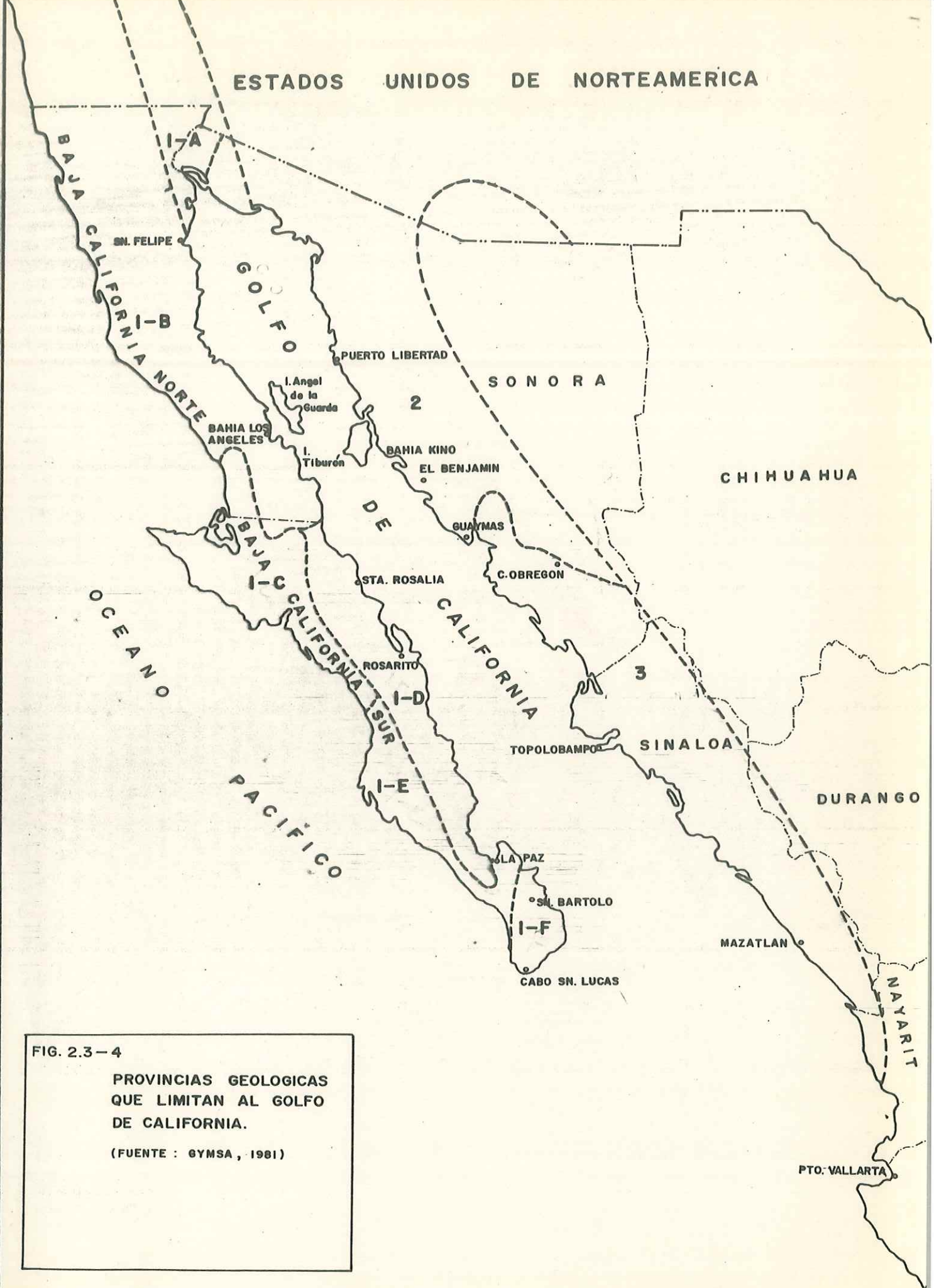


FIG. 2.3-4

PROVINCIAS GEOLOGICAS  
QUE LIMITAN AL GOLFO  
DE CALIFORNIA.

(FUENTE : GYMSA, 1981)

grandes como las primeras en el lado Este de la Península, sin embargo son las más abundantes en su interior. Las rocas batolíticas, constituidas principalmente por granito, tonalita y granodiorita, forman una gran superficie montañosa, la cual es el mayor relieve del Estado de Baja California. Por último, la unidad pre-batolítica, conocida como la formación alisitos, se integra por rocas del tipo piroclástico y vulcano-sedimentario.

- *Subprovincia 1-d. (Sierra de la Giganta)*

Está formada por una gran masa de rocas volcánicas con poco material intrusivo, como por ejemplo la "Formación Comondú", que se integra por rocas riolíticas, andesíticas y piroclásticas. Hasta la fecha no ha sido muy bien estudiada.

- *Subprovincia 1-e. (Cuenca Purísima-Iray)*

Está constituida por sedimentos marinos con presencia de dunas y médanos. Forma parte de una cuenca sedimentaria con rocas dendríticas que van en edad desde el Triásico hasta el Terciario.

- *Subprovincia 1-f. (Sierra de la Victoria)*

Es un batolito formado por rocas cristalinas que difieren del resto de los batolitos, puesto que es mucho más antiguo; correspondiendo a la era Paleozoica. Algunos autores suponen que son parte del macizo cristalino de la zona de Bahía Banderas, debido a su notable similitud petrográfica.

Las otras dos provincias que conforman el límite Oriental del Golfo de California separan a éste de las inclinadas laderas al Oeste de la Sierra Madre Occidental.

Se denominan de Norte a Sur como *la Provincia del Desierto de Sonora y la Planicie Costera del Pacífico* (Ordoñez, 1936; Z. de Cserna, 1961).

La división entre estas provincias no está bien definida pero coincide aproximadamente con el río Yaqui. La primera zona se caracteriza por su aridez y configuración desértica, mientras que la otra presenta una mayor precipitación y planicies aluviales, relacionadas a las desembocaduras de numerosos ríos importantes, lo cual le da a esta provincia una apariencia diferente a la primera. Existe también un área de transición entre estas dos que se caracteriza por una serie de cadenas montañosas y valles, que corren paralelos. Esta región se tratará como parte integral de las dos primeras.

A lo largo de las numerosas fallas de origen Cenozóico con orientación Norte-Noroeste, se elevan bloques de diversas rocas fuertemente erosionadas que contrastan con las planicies desérticas en la parte Norte. Al Este las zonas elevadas, que limitan las provincias, están cubiertas por una gruesa capa de rocas volcánicas y sus productos sedimentarios derivados.

Las rocas Precenozóicas y las tendencias estructurales evidentes en los bloques afallados no están bien estudiados. Se encuentran rocas volcánicas y sedimentarias con procesos metamórficos plegadas que tienen orientación hacia el Noreste y datan del Precámbrico. Estas últimas están cortadas por rocas plutónicas con edades entre 1 200 y 1 550 millones de años (Giletti y Damon, 1961).

En una gran parte de Sonora y los estados adyacentes se observan evidencias de extensos mares epicontinentales,

que se originaron en el Paleozóico. Las tendencias estructurales de las rocas sedimentarias de esta era difieren considerablemente de las tendencias predominantes Norte-Noroeste de las fallas y pliegues de las rocas Cenozóicas Superiores (R.E. King, 1939). Por otra parte, la mayoría de los afloramientos graníticos de estas dos provincias corresponden al Cretácico (Larsen "et al" , 1958; Giletti y Damon, 1961). Poco se sabe acerca de las rocas más jóvenes que el Cretácico. Por lo tanto, cualquier conclusión al respecto de la margen derecha del Golfo será poco significativa. El área parece haber sido generalmente emergente, con la excepción de los depósitos fosilíferos costeros del Pleistoceno, encontrados a bajas elevaciones (Hertlein y Emerson, 1956).

### 2.3.3. GEOLOGIA SUBMARINA

El Golfo de California es una depresión estructuralmente compleja. Tiene una longitud cerca de los 1 100 Km., desde la desembocadura del río Colorado hasta Cabo San Lucas. Su promedio de anchura está alrededor de 160 Km. variando entre 100 y 230 Km., exceptuando su parte terminal al Norte.

Por lo general, los principales rasgos morfológicos de su topografía submarina parecen estar relacionados a las grandes fallas que contiene, algunas de las cuales penetran en la Península de Baja California.

Existen dos tipos predominantes de elevaciones dentro del Golfo, las que forman islas y bancos a lo largo del litoral Occidental, las cuales están formadas en su mayor parte por granitos así como las surgencias de lava, montes y lomas marinas, junto con algunos aparatos vol-

cánicos que en ocasiones llegan hasta la superficie.

La plataforma continental es muy estrecha o inexistente sobre la costa Occidental. En cambio, al Oriente es ancha y formada por depósitos sedimentarios, que ocultan el relieve del fondo.

Existen 43 focos sísmicos detectados cerca de la margen izquierda del Golfo; la gran mayoría arriba del paralelo 25°N y a menos de 60 Km. de profundidad. (GYMSA, 1981). Con respecto a depresiones, existen varias fosas y cañones submarinos.

#### 2.3.3.1. Batimetría

Shepard (1950) publicó las primeras cartas batimétricas del Golfo. Durante los años de 1957 a 1962 el Instituto Oceanográfico Scripps condujo una serie de cruceros que aportaron alrededor de 42 000 Km. de sondeos más precisos, con los cuales fueron completadas las primeras cartas.

Rusnak, Fisher y Shepard (1964) efectuaron un trabajo más completo sobre la configuración del Golfo. Dieciseis años después aparecen las cartas publicadas por Bischoff y Niemitz (1980), que involucran la información recabada durante ese lapso y que no había sido publicada. No obstante, la precisión en el posicionamiento con la cual fué obtenida, oscila entre 0.5 y 3.5 Km.

A continuación se describirán brevemente las características batimétricas más importantes que

se han descubierto hasta la fecha (ver figura 2.3-5).

La parte Norte del Golfo, hasta el paralelo 30°N, se puede considerar como una planicie de pendiente suave, que va de los 0 a los 200 m. de profundidad, exceptuando el área afectada por la fosa Delfín, donde la profundidad rebasa la isobata de los 400 m.

Del paralelo 30°N al 28°N se encuentra una zona bastante compleja, que cuenta con las mayores islas del Golfo; así como con fosas profundas, como la de Salsipuedes con más de 1 400 m. de profundidad. Al Este se encuentra una plataforma continental de 40 a 50 Km. de ancho, que varía desde los 0 a los 200 m. de profundidad y en donde se encuentra la isla Tiburón. Contrastando, el lado Oeste presenta una plataforma bastante delgada, que como máximo alcanza los 10 Km. de anchura. En esta zona se encuentran 5 fosas (ver figura 2.3-6) de las cuales la que cuenta con pendientes más inclinadas y mayor profundidad es la de Salsipuedes, que además es la de mayor longitud. Siguiéndola en magnitud está la de San Pedro Mártir, que rebasa los 1 000 m. de profundidad, la Delfín con más de 900 m. y al fin las de Tiburón y San Esteban, que no pasan de 800 m. de profundidad. Vecina a estas dos últimas se encuentra la isla Tiburón. También se observa la presencia de la prolongación submarina de isla Angel de la Guarda con elevaciones que llegan a los 100 m. de profundidad e incluso sobrepasan el nivel del mar, formando un pequeño conjunto de islas, entre las que predomina la isla de San Lorenzo.



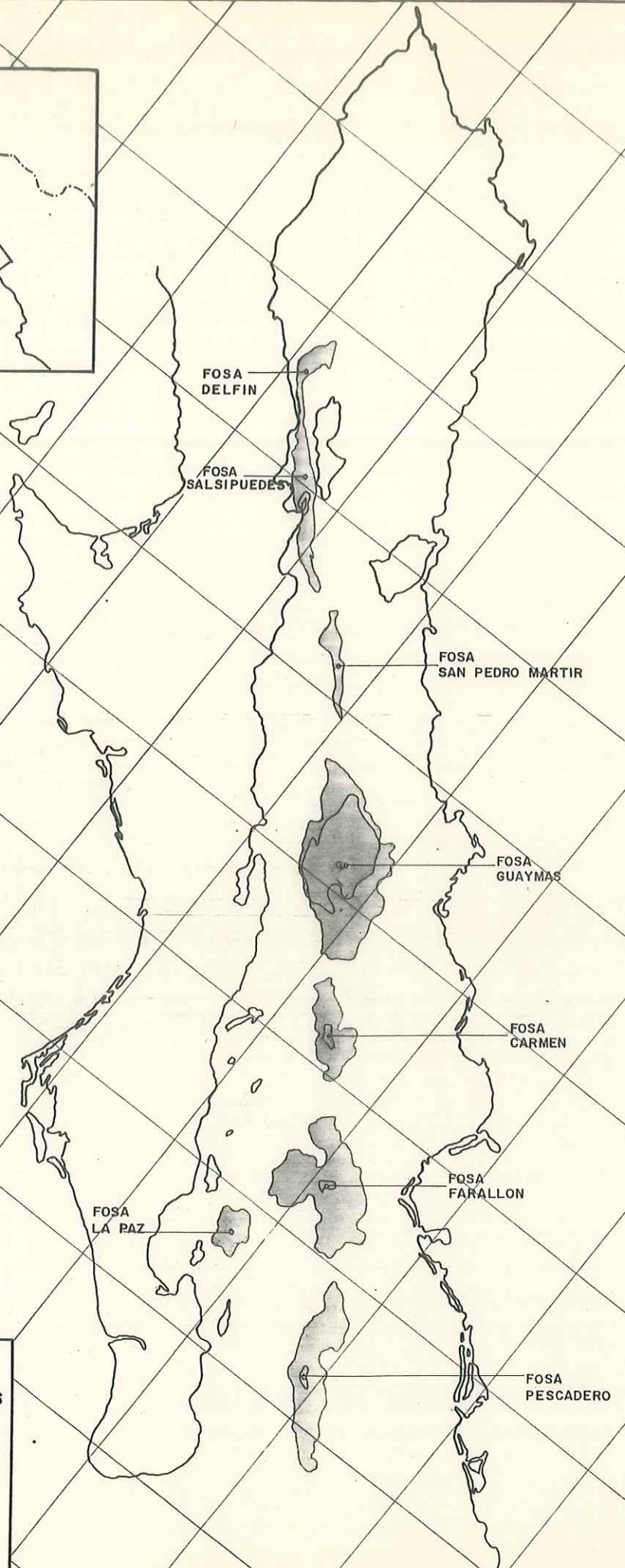


FIG. 2.3-6

FOSAS LOCALIZADAS  
EN EL GOLFO DE  
CALIFORNIA

(FUENTE: Bischoff y  
Niemitz, 1980)

Entre la Península y la isla Angel de la Guarda se encuentra el canal de Ballenas y el de Salsipuedes, con profundidades mayores de los 1 000 m. Hacia el Este de isla Tiburón, al otro lado del Golfo, se encuentra otro canal menor, llamado Del Infiernillo, cuya profundidad no llega a los 30 m.

Del paralelo 28°N al 24°N el fondo toma características diferentes y se presenta en forma de una gran cuenca. El margen peninsular contiene numerosas islas que, en su mayoría se levantan desde profundidades menores a los 600 m. La plataforma continental es angosta y de los 200 m. en adelante se encuentran pendientes agudas. El lado continental tiene una plataforma bastante más ancha y su pendiente es generalmente más suave. Considerando para el fondo de la cuenca una profundidad de alrededor de los 2 000 m. se pueden observar cuatro fosas (ver figura 2.3-6). De Norte a Sur son la de *Guaymas*, *Carmen*, *Farallón* y una parte de la fosa *Pescadero*. En aquellas va aumentando la profundidad, desde los 2 000 m. en la de *Guaymas* hasta más de 3 000 en *Farallón*.

La parte del extremo Sur del Golfo se convierte, progresivamente, en un fondo típicamente oceánico. La isobata de los 500 m. enmarca casi la totalidad de esta zona. Aquí existen numerosos montes y picos submarinos de los cuales el de *Alarcón* se desplanta desde profundidades mayores de 2 500 m. En su cúspide sobrepasa la isobata de los 1 300 m. La plataforma continental es comparativamente ancha con pendientes bastante suaves; mientras que la peninsular con pendientes extremadamente abruptas, es muy angosta e incluso desaparece en algunos

lugares. En esta zona se encuentran dos fosas que se alinean con las tres anteriores (ver figura 2.3-6). La de Pescadero es la más larga. Está considerada como un sistema de tres fosas bajo un mismo umbral. Este sistema se profundiza de Norte a Sur, llegando a los 3 600 m. Al Norte de la isla Cerralvo, cerca de La Paz, se encuentra una pequeña fosa denominada *La Paz*, que no es del mismo desarrollo como las otras y únicamente alcanza cerca de los 800 m. de profundidad. La última fosa que se considera estar dentro del Golfo es la de *Mazatlán*, que alcanza más de 3 000 m. de profundidad. Se encuentra al lado de una gran meseta submarina que, delimitada por la isobata de los 1 400 m., abarca una superficie aproximada de 2 600 Km<sup>2</sup>.

En la tabla 2.3-1 se exponen las profundidades y áreas bajo el umbral de las principales fosas encontradas en el Golfo.

#### 2.3.3.2. Afallamiento

El Golfo de California se encuentra dentro de los límites del *Sistema de Fallas de San Andrés*; una región estructuralmente compleja y muy afallada.

La concordancia morfológica entre la orientación de las grandes fosas y la traza de las fallas indican que dicha morfología tiene que ser parte de una estructura controlada por los procesos regionales de afallamiento.

## T A B L A 2.3-1

ALGUNOS DE LOS RASGOS MAS IMPORTANTES DE LAS FOSAS ENCONTRADAS EN EL  
GOLFO DE CALIFORNIA

F O S A	PROFUNDIDAD MAXIMA (m)	PROFUNDIDAD DE UMBRAL (m)	AREA BAJO LA PROFUNDIDAD DEL UMBRAL (Km <sup>2</sup> )
Delfín y Salsipuedes	1 500	430	1 925
Tiburón	720	415	380
San Pedro Mártir	970	810	410
Guaymas	1 960	1 530	6 050
Carmen	2 660	1 675	1 895
Farallón	3 130	--	5 010
Pescadero	3 654	2 410	3 545
La Paz	790	630	385

(Van Andel, 1964)

Kovach (1962) indica que a partir de la evidencia geológica con que contaba, lo más lógico era pensar que el Sistema de San Andrés penetraba en el Golfo como una serie de grandes fracturas en echelón. Sin embargo, en la porción Norte del Golfo, la identificación de fallas resulta complicado de bido a la gruesa capa de sedimentos que provienen del río Colorado y han cubierto el fondo rocoso.

En la figura 2.3-7a. existen tres grados de proba bilidad para la delineación de las fallas expues tas:

- a.) fallas comprobadas por observación.
- b.) fallas probables; deducidas en base de rasgos morfológicos e información geofísica.
- c.) fallas posibles; inferidas por rasgos de menor valor indicativo.

En esencia, estas fallas demuestran el mismo patrón en Zig-Zag que exhiben las fosas profundas, los mayores desplazamientos morfológicos y las pendientes, fronteras y disposición de las islas y escarpes del Golfo.

De acuerdo con Rusnak, Fisher y Shepard (1964), las fallas inferidas que se presentan en la figu ra 2.3-7a. fueron agrupadas de la siguiente mane ra:

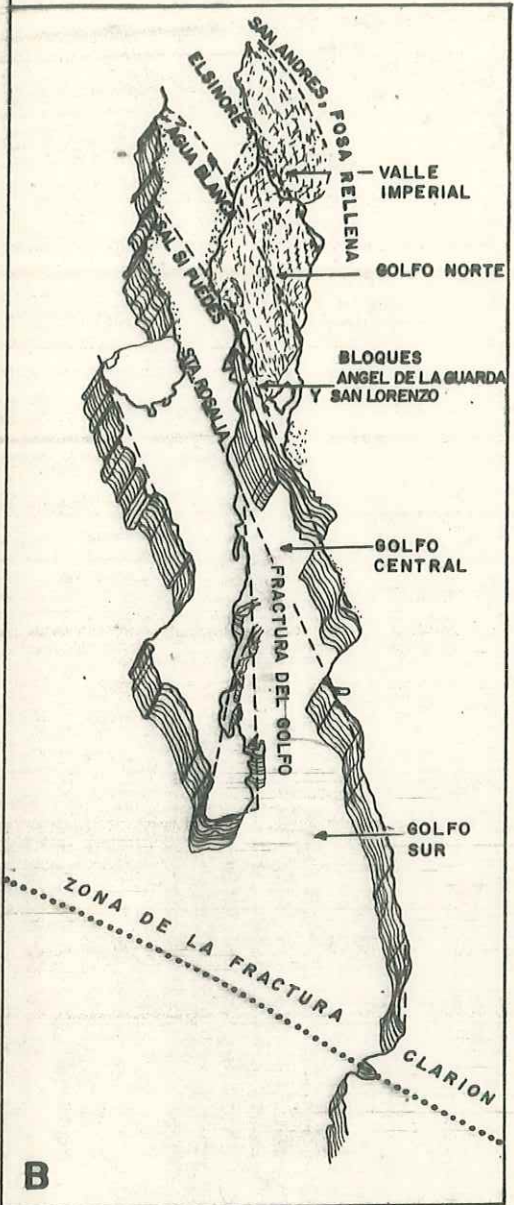
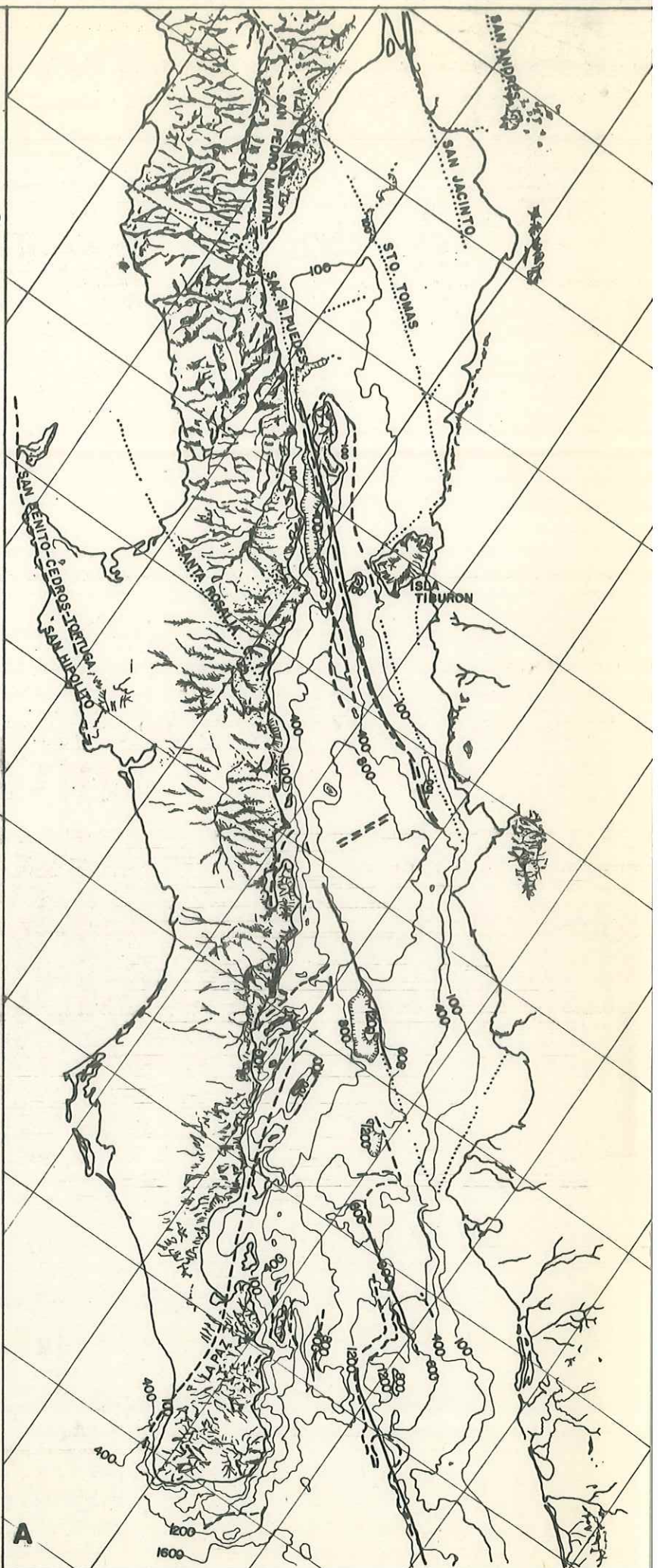
- Grandes fallas transcurrentes en echelón con una dirección 30° al Oeste del eje longitu di nal del Golfo.

FIG. 2.3-7

**A. FALLAS EN EL GOLFOS DE CALIFORNIA**

**B. BLOQUES QUE INTEGRAN EL GOLFOS DE CALIFORNIA**

(FUENTE: RUSNAK, FISHER Y SHEPARD, 1964)



- FALLAS OBSERVADAS
- - - - - POSIBLES FALLAS DEDUCIDAS POR RASGOS GEOFISICOS
- ..... FALLAS INFERIDAS POR RASGOS DE MENOR VALOR INDICATIVO

100 — EN BRAZAS

**A**

**B**

- Fallas ortogonales complementarias, originadas por tensión.
- Fallas menores debidas a la disminución de la tensión impuesta sobre los flancos internos del Golfo en su porción Centro y Sur, por el arrastre del basamento y ajustes gravitacionales.

La figura 2.3-7b. ilustra diagramáticamente los mayores bloques del Golfo, los cuales se originaron del afallamiento del Sistema de San Andrés. Tomando el Valle Imperial como parte del Sistema, el conjunto se compone por 6 bloques principales.

De Norte a Sur se encuentran, el Valle Imperial delimitado por las fallas de San Andrés y Elsinore. El extremo Norte del Golfo está compuesto por dos bloques delineados por las fracturas de Elsinore, Agua Blanca, Salsipuedes que van con rumbo Noroeste-Sureste y las de Sierra de Juárez y San Pedro Mártir que van con rumbo casi perpendicular. En la parte Central, cortado por la falla Salsipuedes, se encuentra un pequeño bloque alargado, que incluye las islas de Angel de la Guarda y San Lorenzo. Al Sur la falla de Santa Rosalía delimita el bloque Central del Golfo y la falla de La Paz en conjunto con la anterior y la "*Fractura del Golfo*" forman los márgenes del bloque Sur en el interior del Golfo.

#### 2.3.3.3. Sedimentos

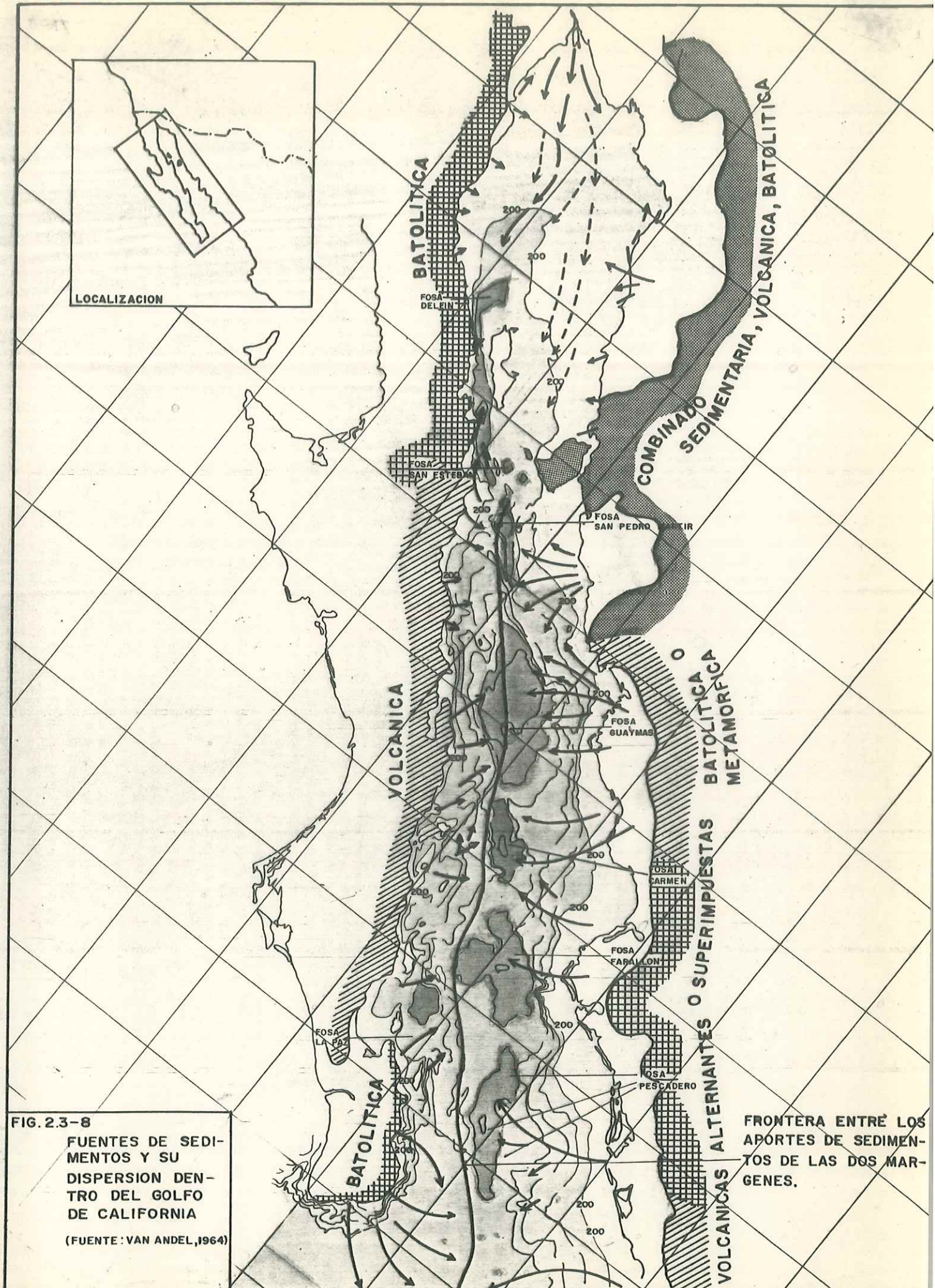
Los factores que determinan la distribución inicial de los diferentes tipos de sólidos, así como

sus subsecuentes reubicaciones, transformaciones y perturbaciones estratigráficas constituyen un sistema de alta complejidad, lo cual se demuestra en la tabla 2.3-2, la cual en forma eslabonada organiza las etapas sobresalientes del desarrollo de los sedimentos, las áreas de conocimientos requeridos, procesos involucrados y sus resultados correspondientes.

Según Van Andel (1964) existen tres tipos de fuentes que aportan sedimentos al Golfo; todas de tipo montañoso y con climas relativamente áridos, implicando un intemperismo químico pequeño y una erosión rápida. El suplemento de material ligero y el pesado en asociación, que va desde moderada hasta altamente irregular, refleja la variabilidad en composición y tectónica del área de procedencia.

Los batolíticos ácidos-intermedios proveen arcosas con alto contenido de amfibola. El material del Terciario y Cuaternario aporta sedimentos volcánicos básicos con grauvacas ricas en piroxena, hornblenda basáltica y fragmentos de rocas volcánicas. Por último, la tercera fuente la componen las cuencas del río Colorado, Concepción y la costa de Hermosillo que producen arenas de tipo arcosa o feldespática conteniendo cantidades características de materiales estables.

En la parte Norte del Golfo (ver figura 2.3-8), la mayor parte del área está cubierta con sedimentos del río Colorado, depositados probablemente durante la emergencia del mar ocurrida después del Pleistoceno. Aunque existen todavía numerosas dudas res-



LOCALIZACION

FIG. 2.3-8  
 FUENTES DE SEDI-  
 MENTOS Y SU  
 DISPERSION DEN-  
 TRO DEL GOLFO  
 DE CALIFORNIA  
 (FUENTE: VAN ANDEL, 1964)

FRONTERA ENTRE LOS  
 APORTES DE SEDI-  
 MENTOS DE LAS DOS MAR-  
 GENES.

TABLA 2.3-2 GENESIS DE LOS SEDIMENTOS MARINOS.

E T A P A	C I E N C I A	P R O C E S O S	R E S U L T A D O S
A.) Desde las rocas masivas hasta la entrada del material sólido en el mar.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Geología regional (distribución de la materia prima).</li> <li>2. Topografía regional (de importancia para denudación y transportes).</li> <li>3. Climatología regional (volumen de agua para transportes; características ambientales importantes para la desintegración de los sólidos).</li> <li>4. Mineralogía; física y química (bases teóricas y metodología de análisis).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Denudación</li> <li>2. Desintegración mecánica.</li> <li>3. Disolución química.</li> <li>4. Transportes terrestres (selectivos con respecto al tamaño y la densidad) del material en transformación; principalmente fluviales con abrasión y disolución.</li> <li>5. Inclusión de materiales biogénicos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Material primario. (pedazos de roca).</li> <li>2. Material minerogénico en transformación local.</li> <li>3. Distribución terrestre de sedimentos fluviales.</li> <li>4. La entrada regional de sólidos al mar está definida principalmente por:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a.) el volumen de sólidos.</li> <li>b.) la composición mineralógica.</li> <li>c.) la composición física (forma y tamaño de las partículas).</li> <li>d.) cantidad y tipo del material biogénico agregado.</li> </ol> </li> </ol>

Continúa....

E T A P A	C I E N C I A	P R O C E S O S	R E S U L T A D O S
B.) El transporte y la sedimentación dentro del mar.	Oceanografía regional: - Batimetría. - Dinámica marina. - Biología marina.	1. Transportes laterales. 2. Sumergimiento hacia el fondo. 3. Agregación de material biogénico. 4. Compactación. 5. Diagenesis <i>in situ</i> .	Sedimentos muy recientes y con una estratificación no perturbada; con material biótico incluido en la matriz sólida y agua del mar en los intersticios.
C.) Transformaciones <i>in situ</i> .	1. Oceanografía regional: - Zoología bentónica. - Química marina. 2. Mineralogía (procesos diagenéticos).	1. Producción biótica y asentamiento de material biogénico. Horadación. 2. Reacciones químicas (a menudo lentas) entre los sólidos y el agua intersticial.	Sedimentos con una estratificación revuelta y cambios diagenéticos de los minerales de la matriz sólida.
D.) Movimientos subsucientes a la sedimentación inicial.	Oceanografía: - Batimetría. - Sedimentología marina. - Dinámica.	1. Erosión y resedimentación sobre el fondo. 2. Dislocaciones. 3. Deslizamientos. 4. Corrientes de turbidez.	Sedimentos con estratificación revuelta; distribución selectiva de tamaño y densidad de las partículas, con una fuerte influencia efectuada por la topografía del fondo. Discontinuidades estratigráficas y erosión del fondo.

pecto al origen y la dispersión de estos sedimentos, se cree que su transporte ha sido principalmente en el sentido longitudinal. Por otro lado, las partes Centro y Sur del Golfo se van llenando solamente desde los lados, dado que los límites de sus provincias indican un transporte longitudinal muy escaso o inexistente.

En el lado Oeste del Golfo el patrón de la distribución corresponde a los lugares vecinos de donde provienen los sedimentos. Estas fuentes son de los tipos batolítico y volcánico. Dicho patrón es muy sencillo, debido a que la Península aporta una cantidad comparativamente pequeña de material, puesto que su clima es árido. El ancho máximo de sedimentos recientes es de 48 Km., exceptuando la parte final de la Península donde esta zona se extiende entre 120 y 140 Km. a partir de la costa, lo cual se supone es debido a las corrientes de turbidez, características del área.

En la margen continental se presentan procesos de mezcla que complican el patrón de distribución. Ellos están relacionados a la mayor precipitación, así como al gran número de ríos permanentes, que en conjunto constituyen una parte eficiente del proceso de transferencia de material hacia el interior del Golfo. Estos sedimentos no sólo forman la vasta planicie costera, la plataforma continental y los talúdes; además se extienden hasta la mayoría de las fosas del Golfo.

## 2.4. OCEANOGRAFIA

Los procesos dinámicos, que se presentan en el interior del mar y sobre su superficie, determinan de manera dominante las condiciones oceanográficas del Golfo de California.

### 2.4.1. CORRIENTES

La multitud de variables involucradas en la circulación dentro del Golfo, hacen de esta última un proceso muy complejo. Además, sus cambios en función del tiempo distan mucho de ser adecuadamente comprendidos. Las corrientes rara vez han sido medidas directamente (Alvarez-Borrego, 1981).

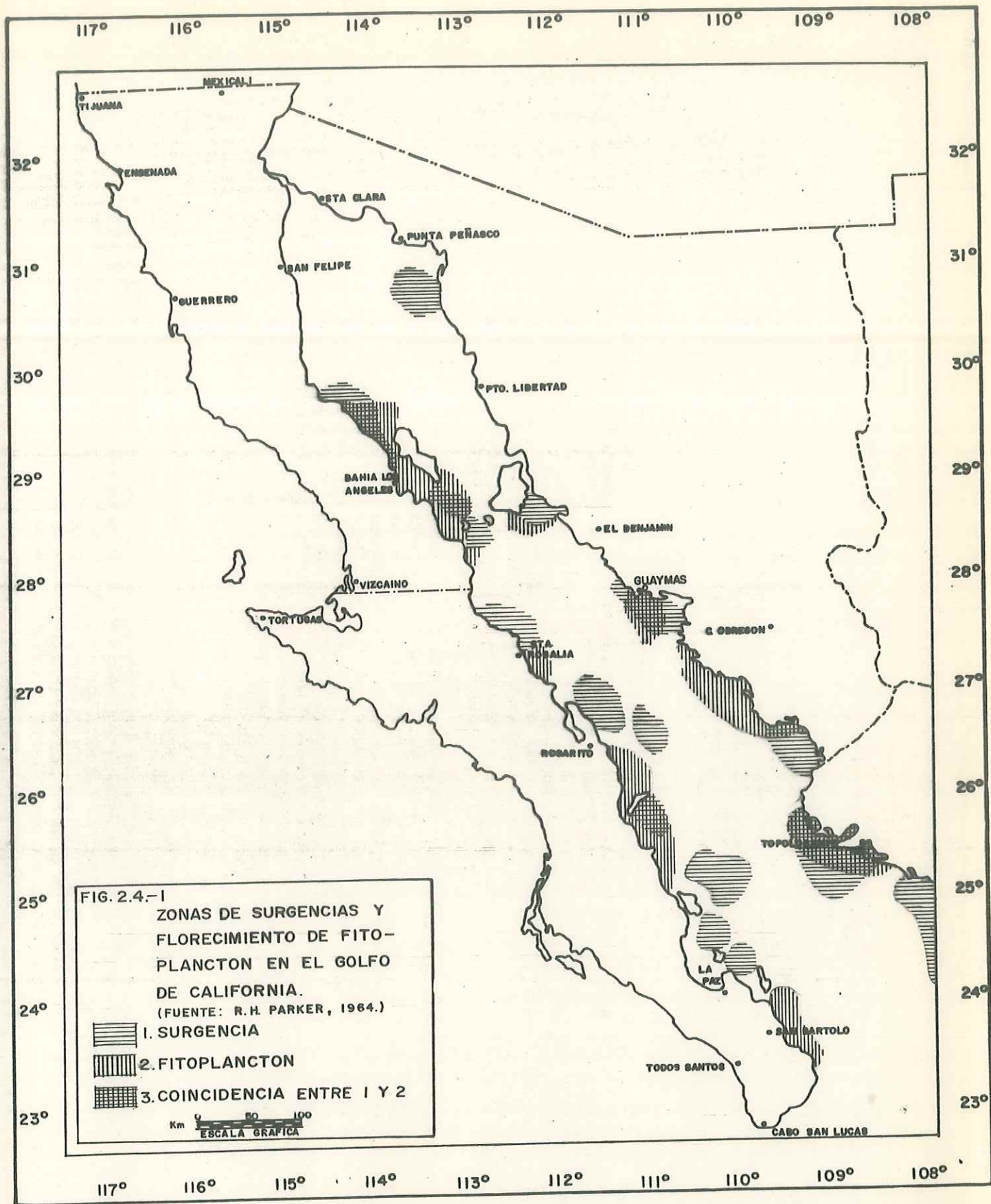
Thorade (1909, citado por Alvarez-Borrego, 1981), dedujo en parte la circulación general en el Golfo utilizando cartas de temperatura basadas en los registros de los barcos. Concluyó que las bajas temperaturas a lo largo de la margen derecha en el invierno, eran resultado de surgencias por los vientos del Norte. El fué probablemente el primero en describir el sistema frontal entre la corriente fría de California y la corriente cálida del Golfo cerca de Cabo San Lucas (Alvarez-Borrego, 1981).

Roden (1958), utilizando las cartas de deriva de los barcos preparados por la Oficina Hidrográfica de los EE.UU., concluyó que en el invierno la circulación superficial en el Golfo se caracteriza por corrientes, que se dirigen hacia el Sur en la zona Norte del Cabo Corrientes, lo cual concuerda con la teoría de Ekman. En el verano una corriente entra al Golfo por la parte Central izquierda de la boca y fluye hacia el Norte, a lo largo de la margen peninsular. También se presenta un flujo hacia el Sur cerca de la costa continental.

En 1964 Roden estimó las corrientes en la parte Central del Golfo cerca de Guaymas. Utilizó un modelo estacionario lineal y tomó en cuenta los efectos de tres componentes: una geostrófica, otra debida al gradiente horizontal de la presión atmosférica y la tercera debida al rozamiento del viento sobre la superficie del mar. Para febrero encontró transportes parciales de 4, 1 y 5 cm/seg. dirigidos hacia el Sur. Para agosto encontró valores de 13, 2 y 6 cm/seg. para las componentes y 21 cm/seg. de la velocidad total dirigida hacia el Noroeste. También estimó las corrientes verticales en ambos lados del Golfo y encontró para febrero velocidades de surgencia alrededor de los 3.2 m/día cerca de la costa Este. Las surgencias ocurren en el invierno sobre la margen derecha, debido a los vientos del Noroeste. En el verano ocurren sobre la margen izquierda, debido a los vientos del Sureste (figura 2.4-1).

La circulación general, arriba expuesta, concuerda con los resultados obtenidos por Granados y Schwartzlose (1974), que usaron boyas de deriva. Ellos concluyeron, que el patrón general del invierno tiene dirección Sur en todo el Golfo, mientras en verano se muestra un flujo hacia el Norte en la parte Sur de la Cintura del Golfo y menos evidente en la parte Norte del mismo.

Las corrientes en el Golfo han sido estimadas mediante cálculos dinámicos por varios autores, de los cuales sólo Stevenson (1970) y Rosas-Cota (1976) han presentado resultados para todas las estaciones del año. Estos tienen una concordancia buena con los datos de deriva. Rosas-Cota, (1976) reporta corrientes geostróficas al Sur en el invierno y al Norte en el verano, con condiciones variables y más complejas con la presencia de giros



durante primavera y otoño. La rapidez máxima computada varía entre 40 y 50 cm/seg. (figura 2.4-2 y 2.4-3).

Grijalva (1972) y Stock (1976) calcularon las corrientes de marea para diferentes puntos en el Golfo y encontraron que éstas se incrementan de la boca hacia el interior del Golfo (figura 2.4-4). Desde la Cintura hasta el extremo Norte del Golfo las corrientes están determinadas principalmente por la marea. En los estrechos localizados al lado de algunas islas de la Cintura, en las bocas que conectan algunas lagunas costeras con el mar, así como en las cercanías de la desembocadura del río Colorado se presentan fuertes corrientes de marea. La rapidez de estas corrientes es variable y depende de la fase de la luna y los vientos dominantes, no obstante, se han reportado hasta de 3 m/seg. (Roden, 1964).

#### 2.4.2. MAREAS

Las mareas en el Golfo de California se encuentran entre las más espectaculares y peligrosas del mundo, con rangos en primavera de hasta 10 m. en la parte somera del Norte. La diferencia entre la marea diurna y semidiurna es marcada. La semidiurna entra al Golfo con amplitud moderada y decrece hasta un tercio en la parte media. Después incrementa su amplitud en la porción central Norte del Golfo hasta 15 veces la inicial. Ahí parece ser disipada por fricción. Por el contrario, la amplitud de la marea diurna se incrementa muy despacio y monotónicamente hasta menos del doble de la encontrada en la boca. Su fase casi uniforme parece una oscilación estacionaria y la mayoría de su energía entra y sale del Golfo. (Filloux, 1973). La marea entre en el río Colorado como un frente " *bora* " que a 25 Km. de su desembocadura se ha observado casi vertical y con una al

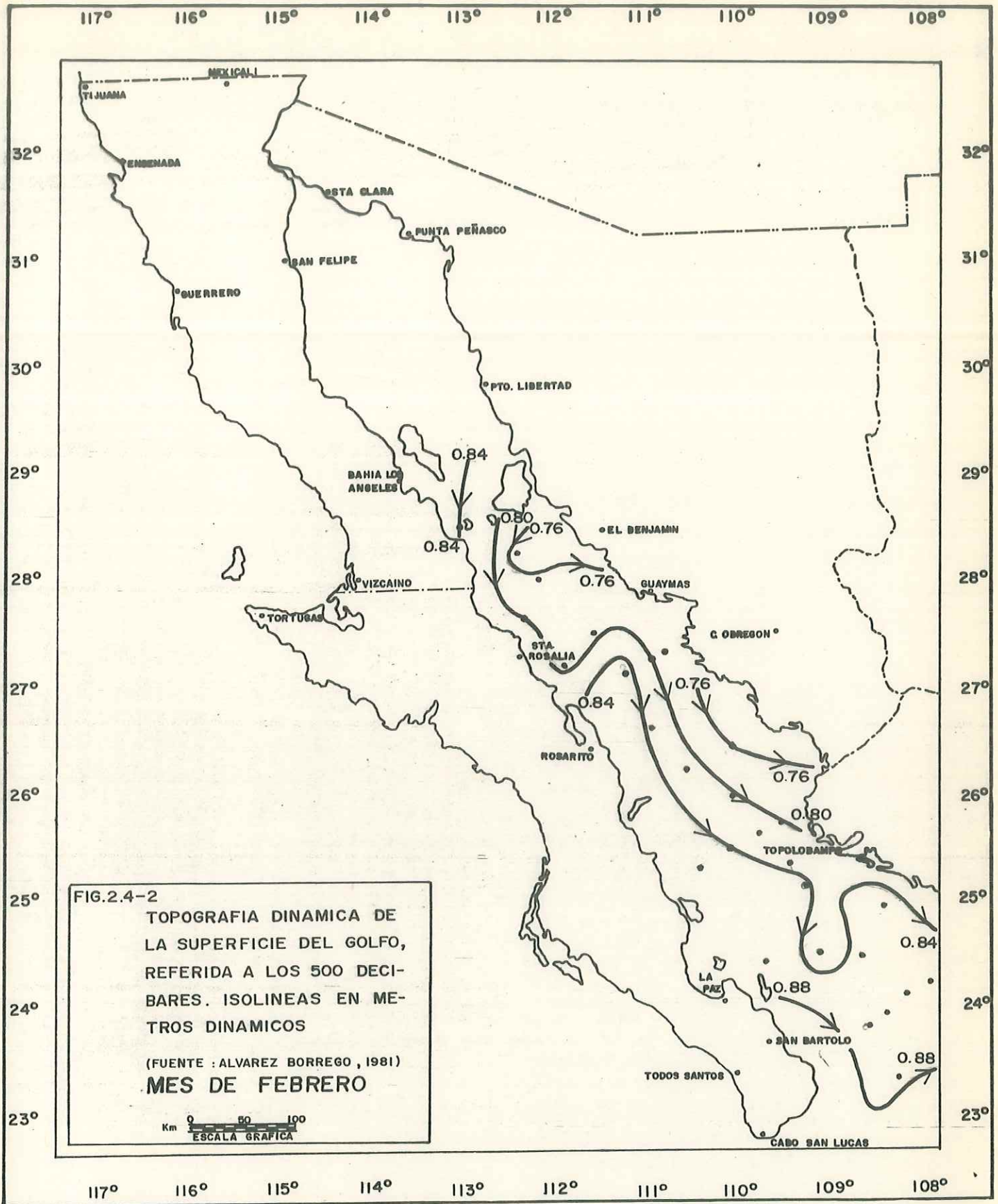
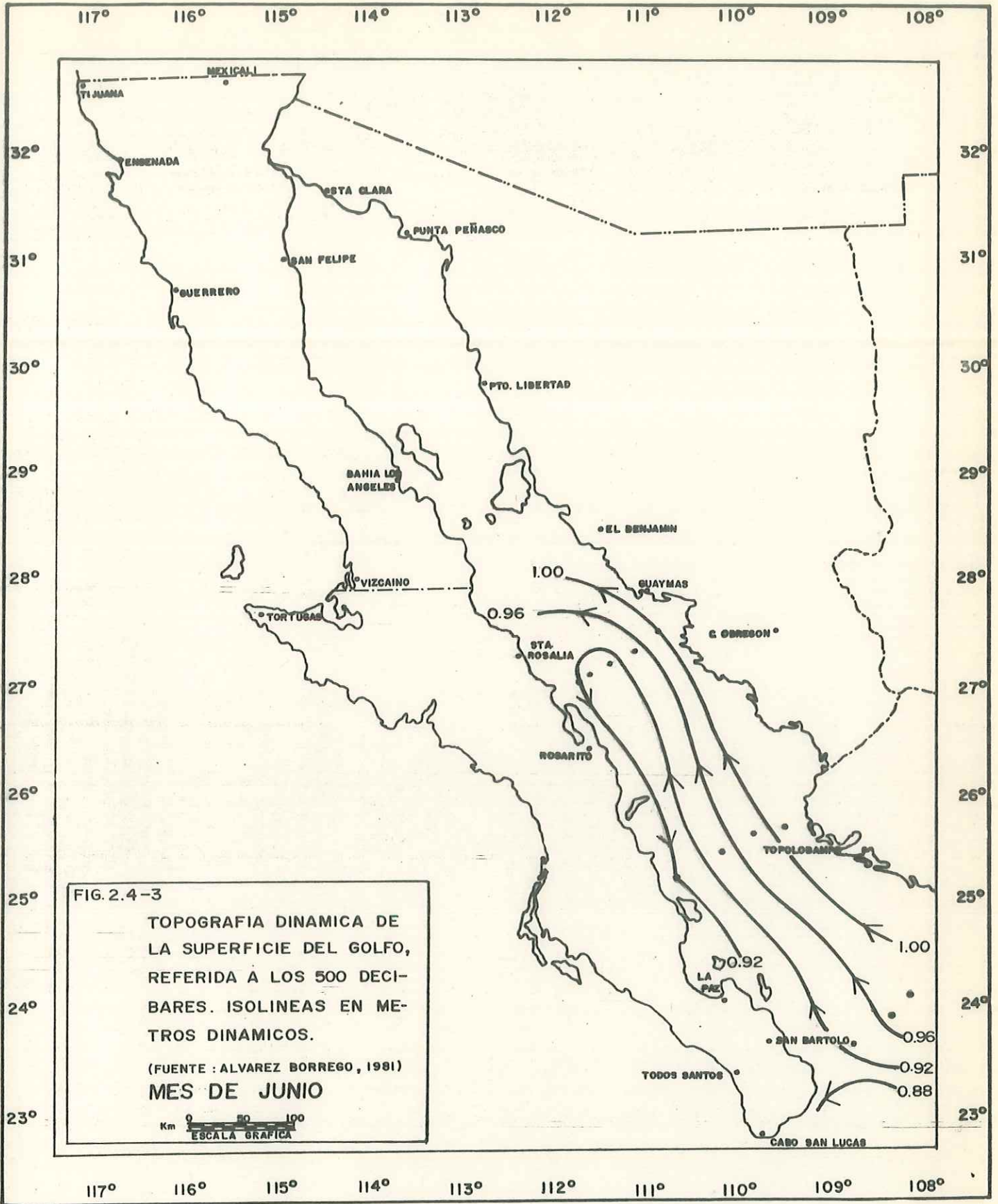
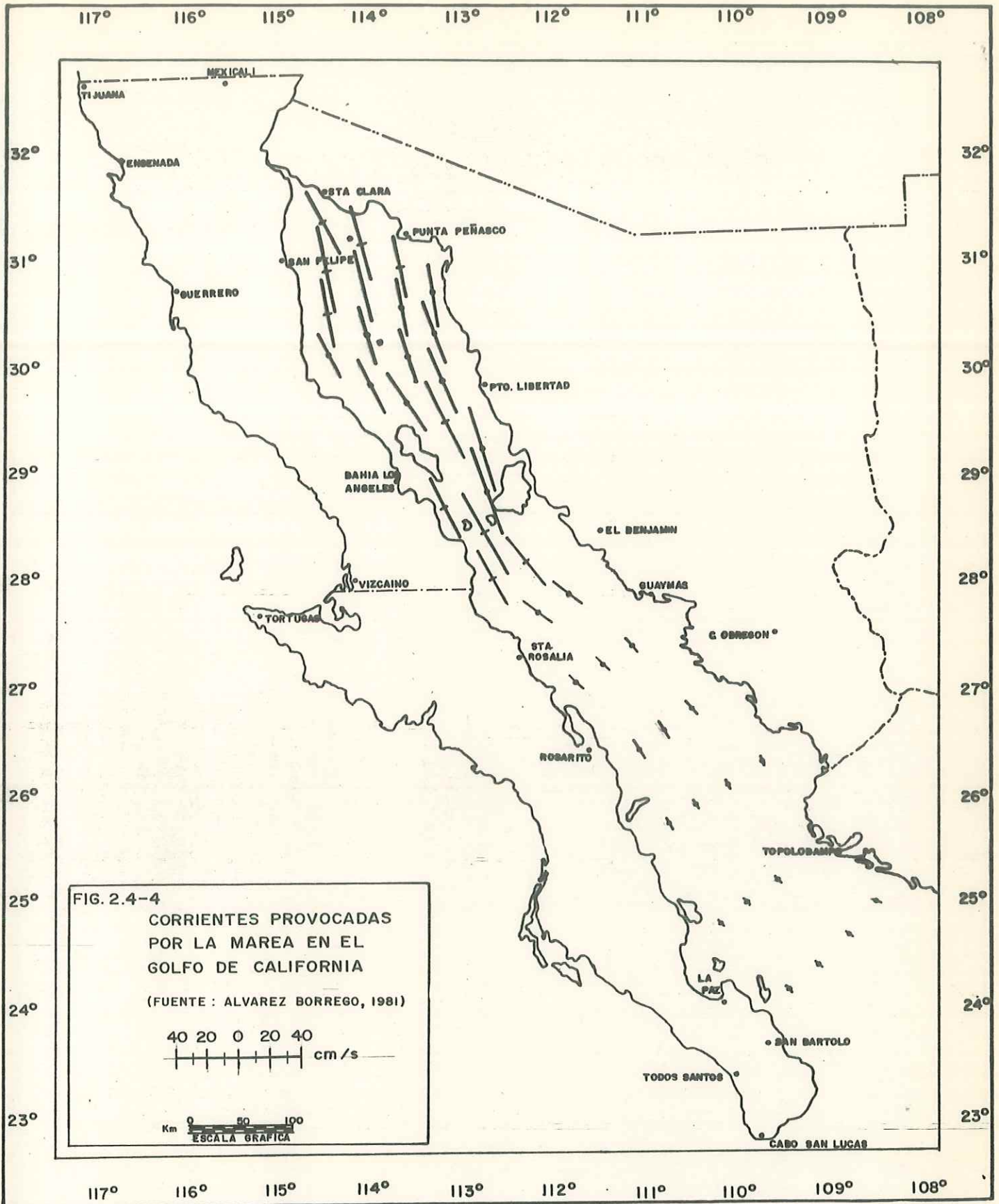


FIG.2.4-2  
 TOPOGRAFIA DINAMICA DE  
 LA SUPERFICIE DEL GOLFO,  
 REFERIDA A LOS 500 DECI-  
 BARES. ISOLINEAS EN ME-  
 TROS DINAMICOS  
 (FUENTE : ALVAREZ BORRERO , 1981)  
**MES DE FEBRERO**

Km 0 50 100  
 ESCALA GRAFICA



**FIG. 2.4-3**  
 TOPOGRAFIA DINAMICA DE  
 LA SUPERFICIE DEL GOLFO,  
 REFERIDA A LOS 500 DECI-  
 BARES. ISOLINEAS EN ME-  
 TROS DINAMICOS.  
 (FUENTE : ALVAREZ BORREGO, 1981)  
**MES DE JUNIO**  
 Km 0 50 100  
 ESCALA GRAFICA



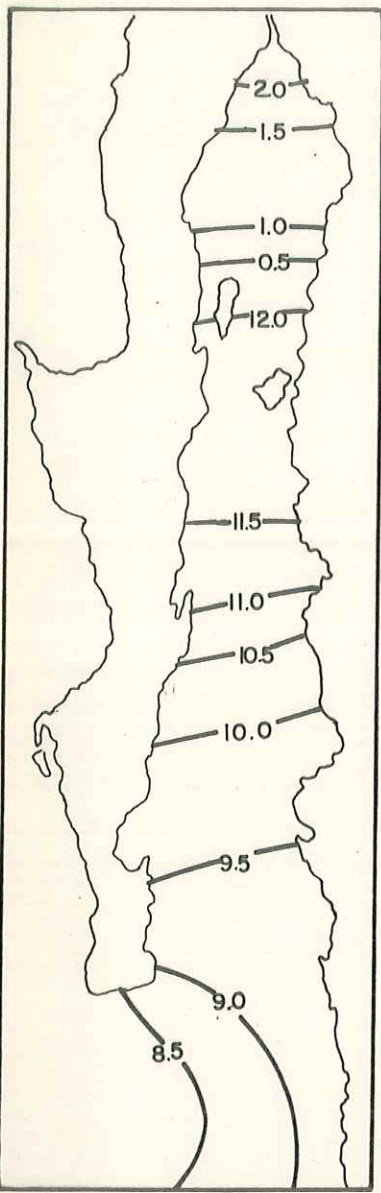
tura entre 1.5 y 3 m. avanzando río arriba. Este fenómeno se repite cada 12 horas.

La hora de la marea alta y la marea baja se retarda progresivamente hacia el Norte. La diferencia en tiempo entre la boca y la desembocadura del río Colorado es de 6 horas para la marea baja y de 5.5 para la alta. Por lo tanto, cuando en la entrada se observa marea alta, en el Norte se presenta la marea baja y viceversa (Roden, 1964), ver figura 2.4-5.

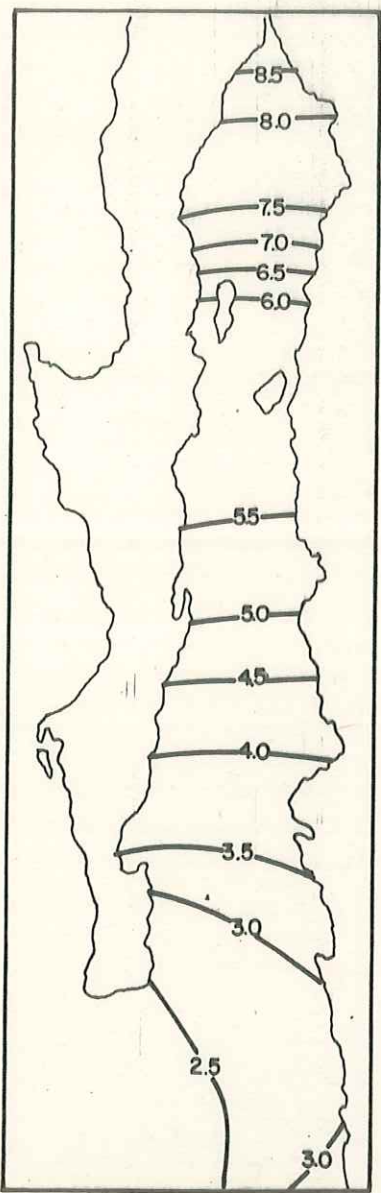
#### 2.4.3. TEMPERATURA

Sverdrup (1941), fué el primero en presentar secciones detalladas de temperatura, salinidad y oxígeno a través del Golfo. El encontró que al Sur de la Cintura la temperatura decrece con la profundidad hasta llegar a menos de 2°C bajo los 2 600 metros. En la parte Norte del Golfo y en el canal de Ballenas la distribución vertical de temperatura es diferente, observándose valores mayores de 11°C en las partes más profundas (figura 2.4-6).

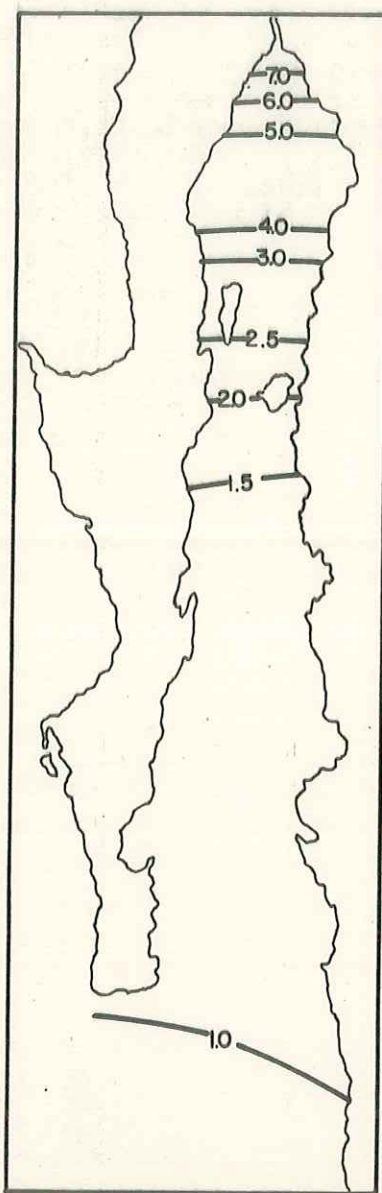
Roden (1964) publicó la distribución de temperatura y salinidad a la profundidad de 10 m. para los meses de abril, junio, agosto y octubre (figura 2.4-7). Comparando los valores térmicos a la misma latitud dentro del Golfo es más caliente de abril a octubre y tiene una temperatura semejante a la del mar durante el resto del año. La variación térmica dentro del Golfo es grande durante el año y el rango aumenta de la boca hacia el interior. Cerca de Cabo Corrientes la amplitud de la variación anual está alrededor de los 9°C, mientras que en la desembocadura del río Colorado alcanza más de los 15°C.



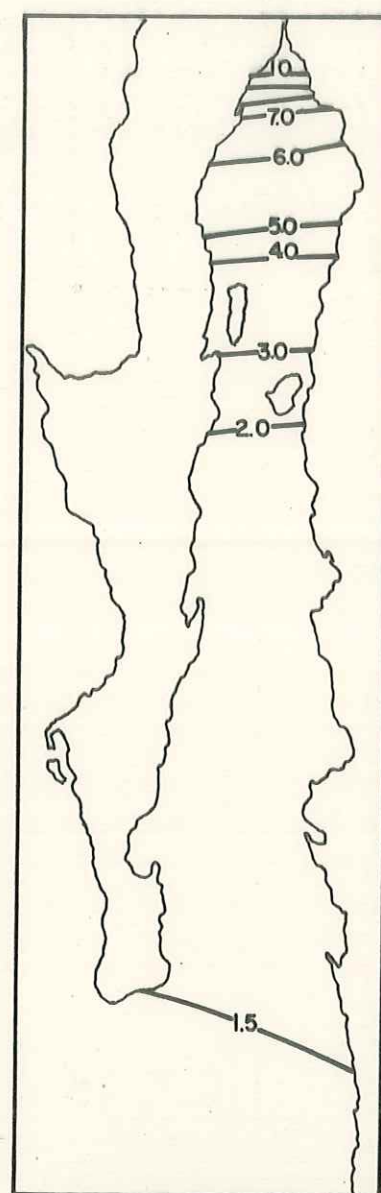
IMA (hrs.)



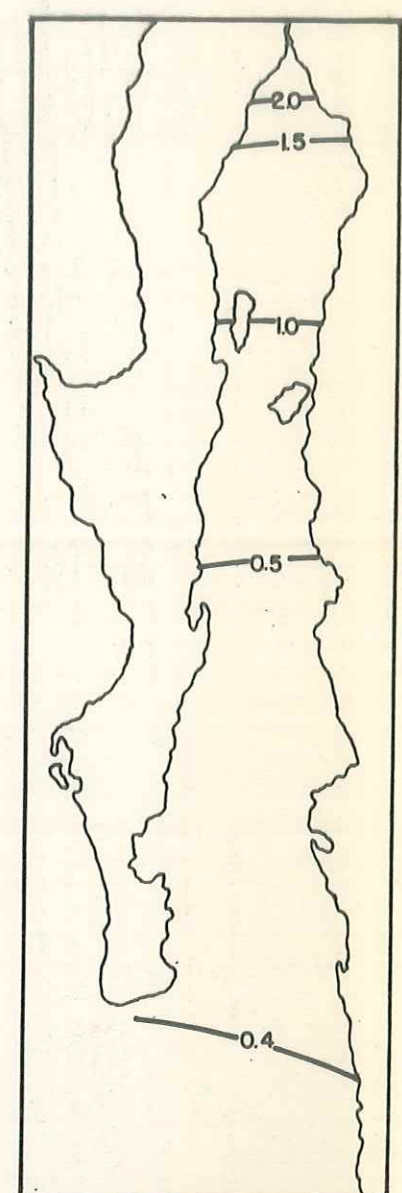
IMB (hrs)



RP (m)



RMV (m)



RMM (m)

FIG. 2.4-5 MAREAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA. IMA E IMB SE REFIEREN A LOS INTERVALOS EN HORAS PARA LA MAREA ALTA Y BAJA. RP, RMV Y RMM DENOTAN EL RANGO EN METROS PARA MAREA MEDIA, VIVA Y MUERTA (RODEN, 1964)

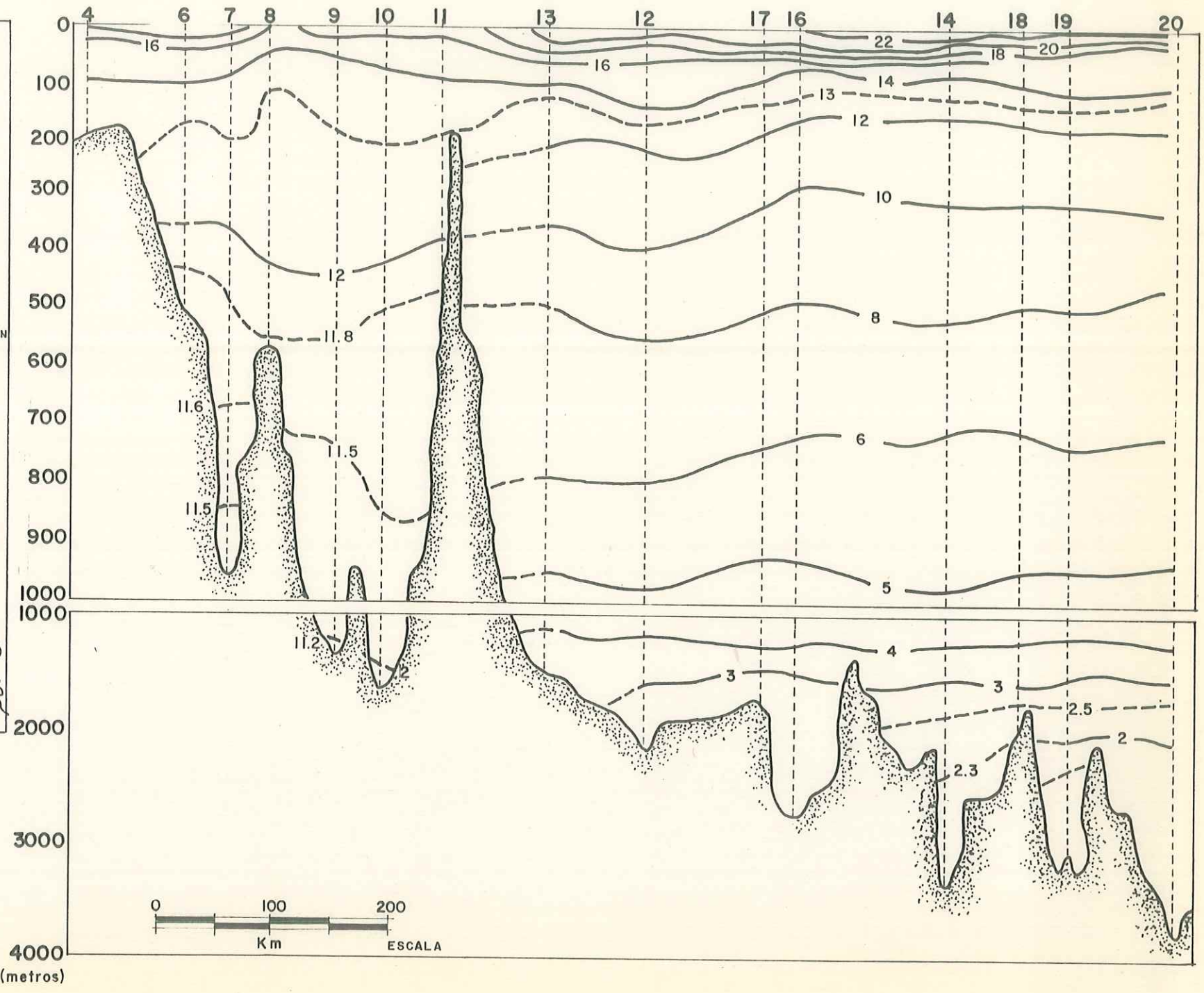
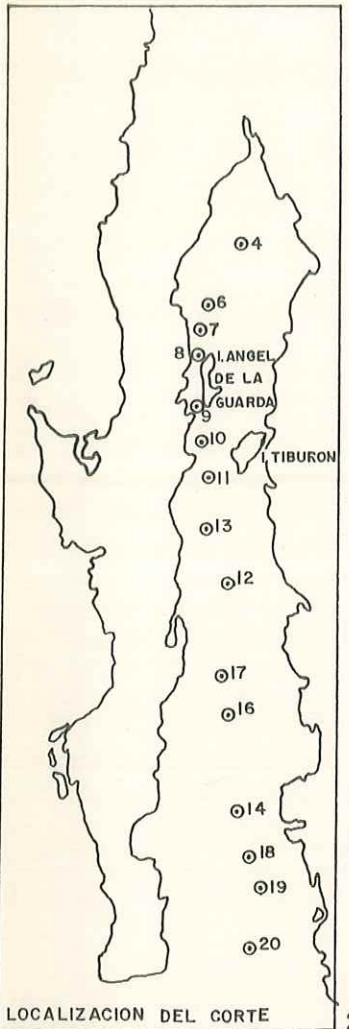
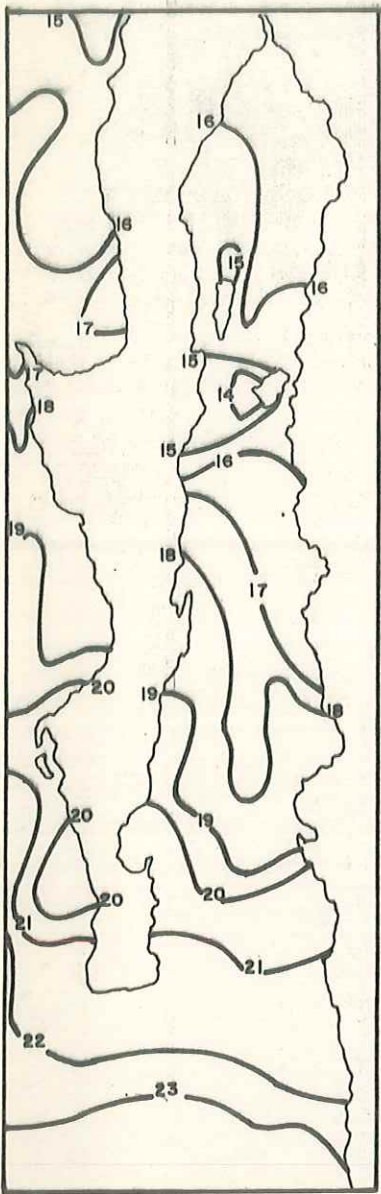
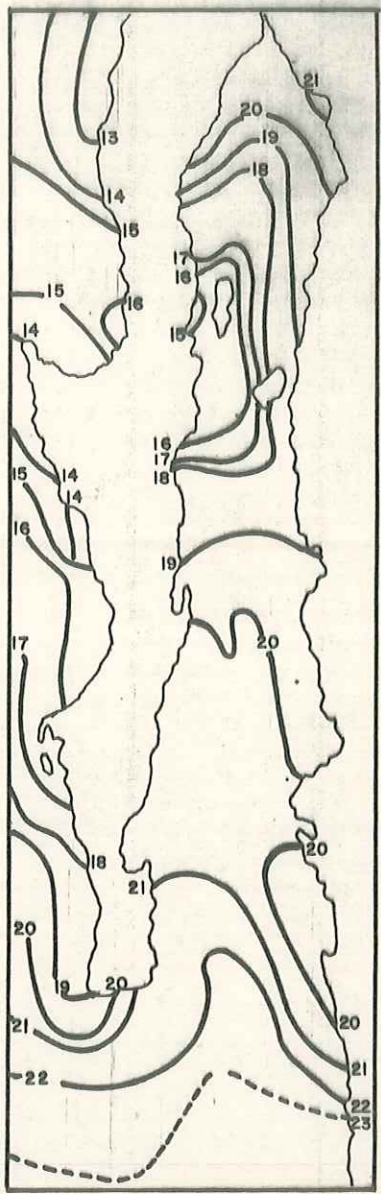


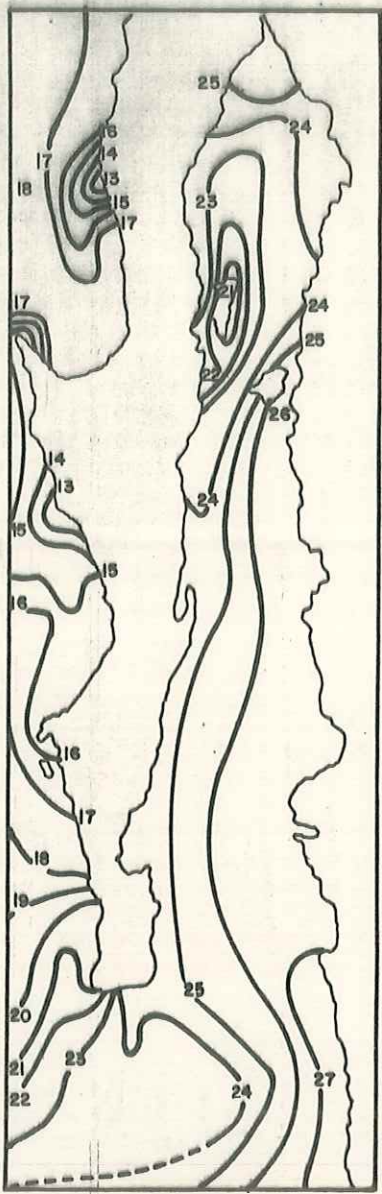
FIG. 2.4-6  
 DISTRIBUCION VERTICAL  
 DE LA TEMPERATURA  
 A TRAVES DEL GOLFO.  
 (Alvarez Borrego, 1981)



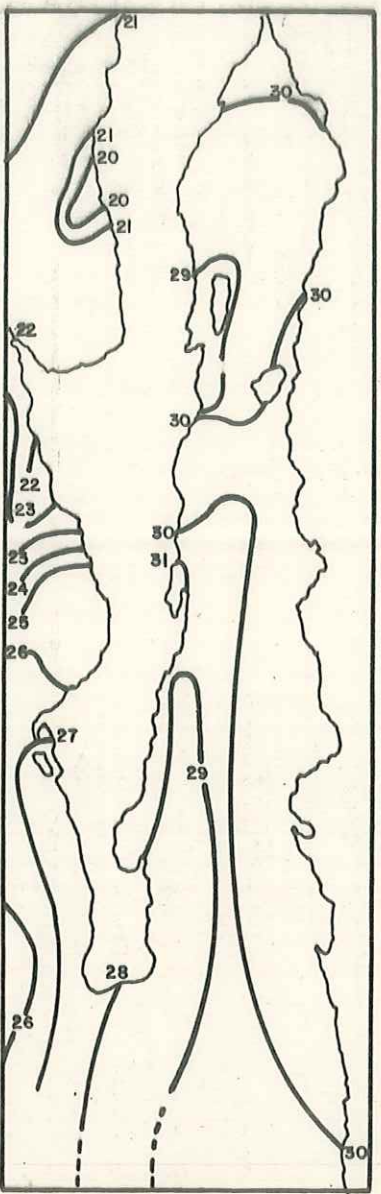
**FEB**



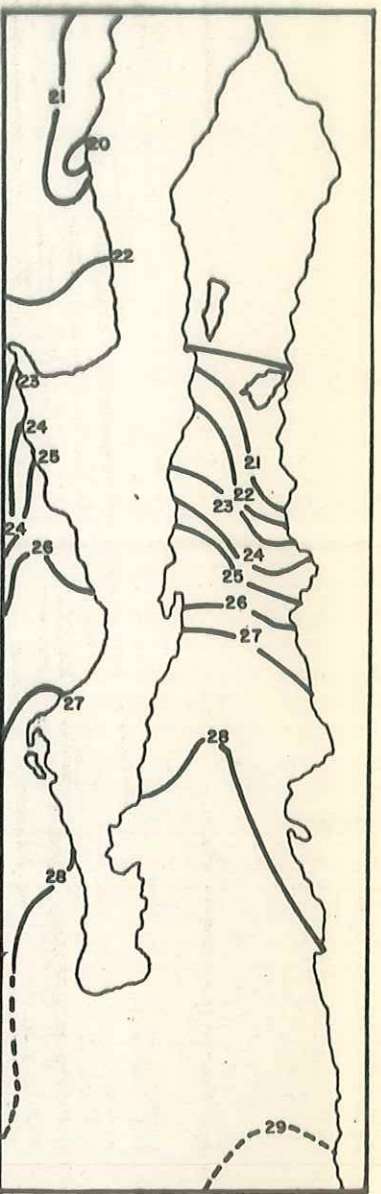
**ABR**



**JUN**



**AGO**



**OCT**

FIG. 2.4-7 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LA TEMPERATURA A UNA PROFUNDIDAD DE 10m. (RODEN, 1964)

Las temperaturas más bajas se presentan en las cercanías de la isla Angel de la Guarda. Este fenómeno se debe a un fuerte proceso de mezcla por la marea.

De octubre a junio la temperatura en la entrada del Golfo es más alta que en la parte Norte y no se presentan diferencias significativas entre las dos márgenes.

De diciembre a mayo las isoterms se alinean en una gran parte del Golfo de Este a Oeste. Sin embargo, pasando la Cintura cambian hacia el Norte y se vuelven paralelas a la costa. Desde principios de junio hasta septiembre las isoterms corren paralelas a las costas aún en la parte Sur; encontrándose aguas más calientes en la margen continental y surgencias en la margen peninsular. Octubre es un mes de cambio en el cual se generan condiciones opuestas a las anteriores; con temperaturas más altas en las costas californianas y surgencias afuera de Sonora y Sinaloa.

En la parte somera, al Norte de la isla Angel de la Guarda, el agua tiene una temperatura de poca variación espacial durante el invierno. Para el fin del verano la termoclina es fuerte y la diferencia en temperatura entre la superficie y los 150 m. llega a ser hasta de 14°C.

#### 2.4.4. SALINIDAD

Según el trabajo publicado por Sverdrup (1941), se observa un mínimo de salinidad entre los 500 y 1 100 metros de profundidad en la parte que se encuentra al Sur de las islas de la Cintura. Este mínimo caracteriza a la masa de agua Antártica Intermedia, (Alvarez-Borrego, 1981).

El valor de salinidad más alto encontrado por Sverdrup fué en la parte cnetral de la porción Norte del Golfo, siendo de 35.5 ppm. A 70 Km. de la boca del río Colorado se encontraron valores de 35.12 ppm., lo cual indica que la influencia del aporte de agua dulce proveniente del río Colorado no tenía una influencia grande, al menos durante el período marzo - abril de 1939.

Dentro del canal de Salsipuedes ó Ballenas, como también se le conoce, la salinidad disminuye desde 35.1 ppm. en la superficie, hasta 34.8 ppm. cerca del fondo de la fosa Salsipuedes; mientras que pasando la Cintura del Golfo, este rango de salinidad se presenta entre la superficie y los 200 metros de profundidad aproximadamente. De ahí disminuye hasta el mínimo anteriormente mencionado, para después incrementarse de 34.56 ppm. a 34.66 ppm. cerca de los 2 500 metros de profundidad en el extremo Sur del Golfo (figura 2.4-8).

De acuerdo con Roden (1964), la salinidad a 10 m. de profundidad varía entre 34.8 y 35.8 ppm., para casi la totalidad del Golfo; exceptuando áreas con bahías semicerradas en la porción más al Norte en donde la salinidad llega a rebasar los 36 ppm.

Durante febrero, en la zona comprendida entre la desembocadura del río Colorado y la Cintura del Golfo, la salinidad decrece de 35.6 a 35.2 ppm. De la Cintura hacia la boca del Golfo permanece oscilando entre 35.3 y 35.2 ppm., para después decrecer hasta 34.8 ppm. en la zona de la boca. En abril se presenta un aumento general en la salinidad dentro del Golfo, la cual es máxima bajo la desembocadura del Colorado, con un valor de 36.0 ppm. y es mínima en la boca, con un valor de 35.0 ppm. Las isohalinas se disponen de manera transversal a excepción de

la zona localizada entre Santa Rosalía y la Paz, en donde la isolínea de 35.3 ppm. se alinea con la costa. Para junio el patrón varía y la salinidad incrementa un poco más, la parte Norte presenta salinidades entre 36.0 y 35.4 ppm. mientras que el resto permanece entre 35.3 y 35.0 ppm. a excepción de un máximo local en las afueras de Santa Rosalía, con un valor de 35.4 ppm. En agosto se puede apreciar claramente la entrada de una masa de agua superficial, con salinidad menor a la del Golfo, esta lengua de agua hiposalina penetra en el Golfo por la margen derecha y ocasiona que las isohalinas de mayor concentración se replieguen hacia la margen peninsular en la cual se presentan dos máximos locales, uno en San Felipe con 36.0 y otro en el interior de la bahía de Santa Rosalía con 36.3 ppm. En agosto no se cuenta con datos en la porción Norte, sin embargo, de la Cintura hasta las dos terceras partes del Golfo la salinidad se mantiene a 35.4 ppm. sin contar con un máximo local de 35.5 ppm. que se alinea a la margen peninsular desde Bahía de los Angeles hasta Santa Rosalía. En el tercio inferior la salinidad va de 35.4 a 35.2 ppm. y luego decrece hasta 35.0 ppm. en la zona de mezcla con el Océano Pacífico.

Comparando las aguas del Golfo con las del Pacífico se puede observar que, a lo largo del año, la salinidad permanece mayor en el primero (figura 2.4-9).

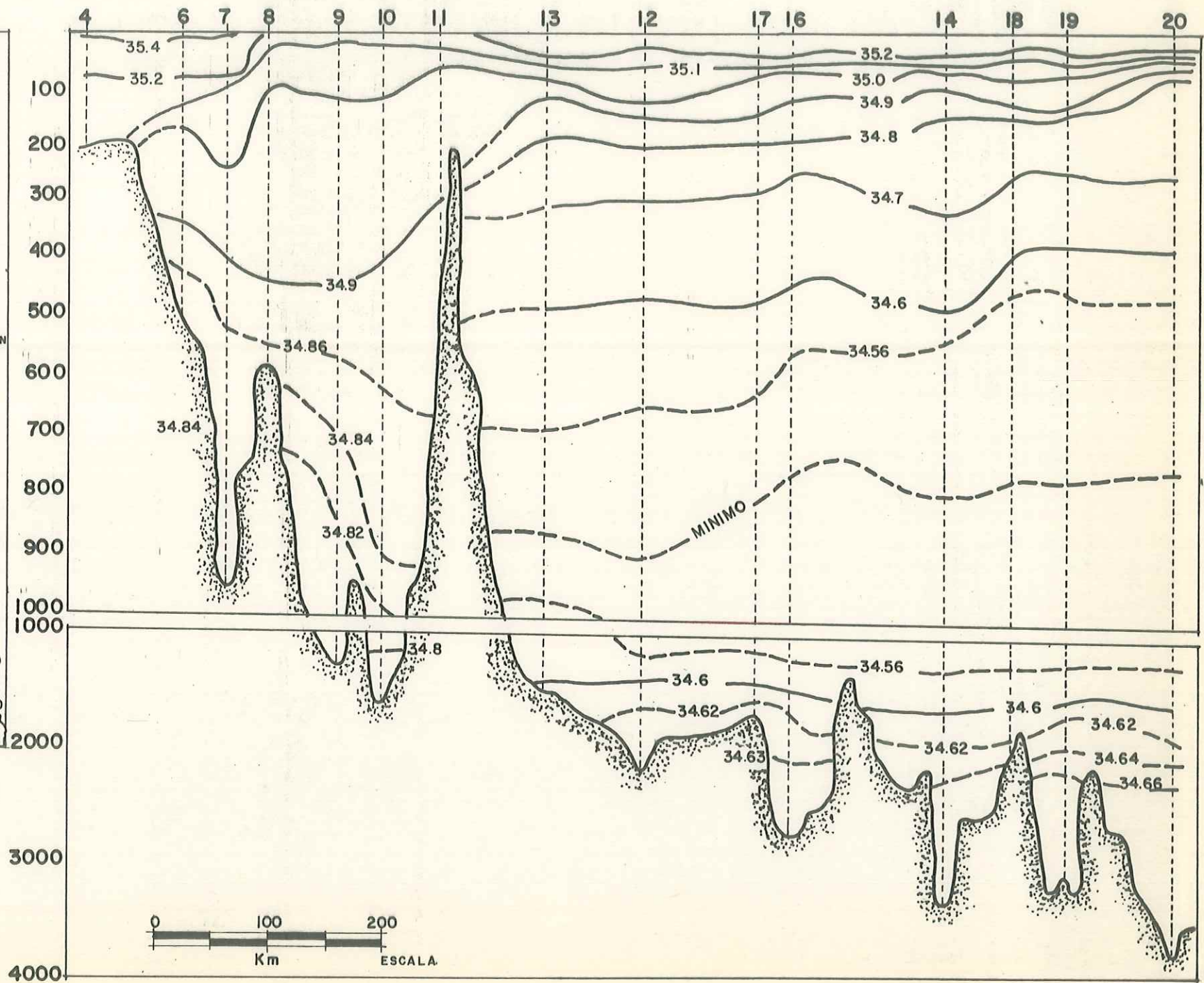
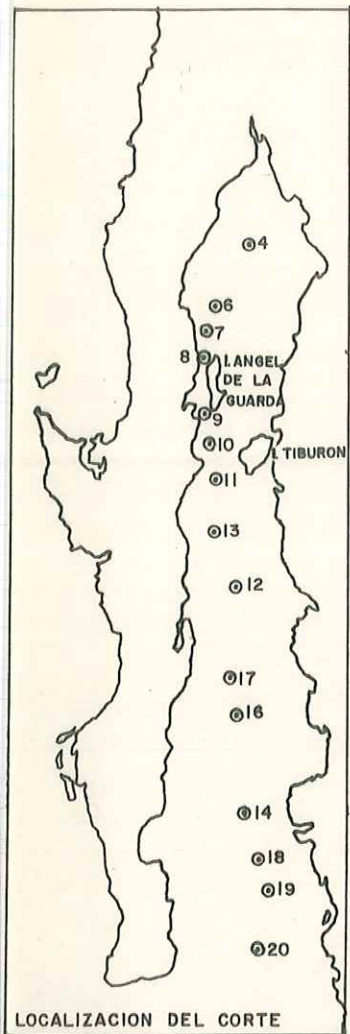


FIG. 2.4-8  
DISTRIBUCION VERTICAL  
DE LA SALINIDAD A  
TRAVES DEL GOLFO  
(Alvarez Borrego, 1981)

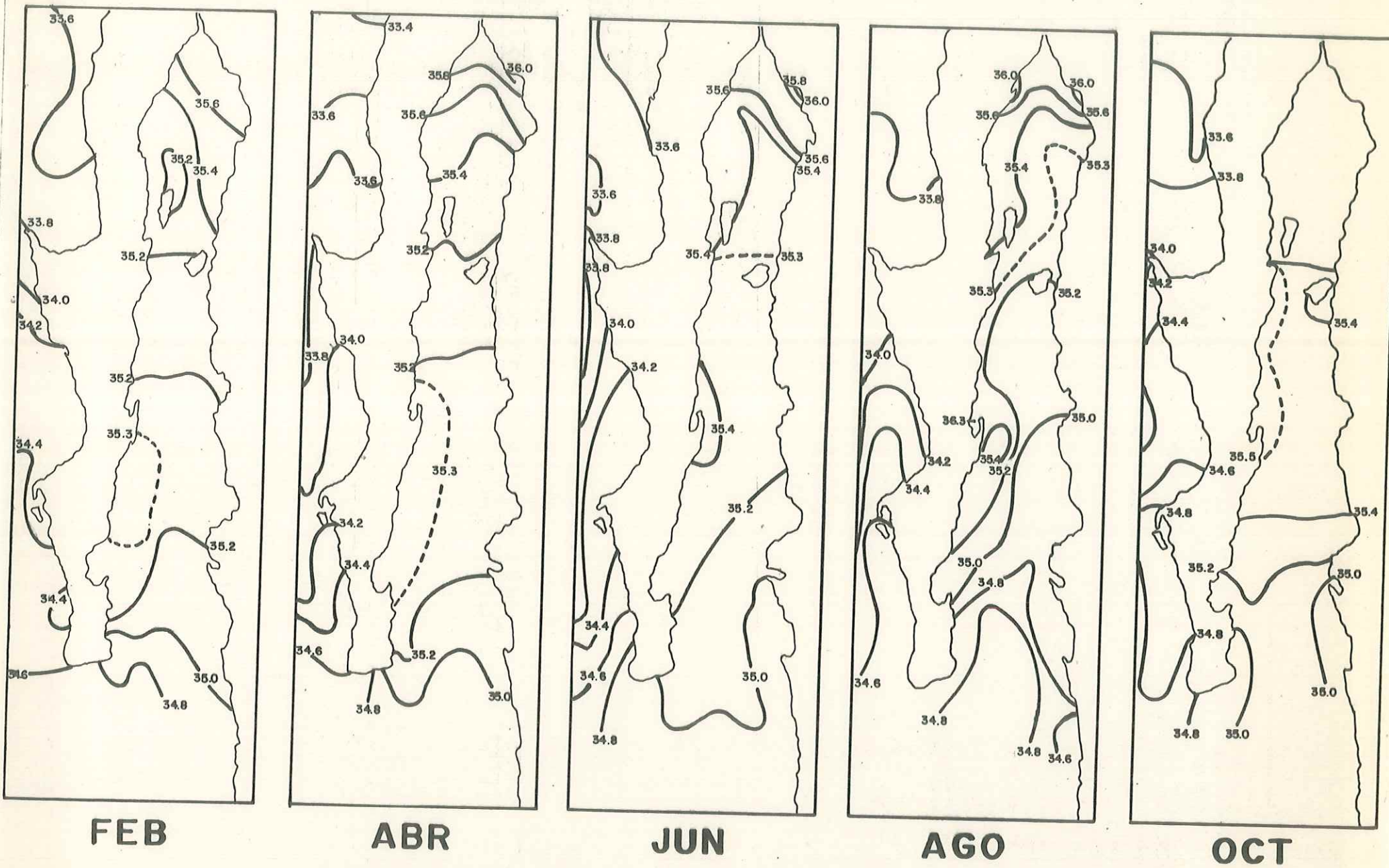


FIG. 2.4-9 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LA SALINIDAD A UNA PROFUNDIDAD DE 10m. (RODEN, 1964).

#### 2.4.5. OXIGENO

El oxígeno disuelto dentro del Golfo presenta variaciones según la posición geográfica y la profundidad. En la porción al Norte de la Cintura el oxígeno disuelto de crece desde valores de 5 a 6 ml/l en la superficie a 2 ml/l entre 100 y 150 m. (Sverdrup, 1941; Roden, 1964; Granados-Gallegos, 1974 y Villaseñor-Casales, 1975). Ninguno de estos autores ha reportado una capa con un mínimo de oxígeno en esta zona.

Al Sur de la Cintura el oxígeno se caracteriza por bajas concentraciones en aguas intermedias (Sverdrup, 1941; Roden, 1964), llegando en ocasiones a ser indetectables por el método Winkler en profundidades que oscilan entre los 500 y 1 100 m. Este mínimo de oxígeno es más pronunciado en la boca que en el interior del Golfo y cubre en el Sur un intervalo de profundidad más extenso. Pasando esta profundidad, la concentración aumenta hasta un poco menos de 2.5 ml/l alrededor de los 3 500 m. La concentración de oxígeno cerca del fondo es bastante más baja dentro del Golfo que a profundidades semejantes en el Pacífico adyacente (Roden, 1964).

El canal de Ballenas presenta diferencias también con respecto al oxígeno comparado al resto del Golfo, puesto que contiene una mayor concentración, aún en profundidades de 1 000 m., donde su valor es de 1 ml/l y no de 0.15 ml/l como en la parte Sur del Golfo. Tampoco se observa mínimo alguno (Sverdrup, 1941). Esto se debe al fuerte proceso de mezcla turbulenta, que las mareas ocasionan en ese lugar (figura 2.4-10).

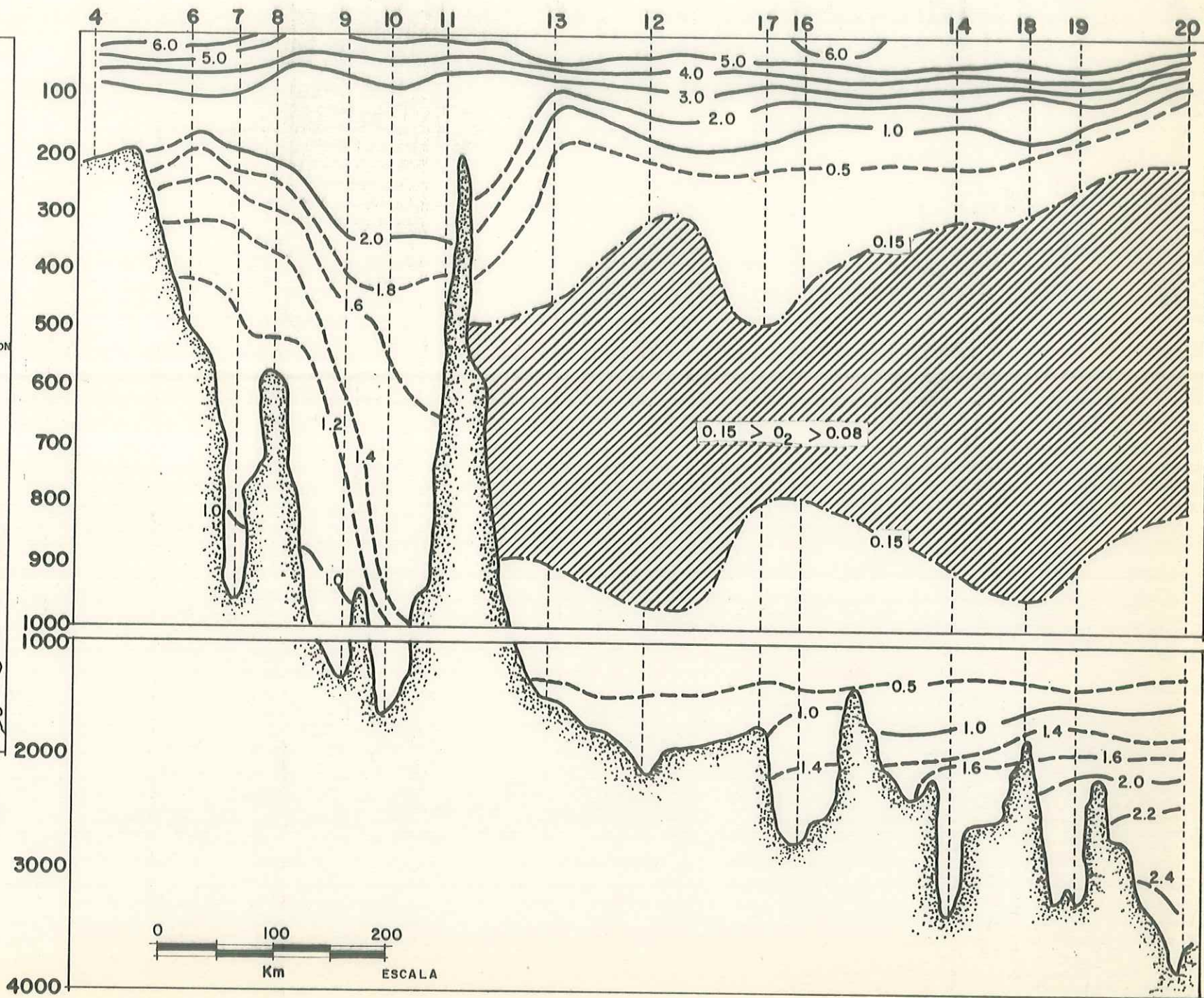
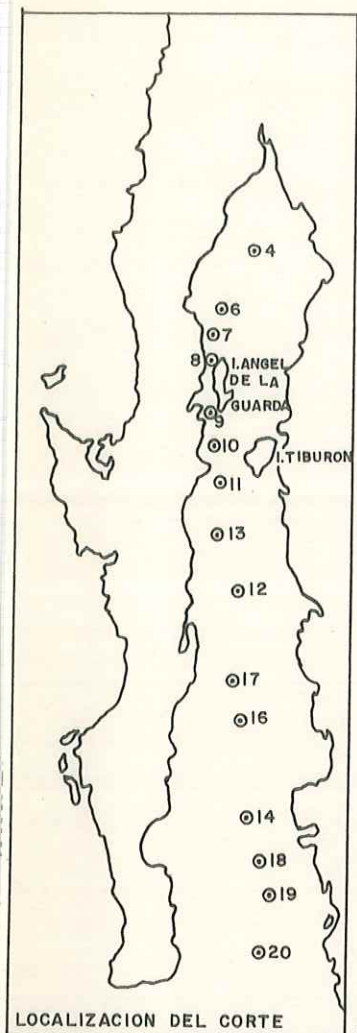


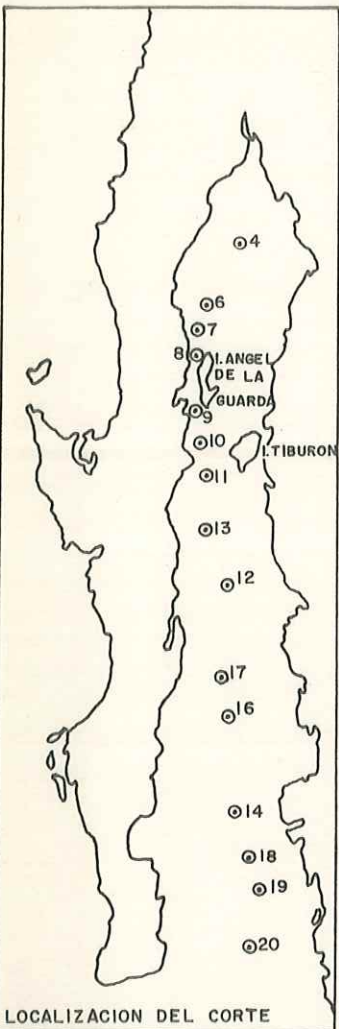
FIG. 2.4 - 10  
DISTRIBUCION VERTICAL  
DEL OXIGENO DISUELT  
A TRAVES DEL GOLFO  
(Alvarez Borrego, 1981)

#### 2.4.6. EL POTENCIAL DE HIDROGENO

Los datos sobre el potencial de hidrógeno (pH) son bastante consistentes con los del oxígeno disuelto, como se puede observar al comparar las figuras 2.4-10 y 2.4-11.

El mínimo de pH se encuentra alrededor de un valor de 7.65 para la región al Sur de la Cintura y entre los 500 y 1 300 m. de profundidad. En esta región del Golfo los valores decrecen en primavera desde poco más de 8.25 en la superficie hasta cerca de 7.80 a los 100 m. de profundidad, después de la cual decrecen paulatinamente hasta el mínimo (pH 7.64). Vuelven a crecer desde los 1 300 m. hasta el fondo, donde llega a un valor alrededor de 7.78 unidades de pH.

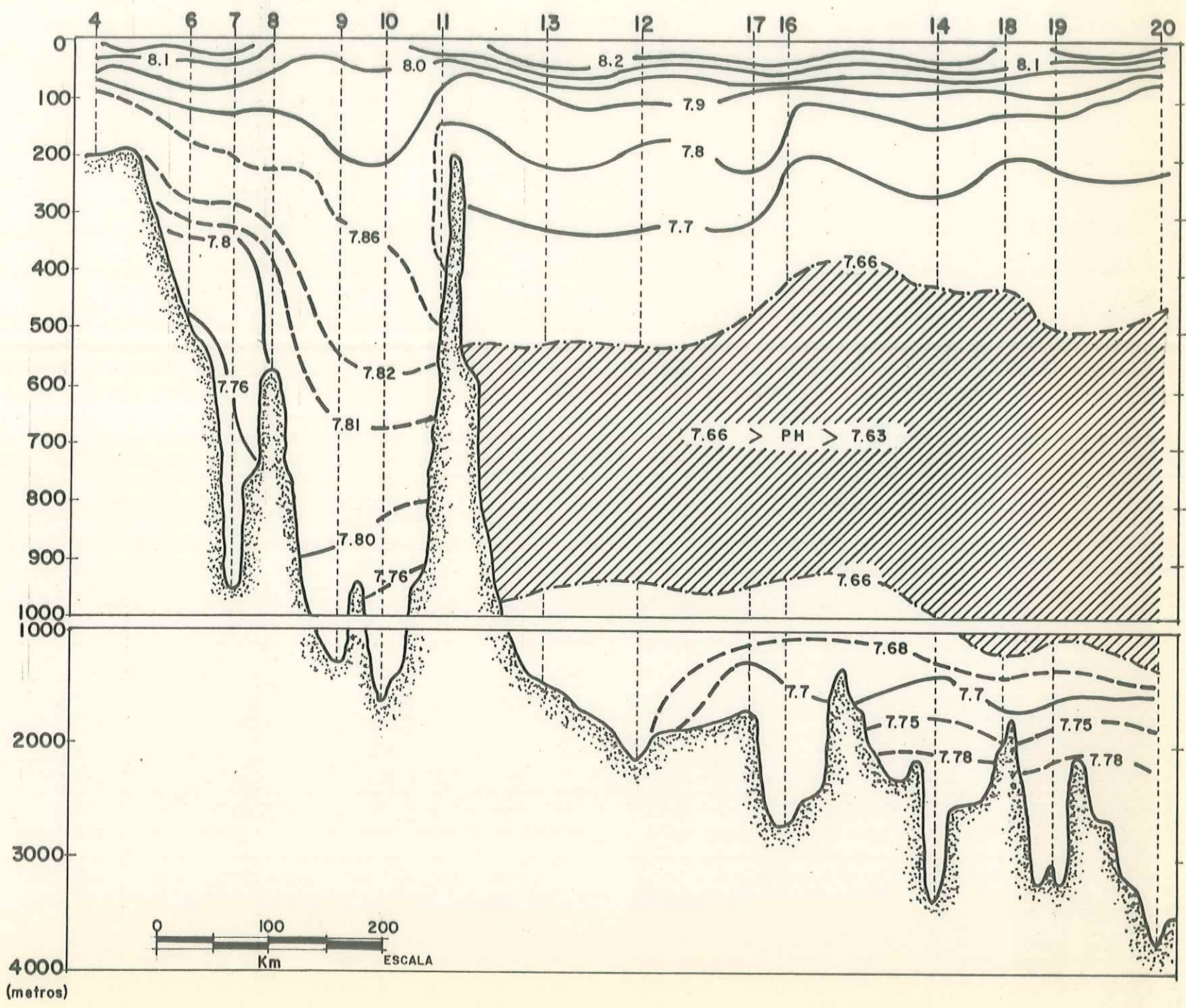
En la parte Norte y en el canal de Ballenas, no hay capa profunda con un mínimo de pH. Los valores mínimos para la superficie se observan en el canal de Ballenas con valores que van de 8.10 a 7.95 en los primeros metros, para después llegar hasta 7.70 en el fondo, cerca de los 1 500 m (figura 2.4-11).



LOCALIZACION DEL CORTE

FIG. 2.4 - 11  
DISTRIBUCION VERTICAL  
DEL POTENCIAL DE  
HIDROGENO A TRAVES  
DEL GOLFO.

(Alvarez Borrego, 1981)



### 3. PLANEACION DE LA INVESTIGACION.

Basándose en la información preliminar dada anteriormente, se hizo una selección de tres alternativas factibles para el tendido del Cable Submarino, transmisor de energía eléctrica.

Dichas alternativas de Norte a Sur son las siguientes:

- a.) *Ruta Punta Granito - Punta San Gabriel*
- b.) *Ruta Guaymas - Santa Rosalía*
- c.) *Ruta Topolobampo - La Paz.*

De las tres alternativas mencionadas, la Comisión Federal de Electricidad seleccionó la *Ruta Punta Granito - Punta San Gabriel* como la más viable, ya que implicaba la menor distancia submarina (+ 70 Km.) y la menor profundidad a vencer (menos de 700 m.), comparándola con las otras dos.

Al término de la etapa de investigación bibliográfica, necesaria para la planeación correcta de los trabajos de campo, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Obtención de fotografías aéreas, escala 1:50 000
- Interpretación de las fotografías, con el objeto de identificar algunas playas arenosas por donde pueda pasar el cable.
- Localización del trazo más apropiado que deberá seguir el cable en las mismas fotografías.
- Verificación física de la información obtenida de las fotografías.
- Recorridos sobre las playas identificadas y a lo largo del trazo terrestre, simultáneamente al establecimiento del sistema

de posicionamiento geográfico para la navegación electrónica del barco de investigación.

- Revisión del fondo y las costas por donde deba pasar el cable, con la ayuda de sondeos acústicos y muestreo del lecho marino.
- Establecido el apoyo terrestre, se cruzó la zona de estudio en varias secciones con el fin de obtener suficiente información para configurar la topografía del Golfo con la mayor precisión.
- Simultáneamente a la obtención de los sondeos acústicos se recabó información geofísica para la conformación de un plano que contenga las características geológicas de la zona.
- Instalación de correntómetros y sensores de presión registrantes, anclados cerca del fondo para detectar las corrientes, olas y mareas que se presenten en la zona de estudio.

### 3.1. DESCRIPCION DE LA ZONA DE INVESTIGACION.

Se encuentra situada entre los paralelos  $28^{\circ} 16'$  y  $20^{\circ} 05'$  latitud Norte y los meridianos  $111^{\circ} 56'$  y  $112^{\circ} 58'$  longitud Oeste, está dentro de la zona de transición que separa en dos cuencas al Golfo de California (figura 3.1-1).

De las islas que se encuentran en esta zona, sólo la de Tiburón se vió involucrada en el estudio. Se localiza frente a las costas de Sonora y es una de las más grandes del país; con una longitud alrededor de los 55 Km. y una anchura de unos 35 Km. La separa de la costa un canal denominado "*Del Infiernillo*" con una anchura que varía entre 3 y 8 Km. El relieve de la isla es bastante accidentado debido a la presencia de dos sistemas montañosos; la *Sierra Kinkaak* al Este, y la *Menor* al Oeste. Cuentan con un arroyo principal que corre de Sur a Norte por el Valle de Tecamote hasta llegar a la Bahía de Agua Dulce donde desemboca. Predominan los litorales escabrosos, pero existen algunas playas arenosas.

Al Este del canal mencionado la costa sonorenses es predominantemente plana y arenosa a excepción de Punta Blanca y Punta Ignacio donde afloran rocas volcánicas y Punta Granito con afloramientos cristalinos. Existen varias playas arenosas entre conjuntos pedregosos donde el canal Del Infiernillo es más estrecho.

Del otro lado del Golfo, la parte de la costa peninsular seleccionada para incluir el lugar de la terminal del cable, presenta amplias playas arenosas, intercaladas con áreas pedregosas con poca protección contra los vientos del Norte. Siguiendo hacia el Norte se presenta una zona eminentemente rocosa, donde la fuerza erosiva del mar ha labrado un conjunto de pequeñas penínsulas y ensenadas.

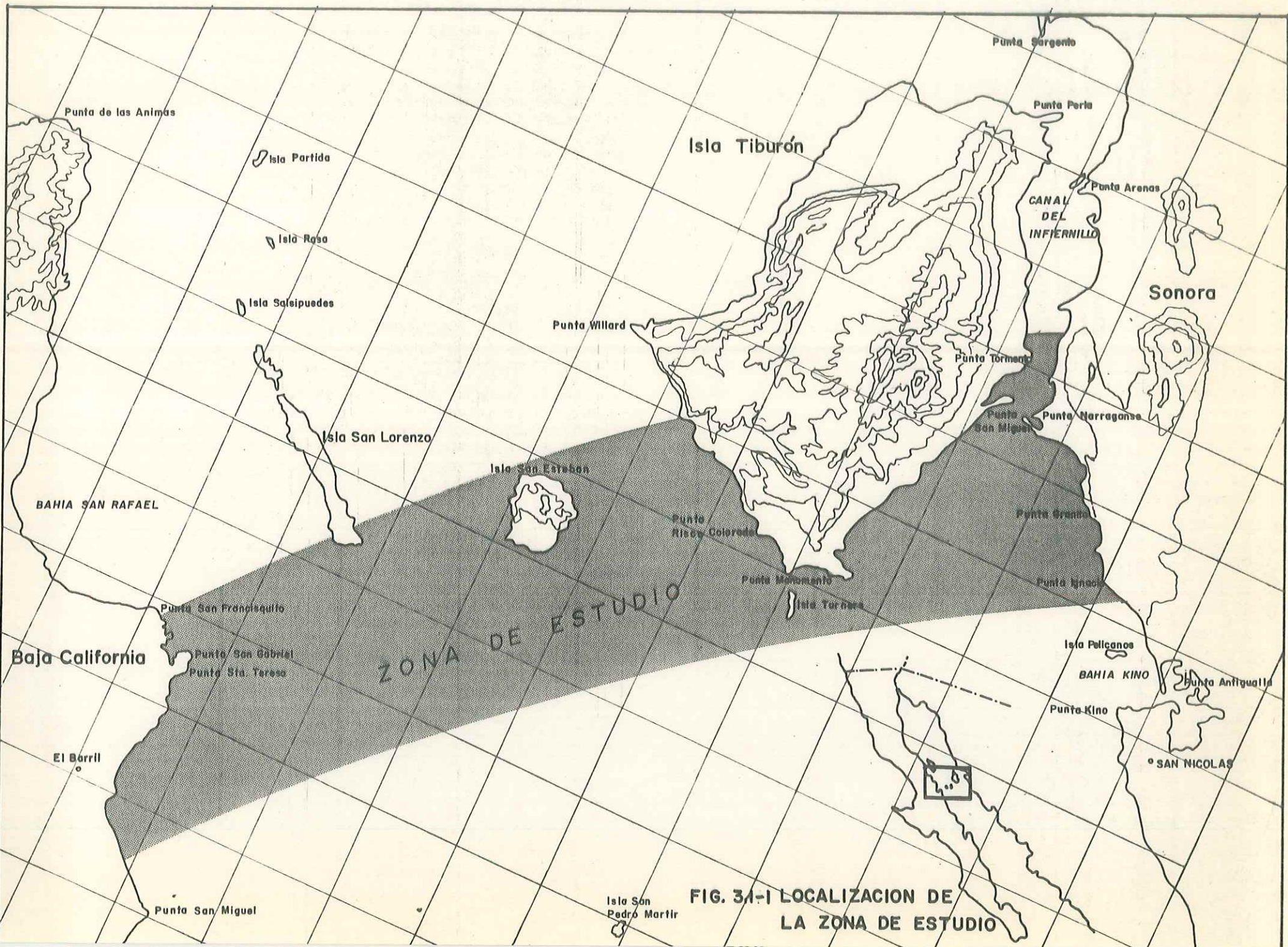


FIG. 31-1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Dentro de la zona se encuentran las islas de *San Lorenzo* junto con su prolongación submarina, la isla de *San Esteban* y la de *Turners*.

Geológicamente; en la parte continental e incluyendo la isla Tiburón dominan las rocas post-batolíticas de tipo sedimentario, siguiéndolas en importancia las del tipo volcánico. En la Península dominan las rocas post-batolíticas volcánicas y le siguen las batolíticas del tipo de las Tonalitas. Las dos partes presentan pequeños afloramientos de rocas pre-batolíticas, metasedimentarias y volcánicas. (Gastil, 1971, 1974).

El fondo marino está constituido principalmente por sedimentos no consolidados de color grisaceitunado, con fragmentos de calcarenita, así como cantidades variables de arcilla, limo, radiolarios y diatomitas. (Van Andel, 1964).

La profundidad en esta zona no rebasa los 700 m. exceptuando en las fosas, donde llega cerca de los 1 500 m. en la de Salsipuedes y 970 m. en la de San Pedro Mártir. La fosa de Tiburón llega sólo a 720 m. (Van Andel, 1964). Es la parte más somera desde las islas de "*La Cintura*", hasta su conexión con el mar.

De acuerdo con el sistema de clasificación climatológica de Köppen, modificado por Enriqueta García (1973) para su aplicación nacional, esta zona es definida como muy seca y semicálida. La precipitación es inferior a los 100 mm. anuales, cayendo principalmente en verano. Su temperatura varía entre los 14°C y 30°C con un promedio anual entre 20 y 22°C.

Se tiene poco conocimiento sobre las mareas en esta zona. No obstante, se puede dar un rango de la marea alrededor de los 3 m., siendo del tipo semidiurna. Las corrientes superficiales, estimadas por la deriva de los barcos se dirigen

hacia el Noroeste durante el verano y hacia el Sureste durante el invierno. La rapidez es del orden de los 15 a 25 cm/seg. (GYMSA 1981).

Según Roden (1964), la temperatura a 10 m. varía en esta zona entre 14°C y 30°C, mientras que la salinidad a la misma profundidad oscila entre los 35.1 ppm. y 35.5 ppm.

El oxígeno disuelto disminuye desde 6 ml/l en la superficie hasta 1.0 ml/l cerca del fondo (Sverdrup, 1941; Grana dos-Gallegos (1974). El pH se mantiene entre 8 y 7.66 unidades.

### 3.2. ZONIFICACION DEL AREA DE ESTUDIO.

Una vez efectuados los vuelos de reconocimiento, así como los recorridos preliminares sobre el área, se procedió a de linear en detalle las zonas que presentaban las mejores características para las posibles playas sobre las cuales pudiera pasar el cable. Se dividió el área, de acuerdo a su localización, en aguas cercanas a la costa y aguas profundas. En aguas cercanas a la costa se definieron cuatro zonas:

- Zona A.- *El Barril*; entre Punta San Gabriel y Punta San Miguel del lado peninsular.
- Zona B.- *Ensenada de la Cruz*; entre Punta Risco Colorado y Punta Monumento en la isla Tiburón.
- Zona C.- *Canal Del Infiernillo*; desde Punta Tormenta a Punta Santa Rosa y desde la isla Tiburón a la costa de Sonora.
- Zona D.- *Kino*; entre Punta Granito y Punta San Ignacio al Norte de Bahía Kino, Son.

En aguas profundas se abarcó una franja del Golfo que va desde Punta San Francisquito hasta la Bahía de Kunkaak al Norte y desde El Barril hasta Punta Ignacio en el Sur.

Esta franja se dividió en tres partes:

- Zona I.- De la Península a la Isla de San Esteban.
- Zona II.- De San Esteban a Isla Tiburón.
- Zona III.- De Isla Tiburón a la costa de Sonora.

La figura 3.2-1 muestra la subdivisión del área de estudio.

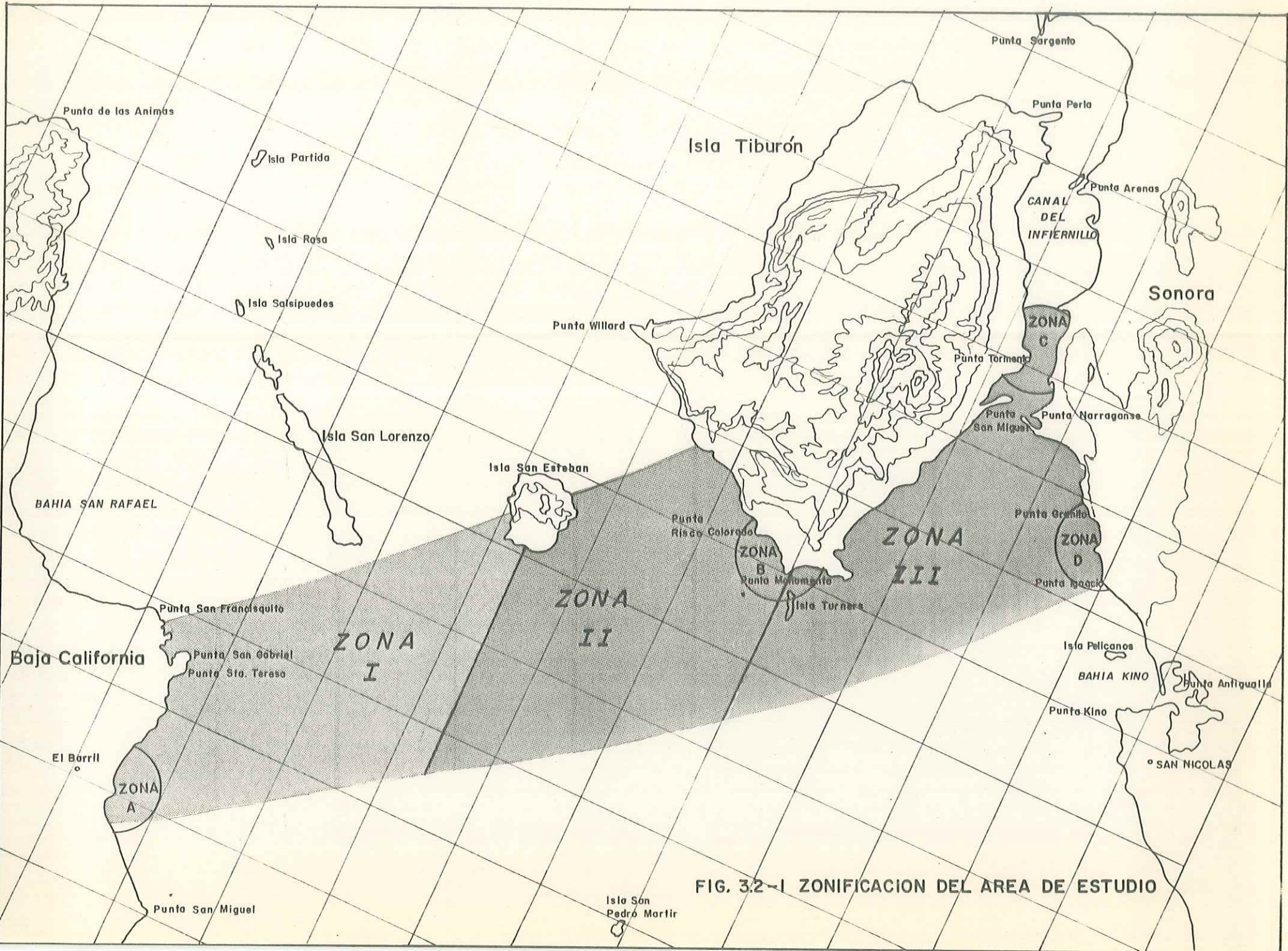


FIG. 3.2-1 ZONIFICACION DEL AREA DE ESTUDIO

### 3.3. SECUENCIA DE ACTIVIDADES EN EL CAMPO.

Para la ejecución planeada de los trabajos efectuados en el campo se siguió la secuencia de actividades que se describe a continuación.

- (1) Mientras que el barco M/V Vega I se trasladaba desde California hasta la zona del estudio, se realizaron en forma independiente los trabajos correspondientes al apoyo terrestre; necesario para la ubicación del barco, dentro de la red nacional de coordenadas geográficas implantada por Detenal; durante la investigación y las posiciones necesarias en la restitución aerofotogramétrica. Dicho apoyo consistió en el levantamiento de una poligonal abierta, cuyos vértices, además de dar coordenadas X, Y y Z, sirvieron para la formación de las líneas de base utilizadas en las triangulaciones electrónicas efectuadas desde el barco y con las cuales se obtuvo una posición referente a dos estaciones fijas, ubicadas en dichos vértices.

La tabla 3.3-1 expone los valores determinados para las tres coordenadas de cada vértice utilizado en el apoyo terrestre. De los catorce puntos levantados, dos fueron situados en la Península de California, tres en la isla de San Lorenzo, uno en Isla San Esteban, siete en Isla Tiburón y el último en la costa continental de Sonora.

Para el posicionamiento electrónico se utilizaron nueve líneas de base formadas de acuerdo con los datos de la tabla 3.3-2.

Tabla 3.3-1 COORDENADAS UTM Y GEOGRAFICAS DE LOS VERTICES DE LA POLIGONAL DE REFERENCIA.

Número del Vértice	C O O R D E			N A D A S	
	U	T	M	G E O G R A F I C A S	
	X ( m e	Y t r o s)	Z	LAT (N)	LONG (O)
1	309,848	3 128,628	452	28° 16' 17"	112° 56' 18"
2	312,069	3 145,175	328	28° 25' 15"	112° 55' 07"
3	326,928	3 164,366	482	28° 35' 46"	112° 46' 11"
4	344,617	3 173,617	494	28° 40' 55"	112° 35' 25"
5	354,298	3 191,617	544	28° 50' 44"	112° 29' 36"
6	366,771	3 188,140	316	28° 48' 55"	112° 21' 55"
7	376,663	3 183,384	165	28° 46' 25"	112° 15' 48"
8	372,286	3 182,284	476	28° 49' 35"	112° 18' 32"
9	375,987	3 199,784	368	28° 55' 17"	112° 16' 19"
10	375,877	3 218,722	260	29° 05' 32"	112° 16' 31"
11	396,919	3 202,136	360	28° 56' 40"	112° 03' 27"
12	383,627	3 210,733	5	29° 01' 15"	112° 11' 41"
13	318,755	3 170,733	331	28° 39' 09"	112° 51' 16"
14	322,652	3 168,041	406	28° 37' 43"	112° 48' 51"

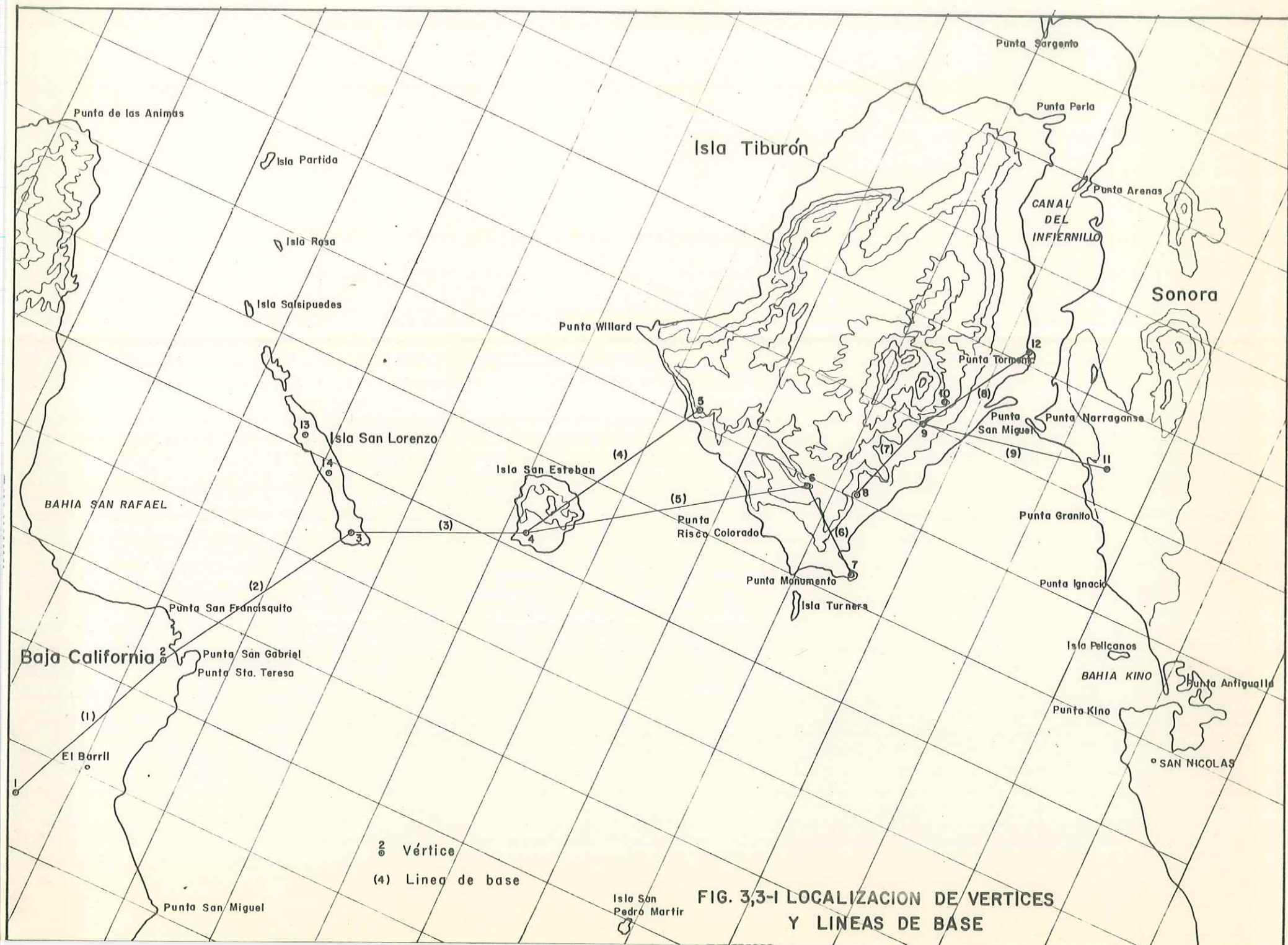
TABLA 3.3-2 Líneas de Base para Posicionamiento.

LINEA DE BASE NUMERO	VERTICES	UBICACION
1	1 - 2	Península
2	2 - 3	Península - San Lorenzo
3	3 - 4	San Lorenzo - San Esteban
4	4 - 5	San Esteban - Tiburón
5	4 - 6	San Esteban - Tiburón
6	6 - 7	Tiburón
7	8 - 9	Tiburón
8	9 - 12	Tiburón
9	9 - 11	Tiburón - Continente

La figura 3.3-1 muestra la localización de los vértices de la poligonal, así como las líneas de base utilizadas para el posicionamiento electrónico del barco de investigación.

- (2) Al arribo del M/V Vega a la zona de estudio, se procedió a la instalación de los instrumentos registrantes, los cuales se colocaron en 6 arreglos, que fueron dispuestos en localidades previamente escogidas. Uno fué ubicado al Noreste de Punta Tormenta, en el canal Del Infiernillo; uno en las afueras de Bahía Kino; otro cerca de la Punta Risco Colorado en la isla Tiburón; dos al Suroeste de la isla de San Esteban y el último al Noreste de El Barril en la costa peninsular.
- (3) Una vez instalados dichos instrumentos, se iniciaron los sondeos acústicos, para los cuales se utilizaron dos tipos de embarcaciones, el M/V Vega I para aguas profundas y otra más pequeña para los sondeos en aguas someras.

La siguiente tabla muestra el número de líneas de sondeo levantadas, junto con el total de kilómetros recorridos



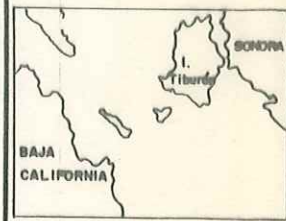
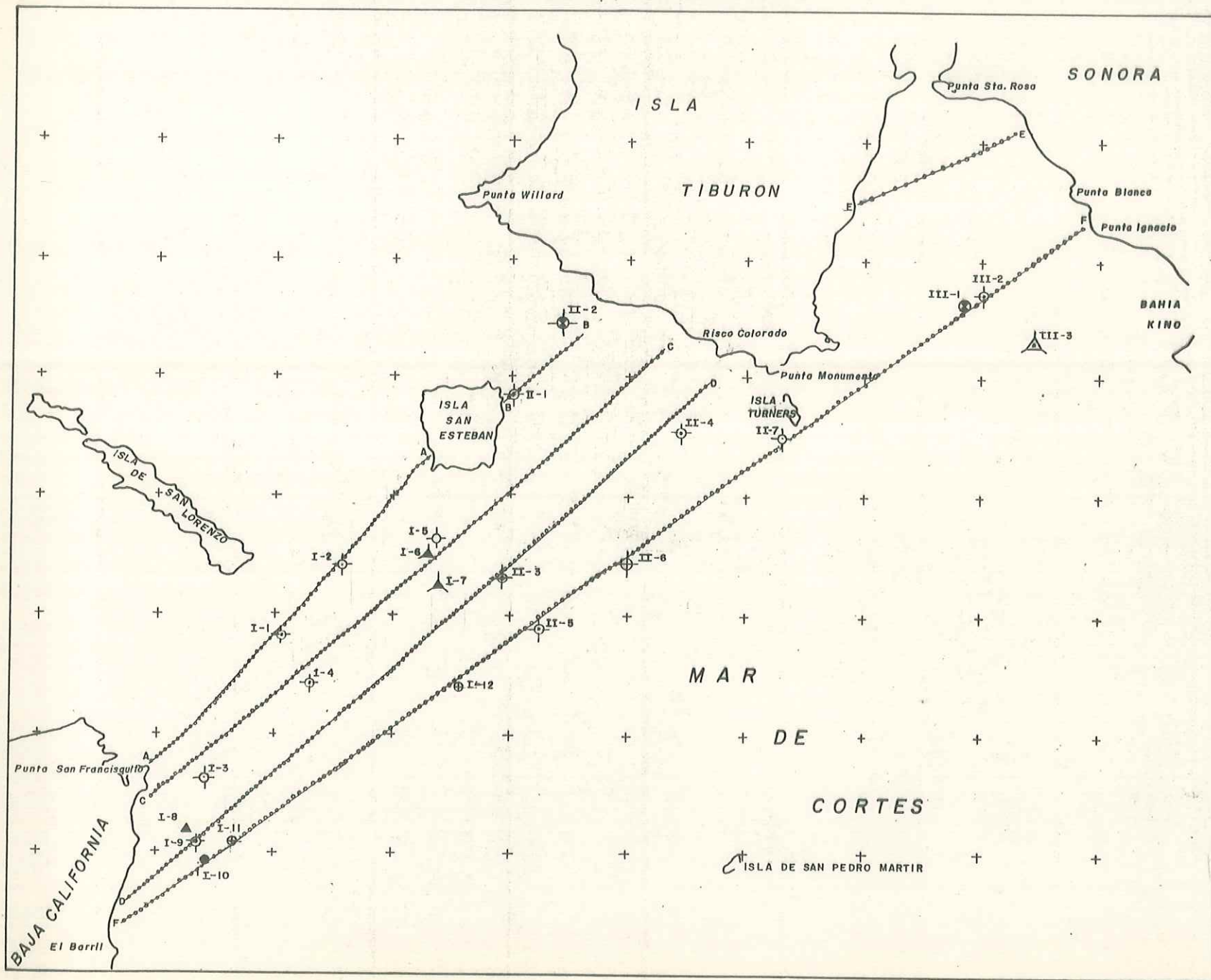
por zona.



TABLA 3.3-3 Líneas de Sondeo levantadas por Zona.

A G U A S P R O F U N D A S			A G U A S S O M E R A S		
ZONA	Núm. Líneas	Km.	ZONA	Núm. Líneas	Km.
I	4	161.5	A	7	33.0
II	4	88.5	B	7	21.0
III	2	45.0	C	9	32.5
Total de Líneas: 40			Distancia Total (Km): 400		

- (4) Al final de los sondeos acústicos se procedió a la obtención de fotografías del lecho marino, éstas fueron tomadas en ocho localidades. Se efectuaron muestreos en la columna de agua, obteniéndose muestras de superficie y fondo en 22 estaciones de aguas profundas y en 34 de aquellas en aguas someras. Además se tomaron muestras de sedimentos; 14 con draga y 2 con nucleador en aguas profundas, así como 20 con draga y 2 con nucleador en aguas someras.

La tabla 3.3-4 enlista, por zonas, las 46 estaciones seleccionadas junto con las actividades realizadas en cada una de ellas, mientras que la tabla 3.3-5 contiene las coordenadas UTM y geográficas de cada estación. La figura 3.3-2 muestra la localización de las líneas de sondeo, junto con la de las estaciones incluidas en aguas profundas. En las figuras 3.3-3 a 6 se encuentra la localización de las líneas de sondeo y las estaciones incluidas en las zonas A, B, C y D de aguas someras respectivamente. Los círculos sobre las líneas de sondeo significan cada fija de posición, cuya separación fué de quinientos metros para las zonas I, II y III y de 250 metros para las demás.



-  CORRENTOMETRO SED. Y AGUA.
-  MUESTRA DE SEDIMENTO
-  MUESTRA DE AGUA
-  FOT. SUBMARINA
-  NUCLEO
-  NUCLEO Y MUESTRA DE AGUA.
-  MUESTRA DE SEDIMENTO AGUA Y FOT.
-  MUESTRA DE SEDIMENTO Y FOT. SUB.
-  FIJAS DE POSICION
-  MUESTRA DE SEDIMENTO Y AGUA.
-  CORRENTOMETRO
-  CORRENTOMETRO Y MUESTRA DE SEDIMENTO

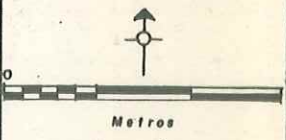
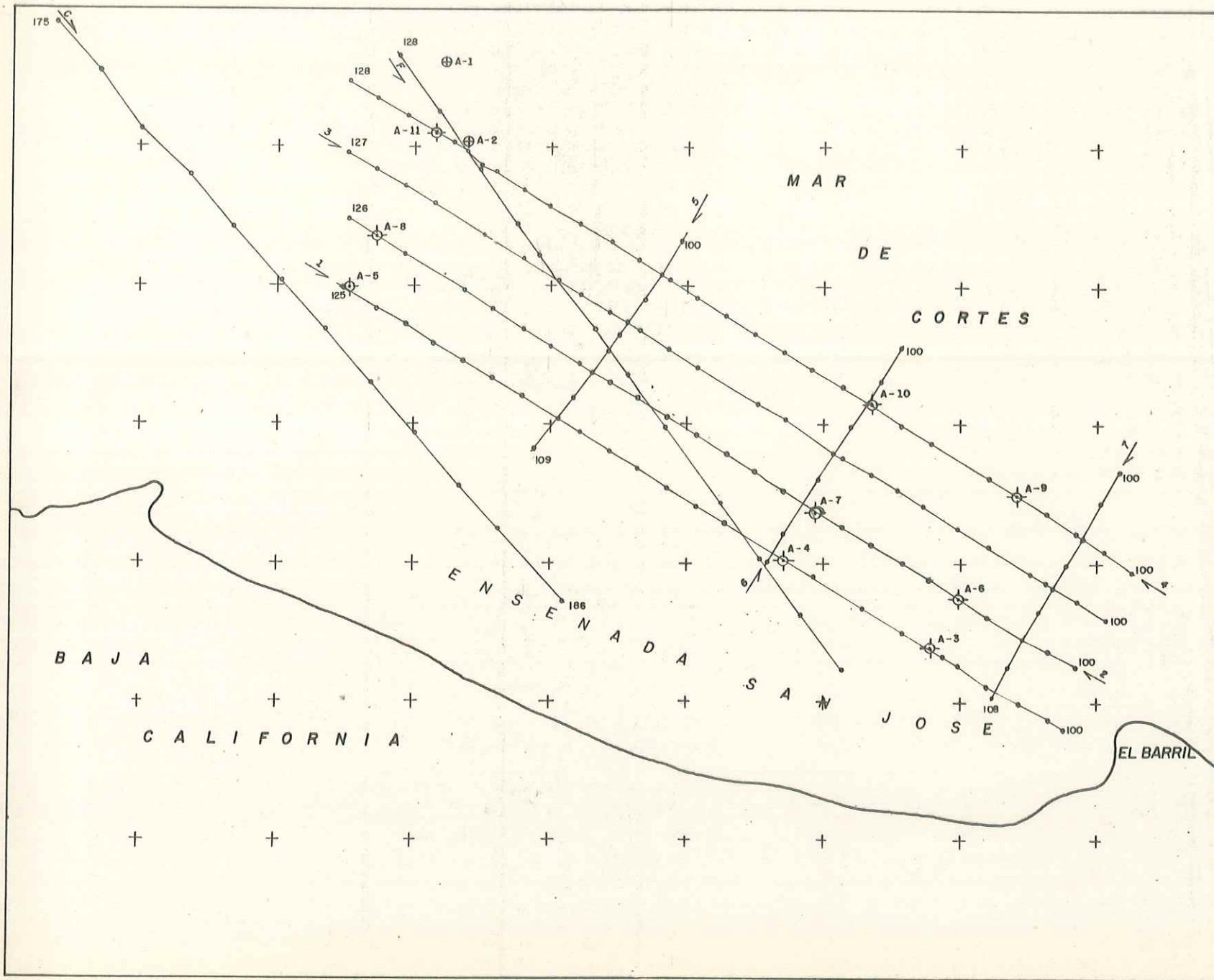


FIG. 3.3-2  
 LOCALIZACION DE LAS LINEAS DE SONDEO Y ESTACIONES ESCOGIDAS EN AGUAS PROFUNDAS.



- > LINEAS DE SONDEO
- FIJAS DE POSICION
- ⊕ MUESTRA DE SEDIMENTO Y AGUA
- ⊕ FOTOGRAFIA DEL FONDO

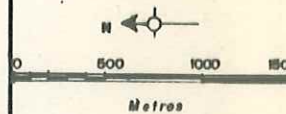
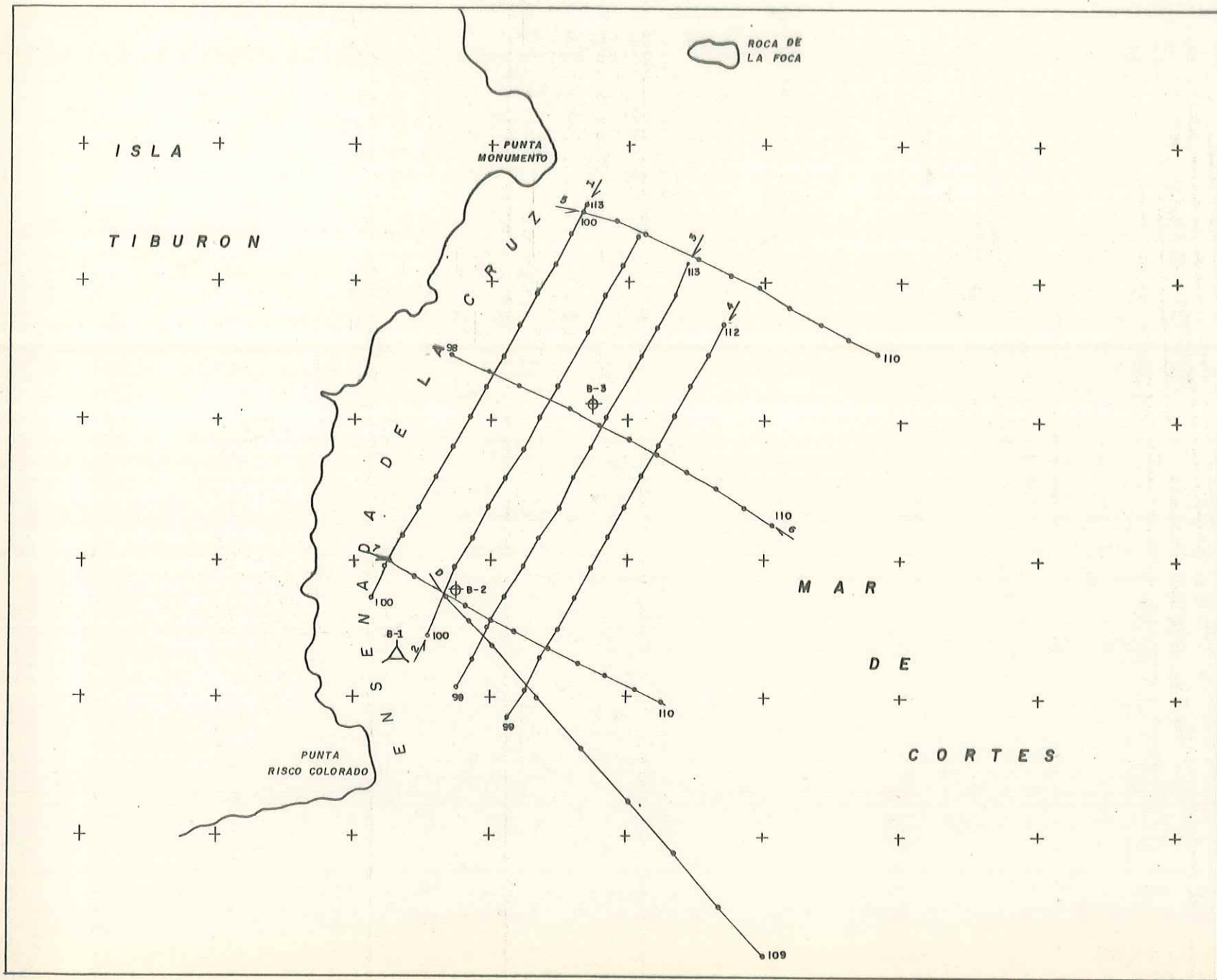



FIG. 3.3-3  
 LOCALIZACION DE  
 LAS LINEAS DE  
 SONDEO Y ESTACIONES  
 ESCOGIDAS.  
 ZONA - A



-  LINEA DE SONDEO
-  FIJAS DE POSICION
-  MUESTRA DE SEDIMENTO Y FOTOGRAFIA SUBMARINA.
-  CORRENTOMETRO Y NUCLEO

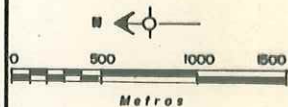


FIG. 3.3 - 4

LOCALIZACION DE  
LAS LINEAS DE  
SONDEO Y ESTACIONES  
ESCOGIDAS.

Zona - B

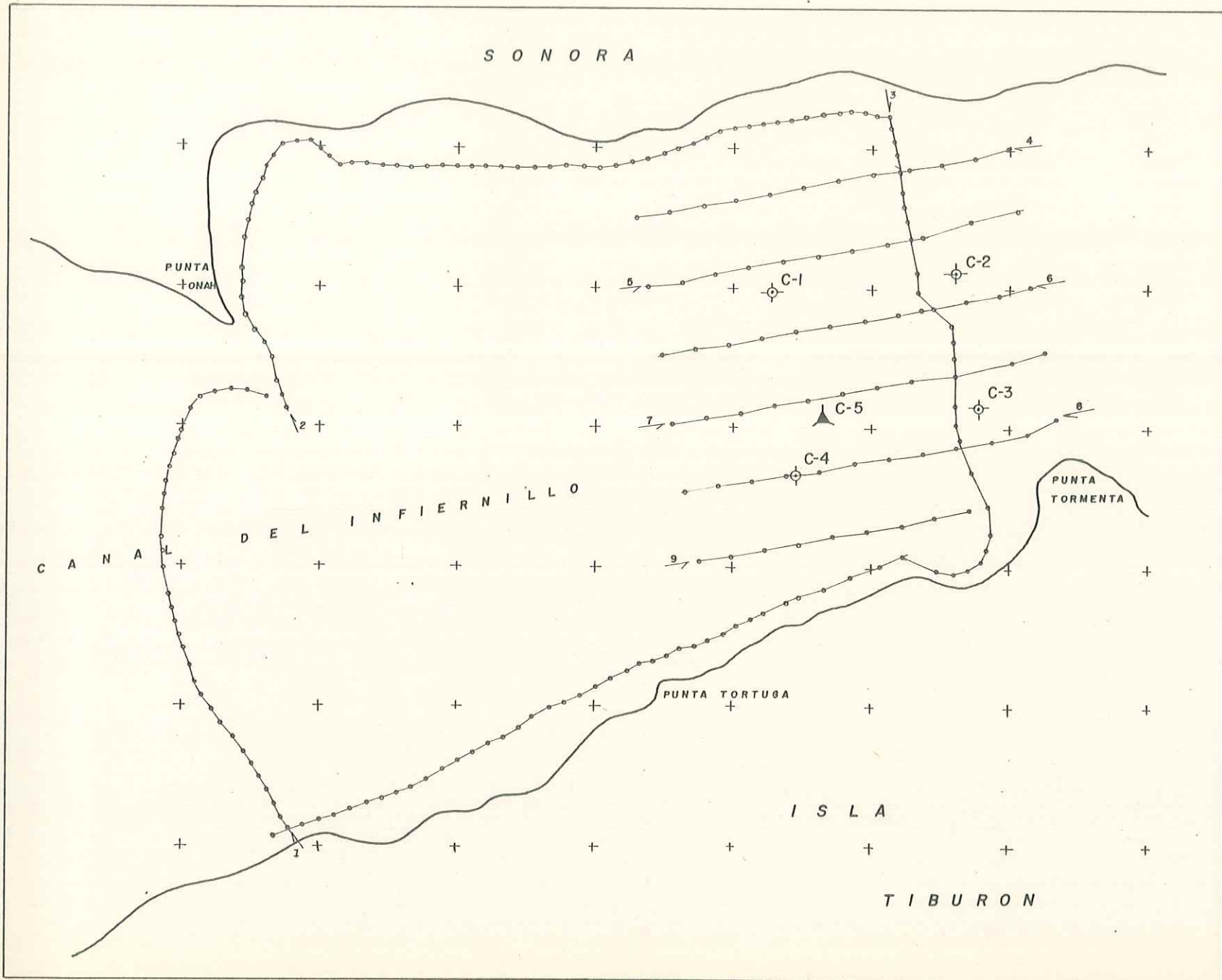
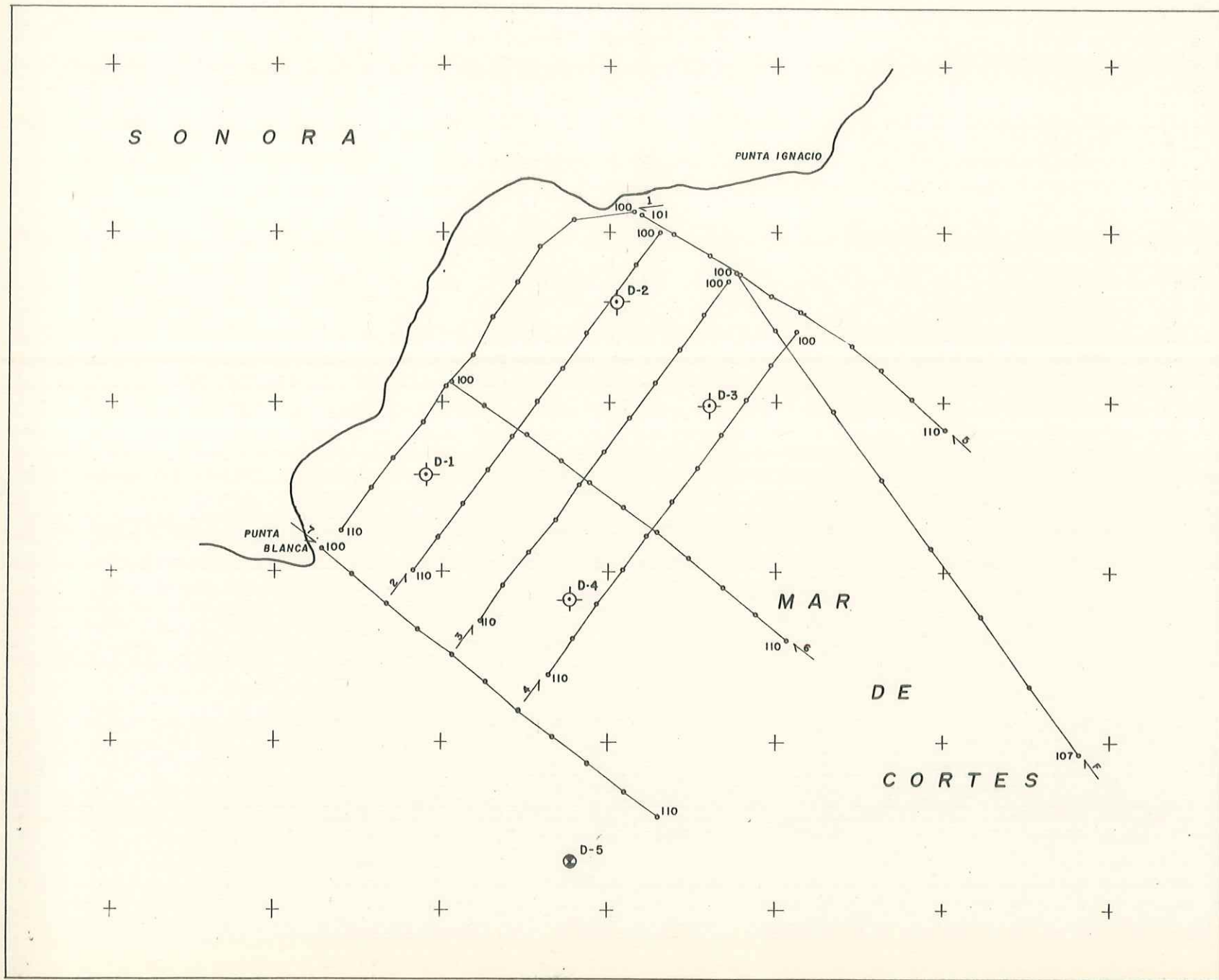


FIG. 3.3-5  
 LOCALIZACION DE LAS  
 LINEAS DE SONDEO Y  
 ESTACIONES ESCOGIDAS  
 Zona - C



- ← LINEAS DE SONDEO
- ⊙ MUESTRA DE SEDIMENTO Y AGUA
- FIJAS DE POSICION
- ⊗ NUCLEO

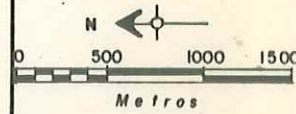


FIG. 3.3-6  
 LOCALIZACION DE LAS  
 LINEAS DE SONDEO Y  
 ESTACIONES ESCOGIDAS  
 Zona - D

TABLA 3.3-4  
RESUMEN DE ACTIVIDADES POR ESTACION Y ZONA

ZONA DE ESTUDIO	CLAVE DE LA ESTACION	PROF. EN METROS	MUESTRA DE AGUA	MUESTRA CON DRAGA	MUESTRA CON NUCLEADOR	ANCLAJE DE SENSORES	FOTOGRAFIA DE FONDO
I	I-1	410	xxx	xxx			
	I-2	468		xxx			
	I-3	265		xxx			
	I-4	275	xxx	xxx			
	I-5	395			xxx		
	I-6	500				xxx	
	I-7	560				xxx	
	I-8	120				xxx	
	I-9	139	xxx	xxx			
	I-10	155	xxx				
	I-11	205					xxx
	I-12	630					xxx
II	II-1	68	xxx	xxx			
	II-2	394	xxx		xxx		
	II-3	428	xxx	xxx			xxx
	II-4	259	xxx	xxx			
	II-5	387	xxx	xxx			
	II-6	270			xxx		xxx
	II-7	103			xxx		
III	III-1	20			xxx		
	III-2	18	xxx	xxx			
	III-3	23	xxx	xxx		xxx	

Continúa...

TABLA 3.3-4 (cont.)  
RESUMEN DE ACTIVIDADES POR ESTACION Y ZONA

ZONA DE ESTUDIO	CLAVE DE LA ESTACION	PROF. EN METROS	MUESTRA DE AGUA	MUESTRA CON DRAGA	MUESTRA CON NUCLEADOR	ANCLAJE DE SENSORES	FOTOGR. DE FONDO
A	A-1	85					xxx
	A-2	81					xxx
	A-3	10	xxx	xxx			
	A-4	25	xxx	xxx			
	A-5	72	xxx	xxx			
	A-6	17	xxx	xxx			
	A-7	28	xxx	xxx			
	A-8	78	xxx	xxx			
	A-9	31	xxx	xxx			
	A-10	40	xxx	xxx			
	A-11	82	xxx	xxx			
B	B-1	23			xxx	xxx	
	B-2	23		xxx			xxx
	B-3	31		xxx			xxx
C	C-1	12	xxx	xxx			
	C-2	14	xxx	xxx			
	C-3	7	xxx	xxx			
	C-4	9	xxx	xxx			
	C-5	10		xxx		xxx	
D	D-1	7	xxx	xxx			
	D-2	8	xxx	xxx			
	D-3	10	xxx	xxx			
	D-4	10	xxx	xxx			
	D-5	9			xxx		

Tabla 3.3-5 COORDENADAS UTM Y GEOGRAFICAS DE LAS ESTACIONES SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO EN AGUAS PROFUNDAS

Clave de la Estación	C O O R D E N A D A S		G E O G R A F I C A S	
	U	T M		
	X (m e t r o s)	Y	LAT (N)	LONG (O)
I 1	330,702	3 158,905	28° 32' 51"	112° 43' 49"
I 2	335,456	3 163,849	28° 35' 33"	112° 40' 57"
I 3	321,416	3 146,839	28° 26' 14"	112° 49' 24"
I 4	333,489	3 154,812	28° 30' 39"	112° 42' 05"
I 5	343,726	3 166,387	28° 37' 00"	112° 35' 54"
I 6	343,565	3 165,466	28° 36' 30"	112° 35' 59"
I 7	343,904	3 162,610	28° 34' 57"	112° 35' 46"
I 8	322,570	3 142,073	28° 23' 40"	112° 48' 39"
I 9	323,411	3 140,795	28° 22' 59"	112° 48' 08"
I 10	324,190	3 139,461	28° 22' 16"	112° 47' 38"
I 11	326,741	3 140,880	28° 23' 03"	112° 46' 05"
I 12	346,041	3 154,609	28° 30' 38"	112° 34' 23"
II 1	350,190	3 178,472	28° 43' 35"	112° 32' 02"
II 2	354,386	3 184,701	28° 46' 59"	112° 29' 30"
II 3	349,623	3 164,360	28° 35' 56"	112° 32' 16"
II 4	364,644	3 175,433	28° 42' 02"	112° 23' 08"
II 5	352,699	3 158,941	28° 33' 01"	112° 30' 20"
II 6	359,914	3 164,722	28° 36' 12"	112° 25' 57"
II 7	372,983	3 175,202	28° 41' 57"	112° 18' 00"
III 1	388,732	3 186,211	28° 48' 00"	112° 08' 24"
III 2	390,141	3 187,245	28° 48' 34"	112° 07' 32"
III 3	394,475	3 183,324	28° 46' 28"	112° 04' 50"

Tabla 3.3-5 COORDENADAS UTM Y GEOGRAFICAS DE LAS ESTACIONES SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO EN AGUAS SOMERAS.  
(Cont.)

Clave de la Estación	C O O R D E N A D A S			
	U T M		G E O G R A F I C A S	
	X(m e t r o s)	Y	LAT (N)	LONG (O)
A 1	321,613	3 136,775	28° 20' 47"	112° 49' 11"
A 2	321,038	3 136,603	28° 20' 42"	112° 49' 32"
A 3	321,103	3 136,837	28° 20' 49"	112° 49' 30"
A 4	320,354	3 137,269	28° 21' 03"	112° 49' 58"
A 5	319,983	3 137,481	28° 21' 10"	112° 50' 12"
A 6	319,145	3 133,638	28° 19' 04"	112° 50' 40"
A 7	318,400	3 134,068	28° 19' 18"	112° 51' 08"
A 8	318,025	3 134,283	28° 19' 25"	112° 51' 22"
A 9	318,490	3 132,574	28° 18' 29"	112° 51' 04"
A 10	317,751	3 132,999	28° 18' 43"	112° 51' 31"
A 11	317,390	3 133,204	28° 18' 49"	112° 51' 44"
B 1	368,323	3 181,677	28° 45' 26"	112° 20' 55"
B 2	368,771	3 181,240	28° 45' 12"	112° 20' 38"
B 3	370,132	3 180,262	28° 44' 41"	112° 19' 48"
C 1	384,997	3 212,709	29° 02' 20"	112° 10' 51"
C 2	385,138	3 211,394	29° 01' 37"	112° 10' 46"
C 3	384,180	3 211,214	29° 01' 31"	112° 11' 21"
C 4	383,686	3 212,534	29° 02' 14"	112° 11' 40"
C 5	384,100	3 212,340	29° 02' 08"	112° 11' 24"
D 1	397,566	3 195,094	28° 52' 52"	112° 03' 01"
D 2	398,593	3 193,953	28° 52' 01"	112° 26' 59"
D 3	397,977	3 193,402	28° 51' 57"	112° 02' 45"
D 4	396,830	3 194,227	28° 52' 23"	112° 03' 28"
D 5	395,251	3 194,233	28° 52' 23"	112° 04' 26"

#### 4. INSTRUMENTACION Y PROCEDIMIENTOS.

En este Capítulo se describirán brevemente las características del equipo utilizado en el estudio, así como la metodología aplicada para la obtención de la información recabada en el campo.

Con referencia a la secuencia del inciso 3.3. se contemplaron seis actividades principales; *Apoyo Terrestre, Posicionamiento Electrónico, Uso de Sensores Oceanográficos, Sondeos Acústicos, Obtención de Muestras y Fotografías Submarinas.*

##### 4.1. APOYO TERRESTRE.

En esta fase del trabajo se empleó el siguiente equipo:

- 2 tránsitos Wild modelo T-2 con aproximación angular a un segundo e imagen directa.
- 2 distanciómetros Cubic modelo DM-20 con error máximo de cinco centímetros y rango entre 60 m. y 50 Km.
- 1 helicóptero marca Aerospatiale con capacidad para 5 personas.

Para el levantamiento de la poligonal de referencia se utilizó el método de reiteraciones, con el cual se llevaron a cabo un mínimo de dos series de medición de ángulos y cuatro lecturas por vértice. Los cálculos de los vértices se realizaron en el campo y las coordenadas estuvieron listas para su empleo en la rutina de posicionamiento electrónico a la llegada del barco.

La medición de distancias entre vértices se efectuó en dos series y los resultados obtenidos fueron promediados.

La transportación con un helicóptero, permitió un desarrollo rápido y seguro de las actividades realizadas a pesar de las condiciones impuestas por el terreno.

#### 4.2. POSICIONAMIENTO ELECTRONICO.

Para la ubicación electrónica del barco de investigación se utilizaron los siguientes instrumentos y transportes:

- 1 sistema de posicionamiento Motorola modelo MRS-III con impresora, indicador de trayectoria y cinco estaciones de referencia.
- 1 sistema de posicionamiento Motorola modelo MRS-II con impresora y tres estaciones de referencia.
- 1 computadora VAX-II
- 2 minicomputadoras Texas Instruments modelo TI-59 con impresora.
- 1 graficadora Calcomp.
- 1 helicóptero marca Aerospatiale para 5 personas.

El barco M/V Vega I fué ubicado y guiado mediante el uso del sistema Mini-Ranger-III (MRS-III). Este sistema determina la posición de la embarcación con respecto a dos estaciones de referencia localizadas en puntos conocidos, por medio de la emisión y recepción de ondas de radar. El tiempo empleado entre la emisión del aparato localizado en el barco y la respuesta de cada estación de referencia apropiada, sirve como base para determinar la distancia del barco a cada receptor fijo en la costa. Esta distancia y la ubicación de las estaciones mencionadas se utilizan para encontrar la posición del barco por medio de una triangulación en el sistema apropiado de coordenadas UTM con intervalos a cada 10 Km.

El posicionamiento en la zona *Del Infiernillo* se efectuó con un sistema Motorola Mini-Ranger II (MRS-II). Este sistema determina únicamente las distancias a las diferentes subesta

ciones, a diferencia del MRS-III que da coordenadas directamente. Las distancias fueron convertidas a las coordenadas deseadas mediante el uso de computadoras portátiles.

Operando dentro de un rango máximo libre de obstrucciones, de 35 Km. se puede alcanzar una precisión de 3 metros para los dos sistemas utilizados. Las zonas de trabajo fueron de terminadas por el límite de alcance de los instrumentos y la accesibilidad de las estaciones de base en tierra.

Todas las coordenadas de posición fueron almacenadas, dentro de un programa de posicionamiento, en una computadora VAX-II. Este programa evalúa todas las entradas, marca los posibles errores y controla los parámetros de graficación utilizados para la localización final.

En los registros se pusieron marcas en cada fija a lo largo de las líneas de estudio. Utilizando una graficadora Calcomp se trazó cada línea antes de su recorrido. Durante el trabajo el barco siguió las trayectorias graficadas previamente. Con este fin se utilizó un indicador de trayectoria que permitió al navegante efectuar una rápida corrección al inicio de cualquier desviación en el rumbo.

Las estaciones de referencia fueron instaladas y mantenidas con la ayuda del helicóptero mencionado anteriormente.

#### 4.3. APARATOS OCEANOGRÁFICOS.

Los datos acerca de las corrientes marinas y los cambios en el nivel del mar fueron obtenidos con el siguiente equipo:

- 6 correntómetros Braincon modelo 1381 con registro en película fotográfica.
- 2 correntómetros Davis-Weller modelo 500 con registro en cinta magnética.

- 1 sistema para la medición de olas y mareas, Sea Data modelo 635-11, con registro en cinta magnética.
- 6 tanques de aluminio U.S. Divers para buceo.
- 3 boyas de acero de .90 m. de diámetro.
- 3 boyas de neopreno de .90 m. de diámetro.
- 1 compresor de aire Cornelius de 2 cm. a 3 000 psig.
- 1 malacate hidráulico Bendix Log-Master modelo SMW-20-H.

Durante el programa de medición fueron utilizados dos tipos de correntómetros; los Braincon (ENDECO) modelo 1381 y los Davis-Weller (DOWS modelo 500); los últimos manufacturados bajo producción limitada por la compañía Deep Ocean Work Systems de San Pedro, California.

Los Braincon modelo 1381 han sido instrumentos de uso frecuente para la ingeniería oceánica desde hace muchos años. Durante este estudio fueron empleados seis de estos aparatos, los cuales utilizan un rotor de tipo Savonius como sensor de la rapidez de la corriente y una gran veleta junto con un compás magnético como indicadores de su dirección. Además contiene un indicador de la inclinación del instrumento.

La información es almacenada en película fotográfica Kodak 3X de 16 mm., mediante exposiciones intermitentes de la película a indicadores radioluminiscentes. Cada fotografía contiene información sobre la dirección de la corriente, la indicación de la inclinación del instrumento y un promedio de la rapidez durante el intervalo de muestreo. El equipo permite la obtención de hasta 3 600 fotografías. Se programa por medio de un activador de tiempo con base en un reloj de cuarzo, con el cual se pueden seleccionar 8 intervalos de

muestreo en dos rangos, 5, 10, 20 y 40 minutos o bien 7.5, 15, 30 y 60 minutos. Este aparato puede registrar la rapidez en un rango de 36 a 430 cm/seg.; con una precisión de  $\pm 7.8$  cm/seg. Su dirección es registrada de 0 a 360° con una aproximación de  $\pm 5^\circ$ . La dirección de la inclinación del instrumento se registra de 0 a 360°, así como el valor de la inclinación, de 0 a 30° con una aproximación de  $\pm 3^\circ$ .

Los sensores de la rapidez y la dirección son funcionalmente diferentes y tienen también diferentes tiempos de respuesta para los cambios en la corriente. Esta es una razón por la cual estos aparatos no deben ser utilizados para la medición de corrientes en los niveles superiores del océano, donde existen fluctuaciones rápidas de velocidad asociadas con el oleaje superficial que influyen en los registros y complican la interpretación. No obstante, el rotor Savonius es un aparato sensible y confiable para la medición de corrientes casi constantes o con cambios lentos puesto que es omnidireccional. Estos correntómetros fueron usados en aguas profundas, donde la acción del oleaje no es significativa para la medición. Para evitar esta complicación en las estaciones más someras, se utilizaron dos correntómetros Davis-Weller, debido a su habilidad para evitar el efecto de las olas.

El DOWS es un correntómetro de avanzado diseño mecánico y un registro en cinta magnética, lo cual brinda datos de buena calidad acerca de la magnitud y dirección de la corriente. Está diseñado de tal manera que la rapidez con la que gira el rotor, que tiene forma de propela, es proporcional al coseno del ángulo formado entre la dirección de la corriente y el eje del rotor. Cada eje de rotación tiene dos rotores y un contador-integrador de ciclos, colocado a la distancia media entre los dos primeros.

Este arreglo, axialmente simétrico, minimiza la histéresis

rotacional, los efectos por turbulencia y la demora en la respuesta del sensor a medida que la componente de velocidad pasa por cero, mientras el flujo cambia de sentido. Cuando dos rotores de estos sensores miden simultáneamente, se obtienen dos componentes ortogonales de velocidad en un plano horizontal, lo cual elimina considerablemente las diferencias de respuesta en rapidez y dirección del sensor. Una descripción completa del funcionamiento de los correntómetros DOWS-500 se puede encontrar en las publicaciones de Davis y Weller (1978) y Weller y Davis (1980).

Una forma inadecuada para suspender los correntómetros puede resultar en la obtención de información errónea. Por ejemplo, Gould y Sambuco (1975) encontraron que la rapidez media obtenida por medio de instrumentos con rotor Savonius suspendidos con boyas superficiales era de 1.3 a 2.0 veces mayor que la obtenida con aparatos iguales pero suspendidos por medio de boyas sub-superficiales en las mismas localidades. La figura 4.3-1 muestra un dibujo esquemático del anclaje utilizado durante el estudio. La utilización de una flotabilidad sub-superficial adecuada aísla en gran parte, el cable de fijación de la influencia ejercida por un oleaje intenso, aunque impide la instalación de correntógrafos cerca de la superficie. Sin embargo, debido a que el interés principal era medir las corrientes cercanas al fondo, esta restricción no fué de importancia.

La fijación de los aparatos en forma rígida es normalmente imposible. La flotabilidad principal para el arreglo típico mostrado en la figura 4.3-1 fué proporcionada por una boya esférica con un diámetro de 90 cms. de la cual proviene una flotabilidad neta de 240 Kg. La boya fué protegida de la corrosión por medio de ánodos de zinc. Se fijó a un cable galvanizado de 6.35 mm. de diámetro, que contenía varios eslabones giratorios a lo largo de su longitud. El arreglo

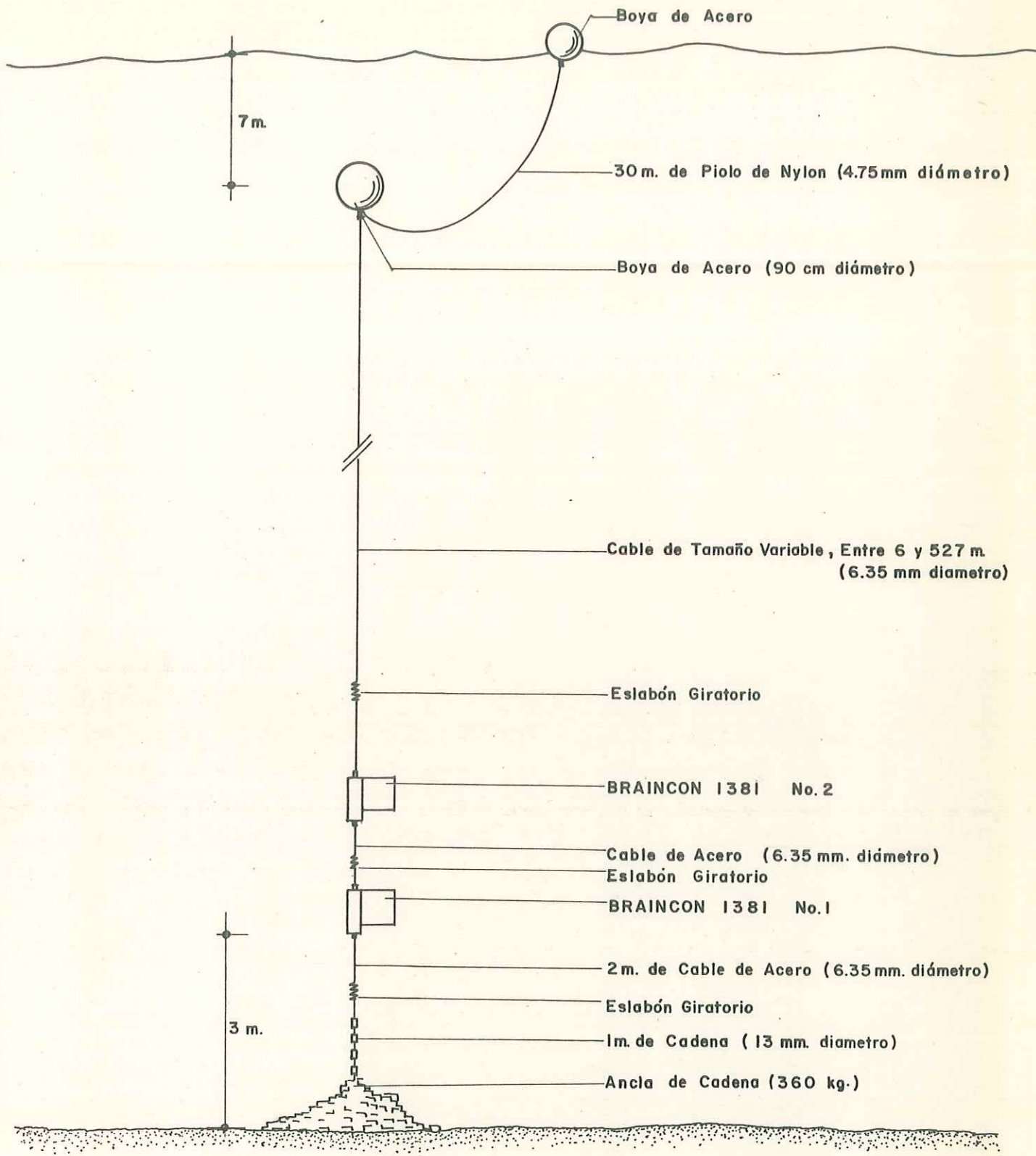


FIG. 4.3-1 INSTALACION Y ANCLAJE TIPICO DE LOS SENSORES OCEANOGRAFICOS

fué anclado por medio de una cadena que proporcionaba 360 Kg. de flotabilidad negativa. Para su recuperación la boya y los instrumentos fueron liberados del anclaje por medio de un mecanismo activado por buzos. El anclaje fué dejado en el fondo.

Para la medición de las variaciones en el nivel del mar se instaló un sistema desarrollado por la compañía Sea Data Corp. cuyo modelo es el 365-11. Este sistema mide la presión y utiliza sensores sub-acuáticos de cuarzo con alta resolución, los cuales pueden registrar las olas y mareas con una precisión de  $\pm 0.15$  cm. Cuenta también con un sensor de temperatura con una precisión de  $0.07^{\circ}\text{C}$ .

El registro de la marea puede efectuarse con una duración variable entre 28.125 segundos y 15 minutos, a intervalos seleccionables de 4, 8, 16, 32, 64 ó 128 mediciones por hora. El oleaje puede ser grabado con intervalos de 0.5, 1, 2, 4, 8 ó 16 segundos, conteniendo 64, 128, 256, 512, 1024 ó 2048 datos según se requiera. La medición del tiempo se efectúa por medio de un reloj de cuarzo. La capacidad de almacenaje de datos es de 48 000 registros con 308 *bits* cada uno. El equipo puede ser instalado hasta una profundidad de 65 m. y tiene una autosuficiencia hasta de 6 meses. Las dos formas de medición permiten la grabación de datos en alta y baja frecuencia simultáneamente.

Los datos que son grabados en paquetes con una tasa alta de muestreo pueden ser utilizados para la investigación sobre ondas con período largo. Por medio de un circuito multiplicador que actúa durante el período de medición integrado, se logran obtener datos acerca de la presión de las olas dentro de la grabación de los paquetes de información. La integración de la presión sobre los dos intervalos de muestreo, debidamente seleccionados, minimiza el enmascaramiento. La duración y el intervalo entre cada paquete de información, también pueden ser escogidos.

#### 4.4. SONDEOS ACUSTICOS.

Para los sondeos acústicos se utilizaron varios sistemas, unos para penetrar solamente la columna de agua y otros para penetrar en el subsuelo, con profundidad y resolución escogidas.

El equipo empleado fué el siguiente:

- 1 ecosonda Rytheon modelo DE-719.
- 1 ecosonda Rytheon modelo DE-731.
- 1 sistema de barrido acústico Klein USS modelo 401 con impresora y pescador de rastreo.
- 1 perfilador del subsuelo O.R.E. modelo 1036.
- 1 sistema sísmico Teledyne Mini-Sparker de cuarenta puntas.
- 1 sistema sísmico EG&G'S modelo 267-A de tres puntas.
- 2 graficadoras EPC Labs. Inc. modelo 4600.
- 3 fuentes de poder EG&G International modelo 232-A.
- 3 bancos de control EG&G Geodyne Division modelo 231.
- 1 generador Onan de 6 KVA.
- 1 generador Honda de 1.25 KVA.
- 1 malacate eléctrico Harvey - Lynch modelo Sea-mac 1 000 - EH.

##### 4.4.1. ECO-SONDEOS BATIMETRICOS.

Para los sondeos en el agua se utilizaron dos tipos de ecosondas, una para aguas profundas y otra para aguas someras. La Rytheon modelo DE-731, que se usó en los primeros, es una ecosonda que registra la profundidad en papel de 17.8 cm. de ancho, con una velocidad de avance variable (entre 10.16 y 101.6 cm. por hora) y cuatro escalas dobles: 0-110, 100-210, 200-310 y 300-410 pies o brazas, según el reglaje puesto. Emplea un transductor de 40 KHz con un ángulo de emisión de 17°. La precisión que establece el fabricante es de  $\pm 1\%$  de la profundidad registrada. El registro continuo de la profundidad en el papel de la ecosonda se marcó simultáneamente con las fijas de posición y los demás instrumentos empleados

en conjunto, mediante un dispositivo de interconexión.

La ecosonda modelo DE-719 grafica continuamente la distancia al fondo del mar hasta una profundidad de 205 pies (62.5 m) en un papel de 17.8 cm. de ancho con velocidades fijas de 2.54, 5.08, 7.62 y 10.16 cm. por minuto y cuatro escalas que pueden ser duplicadas, 0-55, 50-105, 100-155 y 150-205 pies. Emplea un transductor de 200 KHz con un ángulo de emisión de 4°. La precisión dada por el fabricante es de 0.5% de la profundidad registrada. También se marcó en el registro cada fija de posición en forma anteriormente mencionada.

Todos los sondeos a través de la columna de agua fueron obtenidos por medio de los procedimientos descritos en el manual "Admiralty Manual of Hydrographic Surveying" (1966).

Aparte de los sondeos mencionados, se barrieron acústicamente ciertas áreas del lecho marino con un sistema de sonar lateral "Klein Associates Side Scan Sonar". Este aparato produce un registro gráfico continuo y permanente de la topografía del fondo marino. La graficadora utiliza un proceso electroquímico de impresión mediante el cual las señales eléctricas (que representan los ecos recibidos en el pescado) son convertidos en imágenes gráficas, con la posibilidad de marcar en este registro las fijas de posición a lo largo de las líneas de sondeo. Trabaja en una frecuencia de 100 KHz y con escalas de 25, 37.5, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 y 600 metros de anchura del barrido registrado. Utiliza papel color sepia, de 28 cm. de ancho e imprime a velocidades seleccionables entre 20 y 120 líneas/cm. a intervalos de 10 líneas, o bien continuamente.

El pescado seleccionado para este trabajo fué el modelo 402, con dos canales (derecho e izquierdo). Este pescado emite un haz con una potencia de 50 KHz por canal en forma de abanico, desde los transductores longitudinales localizados en

ambos lados de su estructura. Dichos haces son emitidos perpendicularmente al curso de la nave y barren continuamente en el plano vertical, desde el fondo abajo del pescador hasta el rango total regulado, que en esta ocasión fué de 100 metros a cada lado del pescador. Los ecos emitidos por los reflectores son recibidos con el mismo pescador, procesados y mostrados en una impresora Klein modelo 401-R, la cual produce una especie de mapa subacuático.

El pescador fué remolcado a diferentes profundidades por la parte trasera del barco. En el registro mismo se mantuvieron anotadas las cantidades-cable liberado-para ajustar su posición. El pescador fué mantenido tan cerca del fondo como fué posible.

#### 4.4.2. SONDEOS ACUSTICOS EN EL SUBSUELO MARINO.

La información acerca del subsuelo fué recabada mediante el uso de tres sistemas sísmicos con diferentes grados de resolución y penetración.

En los sedimentos de poco espesor, en los cuales se requiere de perfiles que demuestran la estratigrafía y estructura geológica con somera penetración pero alta resolución, se utilizó el perfilador del subsuelo ORE 1036. Este sistema consiste en cuatro transductores modulados con una salida de 10 KW. La frecuencia puede ser ajustada entre 3.5 y 7 KHz. Para el trabajo aquí reportado se fijó en 3.5 KHz, correspondiente a una profundidad de penetración típica de 15 metros.

Las señales emitidas por el conjunto de transductores se reciben y procesan mediante un receptor "ORE Sonar Transceiver" modelo 140 que tiene un poder de salida regulable desde cero hasta 10 KW. y una frecuencia ajustable entre 3.5 y 12 KHz, rastrea el fondo automáticamente y tiene ganancia variable.

La información resultante se presenta por medio de una graficadora EPC 4600, la cual imprime sobre papel de 48.3 cm. de ancho, seco y electrosensitivo; utilizando un pequeño electrodo. Cuenta con un dispositivo electrónico para el marcado automático de las fijas de posición en la gráfica.

Los registros sísmicos en aguas someras se obtuvieron mediante un sistema "Mini-Sparker" de cuarenta puntas, el cual utiliza una fuente electro-mecánica para generar un pulso acústico reproducible.

Con una fuente de poder DG&E'S modelo 232-A y un banco para programación de la emisión modelo 233-A se contó con un poder operativo de 100 joules, en un rango de frecuencias de 200 a 4 000 Hz, que se correlacionan con profundidades de una penetración típica entre 60 y 1 m. respectivamente.

La señal reflejada se recibió mediante un arreglo de hidrófonos OSE 241-12, el cual está compuesto por once sensores en línea, espaciados a cada 30.5 cm. Este tipo de arreglo de hidrófonos se usa principalmente para obtener perfiles de alta resolución. Las señales que son recibidas, se filtran y amplifican antes de ser enviadas a una graficadora EPC-6 000. Cada fija de posición se registra automáticamente.

En aguas profundas, las señales sísmicas se generaron por medio de un sistema EG&G'S modelo 267-A, el cual contiene una fuente de sonido de alta energía y baja frecuencia. Se utiliza para penetración profunda en capas espesas del subsuelo. Genera una onda acústica de energía considerable por medio de unos electrodos submarinos especiales. Al igual que el Mini-Sparker emplea una fuente de poder EG&G'S modelo 232-A, un banco de control modelo 231-A y un banco capacitor modelo 233 que puede proveer una energía de 4.5 kilojoules dentro de un rango de frecuencias desde 200 hasta los 3 000 Hz. La

profundidad de penetración típica de este sistema es de 100 metros.

Un arreglo de hidrófonos OSE-241-12 recibió las señales que fueron filtradas y amplificadas. El registro fué dibujado por una graficadora EPC 4 600, que tiene un impresor automático de fijas para el posicionamiento.

#### 4.5. OBTENCIÓN DE MUESTRAS.

Esta fase de la investigación se reporta en dos secciones; una relacionada con la obtención de información sobre las características físico-químicas en la columna de agua y la otra concierne a la recabación de información acerca del tipo y constitución de los sedimentos que yacen en la superficie del fondo marino.

##### 4.5.1. MUESTREOS EN LA COLUMNA DE AGUA.

Para la toma de muestras del agua y las mediciones consecutivas se utilizó el equipo que se menciona a continuación:

- 1 malacate hidráulico Bendix Log-Master modelo SMW-20H.
- 2 botellas muestreadoras tipo Van Dorn de 3 litros con mensajero.
- 2 botellas muestreadoras tipo Van Dorn de 3 litros con accionador de fondo.
- 2 termómetros de laboratorio de  $-6.5^{\circ}\text{C}$  a  $36.5^{\circ}\text{C}$ , marca Yoslimo.
- 1 analizador de Iones específicos Orion Research modelo 407-A con electrodos para  $\text{O}_2$ , pH y Cl.

Para la parte del trabajo que se refiere a la físico-química, se contó con un laboratorio a bordo del M/V Vega I en el cual se instaló el equipo de análisis con el cual se obtuvieron los datos acerca de la concentración de oxígeno disuelto, cloruros, el potencial de hidrógeno y la temperatura.

El muestreo de agua se efectuó con la ayuda de un malacate hidráulico Bendix y dos pares de botellas muestreadoras tipo Van Dorn, un par para las muestras de superficie, y el otro para las del fondo. Estas últimas tenían un accionador de fondo que cerraba la botella, cuando ésta se encontraba aproximadamente 1m. arriba del fondo.

La temperatura del agua se midió con dos termómetros de laboratorio, poco tiempo después de llegar la botella a cubierta.

Los análisis relacionados con el  $O_2$ , pH y Cl se efectuaron con un Analizador de Iones Específicos Orion y se llevaron a cabo al llegar la muestra al laboratorio.

En seguida se ofrece una descripción breve de los procedimientos empleados.

El contenido de oxígeno disuelto (en ppm) se obtuvo mediante un electrodo para oxígeno Orion Research modelo 97-08. Este electrodo mide la presión parcial de  $O_2$ , operando en un rango de concentración desde 0 hasta 14 ppm. a temperaturas entre 0 y 45°C. Tiene incorporado un módulo especial para estandarización y comparación termal de tal manera que las mediciones son independientes de la temperatura dentro de un rango de  $\pm 10^\circ C$  del estándar utilizado. La exactitud de la medición según el fabricante es de  $\pm 0.05$  ppm. ó 2% aproximadamente. Se tomaron dos muestras consistentes para evitar errores de lectura.

Las mediciones del potencial de hidrógeno (pH) se ejecutaron con un electrodo de combinación para pH, Orion Research modelo 81-02. Este doble electrodo está diseñado con un sistema interno para calibración con el coeficiente de temperatura igual a 0. Por lo tanto, da lecturas estables y verídicas sin importar las diferencias en temperatura entre el ambiente y la muestra. La calibración se efectuó enmarcando la

muestra de agua de mar con soluciones de pH conocido. Las mediciones corresponden a, por lo menos, dos lecturas consistentes. Los rangos operativos de este electrodo son de 0 a 14 para el pH y de 0 a 100°C para la temperatura.

La concentración de cloruros se midió con un electrodo para cloruros, Orion Research modelo 94-17B y un electrodo de referencia modelo 90-02. Estos instrumentos, en conjunto, determinan el potencial que se genera a través de la membrana del electrodo selectivamente sensitiva para cloruros. Apoyándose en un estándar de clorinidad conocida y un alto grado de constancia en la fuerza iónica de fondo, se asegura que la concentración de cloruros es directamente proporcional a su actividad y, por lo tanto, proporcional al voltaje generado a través de la membrana. El procedimiento envuelve la estandarización de los electrodos en soluciones, cuyas concentraciones enmarcan la muestra, además de tomar dos o más lecturas consistentes. Este proceso arroja una precisión dentro de  $\pm 2\%$  para los valores, lo cual es adecuado para la información ambiental del proyecto.

#### 4.5.2. MUESTRAS DE FONDO.

Para la obtención de muestras del fondo se utilizó el siguiente equipo:

- 1 malacate hidráulico Bendix Log-Master modelo SMW-20H.
- 1 nucleador de gravedad tipo U.C.S.D. con accionador de fondo y diámetro interior de 6.35 cm.
- 1 nucleador de gravedad tipo Phleger con diámetro interior de 3.18 cm.
- 1 colector de sedimentos tipo Van Veen con volumen de 42.5 L.
- 1 colector de sedimentos tipo Almeja con volumen de 2 L.
- 1 draga de tubo tipo Khalsico con diámetro de 45.7 cm.

La revisión de los datos batimétricos a bordo, al tiempo que fueron registrados, permitió la localización adecuada de los lugares para la toma de muestras de los sedimentos en el fondo. Estos sitios se escogieron para poder estudiar los diferentes materiales del lecho marino que pudieran presentarse; desde las zonas neríticas cercanas a la costa, hasta las inclinadas pendientes de los lados de las fosas abisales, así como en los fondos de las mismas.

A medida que las muestras obtenidas eran puestas en cubierta se hacía su descripción, después fueron transferidas a bolsas de plástico etiquetadas con la identificación necesaria. Subsecuentemente se almacenaban para futuros análisis de laboratorio.

#### 4.6. FOTOGRAFIA SUBMARINA.

El equipo utilizado para la obtención de fotografías del lecho marino fué el siguiente:

- 1 sistema fotográfico para aguas profundas, marca Edgerton modelo 372-382.
- 1 trípode submarino.
- 1 malacate hidráulico Bendix Log-Master SMW-20H.

El sistema fotográfico, "Benthos Deep Sea Camera", es un instrumento de uso general que ha sido probado en numerosas aplicaciones relacionadas a grandes profundidades oceánicas. Está compuesto por una cámara submarina marca Edgerton modelo 372 de 35 mm. y un flash programable, modelo 382.

La cámara puede tomar de 800 a 1 600 fotografías, dependiendo del tipo de película empleada. Cuenta con un dispositivo de identificación con pantalla digital con la cual puede ser fijado en cada placa la fecha, hora, el número de foto, más cualquier otra observación que sea escrita en una tarjeta especial.

El flash emite una luz estroboscópica de 100 watts por segundo. El interior de la cámara contiene un programador electrónico que transmite impulsos eléctricos a intervalos seleccionables entre 3 segundos y 2 minutos, activando la toma de fotos y el avance del rollo de película. Los ajustes para el intervalo entre exposiciones y el tiempo de exposición se efectúan internamente mediante una tarjeta con un circuito impreso. En el exterior tiene un interruptor electrónico ajustable entre 0 y 200 minutos que retarda el inicio de la toma de fotografías, mientras el sistema es situado a la profundidad deseada, la cual puede ser hasta de 12 000 m.

Durante el descenso en las posiciones seleccionadas para la toma de fotografías se utilizó un tiempo de espera variable entre 2 y 5 minutos para disminuir el desperdicio de la película.

## 5. INFORMACION Y PROCESAMIENTO.

En este Capítulo se expondrá el tipo de datos recabados durante el estudio, así como el procesamiento efectuado para cada uno. Inicialmente se describirá lo correspondiente a la restitución obtenida de las fotografías aéreas de la Isla Tiburón, enseguida vendrá la información sobre la geología submarina, la meteorología, los sensores oceanográficos y finalmente los datos correspondientes a las muestras del agua.

### 5.1. AEROFOTOGRAMETRIA.

Para la localización del trazo terrestre de la línea de transmisión sobre la Isla Tiburón, se obtuvieron fotografías aéreas de la zona de interés a escala 1:50 000. Después del cálculo de la poligonal de referencia, mencionada en la sección 4.1. Apoyo Terrestre, se procedió a la elaboración de los planos fotogramétricos, que cubren aproximadamente una franja de 2.5 Km. a partir de la costa Este de la Isla Tiburón, así como la zona del Canal Del Infiernillo donde es probable que cruce el cable. Los planos fueron realizados mediante la restitución de 8 modelos o pares estereoscópicos, procesados en un aviógrafo B-8 marca Wild. Después de hacer el control horizontal y vertical fueron elaborados doce planos escala 1:10 000 con una equidistancia entre curvas de 10 metros. Estos planos fueron dibujados en un material plástico indeformable marca Cronaflex.

### 5.2. GEOLOGIA SUBMARINA.

Esta sección se compone de tres partes que abarcan el agua, el lecho marino y el subsuelo. A continuación se describirán cada una de ellas.

#### 5.2.1. SONDEOS EN EL AGUA.

Los sondeos en el agua fueron de dos tipos, los realizados

con ecosonda y los efectuados con sonar lateral.

La batimetría se registró en forma continua a lo largo de cada línea de sondeo y se marcaron en la gráfica las fij<sup>as</sup> de posición. Durante el análisis se tomaron las profundidades marcadas en el registro de fij<sup>as</sup>, además de datos adicionales entre ellas para definir, con mayor precisión, algunos rasgos topográficos. En las zonas más profundas, donde se excedió el rango operativo de la ecosonda, se utilizó la información obtenida del sparker de tres puntas con fines batimétricos.

Las profundidades fueron calculadas utilizando una velocidad acústica de 1,500 m/seg. para el agua de mar. Después de corregir estos datos con respecto a la profundidad del transductor, los valores de profundidad fueron introducidos en un programa de graficación. Finalmente se interpolaron a cada metro los valores obtenidos del programa y se construyeron planos batimétricos a escala 1:100 000 para aguas profundas y 1:10 000 para cada zona de aguas someras.

El sonar lateral se utilizó principalmente en las zonas de aguas someras. En la zona "A" obtuvieron aproximadamente 32 Km. de registro y en la zona "B" alrededor de 21 Km. Debido a la poca profundidad encontrada en las zonas "C" y "D" no fué posible emplear el aparato mencionado. En aguas profundas se registraron 48 Km. a lo largo de la línea "F-F".

Dentro de los rasgos reproducibles en planos que se observaron en los registros obtenidos, se encuentran escarpes de falla, afloramientos de rocas basales, áreas con fondo rugoso y emanaciones del fondo. Algunas de estas últimas provocan anomalías de densidad en la columna de agua y también estos fenómenos aparecen en los registros.

Los rasgos observados están representados en las láminas correspondientes a las características geológicas de cada zona.

#### 5.2.2. SONDEOS EN EL SUBSUELO MARINO.

La información acerca del subsuelo fué recabada por medio de los tres sistemas geofísicos descritos en la sección 4.4.2. No se realizó ningún procesamiento adicional después de obtener los registros analógicos.

Debido a lo escarpado del relieve submarino, los datos sísmicos fueron registrados con demoras que van de 0 a 1,250 milisegundos (mseg.) Por lo tanto, fué necesario formar los registros analógicos quitando dichas demoras, creando de esta forma una sección continua para cada línea de sondeo. Después fueron examinados los registros en busca de rasgos estructurales tales como fallas y depósitos sedimentarios. Las características geológicas encontradas fueron compiladas en las láminas geológicas correspondientes.

El perfilador del subsuelo ORE-1036 se utilizó extensivamente en la zona "C", donde se obtuvieron 18 Km. de registro, el cual en parte cubrió el perímetro del Canal Del Infiernillo. La mayoría del registro presentó una sección sísmica entre 5 y 15 mseg., lo que aproximadamente corresponde a entre 4 y 12 m. de penetración vertical en la sección geológica.

Este sistema también se utilizó sobre la línea "F-F", obteniéndose 48 Km. de registro. La penetración en aguas profundas fué de menos de 5 mseg. en las zonas con pendientes abruptas y hasta de 40 mseg. dentro de los sedimentos abisales.

El minisparker de 40 puntas fué operado en todas las zonas con aguas someras, obteniéndose aproximadamente 100 Km. de registro. Las áreas con fondos más o menos lisos arrojaron una sección sísmica con 50 a 75 mseg. Por otra parte, dentro de aquellas con un fondo inclinado se registraron sólo de 30 a 40 mseg. de penetración.

La zona de aguas profundas fué estudiada con cuatro líneas de sondeo, utilizando el sparker de tres puntas. Las secciones registradas variaron en penetración desde, en general, 50 mseg. en las regiones planas, llegando a 15 mseg. en las inclinadas y, en especial, hasta los 200 mseg. sobre la plataforma continental, cerca de la bahía de Kino.

#### 5.2.3. MUESTRAS DEL LECHO MARINO.

Para la obtención de muestras del lecho marino se utilizaron dragas y nucleadores, obteniéndose un total de 38 muestras de sedimentos. Los estudios efectuados consistieron en una descripción física y la información acerca de los carbonatos contenidos en la muestra. Para efectuar la descripción física se utilizó un microscopio Nikon con poder de amplificación de 10 a 50. La descripción incluye color, textura, mineralogía y contenido fosilífero.

Se determinó el peso de los carbonatos contenidos en cada muestra. Con este fin se tomó una sub-muestra seca de 10 gramos, tratándola con ácido clorhídrico diluído. Una vez secado el residuo se determinó su peso y aquel de la pérdida. Se realizaron un mínimo de dos determinaciones por muestra de sedimentos para corroborar la consistencia de los resultados.

### 5.3. METEOROLOGIA.

Entre los fenómenos meteorológicos, que afectan a la zona de estudio, se encuentran los huracanes, que son tormentas tropicales con vientos que en ocasiones rebasan los 100 Km/hora. Estos fenómenos son de importancia considerable en aguas someras y en particular para la seguridad de un Cable Submarino, así como para las obras de ingeniería relacionadas. En la figura 5.3-1, se encuentra una selección de las trayectorias de los huracanes que han afectado a la zona de la Cintura del Golfo; algunas de las cuales son útiles como referencia para modelos con fines predictivos.

Cuando se hacen predicciones del oleaje generado por los huracanes, es más difícil la evaluación del "*fetch*" y la duración del impulso de viento, que en condiciones de tiempo más regulares. Los grandes cambios en la velocidad del viento, tanto por localización como en tiempo, causan una dificultad considerable. La estimación del campo de vientos debe de efectuarse a través de modelos matemáticos y las regularmente escasas mediciones obtenidas durante tormentas severas. No obstante, y hablando en términos generales, el perfil vertical de la temperatura y las características de la turbulencia atmosférica asociados a los huracanes no difieren excesivamente de una tormenta a otra.

Las áreas dentro del "*fetch*" en donde la velocidad del viento permanece razonablemente constante son siempre pequeñas durante el paso de un huracán, aún así, en las zonas de vientos fuertes generados por una tormenta, las olas de período largo pueden salir fuera de la zona de generación. Ellas se desarrollan dentro de un rango de "*fetch*" de 15 a 30 Km. y con una duración de 1 ó 2 horas.

Se han propuesto muchos modelos matemáticos para ser aplicados en el estudio de los huracanes. Cada uno de ellos está diseña

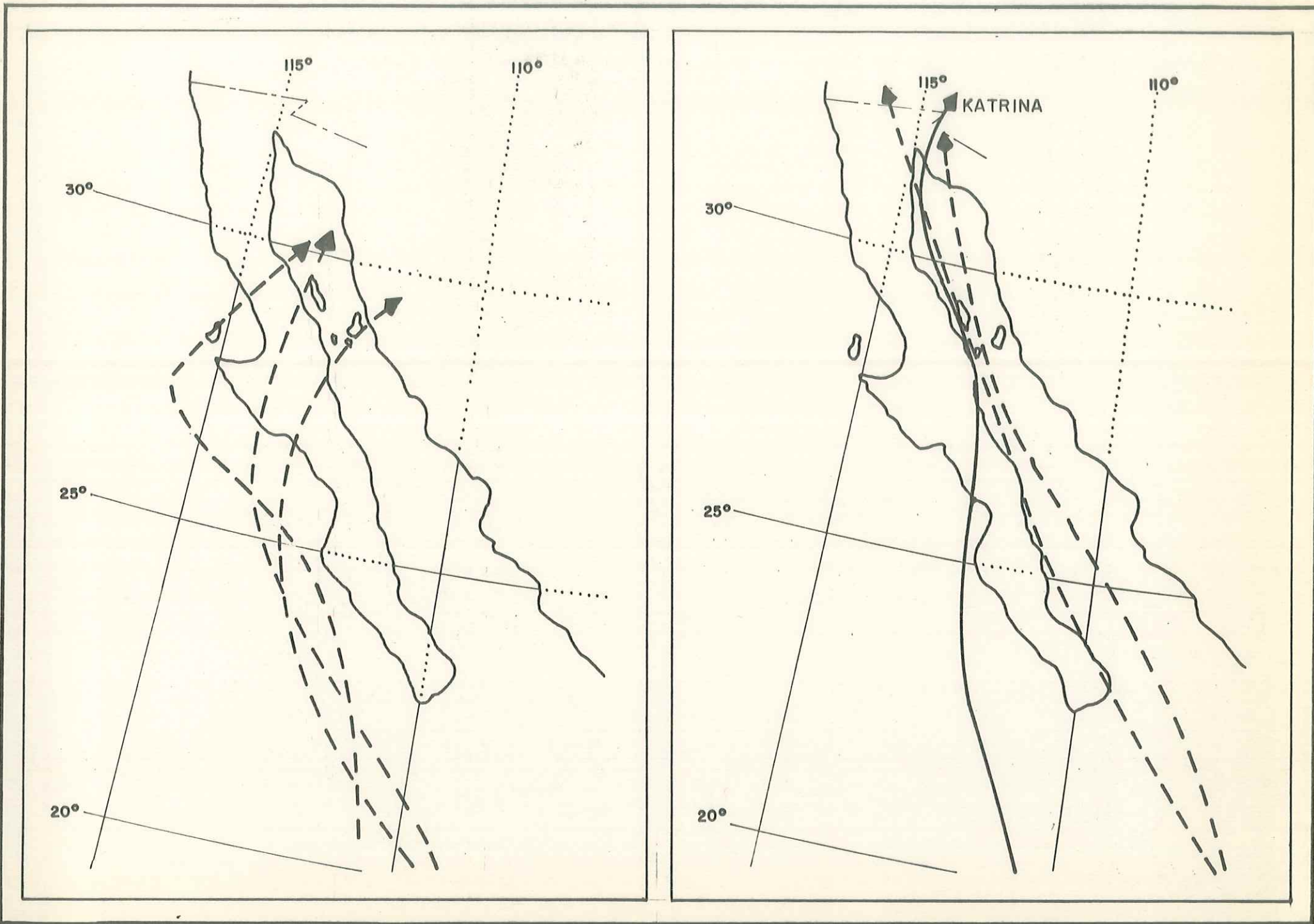


FIG. 5.3-1 TRAYECTORIAS TIPICAS DE HURACANES QUE HAN AFECTADO LA ZONA DE ESTUDIO

do para cuantificar ciertos aspectos de la tormenta tan ciertamente como sea posible, sin introducir errores excesivos para los otros aspectos incluidos. Sin embargo, actualmente no existe una información adecuada para determinar cual es el modelo mejor para todos los propósitos.

Para un huracán de movimiento lento, pueden ser usadas las ecuaciones siguientes, para obtener una estimación de la altura de la ola significativa en aguas profundas y la posición donde el viento es máximo. Este modelo fué desarrollado por Bretschneider subsecuentemente modificado por él mismo en 1972.

$$(5.3-1) \quad H_o = 16.5 e^{\frac{R\Delta p}{100}} \{1 + [208 \alpha V_f (U_r)^{-\frac{1}{2}}]\}$$

$$(5.3-2) \quad T_s = 8.6 e^{\frac{R\Delta p}{200}} \{1 + [104 \alpha V_f (U_r)^{\frac{1}{2}}]\}$$

Donde

$H_o$  = Altura de la ola significativa en aguas profundas (pies).

$T_s$  = Período de la ola significativa en aguas profundas (segundos).

$R$  = Radio del area del viento máximo sostenido (millas náuticas).

$\Delta p$  =  $(p_n - p_o)$  con  $p_n = 29.92$  pulgadas de mercurio  $p_o$  igual a la presión central del huracán dada con la misma unidad de medidas.

$V_f$  = La rapidez hacia adelante del huracán (nudos)

$U_r$  = La rapidez máxima sostenida del viento (nudos); referida a 30 pies arriba de la superficie promedio del mar y correspondiente al radio  $R$ . Para el valor de  $U_r$  se aplica uno de los siguientes casos:

$$(5.3-3) \quad U_r = 0.865 U_{\max} \text{ (para un huracán estacionario).}$$

$$(5.3-4) \quad U_r = 0.865 U_{\max} + 0.5 V_f \text{ (para un huracán en movimiento).}$$

$U_{\max}$  = Valor máximo de la rapidez del viento a 30 pies arriba de la superficie del mar (nudos), calculado con la siguiente ecuación:

$$(5.3-5) \quad U_{\max} = 0.868 [73 (\Delta p)^{\frac{1}{2}} - R (0.575 f)]$$

$f$  = Parámetro de Coriolis =  $2 w \sin \phi$ , donde  $w$  es la velocidad angular de la tierra ( $2 \pi/24$  rad/hr.)

Latitud ( $\phi$ )	25°	30°	35°	40°
$f$ (rad/hr.)	0.221	0.262	0.300	0.337

$\alpha$  = Un coeficiente que depende de la rapidez hacia adelante del huracán y al incremento en la longitud efectiva del *fetch*, debido al movimiento del huracán. Se ha sugerido que para tormentas de movimiento lento  $\alpha = 1.0$ .

Conociendo los valores de  $H_0$  y  $U_r$  es posible calcular el *fetch* efectivo ( $F_e$ ) por medio de la siguiente igualdad.

$$(5.3-6) \quad F_e = (H_0/0.555 U_r)^2$$

Se asume que la ola máxima más probable depende del número ( $N$ ) de olas que consideren aplicables para el cálculo de la ola significativa. Este número depende de la longitud que tenga la sección del huracán a partir del lugar donde se encuentre el estado de calma así como de la rapidez con que la tormenta se desplaza hacia adelante. Se ha encontrado que las condiciones de

oleaje máximo existen sobre una distancia igual al radio del viento máximo. El tiempo ( $t$ ) que toma la zona de viento máximo para pasar un lugar en particular puede ser determinado por la siguiente igualdad:

$$(5.3-7) \quad t = 3,600 (R/V_f) \text{ (segundos)}$$

Conociendo el tiempo, el valor de  $N$  calculado por:

$$(5.3-8) \quad N = t/T_s$$

Una vez determinado el número  $N$ , la altitud ( $H_n$ ) de la ola máxima más probable puede ser obtenida por medio de la siguiente ecuación:

$$(5.3-9) \quad H_n = 0.707 H_o (\ln N)^{\frac{1}{2}}$$

El período correspondiente ( $T_n$ ) se puede obtener mediante la fórmula:

$$(5.3-10) \quad T_n = 2.13 (H_o)^{\frac{1}{2}}$$

#### 5.4. OCEANOGRAFIA DINAMICA

Los sensores oceanográficos utilizados durante el estudio fueron de tres tipos, dos diferentes para la medición de las corrientes y uno para el registro de las variaciones en el nivel del mar. A continuación se tratará de la información obtenida por medio de correntómetros, así como su procesamiento. Después se hará una exposición semejante con respecto a los datos de presión recabados.

##### 5.4.1. CORRIENTES

La información registrada acerca de las corrientes en la zona de estudio fué obtenida con dos tipos de medidores. Los instrumentos de Braincon registran los datos por medio de una cámara fotográfica, que fué programada para efectuar una exposición durante 30 segundos y con 30 minutos entre las exposiciones. Los rollos de película, que contenían la información, fueron mandados a la compañía fabricante (ENDECO), donde se procesaron para proveer lecturas de rapidez y dirección, con una corrección correspondiente a la inclinación del aparato, a intervalos de 30 minutos.

La información sobre tiempo, rapidez y dirección fué proporcionada en listados y cinta magnética. El procesamiento subsecuente fué realizado por GYMSA y la compañía Intersea.

Los correntómetros Davis-Weller registran dos componentes ortogonales de la corriente horizontal, así como el azimut y la temperatura usando una grabadora de cassettes tipo Datel. El primer paso en la reducción de datos fué el de procesarlos por medio de un programa que buscaba errores para su eliminación y regresaba el contenido de una cinta de 9 pistas y 800 BPI en forma

de palabras de 8 *bits*. Un segundo programa le dió el formato a los valores para su uso común en computadora y al mismo tiempo los convertía en unidades ingenieriles, además de realizar un promedio vectorial adicional.

La variación de las corrientes generadas por la marea durante intervalos de 4 minutos es insignificante. No obstante, el promediar las componentes horizontales de la corriente sobre este intervalo, suprime en gran medida influencias de período corto, tales como la del oleaje, ráfagas de vientos, barcos, peces y otras perturbaciones similares. Por esta razón se escogió un período de promediación de 4 minutos como estandar para los datos recabados en forma cuasi-contínua.

La información acerca de las corrientes en la zona de estudio fué procesada para tres estaciones escogidas. La de mayor duración fué obtenida en la estación B-1 con un registro de 12 días.

Para los análisis de corrientes generadas por la marea es conveniente que los datos originales estén promediados sobre intervalos de una hora. Estos promedios-horarios fueron centrados a la hora exacta, sin importar el tipo de instrumento que fué utilizado. Los datos de corrientes así reducidos fueron introducidos en archivos de computadora para su posterior procesamiento en forma de gráficas, etc.

El paso siguiente incluyó el cómputo de varias clasificaciones estadísticas sencillas para los datos obtenidos en diferentes posiciones, así como la aplicación de algunos modelos para la predicción de la magnitud de las corrientes en función del tiempo.

#### 5.4.1.1. Diagramas Vectoriales.

La historia en tiempo, calculada con intervalos de promediación sobre 4 ó 60 minutos, para las corrientes medidas a tres metros arriba del fondo están presentadas en forma de diagramas vectoriales. La figura 5.4-1 muestra un ejemplo de estos diagramas utilizando un intervalo de promediación de 60 minutos. En esta figura cada vector de velocidad se origina en una coordenada, a lo largo del eje de las abscisas, que corresponde al tiempo. Cada origen mencionado es centrado en el intervalo de promediación. La longitud de cada vector es proporcional a la magnitud del promedio de la velocidad en la escala indicada sobre el eje ordenado. La dirección promedio (en grados verdaderos) *hacia* donde fluye la corriente, está indicada por el ángulo del vector con respecto al eje vertical, que en dirección positiva indica hacia el Norte. Por lo tanto, está dibujada a manera de azimut.

En la parte inferior de la figura 5.4-1 se presenta para Guaymas, Son., la elevación de la superficie del mar causada por la marea, en función del tiempo. Esta fue calculada con parámetros de la estación mareográfica del puerto mencionado; utilizando un esquema de interpolación sinusoidal, basado en las predicciones de las mareas altas y bajas para la misma estación.

#### 5.4.1.2. Componentes de las Corrientes.

Las corrientes pueden ser separadas en tres constituyentes principales:

- *De baja frecuencia (períodos largos)*
- *Con frecuencia de las mareas principales (períodos intermedios; diurnos y semidiurnos).*

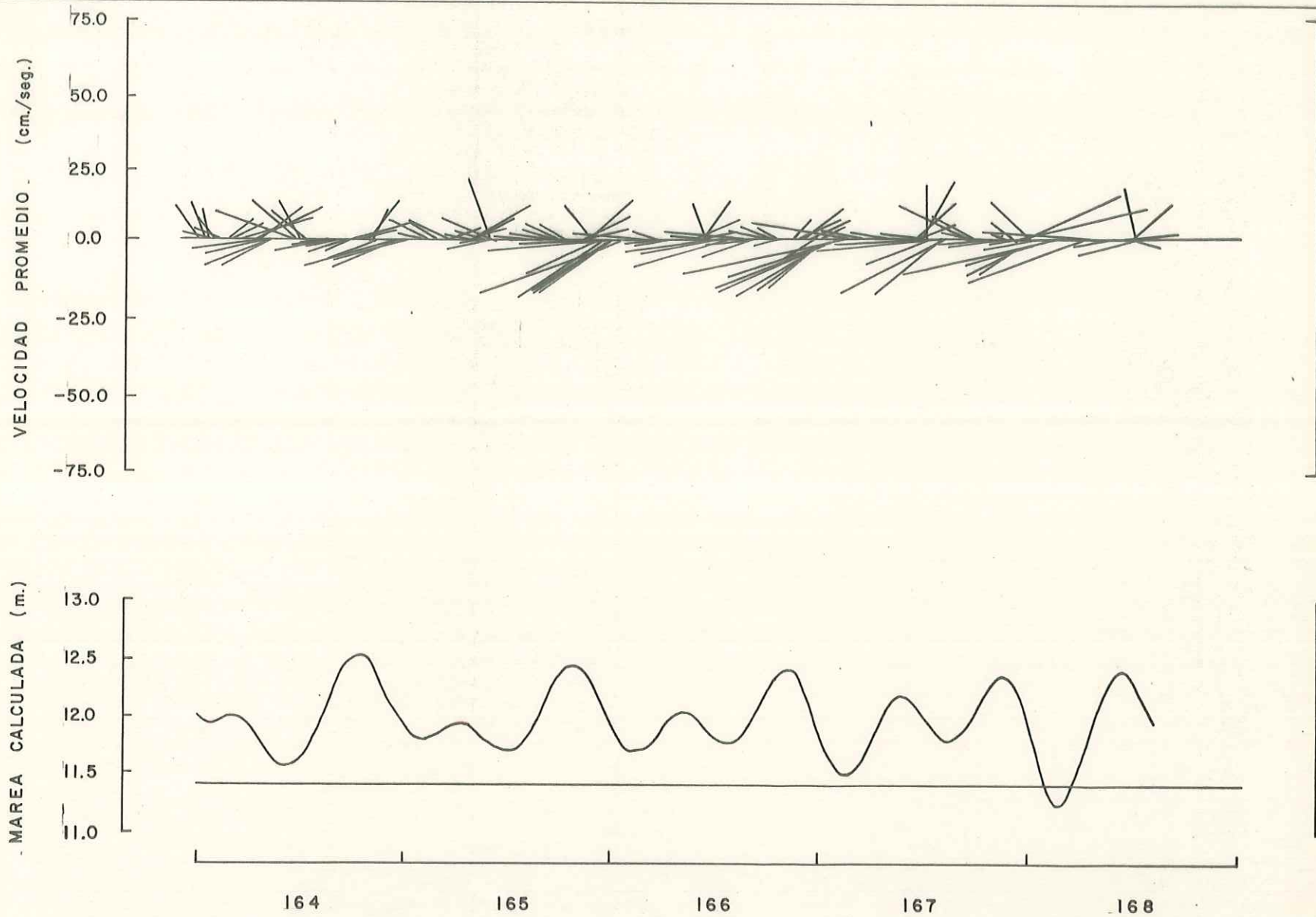


FIG. 5.4-1  
DIAGRAMA VECTORIAL DE  
LA CORRIENTE MEDIDA EN  
LA ESTACION B-1.

- De alta frecuencia (períodos cortos).

El primer tipo a menudo es causado por fenómenos meteorológicos prolongados. El segundo corresponde a la acción gravitacional de la luna y el sol y el tercero a la acción de olas y oleaje, ciertas ondas internas y otras perturbaciones con frecuencias más altas que la marea.

El vector de la velocidad horizontal de las corrientes provocadas por la marea y representado en función del tiempo genera, en cada sitio particular, un odograma, a menudo bastante complejo. Este es el resultante de varias componentes de marea, las cuales describen individualmente elipses horizontales con diferente forma, orientación y frecuencia angular. Estas frecuencias son pronosticables a partir de datos astronómicos. No obstante, existen algunas interferencias por ruido y la actividad de las ondas internas. (Winant y Olsen, 1976).

Las técnicas convencionales para el análisis armónico de mareas se basan generalmente en datos promediados y espaciados a intervalos de una hora. Para evitar problemas en el análisis se requiere normalmente que la frecuencia más alta, presente en el conjunto analizado, no exceda de 0.5 ciclos por hora (cph). Empero los datos estudiados pueden contener frecuencias del orden de 2 a 15 cph, aunque la energía es menospreciable en este rango. Por lo tanto, es recomendable introducir algún tipo de filtraje adecuado de paso bajo.

En el análisis para encontrar los constituyentes de marea en las corrientes, las relaciones en fase son de gran importancia; por lo cual es necesario que el filtro aplicado tenga una distorsión mínima para la fase.

Con el fin de cuidar este aspecto se utilizó un filtro de paso bajo con promediación en bloque ponderada, cuyo resultado fué centrado en la hora. Este filtro deja pasar las variaciones con frecuencias de marea en prácticamente toda su amplitud.

Para separar las corrientes de marea de otras se utilizó un filtro numérico elaborado por Doodson y Warburg (1941), cuyo núcleo de *convolución* dura 39 horas. Su mitad positiva se muestra enseguida:

MULTIPLICADORES PARA EL FILTRO DOODSON

Tiempo (horas)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Multiplicador	0	2	1	1	2	0	1	1	0	2	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1

Las ponderaciones anteriormente mencionadas son simétricas alrededor del tiempo cero pero todas deberán estar divididas por 30 (el valor sumado de las ponderaciones) para normalizar la respuesta del filtro. Este filtro es excepcionalmente eficiente para retener los períodos más largos que aquellos de la marea.

El remanente de esta filtración contendrá por lo tanto los componentes de la corriente cuyas frecuencias son más bajas que las de las mareas diarias, además de una parte del ruido generado en el espectro continuo de frecuencias.

Para el análisis de las corrientes generadas por la marea se utilizó el método de mínimos cuadrados, descrito por Dronkers (1964), el cual ahora es de aplicación general, debido a la accesibilidad a las computadoras digitales de alta velocidad.

La tabla 5.4-1 contiene las características de los constituyentes armónicos utilizados en el análisis de las corrientes.

Suponiendo que  $U_t$  y  $V_t$  representan series en tiempo de valores horarios que cuantifican las componentes del flujo total al Este y al Norte respectivamente. El subíndice " $t$ " es el índice de la hora, con  $t = -N\dots, -1, 0, +1, \dots N$ .

Cada serie consistirá en un número impar de  $2N+1$  entradas con un origen de tiempo central. Toda la información de fase derivada en los pasos subsiguientes será relativa a dicho origen de tiempo. Este análisis requiere que todas las derivas de tiempo prolongado sean excluidas de las series, entonces:

$$5.4-1 \quad u_t = U_t - \langle U_t \rangle_\tau$$

$$5.4-2 \quad v_t = V_t - \langle V_t \rangle_\tau$$

donde:

$u$  y  $v$  = Los componentes Este y Norte respectivamente, integrados por la corriente de la marea y las fluctuaciones de períodos cortos (frecuencias altas).

$U$  y  $V$  = Valores promediados de las observaciones horarias.

T A B L A 5.4-1

## CONSTITUYENTES ARMONICOS PARA EL ANALISIS DE LOS REGISTROS DE CORRIENTES

Símbolo del Constituyente	Nombre del Constituyente	Frecuencia en ciclos/hora	Período en horas	Contribución al Filtro Doodson	Amplitud Relativa ( en equilibrio )
$M_2$	Lunar Principal Semidiurna	0.080511	12.420603	0.0006	0.9085
$K_1$	Luni-Solar Diurna	0.041781	23.934420	0.0001	0.3623 Lunar 0.1681 Solar
$S_2$	Solar Principal Semidiurna	0.083333	12.000000	> 0.0001	0.4227
$O_1$	Lunar Principal Diurna	0.038731	25.819408	0.0030	0.3771
$M_4$	1a. $M_2$ de Sobremarea	0.161022	6.210302	0.0030	- -

$\langle U_t \rangle$  y  $\langle V_t \rangle$  = Componentes Este y Norte remanentes al tiempo  $t$  de las series  $U$  y  $V$  filtradas con el método de Doodson (componentes de período largo).

$\tau$  = Tiempo característico del filtro; tal que el período de marea  $< \tau <$  período de observación  $2N+1$  (145 horas).

$t$  = Número entero denominado índice-horario.

Las series armónicas para las componentes Este y Norte de la corriente, debidas a los 5 constituyentes de la marea enlistados en la tabla 5.4-1 se pueden expresar de la siguiente manera:

$$5.4-3 \quad e(t) = a_0 + \sum_{k=1}^5 (a_k \cos \omega_k t + b_k \text{ sen } \omega_k t)$$

$$5.4-4 \quad n(t) = c_0 + \sum_{k=1}^5 (c_k \cos \omega_k t + d_k \text{ sen } \omega_k t)$$

donde:

$e(t)$  = Serie armónica para la componente Este de la corriente.

$n(t)$  = Serie armónica para la componente Norte de la corriente.

$a_0, a_k, b_k$   
 $c_0, c_k, d_k$  = Constantes a determinar.

$\omega_k$  = Velocidad angular del componente  $k$ .

La serie  $e(t)$  se convertirá en la mejor aproximación de la serie procesada,  $u_t$ , cuando el error cuadrático medio ( $\epsilon^2$ ) tenga su valor mínimo.

$$5.4-5 \quad \epsilon^2 = [ 1/(2N+1)] \times$$

$$\times \sum_{t=-N}^{+N} \left[ a_0 + \sum_{k=1}^5 (a_k \cos \omega_k t + b_k \text{ sen } \omega_k t) - u_t \right]^2$$

Para la serie  $n(t)$  se establece una relación correspondiente.

Tomando nuevamente como ejemplo a la serie  $e(t)$ , se encuentra que las condiciones para que el error cuadrático sea mínimo, deberán ser las siguientes:

$$5.4-6 \quad \frac{\partial \epsilon^2}{\partial a_0} = 0 \quad \text{ó} \quad \sum_{t=-N}^{+N} e(t) - u_t = 0$$

$$5.4-7 \quad \frac{\partial \epsilon^2}{\partial a_k} = 0 \quad \text{ó} \quad \sum_{t=-N}^{+N} [e(t) - u_t] \cos \omega_k t = 0$$

$$5.4-8 \quad \frac{\partial \epsilon^2}{\partial b_k} = 0 \quad \text{ó} \quad \sum_{t=-N}^{+N} [e(t) - u_t] \text{ sen } \omega_k t = 0$$

Estas expresiones generan un total de  $(2k + 1) = 11$  ecuaciones con 11 incógnitas las cuales pueden ser evaluadas suponiendo que el determinante correspondiente no es igual a cero, ni tiene un valor muy pequeño.

Después de haber determinado todos los valores mencionados, queda por calcular las características de cada elipse de marea, lo cual puede ser realizado siguiendo el método dado por Doodson y Warburg (1941).

Supongamos que las componentes Este y Norte de un solo constituyente particular están dadas por las expresiones siguientes:

$$5.4-9 \quad u = a \cos \omega t + b \sin \omega t$$

$$5.4-10 \quad v = c \cos \omega t + d \sin \omega t$$

La rapidez al cuadrado ( $S^2$ ), para cualquier momento dado se puede encontrar con la siguiente ecuación:

$$5.4-11 \quad S^2 = (a \cos \omega t + b \sin \omega t)^2 + (c \cos \omega t + d \sin \omega t)^2$$

Definimos los siguientes símbolos:

$$5.4-12 \quad C = a^2 + c^2$$

$$5.4-13 \quad D = b^2 + d^2$$

$$5.4-14 \quad E = ab + cd = H \sin 2 \gamma$$

$$5.4-15 \quad F = 1/2 (C-D) = H \cos 2 \gamma$$

$$5.4-16 \quad G = 1/2 (C + D)$$

$$5.4-17 \quad H^2 = E^2 + F^2$$

La ecuación (5.4-11) se transforma en la siguiente expresión:

$$5.4-18 \quad S^2 = G + F \cos 2\omega t + E \sin 2\omega t$$

De (5.4-14) y (5.4-15) se tiene

$$5.4-19 \quad (E/F) = \tan 2 \gamma$$

con lo que finalmente queda:

$$5.4-20 \quad S^2 = G + H \cos 2 (\omega t - \gamma)$$

De este desarrollo se deduce que la rapidez tiene su máximo valor  $(G + H)^{\frac{1}{2}}$  cuando  $\omega t = \gamma$ . Esta es la magnitud del vector de la velocidad cuando el último forma uno de los ejes semi-mayores de la elipse. Similarmente, la rapidez tiene su valor mínimo  $(G - H)^{\frac{1}{2}}$  cuando  $[\omega t = \gamma \pm (\pi/2)]$  y su vector forma un eje semi-menor de la misma elipse.

Sean  $\theta_1$  y  $\theta_2$  dos ángulos tomados como positivos en el sentido contrario al de las manecillas del reloj a partir del Este. Estos ángulos definen la posición angular de los ejes de magnitud máxima ( $\theta_1$ ) y mínima ( $\theta_2$ ) respectivamente. En este caso la orientación de la elipse se puede obtener por medio de las siguientes ecuaciones:

$$5.4-21 \quad (G + H)^{\frac{1}{2}} \cos \theta_1 = a \cos \gamma + b \sin \gamma$$

$$5.4-22 \quad (G - H)^{\frac{1}{2}} \sin \theta_2 = d \cos \gamma - c \sin \gamma$$

$$5.4-23 \quad \theta_1 = \arccos \left[ \frac{a \cos \gamma + b \sin \gamma}{(G + H)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$5.4-24 \quad \theta_2 = \arcsen \left[ \frac{d \cos \gamma - c \sin \gamma}{(G - H)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

El sentido de la rotación alrededor de la elipse estudiada será en el sentido de las manecillas del reloj si:

$$5.4-25 \quad \theta_2 = \theta_1 - \pi/2$$

y en el sentido contrario a las manecillas si:

$$5.4-26 \quad \theta_2 = \theta_1 + \pi/2$$

La rapidez máxima y mínima ocurre al doble de la frecuencia del constituyente de la marea. Debido a la ambigüedad ocasionada por el doble ángulo de la fórmula 5.4-20 habrá que dar una atención especial a los signos de las funciones trigonométricas para saber a cual par de los semi-ejes mayor y menor de la elipse se refiere el cálculo.

Como un ejemplo se dan los resultados del análisis armónico de las corrientes generadas por la marea en la estación B1 (tabla 5.4-2). Se hace notar que los valores de  $\theta$  aumentan en el sentido de las manecillas del reloj. Sin embargo, debido a la convención azimutal, anteriormente mencionada, el ángulo se calcula con referencia al Norte ( $\theta_N = 0$ ).

TABLA 5.4-2

RESULTADOS DEL ANALISIS DE LAS CORRIENTES IMPULSADAS POR LA MAREA

ESTACION B 1

Inicio: 06/13/82; hora local 16:00 MST

Símbolo del Constituyente	Eje Semi-Mayor (cm/seg)	Eje Semi-Menor (cm/seg)	Angulado ( $\theta_1$ ) del Eje Semi - Mayor	Sentido de la Rotación(*)	Coeficientes de la Elipse				Retraso en fase (+) (grados)
					a	b	c	d	
$S_2$	2.40	0.62	153°	CMR	-0.0637	-1.21	-1.12	1.84	-66°
$M_2$	19.63	2.18	81°	CMR	10.9	16.1	3.51	1.26	55°
$K_1$	3.97	1.58	84°	CMR	0.48	3.88	1.60	0.0154	81°
$O_1$	7.18	0.72	65°	CMR	-4.55	-4.66	-2.67	-1.59	43°
$M_4$	5.18	1.54	62°	ECMR	-4.27	1.84	-2.66	-0.715	-15°

El registro analizado abarca el período del 10/06/82 al 16/06/82.

(\*) CMR = con las manecillas del reloj;

ECMR = en contra de las manecillas del reloj.

#### 5.4.1.3. Clasificaciones Estadísticas.

Los datos acerca de las corrientes fueron arreglados estadísticamente, de la siguiente forma:

- Tabulación de la rapidez y dirección de la corriente diaria más fuerte. Tablas 5.4-3 y 5.4-4.
- Tabulación de la frecuencia en ocurrencia de rapidez versus dirección. Tablas 5.4-5, 5.4-6 y 5.4-7.

Como se puede observar en las tablas 5.4-3 y 5.4-4, las corrientes máximas oscilan entre 50 y 60 cm/seg. mientras que la corriente mínima es de cero. Esto nos da un valor promedio del orden de 20 a 21 cm/seg. para la rapidez y una dirección principal N-E para la estación C-5, que contrasta con la estación B-1, en donde la dirección principal es S-0.

De las tres tablas siguientes se puede obtener la información abajo detallada:

- La combinación de ocurrencia en rapidez y dirección más fuerte.
- El rango de rapidez más frecuente.
- El rango de dirección más frecuente.
- La distribución frecuencial (%) de la rapidez agrupada.
- La distribución frecuencial (%) de la dirección agrupada.

- El porcentaje de calma.

Utilizando como ejemplo la tabla 5.4-7 que se refiere a la estación C-5, tenemos que la combinación rapidez-dirección más frecuente es de 11 a 21 cm/seg. hacia los 225-240° y representa el 7.08% de las observaciones. La dirección más frecuente está entre los 225 y 240° azimutales, lo cual representa el 19.26% del total de observaciones. Por último, el porcentaje de calma es el 13.17% durante el período de observaciones.

TABLA 5.4-3

CORRIENTE MAXIMA ENCONTRADA EN CADA DIA DE MEDICION  
EN LA ESTACION B-1

Profundidad total: 23 m. Tasa de registro: Cada 30 min.  
 Profundidad del Sensor: 20 m. Período de Promediación: 30 seg.  
 Tipo de Sensor: Braincon

Fecha de Medición	Día Juliano	Tiempo de ocurrencia (horas.)	C O R R I E N T E M A X I M A	
			Rapidez ( cm/seg )	Dirección ( °azimutales )
Junio 9	160	12:00	49	267
Junio 10	161	12:30	49	266
Junio 11	162	06:00	44	71
Junio 12	163	13:00	32	266
Junio 13	164	10:00	37	271
Junio 14	165	00:30	38	257
Junio 15	166	02:00	54	252
Junio 16	167	03:30	58	259

Rapidez máxima encontrada: 62 cm/seg.  
 Rapidez mínima encontrada: 0 cm/seg.  
 Rapidez promedio calculada: 20.29 cm/seg.  
 Desviación estandard: 10.63 cm/seg.

TABLA 5.4-4

CORRIENTE MAXIMA ENCONTRADA EN CADA DIA DE MEDICION  
EN LA ESTACION C - 5

Profundidad total: 10 m. Tasa de registro: Cada 4 min.  
 Profundidad del Sensor: 7 m. Período de promediación: 4 min.  
 Tipo de Sensor: DOWS

Fecha de Medición	Día Juliano	Tiempo de ocurrencia (horas.)	C O R R I E N T E M A X I M A	
			Rapidez (cm/seg)	Dirección (°azimutales)
Junio 6	157	06:40	46.7	60.25
Junio 7	158	11:52	42.7	246.11
Junio 8	159	00:08	29.4	255.84
Junio 9	160	09:04	53.1	54.21
Junio 10	161	09:08	44.4	51.97
Junio 11	162	09:52	40.2	58.24
Junio 12	163	09:56	47.8	52.70
Junio 13	164	11:24	47.7	52.45
Junio 14	165	12:20	42.2	61.27
Junio 15	166	13:20	44.3	60.09
Junio 16	167	14:20	46.2	54.84

Rapidez máxima encontrada: 53.1 cm/seg.  
 Rapidez mínima encontrada: 0.0 cm/seg.  
 Rapidez promedio calculada: 21.12 cm/seg.  
 Desviación estandard: 11.33 cm/seg.

TABLA 5.4- 5

PORCENTAJE DE LA FRECUENCIA EN OCURRENCIA DE  
LA RAPIDEZ DE LA CORRIENTE VERSUS DIRECCION.

(Corrientes promediadas a cada 4 minutos .)

ESTACION: III-3

Profundidad Total: 20 m.

Profundidad del Sensor: 17 m.

Dirección hacia donde fluye la corriente (° Azimutales)	I N T E R V A L O S D E R A P I D E Z (cm/seg.)								Porcentaje por intervalo de Dirección
	1.00 11.00	11.00 21.00	21.00 31.00	31.00 41.00	41.00 51.00	51.00 61.00	61.00 71.00	Mayor de 71.00	
0 - 15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
15 - 30	0.17	-	-	-	-	-	-	-	0.17
30 - 45	0.33	-	-	-	-	-	-	-	0.33
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
60 - 75	1.34	-	-	-	-	-	-	-	1.34
75 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
90 - 105	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
105 - 120	-	0.67	1.00	-	-	-	-	-	1.67
120 - 135	1.34	6.02	3.51	-	-	-	-	-	10.87
135 - 150	3.85	0.84	-	-	-	-	-	-	4.69
150 - 165	2.17	4.68	-	-	-	-	-	-	6.85
165 - 180	5.69	4.01	0.17	-	-	-	-	-	9.87
180 - 195	8.53	14.38	5.02	1.17	-	0.33	0.17	0.34	29.94
195 - 210	9.03	4.85	1.50	-	-	-	-	-	15.38
210 - 225	6.02	4.18	1.17	-	-	-	-	-	11.37
225 - 240	2.01	0.33	-	-	-	-	-	-	2.34
240 - 255	3.34	-	0.17	-	-	-	-	-	3.51
255 - 270	0.33	-	-	-	-	-	-	-	0.33
270 - 285	0.50	-	-	-	-	-	-	-	0.50
285 - 300	0.50	-	-	-	-	-	-	-	0.50
300 - 315	0.17	-	-	-	-	-	-	-	0.17
315 - 330	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
330 - 345	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
345 - 360	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
% por Int. de rapidez	45.32	39.96	12.54	1.17	0.00	0.33	0.17	0.34	99.83

No. de Mediciones: 598

% de calma (< 1 cm/seg): 0.17

TABLA 5.4-6

PORCENTAJE DE LA FRECUENCIA EN OCURRENCIA DE  
LA RAPIDEZ DE LA CORRIENTE VERSUS DIRECCION.

(Corrientes promediadas a cada 30 segundos.)

ESTACION: B-1

Profundidad Total: 23. m.

Profundidad del Sensor: 20 m.

Dirección hacia donde fluye la corriente (° Azimutales)	INTERVALOS DE RAPIDEZ (cm/seg.)								Porcentaje por intervalo de Dirección
	1.00 11.00	11.00 21.00	21.00 31.00	31.00 41.00	41.00 51.00	51.00 61.00	61.00 71.00	Mayor de 71.00	
0 - 15	-	0.23	-	-	-	-	-	-	0.23
15 - 30	0.93	0.23	0.23	-	-	-	-	-	1.39
30 - 45	-	1.63	-	-	-	-	-	-	1.63
45 - 60	1.17	3.50	0.23	-	-	-	-	-	4.90
60 - 75	0.47	6.99	3.03	0.70	0.47	-	-	-	11.66
75 - 90	1.17	3.73	-	-	-	0.23	-	-	5.13
90 - 105	0.70	0.47	-	-	-	-	-	-	1.17
105 - 120	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.23
120 - 135	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
135 - 150	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
150 - 165	0.23	0.23	-	-	-	-	-	-	0.46
165 - 180	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
180 - 195	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
195 - 210	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
210 - 225	0.23	0.23	-	-	-	-	-	-	0.46
225 - 240	0.00	0.23	1.63	0.23	-	-	-	-	2.09
240 - 255	0.23	3.73	3.96	1.17	1.40	0.23	-	-	10.72
255 - 270	0.93	9.56	6.53	3.50	3.50	0.47	0.23	-	24.72
270 - 285	2.33	9.32	5.59	0.93	0.93	-	-	-	19.10
285 - 300	1.40	4.66	1.17	0.47	-	-	-	-	7.70
300 - 315	0.93	2.56	0.23	-	-	-	-	-	3.72
315 - 330	0.70	0.93	-	-	-	-	-	-	1.63
330 - 345	0.93	0.93	0.23	-	-	-	-	-	2.09
345 - 360	-	0.70	-	-	-	-	-	-	0.70
% por Int. de rapidez	12.58	49.86	22.83	7.00	6.30	0.93	0.23	0.00	99.73

No. de Mediciones: 429

% de calma (< 1cm/seg): 0.23

Error de aproximación (%): 0.04

PORCENTAJE DE LA FRECUENCIA EN OCURRENCIA DE LA RAPIDEZ DE LA CORRIENTE VERSUS DIRECCION.

(Corrientes promediadas a cada 4 minutos .)

ESTACION: C-5

Profundidad Total: 10 m.

Profundidad del Sensor: 7 m.

Dirección hacia donde fluye la corriente (° Azimutales)	INTERVALOS DE RAPIDEZ (cm/seg.)							Porcentaje por intervalo de Dirección	
	1.00 - 11.00	11.00 - 21.00	21.00 - 31.00	31.00 - 41.00	41.00 - 51.00	51.00 - 61.00	61.00 - 71.00		Mayor de 71.00
0 - 15	0.51	0.07	-	-	-	-	-	-	0.58
15 - 30	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	0.07
30 - 45	0.14	-	-	-	-	-	-	-	0.14
45 - 60	1.24	3.33	4.95	6.14	1.45	0.05	-	-	17.16
60 - 75	2.01	4.66	5.87	4.33	0.65	-	-	-	17.52
75 - 90	1.64	1.72	0.87	-	-	-	-	-	4.23
90 - 105	0.85	0.94	0.14	-	-	-	-	-	1.93
105 - 120	0.90	0.31	-	-	-	-	-	-	1.21
120 - 135	0.49	0.19	-	-	-	-	-	-	0.68
135 - 150	0.36	-	-	-	-	-	-	-	0.36
150 - 165	1.18	0.03	-	-	0.02	-	-	-	1.23
165 - 180	0.24	-	-	-	-	-	-	-	0.24
180 - 195	0.17	-	-	-	-	-	-	-	0.17
195 - 210	0.19	-	-	-	-	-	-	-	0.19
210 - 225	0.41	0.12	-	-	-	-	-	-	0.53
225 - 240	2.51	7.08	6.00	3.55	0.12	-	-	-	19.26
240 - 255	1.69	1.02	2.92	2.10	0.17	-	-	-	7.90
255 - 270	0.19	0.88	1.76	0.31	-	-	-	-	3.14
270 - 285	0.10	0.75	0.68	0.29	-	-	-	-	1.82
285 - 300	0.22	0.63	1.21	0.36	-	-	-	-	2.42
300 - 315	0.24	0.39	0.22	-	-	-	-	-	0.85
315 - 330	1.35	0.12	0.22	0.03	-	-	-	-	1.72
330 - 345	1.76	0.10	0.05	-	-	-	-	-	1.91
345 - 360	1.33	0.24	-	-	-	-	-	-	1.57
% por Int. de rapidez	19.77	22.60	24.89	17.11	2.41	0.05	0.00	0.00	86.83

No. de Mediciones: 4 138

% de calma (< 1cm/seg): 13.17

#### 5.4.1.4. Modelo de Weibull.

Con un procesamiento adecuado de los datos empíricos es posible aplicar una función probabilística que describa la distribución en la frecuencia de rapidez de las corrientes.

Identificando esta función y bajo ciertas condiciones, se puede extender el rango de validez de la misma función y en consecuencia, estimar el tiempo requerido para la repetición de un valor de rapidez dado o bien, estimar el orden del valor de rapidez máximo probable en un tiempo dado.

Paquette(1972) analizó una cantidad considerable de datos recabados acerca de las corrientes en la región al Sur de la isla de Santa Cruz, localizada en la parte Sur del Edo. de California, U.S.A. Este investigador encontró que el sesgo típico para las distribuciones de rapidez graficadas se reducía prácticamente a una distribución Gaussiana, cuando se dibujaba la frecuencia como una función del logaritmo natural de la rapidez. Este hallazgo no se veía cambiado aún cuando los datos eran muestreados a intervalos de 40 minutos o más.

En el trabajo mencionado se demostró que cuando se utiliza una curva Gaussiana para representar una distribución de rapidez, dicho ajuste generalmente es aceptable para los primeros cuantiles. Sin embargo, a medida que la rapidez aumenta, la bondad del ajuste disminuye, de aquí que se tiene que aplicar otra función de probabilidad para describir de mejor manera los datos empíricos más grandes, ubicados hacia el final de la curva mencionada. Una distribución adecuada para este tipo de datos es a menudo la de Weibull, la cual, como se verá más adelante, describe con mayor precisión los datos registrados a medida que la rapidez se incrementa.

La distribución continua de Weibull está definida por medio de la siguiente expresión:

$$5.4-27 \quad F(v) = 1 - e^{-[(v - a)/b]^c}$$

donde:

$F(v)$  = Probabilidad acumulada para encontrar valores de rapidez menores que un valor libremente escogido ( $v^*$ ).

$v$  = rapidez de la corriente

$a$  = una constante  $\geq 0$

$b$  y  $c$  = constantes  $> 0$

En la ecuación anterior la constante "a" define la posición inicial en el eje horizontal. Por lo tanto, cuando se ha registrado, cuando menos un valor de rapidez igual a cero, el valor de la constante "a" es igual a cero. Este caso es aplicable para los conjuntos numéricos que fueron obtenidos en esta investigación. Por lo tanto, se suprime aquí el constante "a", aunque el resto de los datos iniciales (con bajas velocidades) no son ajustados a la ecuación de Weibull.

Tomando límites en la ecuación (5.4-27) se encuentra que

$$5.4-28 \quad F(0) = 0 \text{ \& } F(\infty) = 1$$

Lo cual demuestra que  $F$  satisface los requerimientos de una función de distribución estadística.

Diferenciando la ecuación (5.4-27) se obtiene:

$$5.4-29 \quad dF = f(v) dv = \frac{c}{b} \left[ \frac{v}{b} \right]^{c-1} * e^{-[(v)/b]^c} dv$$

donde:

$f(v)$  = densidad probabilística

De acuerdo con (5.4-28) se tiene:

$$\int_0^{\infty} f(v) dv = 1$$

Después de una separación del rango de integración de la ecuación (5.4-28) se encuentra la siguiente igualdad

$$\int_0^{v^*} f(v) dv = F(v^*) = 1 - \int_{v^*}^{\infty} f(v) dv$$

Definiendo a:

$$\int_{v^*}^{\infty} f(v) dv = E(v^*)$$

Donde:

$E(v^*)$  = Excedencia, a la cual damos un rango de definición para  $v \geq v^*$ ; mientras que  $F(v^*)$  abarca todos los valores  $0 \leq v < v^*$ .

La excedencia entonces puede estar definida por las siguientes relaciones:

$$5.4-30 \quad E(v^*) = 1 - F(v^*) = e^{- (v^*/b)^c}$$

Si  $j^*$  denota el número de valores individuales menores que  $v^*$  en un conjunto de  $N$  datos,  $F(v^*)$  y  $E(v^*)$  se pueden definir de la siguiente forma:

$$5.4-31 \quad F(v^*) = \int_0^{v^*} f(v) dv = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j^*} n_j = n^*/N$$

$$5.4-32 \quad E(v^*) = 1 - (n^*/N) = e^{- (v^*/b)^c}$$

Invirtiendo la ecuación (5.4-32) y suprimiendo el asterisco se obtiene la siguiente expresión general:

$$5.4-33 \quad (1/E) = e^{(v/b)^c}$$

Aplicando dos veces el logaritmo natural en la expresión anterior se tiene:

$$5.4-34 \quad \ln (\ln (1/E)) = c \ln v - c \ln b$$

La ecuación (5.4-34) representa una ecuación lineal entre las variables  $\ln (\ln (1/E))$  y  $\ln v$ , que puede ser representada de la siguiente forma:

$$5.4-35 \quad y = ax - b$$

donde:

$$y = \ln (\ln (1/E))$$

$$a = c$$

$$x = \ln v$$

$$b = c \ln b$$

Una vez determinados los valores de las constantes "b" y "c" incluidas en la ecuación (5.4-34) es posible aplicarla para estimar el tiempo probable de recurrencia para valores más grandes que aquellos observados.

Definiendo a q como el número de datos por cada unidad de tiempo y a R como un intervalo en tiempo de medición, se tiene que el número de mediciones (qR) necesario para asegurar estadísticamente la primera reaparición de una rapidez "v" observada al inicio del mismo intervalo, está contenida en la siguiente expresión:

$$5.4-36 \quad q R f (v) = 1$$

donde:

$$f(v) = \frac{c}{b} * \left[ \frac{v}{b} \right]^{c-1} * E(v)$$

y

$E(v)$  está definida en la relación (5.4-32).

De aquí que el tiempo de recurrencia (R), que está considerado como intervalo de tiempo entre dos ocurrencias consecutivas de una rapidez "v" dada, se puede expresar en la siguiente forma:

$$5.4-37 \quad R = \frac{(b)^c * (v)^{1-c} * e^{(v/b)^c}}{q \cdot c}$$

#### 5.4.1.5. Relaciones teóricas aplicadas para aguas someras.

En la sección anterior se demostró como pueden ser aplicados los datos de corrientes, recabados en un lugar específico, con el fin de evaluar la frecuencia en tiempo de la rapidez correspondiente a condiciones *normales* en la zona de interés. Había que hacer notar que el tiempo de medición fué restringido. Consecuentemente la información obtenida no contiene datos de casos severos como las tormentas ni casos como los de períodos con mareas vivas.

Esta sección contiene algunas consideraciones teóricas necesarias para la estimación de las corrientes que se pueden generar por los efectos de vientos persistentes, la acción del oleaje al aproximarse a la costa, así como aquellas ocasionadas en períodos de tormenta.

##### 5.4.1.5.1. Corrientes Generadas por el Viento.

Los vientos al actuar sobre la superficie del mar ejercen un cierto rozamiento. Esta fuerza al inicio de su aplicación, acelera la capa de agua superficial aumentando su energía cinética. Parte de esta energía es transmitida hacia capas más profundas y de estas capas a otras aún más profundas, aumentando en esta forma la velocidad en todo el cuerpo de agua. A medida que dicho aumento va afectando las capas de agua cercanas al fondo, la disipación de energía debida a la fricción se equilibra en un nivel tal que el flujo de energía entrante es igual a la que se disipa. En dicha situación el perfil vertical de la velocidad se queda fijo.

Mediante el procesamiento de datos empíricos se ha establecido un alto grado de coherencia estadística entre la componente del viento que corre paralela a la costa, la inclina-

ción del nivel de la superficie y la corriente a lo largo de la costa (Winant, 1979). Los resultados del análisis de registros prolongados del viento, actuando sobre la superficie del mar y la corriente costera permite establecer una relación entre la magnitud de la fuerza ejercida por la fricción promedio sostenida del viento y la velocidad de la corriente paralela a la costa. Una expresión desarrollada por Bretschneider (1967) para encontrar la componente paralela a la costa de una corriente generada, cuando el viento sopla persistentemente en una dirección que forma un ángulo  $\theta$  con la normal a la configuración general de la batimetría en la zona, es la siguiente:

$$5.4-38 \quad \frac{\bar{V}}{U} = \left\{ \left[ \frac{k_a}{k_*} \right] \sin \theta \right\}^{\frac{1}{2}} \tanh \left\{ \frac{UT}{D} (k_a k_* \sin \theta)^{\frac{1}{2}} \right\}$$

Donde:

$\bar{V}$  = El promedio integrado verticalmente de la componente paralela a la costa de la corriente horizontal (coincide generalmente con la misma componente a profundidad media) en m/seg.

$U$  = Rapidez sostenida del viento en m/seg.

$k_a$  = Coeficiente adimensional de Bretschneider para el arrastre del viento, donde:

$$k_a = \frac{\rho_a}{\rho_m} \times C_a = 3.27 \times 10^{-6}$$

$\rho_a$  = Densidad del aire (0°C; 1 atm.) =  $1.2929 \times 10^{-3}$   
gr/cm<sup>3</sup>

$$\rho_m = \text{Densidad del agua de mar (0°C; 1 atm.; 35‰)} \\ = 1.0281 \text{ gr/cm}^3.$$

$$C_a = \text{Coeficiente adimensional para el arrastre del viento} = 2.6 \times 10^{-3}.$$

$k_*$  = Coeficiente de fricción con el fondo, donde:

$$k_* = 14.6 n^2 / D^{1/3}$$

$n$  = Coeficiente de Manning, con un rango típico entre 0.02 y 0.03 (pies<sup>1/6</sup>) sobre la plataforma continental.

$T$  = Duración del viento sostenido en segundos.

$D$  = Profundidad promedio en pies.

De la ecuación anterior se deducen dos casos de aproximación si se observa el comportamiento de la tangente hiperbólica:

1.- Cuando el valor del argumento tiende a cero;

$$\tanh x = x \text{ cuando } x \rightarrow 0.$$

2.- Cuando el valor del argumento tiende a infinidad;

$$\tanh x = 1 \text{ cuando } x \rightarrow \infty$$

La tabla 5.4-8 muestra el error cometido al asumir cualquiera de los dos casos mencionados, en función del valor del argumento. En ella podemos observar en el primer caso, que cuando  $x = 0.5$  se introduce un error del 7.56%; si aplicamos este porcentaje al segundo caso encontramos que cuando  $x = 1.62$  el error corresponde al 7.54%.

Una vez analizado el comportamiento de la mencionada función, es posible encontrar el valor de  $T$  introduciendo un error máximo alrededor del 7.5%, lo cual implica que el argumento en el primer caso no exceda de 0.5 y en el segundo no sea menor que 1.62.

TABLA 5.4-8

Errores introducidos al aproximar la tangente hiperbólica (ver ecuación 5.4-38.)

C A S O 1			C A S O 2		
Argumento (x)	Valor de la tanh x	Error como % de x	Argumento (x)	Valor de la tanh x	Error como % de 1
0.10	0.0996	0.40	1.50	0.9052	9.48
0.20	0.1972	1.40	1.60	0.9217	7.83
0.25	0.2449	2.04	1.62	0.9246	7.54
0.30	0.2914	2.87	1.70	0.9354	6.46
0.35	0.3363	3.91	1.80	0.9468	5.32
0.40	0.3800	5.00	1.90	0.9562	4.38
0.45	0.4218	6.27	2.00	0.9640	3.60
0.50	0.4622	7.56	2.50	0.9866	1.34

Si se supone que T (horas) es una función de D, U y  $\theta$ , tenemos las siguientes relaciones:

## C A S O 1

cuando  $n = 0.02$

$$T \text{ (horas)} < = \frac{Q(D, \theta)}{U}$$

donde:

$$Q(D, \theta) = 4.0195 [D^{7/6} / (\text{sen } \theta)^{1/2}]$$

cuando  $n = 0.03$

$$T \text{ (horas)} < = 2 Q(D, \theta) / 3U$$

## C A S O 2

cuando  $n = 0.02$

$$T \text{ (horas)} > = \frac{P(D, \theta)}{U}$$

donde:

$$P(D, \theta) = 13.0231 D^{7/6} / (\text{sen } \theta)^{1/2}$$

cuando  $n = 0.03$

$$T \text{ (horas)} > = 2 P(D, \theta) / 3U$$

Con el fin de facilitar la evaluación de la magnitud correspondiente a T, la tabla 5.4-9 contiene los valores de Q y P y para diferentes combinaciones de la profundidad y ángulo de incidencia del viento.

TABLA 5.4-9

Valores de Q y P en función de la Profundidad y el Angulo de Incidencia del Viento.

MAGNITUD DE Q (D, $\theta$ )								MAGNITUD DE P (D, $\theta$ )							
PROF. (m.)	Angulo de incidencia del viento (grados)							PROF. (m.)	Angulo de incidencia del viento (grados)						
	0	15	30	45	60	75	90		0	15	30	45	60	75	90
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	51.66	37.17	31.25	28.24	26.74	26.28	5	0	167.38	120.42	101.26	91.50	86.64	85.15
10	0	115.97	83.44	70.16	63.40	60.03	59.00	10	0	375.75	270.33	227.32	205.41	194.50	191.15
15	0	186.12	133.90	112.60	101.75	96.34	94.68	15	0	603.03	433.85	364.82	329.66	312.14	306.78
20	0	260.35	187.31	157.51	142.32	134.76	132.45	20	0	843.53	606.87	510.32	461.13	436.63	429.12
25	0	337.77	243.00	204.34	184.65	174.84	171.83	25	0	1,094.37	787.33	662.07	598.25	566.47	556.73

Con lo anterior ya es posible aplicar las aproximaciones mencionadas para la ecuación 5.4-38, de acuerdo a la magnitud del argumento de la función tangente hiperbólica. Cuando el argumento es lo suficientemente pequeño, la ecuación 5.4-38 se transforma en la siguiente expresión, cuando se utilizan las unidades de Bretschneider:

$$5.4-39 \quad \frac{\bar{V}}{U} = \frac{UT}{D} \{k_a k_* \text{sen } \theta\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{k_a}{k_*} \text{sen } \theta \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Cuando se emplean las unidades del sistema MKS la expresión anterior toma la siguiente forma:

$$5.4-40 \quad \frac{\bar{V}}{U} = 0.3048 U T k_a (\text{sen } \theta)/D = 10^{-6} U T (\text{sen } \theta)/D$$

La ecuación anterior es válida para el caso de aguas profundas, cuando la profundidad es suficientemente grande comparada al T, en cuyo caso el coeficiente para la fricción con el fondo desaparece.

Por otra parte, cuando el argumento es lo suficientemente grande, T resulta ser más grande que la profundidad y tenemos el caso típico encontrado en aguas someras. Para aquellas, la ecuación 5.4-38 toma la siguiente forma, cuando se emplean unidades del sistema MKS:

$$5.4-41 \quad \frac{\bar{V}}{U} = 0.57689 \times 10^{-3} D^{1/6} (\text{sen } \theta)^{\frac{1}{2}} / n$$

Donde:

$$0.02 < n < 0.03$$

Se hace ahora notar que el período de inercia de la tierra está dado por la siguiente relación:

$$5.4-42 \quad T' = \pi/\omega \text{ sen } \theta; \quad \omega = 2 \pi/86164$$

Donde:

T' = Período de inercia en la tierra.

$\omega$  = Velocidad angular de la tierra.

$\phi$  = Latitud Norte.

Recordando que la zona de estudio se encuentra entre latitudes de  $28.5^\circ$  y  $29.0^\circ$ , tenemos que:

$$86164/2 \text{ sen } 29^\circ < = T' < = 86164/2 \text{ sen } 28.5^\circ$$

lo cual implica que:

$$5.4-43 \quad 1.031 < = \frac{T'}{86164} < = 1.048$$

La desigualdad 5.4-43 indica que el período de inercia en la tierra, a la latitud de la zona de estudio, corresponde aproximadamente a un día. Tomando esto en cuenta podemos deducir que la ecuación 5.4-38 dará valores adecuados de la corriente costera, cuando se alimenta de datos con promediación diurna previa, debido a las siguientes razones:

- La marea, al ser un fenómeno principalmente diurno o semi-diurno, podrá ser suprimida en su valor con sólo promediar durante las 24 horas, y consecuentemente excluida de los valores de la corriente costera impulsada por los vientos.
- La fluctuación de temperaturas, así como el régimen de brisas, tienen periodicidad diurna y casi sinusoidal. Por lo tanto, cuando el análisis de la dinámica costera no debe incluir los efectos de los agentes mencionados, es recomendable hacer una promediación diaria de los datos, previo el análisis costero.
- Al inicio de una tormenta, generalmente se presentan perturbaciones que siguen actuando con una periodicidad aproximadamente igual al de la inercia terrestre. Las corrientes impulsadas por estas perturbaciones, así como la inclinación de la superficie inducida tienen una respuesta simultánea que está desfasada aproximadamente por un

período de inercia, después del inicio de los vientos huracanados en la localidad. Promediando los datos con base diaria se pueden disminuir sus efectos sobre las corrientes estudiadas.

Es probable que la ecuación 5.4-38 sobrestime la velocidad promedio ( $\bar{V}$ ) en aguas tan someras como las consideradas en el caso actual, donde la mezcla vertical es muy fuerte. Además, se conoce que la capa más próxima al fondo normalmente tiene un régimen dinámico con velocidad horizontal más pequeño comparado con el de las capas superiores. De aquí que los valores calculados para la corriente costera tengan un margen con respecto a la seguridad del cable.

La corriente correspondiente a la inclinación de la superficie del mar, debe ser añadida vectorialmente a la provocada por el viento. En todos los probables lugares de entrada o salida del cable, la corriente correspondiente a la inclinación de la superficie, bajo las condiciones de la tormenta de diseño, fueron calculadas de acuerdo con la teoría lineal para olas largas, por medio de la siguiente ecuación:

$$5.4-44 \quad u = H (g/d)^{\frac{1}{2}}$$

donde:

$u$  = Componente horizontal de la velocidad.

$H$  = Elevación de la superficie del mar debido al apilamiento.

$g$  = La aceleración de la gravedad.

$d$  = Profundidad promedio considerada para la zona de estudio.

El valor de H fué determinado utilizando el método por nomogramas expuesto en el SHORE PROTECTION MANUAL (1973, vol. I, pag. 3-115 a 3-126). Para el estrecho entre la isla Tiburón y el Continente se aplicaron las ecuaciones correspondientes al flujo en un canal abierto.

#### 5.4.1.5.2. Corrientes a lo Largo de la Costa.

Este movimiento de translación, relacionado al oleaje, se encuentra asociado al flujo de momento que, en la rompiente, sufre una redistribución energética considerable. Una parte de esta energía se disipa al impulsar y mantener una corriente paralela a la costa y la otra principalmente por la fricción con el fondo y en la superficie.

Debido a la configuración de la zona de estudio, es factible considerar que los efectos ocasionados por la refracción de las olas estarán determinados principalmente por la tendencia general de la batimetría. Consecuentemente, para el propósito de calcular las corrientes a lo largo de la costa se aplicó un modelo de costa lineal, con isobatas rectas y paralelas a la misma, así como una pendiente uniforme sobre segmentos del lecho costero.

Con la utilización de contornos rectos y paralelos, es posible aplicar la ley de Snell para el cálculo del ángulo local de refracción. Esta ley puede expresarse de la siguiente forma:

$$5.4-45 \quad (\sin \alpha_0)/C_0 = (\sin \alpha)/C = \text{Constante}$$

Donde:

$\alpha$  = Angulo local de refracción (formado entre la cresta y el contorno de profundidad).

C = Celeridad de la ola.

o = Subíndice que indica las condiciones iniciales en aguas profundas.

Considerando al período de una ola dada, como un rasgo conservativo y de acuerdo con la teoría lineal de Airy tenemos inicialmente:

$$5.4-46 \quad C_o = gT/2\pi; \text{ con } T = T_o$$

Donde:

g = Aceleración causada por la gravedad.

T = Período de la ola.

Cuando la misma ola va acercándose a la costa y la profundidad disminuye, la longitud de la ola varía de acuerdo a la siguiente expresión:

$$5.4-47 \quad L = (gT^2/2\pi) \tanh(2\pi d/L)$$

Donde:

L = Longitud de la ola.

d = Profundidad del agua.

La magnitud de L en la ecuación 5.4-47 puede ser evaluada por métodos iterativos y entonces la celeridad de la ola para la misma profundidad se encuentra mediante la siguiente igualdad:

$$5.4-48 \quad C = (L/T) = (gT/2\pi) \tanh(2\pi d/L)$$

Conociendo el valor de la celeridad podemos aplicar la ley de Snell para conocer el ángulo de refracción, utilizando la siguiente ecuación:

$$5.4-49 \quad \alpha = \arcsen [(C \text{ sen } \alpha_o)/C_o]$$

Para calcular la altura de la ola en aguas someras se multiplica la altitud que esa ola tendrá en aguas profundas por

un factor que se obtiene por medio de la evaluación de los tres coeficientes de la relación que sigue:

$$5.4-50 \quad H = H_0 K_r K_s K_f$$

Donde:

$H$  = Altura de ola en aguas someras.

$K_r$  = Coeficiente de refracción.

$$K_r = (\cos \alpha_0 / \cos \alpha)^{\frac{1}{2}}$$

$K_s$  = Es la razón que existe entre la altura de una ola a cualquier profundidad y su altura en aguas profundas.

$$K_s = (0.5 C_0 / nC)^{\frac{1}{2}} = \\ = [(C/C_0) (1+x/\sinh x)]^{-\frac{1}{2}}$$

Donde:

$n$  = Razón entre las velocidades de grupo en aguas profundas y aguas someras:

$$n = 0.5 (1+x/\sinh x)$$

$$x = 4\pi d/L$$

$K_f$  = Coeficiente relacionado a la disipación de energía debida a la fricción con el fondo. Para las condiciones de este análisis, el coeficiente mencionado fué igualado a uno.

Para evaluar la altura de la rompiente de las olas se aplicaron los siguientes criterios:

- Criterio de Miche, que para profundidades intermedias es formulado:

$$5.4-51 \quad (H_r/L_r) = 0.142 \tanh (2\pi d_r/L_r)$$

Este criterio es conveniente puesto que relaciona la altura de rompiente ( $H_r$ ), la longitud de la ola en la rompiente ( $L_r$ ) y la profundidad al inicio de la rompiente ( $d_r$ ) en una sola expresión. En cada sección incremental a lo largo de las ortogonales se calculan los valores de  $H$ ,  $L$  y  $\alpha$ . Si  $H/L$  es menor que el mencionado criterio de rompiente, se continúa el cálculo sobre la siguiente sección, hasta encontrar el valor que define el rompiente.

- Criterio de Le Mehaute y Koh.

Para el caso donde las olas incidentes se presentan oblicuas con respecto a la línea de la costa sobre un fondo con pendiente arbitraria " $m$ ", Le Mehaute y Koh (1967) propusieron una razón entre la altura de rompiente y la altura en aguas profundas, que está dada por la siguiente igualdad:

$$5.4-52 \quad (H_r/H_0) = 0.76 m^{1/7} (\cos \alpha_0)^{7/8} (\cos \alpha_r)^{1/2} (H_0/L_0)^{-1/4}$$

Esta relación usualmente conduce a alturas ligeramente más bajas que las estimadas con el criterio de Miche.

Las observaciones realizadas en el campo y analizadas por Olsen (1977), muestran que la distribución lateral del momento genera corrientes a los dos lados de la línea de rompiente de las cuales la más cercana hacia la costa es de mayor magnitud.

El rango de validez práctico para los diferentes modelos matemáticos desarrollados en la interpretación del comportamiento de las olas ha sido estudiado por varios autores. Entre las publicaciones consultadas se puede citar la de Dean (1976). No existe una teoría que pueda ser aplicable para todas las facetas involucradas en el oleaje por lo cual a menudo es conveniente escoger el modelo de acuerdo con criterios de carácter principalmente batimétrico.

De acuerdo con la profundidad se pueden utilizar los modelos expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 5.4-10 TEORIAS DE OLEAJE Y SUS ZONAS DE VALIDEZ.

Zona de Interés	Modelo aplicable
Aguas profundas	Teoría de Stokes
Aguas intermedias y someras	Teoría Cnoidal
Zona de Rompiente	Teoría para la ola solitaria.

Al entrar en el análisis de la zona de rompiente, algunos resultados teóricos con respecto a la ola solitaria indican que ésta última debe iniciar a romperse cuando su altura corresponde al 78% de la profundidad por la que atraviesa. Por otra parte, los datos empíricos demuestran que esta altura de rompiente puede ser mayor antes que inicie su rompimiento.

Wiegel (1964) sugiere que la rompiente debe iniciar cuando la altura de la ola sobre el nivel de referencia es el 78% de la altura total de dicha ola, es decir:

$$5.4-53 \quad Z_r - d_r = 0.78 H_r$$

Donde:

Z = profundidad total del agua.

d = profundidad bajo el nivel de referencia.

r = subíndice que indica rompiente.

Aún considerando olas de tipo monocromático, se ha encontrado experimentalmente que las condiciones de rompimiento y el subsecuente tipo de rompiente dependen también de la pendiente del fondo (m), la altura de la ola en aguas profundas (H) y el período. La forma de rompiente puede variar significativamente. Convencionalmente se reconocen cuatro tipos diferentes

de rompiente. De estos, el de *vertiente* (spilling) es el que cuenta con las características que más semejan a las olas descritas por la teoría de la ola solitaria, ver figura 5.4-2.

Las partículas de agua efectúan un movimiento orbital con trayectorias circulares o elípticas, relacionado con el paso de las olas. Este movimiento constituye una componente de las corrientes cerca del fondo.

Herbich y Brahme (1979), así como Svendsen y Staub (1981), publicaron análisis efectuados para comparar las magnitudes de la velocidad horizontal de las partículas de agua cerca del fondo, producto de la predicción efectuada utilizando varias teorías de oleaje, además de algunos conjuntos de datos experimentales.

Herbich y Brahme (1977), calcularon las velocidades horizontales bajo las crestas de las olas, utilizando la teoría de Airy, la de Stokes de tercer orden, la Cnoidal y la de ola solitaria. Svendsen y Staub (1981) mostró resultados del cálculo de la velocidad horizontal bajo las crestas de las olas utilizando una versión posterior de la teoría de la *función de corriente*. Los resultados de estas publicaciones fueron aplicados para ajustar aproximadamente, las condiciones esperadas en los sitios de interconexión tierra - agua tomados como probables para la instalación del cable.

De acuerdo con la teoría de la ola solitaria, la velocidad máxima de las partículas de agua bajo la cresta está dada por la siguiente ecuación:

$$5.4-54 \quad U_r = [g (H + d)]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$U_r$  = velocidad máxima de las partículas de agua bajo la cresta, en la rompiente.

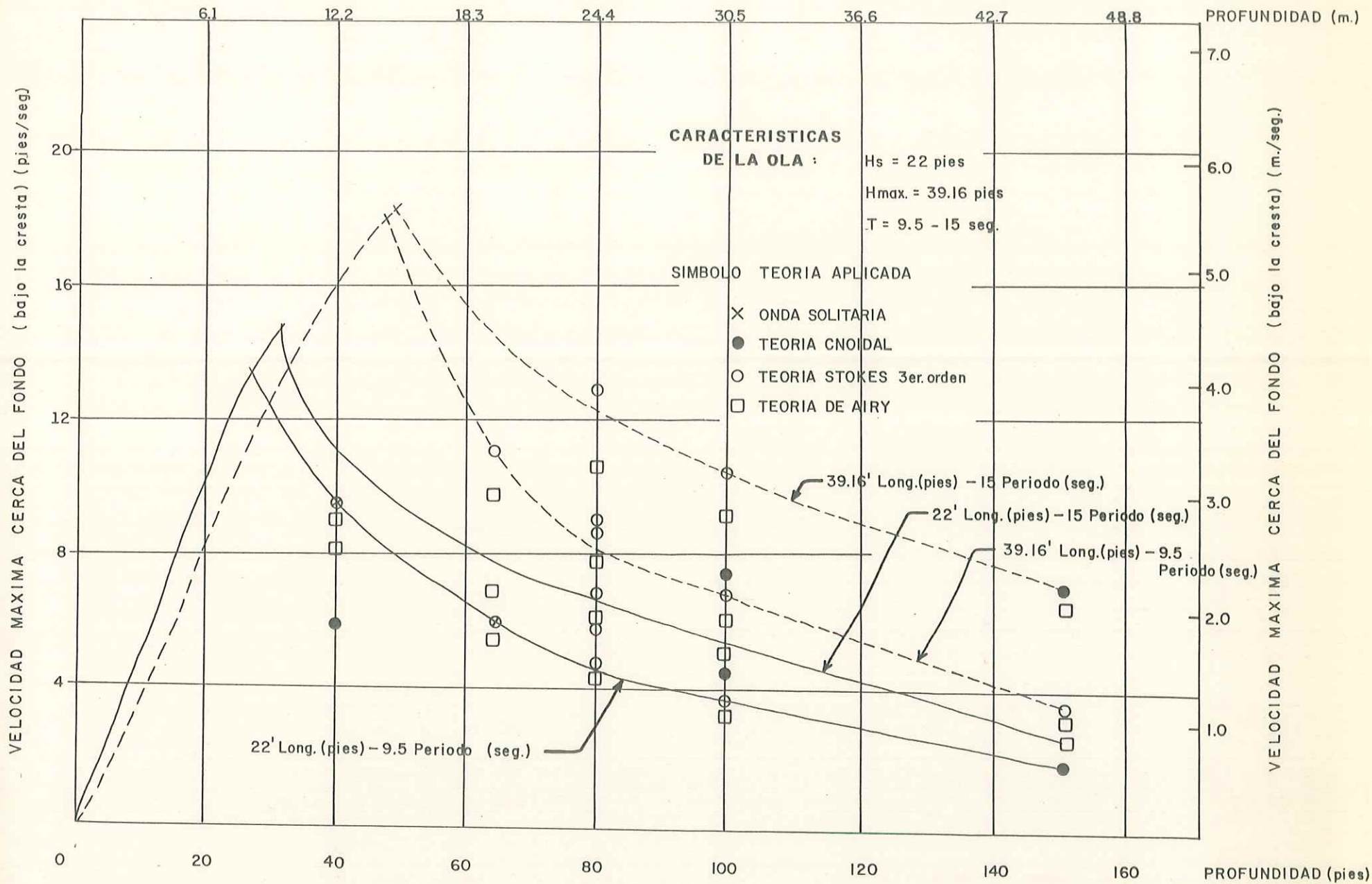


FIG. 5.4-2  
 VELOCIDADES MAXIMAS CERCA  
 DEL FONDO, BAJO LA CRESTA DE  
 LA OLA SEGUN VARIAS TEORIAS.

(H+d) = Es la distancia medida desde la cresta de la rompiente hasta el fondo.

Debido a las pendientes suaves que existen a lo largo de las Costas de Sonora, las olas de rompiente serán del tipo de *vertiente*. Este tipo de rompiente también ocurrirá en los demás sitios escogidos pero sólo durante condiciones de tormentas severas, sin embargo, durante el desarrollo de la tormenta, el tipo de rompiente esperado será el *precipitante* (plunging), sólo que éste se presentará más cercano a la costa.

Los transportes locales más intensos son los producidos por la rompiente *precipitante*. A medida que la ola se desplaza hacia aguas someras, su cara frontal se inclina y cuando llega a una profundidad media aproximadamente igual a su altura, se produce la rompiente por medio de un curvamiento frontal que forma una bolsa de aire y se precipita hacia el fondo. Al *precipitarse*, produce una zanja en el lecho marino, justamente al frente del punto de rompiente. Al mismo tiempo, hacia *mar adentro* se forma una barra submarina paralela a la costa, *donde* se depositan parte de los sedimentos excavados por la rompiente. Las velocidades horizontales bajo la cresta, en este caso son similares a las generadas por la rompiente tipo *vertiente*; no obstante, su velocidad vertical y efecto sobre la redistribución de sedimentos en el caso del tipo *precipitante* es mucho mayor.

La teoría básica, acerca de las corrientes a lo largo de la costa, fué desarrollada en gran parte durante el *decenio pasado*, con aportaciones principales de Longuett-Higgins en varias publicaciones. Los resultados teóricos requieren de una calibración *contra*, como mínimo, un valor empírico. Este *valor* deberá ser medido en una posición adecuada.

El desarrollo de teorías más apegadas a la realidad requieren de una descripción satisfactoria del espectro de oleaje,

así como las relaciones entre éste, las condiciones locales involucradas y el campo de corrientes generadas. La modelación matemática de este complejo proceso se encuentra dentro del campo de las investigaciones actuales.

Para el procesamiento de los datos correspondientes a las corrientes paralelas a la costa se utilizó un programa de computadora desarrollado por Sonu (1975). Este modelo supone que la corriente es impulsada por el flujo de momento, a través de la zona de rompiente. De acuerdo con la primera formulación de Longuett-Higgins (1970), la corriente a lo largo de una costa con un declive constante del fondo puede ser aproximado de la manera que sigue:

$$5.4-55 \quad V = (d/d_r) V_0; \quad d \leq d_r$$

$$V = 0; \quad d > d_r$$

Donde:

$V$  = Corriente promedio a lo largo de la costa.

$d_r$  = Profundidad donde inicia la rompiente.

$$V_0 = m \operatorname{sen} \alpha_0 (gd_r)^{\frac{1}{2}} (5\pi B/16 C_a)$$

y:

$m$  = Pendiente local del fondo.

$$B = H_0/d_r$$

$C_a$  = Coeficiente de arrastre del fondo (aquí = 0.01)

El valor calculado para  $V_0$  en la expresión anterior sobrestima al de  $V$ , resultando en valores algo mayores de lo real. Debido a que la razón  $(d/d_r)$  es constante sobre un fondo con pendiente uniforme,  $V$  decrece linealmente con la profundidad. Además el programa supone, a partir del punto de rompiente y yendo hacia la costa, que la altura de ola varía linealmente

con la profundidad de acuerdo con la expresión dada a continuación:

$$5.4-56 \quad (d_1/d_r) = H_1 d_1 / H_r d_r \quad \text{con } d_1 < d_r$$

Los resultados obtenidos al correr el programa anteriormente mencionado se encuentran descritos en el capítulo 6 de este documento.

#### 5.4.2. Presión

Para la medición de las variaciones en la presión se utilizó el sistema "Sea Data 635-11", programado para muestrear con dos velocidades y tiempos de integración de las señales. El objeto fué, en primer lugar, obtener información sobre aquellas variaciones atribuibles a la marea, a las olas y al oleaje de período largo, las cuales fueron muestreadas 16 veces por hora.

En segundo lugar, obtener información adecuada para el análisis de las series de tiempo de los movimientos superficiales, con períodos comparativamente cortos para lo cual se registró la presión promediada durante cada segundo dentro de una serie de 1,024 datos y una duración de 17 minutos. Dichas series se obtuvieron cada 6 horas durante el día, a las 04:00, 10:00, 16:00 y 22:00 horas. El conjunto de datos tomados a las 16:00 fué procesado rutinariamente para obtener el espectro de elevaciones de la superficie del mar ocasionado por perturbaciones de corto período.

La información contenida en los cassettes grabados por el instrumento fué convertida a cintas magnéticas de 9 pistas por la compañía "Western Digital Graphics of Del Mar" en la ciudad de San Diego, California, U.S.A. Posteriormente la compañía Intersea procesó dichas cintas para convertir los datos a unidades ingenieriles. Todo el procesamiento subsecuente se realizó en conjunto con el personal de Gymsa.

Los valores que sirvieron para la conversión de la presión a profundidad se encuentra en la tabla 5.4-11.

Las anomalías del volumen específico y la altura dinámica fueron calculadas usando la ecuación de Chen y Milleiro (1977). Después se utilizó la anomalía de la altura

TABLA 5.4-11 RELACIONES BASE ENTRE PRESION Y PROFUNDIDAD.

PROFUNDIDAD (m)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD ‰	(1) $\alpha(35,0,p)$ (cm <sup>3</sup> /gr)	(2) $\delta(S,t,p)$ (cm <sup>3</sup> /gr)	(3) $\Delta D$ metros dinámicos)	(4) p (decibares)
0.00	24.10	35.00	0.972664	0.004264	0.000 000	0.0000
10.00	23.70	35.00	0.972619	0.004155	0.042 100	10.0243
12.50	23.50	35.00	0.972607	0.004101	0.010 320	12.5307

- (1) Volumen específico normalizado para la salinidad de 35‰ y la temperatura de 0°C.
- (2) Anomalía del volumen específico.
- (3) Anomalía de la profundidad dinámica.
- (4) Presión del agua.

dinámica en una subrutina de programación basada en la expresión de Saunders y Fofonoff (1976) para calcular la profundidad del sensor bajo la libre superficie del mar.

La figura 5.4-3 muestra un ejemplo de los cambios en el nivel del mar calculados para el 14 de junio de 1982. Esta figura fué elaborada a partir de las lecturas de presión registradas con la tasa de muestreo continua de 16 mediciones por hora. En la parte central de la figura se encuentran las variaciones en la temperatura del agua medidas a la profundidad del sensor de presión. Finalmente, la gráfica inferior representa la elevación de la marea calculada para Guaymas, Son., a partir de los datos de base de esta estación.

Como se mencionó anteriormente, los datos concernientes a olas y oleaje se registraron cada segundo en series de una duración de 17 minutos y con intervalos de seis horas. Por cada serie de información procesado se aplicó una ventana del tipo cosenoidal (Bingham et. al., 1967; Otnes y Enochson 1972) y se compensó apropiadamente la varianza espectral.

El registro de presión también se utilizó para evaluar la variación en la velocidad registrada, que fué inducida por el oleaje al nivel del correntómetro instalado cerca del fondo; utilizando técnicas de convolución bien conocidas, como las descritas por Groves, 1960; Maurice, 1976; Goncalo, 1978. El mismo registro sintetizado de la velocidad horizontal también sirvió para agregar al registro de presión la energía cinética local del agua que está relacionada a las olas. Debido a la pequeña altura de las olas registradas y a la profundidad del sensor (12 m.), la corrección fué muy pequeña aún en el extremo de alta frecuencia del espectro de presión. Un ejemplo de este análisis se encuentra en la tabla 5.4-12.

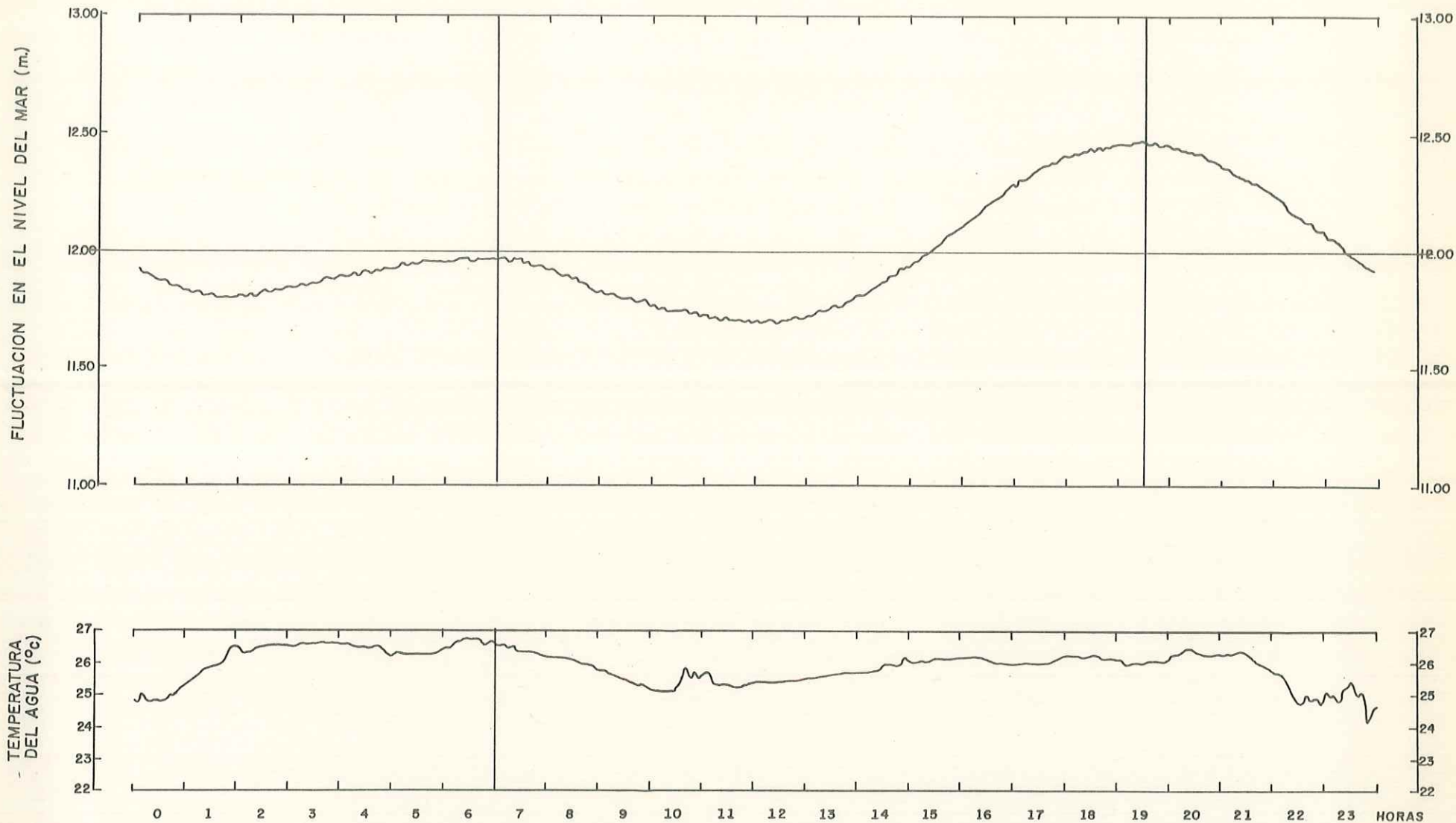


FIG. 5.4-3  
 FLUCTUACIONES EN EL NIVEL  
 DEL MAR PARA EL 14 DE JUNIO  
 DE 1982 , EN LA ESTACION B-1

TABLA 5.4-12 ESPECTRO DIARIO DE ELEVACIONES SUPERFICIALES DEBIDAS AL OLEAJE.

FECHA: 16 de Junio de 1982 ESTACION: B-1 PROFUNDIDAD MEDIA 11.5294 METROS  
 DENSIDAD: 1.02372 PENDIENTE DE LA RECTA -0.410178 PASCALES/seg. ORDENADA AL ORIGEN 115,748.98 PASCALES  
 FLUCTUACION DE LA VELOCIDAD HORIZONTAL INDUCIDA POR LAS OLAS 3.49 cm/seg.

FRECUENCIA EN HERTZ	PERIODO EN SEGUNDOS	NUMERO DE ONDA	RELACION Z/L EN LONG. DE ONDA	ESPECTRO DE PRESION EN PASCALES <sup>2</sup> /HERTZ	FUNCION DE TRANSFERENCIA	ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO EN m <sup>2</sup> /HERTZ	ESPECTRO DE OLEAJE SUPERFICIAL EN m <sup>2</sup> /HERTZ
0.00732	212.367	0.004160	0.0076	210,229.48168	1.003711	0.0020926	20.62590
0.02295	45.377	0.013972	0.0240	13,823.53805	1.027883	0.0001410	1.40557
0.03857	26.236	0.022196	0.0407	14,659.36674	1.079742	0.0001584	1.60073
0.05420	18.579	0.031578	0.0579	42,847.61567	1.164541	0.0005000	5.01659
0.06982	14.382	0.041777	0.0759	3'111,149.42075	1.292196	0.0403156	402.60500
0.06545	11.736	0.051743	0.0949	426,511.18995	1.479173	0.0060569	60.56390
0.10107	9.913	0.062655	0.1153	236,429.31251	1.753013	0.0041714	41.67910
0.11670	8.582	0.074921	0.1375	215,399.62782	2.160735	0.0044892	44.88300
0.13232	7.566	0.088135	0.1618	95,498.76116	2.785251	0.0025635	25.58220
0.14795	6.765	0.102928	0.1889	22,542.76837	3.778563	0.0003538	8.69652
0.16357	6.118	0.119652	0.2192	11,698.01463	5.431211	0.0006155	6.15752
0.17920	5.584	0.138059	0.2533	6,107.07359	8.322565	0.00049828	4.93185
0.19432	5.136	0.159002	0.2918	6,703.48261	13.656270	0.00089857	9.01193
0.21045	4.754	0.182442	0.3348	5,281.18954	24.032340	0.0013386	13.49080
0.22607	4.425	0.208424	0.3824	8,712.59950	45.281780	0.0040105	40.13340
0.24170	4.139	0.236886	0.4347	5,389.68843	90.976970	0.0049524	49.42470
0.25712	3.887	0.267712	0.4912	8,314.04875	193,921200	0.0128040	127.91900
0.27295	3.665	0.300774	0.5519	5,279.56716	436.495500	0.0243513	242.97700

La gran precisión en la electrónica del sistema "Sea Data 635-11" y su sensor de presión "Digi-Quartz", junto con sus propiedades de eliminar el ruido, permitió que las olas superficiales con períodos más grandes que 4 segundos fueran medidas a la profundidad del sensor.

Los espectros de elevaciones superficiales debidas al oleaje fueron truncados en la frecuencia donde, según la teoría lineal de olas, la razón de transferencia espectral de potencia -presión a elevación superficial- corresponde a 0.1%. La atenuación de las olas de viento con períodos cortos implicó que sólo las olas bien desarrolladas, muy bajas y de períodos largos que entran por la boca del Golfo, permanecen en los registros procesados.

Debido al amplio rango de mareas, la simple sustracción de la presión hidrostática media en el proceso de la grabación de una serie de información con una duración de 17 minutos era inadecuada. Por lo tanto, en lugar de dicha sustracción se ajustó una recta de regresión para cada paquete muestreado, con lo cual la interferencia por bajas frecuencias dejó de ser un problema.

### 5.5. FÍSICO - QUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA.

Se recolectaron un total de 56 muestras de agua, en 28 estaciones escogidas para tal efecto. Todas las mediciones para determinar temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno y cloruros, fueron realizadas a bordo del M/V Vega I. Los resultados correspondientes están presentados en la tabla 5.5-1. No se efectuó ningún análisis químico posterior en las muestras que se obtuvieron. Para el cálculo de la salinidad se utilizó la siguiente fórmula de Knudsen:

$$5.5-1 \quad S = 0.03 + 1.805 \text{ Cl}$$

Donde:

S = salinidad (ppm)

Cl = clorinidad (ppm)

En general los datos concuerdan con la información preliminar a excepción de la zona A, donde se encuentran varias anomalías en la columna de agua.

La tabla 5.5-1 resume los datos obtenidos por zona y estación, señalando la profundidad de la estación. Todas las muestras de fondo fueron tomadas un metro arriba del mismo.

TABLA 5.5-1

## RESUMEN DE CONDICIONES FISICO-QUIMICAS POR ZONA Y ESTACION

ZONA DE ESTUDIO	CLAVE DE LA ESTACION	PROF. EN METROS	TEMPERATURA en (°C)		SALINIDAD en (ppm)		OXIGENO en (ml./lt.)		POTENCIAL DE HIDROGENO	
			SUP.	FONDO	SUP.	FONDO	SUP.	FONDO	SUP.	FONDO
I	I-1	410	26.6	11.6	35.3	34.7	5.4	2.1	8.0	7.8
	I-4	275	26.1	14.3	35.2	34.6	5.3	2.8	8.1	7.8
	I-9	139	21.5	16.9	34.9	34.5	5.2	3.4	8.1	7.9
	I-10	155	21.2	16.3	35.0	34.6	5.2	3.3	8.1	7.9
II	II-1	68	26.8	20.3	35.3	35.1	5.5	4.6	8.1	8.0
	II-2	394	26.9	12.1	35.4	34.7	5.4	2.2	8.1	7.8
	II-3	428	26.2	11.8	35.3	34.7	5.4	2.0	8.0	7.8
	II-4	259	26.1	14.5	35.2	34.7	5.3	3.0	8.0	7.9
	II-5	387	26.4	12.2	35.3	34.7	5.4	2.3	8.1	7.8
III	III-2	18	26.9	26.1	35.4	35.3	5.3	5.3	8.0	8.0
	III-3	23	26.8	26.0	35.3	35.2	5.2	5.2	8.0	8.0
A	A-3	10	18.7	17.9	34.4	34.4	5.0	4.8	7.9	7.9
	A-4	25	19.2	18.4	34.3	34.2	4.7	4.5	7.9	7.8
	A-5	72	18.7	15.6	35.0	34.8	5.1	4.2	8.0	7.9
	A-6	17	18.9	16.8	34.8	34.7	5.0	4.9	8.0	8.0
	A-7	28	19.1	18.5	34.2	33.1	4.6	4.5	7.8	7.8
	A-8	78	18.8	15.7	35.0	34.8	5.1	4.2	8.0	7.9
	A-9	31	18.8	16.4	34.7	34.6	5.0	4.9	8.0	8.0
	A-10	40	20.1	19.1	34.0	33.0	4.5	4.0	7.8	7.7
	A-11	82	18.9	15.2	34.9	34.0	5.1	4.2	8.0	7.9
	C	C-1	12	27.5	27.1	35.4	35.3	5.6	5.5	8.1
C-2		14	27.6	27.2	35.0	35.0	5.4	5.3	8.0	8.0
C-3		7	27.5	27.4	35.2	35.1	5.3	5.3	8.0	8.0
C-4		9	27.4	27.3	35.3	35.2	5.4	5.4	8.1	8.1
D	D-1	7	27.2	27.0	35.4	35.4	5.5	5.5	8.0	8.0
	D-2	8	27.3	27.0	35.3	35.3	5.6	5.5	8.1	8.1
	D-3	10	27.1	26.9	35.4	35.4	5.5	5.4	8.1	8.1
	D-4	10	27.1	26.8	35.3	35.3	5.4	5.4	8.0	8.0

## 6. DESCRIPCIONES E INTERPRETACIONES.

Como fondo para la discusión sobre la información obtenida del estudio, es conveniente actualizar ciertos conocimientos generales sobre la zona geográfica y exponer la metodología con que se efectuaron muestreos y mediciones. Los Capítulos 2, 3, 4 y 5 contienen estos antecedentes, convenientes para la mejor compenetración de las descripciones e interpretaciones que siguen.

Primero se analizarán los aspectos geológicos de la zona y, en seguida, las condiciones atmosféricas importantes para la seguridad del cable. Después se tratarán los procesos dinámicos del agua, significantes para los diseños técnicos. Al último se exponen las propiedades físico-químicas del agua, encontradas en las diferentes zonas del área investigada.

## 6.1. AEROFOTOGRAMETRIA.

De acuerdo con la restitución efectuada para la isla Tiburón, el trazo terrestre, sugerido para la línea de transmisión sobre la mencionada isla, tendrá una longitud total de 34.14 Km. en cuatro segmentos rectos (ver figura 6.1-1)

El primer segmento, si lo consideramos desde su conexión con el Golfo de California en la Ensenada de la Cruz, cuenta con una longitud de 5.9 Km. Parte desde la cota cero y recorre una distancia horizontal de 2.8 Km., alcanzando una elevación máxima de 100 m. sobre el nivel del mar. Después recorre 1.9 Km. tocando puntos con elevaciones máximas de 100 m. y mínimas de 60 m., para finalmente recorrer, a partir del último punto con cota 100 m., 1.2 Km. hasta llegar a una cota próxima a los 20 m., donde se encuentra la primera inflexión.

El segundo segmento que tiene 16.98 Km. de longitud corre entre los 30 y 10 m. de elevación, yendo en términos generales, paralelo al contorno de los 20 metros de elevación.

El tercer segmento, con 9.15 Km. de longitud, parte de la cota de los 20 metros, siguiendo el contorno de 10 metros en su parte media, llegando de nuevo a la cota 20, donde se encuentra el último punto de inflexión, en el cual se forma un ángulo muy cercano a los 90°.

El cuarto y último segmento corre perpendicular a la costa, partiendo de la cota 20 y descendiendo hasta la playa, en el lugar denominado Punta Tormentas, donde inicia su recorrido submarino a través del Canal Del Infiernillo, para llegar finalmente cerca del poblado Seri ubicado en Punta Chueca, Son., sobre la margen continental. La sección terrestre tiene una longitud aproximada de 2.11 Km. y la sección submarina 3.01 Km., cruzando aguas con profundidad menor a los 15 m.

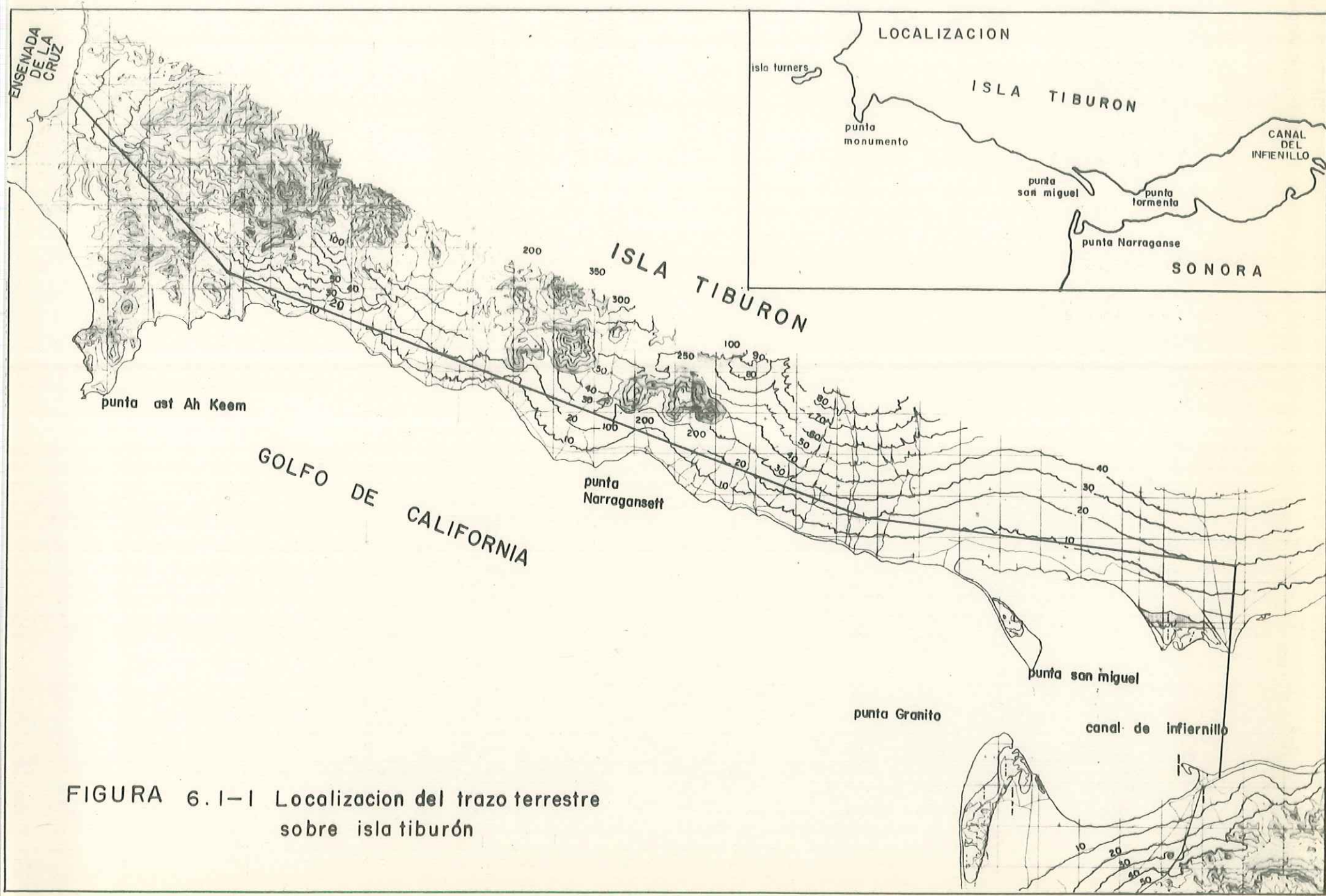


FIGURA 6.1-1 Localizacion del trazo terrestre sobre isla tiburón

## 6.2. GEOLOGIA SUBMARINA.

En esta sección se hace inicialmente un análisis de la información recabada en las zonas de aguas profundas y subsecuentemente se discuten los datos obtenidos en las áreas cercanas a la costa, consideradas como aguas someras.

### 6.2.1. AGUAS PROFUNDAS.

Con el objeto de presentar la información obtenida de manera integrada, fué conveniente efectuar una fusión de las zonas I, II y III, con lo cual se hace posible el tratamiento de una franja continua que va desde la Península hasta el Continente.

#### 6.2.1.1. Batimetría.

En la zona de aguas profundas se efectuaron seis transectos batimétricos de los cuales se obtuvieron los datos para la elaboración de un plano batimétrico regional con isobatas a cada 100 metros. Dicho plano se denomina Lámina I-E. La figura 6.2-1 es una reducción de esta lámina y servirá de referencia para la descripción que sigue. También se elaboraron secciones batimétricas para cada transecto, como lo muestra la figura 6.2-2. Algunos rasgos notables, delineados en la lámina I-E, incluyen la plataforma de la Península de Baja California al Oeste, el extremo Sur de la fosa de Salsipuedes, que se encuentra separada de la parte Norte de la fosa de San Pedro Mártir por la proyección submarina de la isla San Lorenzo; parte de la fosa de Tiburón, entre las islas San Esteban y Tiburón, así como una pendiente gradual y suave, que termina en la gran plataforma continental del Este, de la isla Dátil, (Turners).

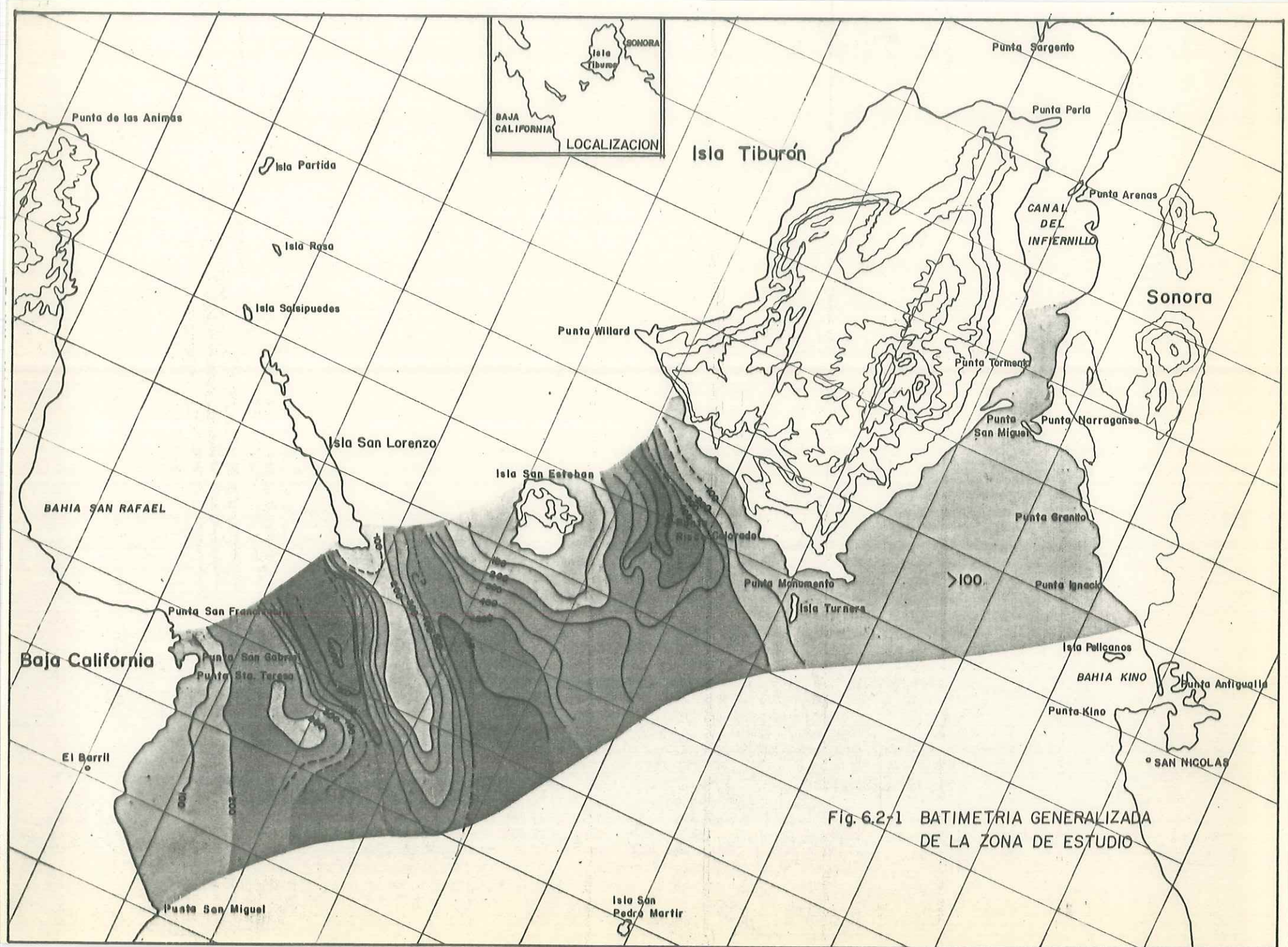


Fig. 6.2-1 BATIMETRIA GENERALIZADA DE LA ZONA DE ESTUDIO

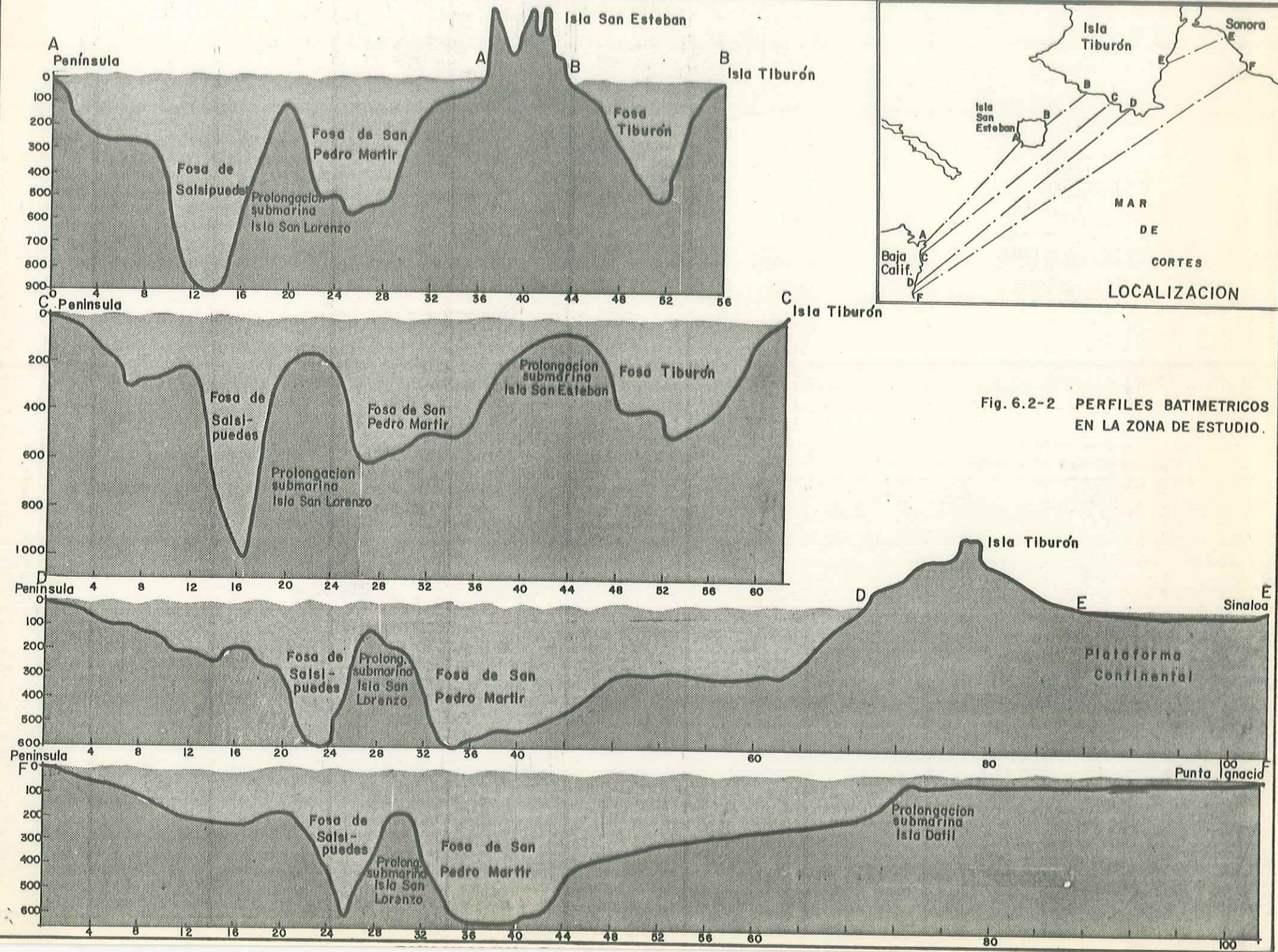


Fig. 6.2-2 PERFILES BATIMETRICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.

En la costa Oeste, la plataforma tiene una anchura variable entre 8 y 12 Km. y una pendiente entre 2 y 3 grados inclinándose hacia el Norte y el Este. Su profundidad varía entre los 200 y 300 metros. En su margen existe un cambio brusco en la pendiente, que llega a un promedio de 11 grados. Al fin se transforma en el límite Occidental de la fosa Salsipuedes y alcanza profundidades máximas de más de 1 000 metros. En la parte media exterior de esta plataforma existe una depresión somera que se profundiza hacia el Noroeste, sin sobrepasar los 350 metros de profundidad. Esta depresión configura la margen izquierda de una meseta submarina que sobre el contorno de los 200 metros presenta forma de una hoja de guadaña. Su superficie es poco mayor que mil hectáreas, ubicada aproximadamente a 10 Km. al Este de Punta San Francisquito (ver figura 6.2-1 y los transectos C-C y D-D).

Las pendientes más agudas dentro de la zona de estudio fueron encontradas en los costados de la fosa de Salsipuedes. Aquí se encuentran declives entre 10 y 12 grados en promedio, con valores máximos hasta de 22 grados, como es el caso observado en la margen Oriental de la fosa, a lo largo del transecto C-C. El extremo Sur de la misma es delineado por el contorno de los 600 metros, que se encuentra cerca de 17 Km. al Este de Punta San Francisquito; Sur del transecto F-F y cerca de la fija de posición 141 (ver figuras 6.2-1 y 3.3-2).

La isobata de los 500 metros delimita la extensión submarina de la isla de San Lorenzo, la cual se proyecta con una dirección aproximada desde los  $130^{\circ}$  hacia los  $310^{\circ}$ , atravesando toda la zona de estudio. Se eleva hasta los 100 metros de profundidad al Noroeste del transecto A-A y cerca de la fija 130 (ver fig. 6.2-1). La cima se pro

fundiza hacia el Sureste llegando a la profundidad de los 200 metros al Sur del transecto F-F. La ladera Occidental de esta elevación pasa a formar el talud Oriental de la fosa de Salsipuedes, mientras que el costado Oriental se convierte en el talud Occidental de la proyección Noroeste de la fosa de San Pedro Mártir. La última está se parada de la fosa de Salsipuedes por un umbral algo más profundo que los 575 m. El umbral entre la parte Norte del Golfo y la fosa de San Pedro Mártir se encuentra a 550 metros, como se puede apreciar en el transecto A-A.

Parece ser que la profundidad de 600 metros delimita la parte de la fosa de San Pedro Mártir, que se extiende ha cia el Noroeste dentro del área investigada. Su flanco izquierdo está más inclinado que el derecho, exceptuando la parte Sureste, donde encontramos pendientes similares entre 6 y 10 grados en los dos lados. El resto de la fo sa se profundiza más suavemente con pendientes alrededor de los 4 grados. El fondo de esta fosa presenta montícu los, que se pueden observar en los transectos D-D y F-F.

La isla de San Esteban muestra una plataforma bien definida, que sobre el contorno de los 200 metros tiene un radio entre 3 y 7 Km. De los 200 metros y por abajo del fondo, se pasa al Sur, a la fosa de San Pedro Mártir y al Noreste en la parte Sur de la fosa Tiburón, que separa a San Esteban y la isla Tiburón. La última fosa se encuentra delimitada por el contorno de los 300 metros y es más somera que las dos anteriores. Alcanza solamente alrededor de los 520 metros con pendientes que llegan en tre los 9 y 10 grados, como se puede observar en los transectos B-B y C-C. Entre las profundidades de 200 y 300 m. se encuentra un área comparativamente plana, con pendiente menor de un grado y una superficie aproximada de  $100 \text{ Km}^2$ , la cual constituye el umbral entre las dos

fosas, Tiburón y San Pedro Mártir. Hacia el Este, el declive que lleva hacia la plataforma continental más extensa y somera de Sonora, tiene en general una inclinación de aproximadamente un grado.

Al Sur de la isla Tiburón los gradientes batimétricos presentan inclinaciones locales de hasta 8 grados. En general disminuyen de Noroeste a Sureste. Desde la isla Dátil hacia la costa de Sonora se extiende una parte de la plataforma continental que presenta una pendiente muy suave con una inclinación menor de medio grado. Esta plataforma tiene dentro de la zona investigada, una profundidad que va de los 5 a los 15 metros en casi la totalidad del área. Presenta una suave depresión, ancha y abierta, en forma de canal que está asociado al canal Del Infiernillo, que separa la isla Tiburón del Continente.

#### 6.2.1.2. Afallamiento.

Con los registros sísmicos recabados se elaboró un plano en el cual se muestran los afallamientos encontrados en la zona investigada así como los sedimentos en áreas donde, capas de tales materiales fueron encontradas. Varias de las fallas delineadas fueron deducidas con ayuda de los escarpes correspondientes, encontrados en los registros geofísicos.

De acuerdo con la información preliminar la zona del estudio se encuentra muy afallada, con rumbos aproximadamente paralelos al eje del Golfo. Durante el análisis de los registros se encontraron más de 100 fallas, de las cuales aproximadamente el 10% cruzan la totalidad de la zona descrita, el 30% se detectó en dos o tres transectos y el resto fueron detectadas en una sola línea del

sondeo sísmico (ver figura 6.2-3).

Regionalmente las fallas determinan la formación de los mayores rasgos fisiográficos. Ejemplos de esta forma de control son los escarpes de la falla de Salsipuedes a lo largo de la costa Noreste de isla San Lorenzo y el mismo tipo de morfología en el lado Suroeste de la fracturada extensión submarina de isla San Lorenzo. Estos escarpes tienen una dirección aproximada de  $310^\circ$  azimutales (ver lámina II-E). Cerca de la isla San Esteban las fallas regionales se dirigen algo más hacia el Oeste, como es el caso de las fallas cercanas a la parte terminal Sur de la fosa Tiburón. Entre las islas de San Esteban y Tiburón las fallas se dirigen aproximadamente hacia los  $305^\circ$ . Acercándose a Tiburón, rumbo al Noreste, la dirección es aproximadamente  $300^\circ$ . Aún más hacia el Noreste, junto a Tiburón, las fallas se dirigen hacia los  $290^\circ$  aproximadamente.

Las fallas más cortas se dirigen en forma semejante a las mayores. Las primeras se observan como una serie de escarpes menores que se encuentran, entre otros, a los lados de las fosas. Esto se ejemplifica en el lado Suroeste de la extensión submarina de San Lorenzo, así como adyacente a isla San Esteban sobre la sección C-C al Sur de esta isla.

Existen muchas fallas a lo largo de los transectos sobre la plataforma Este. Estas están relacionadas con movimientos tectónicos regionales y una compresión diferencial de los sedimentos no consolidados. Las altas tasas de sedimentación de material que llega de diferentes direcciones en conjunto con la dislocación activa de las fallas, generan las abundantes capas no consolidadas, discontinuas y divergentes que se observan en esta zona.

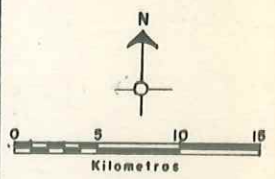
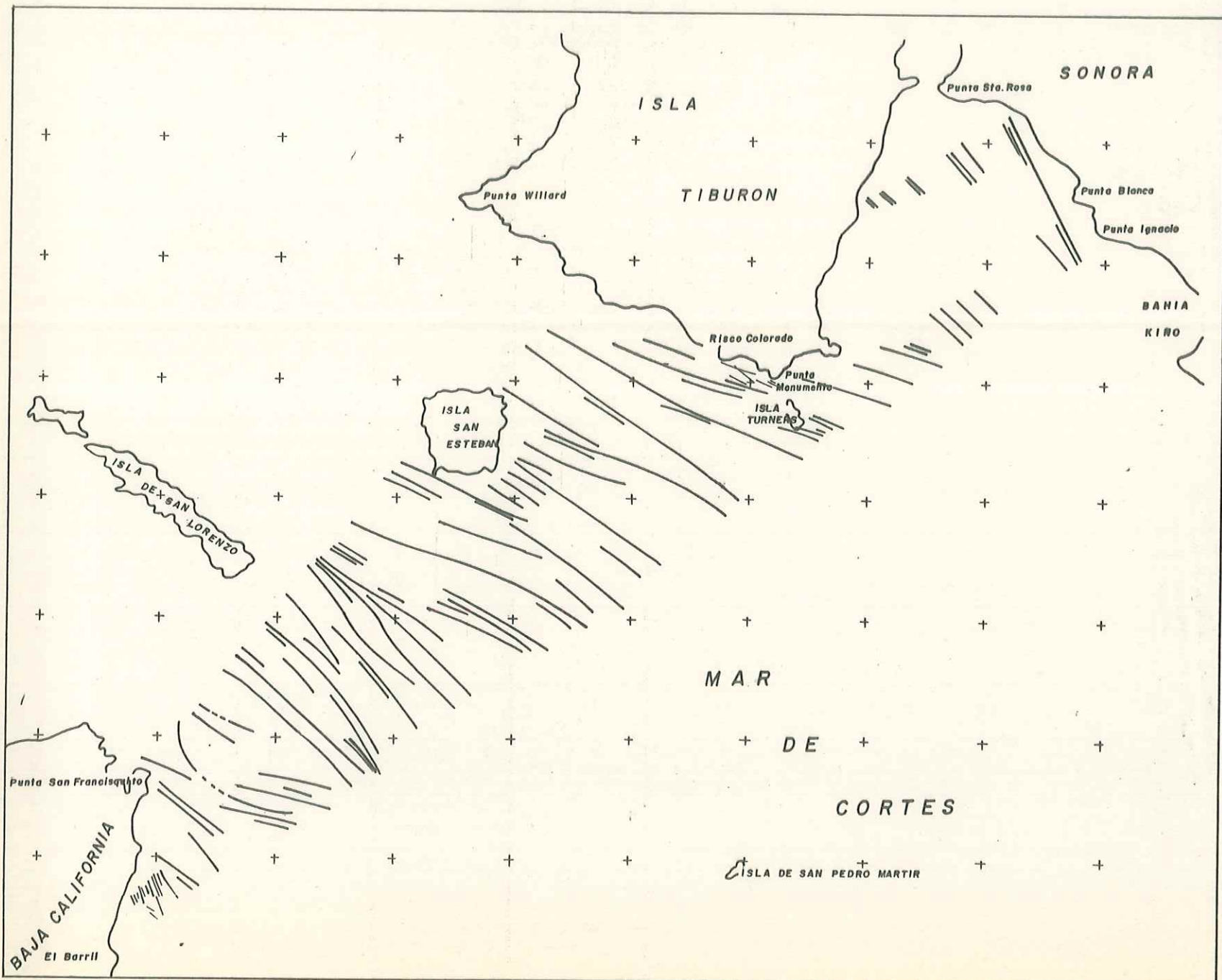


FIG. 6.2-3  
 AFALLAMIENTO EN  
 LA ZONA DE ESTUDIO

Cerca de la costa (quinta fija del transecto F-F y segunda fija del transecto E-E) las fallas se correlacionan con aquella encontrada cerca de Punta Santa Rosa (Gastil, 1974). Cerca de la isla Dátil, las fallas encontradas pueden ser relacionadas a la extrapolación de la Falla La Cruz en la isla Tiburón (Gastil, 1974).

La dirección a intervalos de  $5^\circ$  y el número de fallas regionales correspondientes a cada intervalo de dirección se representaron en un diagrama tipo rosa, ver figura 6.2-4. La información numérica fué también utilizada para calcular las direcciones principales de las fallas regionales y para todo el Golfo de California, resultando en 305 y 325 grados azimutales respectivamente.

#### 6.2.1.3. Sedimentación.

Sobre los bruscos declives del fondo marino, se encuentra poco o nada de sedimentos. El asentamiento de capas gruesas de aquellos, está limitado al fondo de las fosas y a la plataforma continental. Por lo tanto, gran parte del fondo está constituido por rocas basales, expuestas ó cubiertas con capas delgadas de sedimentos. Esto se corrobora en los perfiles geofísicos, que muestran una penetración somera en gran parte del área estudiada. Por la falta de una capa continua de sedimentos, la observación de perturbaciones estratigráficas no es frecuente en los registros sísmicos; exceptuando en el fondo de depresiones o sobre plataformas continentales con sedimentos más abundantes (ver figura 6.2-5).

El tipo de sedimentos encontrado en las fosas va desde detritus aún en transporte sobre superficies basales rugosas hasta secuencias estratigráficas estables y más gruesas. En la parte Sur de la fosa de Salsipuedes no se observaron acumulaciones significativas de sedimen-

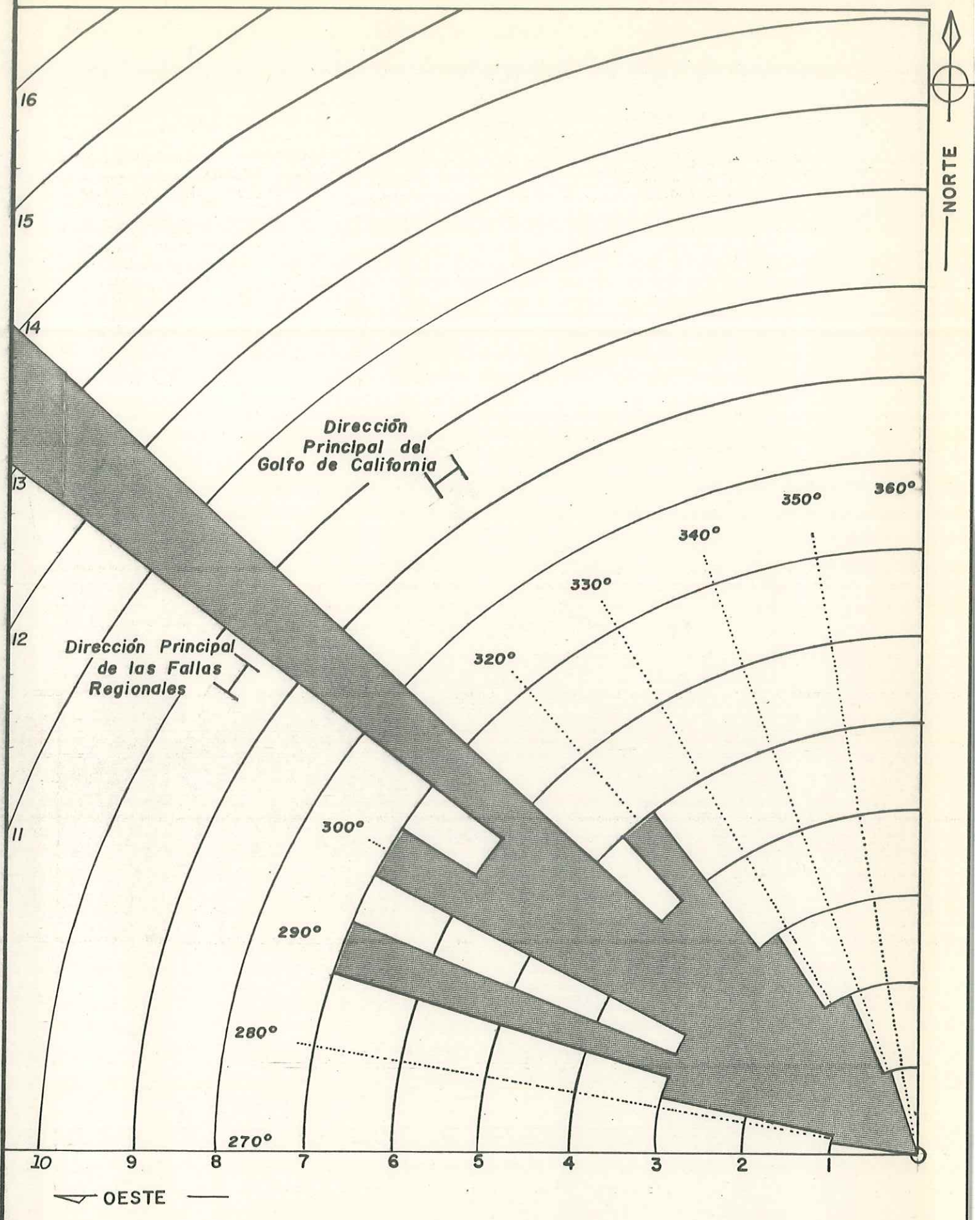
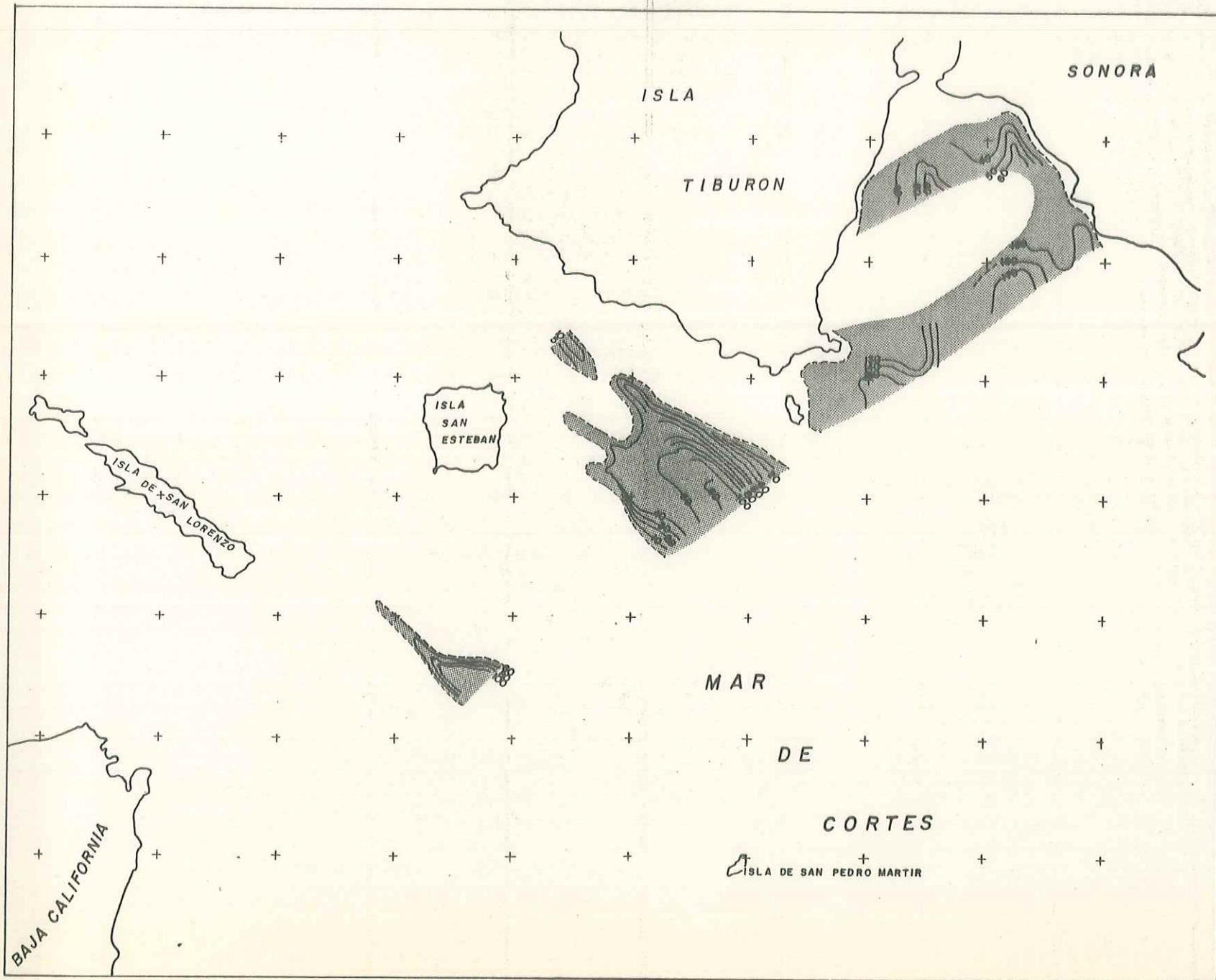


FIG. 6.2-4 FRECUENCIA DIRECCIONAL DE LAS FALLAS ENCONTRADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO



ISOPACAS  
(rasgo inferido)

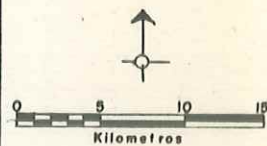


FIG. 6.2-5  
SEDIMENTOS EN LA  
ZONA DE ESTUDIO  
(GROSOR EN METROS)

tos en los transectos que la atravesaron. Las muestras de fondo obtenidas con draga en el costado Oriental de la fosa, estaciones I-1 y I-4, consistieron de arenas gruesas con color amarillo-grisáceo, no consolidadas y con un contenido anexo de gravas, rocas y algunos fósiles. Los granos de arena son predominantemente líticos, muchos de los clastos corresponden al tipo de las granodioritas. Su contenido de carbonatos es insignificante.

En la porción terminal Norte de la fosa de San Pedro Mártir existen capas sedimentarias con un espesor superior a los 100 metros. Estos sedimentos van disminuyendo en grosor hacia el Norte para finalmente desaparecer, como se observa en el registro del transecto A-A.

Las fotografías tomadas hacia el centro de la fosa, en la estación I-12, revelan un fondo terso limo-arenoso con ondulaciones ligeras. Los sedimentos incluyen grava, algunos guijarros y estrellas de mar. La muestra del fondo de la estación I-2, que es la más cercana al umbral de la fosa, consiste de una sola piedra de granodiorita.

La información recabada en la fosa Tiburón indica la existencia de una capa delgada de sedimentos, con un espesor menor de 10 metros que parcialmente cubre el fondo de la parte Sur. Estos depósitos van disminuyendo su espesor hacia el Sureste y desaparecen a profundidades menores de 500 metros. En la estación II-2, que se encuentra en la ladera Este de la fosa, aunque muy cerca del fondo de la misma, se obtuvo una muestra del fondo que contenía una sola piedra de andesita.

La aportación de sedimentos a la plataforma continental es masiva y su pendiente suave. En cambio, la plataforma peninsular presenta una sedimentación esporádica o

nula, puesto que su aportación de sólidos es menor. La plataforma de la isla de San Esteban, a lo largo de sus márgenes Sur, Este y Oeste, es angosta y constituida por rocas basales, cubiertas con arena amarillo-café y abundantes fragmentos de concha. Esta plataforma es particularmente rugosa hacia el Sur, como se aprecia en los registros del transecto C-C.

La figura 6.2-6 representa una sección geológica entre El Barril, B.C. y Punta Ignacio, Sonora a lo largo del transecto C-C. Incluye rasgos estructurales en los sedimentos y rocas basales, así como fallas y una estimación de la penetración máxima en el subsuelo. A continuación se hará una descripción de dicha sección, empezando por la Península y terminando en el lado continental.

La plataforma peninsular está formada por roca basal en la cual se presentan algunas tendencias estructurales como se puede observar entre las figuras 6 y 11. Las rocas basales muestran en esta parte una inclinación hacia el Este. En algunas zonas de la plataforma son cubiertas por arena y guijarros, o bien por capas aisladas de sedimentos con un espesor entre 3 y 4 metros. Los sedimentos de las estaciones I-3 y I-9, que se encuentran en la plataforma peninsular, consistieron de arena fina y semi consolidada de color amarillo-grisáceo. La muestra de la estación primera incluye 25% de fósiles y aquella de la estación I-9 contiene fósiles enteros o fragmentados con diámetro entre 1 y 5 cm. y hasta 3 cm. de largo. Este tipo de fondo es un fuerte reflector de las ondas acústicas y no permitió reflexiones del subfondo. Los demás registros geofísicos obtenidos al Norte del transecto C-C, sobre la plataforma peninsular indican condiciones semejantes.

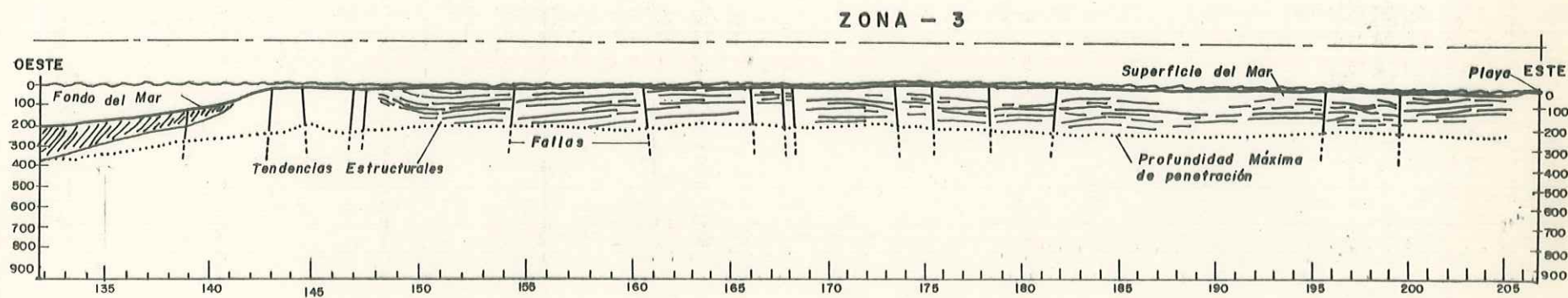
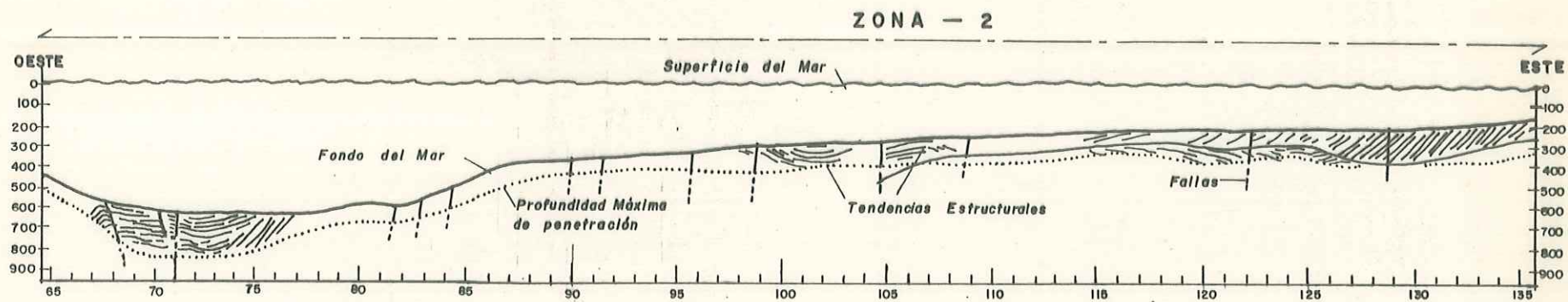
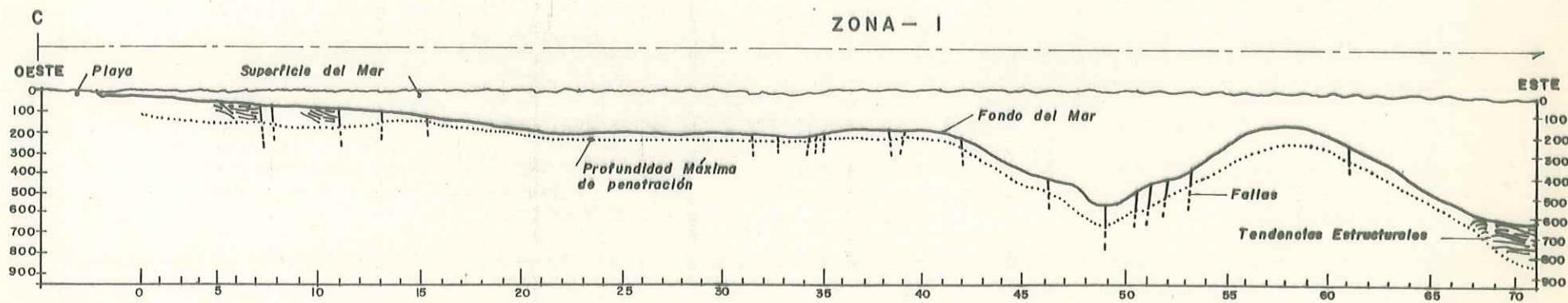


FIG. 6.2 - 6 CORTE GEOLOGICO "EL BARRIL, B.C. - PUNTA IGNACIO, SON."

En las laderas, así como en el fondo de la fosa de Salsi puedes no se presentan señales de depositación abundante ni de reflectores abajo de la superficie.

La ladera Occidental de la fosa de San Pedro Mártir se encuentra cubierta con arenas y guijarros, presentando características similares a los depósitos de la plataforma peninsular. En cambio, su fondo se ve cubierto por gruesas capas de sedimentos, cuyo espesor excede los 100 metros y están depositados sobre rocas basales. Estos sedimentos presentan estructuras complejas, siendo dislocados y combados hacia abajo. Su inclinación, de aproximadamente  $5^{\circ}$  en la parte Suroeste de la depresión, es mayor que en la parte Noréste de la misma (ver fijas 68 a 77).

En el talud del umbral entre las fosas de San Pedro Mártir y Tiburón, se encuentran de nuevo tendencias estructurales en las rocas basales, como se observa entre las fijas 100 y 109 al Sureste de la isla de San Esteban. De la estación II-5, que se encuentra en dicho talud, se obtuvo cieno semiconsolidado, de color amarillo-grisáceo y con un bajo contenido de carbonatos.

Hacia el Este sobre el umbral existen depósitos considerables de sedimentos, que se extienden por encima de las rocas basales, las cuales están plegadas sobre una superficie de erosión discontinua (ver fijas 109 y 134).

En las estaciones II-4 y II-6, localizadas sobre el umbral, se obtuvieron muestras que contienen arenas de tamaño medio a gruesa, no consolidadas y de color entre amarillo-oliváceo y amarillo-grisáceo. La muestra de la estación II-4, que está más cercana a la isla Tiburón contenía alrededor del 50% de fósiles, mientras que aquella de la estación II-6, más lejano de la isla, sólo contenía el 8%.

Los estratos se bajan hacia el Oeste y están traslapados sobre la cordillera basal, presentando una inclinación de dos grados alrededor de la fija 115. Este tipo de traslape también se presenta hacia el Noroeste. El espesor máximo encontrado en esta zona excede de los 100 metros, lo cual se observa en la presa basal que está formada por la falla presente en la fija 127. En el lado Sureste de la falla y sobre la cima de la entidad rocosa correspondiente, la inclinación de estos sedimentos llega a los 5° y su grosor es de 60 metros. La inclinación de los sedimentos aumenta hacia el Este, siendo de 7° en la fija 128 y de 10° en la fija 133. A medida que la inclinación aumenta los sedimentos van disminuyendo en grosor, hasta que en la fija 140 sólo alcanza los 10 metros. La estación II-7, que queda cerca de la fija 141, produjo una piedra de diorita de moderada esfericidad y ejes de 15 x 18 cm. aproximadamente.

Los depósitos sedimentarios más gruesos se encuentran al Sureste de la isla Tiburón y al Oeste de la Bahía Kino, donde los registros sísmicos presentan capas acumuladas con un grosor de más de 150 metros (ver las fijas 156 a 160 y 183 a 188). Representativas de este material de la superficie del fondo son las muestras de las estaciones III-1, III-2 y III-3, las cuales contienen arena no consolidada, que va desde el gris claro hasta el amarillo-grisáceo. Su contenido de cuarzo varía entre los 50 y 70% del peso, los fragmentos líticos constituyen alrededor del 25% y los fósiles entre el 10 y 30%. Su tamaño varía desde arenas finas hasta las gruesas, contiene fragmentos de concha hasta tamaños de guijarro, así como fósiles enteros de 2 mm. de diámetro.

Estos depósitos se extienden hacia el Norte entrando en el canal Del Infiernillo y continuando a lo largo de la

costa de Sonora; generalmente disminuyendo su espesor hacia ella. Como se mencionó anteriormente, los sedimentos muestran fallas y una consolidación diferencial con procesos estratigráficos complejos, presentes en toda el área.

### 6.2.2. AGUAS COSTERAS.

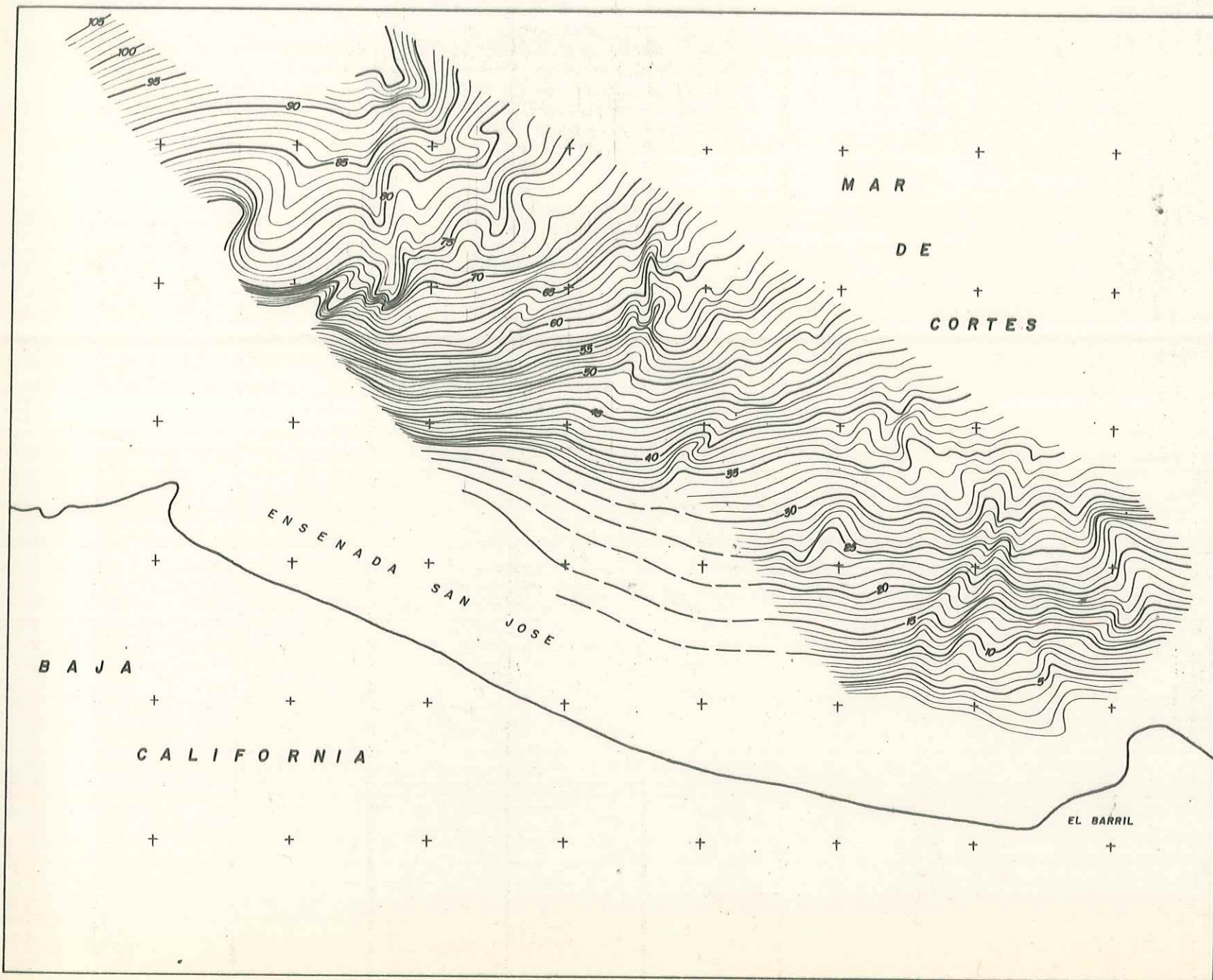
Las investigaciones realizadas en las zonas cercanas a la costa serán tratadas individualmente. Se describe inicialmente la zona adyacente a la Península, siguiendo las de la isla Tiburón para finalmente tratar la zona cercana a la Bahía Kino.

#### 6.2.2.1. Zona A, El Barril, B. C.

En esta zona se efectuaron 8 líneas de sondeo con las cuales se elaboró un plano batimétrico denominado lámina I-A. La figura 6.2-7 es una reducción de la batimetría, expuesta en este inciso para visualizar la descripción.

La parte de la Plataforma Peninsular que se encuentra más cercana a la costa se caracteriza por un fondo escabroso que se profundiza hacia el Este-Noreste (ver figura 6.2-7). Al Sur del transecto F-F de aguas profundas, el fondo desciende generalmente con un declive de 1 grado, en cambio en las cercanías del transecto D-D de aguas profundas, se encuentra con más frecuencia una pendiente de 2 grados y se observan cañones locales con laderas más inclinadas. Ejemplos de los numerosos cañones, así como elevaciones prominentes, se pueden encontrar alrededor del punto 102 de la línea 4, el punto 105 de la línea 2 y el punto 103 de la línea 5. En el límite Norte de la zona se puede distinguir un gran cañón con múltiples ramificaciones, el cual se origina aproximadamente a los 60 metros de profundidad. Su trayectoria principal se proyectó hacia el Noreste.

La información del sonar lateral, los datos geofísicos y algunas anomalías encontradas en los registros se utilizaron para la elaboración de un plano de caracte-



60 INTERVALOS DE PROFUNDIDAD A CADA METRO

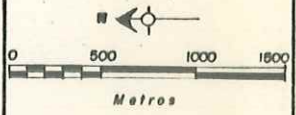


FIG. 6.2-7  
BATIMETRIA EN  
Zona A

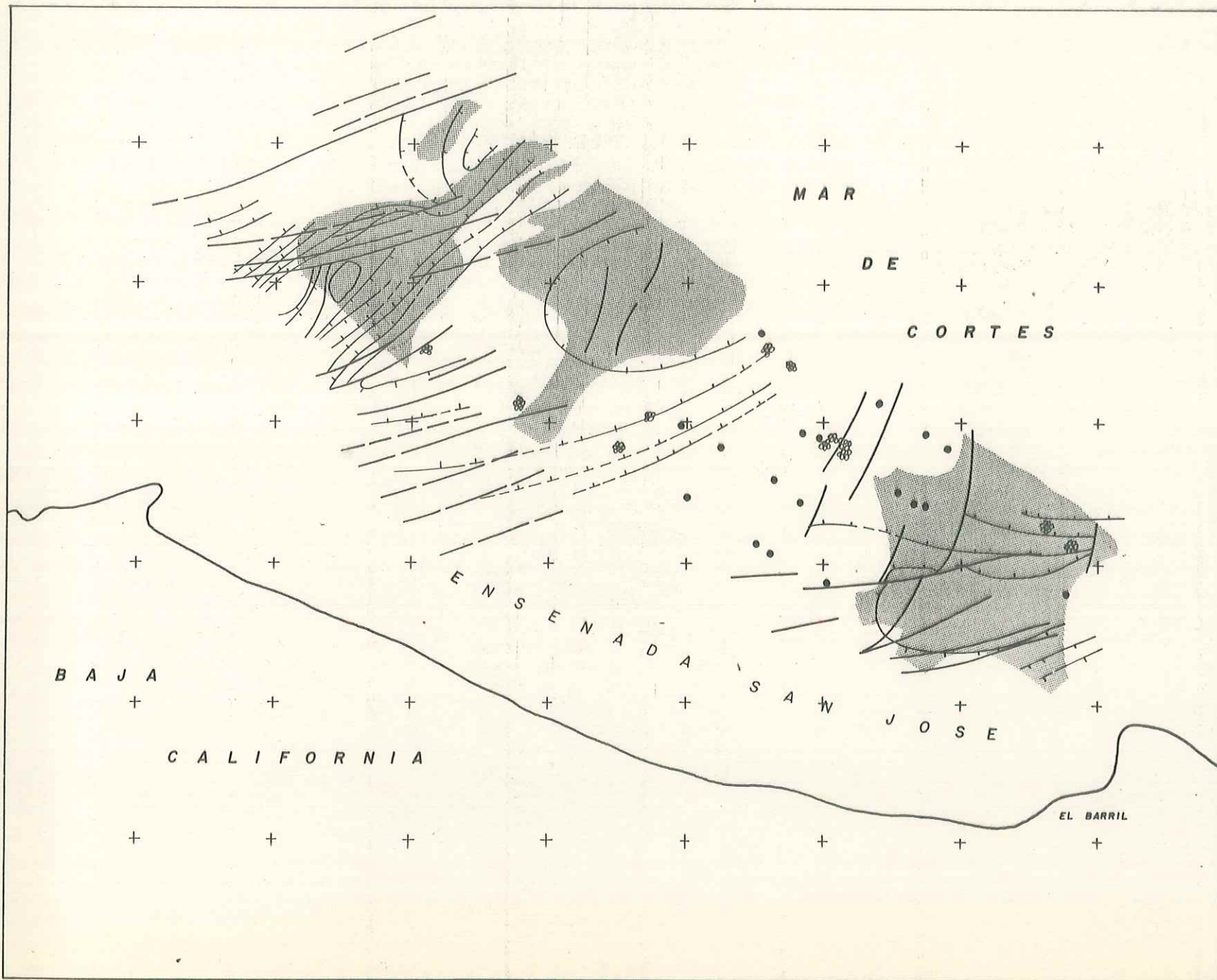
rísticas geológicas denominado lámina II-A. La figura 6.2-8 es una reducción de la lámina que contiene toda la información geológica recabada en el campo y que ser virá de referencia a continuación.

En la figura 6.2-8 se puede observar que existen dos áreas que presentan un afallamiento considerable y una zona en medio, en la cual no hay evidencias de fallas. La mayoría de las fracturas de esta zona tienen una dirección entre los  $340^{\circ}$  y  $350^{\circ}$  azimutales.

El conjunto de fallas ubicadas en la parte Norte es el que origina las pendientes más escarpadas del cañón ra mificado que se mencionó con anterioridad. Hacia el Sur existen fallas subsidiarias que corren más o menos perpendiculares a las anteriores. También se correlacionan con los cañones y las pequeñas cordilleras sub-marinas presentes en toda el área.

Las reflexiones acústicas, sumamente caóticas que se observan en los registros, son indicativas de capas delgadas de sedimentos, las cuales recubren las rocas basales. La gran mayoría de estas secciones únicamente muestran 20 a 30 metros de penetración. No obstante, un reflector fuerte y más profundo se encuentra presente en todos los puntos de registro. La posición del reflector profundo varía y el tiempo correspondiente (ida y vuelta) abarca entre 5 y 60 milisegundos. El contorno generalizado de esta estructura se demuestra en la figura 6.2-8.

Una parte considerable de las fotografías del lecho en las estaciones A-1 y A-2 muestran un fondo arenoso, ondulado y sembrado de gravas y guijarros. Rocas angulares más grandes fueron fotografiadas 4 kilómetros afuera de la costa, lo cual indica un afloramiento de ro-



- FALLA
- RASGO INFERIDO
- ISOCRONAS (CONTORNOS DE FORMA)
- IMPRESIONES EN EL FONDO
- ESCAPES DE GAS O LIQUIDO
- ANOMALIAS EN LA COLUMNA DE AGUA

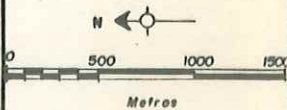


FIG. 6.2-8  
 CARACTERISTICAS  
 GEOLOGICAS  
 ZONA - A

cas basales en la proximidad.

Las nueve muestras del fondo marino obtenidas en la zona A son muy similares. Consisten de arenas finas hasta gruesas, no consolidadas, con poca cantidad de conchas y de color amarillo-grisáceo. Un análisis de la composición mineralógica demuestra un contenido de cuarzo mayor del 50%, feldespatos entre 10 y 40%, así como menos del 10% de fragmentos líticos. Los carbonatos constituyen una parte pequeña del peso total obteniéndose valores entre 5 - 15%. Sedimentos como estos son productos típicos de la erosión de las rocas graníficas, que se encuentran cerca del lugar llamado El Barril, B. C.

Los registros del sonar lateral indican la existencia de tres vastas áreas que presentan un fondo rugoso. Aquellas están asociadas con los grandes cañones de la zona, y probablemente causadas por corrientes cercanas al fondo, las cuales fueron relacionadas con los mismos cañones. Otros rasgos, que se encuentran en los registros mencionados incluyen estratificaciones anómalas en el agua y manantiales submarinos con emanaciones presuntamente relacionadas con algunas de las fallas. Los rasgos pertinentes, detectados por medio del sonar lateral, se muestran en la figura 6.2-8.

#### 6.2.2.2. Zona B, Ensenada de la Cruz.

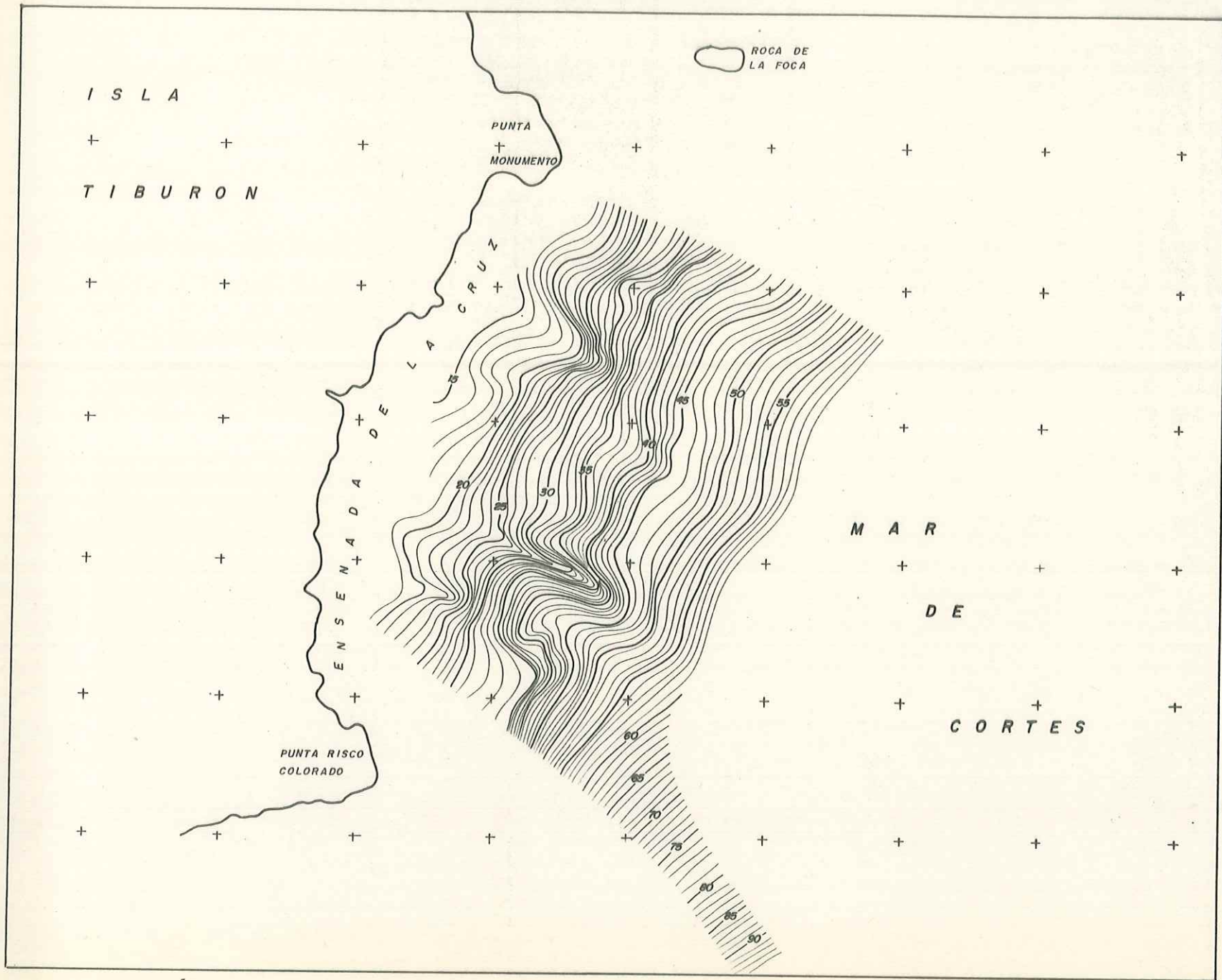
Dentro de la zona se levantaron 7 líneas de sondeo, las cuales sirvieron para construir un plano batimétrico y otro con las características geológicas observadas. Estos planos fueron denominados láminas I-B y II-B.

En general, los contornos batimétricos van paralelos a

La costa. La topografía submarina está caracterizada por dos elevaciones prominentes sobrepuestas en un fondo irregular (ver figura 6.2-9). El declive general es suave, entre 1 y 2 grados, con una dirección principal hacia el Sur-Sureste. Las elevaciones mencionadas se dirigen perpendicularmente a la costa de la isla Tiburón y pueden observarse en la línea 2 (las fijas 101 y 109), en la línea 3 (entre las fijas 103 y 104), así como en la línea 4 (los puntos 103 y 104). Estas configuraciones tienen una longitud de más de un kilómetro en el caso de la mayor y más de medio kilómetro tratándose de la menor. El primero desaparece a profundidades mayores de 55 metros mientras que la segunda se desvanece cerca de los 40 metros de profundidad.

La figura 6.2-10 muestra en escala reducida, las características geológicas predominantes. En ella son evidentes entre 25 y 30 fallas, de las cuales la mayoría corren más o menos paralelas a la Ensenada de la Cruz. Parecen ser la extensión submarina del Sistema llamado Falla La Cruz delineado por Gastil (1974) en la Punta Risco Colorado de la isla Tiburón. Las fallas que corren perpendiculares a las anteriores, determinan las elevaciones antes mencionadas.

La mayor parte del fondo de esta zona está cubierto por una delgada capa de sedimentos, que se extiende sobre las rocas basales. No obstante, en los registros del sonar lateral se observaron dos áreas en donde las rocas basales se encuentran arriba de los sedimentos, lo cual ocurre al Oeste de la línea 6 a la altura de las fijas 108 y 109 y a lo largo de la línea 3, a la altura de las fijas 103 y 104. En los registros es también posible notar ciertas áreas alineadas y con características típicas en su fondo.



50  
INTERVALOS DE PROFUNDIDAD A CADA METRO

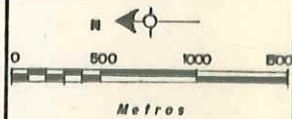
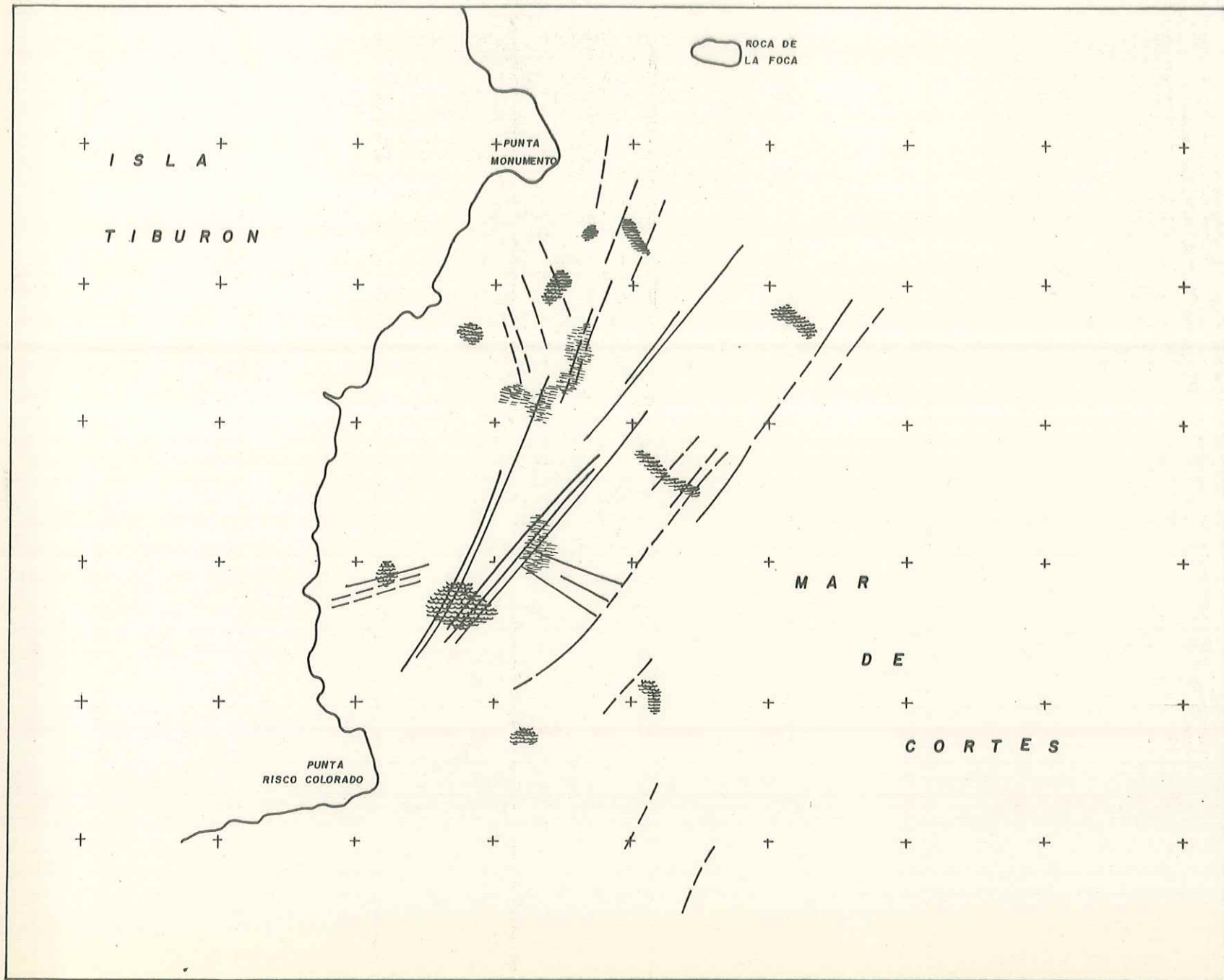


FIG. 6.2 - 9

BATIMETRIA EN

Zona B



-  AFLORAMIENTO DE PIEDRA
-  IMPRESIONES EN FONDO.
-  FALLA
-  RASGO INFERIDO

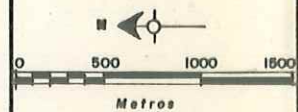


FIG. 6.2-10

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

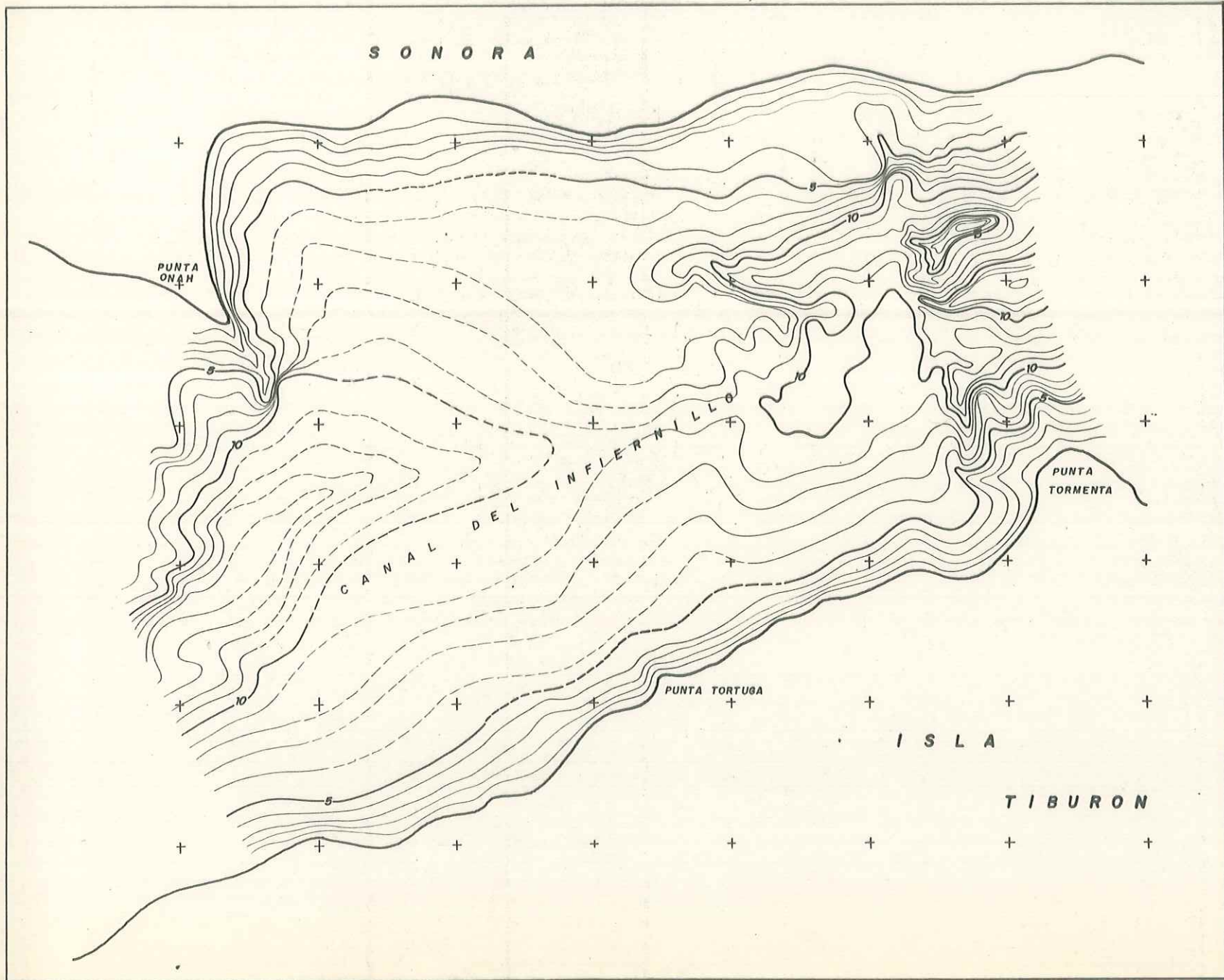
Zona - B

Las muestras de fondo obtenidas en las estaciones B-2 y B-3 están constituidas por arena no consolidada con partículas de tamaño mediano. Su color es amarillo-grisáceo y la fase sólida contiene aproximadamente el 60% de fósiles. Mineralógicamente están compuestas por un 50 a 55% de fragmentos líticos, alrededor de 40% de cuarzo, entre 5 y 8% de feldespatos y desde 1 a 2% de roca máfica. Estos sedimentos se generan por la erosión de las rocas volcánicas existentes en la parte Sur de la isla Tiburón.

#### 6.2.2.3. Zona C, Canal Del Infiernillo.

En la zona del canal se investigó el área desde Punta Tormenta hasta la Punta Onah por medio de 3 líneas de sondeo. Además se levantaron 6 líneas en su parte más estrecha. Con la información adquirida se elaboraron las láminas I-C y II-C con la batimetría y características geológicas respectivamente. La figura 6.2-11 muestra la batimetría de la zona reducida en tamaño. En ella se observa que el canal es comparativamente somero, con una profundidad máxima encontrada de 18 metros. Por otra parte, un área dominante del fondo se encuentra a más de 5 metros de profundidad. Desde la playa hasta el contorno de los 5 metros hay un declive suave menor o igual a 1 grado.

La parte Norte presenta una depresión cuya profundidad en el Centro es de 14 metros, haciéndose más somero hasta la cercanía de Punta Tortuga, donde la profundidad máxima es de 9 metros. Hacia el Sur, se vuelve a profundizar y el canal se divide en dos cuencas a la altura de Punta Tormenta. Al Este, la profundidad máxima es de 18 metros, mientras que al Oeste es de 12 metros. Estas cuencas están separadas por un umbral,



10 INTERVALOS DE PROFUNDIDAD A CADA METRO

This text indicates the depth interval used for the bathymetric contours, which is 10 meters per contour interval.

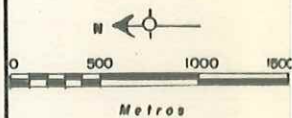


FIG. 6.2-11

BATIMETRIA EN

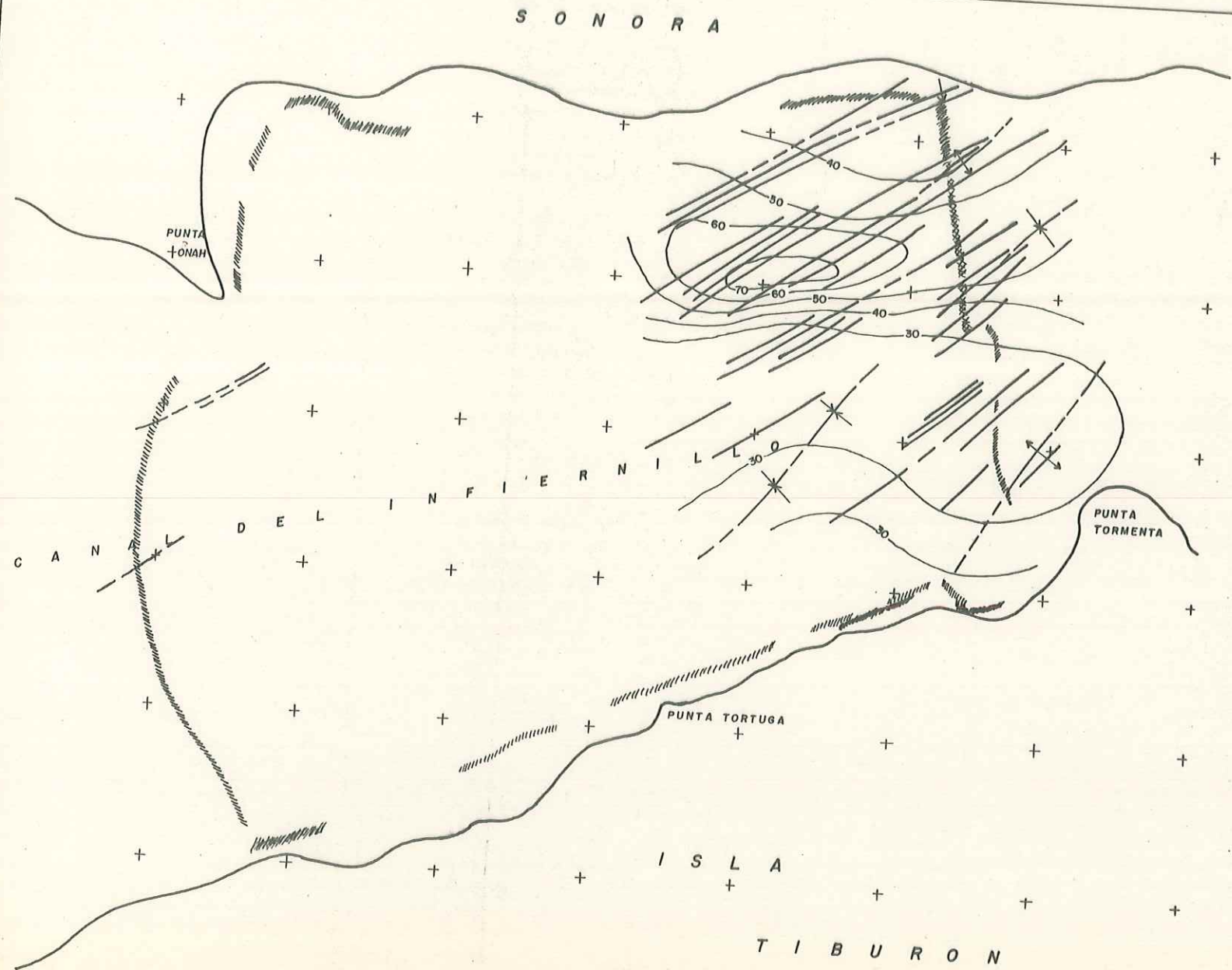
Zona C

This is the formal caption for the figure, identifying it as Figure 6.2-11, a bathymetric map of Zona C.

donde la profundidad no llega a más de los 7 metros. En la cuenca del Este se localiza una pequeña depresión delineada por la isobata de los 13 metros. Es en aquella que se registra la máxima profundidad.

La figura 6.2-12 enseña las características geológicas de la zona. En ella se puede apreciar un afallamiento general, que parece tener una dirección semejante a las fallas regionales cercanas, descritas por Gastil (1974). Muchas de las fallas menores se asocian con la consolidación diferencial de los sedimentos en el canal. También se encuentran en los registros sísmicos difracciones correspondientes a un reflector más profundo, el cual se observa a lo largo de casi toda la línea 1 y en partes de las líneas 2 y 3. Estas difracciones parecen estar relacionadas con características angulosas de los bloques basales rocosos, levantados por fuerzas ocasionadas por los afallamientos. Los ecos múltiples y fuertes que se observan en áreas como aquellas entre las fijas 20 y 30 ó 56 y 60 de la línea 2 están aparentemente relacionados con un fondo localmente más consolidado. Así mismo, la considerable atenuación de las señales acústicas observadas entre las fijas 5 y 14 de la línea 3 se interpreta como un efecto de sedimentos no consolidados, que se localizan a lo largo de la depresión más profunda, al Noreste de Punta Tormenta. Por lo general, las zonas que presentan escarpes; como la parte final de la prolongación submarina de Punta Onah, el talud Oriental de la depresión al Norte, la depresión principal, etc., se correlacionan con las fallas detectadas.

El canal Del Infiernillo cuenta con grandes depósitos de sedimentos blandos, como se puede observar en la figura 6.2-12. Al Oeste, cerca de Punta Tormenta, el espesor está alrededor de 30 metros. Siguiendo hacia el Noreste



- ANTICLINAL
- SINCLINAL
- REFLECTOR
- ECOS MULTIPLES
- SEÑALES ATENUADAS
- ISOPACAS

- FALLA
- FALLA INFERIDA

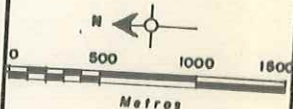


FIG. 6.2-12  
 CARACTERISTICAS  
 GEOLOGICAS  
 ZONA - C

el grosor aumenta hasta llegar a 70 metros al Norte de la depresión mencionada y de ahí disminuye hacia la costa de Sonora, afuera de la cual la capa de sedimentos tiene 40 metros de espesor. En la mayor parte de la zona las capas sedimentarias son prácticamente horizontales, aunque se encuentran pliegues anticlinales y sinclinales muy suaves, los cuales tienen sus ejes longitudinales aproximadamente paralelos a las fallas presentes.

Al Sur de la zona se obtuvieron 5 muestras de sedimentos (estaciones C-1 a C-5). Ellas contienen arena gruesa, no consolidada y una gran parte de fragmentos de concha. El contenido de fósiles varía entre el 40 y el 60%; encontrándose bivalvos, corales, equinodermos, gastrópodos, briosoarios y foraminíferos en todas las muestras. Presentan color amarillo-grisáceo y su composición mineralógica tiene como principal constituyente al cuarzo con un porcentaje de 65%, así como fragmentos líticos junto con feldespatos en proporciones similares, variando entre el 10 y el 25%. El contenido de carbonatos oscila entre los 30 y 50%.

#### 6.2.2.4. Zona D, Kino.

En la zona enfrente de la costa sonorenses, al Norte de Bahía Kino, se levantaron cuatro líneas de sondeo paralelas a la costa y tres líneas transversales, abarcando desde Punta Ignacio hasta Punta Blanca. Con los datos obtenidos se elaboraron las láminas I-D y II-D, que contienen la batimetría y las características geológicas de la zona, respectivamente. La figura 6.2-13 muestra la topografía submarina reducida a tamaño carta. En ella se puede observar que los contornos cercanos a la playa, hasta llegar a la isobata de los 9 metros, se encuentran más juntos que el resto. Esto indica una pen-



diente algo mayor cerca de la playa que después de los 9 metros en adelante, donde la inclinación se aproxima a los 0.5 grados en la mayor parte del fondo. Al Suroeste, entre el transecto F-F y la línea 5 al Este de Punta Ignacio, se encuentra una depresión ancha que principia con el contorno de los 9 metros y corre en dirección normal a la costa. El resto del fondo es comparativamente liso y con isobatas más o menos paralelas a la playa.

La figura 6.2-14 contiene las características geológicas encontradas en esta zona. Se observa que la mayoría de las fallas presentes se dirigen hacia el Nor-Noroeste, dirección que se puede correlacionar con la de las fallas Seri, Cerro Tepoca y otras paralelas entre la isla Tiburón y el Continente, descritas por Gastil (1974). Sólo dos fallas de las detectadas corren en dirección Norte y Nor-Noreste. La primera se localiza entre la intersección de las líneas 2 y 6 y cerca de la fija 107 de la línea 1. La otra queda entre la fija 103 de la línea 2 hasta cerca de la fija 103 de la línea 1. Algunas fallas menores parecen estar relacionadas con asentamientos diferenciales en los sedimentos, los cuales engrosan hacia mar adentro, como se puede observar en los registros sísmicos obtenidos con el *sparkler* de 40 puntas. En ellos se encuentra hasta 150 metros de sección sísmica visible sobre la línea 4. Cerca de la costa, a lo largo de las líneas 1 y 5, el espesor de los sedimentos varía entre 75 y 100 metros. Sobre la línea 1, entre las fijas 101 y 102 se encontró una zona anómala de alta velocidad que posiblemente está asociada con la presencia de un arrecife sumergido.

En esta zona se tomaron cuatro muestras de sedimentos con draga y una con nucleador. Los materiales obtenidos en las estaciones D-2 y D-3 estaban ligeramente más

S O N O R A

PUNTA IGNACIO

PUNTA  
BLANCA

M A R

D E

C O R T E S



FIG. 6.2-14

CARACTERISTICAS  
GEOLOGICAS

Zona - D

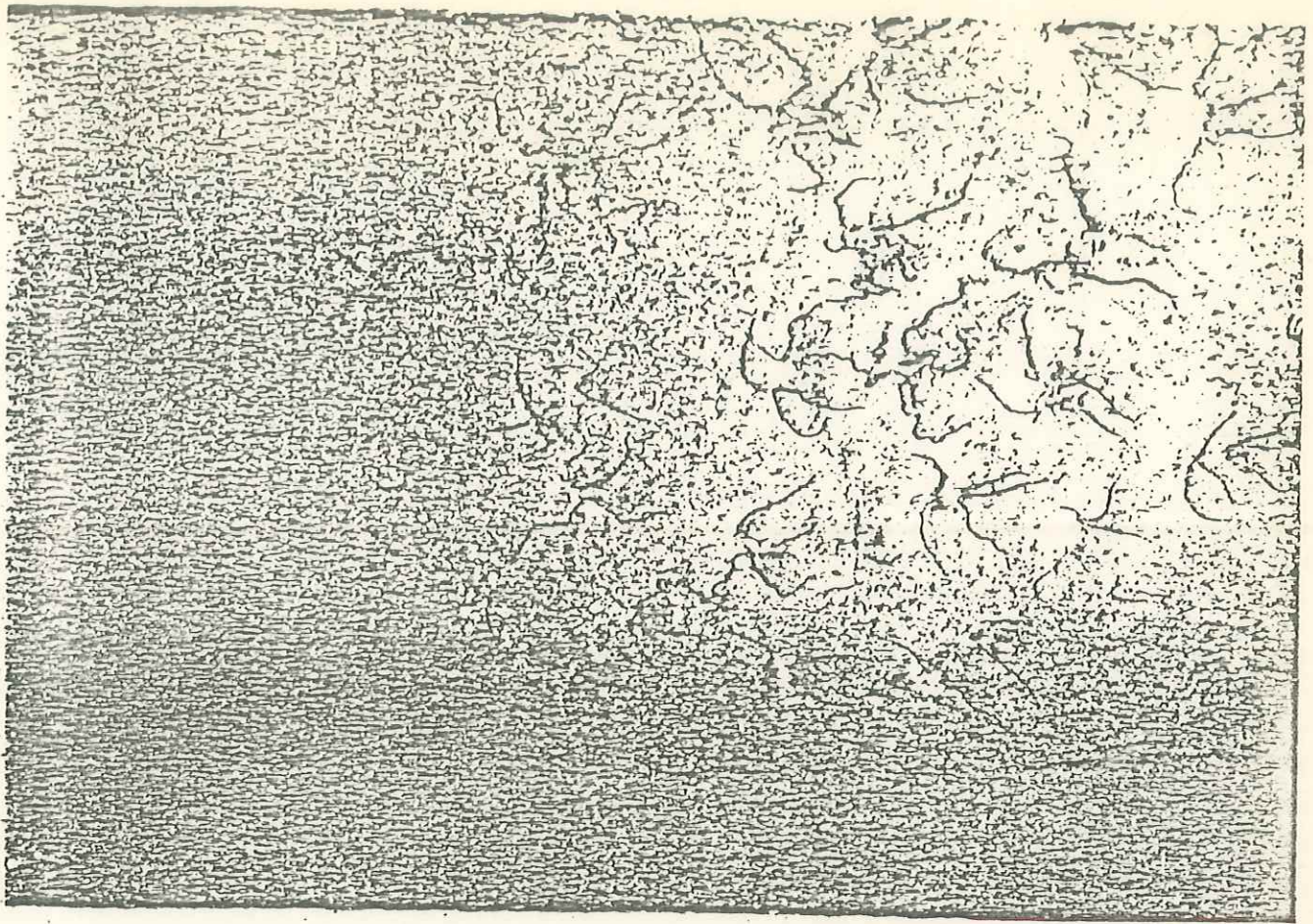
consolidados que los encontrados en las estaciones D-1, D-4 y D-5. Todas las muestras colectadas tenían color amarillo-verde olivo-gris y una composición parecida; conteniendo arena con granos que variaban en tamaño entre mediano y fino, así como pedazos gruesos de concha. Su proporción de cuarzo excedía el 50% y los fragmentos líticos no llegaban al 25%. La fracción fósil varía entre el 10 y el 65% y su contenido de carbonato de calcio se encontró entre el 7 y el 45% del peso.

### 6.2.3. FOTOGRAFIAS DEL LECHO MARINO.

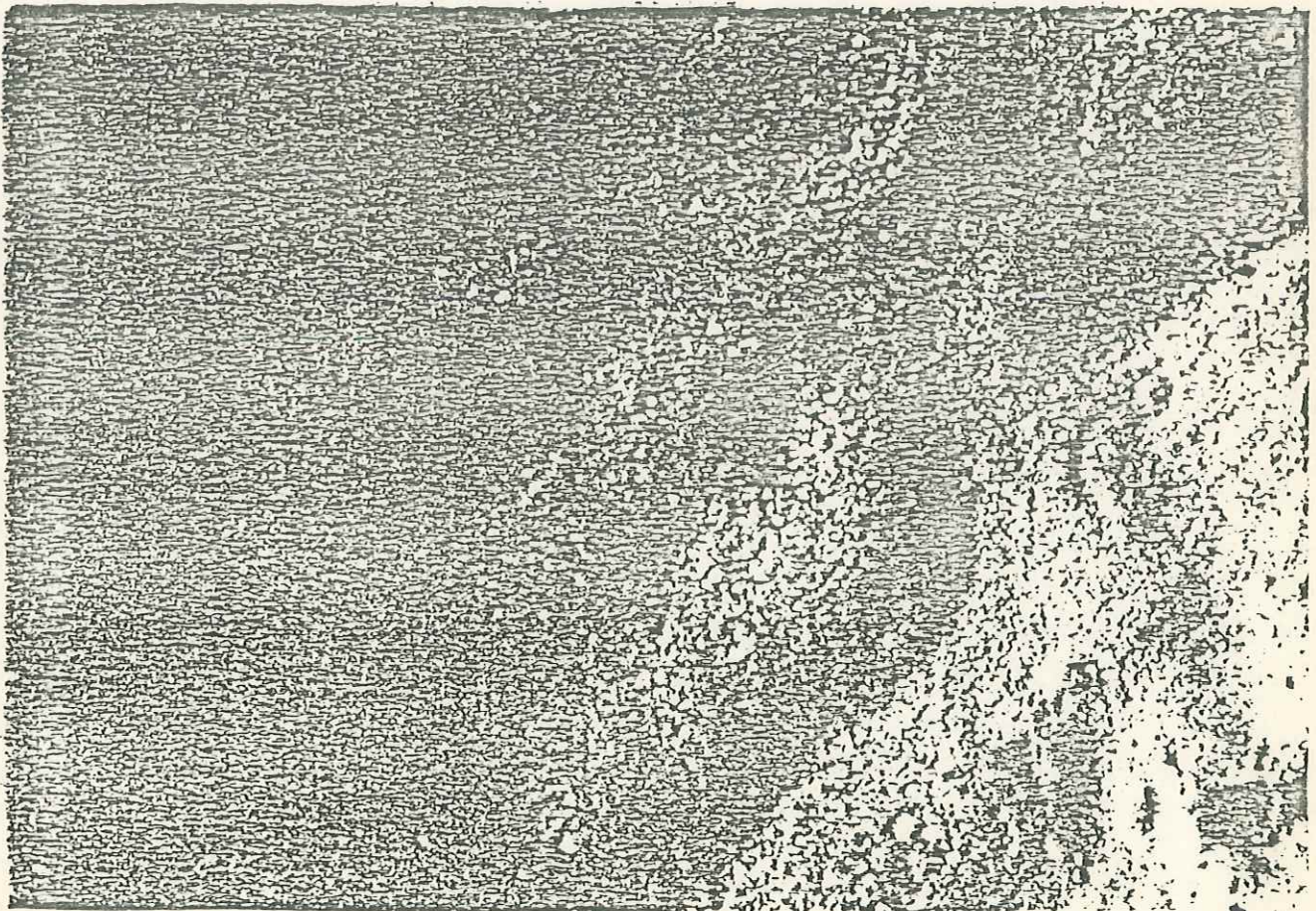
Las fotografías del lecho marino fueron tomadas en ocho estaciones escogidas, las cuales se enlistan en la tabla 3.3-4 del capítulo 3.

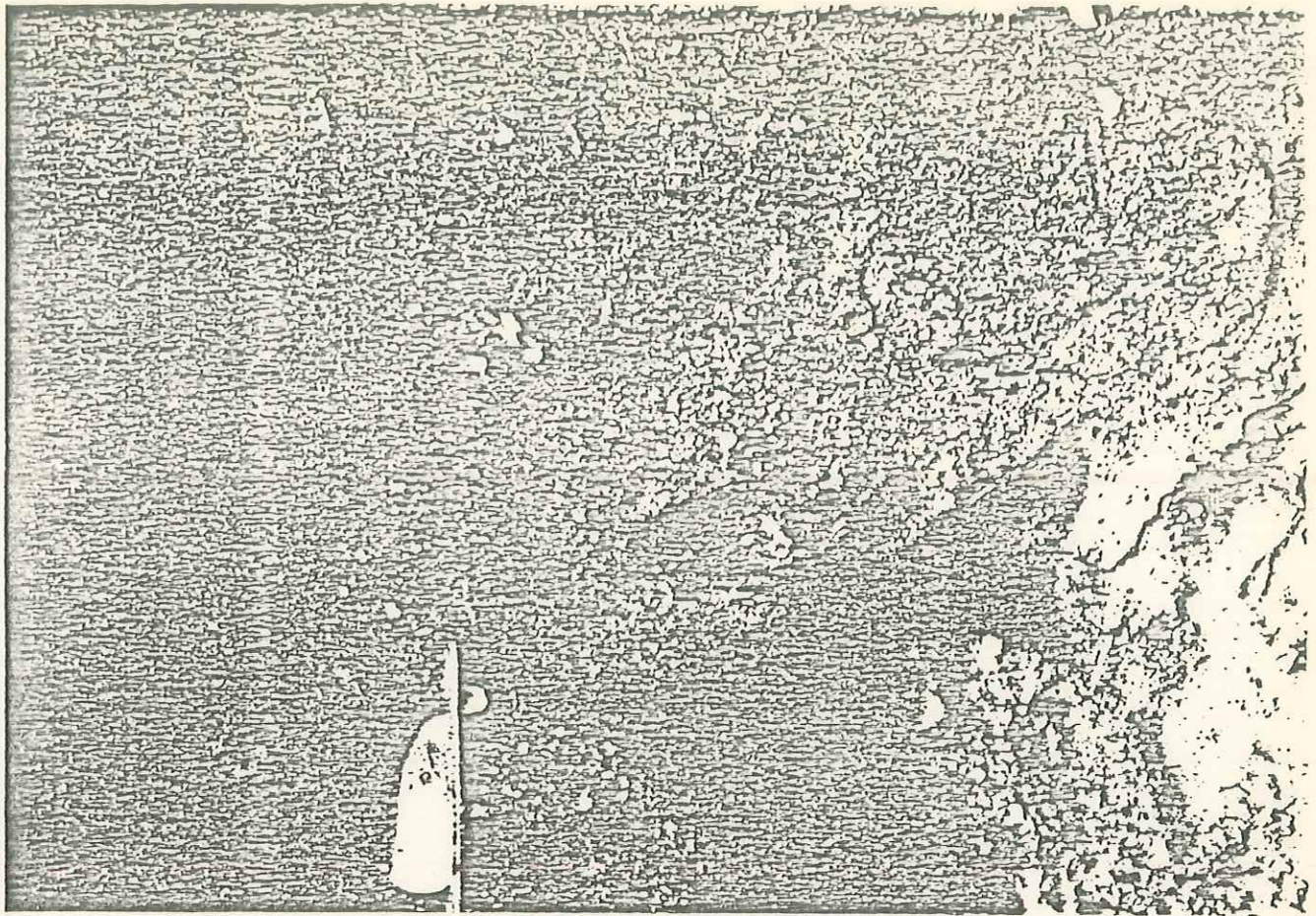
De estas ocho estaciones sólo cuatro arrojaron resultados positivos, siendo éstos alrededor de 60 exposiciones, de las cuales las más claras se encuentran fotocopiadas a continuación.

De las cuatro estaciones con resultados expuestos, dos de ellas se encuentran en la zona A; sus claves son A-1 y A-2, las otras dos se localizan en la zona I y sus siglas son I-11 y I-12. Las profundidades a las cuales fueron obtenidas son 85, 81, 205 y 630 metros respectivamente.

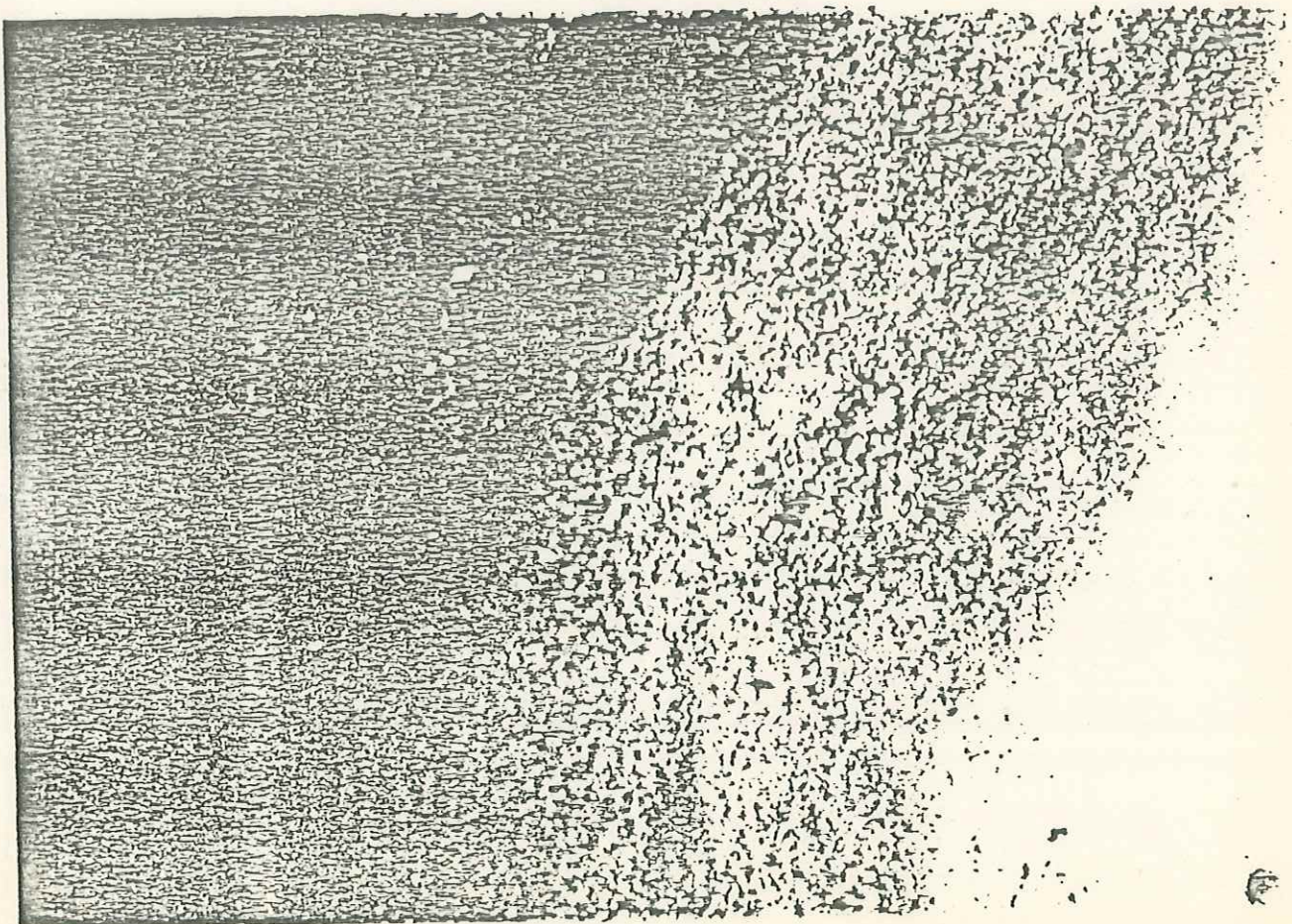


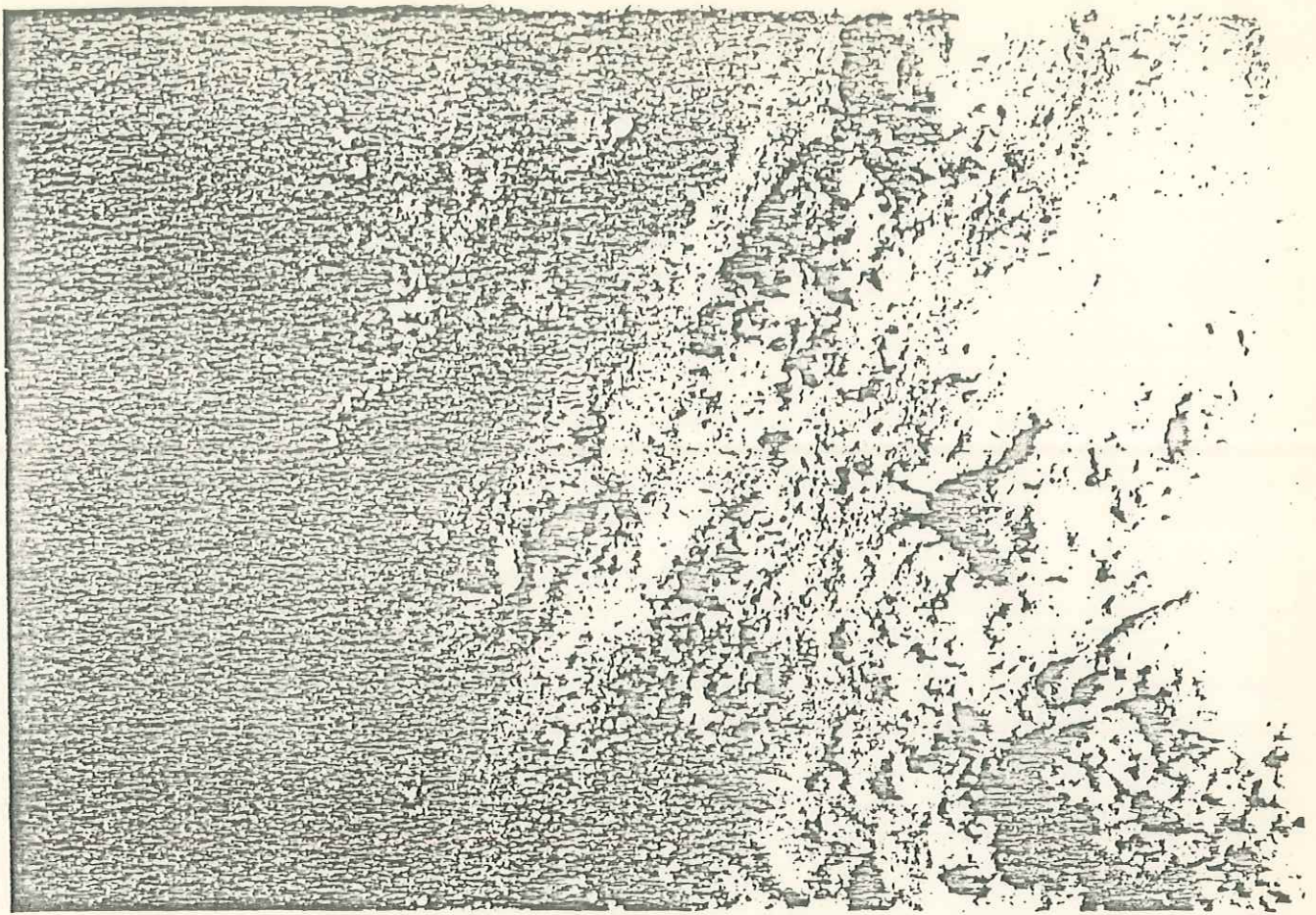
SITIO A-1



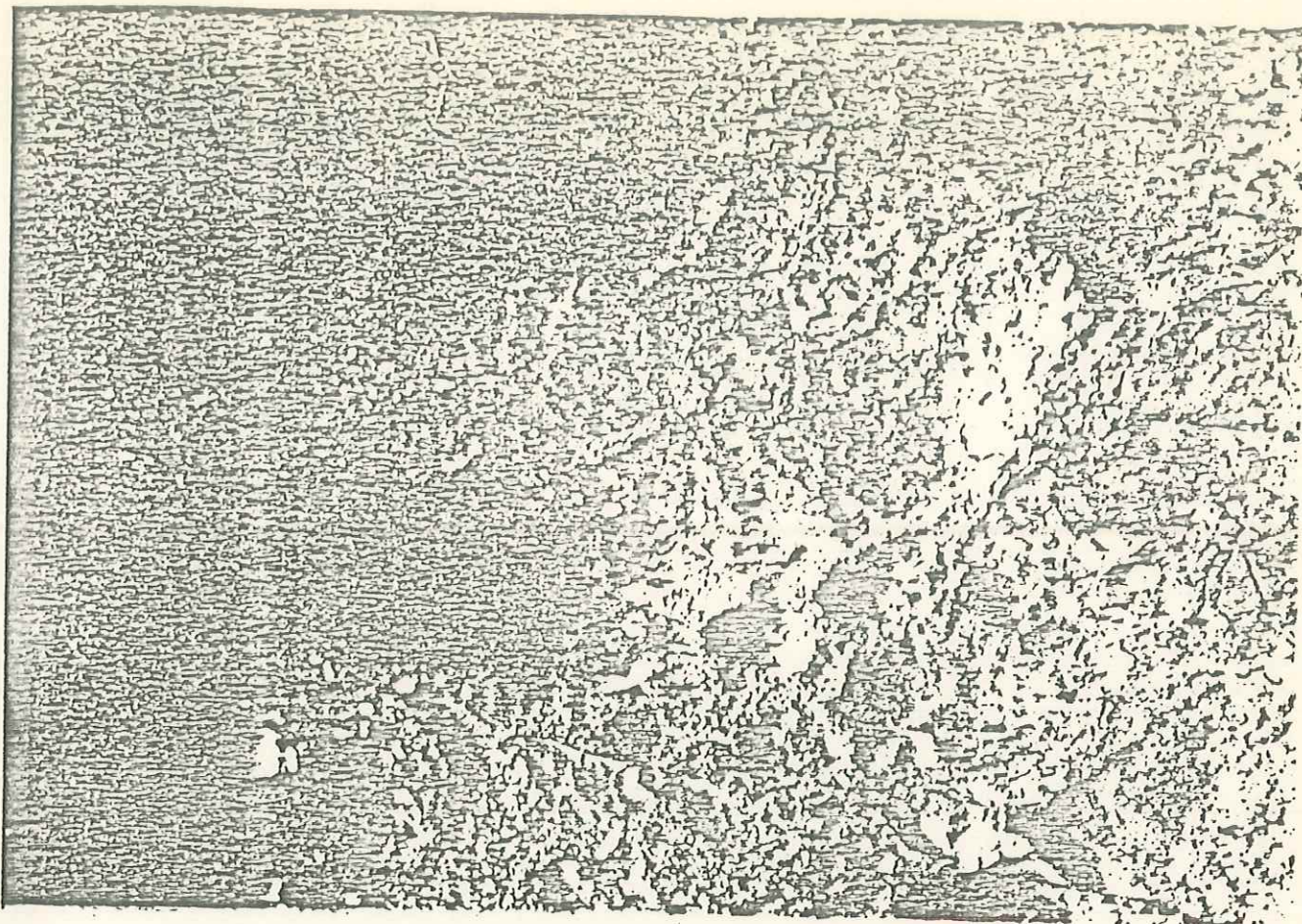


SITIO A-1

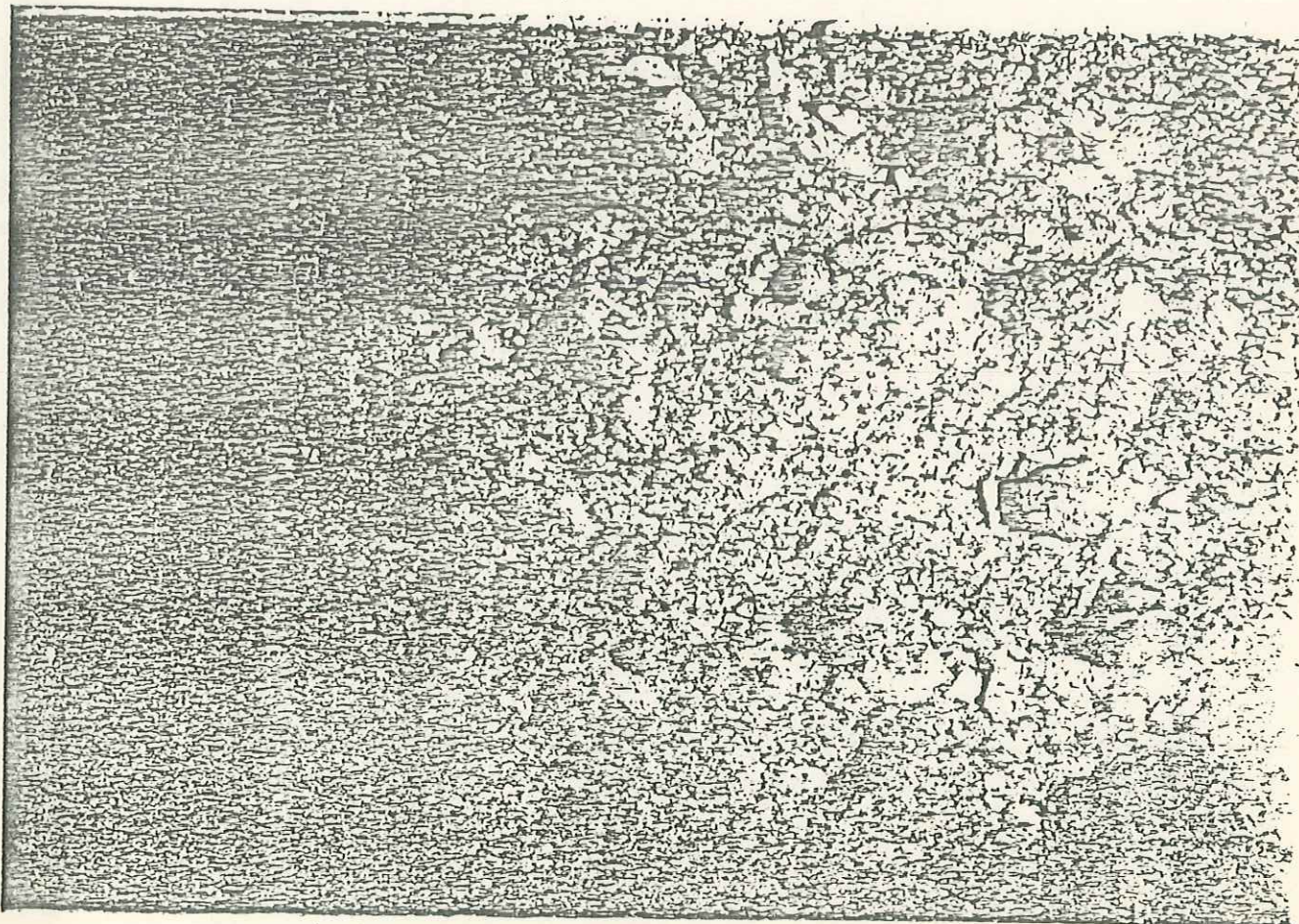


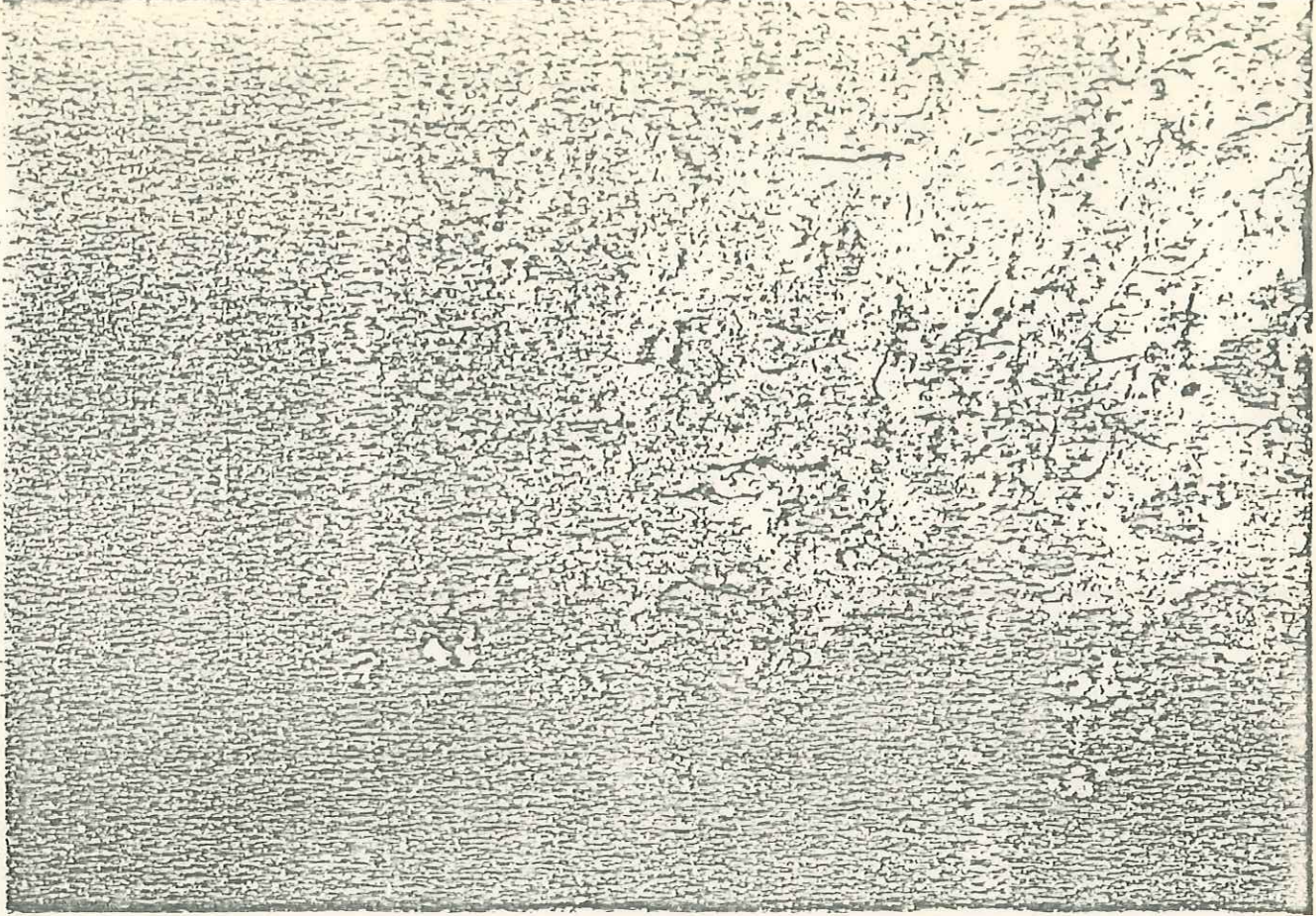


SITIO A-1

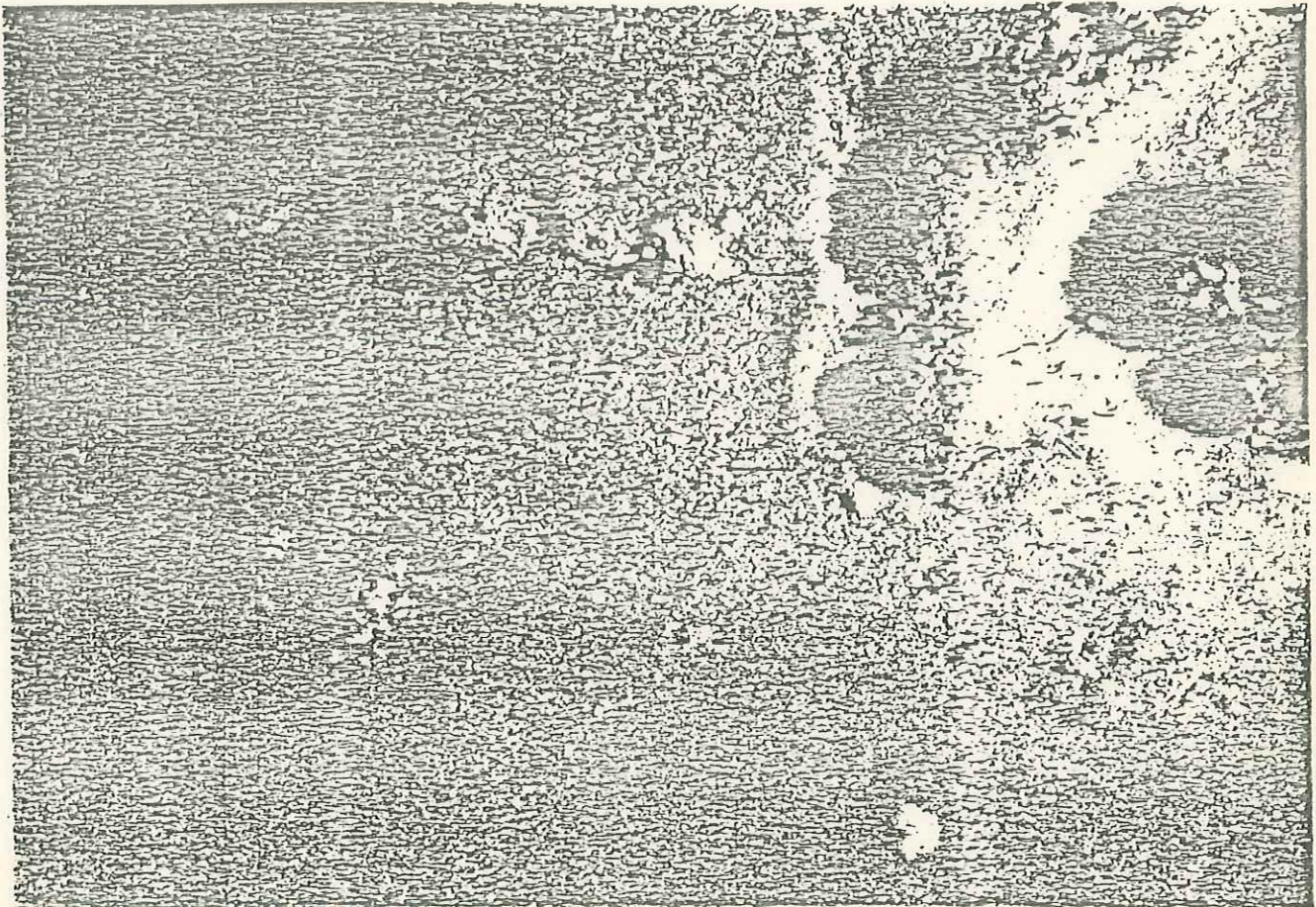


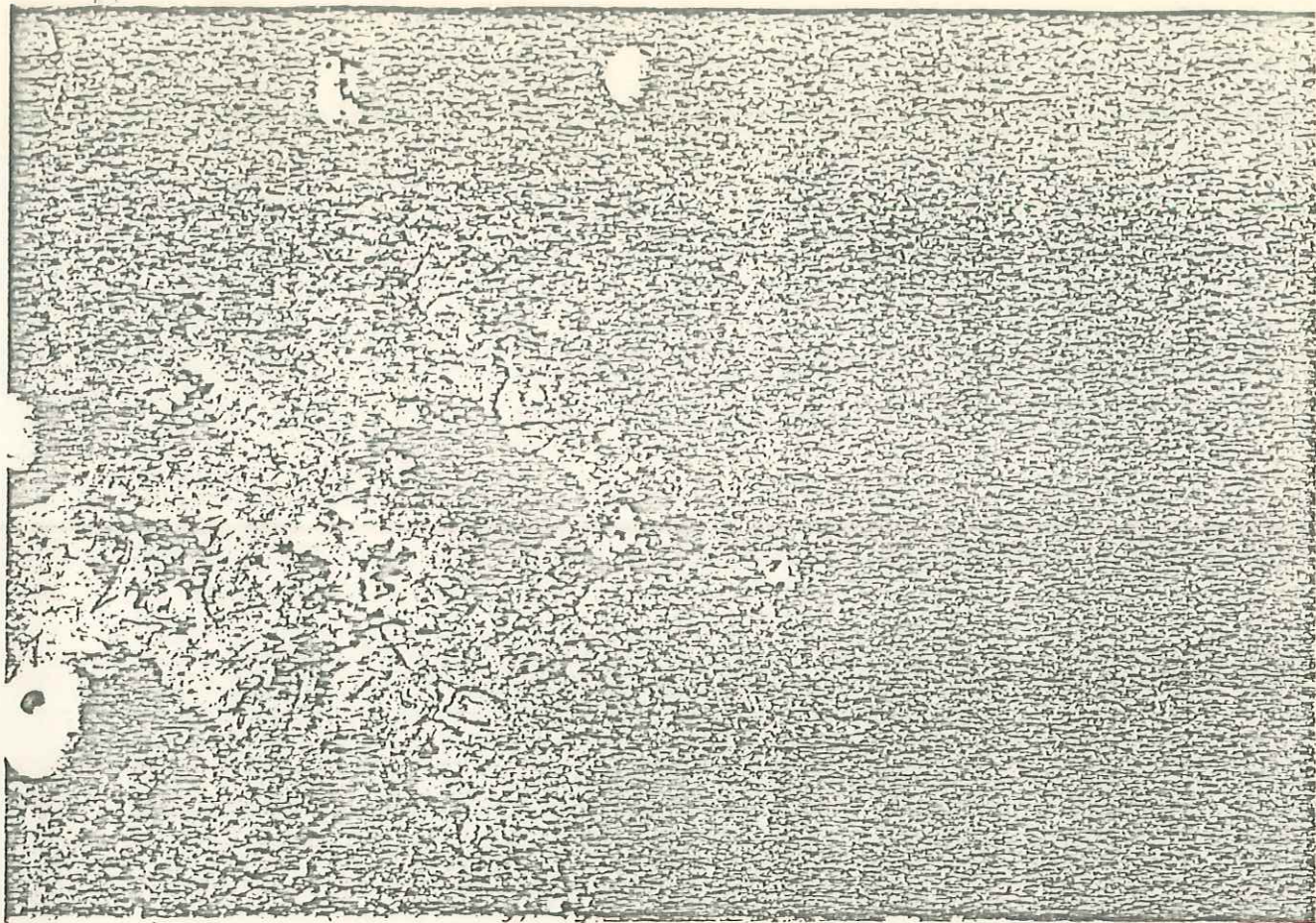
SITIO A-2



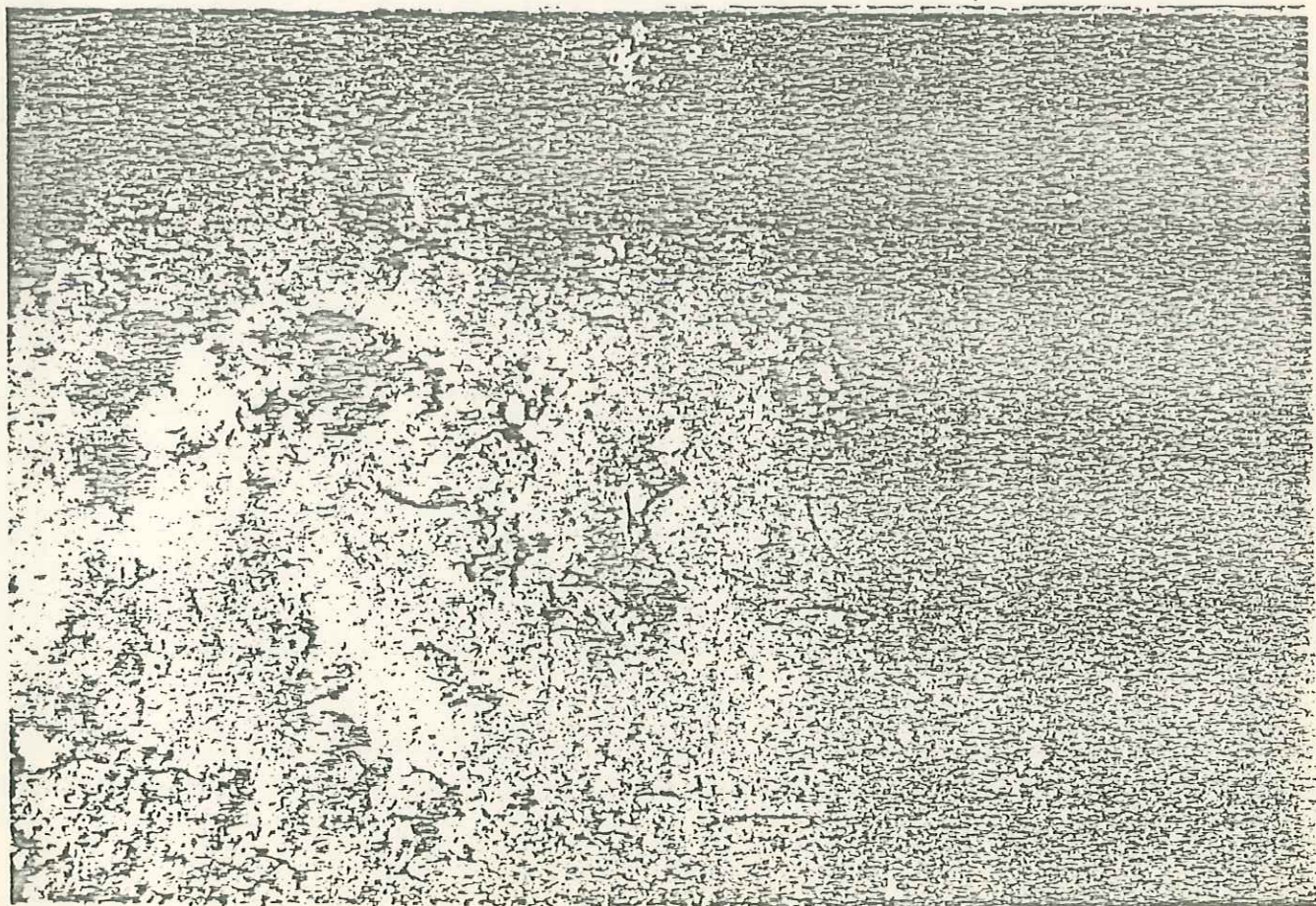


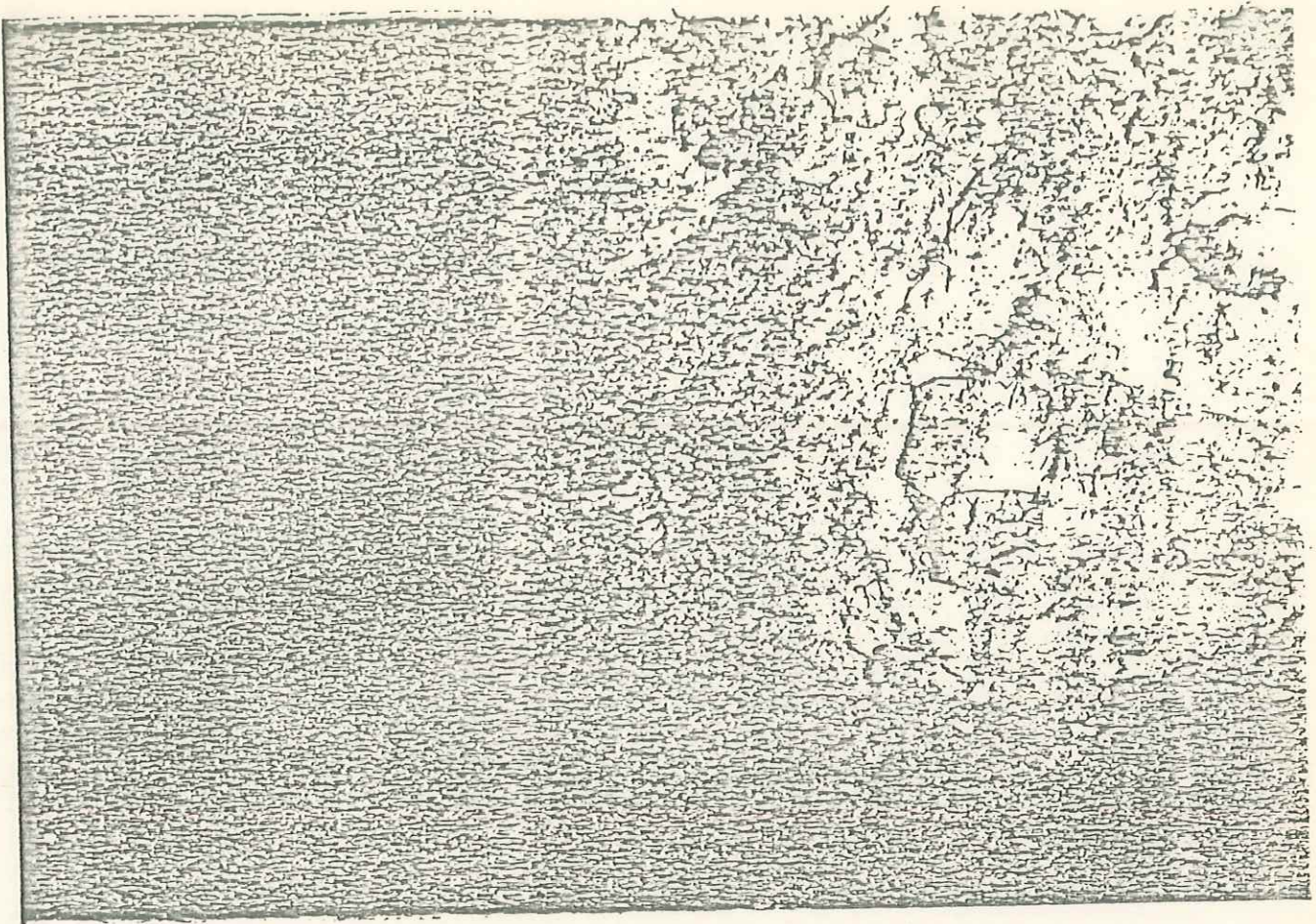
SITIO A-2



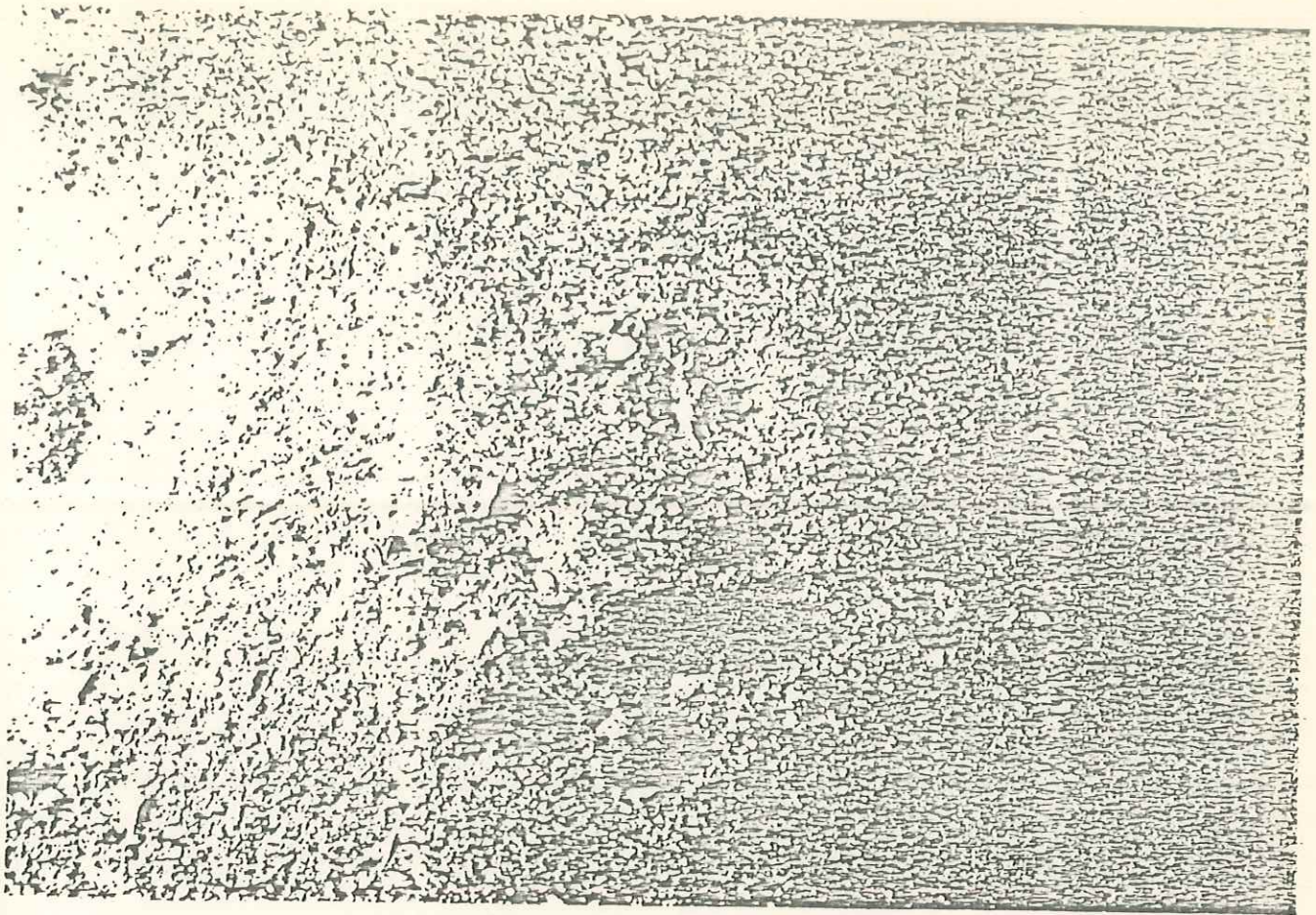


SITIO A-2

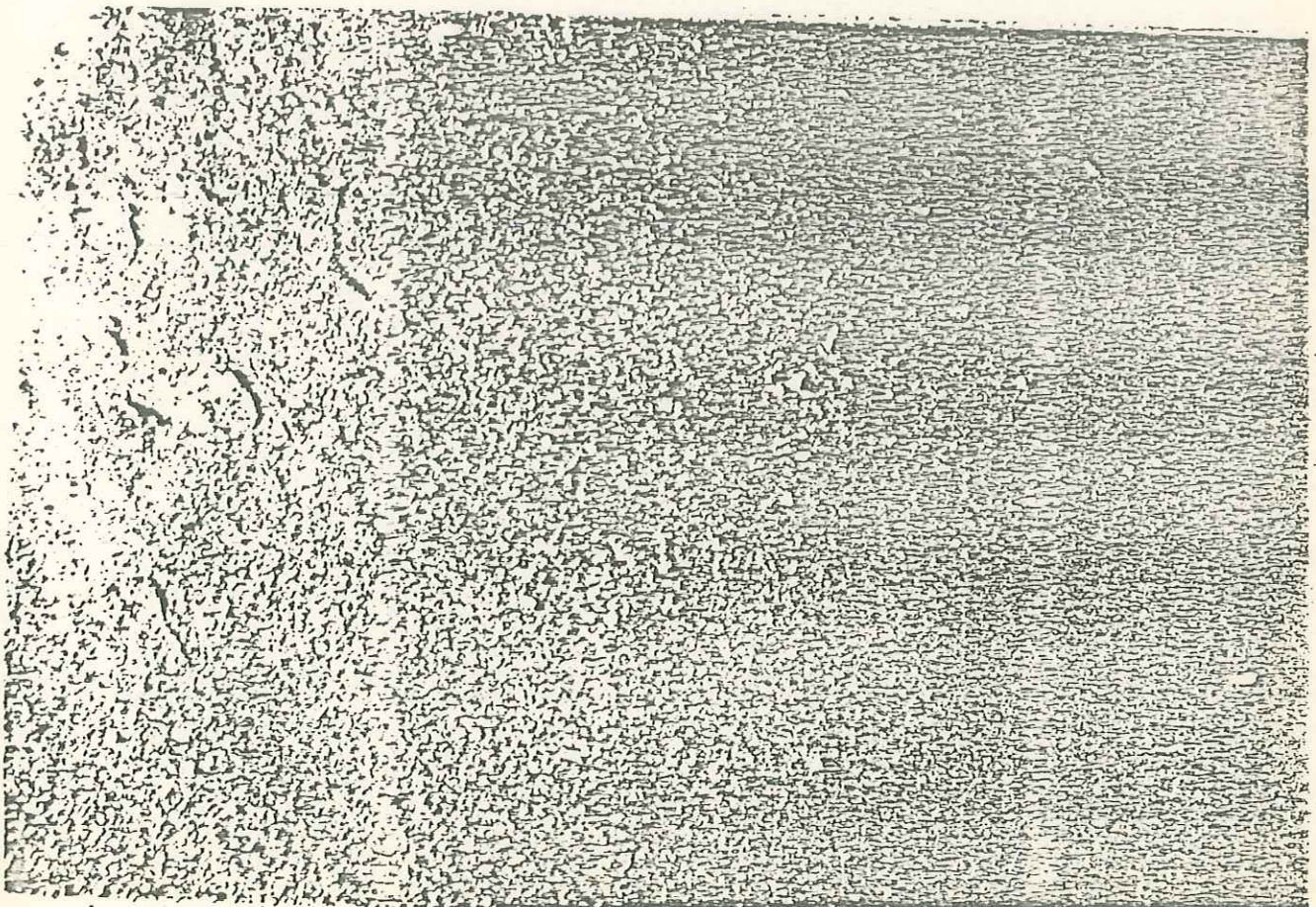


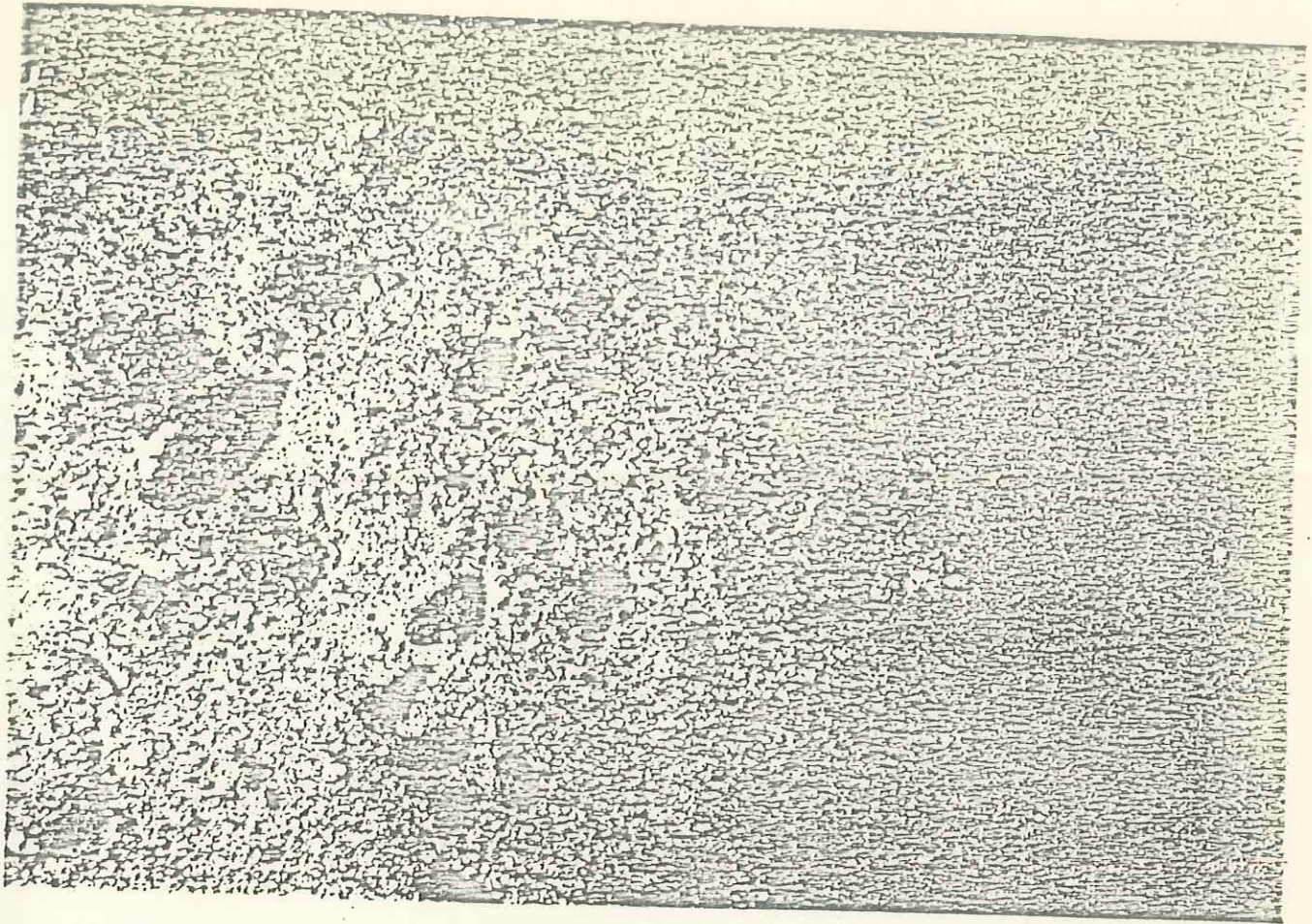


SITIO A-2

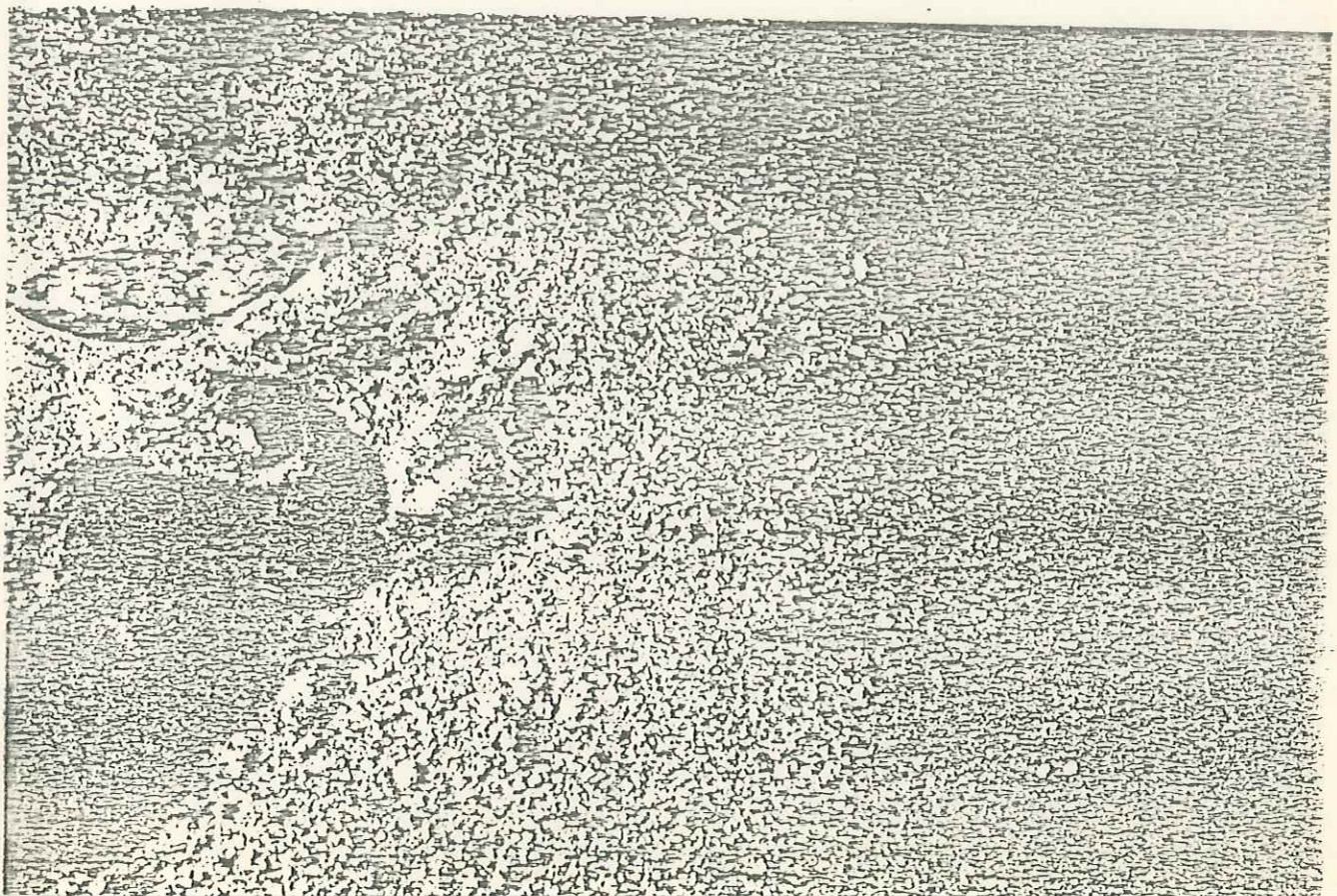


SITIO I-11



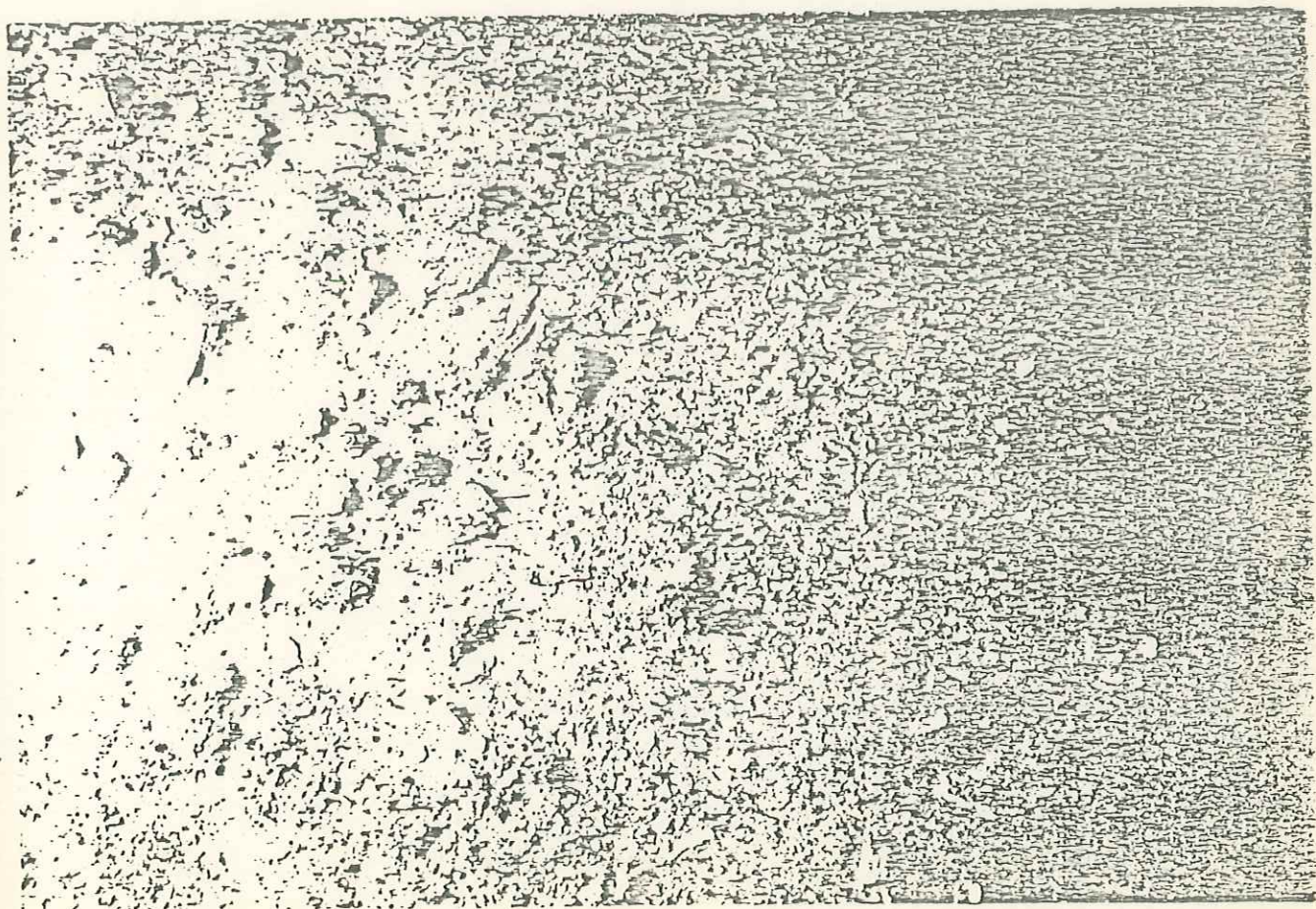


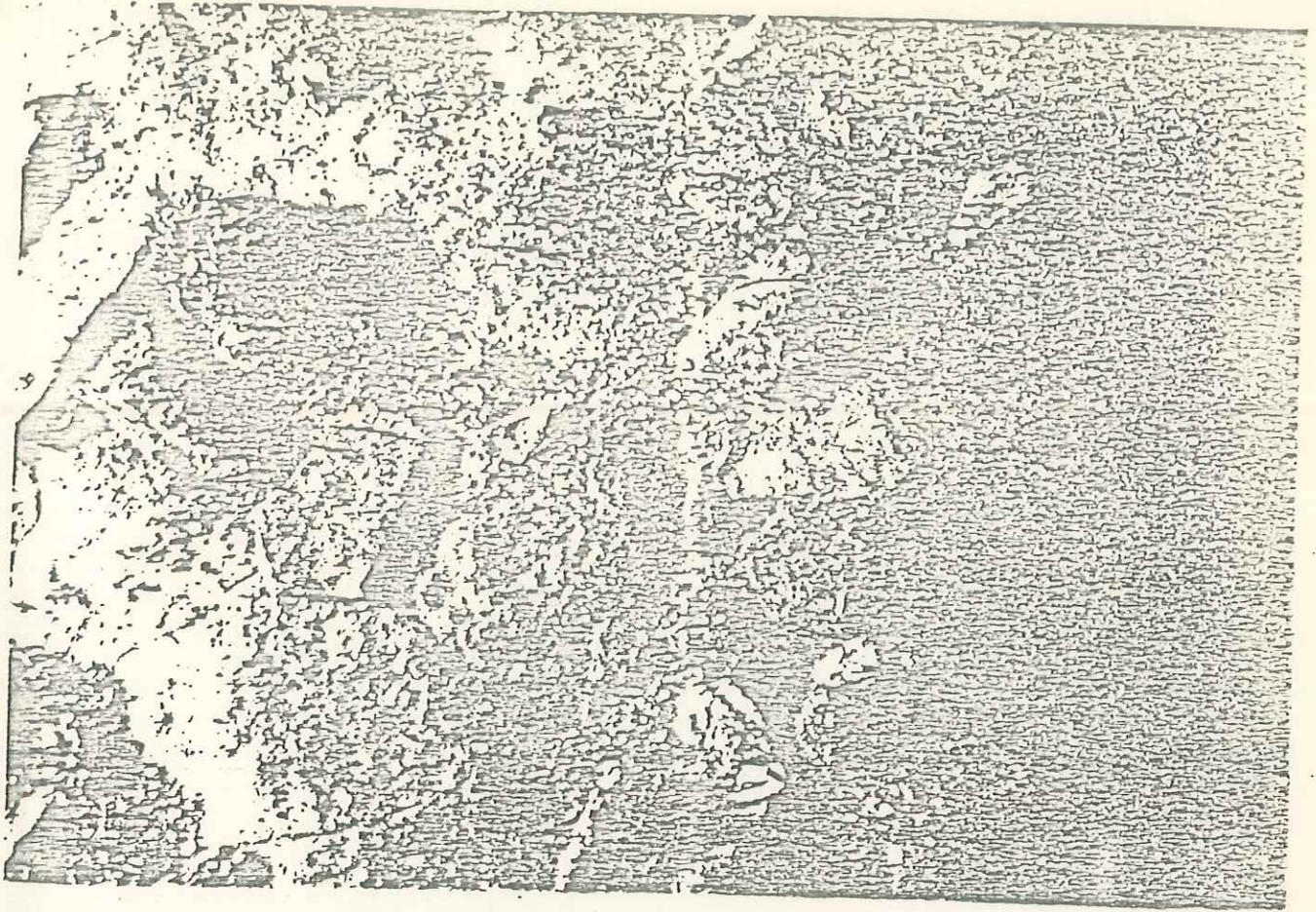
SITIO I-11



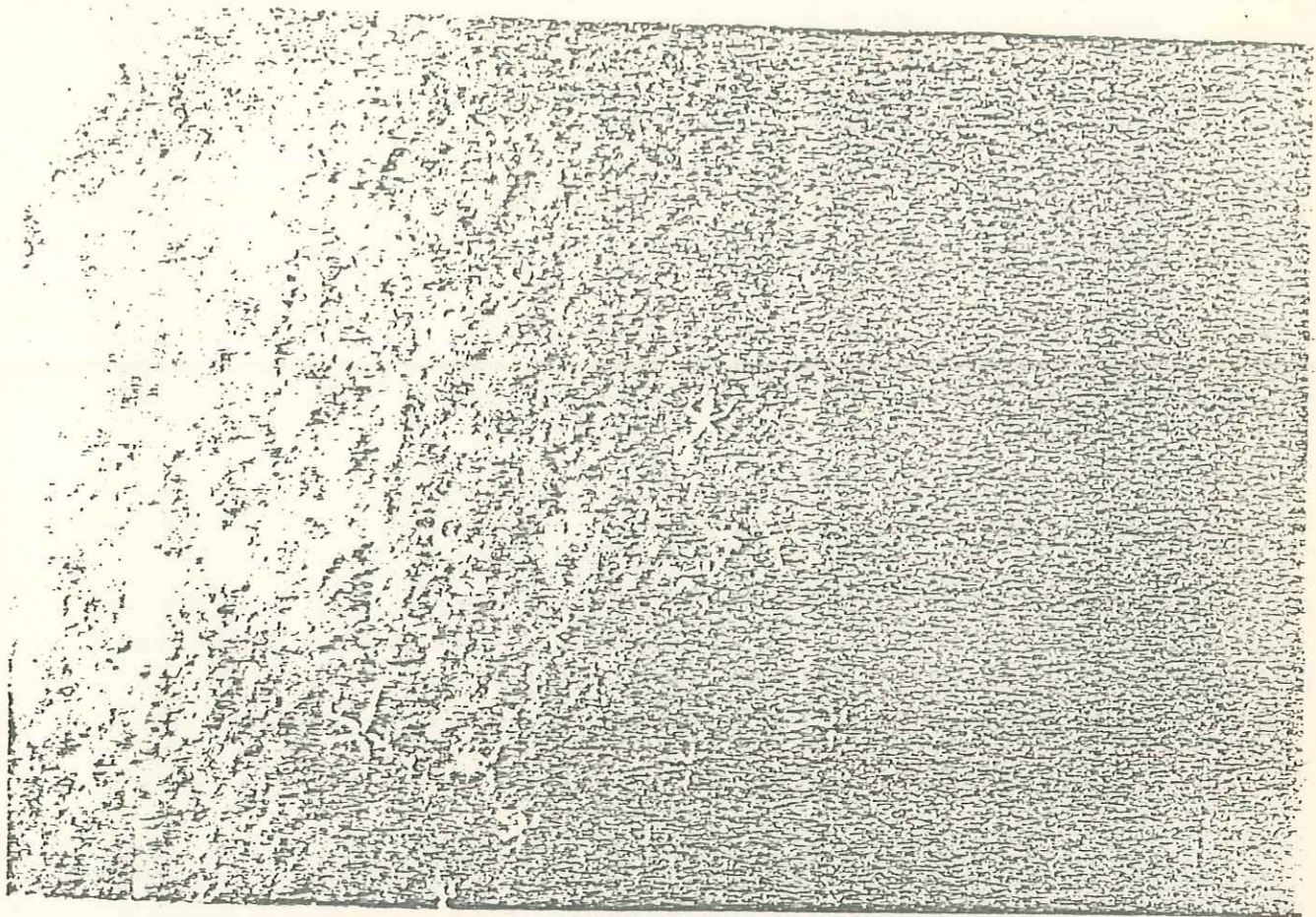


SITIO I-11





SITIO I-11



SITIO I-12

### 6.3. METEOROLOGIA.

El propósito de esta parte del estudio fué la de seleccionar un huracán extremo y de características adecuadamente conocidas en la región de la Cintura del Golfo, con el fin de preparar una evaluación de las condiciones del oleaje y las mareas de tormenta que pudieran afectar un cable hipotético en las rutas estudiadas.

Los huracanes pueden azotar las zonas costeras del mar de Cortés en casi cualquier sitio y desde los finales de mayo hasta el principio de noviembre. Empero, son mucho más frecuentes en septiembre y octubre. Estas tormentas se originan fuera de la costa Suroeste de México o América Central y prosiguen hacia el Oeste o el Noroeste con velocidades que en promedio varían entre 330 y 660 kilómetros diarios. Llegando a Cabo Corrientes pueden continuar con una trayectoria hacia el Oeste o bien pueden cambiar su trayectoria e irse hacia el Norte o el Noreste, cruzando la parte Sur de Baja California o incursionar directamente dentro del Golfo.

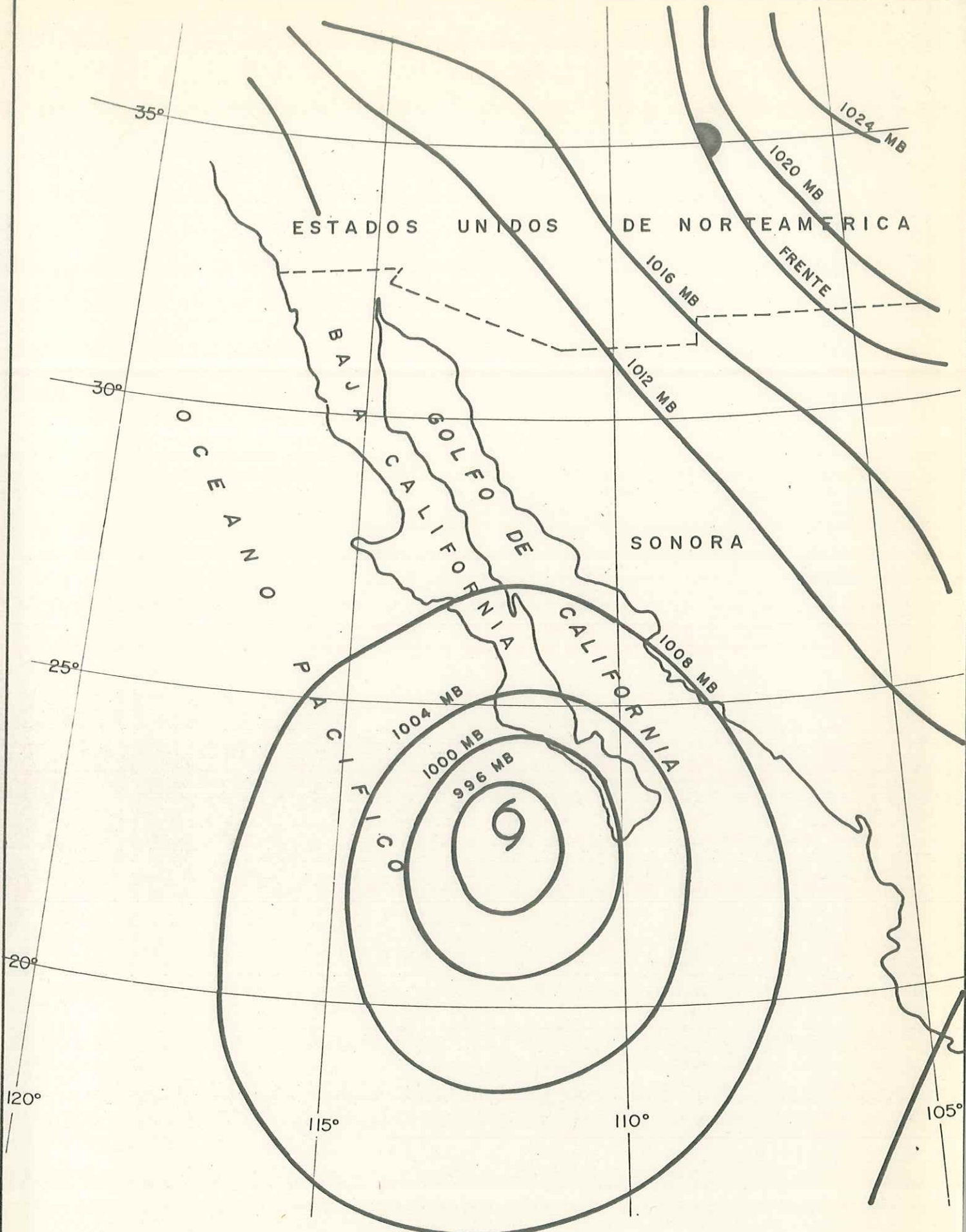
Las trayectorias de los huracanes que han afectado a la zona de la Cintura del Golfo usualmente se dirigen con rumbo al Noroeste, a lo largo de la Península, para después atravesarlo y dispersarse en las cercanías de la Cintura. Otro caso típico es aquel en que la tormenta se mueve a lo largo del eje del mar de Cortés o bien se desplaza por el Pacífico, penetra en el Golfo y se sigue rumbo Nor-Noroeste dentro del mismo.

Para escoger un ciclón aplicable en la predicción de las condiciones oceanográficas se consideraron todas las trayectorias conocidas de los ciclones de la zona. Estas fueron ya descritas por Hurd (1948), para los años de 1895 a 1940; Rosendal (1962) para el período 1947 - 1961; el "U.S. Climatological Data National Summary" que es anual, para los años 1962 - 1974 y por el "U.S. Mariners Weather Log" para los años de 1975 a

1980. De la información recabada sólo tres huracanes tuvieron una trayectoria que se dirigió hacia el Noroeste dentro del Golfo, ver figura 5.3-1. Dos de estas tormentas atravesaron el Golfo entero pero la información sobre éstas no fué adecuada para realizar la predicción. La otra, la más reciente, es el huracán Katrina, que se presentó del 29 de agosto al 2 de septiembre de 1967. Primero se dirigió hacia el Noroeste en el océano, después dió la vuelta y cruzó la Península durante la noche del 31 de agosto y el día del 1o. de septiembre. En la tarde del 1o. de septiembre se movía hacia el Norte por el interior del Golfo con dirección a San Felipe, donde ocasionó enormes destrozos debido a la fuerza de sus vientos, las grandes marejadas y las lluvias torrenciales con las que azotó al puerto. Después de devastar la costa Oeste del Golfo, ya debilitada, Katrina penetró en la parte Norte de México.

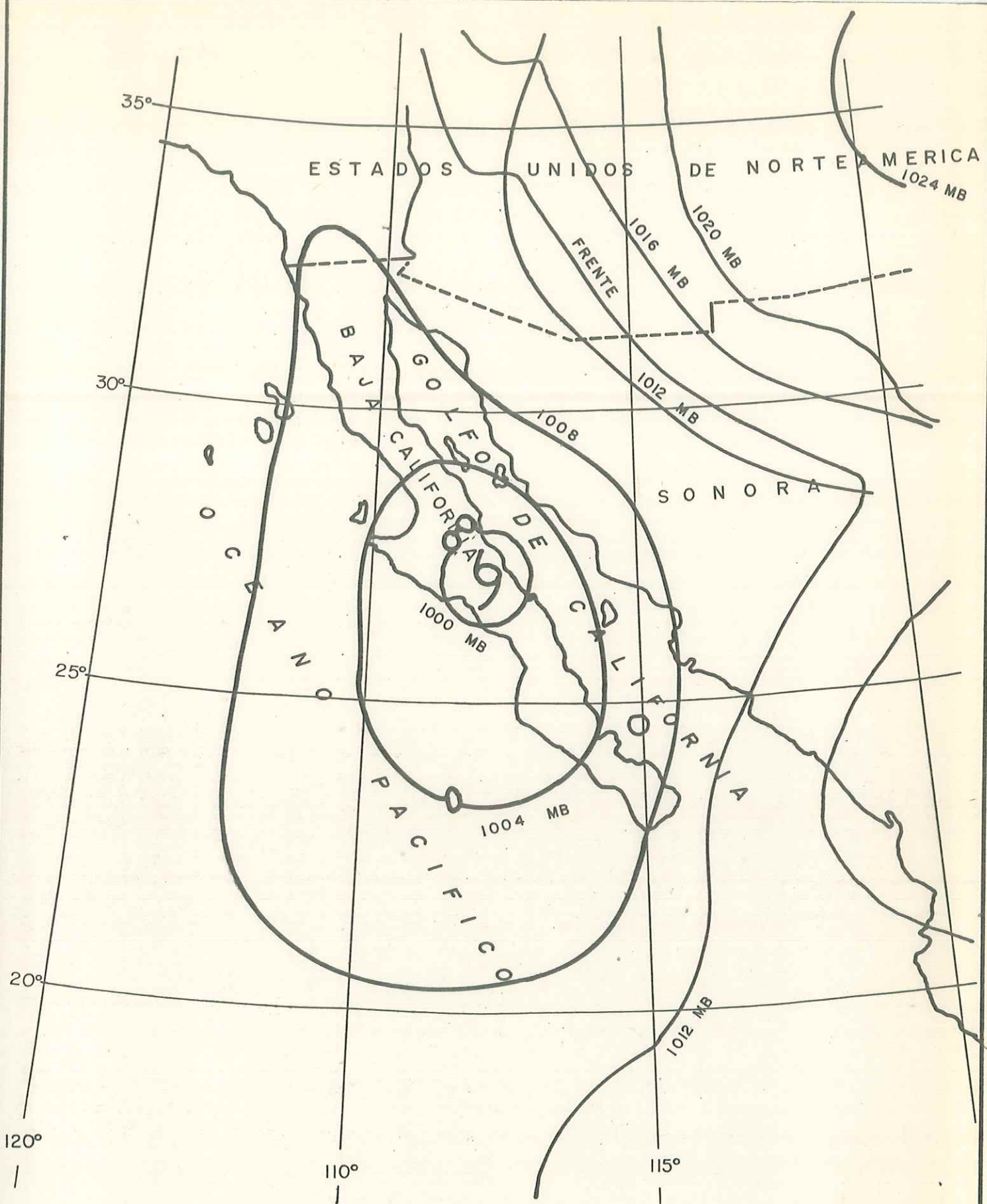
La figura 6.3-1 muestra el mapa sinóptico meteorológico para el nivel del mar, elaborado para el 31 de agosto, cuando los vientos huracanados de Katrina empezaron a afectar la parte Sur del Golfo. La figura 6.3-2 enseña la situación meteorológica al nivel del mar para el 1o. de septiembre de 1967; día en el cual los vientos del Sureste, así como el oleaje, se incrementaban rápidamente en las vecindades de la isla Tiburón.

La evaluación de las olas generadas por Katrina en el área de la Cintura, se realizó con la ayuda del modelo desarrollado por Bretschneider (1972) y publicado en el U.S. Army Corps. of Engineers Shore Protection Manual, volumen I. La figura 6.3-3 muestra las zonas generadoras de oleaje debido al fetch marcado con líneas punteadas, junto con las direcciones estimadas para el viento, expuestas con flechas menores, a intervalos de 6 horas. Además indica la localización del ojo del huracán y la isobara para la presión más baja a las mismas horas.



ISOLINEAS EN MILIBARES

FIG. 6.3-1 HURACAN KATRINA DURANTE EL 31 DE AGOSTO DE 1967.



ISOLINEAS EN MILIBARES

FIG.6.3-2 HURACAN KATRINA DURANTE EL 16. DE SEPTIEMBRE DE 1967.

31 de Agosto  
a las 4 horas PST

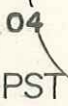


31 de Agosto  
a las 10 horas PST



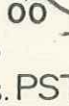
31 de Agosto  
las 16 horas. PST

04



31 de Agosto  
las 22 horas. PST

00



1º de Sep. a  
las 4 horas. PST

04



1º de Sep. a  
las 10 horas. PST

08



CONDICIONES CLIMATOLOGICAS A INTERVALOS DE 6 HRS. DURANTE  
FIG. 6.3-3 EL PASO DEL HURACAN KATRINA.

Basándose en la técnica de Bretschneider y aplicando los valores base expuestos en la tabla 6.3-1 se llegó a los resultados incluidos en la tabla 6.3-2.

TABLA 6.3-1

Valores base para el modelo de Evaluación de Olas generadas por Katrina, elaborado por Bretschneider (1972).

P A R A M E T R O	V A L O R
Latitud	27.4° N
Radio de Viento Máximo (R)	11.73 millas náuticas
Diferencia de Presión ( $\Delta p$ )	0.39 pulgadas de Hg.
Parámetro de Coriolis (f)	0.241
Rapidez de la traslación hacia adelante ( $V_f$ )	12.72 nudos

TABLA 6.3-2

Predicción de las Características del Oleaje generado por la Tormenta dada con el modelo de Bretschneider (1972).

P A R A M E T R O	VALOR CALCULADO
Gradiente máximo de Rapidez del Viento ( $V_{max}$ )	70.7 km/hr.
Rapidez máxima sostenida del Viento ( $U_r$ )	72.9 km/hr.
Altura de la Ola Significante ( $H_o$ )	7.5 m.
Período de la Ola Significante ( $T_s$ )	10.7 seg.
Altura de la Ola Máxima más probable ( $H_n$ )	12.7 m.
Período de la Ola Máxima más probable (T)	13.7 seg.
Fetch efectivo ( $F_e$ )	233.9 km.

#### 6.4. OCEANOGRAFIA DINAMICA.

En esta sección se describirán los resultados obtenidos aplicando los procedimientos indicados dentro del capítulo 5, en su sección cuarta.

Entre los procesos dinámicos que se deben tomar en cuenta para el diseño e instalación de un cable submarino se encuentran el oleaje incidente y aquel generado por tormentas locales, las mareas, ondas internas y *tsunamis*; por ser posibles generadores de corrientes. De estos, sólo las mareas y los *tsunamis* podrían activar transportes considerables muy cerca del fondo.

Hasta la fecha no se ha encontrado ninguna referencia a *tsunamis* generados y observados en la parte superior del Golfo de California por lo cual podemos suponer que los *tsunamis* locales tienen un período de ocurrencia mayor a los cien años. Los tipos restantes de corrientes, generadas por los procesos mencionados en lo anterior, se consideran tener magnitudes menores a 1.0 m/seg. durante un período de recurrencia de cien años, cuando la profundidad a la que se observan excede los 200 m. A esta misma profundidad la probabilidad de una generación de corrientes de turbidez con velocidades elevadas es pequeño.

##### 6.4.1. CORRIENTES.

Las componentes principales de la corriente medida fueron separadas mediante filtros matemáticos, y los resultados se presentan para su análisis, en forma de diagramas.

Subsecuentemente se discutirán los resultados obtenidos con la aplicación de los modelos de predicción tanto para corrientes que podemos considerar *normales*, como para evaluar las corrientes extremas a las que podrá estar sujeto el cable, una vez terminada su instalación.

#### 6.4.1.1. Diagramas de Componentes.

Los siguientes diagramas fueron sintetizados usando la información de las elipses de marea, generadas por el procedimiento indicado en la sección 5.4.1.2.

Para el análisis de las componentes principales de la corriente, se prepararon las figuras 6.4-1 a 6.4-4, que se refieren a la información recabada en la estación B-1. Dicha información fué separada en tres bandas de frecuencia, corrientes con frecuencias más bajas que la marea, iguales a éstas y con frecuencias más altas que la marea. Dentro de las figuras se muestran también dos de las principales fuerzas generadoras de corrientes que son los vientos y la marea.

Las figuras 6.4-1 y 6.4-2 muestran las componentes dirigidas hacia el Este, de la velocidad de la corriente, el viento y la marea, las figuras 6.4-3 y 6.4-4 contienen las componentes dirigidas al Norte. En todas las figuras se dibujó el vector correspondiente al viento, con la dirección hacia donde fluye.

El primer diagrama de la figura 6.4-1 muestra la componente Este de la corriente observada, promediada a cada hora, entre los días 10 - 16 de junio de 1982. El diagrama central contiene los valores filtrados para la corriente generada por la marea y en el diagrama inferior se encuentra la marea observada durante el mismo período de tiempo.

En la figura 6.4-2 se encuentran, en la parte superior, el resultado del filtro de Doodson mencionado en el inciso 5.4.1.2. Estos valores contienen las componentes de corriente con frecuencias más bajas que las de la marea. El diagrama central representa la corriente residual, que incluye las componentes con frecuencias más altas que la

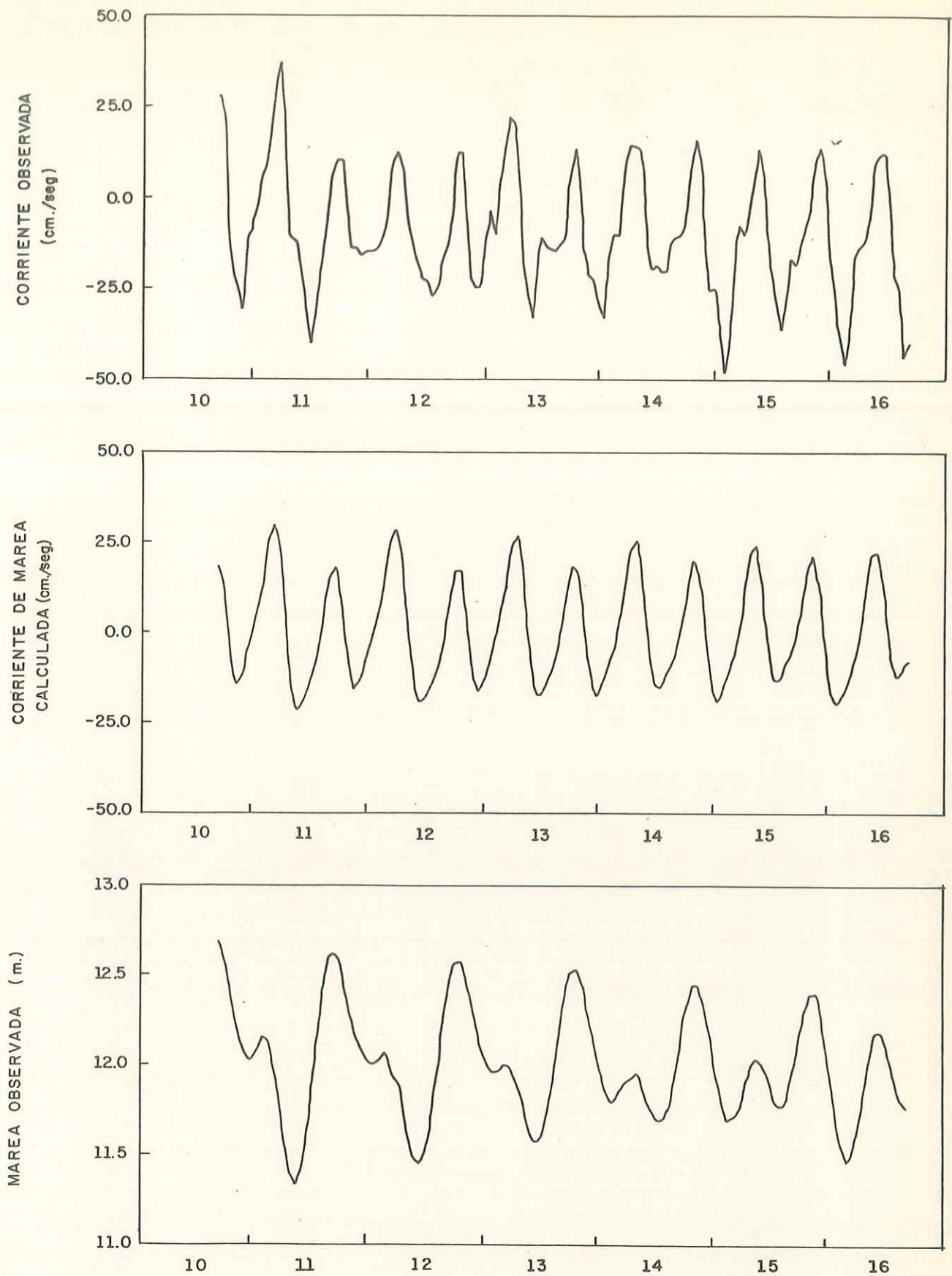


FIG. 6.4-1  
 VARIACION TEMPORAL DE  
 LA COMPONENTE ESTE PARA  
 LAS CORRIENTES EN LA  
 ESTACION B-1 Junio 10-16 de 1982

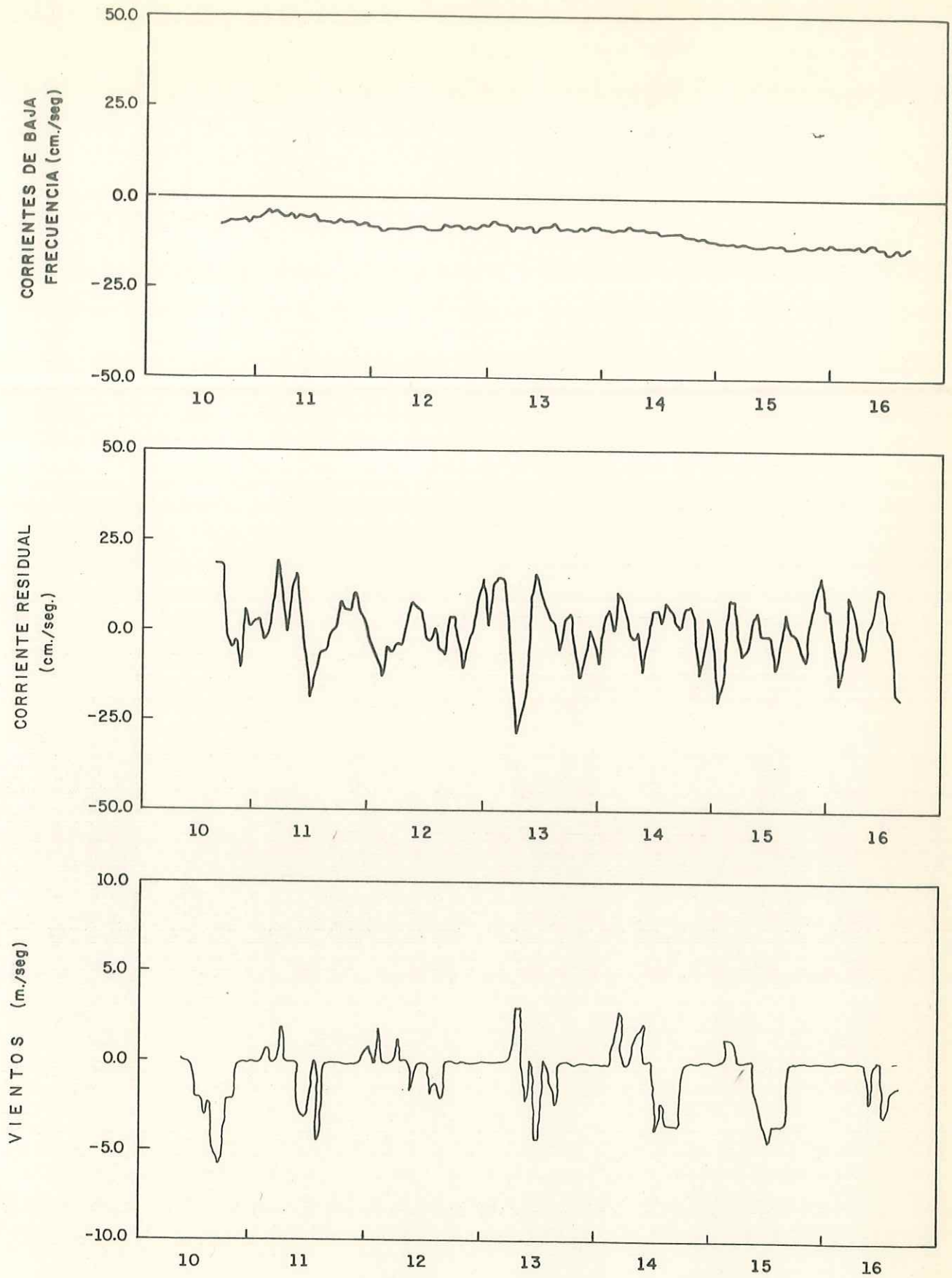


FIG. 6.4-2

VARIACION TEMPORAL DE  
 LA COMPONENTE ESTE PARA  
 LAS CORRIENTES EN LA  
 ESTACION B-1 Junio 10-16 de 1961

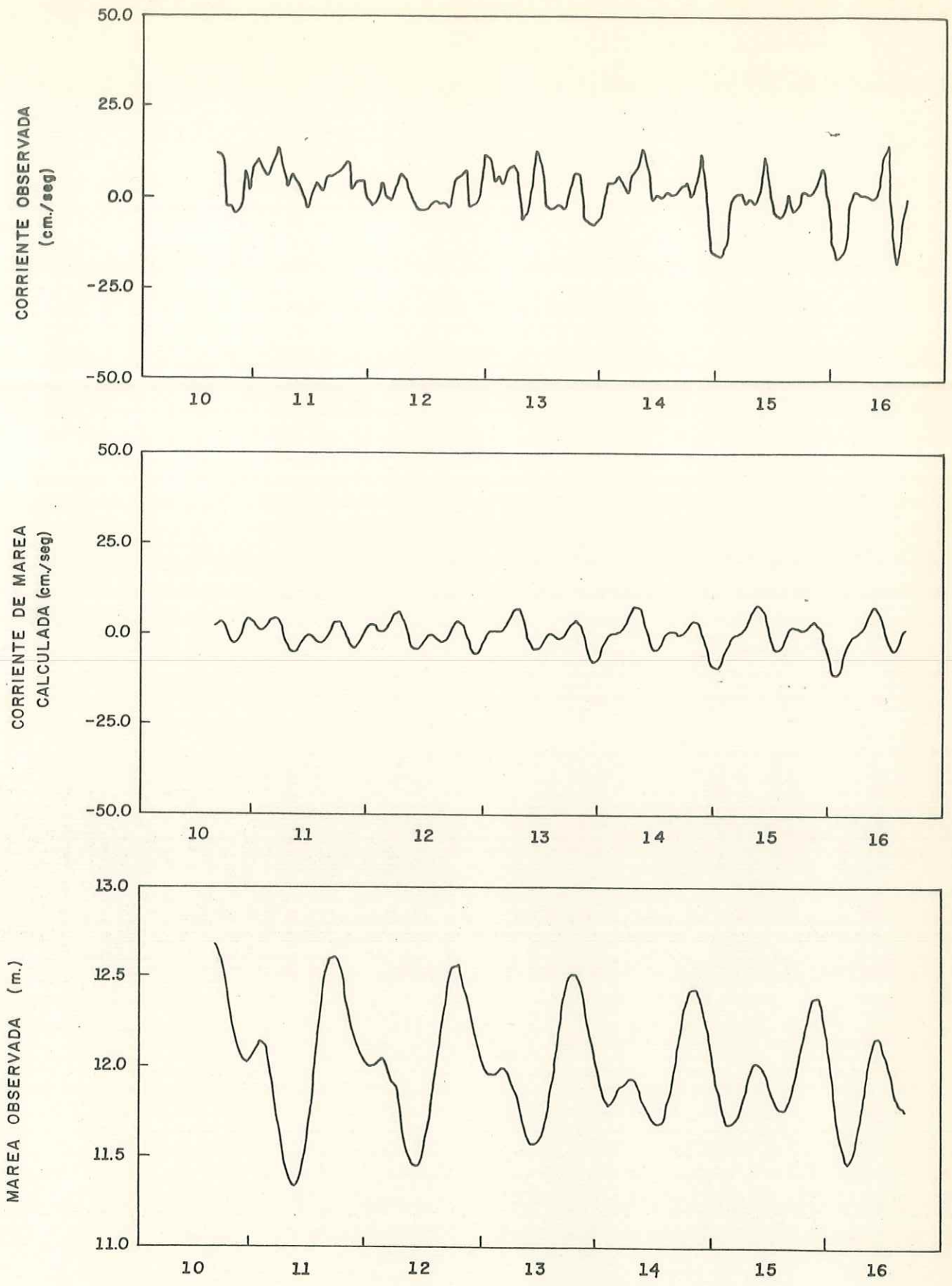


FIG. 6.4-3  
 VARIACION TEMPORAL DE  
 LA COMPONENTE NORTE PARA  
 LAS CORRIENTES EN LA  
 ESTACION B-1 Junio 10-16 de 1982

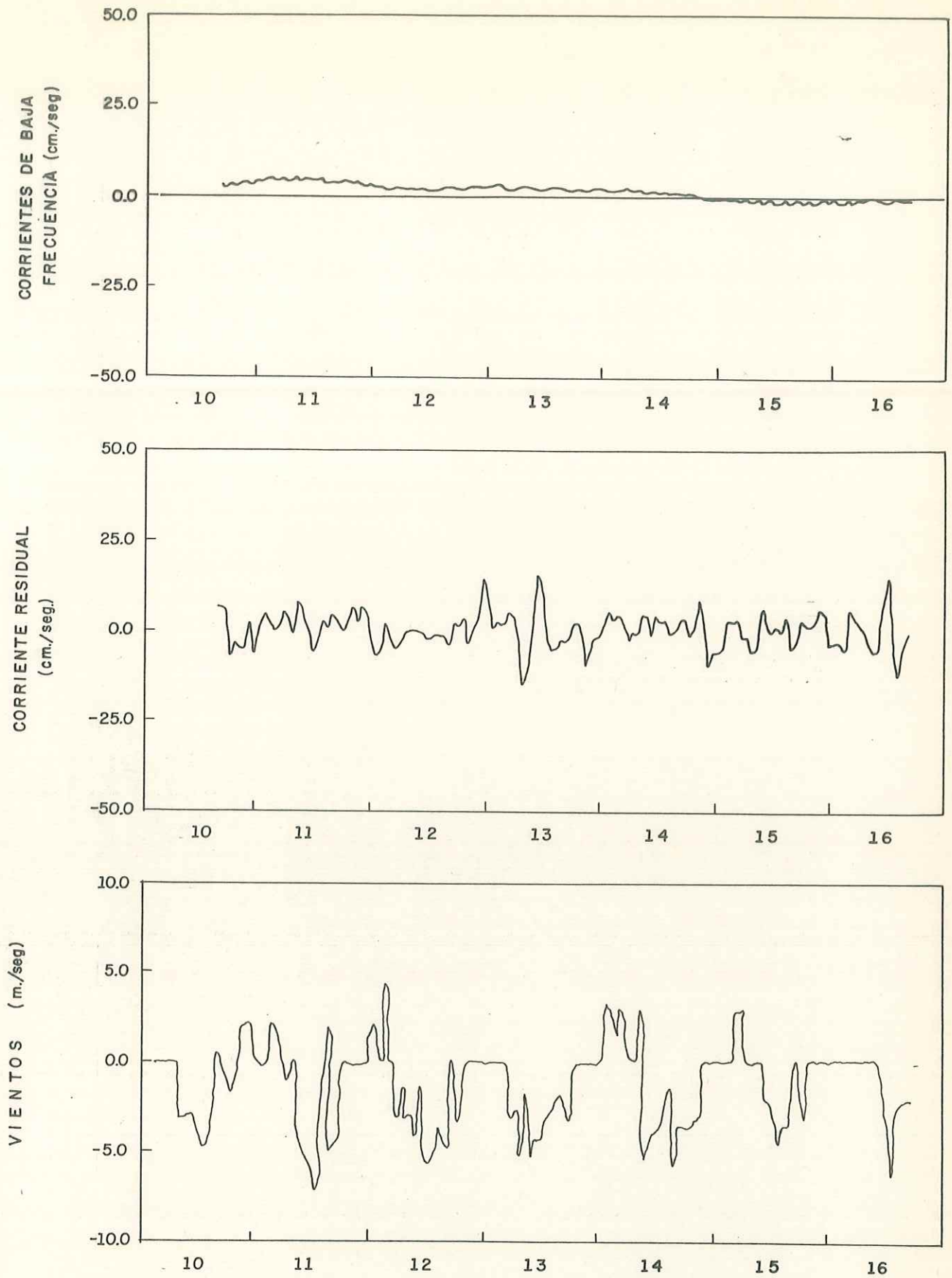


FIG. 6.4-4  
 VARIACION TEMPORAL DE  
 LA COMPONENTE NORTE PARA  
 LAS CORRIENTES EN LA  
 ESTACION B-1 Junio 10-16 de 1982

marea. La suma de estas componentes más la componente debida a las mareas regresa los valores promediados que se muestran en la parte superior de la figura 6.4-1.

El diagrama inferior de la figura 6.4-2 muestra la componente Este de los vientos observados en la estación meteorológica más cercana, la cual está ubicada en la ciudad de Empalme, Son.

Las figuras 6.4-3 y 6.4-4 repiten la información correspondiente a las dos anteriores tomando en cuenta las componentes dirigidas hacia el Norte.

#### 6.4.1.2. Aplicación del modelo de Weibull.

En lo siguiente se exponen los resultados obtenidos por medio de la aplicación del análisis de Weibull, descrito en el inciso 5.4.1.4. Se debe observar que los períodos de medición son comparativamente cortos. Esto es especialmente notable para el registro de la estación B-1. Además, en esta última la frecuencia del muestreo fué inferior a la de la estación C-5. Por lo tanto, la menor consistencia del grupo de datos de la estación B-1 no es un rasgo inesperado. No obstante, los últimos percentiles de los dos conjuntos de información contienen datos que se acercan a una distribución de tipo Weibull. Preliminarmente, estos datos son aplicables para efectuar una estimación acerca de la recurrencia de los flujos que son más rápidos que aquellos observados.

Las consideraciones teóricas para la aplicación que sigue fueron expuestas en el inciso 5.4.1.4. de este documento.

En la estación C-5 el correntógrafo registraba datos promediados durante intervalos consecutivos de cuatro minutos. Por lo tanto, el número de datos por unidad de tiempo ( $q$ ) es como sigue:

Tabla 6.4-1 VALORES DE  $q$ . (Estación C-5)

Unidad de Tiempo	$q$
Horas	15
Días	360
Años (con 365.25 días)	131,490

Las constantes  $b$  y  $c$  de Weibull fueron determinadas mediante los parámetros de la línea recta, que fué ajustada ocularmente a los datos empíricos (ver tabla 6.4-2 y la figura 6.4-5).

Tabla 6.4-2 DATOS BASE PARA EL AJUSTE TIPO WEIBULL EN LA ESTACION C-5.

Clase (cm/seg.)	$\ln v_s^{(*)}$	$\Sigma n$	$\ln (\ln 1/E)$
0 - 40	3.689	3984	1.191
40 - 41	3.714	4036	1.309
41 - 42	3.738	4064	1.392
42 - 43	3.761	4087	1.481
43 - 44	3.784	4096	1.524
44 - 45	3.807	4108	1.595
45 - 46	3.829	4117	1.665
46 - 47	3.850	4123	1.726
47 - 48	3.871	4127	1.780
48 - 49	3.892	4132	1.877
49 - 50	3.912	4133	1.905
50 - 51	3.932	4136	2.033
51 - 52	3.951	4136	2.033
52 - 53	3.970	4137	2.120
53 - 54	3.972	4138	+ $\infty$

(\*)  $v_s$  = límite superior de cada clase.

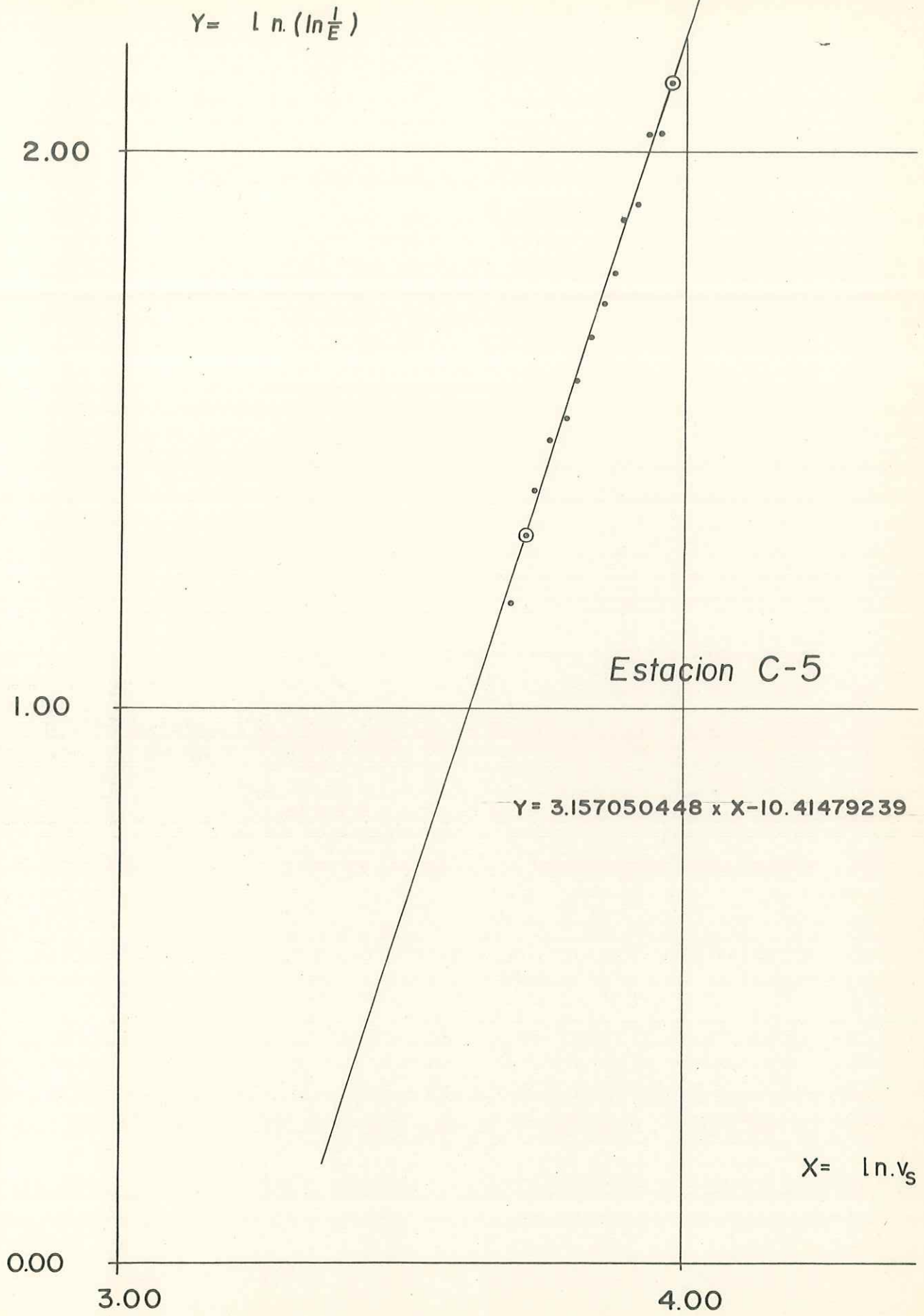
Las magnitudes de las constantes mencionadas, resultaron ser las siguientes:

$$b = 27.083$$

$$c = 3.157$$

Con los valores conocidos de  $b$ ,  $c$  y  $q$  aplicados en la ecuación 5.4-36 se obtienen los resultados expuestos

FIG. 6.4-5  
AJUSTE OCULAR A  
DATOS EMPIRICOS.



en la tabla 6.4-3 que sigue a continuación:

Tabla 6.4-3 TIEMPO PROBABLE DE RECURRENCIA

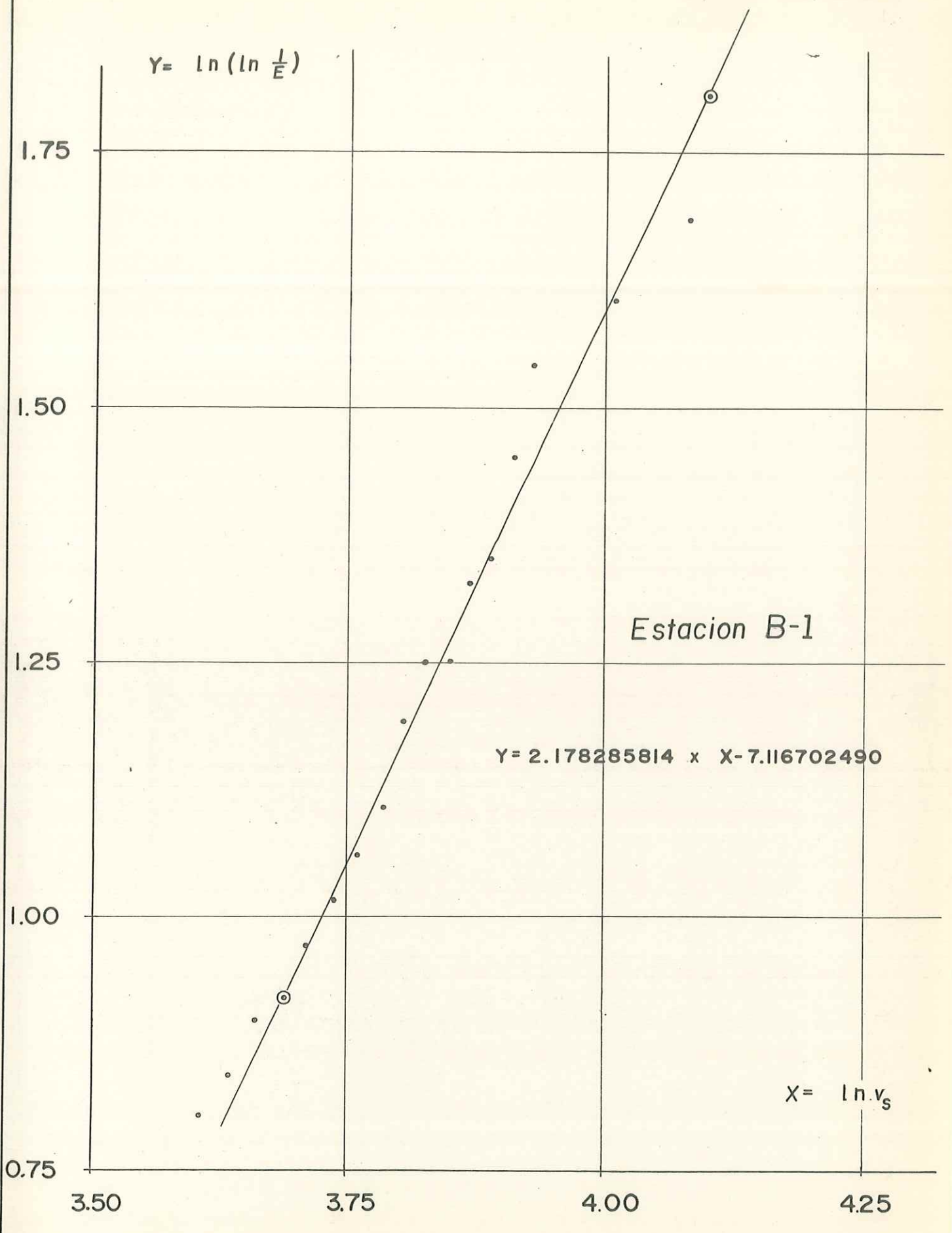
v (cm/seg.)	R (años)
67	352
68	787
69	1 806
70	4 265
71	10 358
72	25 890

La rapidez máxima estimada cerca del fondo de la estación C-5, es obviamente del orden de 70 cm/seg. durante condiciones semejantes a las del estudio. Los valores de la rapidez son, en este caso, comparativamente insensitivos para una variación considerable en el tiempo (R). Se hace notar también que los valores de la rapidez calculada se refieren a una promediación durante cuatro minutos.

El registro de la estación B-1 contiene datos que fueron promediados durante un intervalo de medición igual a 30 segundos. El tiempo de un intervalo al próximo es de 30 minutos. El muestreo es, por lo tanto, intermitente. Si se toma en cuenta la dependencia temporal con agentes externos, tales como vientos y fuerzas que impulsan la marea, se considera que la intensidad del muestreo es adecuada. Paquette (1972) comprobó que las estadísticas de las corrientes fueron confiables, aún cuando el submuestreo del conjunto de datos se efectuó con intervalos de hasta 40 minutos. Empero, sus datos no incluyen mediciones en aguas someras.

Los datos empíricos (tabla 6.4-4 y la figura 6.4-6) muestran una variación alrededor de la curva teórica,

FIG. 6.4-6  
AJUSTE OCULAR A  
DATOS EMPIRICOS.



ajustada ocularmente, algo más grande que la que se encontró para la información de la estación C-5. Aún así, se considera que el resultado puede ser aplicado para los fines de predicción enmarcados por este estudio.

Tabla 6.4-4 DATOS BASE PARA EL AJUSTE TIPO WEIBULL EN LA ESTACION B-1

Clase (cm/seg.)	$\ln v_s$ (*)	$\Sigma n$	$\ln (\ln 1/E)$
0 - 35	3.555	379	0.765
35 - 36	3.584	379	0.765
36 - 37	3.611	383	0.803
37 - 38	3.638	387	0.843
38 - 39	3.664	392	0.896
39 - 40	3.689	394	0.919
40 - 41	3.714	398	0.966
41 - 42	3.738	402	1.017
42 - 43	3.761	405	1.059
43 - 44	3.784	408	1.104
44 - 45	3.807	413	1.191
45 - 46	3.829	416	1.252
46 - 47	3.850	416	1.252
47 - 48	3.871	419	1.324
48 - 49	3.892	420	1.352
49 - 50	3.912	423	1.452
50 - 51	3.932	425	1.542
54 - 55	4.007	426	1.602
58 - 59	4.078	427	1.681
59 - 60	4.094	428	1.802
62	4.127	429	+ $\infty$

(\*)  $v_s$  = límite superior de cada clase.

La promediación durante intervalos consecutivos de 30 segundos puede efectuarse 120 veces por hora. Aún cuando el flujo no sea medido tendrá, obviamente, una actuación potencial sobre un cable tendido en el fondo. Suponiendo que la distribución frecuencial intermitente es representativa para su correspondiente conjunto de datos consecutivos, podemos utilizar la información empírica con fines de predicción, tomando en cuenta el siguiente número de datos por unidad de tiempo.

Tabla 6.4-5 VALORES DE  $q$ . (Estación B-1)

Unidad de tiempo	$q$
Hora	120
Día	2 880
Año (con 365.25 días)	1 051 920

Las constantes  $b$  y  $c$  fueron calculadas por medio de la ecuación de la línea graficada en la figura 6.4-6 y son las que se indican a continuación:

$$b = 26.235$$

$$c = 2.178$$

Las magnitudes significativas para velocidades altas y su tiempo correspondiente de recurrencia se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 6.4-6 TIEMPO PROBABLE DE RECURRENCIA.

$v$ (cm/seg.)	$R$ (años)
100.0	242
102.5	651
105.0	1 807
107.5	5 168
110.0	15 241
112.5	46 354

Tomando en cuenta el tiempo de vida útil estimado para un cable submarino, parece improbable encontrar flujos con una rapidez promedio arriba de los 105 cm/seg. cerca del fondo en la estación B-1. La rapidez limitante se refiere a valores promediados durante 30 segundos y en condiciones semejantes a las que dominaban durante el tiempo de medición, es decir, que para temporadas de tormentas se requiere de otro tipo de análisis.

#### 6.4.1.3. Corrientes a lo largo de la Costa.

Para el estudio de las corrientes a lo largo de la costa se escogieron tres lugares, uno en la Península de Baja California, centro de la zona A; otro en la isla Tiburón, dentro de la zona B y el último en el Continente, dentro de la zona D. En el análisis de estas corrientes se deben tomar en cuenta las características de las olas y de la rompiente.

Las tablas 6.4-7 a 6.4-10 muestran los datos calculados de las olas, la rompiente y las corrientes a lo largo de la costa, cuando las crestas de las olas, que llegan de aguas profundas, forman ángulos de  $0^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $60^\circ$ , con los contornos de profundidad. Estas tablas cubren el rango de alturas, períodos y pendientes del fondo relevantes para los tres sitios de interconexión tierra-mar considerados. Están formados por once columnas que enlistan los siguientes conceptos:

- Columna 1.- Altura de la ola significativa, en aguas profundas  $H_{os}$  (metros).
- Columna 2.- Altura en la rompiente, correspondiente a la columna 1 y utilizando el criterio de Miche  $H_r-M$  (metros).
- Columna 3.- Longitud entre dos crestas sucesivas, en la rompiente  $L_r$  (metros).
- Columna 4.- Angulo formado entre la línea de rompiente y la línea de costa  $ALF_{Ar}$  (grados).
- Columna 5.- Profundidad del agua en la rompiente  $d_r$  (metros).
- Columna 6.- Altura en la rompiente según el criterio de Le Mehaute - Koh, sobre un fondo con pendiente igual a 0.001, correspondiente a la zona D  $H_r-MK1$  (metros).



TABLA 6.4-8

CORRIENTES A LO LARGO DE LA COSTA PARA DIFERENTES CONDICIONES ; ANGULO DE INCIDENCIA IGUAL A 45.0 GRADOS.

+++++										
ALTURAS DE	OLAS	LON. OLA	ANGULO	PROF.	ALTURAS EN LA ROMPIENTE			RAPIDEZ DE LA CORRIENTE		
Hos	Hr-M	Lr	ALFAr	dr	Hr-MK1	Hr-MK2	Hr-MK3	Rp1	Rp2	Rp3
(m)	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/seg)	(m/seg)	(m/seg)
+++++										
<u>CARACTERISTICAS INICIALES ; T = 10 seg. ; L = 178.34 m.</u>										
13.01	11.00	110.76	30.10	15.61	6.04	8.38	0.00	0.00	0.00	0.00
11.58	9.85	104.84	28.34	13.56	5.52	7.68	8.47	0.41	3.02	5.94
10.97	9.34	102.10	27.53	12.70	5.30	7.38	8.14	0.39	2.92	5.76
10.36	8.85	99.40	26.75	11.89	5.09	7.04	7.80	0.37	2.82	5.58
9.75	8.38	96.72	25.97	11.14	4.85	6.74	7.44	0.35	2.72	5.36
9.14	7.93	94.08	25.21	10.43	4.63	6.43	7.10	0.33	2.62	5.18
8.53	7.44	91.13	24.37	9.67	4.39	6.10	6.74	0.31	2.61	5.06
7.92	6.97	88.19	23.54	8.97	4.15	5.76	6.37	0.47	2.47	4.82
7.32	6.47	84.95	22.62	8.24	3.90	5.43	6.00	0.42	2.33	4.54
6.71	6.00	81.79	21.73	7.56	3.66	5.09	5.61	0.38	2.19	4.27
6.10	5.55	78.71	20.88	6.94	3.41	4.72	5.24	0.34	2.05	4.02
<u>CARACTERISTICAS INICIALES ; T = 11 seg. ; L = 215.75 m.</u>										
13.01	11.11	122.48	27.28	15.04	6.31	8.70	0.00	0.00	0.00	0.00
11.58	9.97	116.00	25.72	13.20	5.79	8.05	8.87	0.39	2.96	5.85
10.97	9.51	113.30	25.08	12.48	5.55	7.71	8.53	0.37	2.87	5.67
10.36	9.00	110.20	24.35	11.69	5.33	7.41	8.17	0.62	2.90	5.61
9.75	8.57	107.58	23.73	11.06	5.09	7.07	7.80	0.57	2.79	5.39
9.14	8.10	104.55	23.03	10.35	4.85	6.74	7.44	0.53	2.66	5.15
8.53	7.64	101.57	22.34	9.70	4.60	6.40	7.07	0.49	2.53	4.94
7.92	7.14	98.21	21.56	8.99	4.36	6.07	6.68	0.44	2.39	4.66
7.32	6.68	94.93	20.81	8.34	4.11	5.70	6.28	0.40	2.26	4.42
6.71	6.18	91.32	19.98	7.66	3.84	5.33	5.88	0.34	2.11	4.15
6.10	5.71	87.82	19.19	7.03	3.57	4.97	5.49	0.32	1.97	3.87
<u>CARACTERISTICAS INICIALES ; T = 13 seg. ; L = 263.98 m.</u>										
13.01	11.51	147.35	23.25	14.77	6.86	9.54	0.00	0.00	0.00	0.00
11.58	10.35	139.67	21.98	13.08	6.28	8.75	9.66	0.64	3.20	5.94
10.97	9.93	136.85	21.51	12.49	6.04	8.41	9.27	0.65	3.11	5.55
10.36	9.45	133.46	20.95	11.82	5.79	8.05	8.87	0.56	2.71	5.30
9.75	8.90	129.56	20.31	11.07	5.52	7.68	8.47	0.51	2.60	5.06
9.14	8.46	126.32	19.78	10.47	5.27	7.32	8.08	0.47	2.48	4.85
8.53	7.97	122.59	19.17	9.81	5.00	6.95	7.68	0.43	2.35	4.60
7.92	7.50	118.94	18.58	9.18	4.72	6.58	7.25	0.39	2.23	4.36
7.32	7.00	114.85	17.92	8.52	4.45	6.19	6.83	0.36	2.09	4.11
6.71	7.43	110.87	17.28	7.90	4.18	5.79	6.40	0.32	1.96	3.84
6.10	6.02	106.52	16.58	7.25	3.90	5.39	5.97	0.29	1.82	3.60

TABLA 6.4-9

CORRIENTES A LO LARGO DE LA COSTA PARA DIFERENTES CONDICIONES ; ANGULO DE INCIDENCIA IGUAL A 22.5 GRADOS.

+++++										
ALTURAS DE OLAS	OLON.	OLA	ANGULO	PROF.	ALTURAS EN LA ROMPIENTE			RAPIDEZ DE LA CORRIENTE		
Hoz	Hr-M	Lr	ALFAR	dr	Hr-MK1	Hr-MK2	Hr-MK3	Rp1	Rp2	Rp3
(m)	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/seg)	(m/seg)	(m/seg)
+++++										
<u>CARACTERISTICAS INICIALES ; T = 10 seg. ; L = 178,34 m.</u>										
13.01	11.83	114.87	16.35	17.20	6.64	9.27	0.00	0.00	0.00	0.00
11.58	10.63	108.91	15.48	14.94	6.10	8.47	9.36	0.29	1.99	3.90
10.97	10.10	103.70	15.07	13.99	5.85	8.14	8.99	0.27	1.92	3.75
10.36	9.58	103.39	14.67	13.10	5.61	7.80	8.63	0.25	1.84	3.63
9.75	9.08	100.67	14.28	12.27	5.36	7.44	8.23	0.24	1.76	3.47
9.14	8.60	97.98	13.89	11.49	5.12	7.10	7.83	0.22	1.69	3.32
8.53	8.08	94.93	13.45	10.65	4.85	6.74	7.44	0.21	1.60	3.17
7.92	7.58	92.87	13.02	9.88	4.60	6.37	7.04	0.33	1.59	3.08
7.32	7.10	89.01	12.60	9.16	4.33	6.00	6.64	0.30	1.50	2.90
6.71	6.59	85.74	12.13	8.41	4.05	5.64	6.22	0.27	1.40	2.72
6.10	6.06	82.20	11.62	7.65	3.78	5.24	5.79	0.25	1.30	2.53
<u>CARACTERISTICAS INICIALES ; T = 11 seg. ; L = 215,75 m.</u>										
13.01	12.01	127.35	14.94	16.57	6.98	9.69	0.00	0.00	0.00	0.00
11.58	10.80	120.76	14.15	14.53	6.40	8.90	9.81	0.27	1.92	3.70
10.97	10.32	118.01	13.82	13.75	6.16	8.53	9.42	0.25	1.84	3.63
10.36	9.84	115.28	13.50	13.00	5.88	8.17	9.02	0.24	1.77	3.51
9.75	9.31	112.12	13.12	12.18	5.61	7.80	8.63	0.22	1.69	3.35
9.14	8.81	109.04	12.76	11.41	5.36	7.44	8.23	0.38	1.71	3.29
8.53	8.32	105.98	12.39	10.68	5.09	7.07	7.80	0.34	1.62	3.14
7.92	7.79	102.52	11.98	9.91	4.82	6.68	7.38	0.31	1.52	2.94
7.32	7.28	99.14	11.58	9.19	4.54	6.31	6.95	0.28	1.43	2.77
6.71	6.80	95.84	11.19	8.52	4.24	5.91	6.52	0.25	1.34	2.61
6.10	6.24	91.79	10.71	7.74	3.96	5.49	6.07	0.23	1.24	2.41
<u>CARACTERISTICAS INICIALES ; T = 13 seg. ; L = 263,98 m.</u>										
13.01	12.52	153.67	12.87	16.27	7.59	10.55	0.00	0.00	0.00	0.00
11.58	11.37	146.42	12.26	14.55	6.95	9.66	10.67	0.47	2.05	3.81
10.97	10.83	142.87	11.95	13.77	6.68	9.27	10.24	0.43	1.97	3.66
10.36	10.30	139.39	11.66	13.02	6.40	8.90	9.81	0.39	1.88	3.47
9.75	9.80	135.97	11.37	12.32	6.13	8.50	9.39	0.36	1.66	3.20
9.14	9.32	132.59	11.08	11.65	5.82	8.11	8.93	0.35	1.59	3.08
8.53	8.78	128.70	10.75	10.91	5.52	7.68	8.47	0.30	1.49	2.89
7.92	8.27	124.87	10.43	10.21	5.24	7.28	8.02	0.29	1.41	2.74
7.32	7.71	120.61	10.07	9.46	4.94	6.86	7.56	0.24	1.31	2.56
6.71	7.19	116.47	9.72	8.78	4.60	6.40	7.07	0.22	1.23	2.40
6.10	6.64	111.93	9.34	8.06	4.30	5.97	6.58	0.19	1.13	2.23

TABLA 6.4-10

CORRIENTES A LO LARGO DE LA COSTA PARA DIFERENTES  
CONDICIONES Y ANGULO DE INCIDENCIA IGUAL A 0.0 GRADOS.

+++++										
ALTURAS DE	OLAS	LON. OLA	ANGULO	PROF.	ALTURAS EN LA ROMPIENTE			RAPIDEZ DE LA CORRIENTE		
Hoz	Hr-M	Lr	ALFAr	dr	Hr-MK1	Hr-MK2	Hr-MK3	Rp1	Rp2	Rp3
(m)	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/seg)	(m/seg)	(m/seg)
+++++										
<u>CARACTERISTICAS INICIALES : T = 10 seg. ; L = 178.34 m.</u>										
13.01	12.07	116.03	0.00	17.66	6.86	9.54	10.52	0.00	0.00	0.00
11.58	10.85	110.04	0.00	15.34	6.28	8.72	9.63	0.00	0.00	0.00
10.97	10.31	107.26	0.00	14.37	6.04	8.38	9.27	0.00	0.00	0.00
10.36	9.79	104.51	0.00	13.45	5.79	8.05	8.87	0.00	0.00	0.00
9.75	9.28	101.78	0.00	1.32	5.52	7.68	8.47	0.00	0.00	0.00
9.14	8.80	99.07	0.00	11.80	5.27	7.32	8.08	0.00	0.00	0.00
8.53	8.26	96.00	0.00	10.94	5.00	6.95	7.60	0.00	0.00	0.00
7.92	7.75	92.98	0.00	10.15	4.72	6.58	7.25	0.00	0.00	0.00
7.32	7.27	90.04	0.00	9.41	4.45	6.19	6.83	0.00	0.00	0.00
6.71	6.74	86.75	0.00	8.64	4.18	5.79	6.40	0.00	0.00	0.00
6.10	6.20	83.18	0.00	7.85	3.87	5.39	5.94	0.00	0.00	0.00
<u>CARACTERISTICAS INICIALES : T = 11 seg. ; L = 215.75 m.</u>										
13.01	12.22	128.45	0.00	16.93	7.19	10.00	11.03	0.00	0.00	0.00
11.58	11.08	122.33	0.00	15.00	6.58	9.14	10.12	0.00	0.00	0.00
10.97	10.59	119.56	0.00	14.19	6.34	8.81	9.72	0.00	0.00	0.00
10.36	10.02	116.31	0.00	13.29	6.07	8.41	9.30	0.00	0.00	0.00
9.75	9.56	113.64	0.00	12.57	5.79	8.05	8.90	0.00	0.00	0.00
9.14	9.05	110.53	0.00	11.77	5.52	7.68	8.47	0.00	0.00	0.00
8.53	8.55	107.44	0.00	11.02	5.24	7.28	8.05	0.00	0.00	0.00
7.92	8.00	103.95	0.00	10.22	4.97	6.89	7.62	0.00	0.00	0.00
7.32	7.49	100.54	0.00	9.48	4.66	6.49	7.16	0.00	0.00	0.00
6.71	6.94	96.77	0.00	8.70	4.36	6.07	6.71	0.00	0.00	0.00
6.10	6.42	93.11	0.00	7.99	4.08	5.67	6.25	0.00	0.00	0.00
<u>CARACTERISTICAS INICIALES : T = 13 seg. ; L = 263.98 m.</u>										
13.01	12.86	155.71	0.00	16.79	7.80	10.85	12.01	0.00	0.00	0.00
11.58	11.59	147.80	0.00	14.87	7.16	9.97	11.00	0.00	0.00	0.00
10.97	11.13	144.87	0.00	14.21	6.89	9.57	10.55	0.00	0.00	0.00
10.36	10.60	141.36	0.00	13.44	6.58	9.14	10.12	0.00	0.00	0.00
9.75	10.09	137.90	0.00	12.71	6.31	8.75	9.66	0.00	0.00	0.00
9.14	9.51	133.90	0.00	11.91	6.00	8.35	9.20	0.00	0.00	0.00
8.53	8.96	130.00	0.00	11.15	5.70	7.92	8.75	0.00	0.00	0.00
7.92	8.44	126.18	0.00	10.44	5.39	7.50	8.26	0.00	0.00	0.00
7.32	7.88	121.88	0.00	9.68	5.06	7.04	7.80	0.00	0.00	0.00
6.71	7.35	117.71	0.00	8.98	4.75	6.61	7.28	0.00	0.00	0.00
6.10	6.79	113.12	0.00	8.24	4.42	6.16	6.80	0.00	0.00	0.00

- Columna 7.- Altura de rompiente según el criterio de Le Mehaute - Koh, sobre un fondo con pendiente igual a 0.01, correspondiente a la zona D Hr-MK2 (metros).
- Columna 8.- Altura de rompiente según el criterio de Le Mehaute - Koh, sobre un fondo con pendiente igual a 0.02, correspondiente a las zonas A y B Hr-MK3 (metros).
- Columna 9.- Rapidez de la corriente a lo largo de la costa, inducida por el oleaje, para una pendiente igual a 0.001 Rp1 (m/seg.)
- Columna 10.- Rapidez de la corriente a lo largo de la costa, inducida por el oleaje, para una pendiente igual a 0.01 Rp2 (m/seg.)
- Columna 11.- Rapidez de la corriente a lo largo de la costa, inducida por el oleaje, para una pendiente de 0.02 Rp3 (m/seg.)

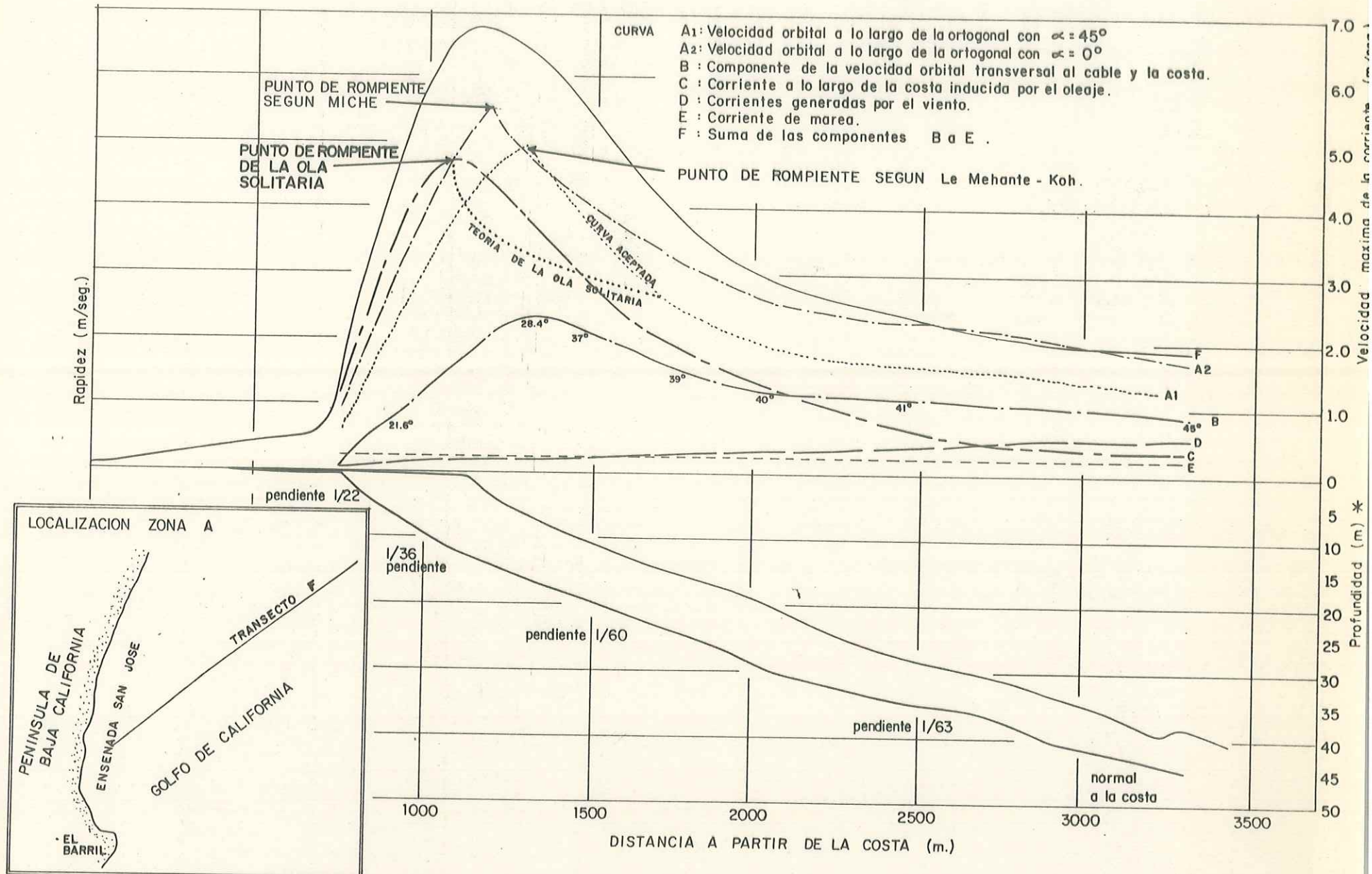
En la sección 6.3 se trató la magnitud calculada para la altura de la ola significativa para el diseño. La primera línea de cada tabla contiene los resultados para la ola máxima, en la cual no se deben de considerar la magnitud para la corriente a lo largo de la costa. No obstante, la altura máxima de la rompiente y la profundidad a la cual se presenta dicha rompiente, son necesarias para el cálculo de la componente de la velocidad orbital de las partículas de agua cerca del fondo, la cual es considerada perpendicular al cable, que en este caso corre normal a la costa.

Los datos, expuestos en las tablas mencionadas, muestran que las olas, que inciden en la costa con un ángulo comparativamente grande, pueden impulsar corrientes de velocidad considerable. Sin embargo, debido a la refracción, la línea de

rompiente presenta la tendencia a alinearse con la costa, lo cual trae como consecuencia una disminución en el ángulo de incidencia. También se observa que la componente del momento, dirigida a lo largo de la costa, va disminuyendo directamente proporcional a la magnitud del ángulo de incidencia, hasta llegar al valor de cero cuando las crestas se vuelven paralelas a la línea de costa, como se puede observar en la tabla 6.4-7.

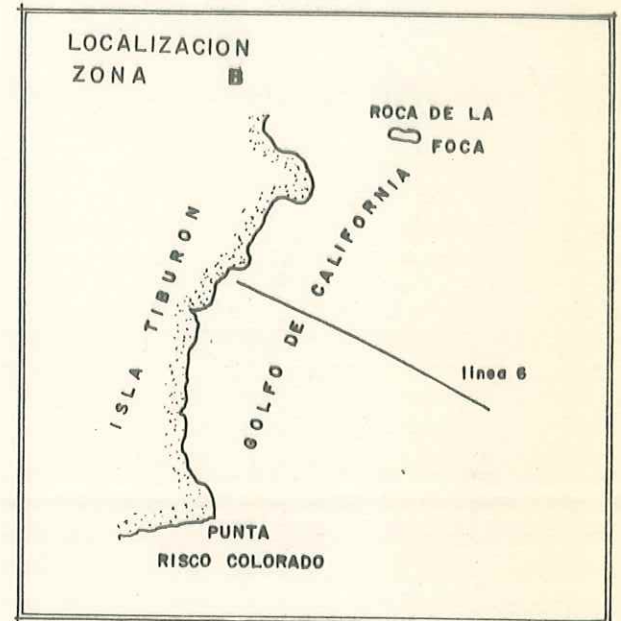
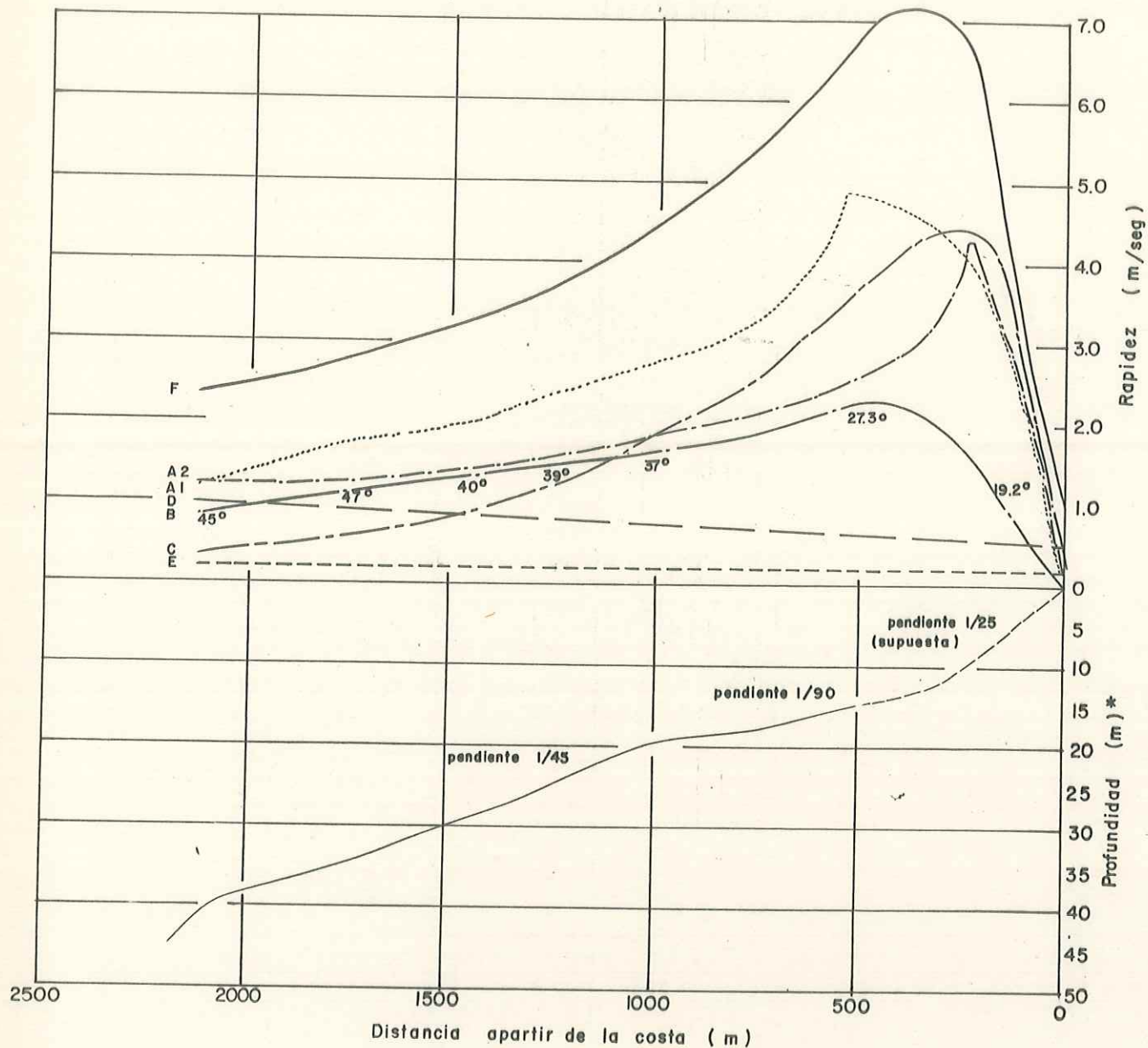
Por otra parte se puede observar que para olas que en aguas profundas tienen valores de  $H_0$  y  $\alpha_0$  definidos, existe una disminución en la magnitud de la velocidad de la corriente generada por las mismas, cuando se aplican valores sucesivamente más grandes para el período. Esto es debido a que existe una relación directa entre la magnitud del período y el efecto provocado por la refracción; y a mayor refracción se observa un ángulo menor de incidencia.

En las zonas muy cercanas a la costa, donde el cable debe hacer conexión con tierra, las corrientes paralelas a la costa alcanzan sus valores máximos de rapidez en las aguas cercanas al fondo. Con el objeto de analizar a que fuerzas estará sujeto el cable, a medida que se vaya acercando a la costa y suponiendo que su instalación será normal a la línea de costa; se elaboraron las figuras 6.4-7 a 6.4-9, que representan las condiciones pronosticadas para la zona A, B y D respectivamente. Estas figuras contienen un perfil batimétrico, representativo para cada zona, junto con las diferentes componentes de la corriente que fluye a lo largo de la costa. En cada caso la dirección hacia el Este se encuentra a la derecha, lo cual explica el porqué la figura 6.4-11, que representa la zona del lado peninsular, se vea diferente a las otras dos, que corresponden al lado opuesto.



\* Profundidad referida al nivel de baja mar media inferior.

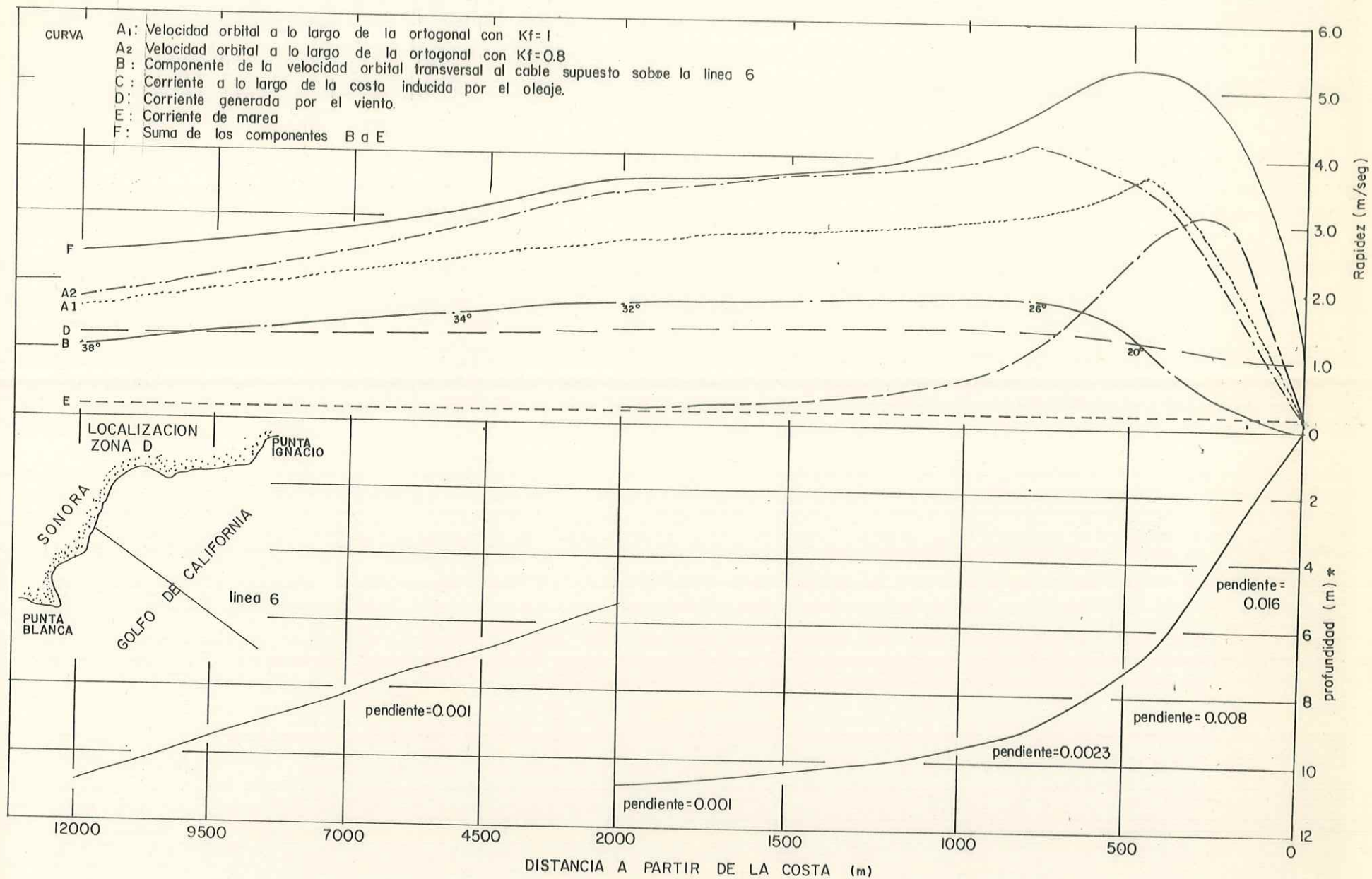
FIGURA 6.4-7 Componentes a lo largo de la costa, de las corrientes maximas calculadas para la zona A



- A1: Velocidad orbital a lo largo de la ortogonal con  $\theta = 45^\circ$   
 A2: Velocidad orbital a lo largo de la ortogonal con  $\theta = 0^\circ$   
 B: Componente de la velocidad orbital transversal al cable y la costa.  
 C: Corriente a lo largo de la costa inducida por el oleaje.  
 D: Corrientes generadas por el viento.  
 E: Corriente de marea.  
 F: Suma de las componentes B a E.

FIGURA 6.4-8 Componentes a lo largo de la costa, de las corrientes maximas calculadas para la zona B

\* Profundidad, referida al nivel de baja mar media inferior.



\* Profundidad referida al nivel de baja mar media inferior.

FIGURA 6.4-9 Componentes a lo largo de la costa, de las corrientes máximas calculadas para la zona D

La velocidad orbital de la ola cerca del fondo, actúa en la dirección de las ortogonales, es decir, en la dirección del desplazamiento de las crestas incidentes. Esta dirección se vuelve por la refracción más y más perpendicular a la línea de costa, a medida que las crestas se acercan a la misma. Inicialmente, cuando las crestas se encuentran entre profundidades de 50 a 100 metros, pueden tender diferentes ángulos con la línea costera y con el cable. Generalmente existe una componente de la velocidad orbital de la ola normal al último y a lo largo de la costa, aunque a menudo es comparativamente pequeña cerca de la playa, debido a la refracción mencionada.

En conjunto con la curva que representa la componente de la velocidad orbital normal al cable se encuentran indicaciones numéricas del ángulo que se forma entre la cresta de la ola y el cable normal a la costa en diferentes profundidades. Esta componente, así como las demás componentes de la corriente costera, se consideran independientes y aditivas. La corriente resultante de la suma de ellas también se muestra en las figuras.

La componente orbital actuará sobre el cable, en forma de pulsaciones con la frecuencia de las olas, mientras que las otras componentes actuarán de manera más continua durante períodos de minutos, cuando los grupos de olas máximas lleguen a la costa. Las figuras contienen anotaciones acerca de las condiciones supuestas para cada componente de la corriente paralela a la costa.

Como puede observarse en la figura 6.4-11, la rompiente se encuentra entre los 1 000 y 1 200 metros fuera de la costa peninsular y la corriente total, bajo condiciones extremas, puede en esa zona alcanzar cerca de los 7 m/seg. Para distancias entre 0 y 750 metros de la costa dicha corriente no sobrepasará una rapidez de 1 m/seg.

La figura 6.4-12 corresponde a la zona B, adyacente a la isla Tiburón. En esta zona la rapidez de la corriente a lo largo de la costa rebasa los 7 m/seg. a menos de 500 metros de la costa, donde se forma la rompiente. A una distancia de 200 metros afuera de la isla llega a tener una rapidez de 4 m/seg.

En cuanto a la zona D, en la margen continental, la rompiente se encuentra entre los 200 y 600 metros de la costa y se generan corrientes que exceden los 5 m/seg. A los 200 metros de distancia tienen una rapidez probable un poco mayor de 3 m/seg.

Como se observa, las olas máximas que pueden llegar a incidir en las tres zonas contempladas, son de dimensiones considerables, cuando se trata de casos bajo condiciones extremas. De las tres zonas analizadas, la que se encuentra en la isla Tiburón presenta las características más severas. Por lo tanto, tomando en cuenta la seguridad del cable, es recomendable excluir el paso del mismo sobre la isla mencionada y considerar una ruta alternativa, que vaya del Continente a la Península, sin tocar tierra intermedia.

## 6.5. FÍSICO - QUÍMICA MARINA.

En esta sección se describirá la distribución de las propiedades físico-químicas del agua de mar encontradas en la zona durante el estudio, tanto en la superficie como en el fondo.

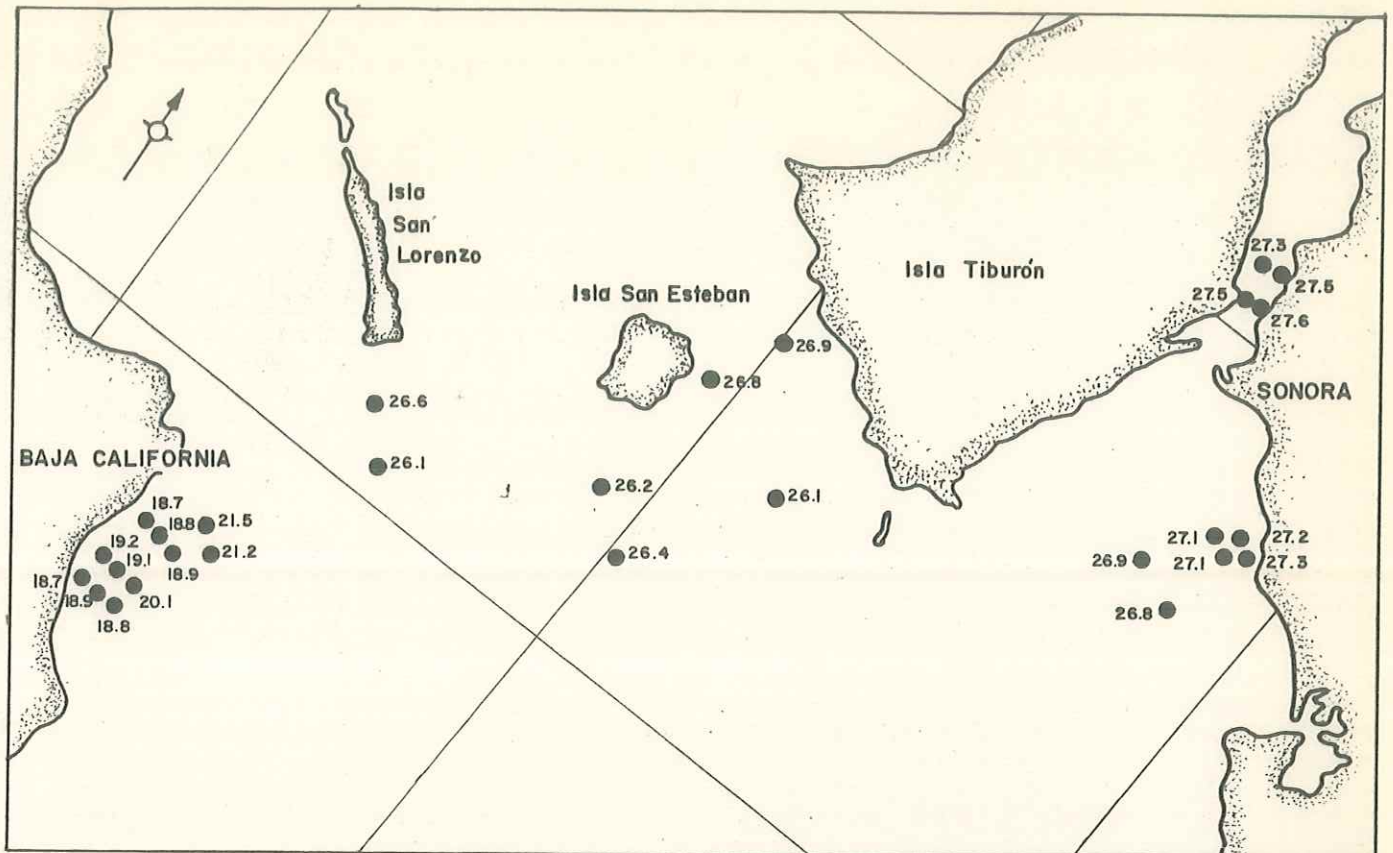
La información recabada en cuanto a temperatura, salinidad, oxígeno disuélto y la potencial de hidrógeno, será expuesta a continuación:

### 6.5.1. TEMPERATURA.

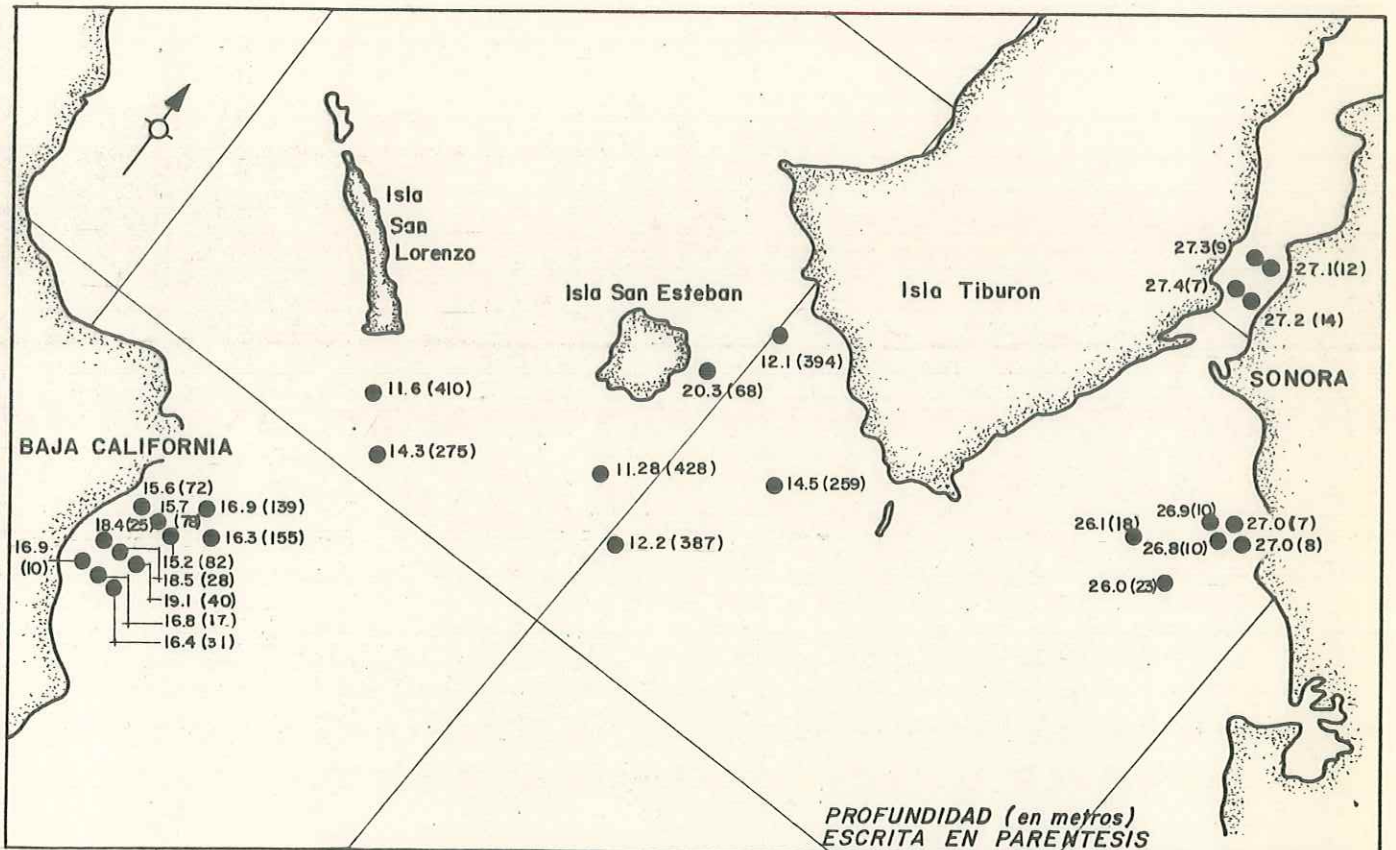
Los valores de temperatura para aguas superficiales y de fondo fueron expuestos en la figura 6.5-1, en donde aparecen en el mapa superior los datos de superficie y en el mapa inferior los de fondo. El segundo mapa incluye, entre paréntesis, la información acerca de la profundidad a la cual fueron tomadas las muestras.

En la figura se nota, que las temperaturas aumentan de la Península hacia el Continente. En la zona de El Barril se encuentran temperaturas superficiales substancialmente más bajas que en el resto del área de estudio, lo cual es debido a las surgencias provocadas por los vientos, que provienen del Sureste en esta época del año. Entre las islas de San Lorenzo y Tiburón las temperaturas superficiales encontradas varían entre 26.1 y 26.9 °C. En la zona C se presentan las temperaturas máximas, las cuales varían entre 27.3 y 27.6 °C.

En las zonas III y D el rango termal de la superficie se encuentra entre 26.8 y 27.3 °C. Las temperaturas en el fondo descienden con el aumento de la profundidad, alcanzando un valor mínimo de 11.6°C a 410 metros (ver figura 6.5-5).



TEMPERATURA SUPERFICIAL (°C)



TEMPERATURA EN EL FONDO (°C)

FIG. 6.5-1 — TEMPERATURA EN LA ZONA DE ESTUDIO

● ESTACION DE MUESTREO

En la zona A se presentan valores más bajos que los correspondientes a la misma profundidad en otras zonas. Además, la parte central de la anterior presenta temperaturas más altas que en sus márgenes, lo cual posiblemente indica la presencia de algunas emanaciones termales en esa localidad, las cuales se observan en el registro de diversas sondas utilizadas.

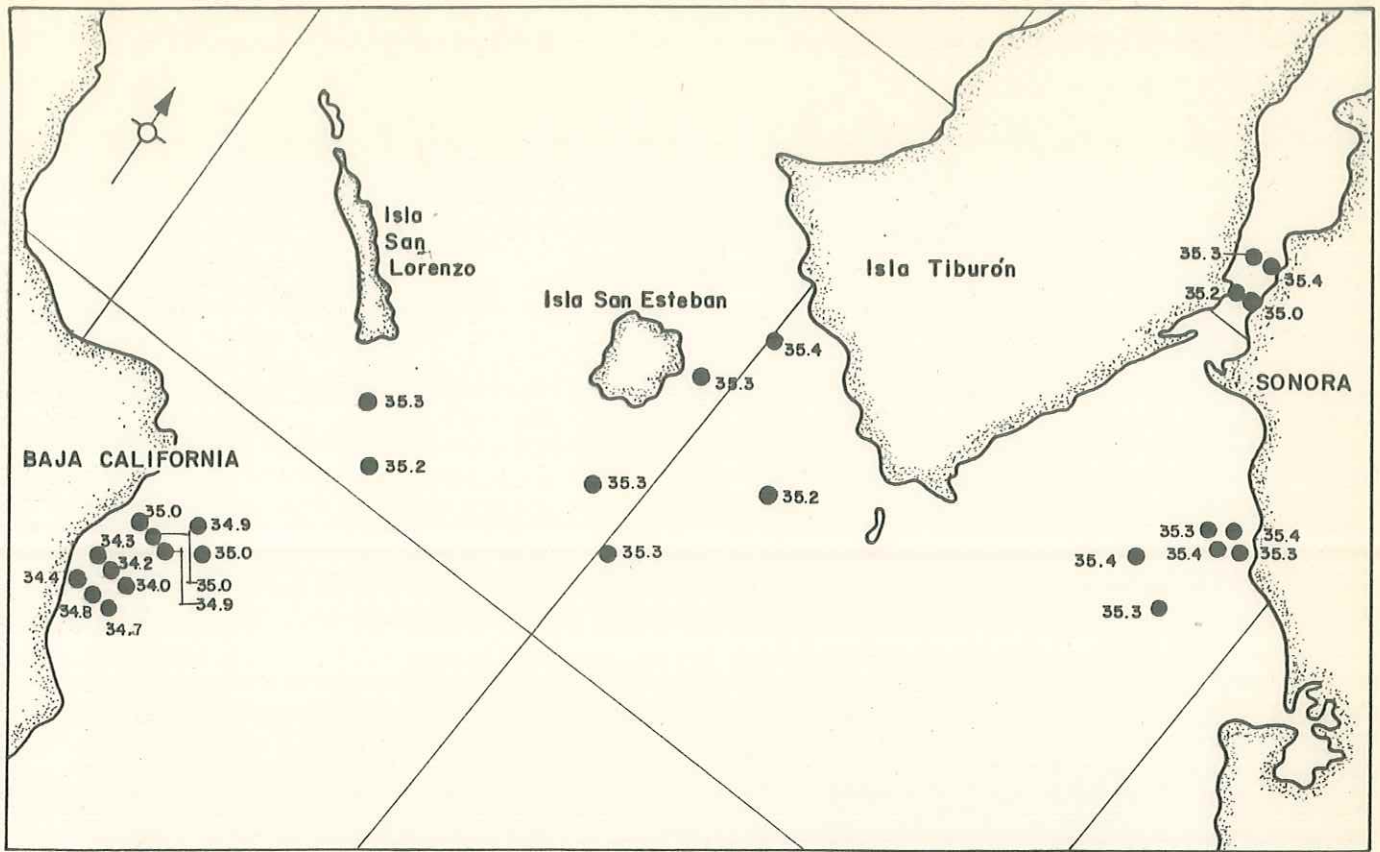
#### 6.5.2. SALINIDAD.

Con respecto a la salinidad se exponen los valores de concentración en la figura 6.5-2 de la misma manera como para las temperaturas en la figura 6.5-1. La salinidad superficial es más baja en la zona A que en las demás áreas investigadas, al igual que la temperatura. Esto sugiere una mezcla entre aguas profundas frías y menos saladas con las de las capas superiores. En el resto de la zona la salinidad varía entre 34.9 y 35.4 ppm. Con respecto a los datos de fondo, se observan en la zona A que, además de presentarse una surgencia, existen también emanaciones de agua menos salada y más caliente, como lo indican los datos medidos en la estación A-10 y en general en la parte media de esta zona.

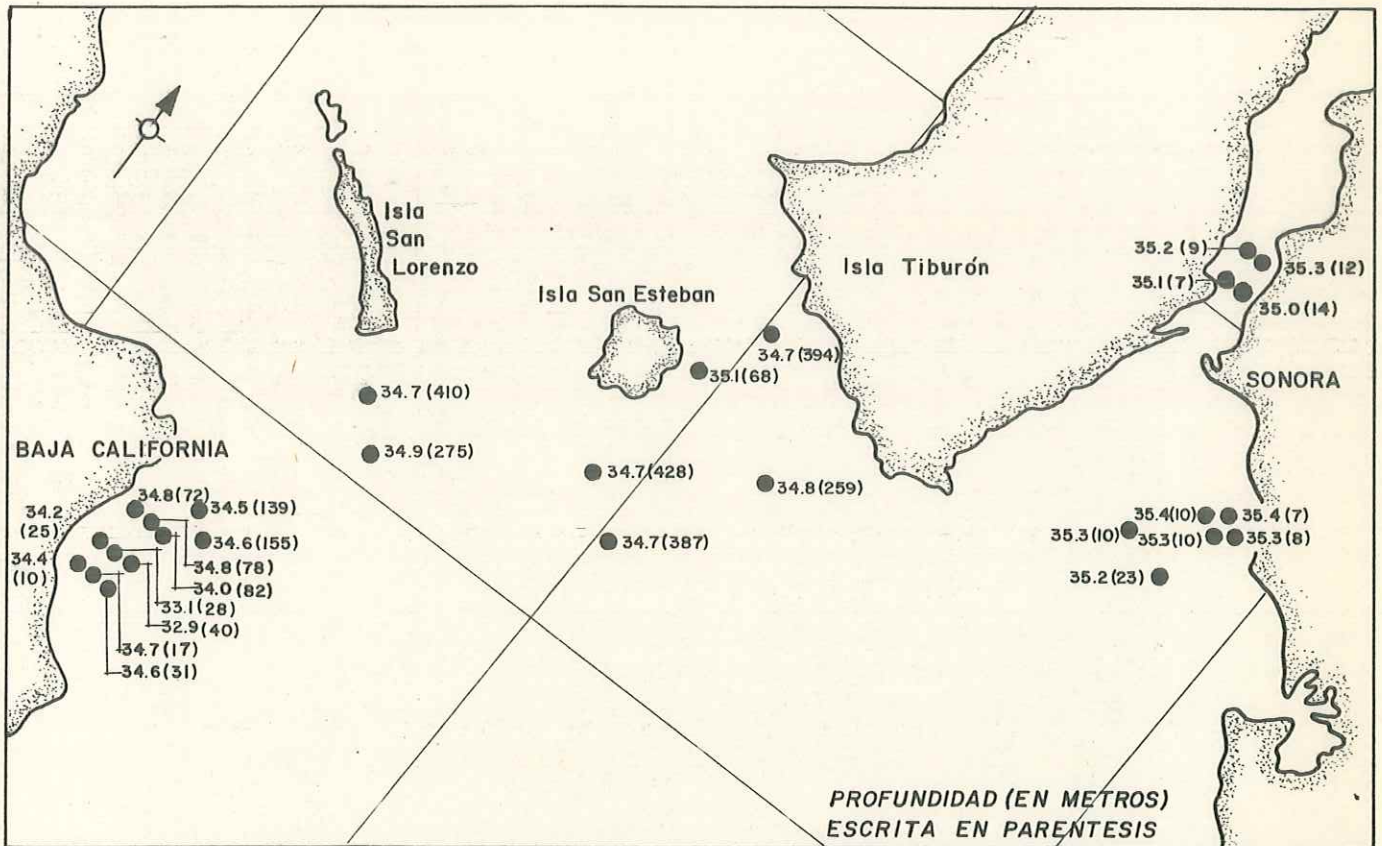
Entre las islas de San Lorenzo y Tiburón la salinidad decrece con la profundidad (ver figura 6.5-5) hasta los 60 metros para después mantenerse muy cerca a un valor de 34.7 ppm. En las cercanías de la costa de Sonora las variaciones entre la superficie y el fondo son muy pequeñas o inexistentes, lo cual es principalmente debido a lo somero del área en donde no se rebasan los 25 metros de profundidad.

#### 6.5.3. OXIGENO DISUELTO.

Como se enseña en la figura 6.5-3, el oxígeno disuelto en



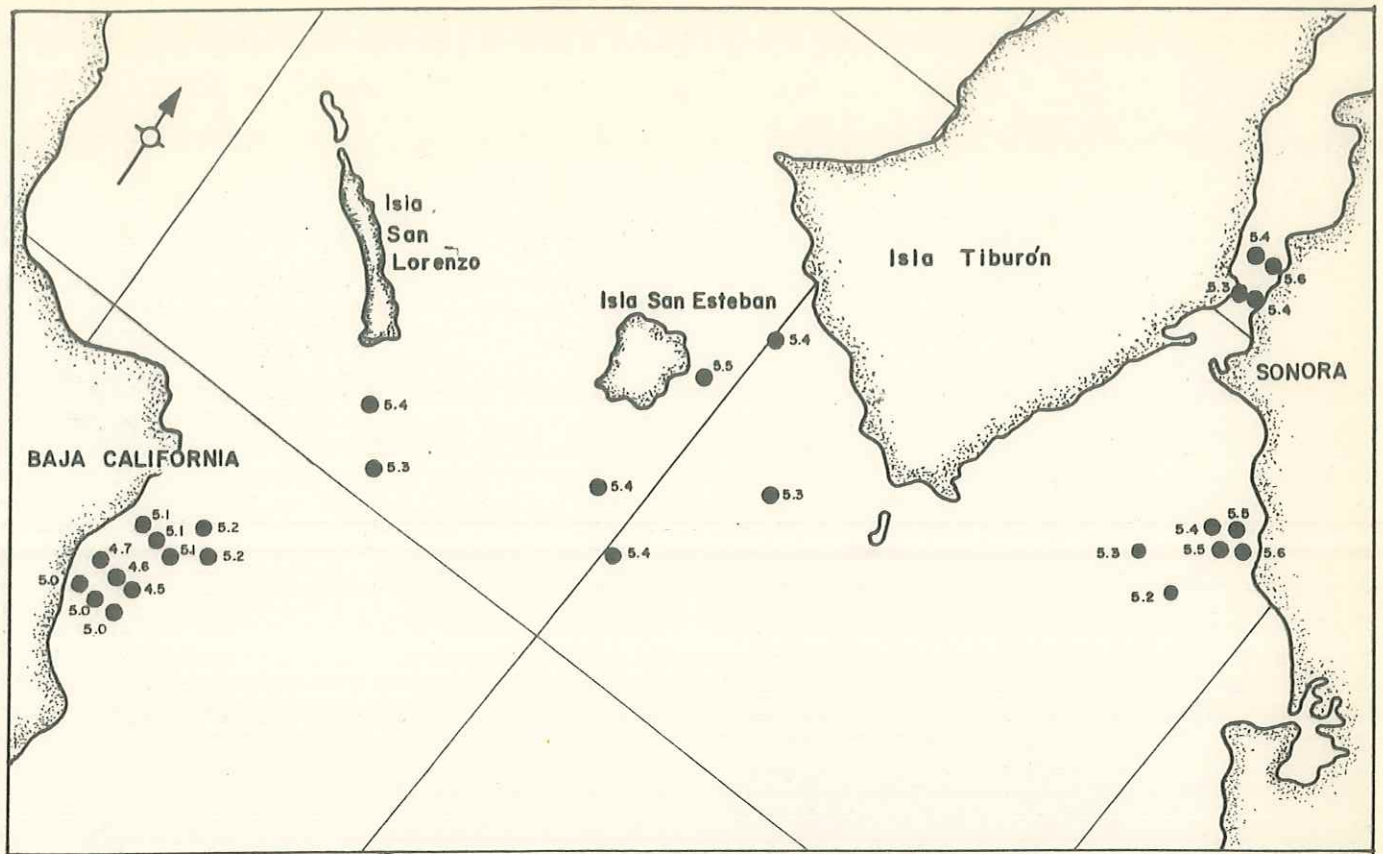
**SALINIDAD SUPERFICIAL (ppm)**



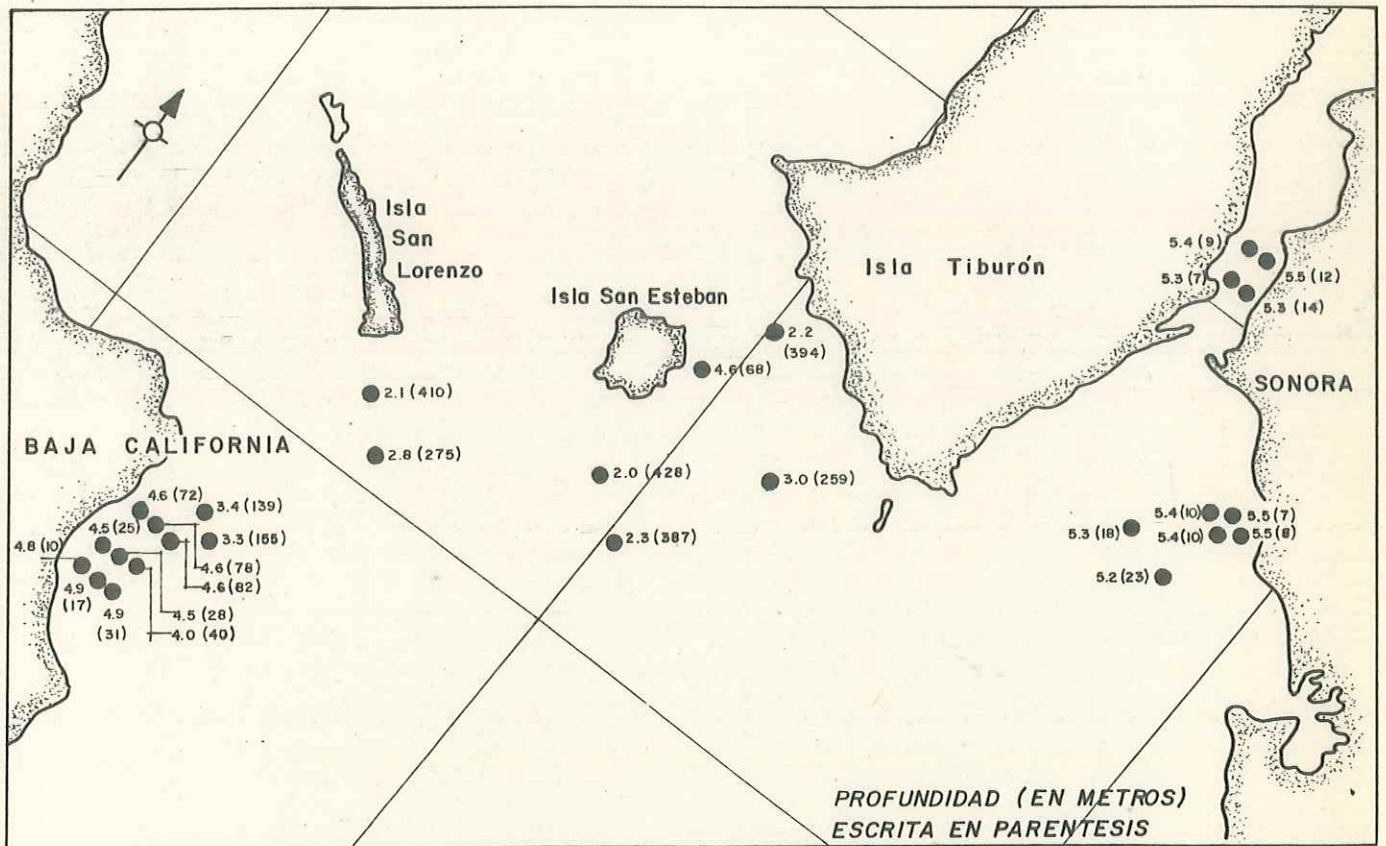
**SALINIDAD EN EL FONDO (ppm)**

**FIG. 6.5-2 SALINIDAD EN LA ZONA DE ESTUDIO**

● ESTACION DE MUESTREO



OXIGENO DISUELTO EN LA SUPERFICIE (ml/l)



PROFUNDIDAD (EN METROS)  
ESCRITA EN PARENTESIS

OXIGENO DISUELTO EN EL FONDO (ml/l)

FIG. 6.5-3 OXIGENO DISUELTO EN LA ZONA DE ESTUDIO.

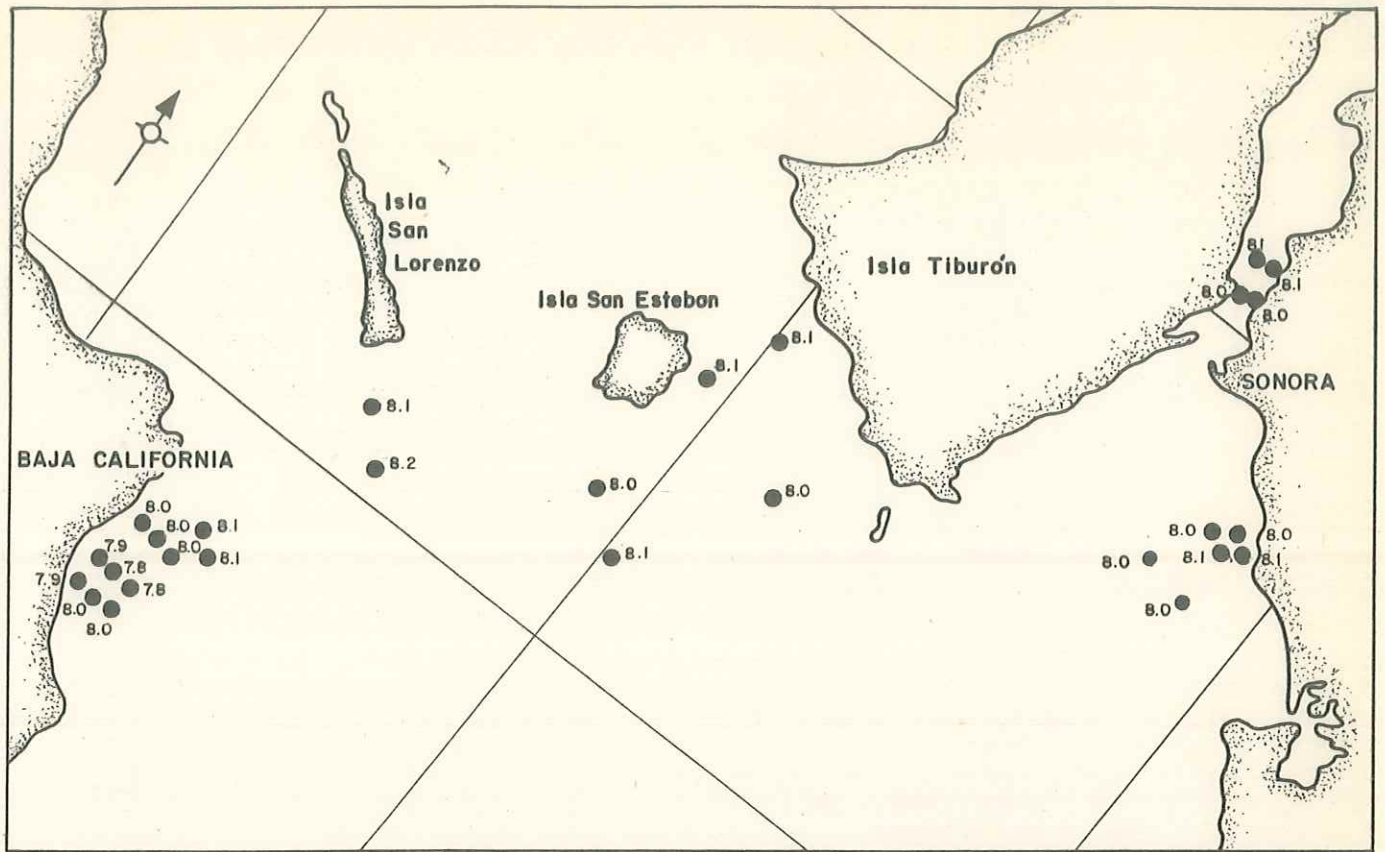
la superficie dentro de la zona A es más bajo que en el resto del área investigada; variando entre 4.5 y 5.1 ml/l. La parte media de esta zona, o sea las estaciones A-4, A-7 y A-10, muestran valores aún más bajos, lo cual podría ser relacionado a las emanaciones anteriormente mencionadas provenientes del subsuelo.

Entre San Esteban y Tiburón los valores de concentración varían de 5.3 a 5.5 ml/l. y en las zonas C y D, cercanas a la costa, el oxígeno se encuentra con valores entre 5.2 y 5.6 ml/l., siendo esta la zona con mayor concentración de oxígeno disuelto registrada. Los datos de fondo (ver figura 6.5-5) disminuyen con la profundidad.

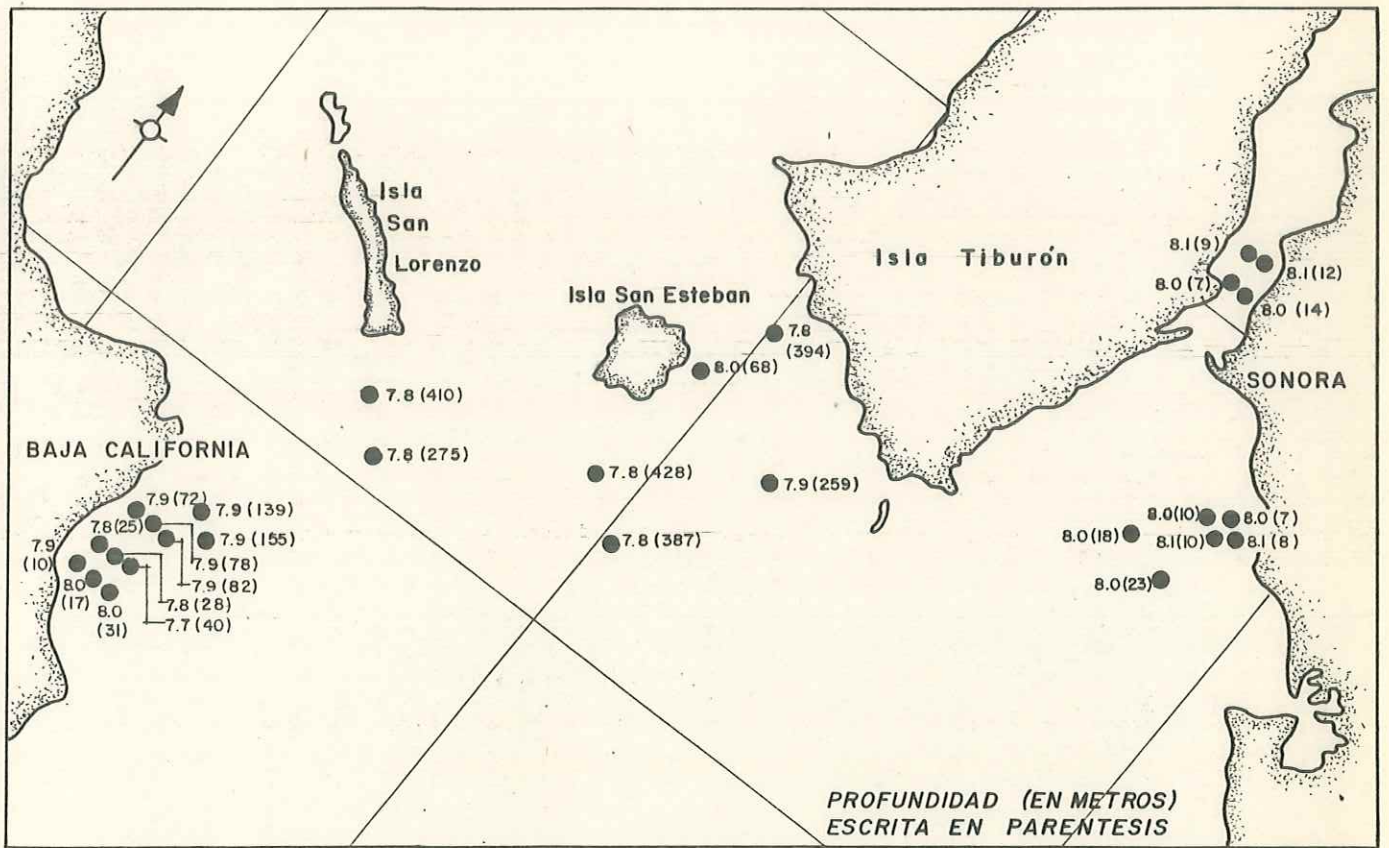
En la zona A se encuentran en su parte central valores mínimos de 4.0 ml/l. a 40 metros de profundidad (estación A-10). En aguas profundas el valor más bajo encontrado fué de 2.0 ml/l a 428 metros en la estación II-3. Hacia la costa de Sonora los valores aumentan, encontrándose concentraciones entre 5.2 y 5.5 ml/l.

#### 6.5.4. EL POTENCIAL DE HIDROGENO.

El potencial de hidrógeno superficial dentro de la zona A varía entre 7.8 y 8.0, volviendo a enseñar los valores menores encontrados en toda la zona de investigación; así mismo, la parte central del área representa localmente los valores más bajos, indicando que las emanaciones multicitadas generan aguas menos alcalinas que las del Golfo en general. Para el resto del área de estudio, los valores no varían más de una décima, hecho válido para la parte media del Golfo, así como para la parte más cercana a Sonora; con valores entre 8.0 y 8.1 unidades de pH. La distribución del potencial de hidrógeno con respecto a la profundidad se muestra en la figura 6.5-5. La figura 6.5-4 presenta los valores medidos en la superficie y cer



**pH EN LA SUPERFICIE**



**pH EN EL FONDO**

**FIG. 6.5-4 POTENCIAL DE HIDROGENO EN LA ZONA DE ESTUDIO.**



FIG. 6.5-5 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD.

ca del fondo. En las capas profundas, el pH varía entre 7.8 y 8.1 para toda el área exceptuando la zona A, en donde se observan concentraciones mínimas de 7.7 para la estación A-10. El pH en esta zona aumenta de la parte central hacia sus márgenes, siendo en promedio 7.8 en la primera, 8.0 al Sur y 7.9 al margen Norte. Cerca de la costa sonorenses el pH es más alcalino que en la parte central.

La figura 6.5-5 fué elaborada situando todos los valores encontrados, en función de su profundidad, principiando por la temperatura y siguiendo con el mismo orden empleado en la descripción de las propiedades mencionadas en esta sección. En el diagrama se observan claramente dos tipos de agua, el de la margen Peninsular, más fría y menos salada, con menor concentración de oxígeno y menor alcalinidad; contrastando con la del margen Continental, que además es más somera que la Peninsular.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las conclusiones y recomendaciones expuestas en este capítulo fueron confirmadas y afinadas mediante consultas con autoridades en varias disciplinas y sobre diferentes aspectos geológicos, batimétricos y oceanográficos. Con respecto a las consideraciones técnicas y económicas se trataron asuntos referentes al cable y a las infraestructuras desde varios puntos de vista, dentro de los cuales, la ubicación del cable es el principal.

### 7.1. LA UBICACION DEL CABLE.

El Golfo de California es una provincia geológica que continuamente se encuentra en actividad tectónica. El fracturamiento principal ocurre a lo largo de fallas transformes en echelón.

Para proteger el cable de los efectos sísmicos se deberá de utilizar una armadura apropiada junto con un buen anclaje atrincherado, dejando el cable libre y sin tensión entre los puntos de anclaje, con lo cual se permite la absorción de cualquier movimiento menor del fondo. Con las precauciones mencionadas existe poca probabilidad que la sismicidad local pudiera dañar directamente el cable en forma significativa, aunque tales efectos potencialmente podrían efectuarse en forma indirecta, por ejemplo, mediante la activación de corrientes de turbidez o de otros movimientos en masa de los sedimentos.

Las instalaciones terrestres obviamente pueden ser dañadas por terremotos fuertes y deben, por lo tanto, ser diseñados en una forma tal que ofrezcan la resistencia óptima, tomando en cuenta los costos de construcción, por una parte, y las pérdidas posibles por una destrucción sísmica por la otra.

Las corrientes de turbidez son erosivas a la vez que depositan cantidades considerables de sedimentos. Dentro de la zo

na de investigación se presentan algunos sitios con las características requeridas para la iniciación de dichas corrientes de turbidez como son el talud, la zona al Sur de la isla Daitil, así como a lo largo de los flancos de las fosas profundas. Por otra parte, algunos depósitos en capas delgadas que contienen detritus rocosos sueltos, podrían deslizarse violentamente durante una sacudida sísmica. Cualquiera de estos transportes debidos a la gravedad, podrían atravesar la trayectoria del cable, y ocasionar problemas. En este caso, la pequeña sección transversal del cable aún con su armadura, ayudaría a provocar un flujo laminar al pasar estas corrientes sobre él. No obstante, sería conveniente que el cable fuera situado bajo el fondo en estas áreas. Otra razón para enterrarlo sería la tensión que sufriría el cable en el caso de que el material, sobre el cual se asentara, fuera removido por una de estas corrientes de turbidez. Esta situación sería evitada enterrándolo adecuadamente en áreas con sedimentos no consolidados y laderas bastante inclinadas.

En la parte Norte del Golfo prevalece la actividad geotérmica. Las plantas geotermoeléctricas de Cerro Prieto en Mexicali y el Valle Imperial en U.S.A. están situadas dentro de la misma zona de afallamiento en la que se ubica el área del proyecto. Por lo tanto, posiblemente se puede encontrar una actividad geotérmica cerca del área investigada. Los manantiales submarinos en zonas afalladas se supone tener una existencia transitoria tanto en localización como en flujo.

Algunas emanaciones térmicas con soluciones salinas podrían introducir agua con una temperatura entre 100 y 300°C, que contiene gases de ácido sulfúrico y bioxido de carbono, además de sales disueltas en concentraciones semejantes a las encontradas en el agua de mar. Por esta razón sería indicado que el cable fuera protegido contra la actividad química. Los efectos termales correspondientes serán mínimos, exceptuando en lugares inmediatamente por encima de una emanación térmica. Las

corrientes asociadas con manantiales geotérmicos submarinos tendrán poco efecto dinámico sobre el cable a menos que fueran liberadas grandes cantidades de agua durante un evento sísmico.

El estudio detallado de la batimetría en aguas profundas (lámina I-E) revela profundidades considerablemente más grandes que las encontradas en los reportes anteriores. Entre la Península y la isla Tiburón se distinguen tres fosas cuyas profundidades máximas dentro de la zona investigada son 1 030, 625 y 550 metros respectivamente, lo cual hace recomendable excluir a la isla de San Esteban como área de entrada y salida del cable. En cambio es preferible escoger una ruta hacia el Sur para evitar la fosa de Salsipuedes, que es la más profunda y tampoco pasar aquella de Tiburón entre las islas San Esteban y Tiburón. Esta precaución alargaría la vida útil del cable y su instalación se haría más fácil.

La batimetría de la zona A muestra obstáculos que pueden ser evitados; como son las pequeñas cordilleras y cañones submarinos indicados en la lámina I-A. Sin embargo, las delgadas capas de sedimentos, que existen en el área, podrían causar dificultades, si el cable fuera a ser enterrado en el fondo. La costa rocosa a lo largo de la parte Sur de la isla Tiburón podría implicar problemas similares. Las playas arenosas de las zonas C y D presentan por otra parte condiciones ideales para la instalación del cable en el subsuelo.

Existen corrientes considerables en el mar de Cortés. No obstante, las velocidades sobre el lecho marino se suponen ser menores que los 2.0 m/seg.; exceptuando en las áreas cercanas a la costa, donde pueden encontrarse velocidades estimadas hasta alrededor de los 7 m/seg.

Se conoce empíricamente que los cables colocados perpendicularmente a las corrientes provocadas por la marea no han tenido

tendencias de moverse, aún con flujos tan fuertes como 4.3 m/seg. Estos cables fueron puestos sobre fondos marinos compuestos por sedimentos tan finos que el lecho del cable propicia un flujo laminar a través de la sección transversal del cable, amortiguando de esta forma el impacto de la corriente.

En aguas someras la acción del oleaje, conjunto con el material abrasivo en suspensión, pueden erosionar el cable, por lo que es indicado enterrarlo en zonas con costas y playas arenosas.

La lámina III muestra la batimetría y el afallamiento general de la zona de estudio. En este dibujo se incluyen las rutas evaluadas en base al análisis de la información recabada. La figura 7-1 enseña con línea segmentada la ruta preliminarmente escogida, con línea continua la ruta recomendada y con línea punteada una ruta alternativa.

Desde el punto de vista económico la ruta preliminar, que parte de Punta Granito y se apoya en las islas Tiburón y San Esteban para llegar a Punta San Gabriel, es la que involucra aparentemente la menor distancia submarina. Sin embargo, atraviesa por la parte profunda de las tres fosas que se encuentran dentro de la zona de investigación, lo cual aumenta considerablemente la longitud del cable que realmente tendría que tenderse. Además se hacen notar las dificultades que representa el cruzar las inclinadas laderas de las fosas de Salsipuedes y Tiburón; también existe el riesgo de que en estas zonas, las mencionadas corrientes de turbidez afecten el cable submarino durante su vida útil. Esta ruta cuenta con una longitud aproximada de 86 Km. en su parte submarina, mientras que la parte terrestre corresponde a cerca de los 26 Km. Por otro lado, se requieren seis lugares de paso entre la costa y el mar y cada uno de ellos incluye obras ingenieriles que deberán resistir el

embate de las olas, los vientos y las corrientes, como se ha discutido con anterioridad.

La ruta recomendada se inicia al Norte de Punta Chueca en la costa sonorensis. Atraviesa el canal Del Infiernillo por su parte más estrecha, donde existen profundidades menores de los quince metros y una capa sedimentaria lo suficientemente gruesa para enterrar el cable, protegiéndolo de cualquier evento oceanográfico o meteorológico. Llega a la isla Tiburón a la altura de Punta Tormenta y corre sobre la costa Este de la isla hasta llegar a la Ensenada de la Cruz, que se localiza al Sureste. En ese lugar inicia su trayectoria submarina pasando por el umbral entre las fosas de Tiburón y San Pedro Mártir en profundidades entre 200 y 300 metros. Después atraviesa el extremo Norte de la fosa de San Pedro Mártir a una profundidad máxima de 625 metros e inicia su ascenso sobre el extremo Sur de la prolongación submarina de la isla San Lorenzo hasta alcanzar una profundidad cercana a los 250 metros. Habiendo pasado esta extensión submarina vuelve a descender, cruzando el umbral entre las fosas de San Pedro Mártir y Salsipuedes a una profundidad de 400 a 450 metros, para después iniciar su ascenso final sobre el talud y la plataforma peninsular, que a la altura de la isla Datil, presenta una pendiente más suave que la plataforma continental. Después entronca con la península en El Barril, al Sur de Punta San Gabriel. Este trazo evita el paso por dos de las tres fosas de la zona y no cruza por laderas inclinadas, disminuyendo considerablemente el riesgo ofrecido por las corrientes de turbidez. Además excluye dos pasos tierra-mar sobre la isla San Esteban, lo cual es de importancia para la vida útil del cable submarino.

En cuanto a distancias, la parte submarina tiene una longitud aproximada de 91 Km., mientras que en tierra se recorren cerca de los 32.5 Km.

Desde el punto de vista oceanográfico el punto de paso tierra-

mar, localizado al Sureste de Tiburón en la Ensenada de la Cruz, presenta condiciones adversas en el caso de que actúe un ciclón. Por lo tanto, para las obras de ingeniería, necesarias en ese lugar, se tienen que contemplar dichas condiciones en el diseño; aumentando considerablemente los costos. No obstante, realizando esas instalaciones en forma adecuada, la ruta correspondiente sería la más conveniente para la extensión del cable; tomando en cuenta todos los aspectos de mayor relevancia.

Suponiendo que el sitio en la Ensenada de la Cruz se considerara inconveniente, la ruta alternativa -mostrada en la figura 7-1, que es una reducción de la lámina III adjunta a este informe- debería ser la segunda opción. Iniciándose en la parte media entre Punta Blanca y Punta Ignacio el cable recorrería aproximadamente 105 Km. de ruta submarina, atraviesa la plataforma continental y sigue por el umbral entre las fosas de Tiburón y San Pedro Mártir. Cruza ésta última a una profundidad menor de 650 metros para después ascender y unirse con la ruta recomendada en una posición sobre el umbral de las fosas de San Pedro Mártir y Salsipuedes.

Este trazo es alrededor de 14 Km. más largo que el recomendado. Sin embargo, sólo involucra dos puntos de contacto entre tierra y mar en lugar de 6 para la preliminar o 4 en la recomendada. La ubicación alternativa evita los posibles problemas relacionados a las instalaciones de superficie que para los otros casos tendrían que realizarse en las islas.

## 7.2. CONSIDERACIONES ACERCA DEL DISEÑO DEL CABLE.

El diseño detallado del cable debe efectuarse en base a consideraciones concernientes a las metas operativas, los requerimientos dictados por aquellas y la situación geográfica - ambiental, así como a la factibilidad económica. Se requiere, por lo tanto, definir el voltaje aplicable, el rango de energía para



transmitir y el tipo de corriente (alterna o directa) que se empleará en el cable. Esta información servirá principalmente para definir materiales y dimensiones del núcleo transmisor, así como para la parte aislante del cable. Para el diseño del armazón habrá que considerar los requerimientos con respecto a la resistencia mecánica y química. Por lo tanto, tendrán que ser definidas la ruta de ubicación y la vida útil, deseable para el cable.

Sin conocer los detalles del sistema que finalmente será escogido se puede, por razones de resistencia, durabilidad y seguridad de la operación, considerar un cable que tenga las siguientes características. La transmisión se efectuará mediante un sólo núcleo central de cobre con un encofrado adecuado de plomo y aislamiento de papel. El cable estará rodeado por aceite, además de cintas para refuerzo; con extrusiones y base anti corrosivas. La armadura debe ser doble, con una capa tejida por alambre de acero seguida por un recubrimiento exterior; sumamente grueso y fabricado de zinc. En el espacio del aceite deben instalarse interruptores para minimizar el paso de agua entrante o la fuga del aceite en caso de un percance no previsto.

El tipo de cable, arriba descrito, es especialmente indicado para usar con voltajes altos, desde alrededor de 130 KV y arriba. Para el diseño detallado deben también considerarse los efectos que tendrán sobre el cable las condiciones térmicas propias y aquellas de los sedimentos circundantes.

Una alternativa, con muy alta seguridad operativa, sería la aplicación de un transmisor con cuatro hilos separados; tres para el circuito y uno de reserva. Como anteriormente se indicó, no es factible de introducir preferencias técnico-económicas en la etapa de planeación a la cual corresponde el trabajo aquí reportado.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Admiralty Hydrographic Office, 1966.

Admiralty Manual of Hydrographic Surveying

Allen, C.R., Silver, L.T. y Stehli, F.G., 1960.

Agua Blanca fault, a major transverse structure of northern Baja California, México. Geol. Soc. America Bull.

p. 457 - 482.

Allison, E.C., 1964.

Geology of areas bordering Gulf of California, in Marine geology of the Gulf of California. A symposium: Am. Assoc. Petroleum Geologists. Mem. 3 p. 3 - 29.

Alvarez - Borrego S., 1981.

Gulf of California.

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C. (CICESE)

Alvarez - Borrego, S. y L.A. Galindo - Bect, 1974.

Hidrología del Alto Golfo de California - I.

Condiciones durante otoño.

Ciencias Marinas, Vol. 1, No. 1. p. 46 - 64

Alvarez - Borrego, S., B.P. Flores - Baez y L.A. Galindo - Bect, 1975.

Hidrología del Alto Golfo de California - II.

Condiciones durante invierno, primavera y verano.

Ciencias Marinas, Vol. 2, No. 1. p. 21 - 36

Andel, Tjeerd H. van, ed. 1964.

Marine Geology of the Gulf of California.

A symposium: Am. Assoc. Petroleum Geologist Memoir 3.

Anderson, D.L., 1971

The San Andres fault.

Scientific American, v. 225 No. 5. p. 52 - 68.

Bingham, C., M.D. Godfrey y J.W. Tukey, 1967.

Modern Techniques of Power Spectrum Estimation:

IEEE Transactions of Audio Electro-acoustics,

Vol. AU-15, p. 56 - 66.

Bischoff J. L. y Niemitz, J. W., 1980

Bathymetric Maps of the Gulf of California

Publicado por U.S. Geological Survey.

Bretschneider, C.L., 1967.

On the Generation of Wind-Driven Currents over the  
Continental Shelf:

Transactions of the Third Annual Marine Technology  
Society Conference, San Diego, Ca.

p. 97 - 113.

Cortés, Ramon, 1980.

A Modified Kilmogorov-Smirnov Test for the Gamma and  
Weibull Distributions with Unknown Location and  
Scale Parameters ( Tesis):

Operations Research, U.S. Air Force Institute of Technology,  
Report AFT/GOR/MA/80D-1, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

Chase, C.G., Menard, H.W., Larson, R.L., Sharmon, G.F., y  
Smith, S.M., 1970

History of sea - floor spreading West of Baja California.

Geol. Soc. America Bull. v. 81 p. 491 - 498

Chen, Chen-Tung y Frank J. Millero, 1977.  
Precise Equation of State of Seawater for Oceanic Ranges  
of Salinity, Temperature and Pressure:  
Deep-Sea Research, vol. 24 p. 365 - 369.

Davis, R. y R. Weller, 1978  
Propeller Current Sensors:  
Chapter in Proceedings of NATO Conference on Instruments  
and Methods (Combined Marine Technology-IEEE Conference).  
Ustaoset, Norway, 1978.

Davis, R.E., R. De Szoek y P. Niiler, 1981.  
Variability in the Upper Ocean During MILE, Part II  
Modeling the Mixed Layer Response:  
Deep-Sea Research, vol. 28 No. 12-A, p. 1453 - 1475.

de Cserna, Z. 1961  
Tectonic map of México: escala 1:2'500 000.  
Geol. Soc. America.

Dean, Robert G., 1967  
Relative Validities of Wave Theories:  
Proceedings of ASCE Conference on Civil Engineering in  
the Oceans, September 6 - 8, 1967.  
San Francisco, Ca.

Doodson, A.T. y H.D. Warburg, 1941  
Manual of Tides: Publicado por Hydrographic Department -  
Admiralty. His Majesty's Stationary Office, London.  
p. 111 - 181, (reimpresión 1946).

Dronkers, J.J., 1964  
Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters  
North-Holland Publishing Company  
(Interscience Publishers, U.S.A.) 475 pág.

Elders, W.A. y Biehler, S., 1975  
Gulf of California Rift System and its Implications  
for Tectonics of Western North America:  
Geology, vol. 3.

Filloux, J.H., 1973.  
idal patterns and energy balance in the Gulfo of California  
Nature, No. 243, p. 217 - 221

García de Miranda, E., 1973  
Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática  
de Köppen. Segunda edición.  
Publicada por la Universidad Nacional Autónoma de  
México, México, D.F.

Garfunkel, Zvi., 1973.  
History of the San Andreas Fault as Plate Boundary.  
Geol. Soc. America Bull. v. 84 p. 2035 - 2042.

Gastil, R.G., 1967  
Fault systems in Northern Baja California and their  
relation to the origin of the Gulf of California:  
Stanford University Proceedings, p. 283 - 286

Gastil, R.G., 1971  
Reconnaissance Geological Map of The State of Baja California  
Publicado por The Geological Society of America, Inc.

Gastil, R.G., Phillips, R.P. y Allison, E.C. 1972.  
Reconnaissance Geology of the State of Baja California.  
The Geological Society of America, Inc. Mem. 140.

Gastil, R.G. 1974  
Reconnaissance Geologic Map of Coastal Sonora,  
between Puerto Lobos and Bahía Kino  
Publicado por The Geological Society of America, Inc.

Gastil, R.A., Allison, E.C. y Phillips, R.P., 1968.  
Geologic evidence relation to the origin of the Northern  
half of the Gulf of California. Pan American Symposium  
of the upper mantle.  
México, Upper Mantle Symp. No. 22.

Giletti, B.J. y Camon, P.E. 1961.  
Rubidium - strontium ages, of some basement rocks  
from Arizona and Northwestern México.  
Geol. Soc. America Bull, v. 72 No. 4. p. 639 - 644.

Gonzalo, Víctor Manuel Henríquez, 1978.  
Measuring Shallow Water Waves with Pressure Sensors  
(Tesis): U.S. Naval Postgraduate School,  
Monterey, Calif. September 1978.  
Thesis Advisor: Edward B. Thornton, 64 pags.

Gould, W. J. y E. Sambuco, 1975  
The Effect of Mooring Type on Measured Values  
of Ocean Currents: Deep-Sea Research.  
vol. 22 No. 1. p. 55 - 62.

Granados - Gallegos, J.L. y R.A. Schwartzlose, 1974.  
Corrientes superficiales en el Golfo de California.  
Memorias del V Congreso Nacional de Oceanografía  
Escuela de Ciencias Marítimas del Instituto Tecnológico  
de Monterrey. Guaymas, Son. (en impresión).

Granados - Gallegos, M.L., 1974

Distribución de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto  
en el Golfo de California. Noviembre de 1972. Tesis.

Escuela Superior de Ciencias Marinas, (55 pags.)

Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C.

Grijalva - Ortiz, N. 1972.

Tidal computation in the Gulf of California I.

Geofísica Internacional, vol. 12 p. 13 - 34.

Groves, Gordon, W., 1960

Note on Computation of Ocean Wave Elements by Convolution.

Methods: Journal of Geophysical Research.

vol. 65 No. 3. p. 997 - 1006.

GYMSA, 1974.

Estudio Geológico de los Prospectos "Punta Eugenia - Punta  
Abreojos" y "Purísima - Santa Rita". Pemex.

Informe confidencial.

GYMSA, 1981.

Ubicación Óptima de un Cable Eléctrico Submarino entre las  
Costas de Sonora y Baja California, en la parte Central  
del Golfo de Cortés. (Reporte preliminar)

C. F. E. Informe confidencial.

Hamilton, Warren, 1961.

Origin of the Gulf of California

Geol. Soc. America Bull, v. 72 No. 9 p. 1307 - 1318

Harris, M. F., 1969

Efects of tropical cyclones upon Southern California

Tesis. San Fernando Valley State College,

San Fernando, Ca.

Harrison, J.C. y Mathur, S.P. 1964.  
Gravity Anomalies in Gulf of California.  
Marine Geology of the Gulf of California.  
A symposium Amer. Assoc.  
Petroleum Geologist. Memoir 3. p. 76 - 89.  
Tulsa Oklahoma, 1964.

Harter, H. Leon y Albert H. Moore, 1965.  
Maximum - Likelihood Estimation of the Parameters  
for the Weibull and Gamma Distributions  
Technometrics, vol. 7 No. 4. p. 639 - 643.

Heney, T.L., y Bischoff, J.L., 1973  
Tectonic Elements of the Northern Gulf of California  
Geol. Soc. Am. Bull. vol. 84, p. 315 - 330

Herbich, J.B. y S.B. Brahme, 1977  
Estimation and Analysis of Horizontal Bottom Velocities Due  
to Waves: Report TAMU-SG-77-208, Department of Ocean  
Engineering Texas A & M University, College.  
Station, TX, 77843.

Hernández, J. 1923.  
The temperature of México:  
Monthly Weather. Rev. Supp. 23, 24.

Hertlein, L.G. y Emerson, W. K. 1956.  
Marine Pleistocene Invertebrates from near  
Puerto Peñasco, Sonora, México.  
San Diego Soc. Nat. History Trans.  
vol. 12, No. 8. p. 154 - 176

Hill, M. L. y Dibblee, T.W. Jr. 1953.  
San Andreas, Garlock and Big Pine Faults, California.  
Geol. Soc. America Bull. v. 64 p. 443 - 458

Hurd, W. E., 1948.  
Tropical Cyclones of the Eastern North Pacific Ocean  
Pilot Chart of the Pacific Ocean, No. 1401, (Reverse Side),  
August, 1948. U.S. Navy Hydrographic Office.

King, R.E. 1939  
Geological Reconnaissance in Northern Sierra Madre  
Occidental of México:  
Geol. Soc. America Bull. v. 50 No. 11 p. 1625 - 1722.

Kovach, R.L., Allen, C.R. y Press, F. 1962  
Geophysical investigations in the Colorado Delta region  
Jour Geophys Research. v. 67 p. 2845 - 2871

Larsen, E.S., Gottfried, D., Jaffe, H.W. y Waring, C.L. 1958.  
Lead-alpha ages of the Mesozoic batholiths of Western  
North America. U.S. Geol. Survey Bull.  
No. 1070 p. 35 - 62.

Larson, R.L., Menard H.W. y Smith, S.M. 1968.  
Gulf of California: A results of sea floor spreading  
and transform faulting.  
Science v. 161 p. 781 - 784.

Larson, P. A., Mudie, J.D. y Larson, R. L. 1972  
Magnetic anomalies and fracture zone trend in  
the Gulf of California.  
Geol. Soc. Am. Bull. v. 83 p. 3361 - 3368

Le Mehaute, Bernard J. y R.C. Y. Koh, 1967.

On the Breaking of Waves Arriving at an Angle to the Shore:  
Journal of Hydraulic Research, International Assoc.  
Hydraulic Res., vol. 5 No. 1.

León - Portilla, M., 1972.

Descubrimiento en 1540 y primeras noticias de la Isla  
de Cedros. Calafia. (Rev. de la Univ. Autónoma de  
Baja California). vol. 2 No. 1 p. 8 - 10

Lepley, L.K., S.P. Vonder-Haar, J.R. Hendrickson y  
G. Calderón - Riverol. 1975.

Circulation in the Northern Gulf of California from  
orbital photographs and ship investigations.  
Ciencias Marinas. v. 2. No. 2. p. 86 - 93

Longuet - Higgins, M.L., 1970

Longshore Currents Generated by Obliquely  
Incident Sea Waves:  
Journal of Geophysical Research.  
v. 75 No. 33. p. 6778 - 6789.

Mapas de navegación, publicados por la  
Secretaría de Marina de México.

Núms. SM-603, esc. 1:639 400 y SM-604, esc. 1:667 680.

Mapas geológicos y topográficos, publicados por la  
Comisión de Estudios del Territorio Nacional

Núms. H12C73 y H12C74, esc. 1:50 000, año 1977.

Mathews, C.P., J.L. Granados - Gallegos y J. Arvizu, 1974.

Results of the exploratory cruises of the  
"Alejandro De Humboldt" in the Golfo of California  
CALCOFI Rep. XVII: 101 - 111.

Maurice, R.D.A., 1976

Convolution and Fourier Transforms for Communications

Engineers: Pentech Press, London

ISBN 0-7273-0301-5

Mina, U.F., 1957

Bosquejo geológico del territorio Sur de la Baja California

Assoc. Mex. Geol. Pet. v. 9 No. 3 y 4 p. 141 - 269

Molnar, P. 1973

Fault Plane Solutions of Earthquakes and Direction of Motion  
in the Gulf of California and on the Rivera Fracture Zone.

Geol. Soc. America Bull. v. 57, No. 8 p. 1651 - 1658

Moore, D. G., 1973.

Plate Edge Deformation and Crustal Growth in Gulf of  
California Structural Province.

Moore, D. y E. Buffington, 1968

Transform faulting and growth of the Gulf of California  
since the late Pliocene.

Science. No. 161 p. 1238 - 1241

Morgan, M.J., 1968.

Rivers, Trenches, great faults and crustal blocks.

Journal of Geophysics Research. f. 73 p. 1959 - 1982.

Normark, W. R., y Curray, J.R., 1968.

Geology and structure of the tip of Baja California, México.

Geol. Soc. America Bull. v. 79, No. 11, p. 1589 - 1600

Olsen, Alfred James, 1977

The Kinematics of Breaking Waves in the Surf Zone.

(Tesis) U.S. Naval Postgraduate School.

Monterey, Ca.

Ordoñez, E. 1936.

Principal physiographic provinces of México.

Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.

v. 20 p. 1277 - 1307

Otnes, Robert K. y Loren Enochson, 1972

Digital Time series Analysis:

John Wiley and Sons (Interscience), New York.

(ISBN 0-471-65719-0).

Page, J. L. 1930

Climate of México Monthly Weather. Rv. Supp. 33.

Paquette, Robert G., 1972.

Some Statistical Properties of Ocean Currents:

Ocean Engineering, vol. 2 No. 1 p. 95 - 114.

Phillips, R.P., 1964

Sismic refraction studies in Gulf of California

Am. Assoc. Petroleum Geologist. Memoir 3.

Tulsa, Oklahoma 1974.

Reichle, M. S., 1975.

A seismological study of the Gulf of California:

sonobuoy and teleseismic observations, and tectonic implications.

(Tesis). University of California. San Diego, La Jolla, Ca.

Robinson, M. K., 1973

Atlas of monthly mean sea surface and subsurface  
temperatures in the Gulf of California, México.

San Diego Society of Natural History. Memoir 5.

Roden, G. I., 1958

Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California.

Pacific Sci. vol. 12. No. 1 p. 21 - 45

Roden, G. I., 1964

Oceanographic aspects of the Gulf of California.

IN: van Andel, Tj. H. and G.G. Shor Jr. (editors)

Marine Geology of the Gulfo of California: a symposium.

Amer. Assoc. Petroleum Geologists. Memoir 3. p. 30 - 58

Roden, G. I., y G. W. Groves, 1959

Recent oceanographic investigations in the Gulf of California

Marine Res. Jour. vol. 18 No. 1 p. 10 - 35.

Rosas - Cota, J. A., 1976

Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 metros. (Tesis)

Esc. Superior de Ciencias Marinas. Univ. Auto. de Baja California  
Ensenada, B.C.

Rosendal, H. E., 1962

Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1947 - 1961:

Mariner's Weather Log. p. 195 - 201.

Rusnak, G.A. y R.L. Fisher, 1964

Structural history and evolution of Gulfo of California.

IN: van Andel, Tj. H. and G.G. Shor Jr. (editors)

Marine Geology of the Gulf of California: a symposium.

Amer. Assoc. Petroleum Geologists. Memoir 3. p. 144 - 156

Rusnak, G. A., R.L. Fisher y F.P. Shepard, 1964.

Bathymetry and faults of Gulf of California.

In: van Andel, Tj. H. and G. G. Shor Jr. (editors)

Marine Geology of the Gulf of California: a symposium

Amer. Assoc. Petroleum Geologists. Memoir 3. p. 59 - 75

Saunders, Peter M. y N.P. Fofonoff, 1976.  
Conversion of Pressure to Depth in the Ocean:  
Deep-Sea Research, vol. 23 p. 109 - 111.

Scripps Institute of Oceanography, 1974  
Water Chemistry Samples Obtained Aboard the R/V Alexander  
Agassiz, Gulf Cruise 7410.

Shepard, F. P. 1950  
Submarine topography of the Gulf of California, pt. 3 of  
the 1940 E.W. Scripps cruise to the Gulf of California.  
Geol. Soc. America Memoir 43.

Shepard, F. P. 1964  
Sea - floor Valleys of Gulf of California  
Am. Assoc. Petroleum Geologist. Memoir 3.  
Tulsa, Oklahoma.

Sonu, Choule J., 1975  
Computer Prediction of Nearshore and Surf Zone Statistics:  
Report No. TC-394, Tetra Tech Corporation, 630 N.  
Rosemeade Blvd., Pasadena, Ca. 91107.

Stevenson, M.R., 1970.  
On the physical and biological Oceanography near the entrance  
to the Gulf of California, October 1966 - August 1967.  
Inter.-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull  
v. 4 No. 3 p. 389 - 504

Stock, G. G., 1976  
Modeling of tides and tidal dissipation in the Gulf  
of California (Tesis)  
Scripps Institution of Oceanography.  
University of California. San Diego, La Jolla, Ca.

Supe, J., 1970

Offset of Late Mesozoic basement terrains by the San Andreas Fault. Geol. Soc. America Bull. v. 81 p. 3253 - 3258.

Svendsen, I. A. y C. Staub, 1981

Horizontal Particle Velocities Long Waves: Journal of Geophysical Research. vol. 86 No. C5, p. 4138 - 4148

Sverdrup, H. U., 1941

The Gulf of California; preliminary discussion on the cruise of the E.W. Scripps in February and March 1939. 6th Pacific Sci. Cong. Proc. vol. 3 p. 161 - 166

Sykes, L. 1968.

Seismological evidence for transform faults, sea-floor spreading and Continental drift.

IN: History of the Earth's crust, a NASA symposium R.A. Phinney (editor).

Princeton Univ. Press. Princeton, N.J. p. 120 - 150

Townsend, C. H., 1901

Dredging and other records of the U.S. Fish Comision steamer Albatros with bibliography relative to the work of the vessel.

U.S. Fish Comm. Rept. for 1900. p. 387 - 562

U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1973  
Shore Protection Manual: vol. I., U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. U.S.A.

U. S. NOAA, Climatological Data National Summary, 1954 - 1974

U. S. NOAA, Marine Weather Log, 1975 - 1980.

van Andel, Tj. H., 1964

Recent marine sediments of the Gulf of California.

In: van Andel, Tj. H. y G.G. Shor Jr. (editors)

Marine Geology of the Gulf of California: a symposium

Amer. Assoc. Petroleum Geologists. Memoir 3. p. 216 - 310

van Andel, Tj. H. y G. G. Shor, Jr. (editors), 1964

Marine Geology of the Gulf of California: a symposium

Amer. Assoc. Petroleum Geologists. Memoir 3. p. 408.

Villaseñor - Casales, A., 1974

Hidrología de la parte Norte del Golfo de California. (Tesis)

Escuela Superior de Ciencias Marinas.

Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C.

Vonder - Haar, S.P. y R.O. Stone, 1973

Oceanographic analysis of orbital photographs of the  
upper Gulf of California.

Photogrammetria. vol. 29 p. 45 - 61

Ward, R. de C., y C.F. Brooks, 1936

The climates of North America, I.

(México, United States, Alaska); Handb. Klimatol. II (j),

Gebr. Borntraeger Verlag, Berlin

Weller, Robert A. y Russ E. Davis, 1980.

A Vector Measuring Current Meter:

Deep-Sea Research, vol. 27 No. 7-A. p. 565 - 582

Wiegel, Robert L. 1964

Oceanographic Engineering: Prentice - Hall, Inc.

Englewood Cliffs, New Jersey Lib. Congress Card 64-23185

p. 152 - 179.

Wilson, I. F. 1949

Buried topography, initial structures and sedimentation in the  
Santa Rosalia Area, Baja California, Mex. Mex.

Am. Assoc. Petroleum Geologists, v. 32 p. 1762 (751807) (807)

Winant, C.D. y J. R. Olson, 1976

The Vertical Structure of Coastal Currents:

Deep-Sea Research, vol. 23 No. 10 p. 925 - 936

Winant, C.D. y R.C. Beardsley, 1979

A comparison of some Shallow Wind - Driven Currents:

Journal of Physical Oceanography, vol. 9 No. 1. p. 218 - 220

Winant, Clinton D., 1979

Coastal Current Observations: Reviews of Geophysics

and Space Physics, vol. 17 No. 1. p. 89 - 98

Winant, Clinton D., 1980

Coastal Circulation and Wind-Induced Currents:

Annual Review of Fluid Mechanics, vol. 12

Annual Review Inc. p. 129 - 301.