

PREV./CONT./OI/80.

SECRETARIA DE MARINA

DIRECCION GENERAL DE OCEANOGRAFIA

REPORTE TECNICO DEL DERRAME DEL IXTOC I

MEXICO, JULIO 1980.



TD 195 .P 4

.153

A B S T R A C T

In June 3th, 1979, the exploratory well known as IXTOC-I, located on the continental shelf of Campeche, in the south west of the Gulf of Mexico suffered an accidente which causes a 3 million barrels oil spill after 280 days.

It was not an easy task to control the blowout and spilled oil, even using up-today's most sophisticated techniques. The reason for this was owing to the fact that the security preventors were badly injured and to the high emulsification of the oil caused by environmental and fire conditions.

Oil formed pasty grease patches, spreading over the shore lines of the Yucatan peninsula, Mexico and as far as Texas' coast, U.S.A. Spilled oil movement was always predominately towards the west, on account of the current penetrating through the Yucatan channel.

Determining the long-term ecological effects is in research process, however a distinguished increase of hidrocarbons content were observed immediately after the accident, both the water column and sediments, near the blow out areas.

Some bioassays results done during the accident showed fewer effects of the soluble fractions of IXTOC-I crude compared with those proceedings from Fuel Oil No. 2 and Louisiana crude.

C O N T E N I D O

	PAG.
1.- Antecedentes.	1
1.1.- Derrame del Pozo Ixtoc-I.	9
2.- Condiciones Oceanográficas y Meteorológicas en relación con el Derrame.	15
2.1.- Corrientes en el Golfo de México.	15
2.2.- Variaciones Meteorológicas Entre Junio y Diciembre de 1979, en el Golfo de México.	18
2.3.- Formación y Trayectoria de los Huracanes y sus Efectos en el Comportamiento de las Manchas de Aceite.	23
2.4.- Distribución de las Manchas de Petróleo, - Observaciones Aéreas y de Satélite.	26
3.- Proceso del Derrame.	34
3.1.- Efectos Sobre los Parámetros Físico-Químicos.	34
3.2.- Análisis Físico-Químicos del Agua.	35
3.3.- Difusión del Derrame.	39
3.4.- Evaporación.	41
3.5.- Emulsificación.	44
3.6.- Foto-Oxidación.	46

	PAG.
3.7.- Contenido de Hidrocarburos en el Agua.	47
3.8.- Hidrocarburos en Sedimentos.	51
3.9.- Formación de Alquitrán.	57
3.10.- Efectos Originados por el Derrame, en Re- lación con el Ecosistema.	59
3.11.- Toxicología de los Crudos Provenientes del Ixtoc-I.	65
4.- Aspecto Operacional y Económico del Accidente.	69
4.1.- Estrategia para la Lucha Contra la Conta- minación.	69
4.2.- Control del Pozo.	70
4.3.- Recuperación del Derrame.	74
4.4.- Empleo de Agentes Químicos	77
4.5.- Costos del Accidente.	78
5.- Conclusiones.	83
6.- Referencias.	88

La Secretaría de Marina, a través de la Dirección General de Oceanografía, en cumplimiento al inciso XVII, Fracción IV, Artículo 30 de la Nueva Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; ejerciendo las facultades otorgadas por Decreto Presidencial publicado el 30 de Enero de 1978, en el cual designa a la Secretaría de Marina como autoridad competente para el ejercicio de las funciones contenidas en el convenio internacional para la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias y en cumplimiento a lo estipulado en el reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias, que entrara en vigor el día 24 de Enero de 1979, tiene a bien publicar el trabajo denominado:

REPORTE TECNICO DEL DERRAME DEL IXTOC-I

Publicación elaborada por la Dirección de Prevención de la Contaminación Marina, atendiendo a los aspectos más importantes ocurridos durante el descontrol del pozo exploratorio IXTOC-I, que se originara el 3 de Junio de 1979, frente a las costas de Campeche en el Golfo de México.

Se agradecerá hacer de nuestro conocimiento, las sugerencias y observaciones en torno al presente reporte.

EL DIRECTOR GENERAL
FERNANDO PIANA LARA
ALMIRANTE

1.- ANTECEDENTES:

El 1º de Diciembre de 1978 se inició la perforación del Pozo IXTOC-I, localizado a 94 Km. al NW de Ciudad del Carmen, Camp., entre 10°20' de latitud norte y 92°25' de longitud oeste (fig. 1.1 y 1.2). El objetivo de esta perforación fue determinar la existencia de hidrocarburos en rocas carbonatadas del Paleoceno, Cretácico y Jurásico en esta zona del Golfo de México.

La operación se realizó desde la plataforma semisumergible SEDCO 135, en un tirante de agua de 50.5 metros. Con este pozo se confirmó la existencia de un nuevo yacimiento de aceite, estimándose un potencial de 800 millones de barriles de crudo.

Como se mencionó, los trabajos de perforación se iniciaron el 1º de Diciembre de 1978; para lo cual se utilizó un barrenos de 36" de diámetro y posteriormente conforme se avanzó en la operación se emplearon diversos barrenos hasta el día 3 de Junio de 1979, fecha en que ocurrió el accidente del IXTOC-I.

Al alcanzar la profundidad de 3,627 m., se observó pérdida parcial del fluido de perforación. Se controló esta pérdida y se procedió a extraer la tubería para colocar un tapón y faltando

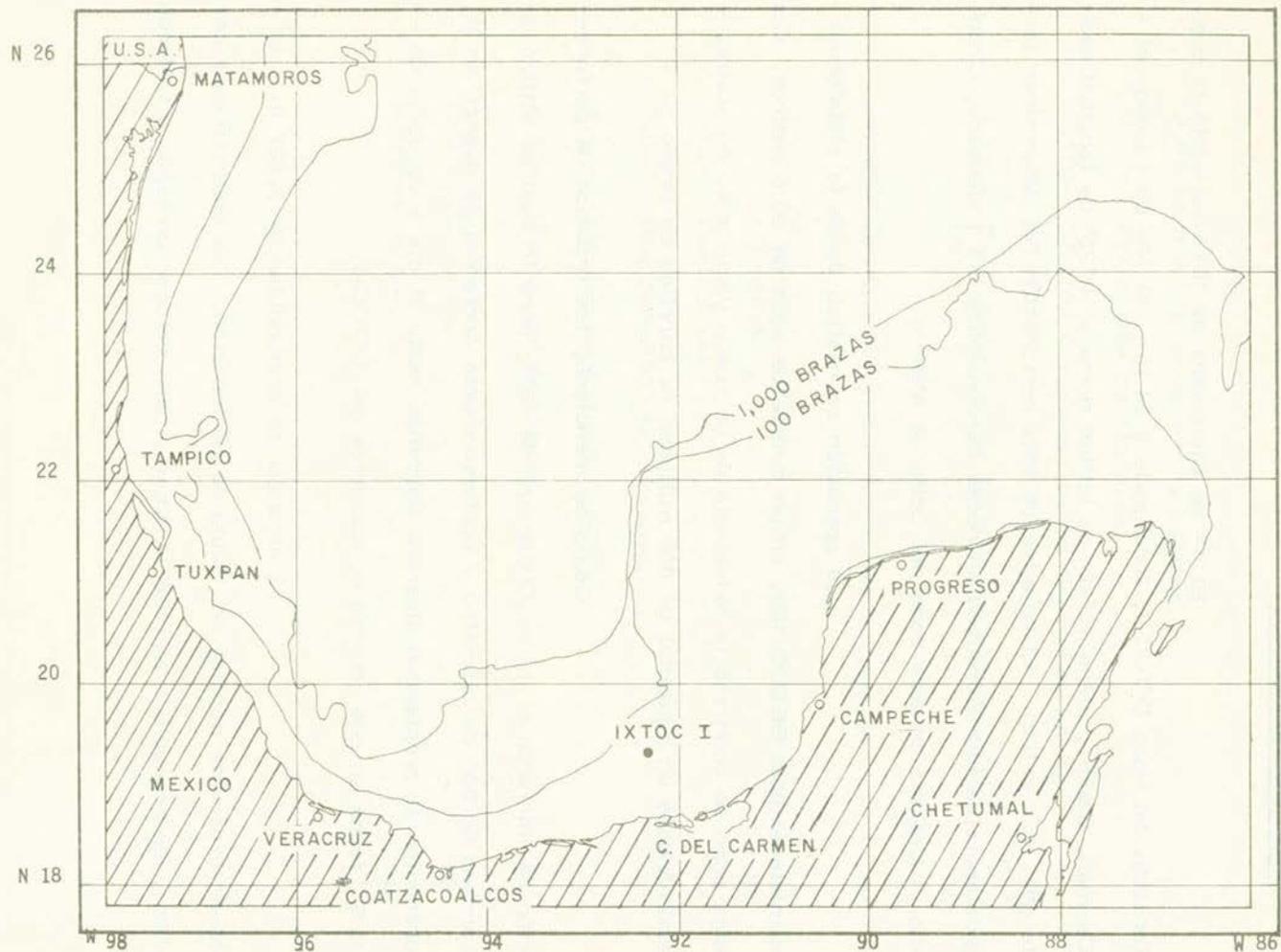


FIG. 1.1 LOCALIZACION DEL POZO IXTOC I

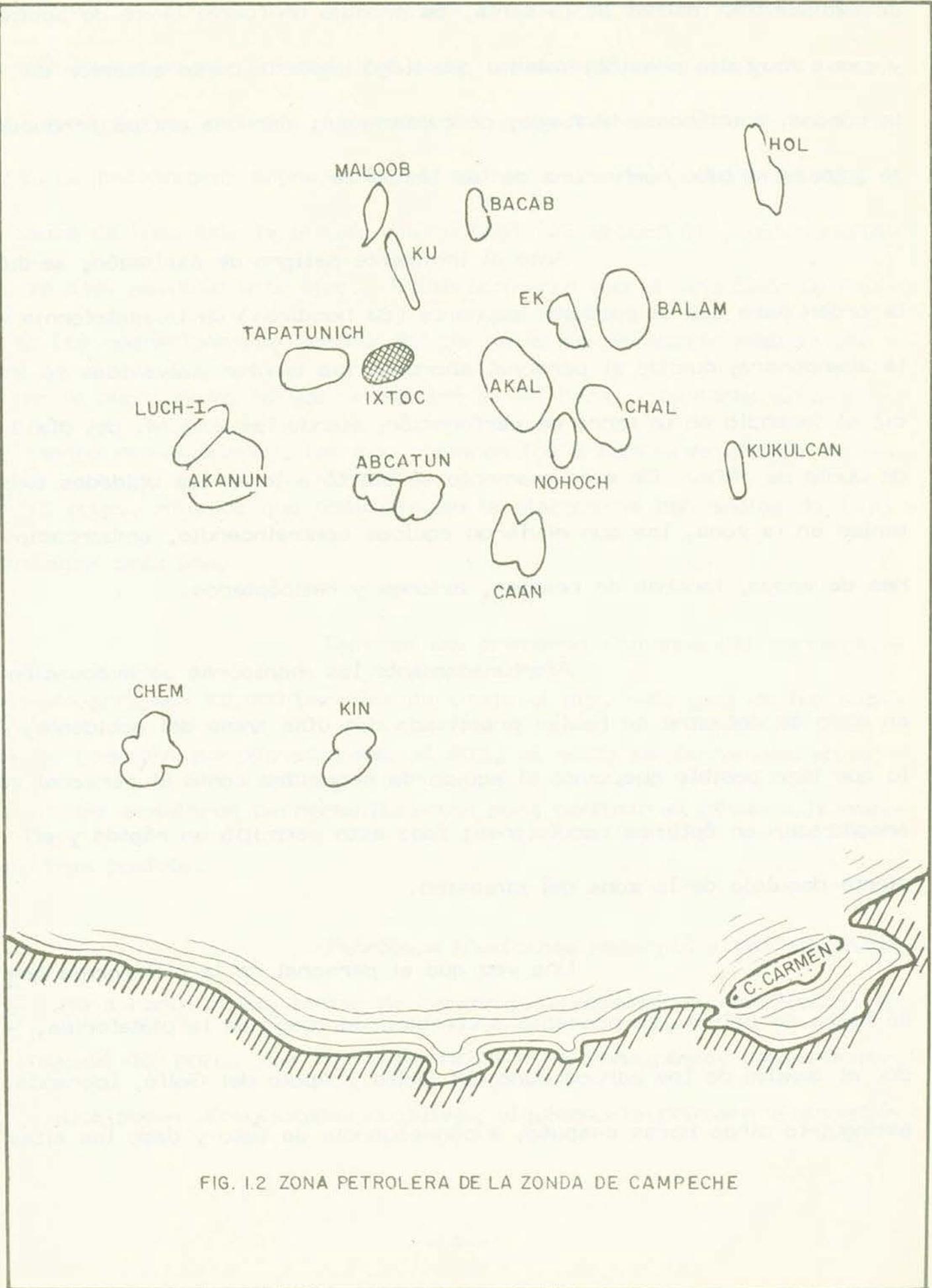


FIG. 1.2 ZONA PETROLERA DE LA ZONDA DE CAMPECHE

de extraer 200 metros de la sarta, se produjo un fuerte brote de aceite y gas a muy alta presión, mismo que llegó hasta la parte superior de la corona, iniciándose el fuego, probablemente, por una chispa producida al golpear el tubo contra una de las lámparas.

Ante el inminente peligro de explosión, se dió la orden para que el personal ocupante (63 hombres) de la plataforma la abandonara; cuando el personal abordaba las lanchas salvavidas se inició el incendio en la torre de perforación; siendo las 2 A.M. del día 3 de Junio de 1979. En este momento se alertó a todas las unidades existentes en la zona, las que enviaron equipos contraincendio, embarcaciones de apoyo, lanchas de rescate, aviones y helicópteros.

Afortunadamente las maniobras de evacuación en caso de desastre se habían practicado dos días antes del accidente, lo que hizo posible que, tanto el equipo de seguridad como el personal se encontrasen en óptimas condiciones; todo esto permitió un rápido y eficiente desalojo de la zona del siniestro.

Una vez que el personal de la plataforma quedó fuera de peligro, se procedió a combatir el fuego de la plataforma, con el auxilio de los barcos Juno del Golfo y Apolo del Golfo, logrando extinguirlo cinco horas después; a consecuencia de ésto y dado las altas

presiones (6,000 psi) con que brotaba el gas y el aceite, la torre y parte del equipo de perforación, así como las tuberías (3.6 Km. de largo) se derrumbaron, dañando el cabezal del pozo donde se encontraba el conjunto de preventores sobre el lecho marino a una profundidad de 50.5 m, a causa de todo ésto la plataforma SEDCO 135 escoró 25°, permaneciendo en esta posición tres días. Posteriormente con el propósito de facilitar las operaciones de control del derrame fué necesario retirar del lugar la plataforma, lo que se realizó en 24 horas, mediante el apoyo de varios remolcadores, los que cortaron los 9 cables de anclaje de 2 1/2 pulg., mismos que posicionaban la plataforma con anclas de 13.6 toneladas cada una.

Durante las primeras semanas del derrame, el pozo arrojaba 30,000 barriles de crudo al día, más gas; de los cuales se quemaba aproximadamente el 50%, el resto se derramaba en el mar. Se instalaron barreras flotantes para confinar el crudo a la menor área posible.

Petróleos Mexicanos recurrió a dos alternativas: una a corto plazo, tratar de cerrar los preventores localizados en el cabezal del pozo. La otra alternativa a mediano plazo, requería perforar dos pozos direccionales de alivio; siguiendo la primera alternativa

llegó al área del accidente la barcaza Tolteca, propiedad de Hetherland Offshore; hubo necesidad de contratar a Red Adair, el famoso especialista en control de accidentes de pozos petroleros mar adentro.

Cuando se vió que era imposible controlar el pozo por los métodos convencionales, se contrató a la firma Martech -- International, de Houston, Texas, expertos en aspectos submarinos de la industria petrolera. Esta compañía trasladó el día 6 de Junio un sumergible TREC con todo su equipo adicional (incluyendo generador, compresor, malacates y pánenes de control), por vía aérea hasta Ciudad del -- Carmen.

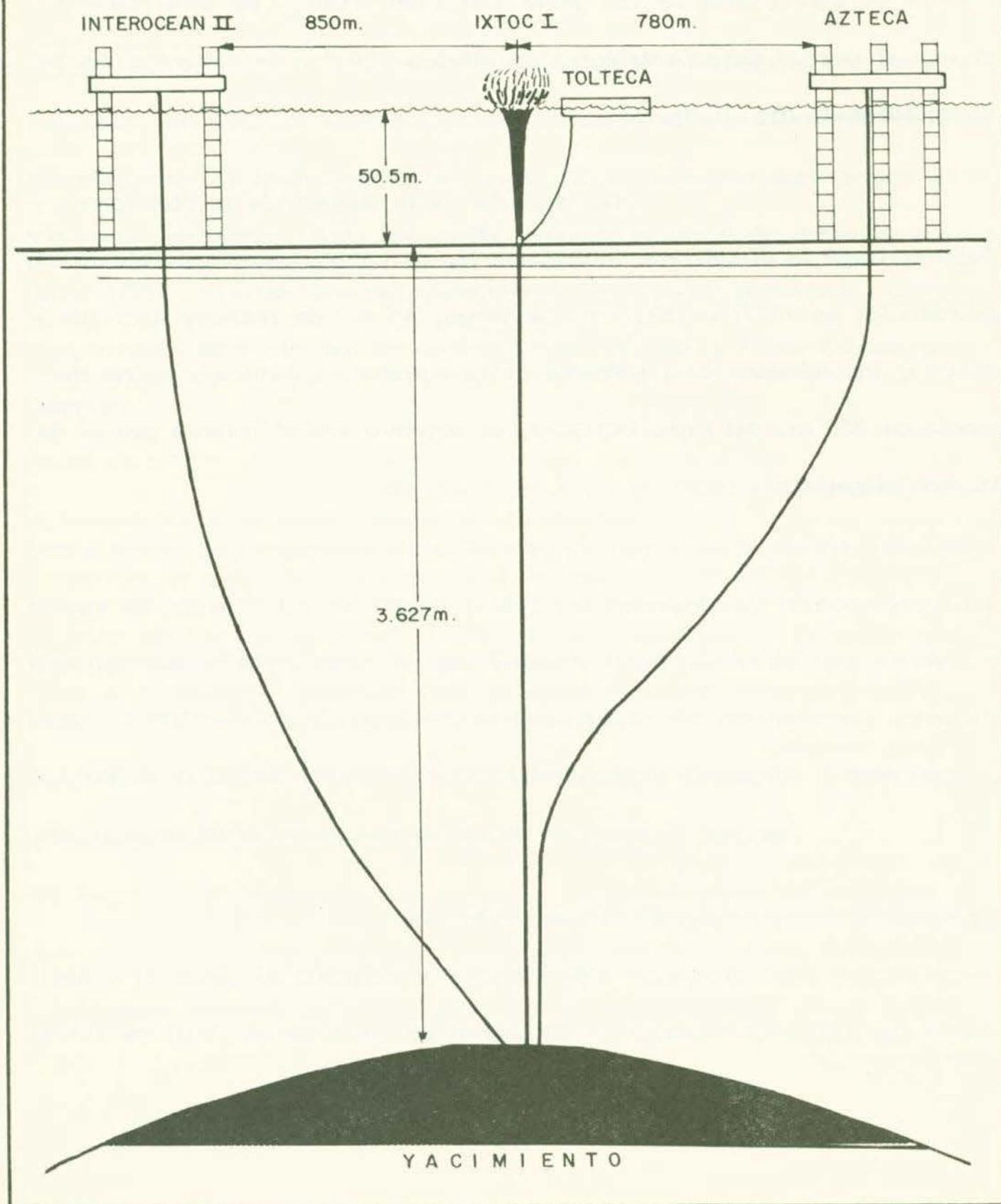
El día 7 de Junio el TREC y su equipo estaban a bordo de la barcaza Able Turtle, de donde se iniciarían las operaciones de buceo. La poca visibilidad, las corrientes y la presión de salida del aceite dificultaron la operación de localización de la boca del -- pozo. Finalmente el 8 de Junio se localizaron los preventores, pero al acercarse la unidad del TREC fue violentamente despedida y deteriorada, debido a las altas presiones de salida de gases y aceites.

Tres días después de que ocurrió el accidente, llegó a la zona, la plataforma auto-elevable Azteca de tres patas (construída en 1977; de 62.4 m. de largo, 53.4 m. de ancho y 6.6 m. de al-

tura) con capacidad para 54 personas a bordo. La finalidad de ésta fué la de perforar un pozo direccional, con el que se suponía disminuiría la presión de salida tanto de los gases como del crudo y de esta manera - ahogar el pozo. Esta plataforma se situó a 780 m. de distancia del pozo accidentado (fig. 1.3).

Días después de la llegada de la plataforma - Azteca, llegó la plataforma Interocean II, de cuatro patas auto-elevables, (construída en 1977; de 53.7 m. de largo, 45 m. de ancho y 6 m. de - altura), instalándose casi enfrente de la plataforma Azteca y a una distancia de 850 m. del Pozo IXTOC-I, el objetivo era el mismo que el de la otra plataforma.

FIG. I.3 SITUACION DE PERFORACION DE LOS POZOS DIRECCIONALES DE ALIVIO.



1.1.- DERRAME DEL POZO IXTOC-I:

A consecuencia de la magnitud del percance, llegaron al área afectada dos unidades sumergibles, las cuales tenían por objetivo inspeccionar el cabezal y el conjunto de preventores, para diagnosticar las alternativas técnicas posibles de control del derrame; para tal fin se empleó el siguiente equipo.

- Televisor sumergible tipo TREC de Martech International Inc.
- Sumergible Pioneer I de Martech International Inc.

El equipo antes mencionado llegó a esta zona el día 7 de Junio de 1979 y estaba a bordo de la barcaza Able Turtle -- que sería la base junto al fuego para el TREC y las operaciones de buceo. Esta barcaza se instaló en posición perpendicular a la Tolteca, lo que permitía tener una base de operación y rescate lo más cerca posible a la boca del pozo.

La llegada de estos equipos marcó una pauta en cuanto a accidentes en plataforma, pues fue la primera vez en la historia de accidentes petroleros en altamar que este equipo se empleó en operaciones de apoyo para controlar y combatir incendios. Mediante el uso de éste equipo se pudo detectar que algunos preventores se encontrara

ban en perfecto estado, también se observó que la presión de salida de los gases y del crudo provocaban un vórtice justo encima del cabezal - del pozo, lo cual provocaba una mayor emulsión del aceite con el agua de mar.

También se observó que el incremento de la velocidad de las corrientes superficiales, misma que variaba de 1.5 a - 3.5 nudos, en el área provocaba un aumento en la emulsificación de los hidrocarburos; con lo cual la visibilidad en el agua disminuyó hasta aproximadamente 10 cm., este fenómeno aunado a las altas presiones de salida de gases y crudo impidió las operaciones submarinas de control del pozo al personal de buceo destacado por PEMEX en esta operación.

Al inicio del derrame el cono incendiado tenía un diámetro aproximado de 12 m. y una altura de 6 m., posteriormente debido a la difusión del petróleo por las corrientes marinas, la propagación del derrame aumentó, alcanzando un diámetro aproximado de 100 a 120 m., con un espesor de aproximadamente 5.5 mm. y con una tendencia hacia el Oeste; en este momento se estimó que el flujo del pozo era de 30,000 barriles diarios de crudo.

Con el propósito de controlar el derrame del Pozo IXTOC-I, se presentaron diversas alternativas tanto del secto públi

co como del privado, llevándose a cabo aquellas que se consideraron -- más apropiadas; una de estas alternativas consistió en inyectar esferas de acero y plomo al interior del pozo mediante una manguera conectada al cabezal, con esto se logró reducir de 30,000 a 20,000 barriles/día -- el derrame de crudo y para Agosto de 1979, se estimaba el derrame en 10,000 barriles/día. A fines de Diciembre de 1979 se logró inyectar a través de un pozo direccional 2,400 barriles de agua de mar, con lo -- cual se redujo el flujo de hidrocarburos hasta aproximadamente 2,000 -- barriles/día (fig. 1.1.1).

Durante los 280 días que siguieron al inicio -- del accidente del IXTOC-I (3 de Junio de 1979 hasta 24 de Marzo de -- 1980) se derramó un volumen aproximado de 3.1 millones de barriles -- de crudo (484,300 tons.); de esta cantidad se quemó el 50%, se evaporó el 16.1%, se recolectó el 5.4% y se dispersó el 28.5% (estimaciones de PEMEX). En la tabla No. 1.1.1 y en la fig. 1.1.2 se describe lo an- tes citado.

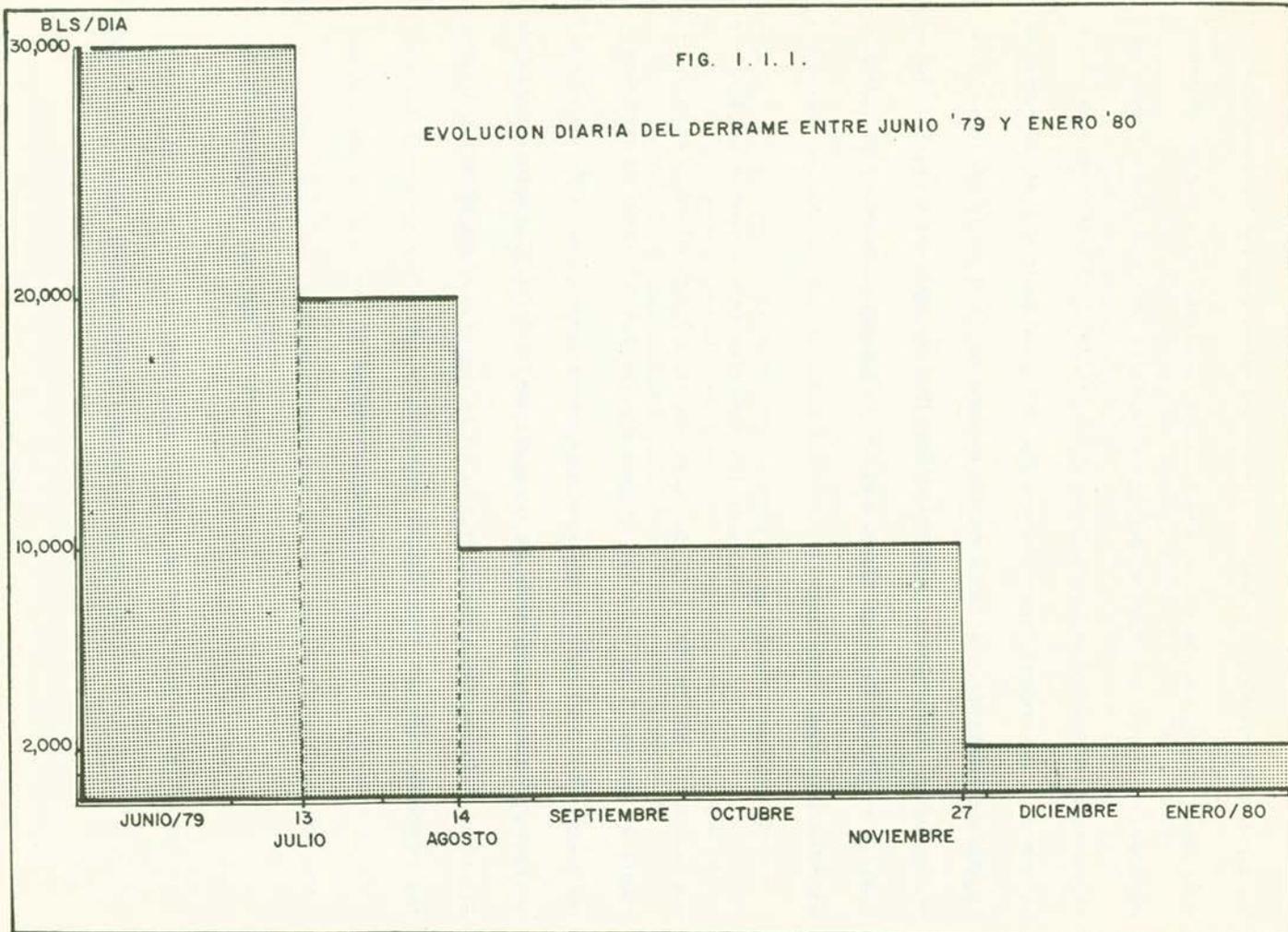


TABLA NO. 1.1.1

Distribución del volumen total procedente del derrame del IXTOC-I
(estimación según PEMEX)

Vol. total quemado	50%	=	1'550,000 barriles
Vol. total dispersado	28.5%	=	883,000 barriles
Vol. total evaporado	16.1%	=	500,000 barriles
Vol. total recolectado	5.4%	=	167,000 barriles

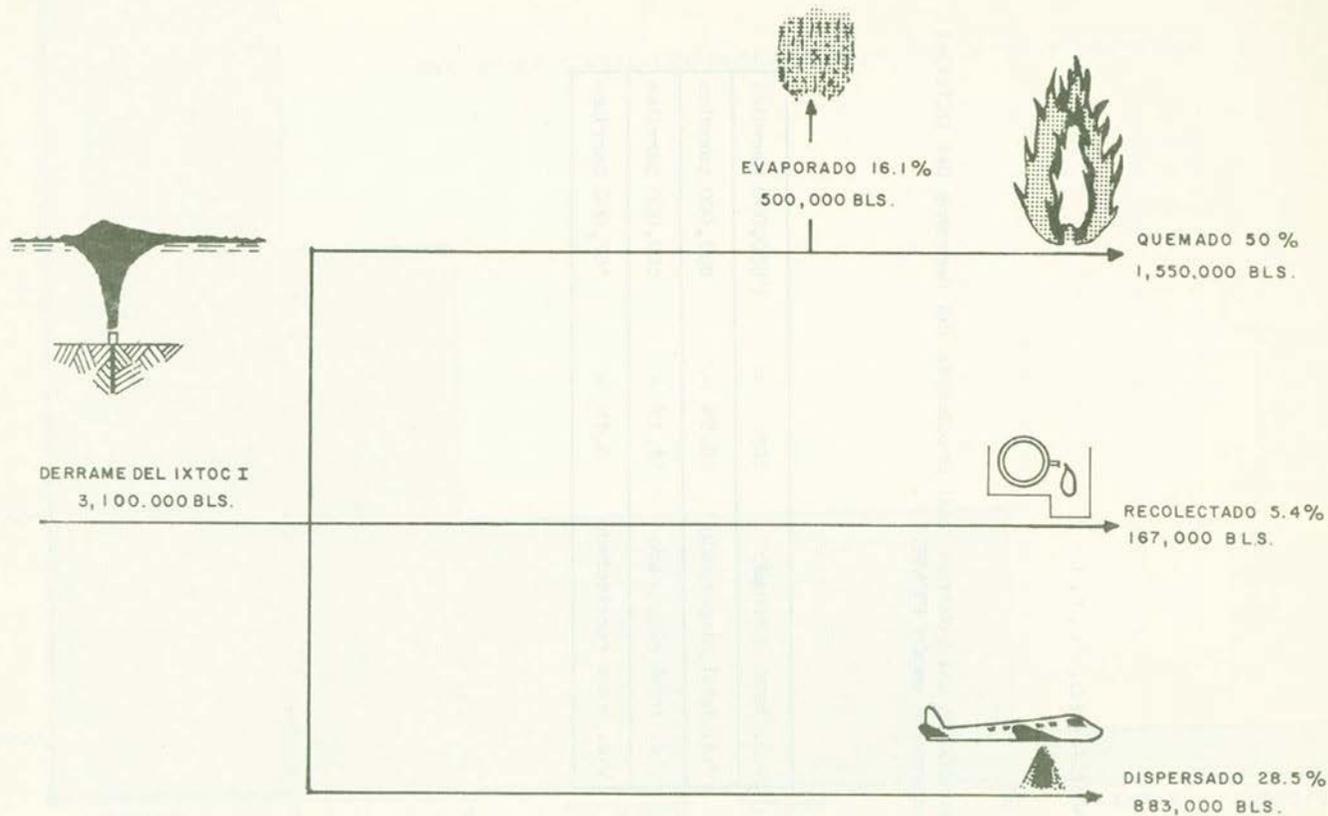


FIG. 1.1.2 ESTIMACION DE LOS VOLUMENES DEL DERRAME

2.- CONDICIONES OCEANOGRAFICAS Y METEOROLOGICAS EN RELACION CON EL DERRAME:

2.1.- CORRIENTES EN EL GOLFO DE MEXICO:

El principal flujo de agua entrante en el Golfo de México es a través del estrecho de Yucatán el cual tiene una profundidad entre 1500 y 1900 metros. La mayor cantidad de agua saliente fluye hacia el Atlántico del Norte por el estrecho de Florida que tiene una profundidad promedio de 800 m.; entre los dos estrechos se forma la corriente de Lazo con un promedio de gasto de 30 svedrups*, los cuales por angostamiento y prolongación hacia el Norte de esta corriente dentro del Golfo de México se rompe ocasionalmente cada año formando un remolino anticiclónico.

Dicho remolino tiene un promedio de 10 svedrups y se desplaza a lo largo de todo el Golfo hacia el Oeste a una velocidad de 20 millas marinas por mes. Su diámetro aproximado es de 450 Kms. y es el principal generador de otras corrientes locales de el Oeste del Golfo.

En la bahía de Campeche, así llamada la parte Suroeste del Golfo de México, se encuentra un remolino ciclónico --

* (1 svedrups = 1×10^6 m³/seg.)

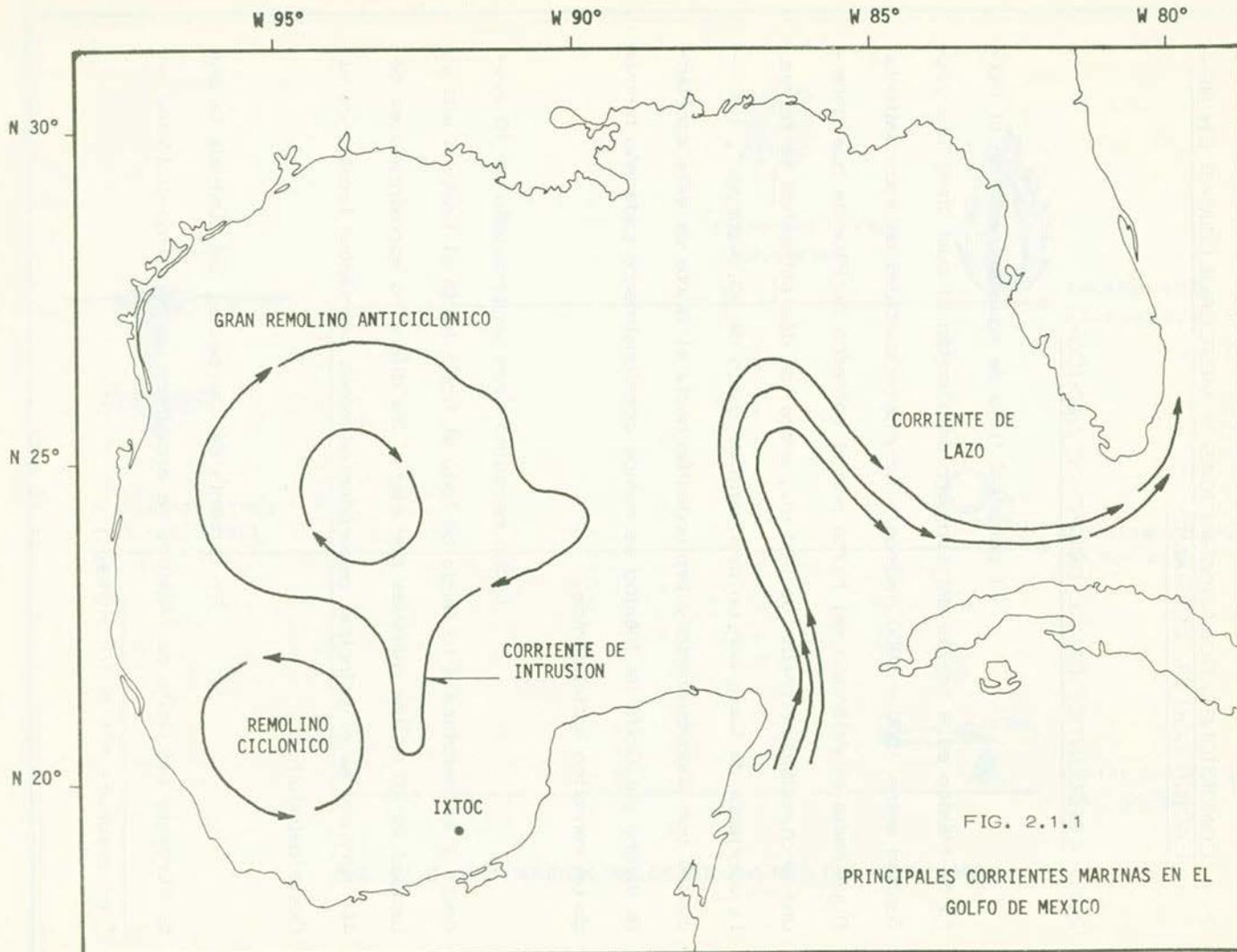


FIG. 2.1.1

PRINCIPALES CORRIENTES MARINAS EN EL GULFO DE MEXICO

como complemento al antes mencionado, su giro es contrario como su nombre lo indica (fig. 2.1.1).

Así mismo se ha observado una corriente de intrusión a lo largo del cañón de Campeche que se encuentra conectada en algunas ocasiones con el gran remolino anticiclónico.

La circulación oceánica provocada por los remolinos y las corrientes de intrusión sirvió a los derrames de aceite -- del Ixtoc para que tomaran una dirección predominantemente noroeste, -- arribando a la costa a la altura de Tuxpan a principios de Julio, como se había predicho.

En el mes de Marzo de 1979 en la operación FGGE-ATLAN se encontró el centro del gran remolino anticiclónico en -- una situación Lat. $23^{\circ} - 50.9$ N y long. $94^{\circ} - 00.7$ W con las isotermas a mayor profundidad que los remolinos encontrados anteriormente. Esto sirvió de base para realizar una predicción aproximada del Patrón de -- Corrientes Marinas en el Suroeste del Golfo de México. La posición -- del centro del remolino indicó que el Golfo tenía en ese momento un sistema como el encontrado en Noviembre de 1970. Así, tres meses después, es decir, en el momento de ocurrir el descontrol del Pozo IXTOC I, el gran remolino se encontraba a una distancia de 400 Kms. de la --

costa de Tamaulipas a la altura de Soto la Marina, debido a la defensa natural que representa el remolino ciclónico en la bahía de Campeche, - la principal trayectoria de la mancha del derrame fue por la parte Norte de dicho remolino y la succión que pudo provocar la corriente de intrusión en el cañón de Campeche, al acercarse el gran remolino anticiclónico a las costas de Tamaulipas ocasionó mayor alfluencia de manchas en las costas del mismo estado y en las de Texas por consiguiente.

Los huracanes en los meses de Agosto, Septiembre y Octubre aprovecharon en gran parte, la energía acumulada en el gran remolino anticiclónico como fue el caso del "Elena" que surgió frente a Tampico y el "Henri" que perdió fuerza al aproximarse al remolino ciclónico (relativamente frío) y volvió a cobrar fuerza al pasar por las aguas del gran remolino anticiclónico (relativamente caliente).

El sistema de cambio de masas de agua de la Laguna de Términos en la temporada de lluvias en combinación con la corriente de intrusión sirvió para mantener el mayor tiempo posible la dirección del derrame hacia el Norte-Noreste actuando como una defensa natural del medio ambiente de la laguna.

2.2.- VARIACIONES METEOROLOGICAS ENTRE JUNIO Y DICIEMBRE DE 1979 EN EL GOLFO DE MEXICO:

El estado del tiempo en el Golfo de México -

durante el período de Junio a Diciembre de 1979 se caracterizó por los cambios de circulación de los vientos dominantes del este durante el ve rano hasta el fin del otoño y de los vientos del norte y de oeste durante el invierno. El comportamiento atmosférico se manifestó frecuentemente en la parte central del Golfo con una presión media que provocó una inestabilidad dinámica del aire en esa zona, y los vientos dominantes del norte provocaron chubascos en la región sur del país; no siendo así al norte de la Península de Yucatán donde existe la influencia del - aire cálido y húmedo del mar Caribe, hacia el oeste durante el verano. Debido a esta situación, el viento en la Península de Yucatán registró - desplazamientos de esta masa de aire cálido (de este-sureste), pro-- vocando arrastres de agua del mar en la capa superficial hacia el centro del Golfo.

Durante los meses de Junio, Julio y Agosto el clima fué caluroso y húmedo, característico del clima tropical. Después del día del accidente en la zona del Pozo IXTOC no se observaron perturbaciones atmosféricas en la Sonda de Campeche, coincidiendo ésta estabilidad atmosférica con las variaciones del estado del mar (figura No. 2.2.1). Debido a la alta tasa de irradiación solar durante el - verano, se registró una alta temperatura en el aire y en el agua de mar

en la Sonda de Campeche. En el área del Pozo IXTOC se observó la misma tendencia, siendo la temperatura del agua del orden de 18°C desde la superficie hasta el fondo sin presentarse ninguna estratificación térmica lo que significó un proceso más rápido en la evaporación en la zona del derrame del IXTOC.

Este cambio meteorológico de verano a invierno ocasionó el desplazamiento progresivo, del aire frío del continente que proviene de Norteamérica y provocó una mayor frecuencia de oleaje en el mar por los vientos procedentes del Norte y la disminución de la temperatura del aire (figs. 2.2.2 a 2.2.7), por otra parte la masa de aire frío desplazada hacia el Sur del Golfo, proporcionó aire húmedo a la zona de baja presión ubicada en la región Sur de la República Mexicana, provocando un movimiento complejo de las manchas de aceite a lo largo de las costas en el estado de Tamaulipas y Veracruz debido al contrasentido de las corrientes marinas.

Una anomalía observada durante el período de circulación natural de la atmósfera fue en el mes de Septiembre, debido a los huracanes "Elena", "Federico" y "Henri", los cuales atravesaron el centro del Golfo de México, provocando fuertes lluvias y vientos; en particular el "Henri", ocasionó un cambio en la trayectoria de las man-

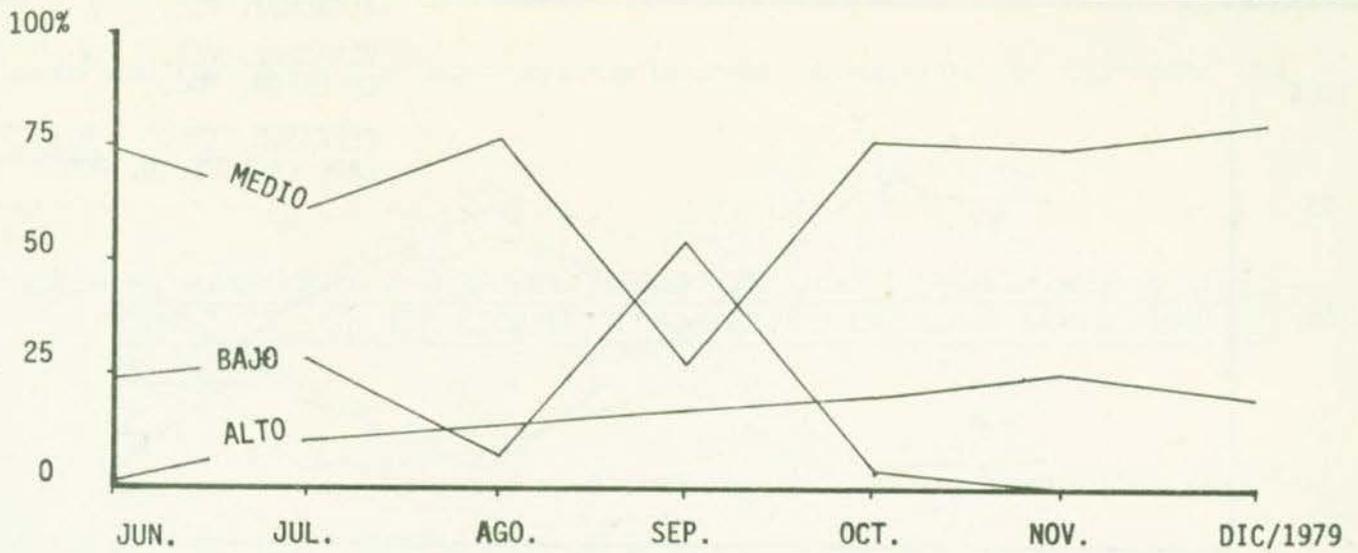


FIG. 2.2.2 VARIACION MENSUAL DE SISTEMA ATMOSFERICO EN EL GOLFO DE MEXICO.

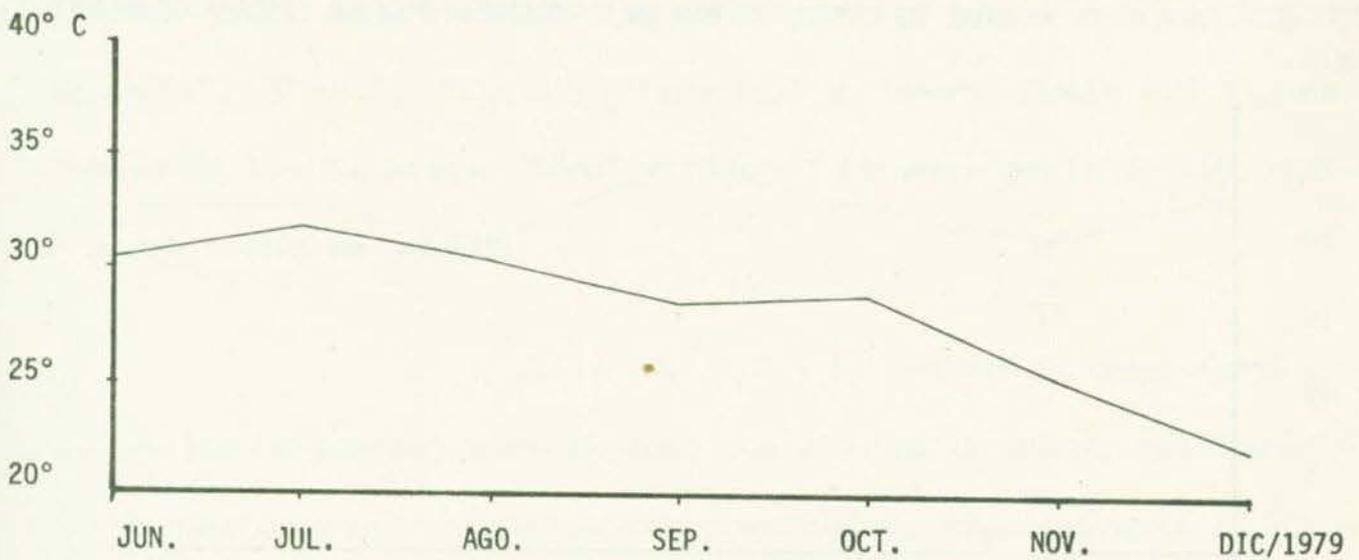


FIG. 2.2.3 VARIACION PROMEDIO DE TEMPERATURA DEL AIRE EN LAS COSTAS DEL GOLFO DE MEXICO.

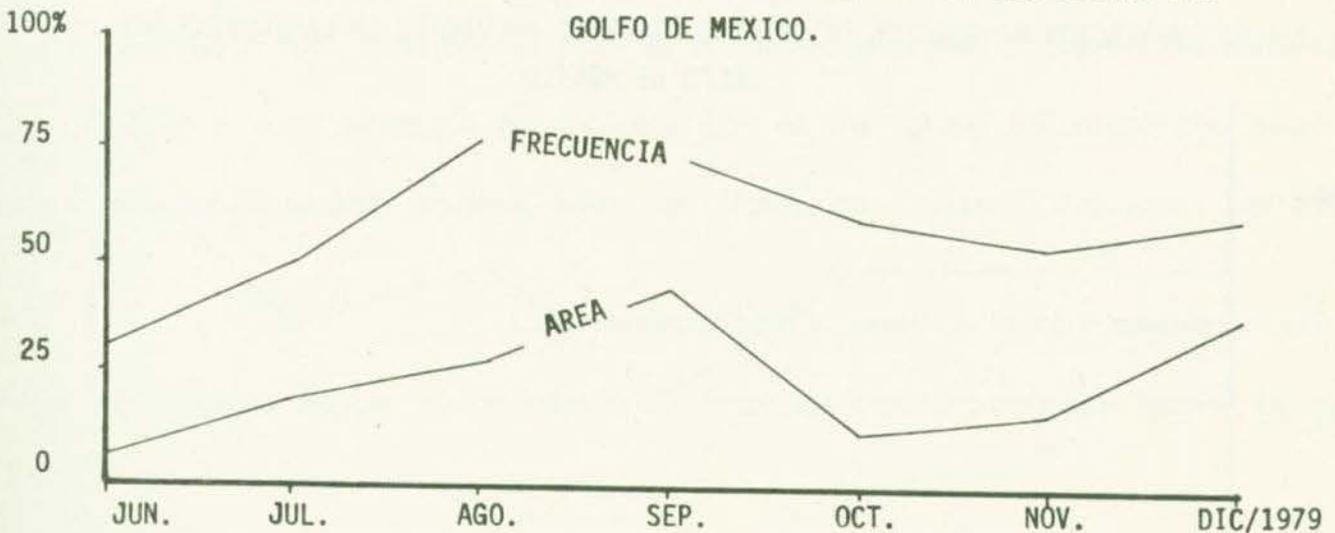


FIG. 2.2.4 FRECUENCIA MENSUAL DE LLUVIA Y PROPORCION DE AREA PRECIPITADA EN LAS COSTAS DEL GOLFO DE MEXICO.

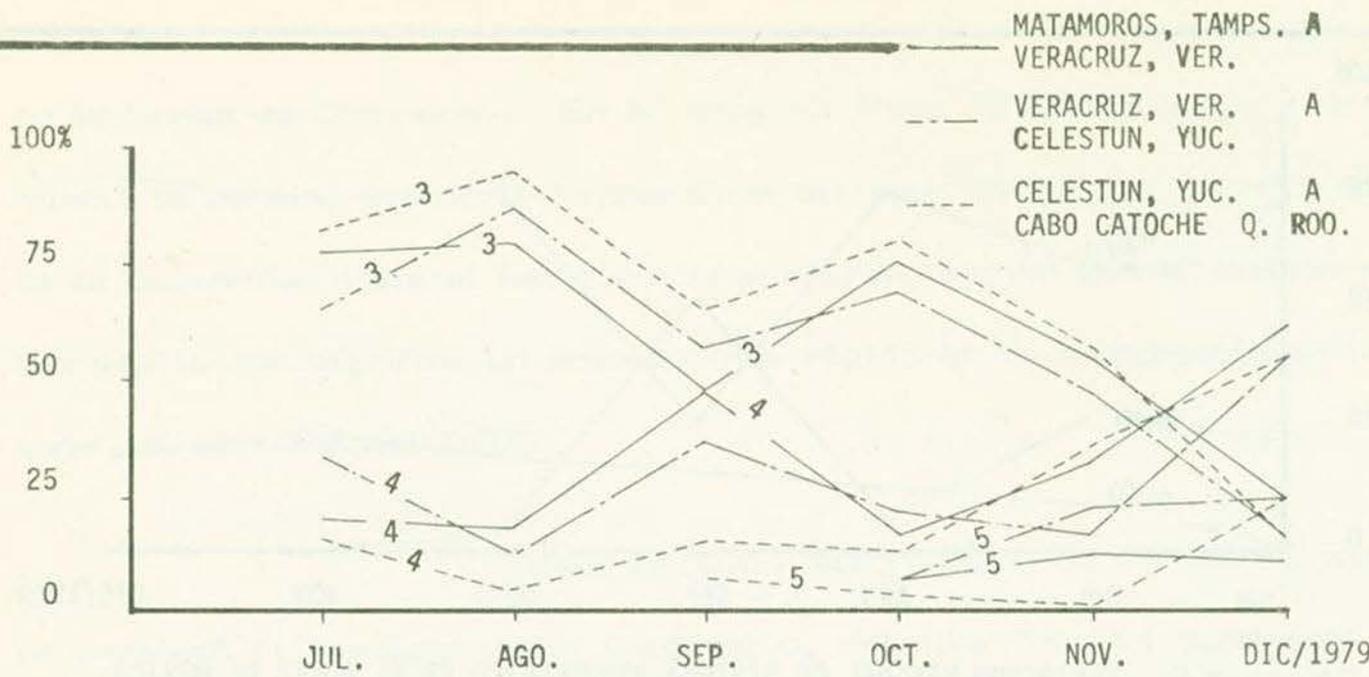


FIG. 2.2.5 VARIACION MENSUAL DE ESTADO DE MAR EN EL GOLFO DE MEXICO (ESCALA DE BEAUFORT)

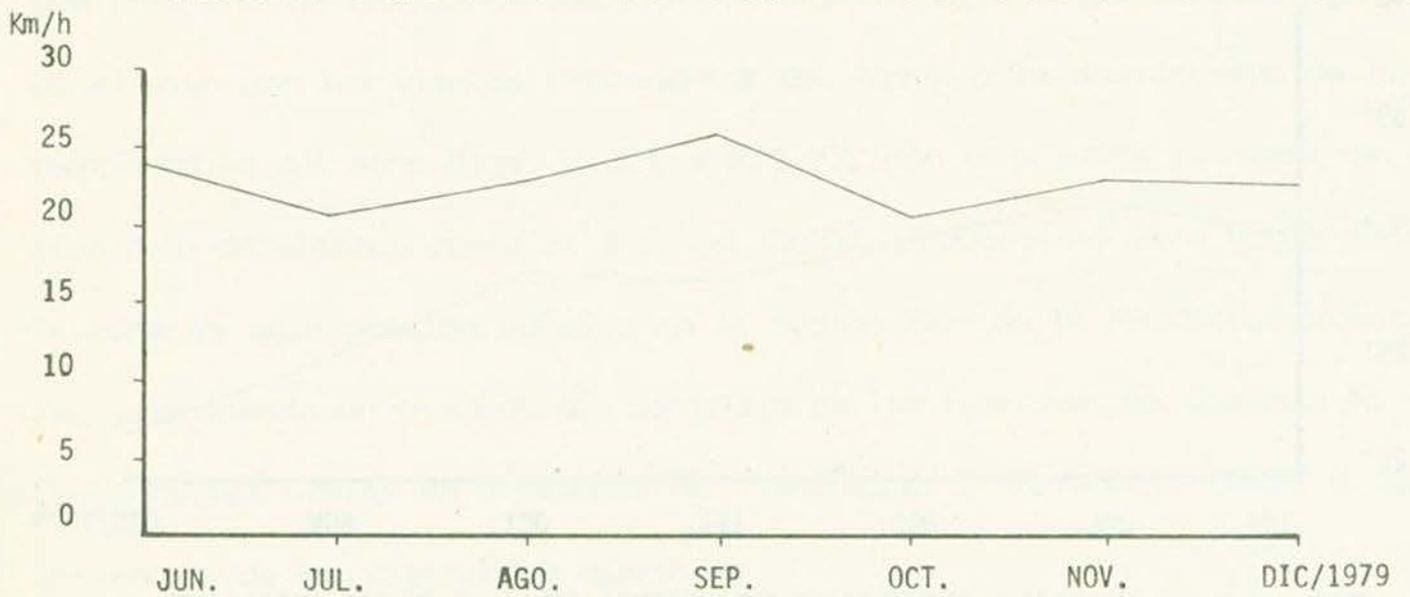


FIG. 2.2.6 VARIACION MENSUAL DE INTENSIDAD PROMEDIO DE VIENTO EN LAS COSTAS DEL GOLFO DE MEXICO.

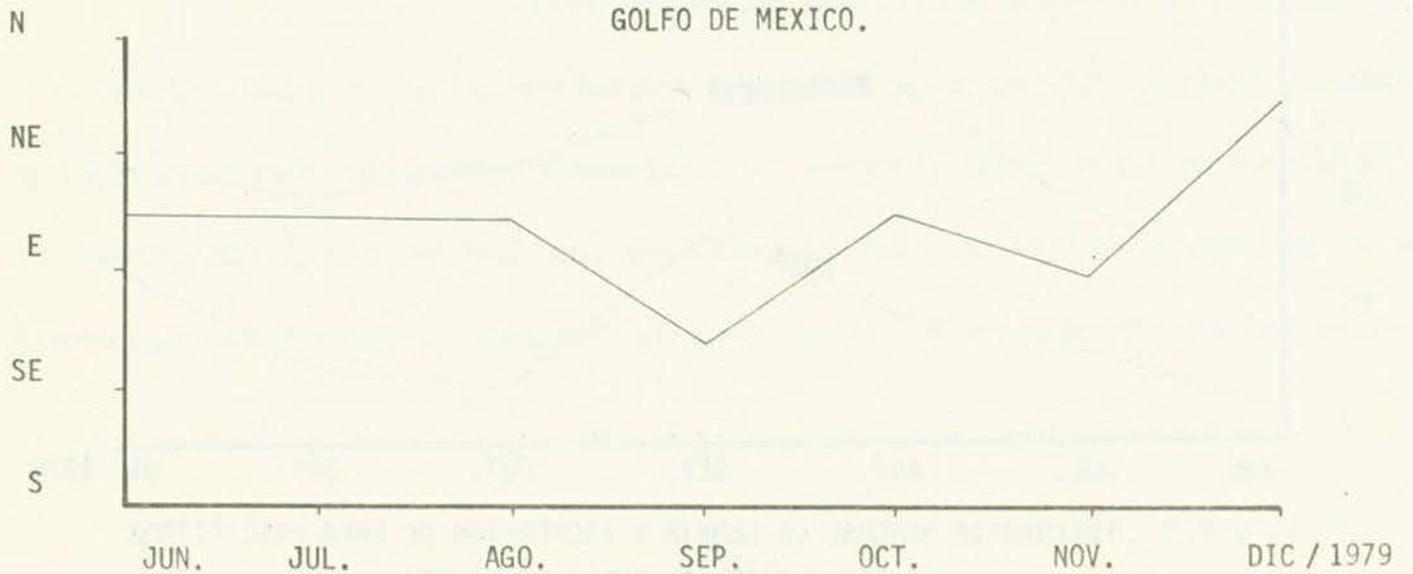


FIG. 2.2.7 VARIACION MENSUAL DE DIRECCION DE VIENTO EN LAS COSTAS DEL GOLFO DE MEXICO.

chas del derrame por su trayectoria más cercana en el Suroeste del --
Golfo.

2.3.- FORMACION Y TRAYECTORIA DE LOS HURACANES Y SUS -- EFFECTOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS MANCHAS DE - ACEITE:

En el período de Junio a Diciembre de 1979, se formaron ocho huracanes en el Océano Atlántico, de los cuales el --
Golfo de México se vió afectado directamente por los huracanes "Bob", "Claudette", "David", "Elena", "Federico" y "Henri" (tabla 2.3.1), aparentemente, los huracanes "Bob" y "Elena" nacieron en la porción sur --
del propio Golfo de México.

En la fig. 2.3.1 se indican la trayectoria y --
fecha de los huracanes, apreciándose que algunos de ellos, realizaron --
movimientos un tanto complejos e impredecibles, especialmente aquellos que cruzaron directamente por el centro del Golfo de México; suponién--
dose que ésto fué ocasionado por la inestabilidad del sistema de alta-ba--
ja presión y a la energía acumulada por el remolino anticiclónico oceá--
nico que se presentó en esa área del Golfo de México (Vazquez, 1974).

Los huracanes "Elena" y "Bob" nacieron en el Sur del Golfo, éstos no ocasionaron grandes perturbaciones sobre la de-

T A B L A 2.3.1

CARACTERISTICAS DE HURACANES FORMADOS EN EL PERIODO DE JUNIO - DICIEMBRE DE 1979

Nombre de Huracán	Fecha		P o s i c i ó n				Velocidad Promedio del desplazamiento (Km/h)	Presión mínima registrada (mb)
	Inicial	Final	Inicial		Final			
			Lat. (N)	Long. (W)	Lat. (N)	Long. (W)		
Bob	9/Jul (12h)	12/Jul (4h)	21.0	92.0	32.0	90.0	22.2	987
Claudette	16/jul (22h)	25/jul (23h)	16.5	53.0	30.7	95.0	23.56	--
David	22/Agt (6h)	7/Sep (7h)	12.0	24.0	45.2	69.5	24.05	--
Elena	27/Agt (6h)	2/Sep (22h)	23.0	97.0	29.0	96.0	15.275	--
Federico	30/Agt (6h)	14/Sep (7h)	11.5	31.5	34.0	87.7	20.98	945
Henri	14/Sep (7h)	25/Sep (16h)	18.0	87.0	26.3	87.5	11.753	984

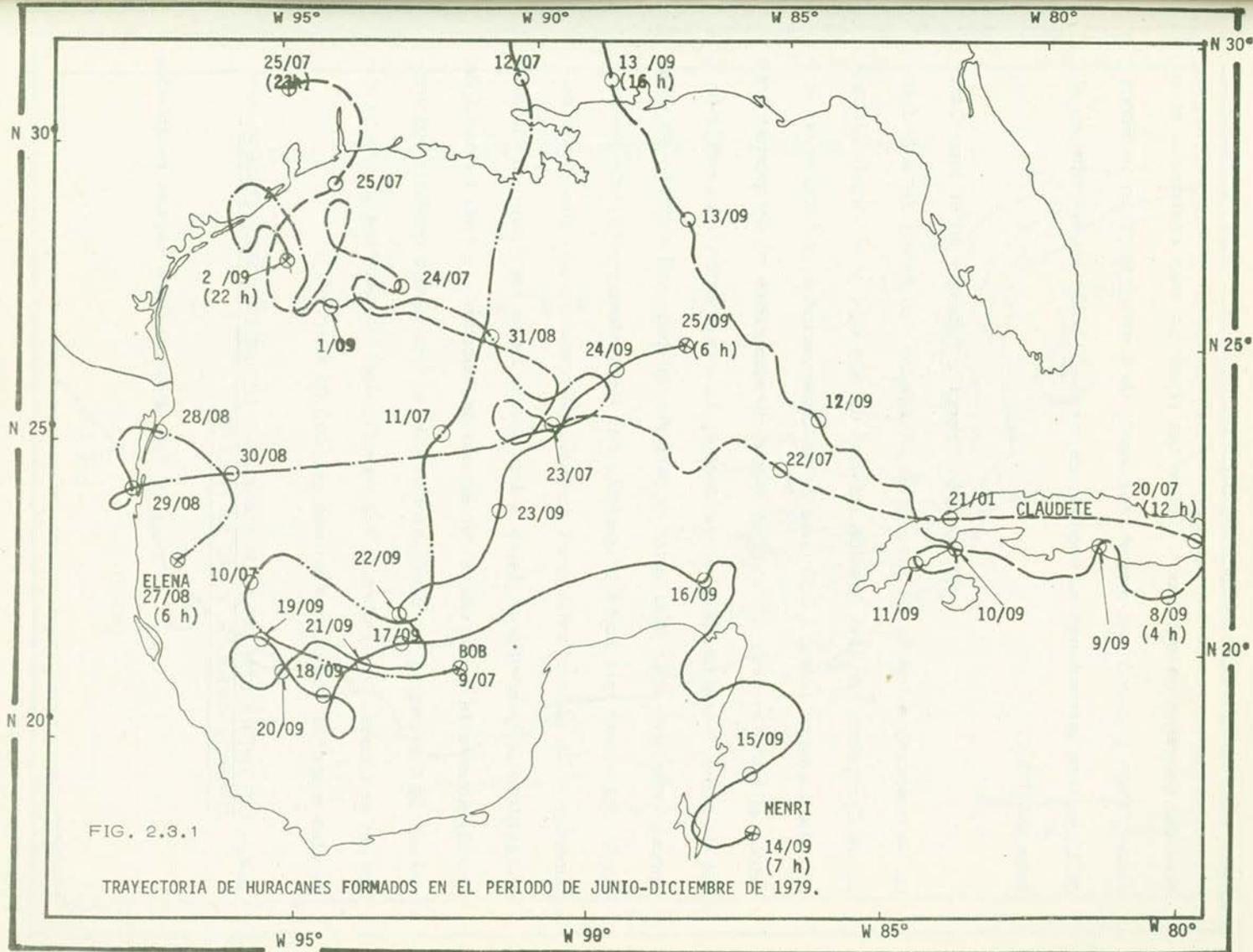


FIG. 2.3.1

TRAYECTORIA DE HURACANES FORMADOS EN EL PERIODO DE JUNIO-DICIEMBRE DE 1979.

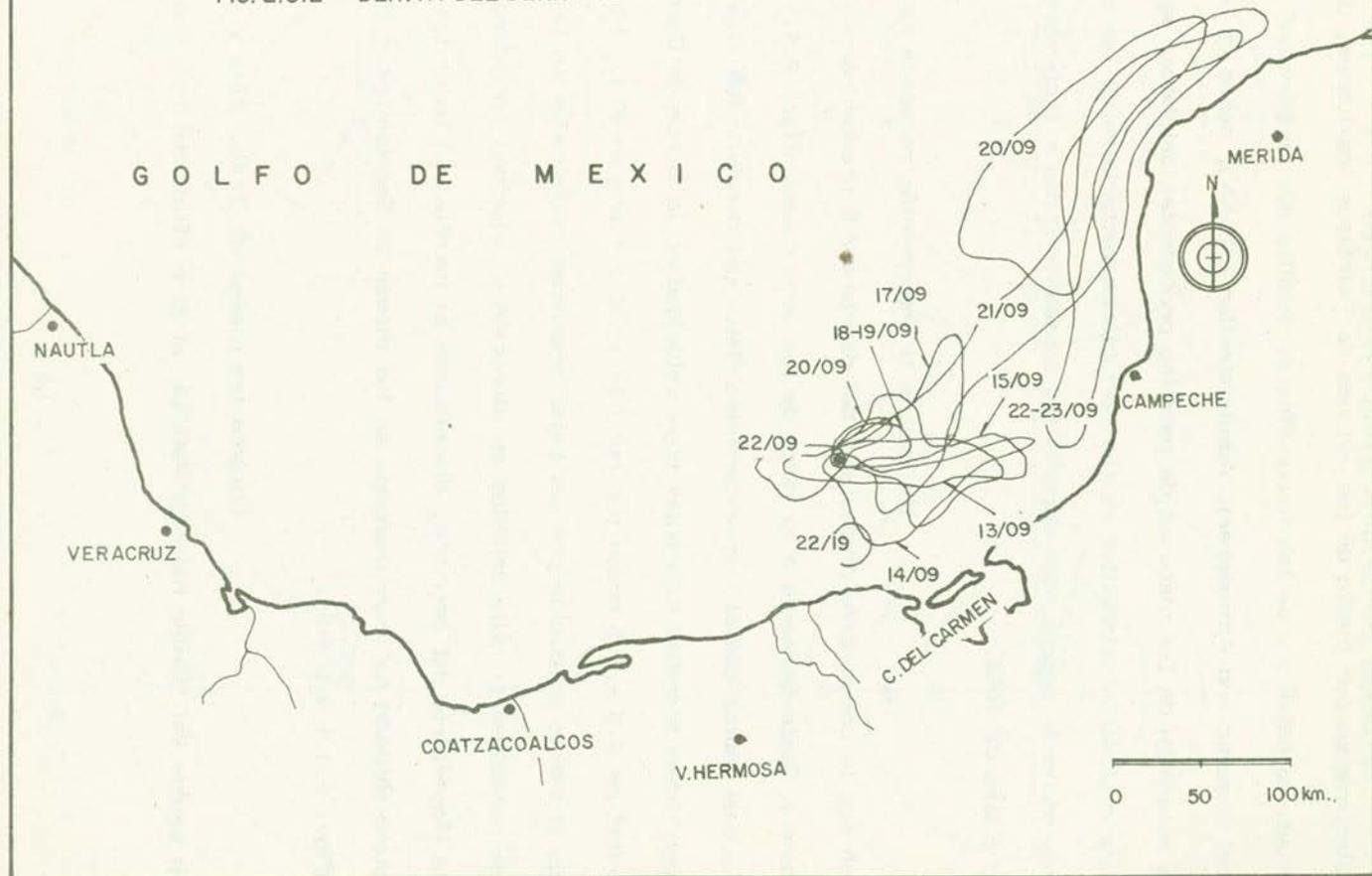
riva del derrame de petróleo. Según las observaciones realizadas el huracán "Bob" provocó una mayor frecuencia de fuerte oleaje en la Sonda de Campeche aumentando el proceso de emulsificación agua-aceite en el área del Ixtoc.

El huracán "Henri", formado en el mar Caribe se desplazó a través de las costas Yucatecas con dirección a la Sonda de Campeche con una presión mínima de 984 mb. y un desplazamiento relativamente lento. Con base a las observaciones realizadas en el Ixtoc, el huracán "Henri" tuvo un efecto directo sobre el comportamiento del derrame, especialmente en la deriva, la evaporación y la emulsión -- aproximadamente diez días antes y después del paso del huracán en esta zona. El viento que sopló procedente del Noroeste con una intensidad -- superior a 45 nudos formó gran cantidad de manchas con alto grado de emulsificación y arribaron éstas a las costas de la Península de Yucatán, principalmente la costa Oeste del estado de Yucatán y a toda la costa del estado de Campeche, en contrasentido de las corrientes marinas existentes en esa zona. La figura 2.3.2 muestra las trayectorias de las principales manchas detectadas en ese período de tiempo.

2.4.- DISTRIBUCION DE LAS MANCHAS DE PETROLEO, OBSERVACIONES AEREAS Y DE SATELITE:

A base de las observaciones aéreas realizadas

FIG. 2.3.2 DERIVA DEL DERRAME POR EFECTO DEL HURACAN "HENRY"

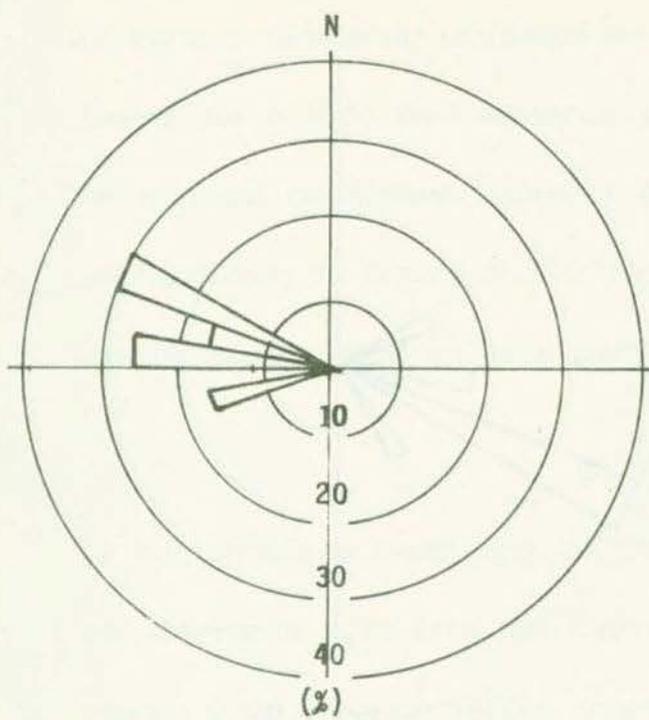


diariamente por medio de los aviones de Petróleos Mexicanos, de la Armada de México y de las fotografías de satélite que proporcionó la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), sobre la ubicación y extensión de las manchas de petróleo procedentes del Ixtoc; se realizó una evaluación estadística de las variaciones vectoriales de las principales manchas encontradas durante los meses de Junio a Diciembre de 1979 y Enero de 1980.

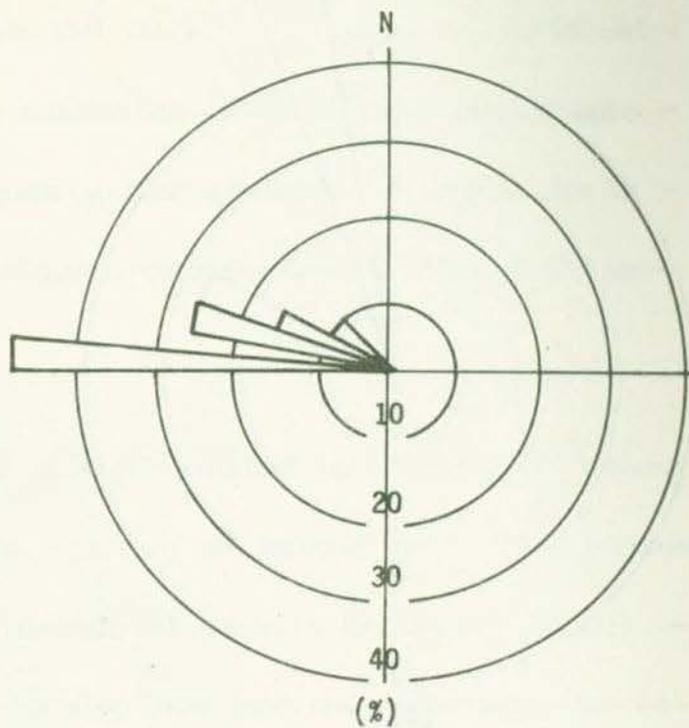
En base a la información recabada se determinó que la componente direccional del derrame fué predominante de Noroeste a Oeste-Suroeste a lo largo de los ocho meses (figs. 2.4.1 y 2.4.2) lo cual indica que el comportamiento físico del derrame fué acorde a las corrientes marinas existentes cuya velocidad en la Sonda de Campeche varió de 0.5 a 1.5 nudos (un nudo es igual a 1.852 Km/h). Sin embargo el viento producido por las bajas presiones registradas en la época de huracanes produjo cambios en dirección y velocidad considerables a la trayectoria del derrame, dispersando el petróleo en todos los sentidos, dicha difusión fue muy marcada en los meses de Septiembre y Noviembre (figs. 2.4.1 y 2.4.2).

Durante los meses de Junio, Julio y Agosto el estado del tiempo fue muy estable, el aire cálido del mar Caribe que

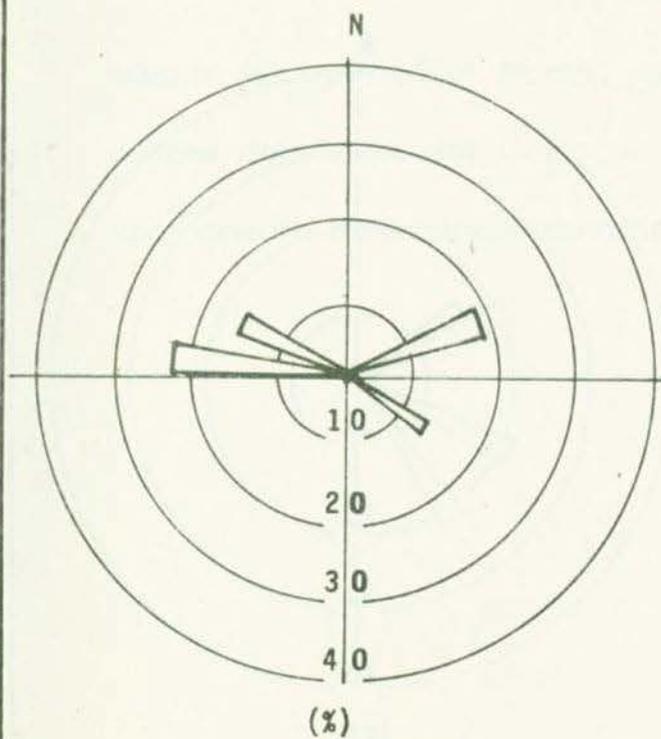
FIG. 2.4.1. VARIACIONES DIRECCIONALES DEL DERRAME



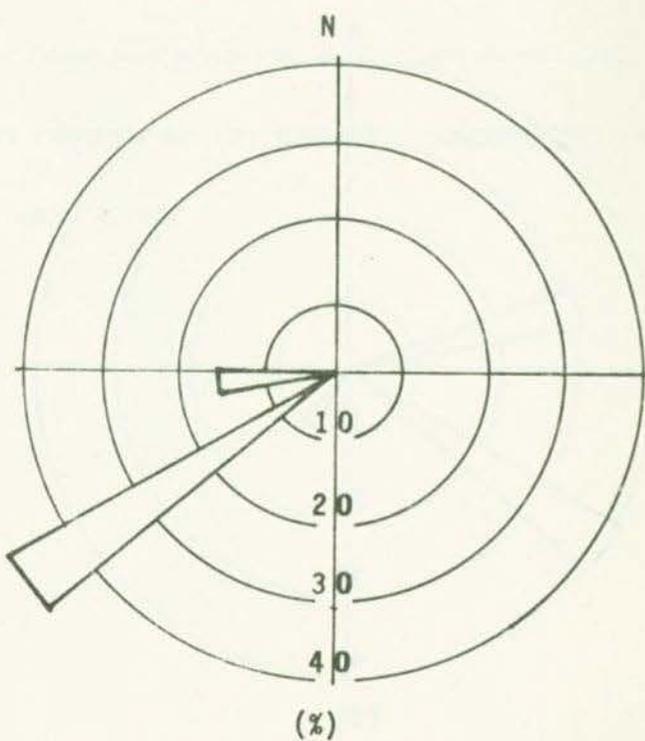
JULIO '79



AGOSTO '79

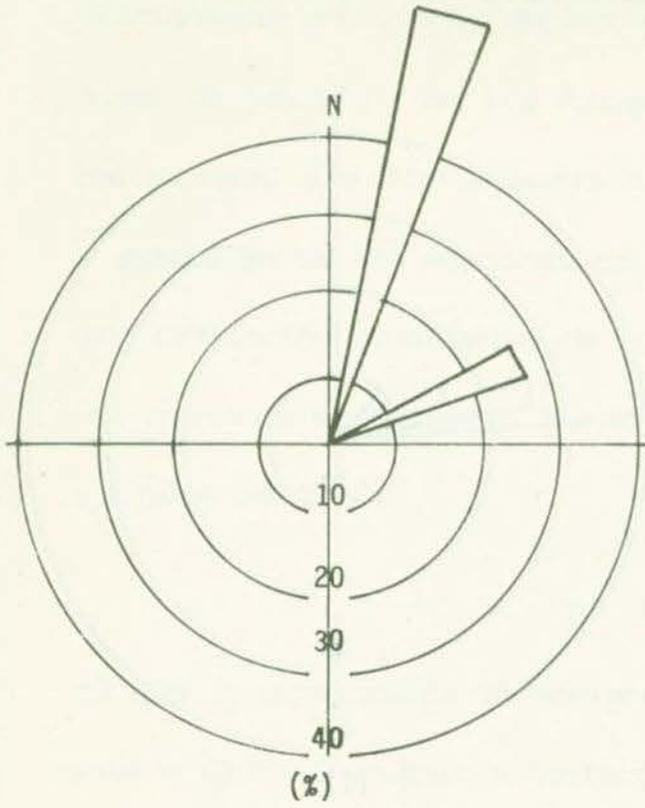


SEPTIEMBRE '79

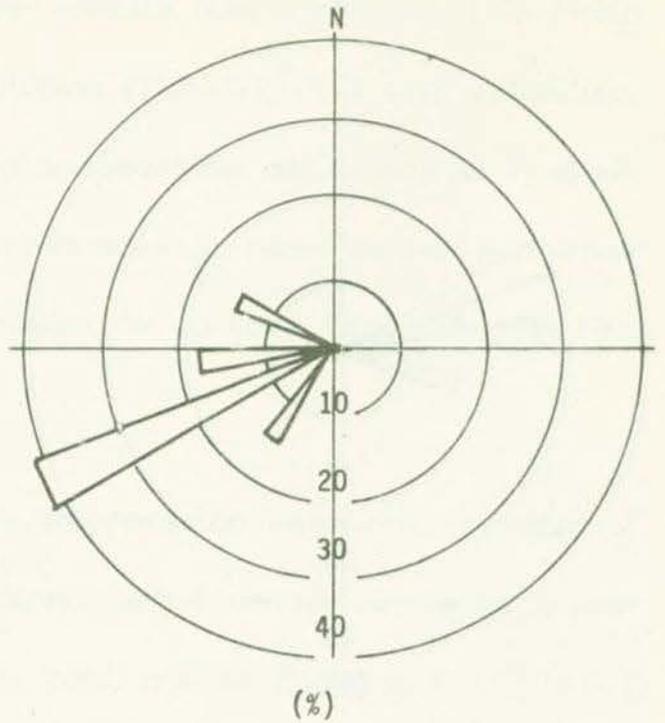


OCTUBRE '79

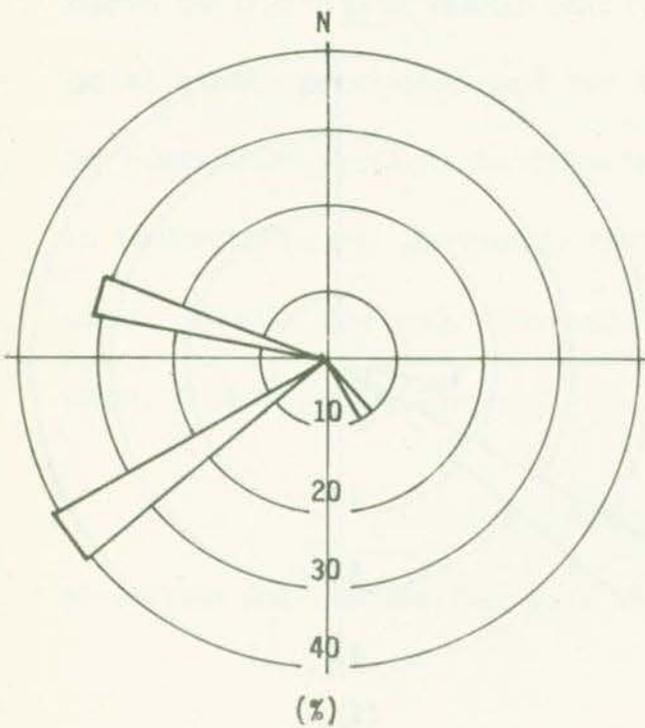
FIG. 2.4.2 VARIACIONES DIRECCIONALES DEL DERRAME



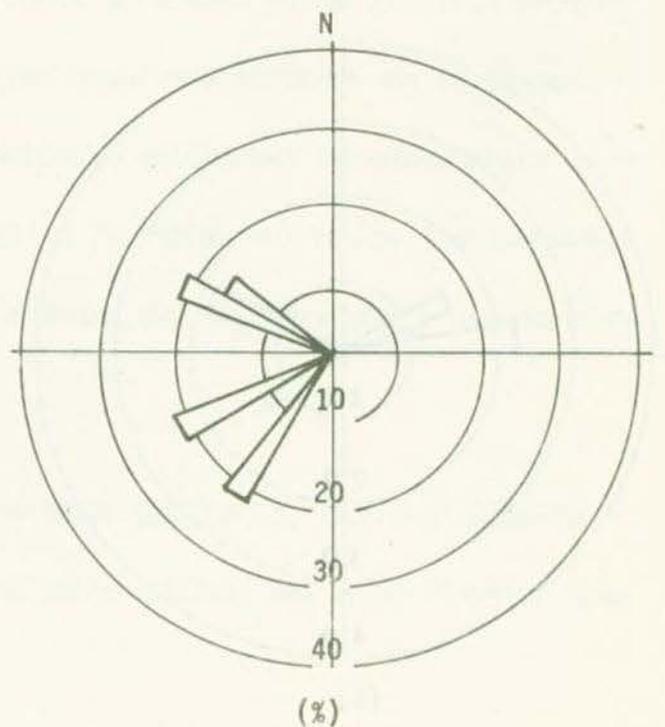
NOVIEMBRE '79



DICIEMBRE '79



ENERO '80



FEBRERO '80

atraviesa la Península de Yucatán y las corrientes marinas existentes en la zona provocaron un desplazamiento del derrame hacia las costas del Norte del estado de Veracruz y del estado de Tamaulipas, desviándolo en muchas ocasiones hacia el Noroeste y Nornoroeste por efecto de la profundidad; la figura 2.4.3 indica algunos movimientos críticos del derrame observados en este período.

La figura 2.4.4 muestra la trayectoria anómala registrada a mediados de Octubre, cuando se aproximaron las manchas del derrame a la Isla del Carmen, debido al cambio de dirección del viento y de las corrientes marinas locales que son muy variables en la época de otoño.

En el período de invierno se observó que el efecto del viento del Norte, que sopla frecuentemente a lo largo de las costas del Oeste del Golfo no hicieron registrar un cambio notable en la componente direccional dominante del derrame.

FIG. 2.4.3.

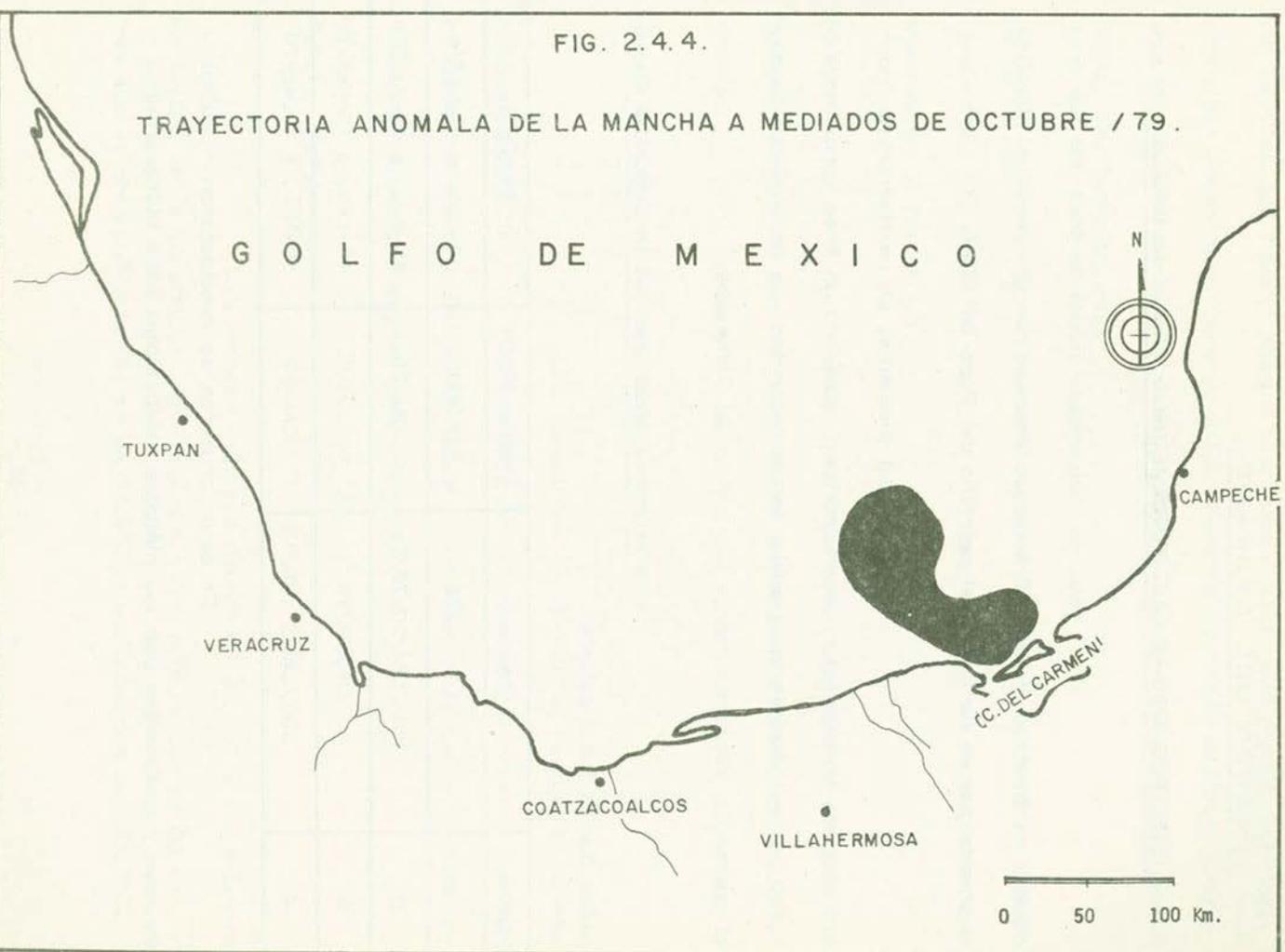
DESPLAZAMIENTO TIPICO DEL DERRAME EN EL
VERANO DE 1979.



FIG. 2.4.4.

TRAYECTORIA ANOMALA DE LA MANCHA A MEDIADOS DE OCTUBRE / 79.

G O L F O D E M E X I C O



0 50 100 Km.

3.- PROCESO DEL DERRAME:

3.1.- EFFECTOS SOBRE LOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS:

Macroscópicamente puede decirse que los principales parámetros físico-químicos del mar no fueron afectados significativamente por el derrame del petróleo del Pozo IXTOC-I.

A partir del incidente, se realizaron cuatro - cruceros de investigación oceanográfica, cubriendo un área aproximada de 1,600 millas náuticas cuadradas, en un recorrido que comprendió desde el puerto de Veracruz hasta las costas de Campeche.

Los cruceros efectuados en la Sonda de Campeche fueron los siguientes:

Número	Crucero	Embarcación	Período
1	ON/79/06	"ONJUKO"	20-Jun. a 7-Jul/79
2	DGO/DM/20/79/20	DM-20	16-Ag. a 21-Ag/79
3	ON/79/10	"ONJUKO"	1 ^o -Oct. a 15-Oct/79
4	DGO/DM/20/79/12	DM-20	19-Nov. a 4-Dic/79

En estos cruceros se recolectaron muestras - de agua y sedimentos por los métodos establecidos para hidrocarburos -

del petróleo que fijan el Manual and Guides Intergovernmental and Oceanographic Commission (Unesco, 1975). Además se midieron otros parámetros físico-químicos básicos como, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, pH, turbidez, etc.

Hasta el mes de Diciembre de 1979 se habían recolectado 397 muestras de agua. El área cubierta en cada crucero se muestra en la fig. 3.1.1.

En el mes de Febrero de 1980 se realizó un quinto crucero, del cual la información se encuentra en proceso de integración.

3.2.- ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA:

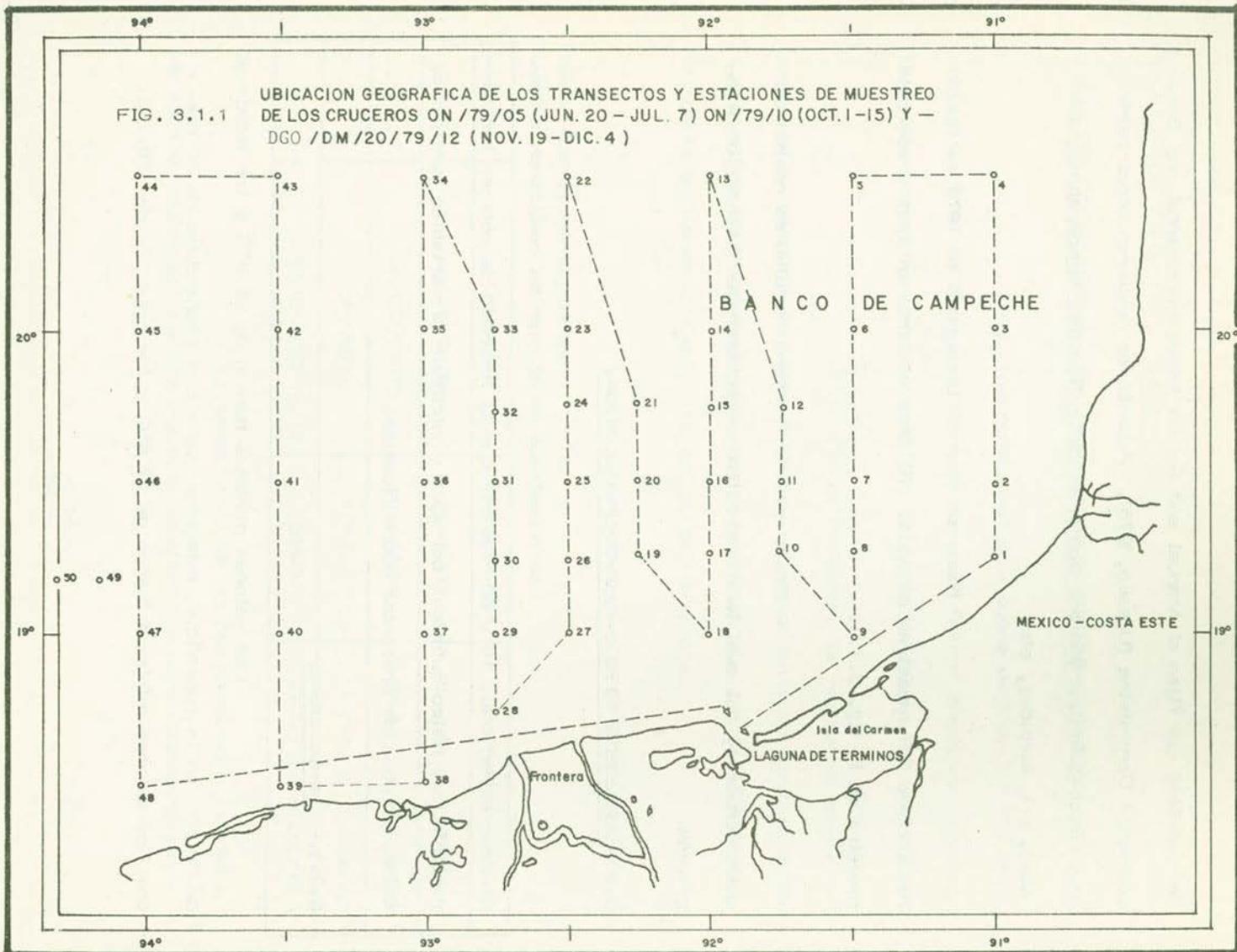
Los muestreos en el mar se realizaron a tres niveles: superficial, 10 y 50 metros; con la finalidad de obtener las características físico-químicas del agua y verificar la variación vertical de éstos, en caso de presentar estratificación.

3.2.1.- Temperatura:

Los valores mínimos fueron de 23.3°C y los máximos de 30.5°C en la superficie, mientras que a una profundidad de 50 metros los valores mínimos fueron de 22.9°C y los máximos de 28.7°C.

FIG. 3.1.1

UBICACION GEOGRAFICA DE LOS TRANSECTOS Y ESTACIONES DE MUESTREO
 DE LOS CRUCEROS ON /79/05 (JUN. 20 - JUL. 7) ON /79/10 (OCT. 1-15) Y -
 DGO /DM/20/79/12 (NOV. 19-DIC. 4)



Los valores normalmente encontrados en esta región del Golfo de México varían entre 23.1°C y 28.1°C para aguas superficiales, por lo tanto se observa que las aguas de la Sonda de Campeche han mantenido las mismas variaciones en temperatura.

3.2.2.- Potencial de Hidrógeno (pH):

El valor mínimo fué de 7.5 y el máximo de 8.6 en agua superficial y de 7.8 y 8.5 a una profundidad de 50 metros, es necesario señalar que los valores mínimos y máximos sólo se encontraron en 2 estaciones mientras que los valores más frecuentes varían entre 7.9 y 8.2. Los valores de pH en esta región del Golfo de México fluctúan entre 7.9 y 8.14, mismos que corresponden al rango observado en 1979.

3.2.3.- Salinidad:

Los valores mínimos son de 25.18 o/oo y el máximo de 37.69 o/oo para agua superficial y para una profundidad de 50 metros el mínimo fué de 32.31 o/oo y el máximo de 37.69 o/oo.

Comparando los datos publicados por los boletines de Fish and Wildlife Service, se puede concluir que las variaciones se han mantenido constantes de acuerdo a la época estacional.

3.2.4.- Oxígeno Disuelto:

Los valores mínimos obtenidos en agua superficial son de 5.17 mg/l y los máximos de 8.16 mg/l. En el Golfo de México y principalmente en el Banco de Campeche se han reportado concentraciones bajas de oxígeno disuelto (3.8 mg/l), deduciéndose que las concentraciones de oxígeno disuelto se han mantenido dentro de las fluctuaciones normales.

3.2.5.- Nitritos:

A nivel superficial la concentración máxima de nitritos se incrementó de 0.000 mg/l en Junio a 0.0123 mg/l en Noviembre-Diciembre, en tanto que a una profundidad de 50 metros la variación observada fue de 0.001 a 0.018 mg/l.

La tendencia observada se debe a variaciones estacionales y no se puede considerar como una tendencia ascendente, ya que está sujeta a las variaciones normales del ambiente marino del Golfo de México.

3.2.6.- Nitratos:

Los valores mínimos detectados fueron 0.0004 mg/l

y los máximos de 0.0783 mg/l a nivel superficial y a 50 m el valor mínimo fué de 0.0004 mg/l y el máximo de 0.0822 mg/l. En estudios realizados anteriormente en el Golfo de México, se han detectado variaciones de 0.0196 a 0.0336 mg/l, siendo los valores normales de 0.001 a 0.1 mg/l. El incremento observado es normal y es el resultado del cambio de estación de verano a invierno.

3.2.7.- Fosfatos:

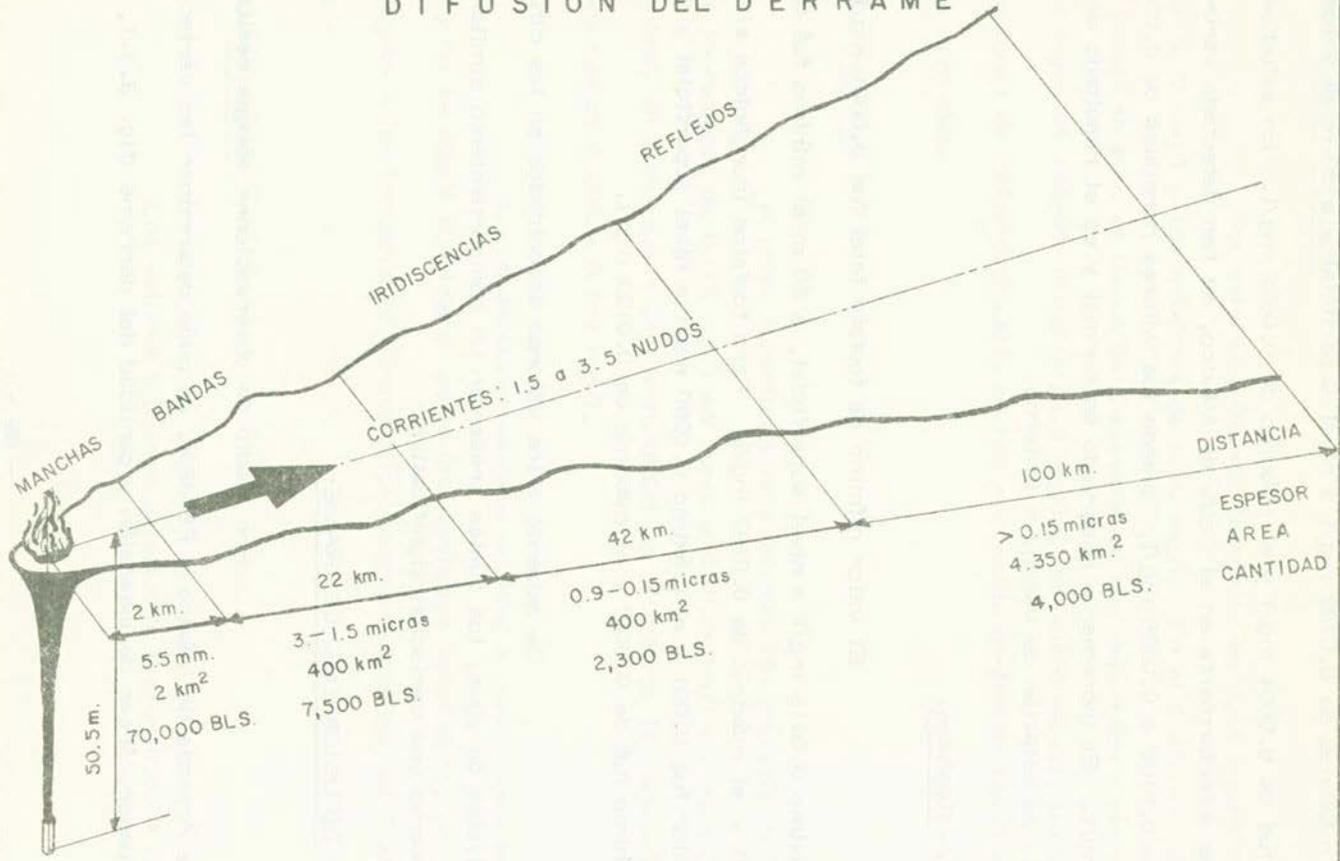
El valor mínimo de fosfato total fue 0.0001 mg/l y el máximo 0.0915 mg/l a nivel superficial, a 50 m el mínimo fué de 0.0001 y el máximo de 0.0797 mg/l. Para fosfatos inorgánicos el mínimo valor fue 0.001 y el máximo 0.0280 mg/l a nivel superficial a 50 m el mínimo fué de 0.0001 y el máximo de 0.0132 mg/l.

De acuerdo a los valores encontrados en los diferentes niveles de agua, los cuales presentan un comportamiento similar, no se observa una variación significativa.

3.3.- DIFUSION DEL DERRAME:

Por medio de observaciones aéreas realizadas por la Armada de México y PEMEX, se pudo determinar las variaciones de espesor, áreas de extensión y cantidad del derrame (fig. 3.3.1, tabla

FIG. 3.3.1.
DIFUSION DEL DERRAME



3.3.1).

Por efecto de las corrientes marinas la mancha de petróleo producto del derrame iba extendiéndose en forma de abanico hacia las costas veracruzanas. Ahora bien, la gran emulsión del aceite y la alta tasa de evaporación, provocaron un incremento en la viscosidad y disminución de la tensión superficial del crudo y por otro lado se eliminaron las fracciones ligeras y las fracciones volátiles de hidrocarburos. Todo esto ocasionó que la fuerza de expansión del derrame disminuyese y por lo mismo el área de la mancha no alcanzó grandes proporciones. Otro factor que también ayudó a que la mancha no se extendiese fué el efecto de reciclaje del oleaje sobre la zona del percance, existiendo una capa superficial de aceite viscoso muy emulsionado de aproximadamente 5 mm. de espesor.

3.4.- EVAPORACION:

Otro mecanismo de remoción para los hidrocarburos de la superficie del mar es la nebulización. La estimación cuantitativa de este fenómeno es casi imposible de realizar ya que involucra la rápida transferencia a la atmósfera de la fracción volátil del hidrocarburo; la transferencia dependerá de la temperatura del aire, velocidad del viento y extensión del rompimiento del oleaje para la formación y elimi--

TABLA: 3.3.1

Avance del Derrame del Pozo IXTOC-I

Distancia (Km)	Espesor	Area (Km ²)	Concentración en Barriles
2	5.5 mm.	2	70,000
22	3-1.5 micras	400	7,500
42	0.9-0.15 micras	400	2,300
100	0.15 micras	4,350	4,000

nación de las películas de aceite. Otro factor que dificulta la estimación del intercambio océano-atmósfera es la formación de burbujas antes de la ruptura de la película.

La presencia de una capa fina monomolecular insoluble en la superficie del agua incrementa el contenido de partículas de hidrocarburos en la atmósfera; ésto fue reportado por Garret (1968) y Paterson y Spillane (1969).

La tasa de evaporación, en el derrame del IXTOC-I, fué tan alta que permitió que las fracciones volátiles del crudo desaparecieran en su totalidad, esta tasa de evaporación, se incrementó debido al incendio del gas y del aceite en la superficie del agua del mar, así como las altas temperaturas ambientales de la región (registradas a bordo del buque grúa Tolteca, situado a 60 m del Pozo IXTOC-I), las que fueron del orden de 44°C (esta temperatura representó el 32% de la tasa de evaporación durante las diez primeras horas en el caso del crudo ligero arábigo).

Se observó, que el petróleo que no fué consumido por las llamas, como es de suponer, presentaba un menor porcentaje de evaporación. Por ejemplo: una muestra colectada cerca del origen del pozo, después de transcurrir 40 horas en el mar presentaba un

contenido de hidrocarburos de aproximadamente un 90%, mismo que disminuyó conforme se alejó del origen y transcurrió el tiempo, hasta obtener un máximo de 25% en peso de hidrocarburos al llegar a las costas.

3.5.- EMULSIFICACION:

Ya que la mayoría de los componentes del petróleo son realmente insolubles en el agua de mar, su forma de dispersión en ella es a través de emulsificaciones.

Las corrientes y turbulencias dispersan estas emulsiones rápidamente. Un estudio de las partículas finas de aceite -- que constituyen una emulsión crudo-agua marina fue realizado por Forester (1971), al seguir el derrame del petrolero Arrow en la Bahía de Chesabudo, Nueva Escocia. Las partículas de 5 mm. a varios milímetros se encontraron en la columna de agua y se distribuyeron en un radio de 250 Km. a partir de la fuente del derrame.

Las emulsiones agua-aceite se formaron de -- crudos asfálticos pesados o de aceites residuales, éstas tienen más cohesión que los conglomerados semisólidos, y se les denomina "chocolate - mousse", la emulsión contiene aproximadamente 80% de agua y lo demás de compuestos de petróleo.

A continuación se comparan dos diferentes --
 Mousses formados de crudos del petróleo y agua marina, el primero --
 proviene del derrame de Torrey Canyon y el segundo del descontrol del
 Pozo IXTOC-I.

Fuente del Derrame:	% de Agua Marina:	% de otros com-- puestos (aceites - del petróleo):
Torrey Canyon (Buque tanque)	80	20
Ixtoc-I (descontrol del pozo petrolero)	67-73.6	27-26.4

El valor promedio del volumen recuperado en
 todas las muestras en los tres diferentes frentes osciló de 40-50% de -
 hidrocarburos, saturados principalmente.

En áreas oceánicas del Atlántico del Norte el
 enriquecimiento con hidrocarburos del petróleo es superior al factor de
 2.5 presente en la microcapa superficial, lo cual se reportó en muestras
 de agua no contaminadas.

Se tomaron muestras de petróleo en diferen-
 tes frentes, ubicandose los muestreos a 400-500 metros de la fuga; en -

estas muestras se encontraron contenidos de hidrocarburos de 26-33% en volumen debido a la alta tasa de emulsificación, producto de las grandes presiones de salida de gas y aceite, que al llegar a la superficie del agua (50.5 de tirante) se incrementaban.

3.6.- FOTO-OXIDACION:

Al igual que en condiciones normales, donde existen sustancias que se oxidan con el oxígeno en presencia de luz solar, así ocurrió con los hidrocarburos procedentes del Pozo IXTOC-I; las sustancias foto-oxidadas se disuelven, en general, en el agua en partículas y en las capas adyacentes del aire en un proceso muy lento. Este fenómeno se efectúa por la interacción de rayos ultravioletas con la materia inorgánica que está disuelta en el agua del mar. La velocidad de oxidación de los hidrocarburos y compuestos polares (N, S, O) en el petróleo varía de acuerdo a su naturaleza (Monaghan and Koons - 1973). Así, los alquilcicloalcanos, substituidos tienden a ser oxidados más rápidamente que las parafinas normales. Las velocidades de auto-oxidación pueden acelerarse por la fotólisis, seguida por la formación de compuestos ramificados libres o, por la catálisis de iones metálicos de valencia variable, los cuales pueden mostrarse por etapas estacionarias debidas a la presencia de átomos de azufre.

Dada la situación geográfica del derrame del Pozo IXTOC-I, es muy probable que el clima tropical imperante en la región, provocara una elevada oxidación fotoquímica por efecto de la radiación solar y las altas temperaturas atmosféricas (fig. 3.6.1).

3.7.- CONTENIDO DE HIDROCARBUROS EN EL AGUA:

Las concentraciones de hidrocarburos totales observados en la columna de agua en el crucero de Agosto de 1979, -- DG/20, indicaron que la presencia de hidrocarburos en el agua depende de la pérdida de la fracción ligera (bajo peso molecular, compuestos -- polares y no hidrocarburos) del crudo del IXTOC-I.

En la estación 21 cercana al Pozo IXTOC-I -- (mapa 3.7.1), se presentó una concentración de 51.8 ug/l al Oeste de -- ésta estación, la estación 17 presentó una concentración de 8.6 y 2.6 -- ug/l respectivamente. En la estación 8 se observó petróleo muy emul-- sionado (mousse), con una concentración normal de 0.4 ug/l. Las ob-- servaciones anteriores indican una eventual difusión de la masa del pe-- tróleo en el agua marina hacia una zona próxima al derrame, lo cual -- puede ser explicado por la acción de corrientes superficiales y profundas provenientes del Caribe (tabla 3.7.1).

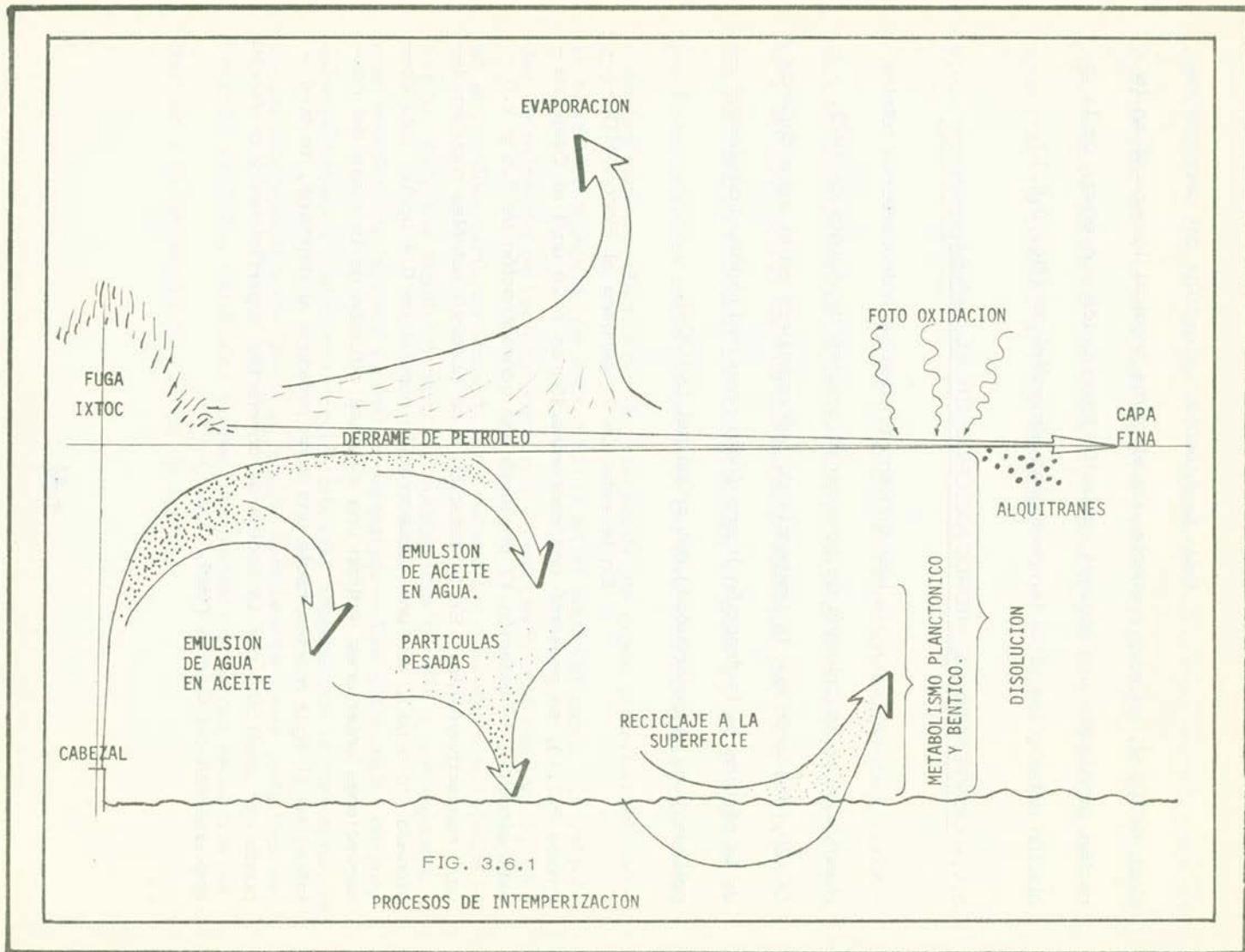


FIG. 3.6.1

PROCESOS DE INTEMPERIZACION

Estación	Localización:		Profundidad (m)	Agua de Mar	Sedimentos	p.p.m.Mg/l Agua	p.p.m.Mg/l Sedimentos
	Lat.	Long.					
14	19°21.2'	93°13.4'	540	1 m	- - - -	0.3	
15	19°21.8'	92°57.7'	- -	1 m	- - - -	0.1	
16	19°18'	92°36.2'	130	1 m	Superficial	0.3	0.5
17	19°22'	92°42.1'	176	1 m	Superficial	4.0	1.3
18	20°00'	92°30'	1080	1 m	Superficial	0.2	- -
19	19°44.9'	92°30'	205	1 m		0.3	- -
20	19°30.8'	92°31.2'	110	1 m, 5m 20 m, 100 m	Superficial	0.2	0.9
21	19°24.7'	92°18.8'	52	1 m, 5m 20 m, 100 m	Superficial	51.8	2.0
22	19°22.7'	92°08'	58	1 m, 20m	Superficial	1.0	12.6

Tabla 3,7.1

Crucero en DGO-20. Agosto 16-21-1979.
Michel Marchand - CNEXO, COB (France)
IMP (México)

C.- Datos de Análisis químicos: Espectrofluorometría emisión medida entre 320 a 500 nm.

Dentro del Golfo de México, la corriente superficial principal forma un círculo completo a lo largo de la costa, esta corriente fluye por el Banco de Campeche hacia el Suroeste dirigiéndose al puerto de Veracruz, donde gira al Norte. Esta corriente puede explicar la relativa ausencia de contaminación en la columna de agua -- encontrada en la estación 22 (mapa 3.7.2).

De acuerdo a los resultados se propone una eventual difusión de la masa del petróleo (Mousse) en el agua hacia una zona próxima al derrame, lo cual puede observarse por los datos de sedimentos de la mancha de petróleo (mapa 3.8.1)

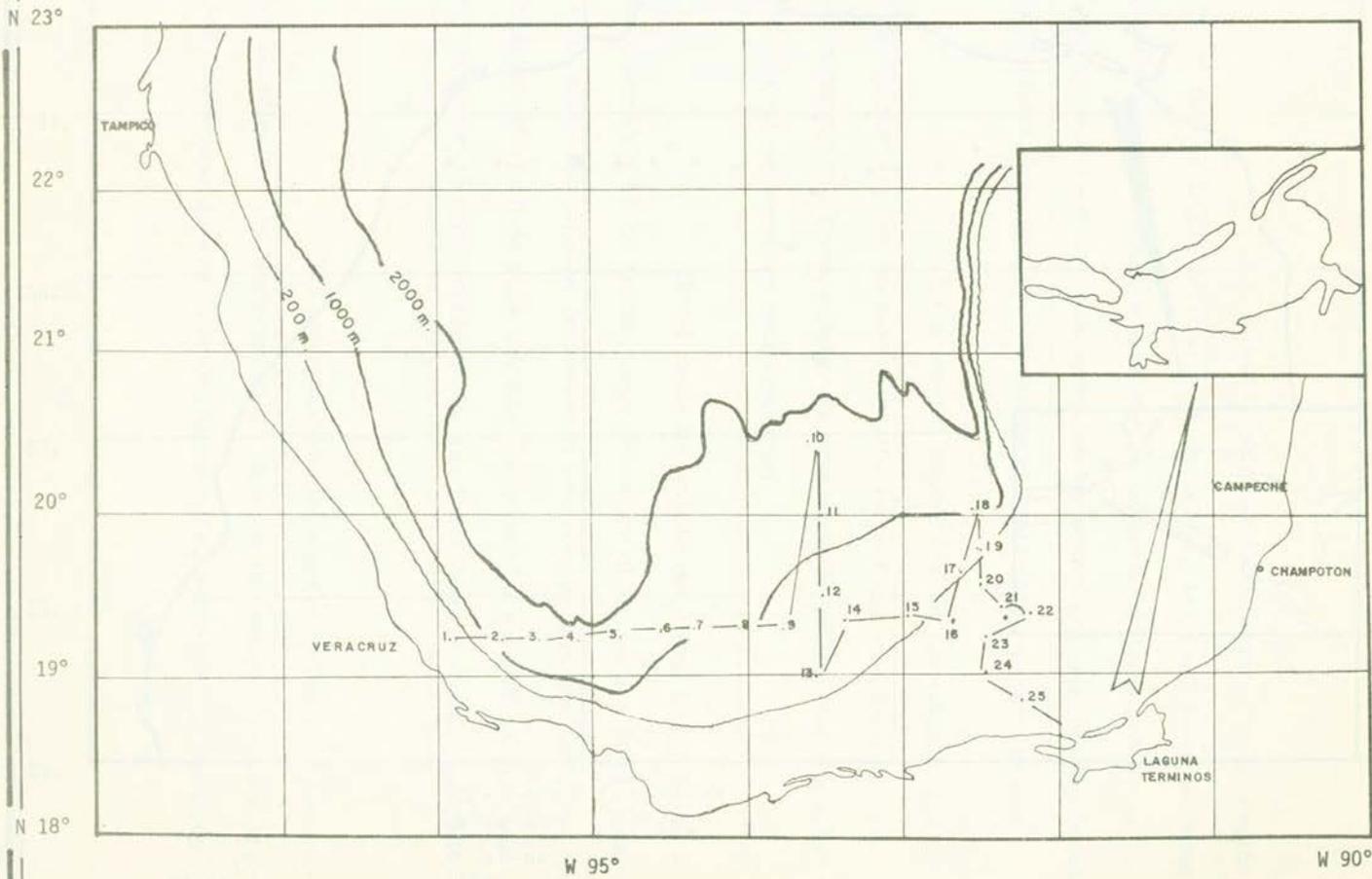
3.8.- HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS:

La sedimentación es otro proceso que determina el comportamiento de hidrocarburos del petróleo en el medio ambiente marino. Para que los compuestos del petróleo que están en solución sedimenten es necesario, que ocurra un aumento en su densidad. Entre los procesos que aumentan la densidad de estos compuestos están:

- 1).- la evaporación y la disolución de compuestos ligeros;
- 2).- la aglutinación de partículas dispersas, seguidas de un intercambio de partículas con los sedimentos;
- 3).- la absorción y adsorción de fracciones solubles en el material sedimentable (arenas, gravas, arcillas, materia or-

MAPA N°
3.7.1

Transectos y Estaciones Oceanográficas Crucero DM / 20 / 79 Agosto --



MAPA N°
3.7.2

Concentraciones de hidrocarburos totales en muestras de agua. Crucero DM- 20, Agosto de 1979.

ppm

○ 0.1-0.9

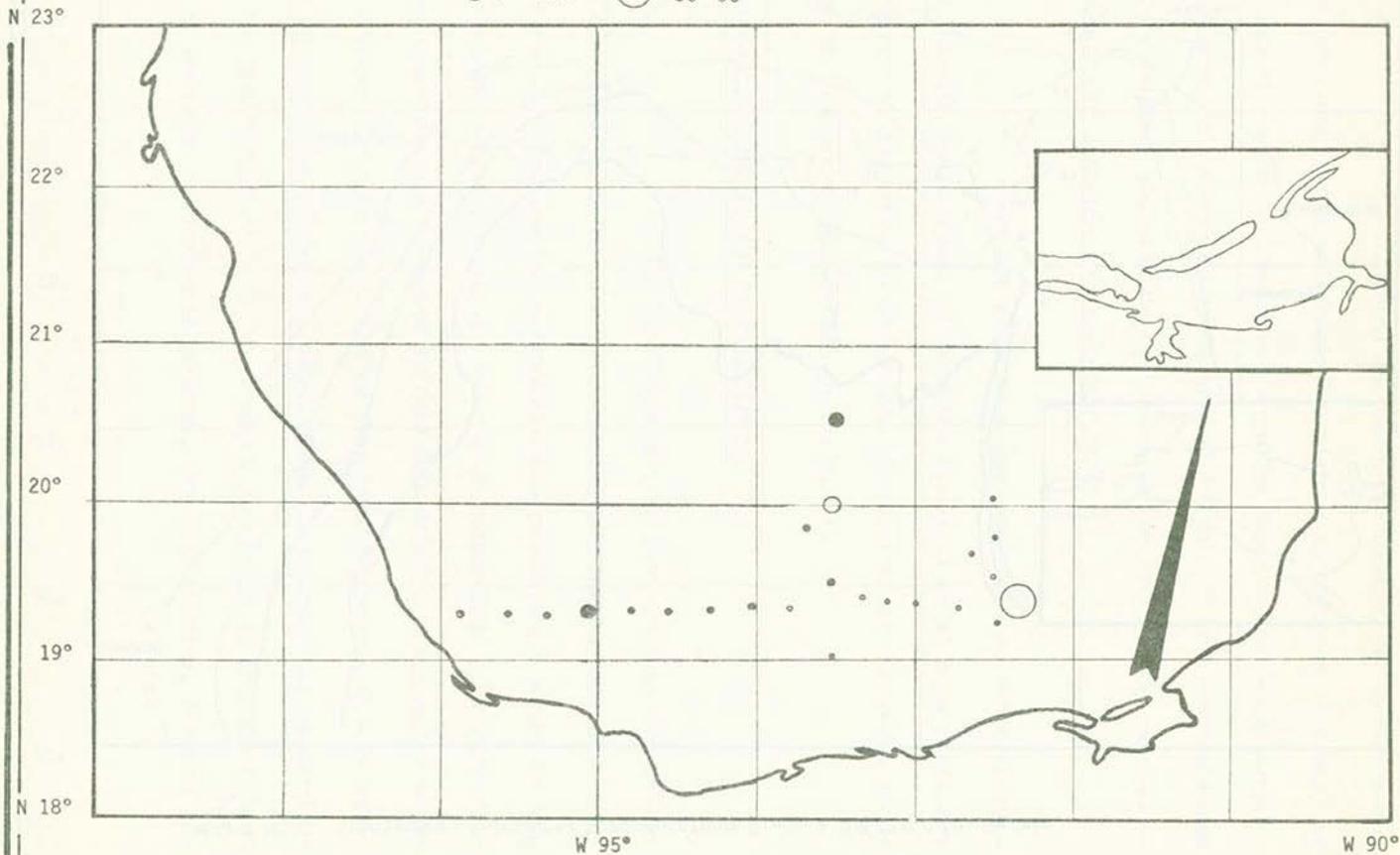
● 1.0-2.0

● 2.0-5.0

○ 5 -10.0

ppm

○ 50-53



gánica sólida).

El proceso de mezcla dependerá de la región oceánica de que se trate: en una zona de calma, las partículas de material conteniendo hidrocarburos adsorbidos tenderán a sedimentar, en -- tanto que, en una zona de turbulencia no se observará una sedimentación aparente, aunque este proceso se pueda efectuar con mayor tiempo.

La gravedad específica en los crudos: Bunker 2, Sur de California, se aproxima a 1.00 de ahí que requiere de poco material sedimentario para exceder la gravedad específica del agua de mar e iniciar el proceso de sedimentación.

En el caso del crudo del Pozo IXTOC-I su gravedad específica es de 0.852, muy parecida al del crudo árabe ligero por lo cual estos dos crudos necesitaran una mayor concentración de materia orgánica particulada para exceder la gravedad específica del agua de mar y originar la sedimentación de las fracciones solubles del petróleo.

La velocidad de incorporación de los hidrocarburos del petróleo en los sedimentos en la zona de mareas se verá afectada por el fenómeno de evaporación, disolución, adsorción y absorción.

La sedimentación en el área de bajas mareas depende del tipo de sedimentos, de la velocidad y acción de acarreo del material, provocada por el oleaje continuo que caracteriza esta zona.

Uno de los cruceros que recolectó sedimentos fue el crucero oceanográfico efectuado en Agosto de 1979. La mayoría de los sedimentos analizados corresponden en su mayoría a arenas calcáreas provenientes de rocas carbonatadas del Paleoceno.

El comportamiento de los hidrocarburos que han sedimentado, será el siguiente: estos tenderán a intercalarse en la estructura del sedimento, adsorbiéndose en él, de este proceso dependerá la biodegradación subsecuente que sufren los hidrocarburos, así como de las demás reacciones químicas que los nuevos compuestos formados presenten.

Los análisis efectuados en sedimentos a profundidades mayores de 200 metros se observó que no hubo una contaminación grave, ya que, el valor máximo observado en la estación 22 a 50 metros de profundidad fue de 12.6 ppm (Michel Marchand, Reporte Ixtoc I, Agosto 1979. Tabla 3.8.2, mapa 3.8.1). El análisis de estos resultados se efectuó por espectrofluorometría de emisión.

Localización	Procedencia	Tipo de Muestra	Fracciones	%
Playa Sur del Golfo de México	Pozo Ixtoc I (U.S.C.G.)	Aceite fresco	Saturados	34.7
			Aromáticos	28.5
			Compuestos polares	34.1
Playa Centro del Golfo de México	Pozo Ixtoc I (U.S.C.G.)	Aceite	Saturados	37.3
			Aromáticos	14
			Compuestos polares	40.5
Playa Norte del Golfo de México	Pozo Ixtoc I (U.S.C.G.)	Aceite	Saturados	38.0
			Aromáticos	18.0
			Compuestos polares	
Isla Padres, Texas, U.S.A.	Pozo Ixtoc I (U.S.C.G.)	Tarball (pasta)	Saturados	34.4
			Aromáticos	15.4
			Compuestos polares	39.4
Isla Sn. José (playa) Texas, U.S.A.	Pozo Ixtoc I (Dr. Scalan) UTMI/PAML	Aceite	Saturados	46.8
			Aromáticos	32.3
			Compuestos polares	20.8
	Pozo Ixtoc I (Dr. John Robinson) (NOAA)	Aceite fresco	Saturados	51.4
			Aromáticos	31.8
			Compuestos polares	6.9

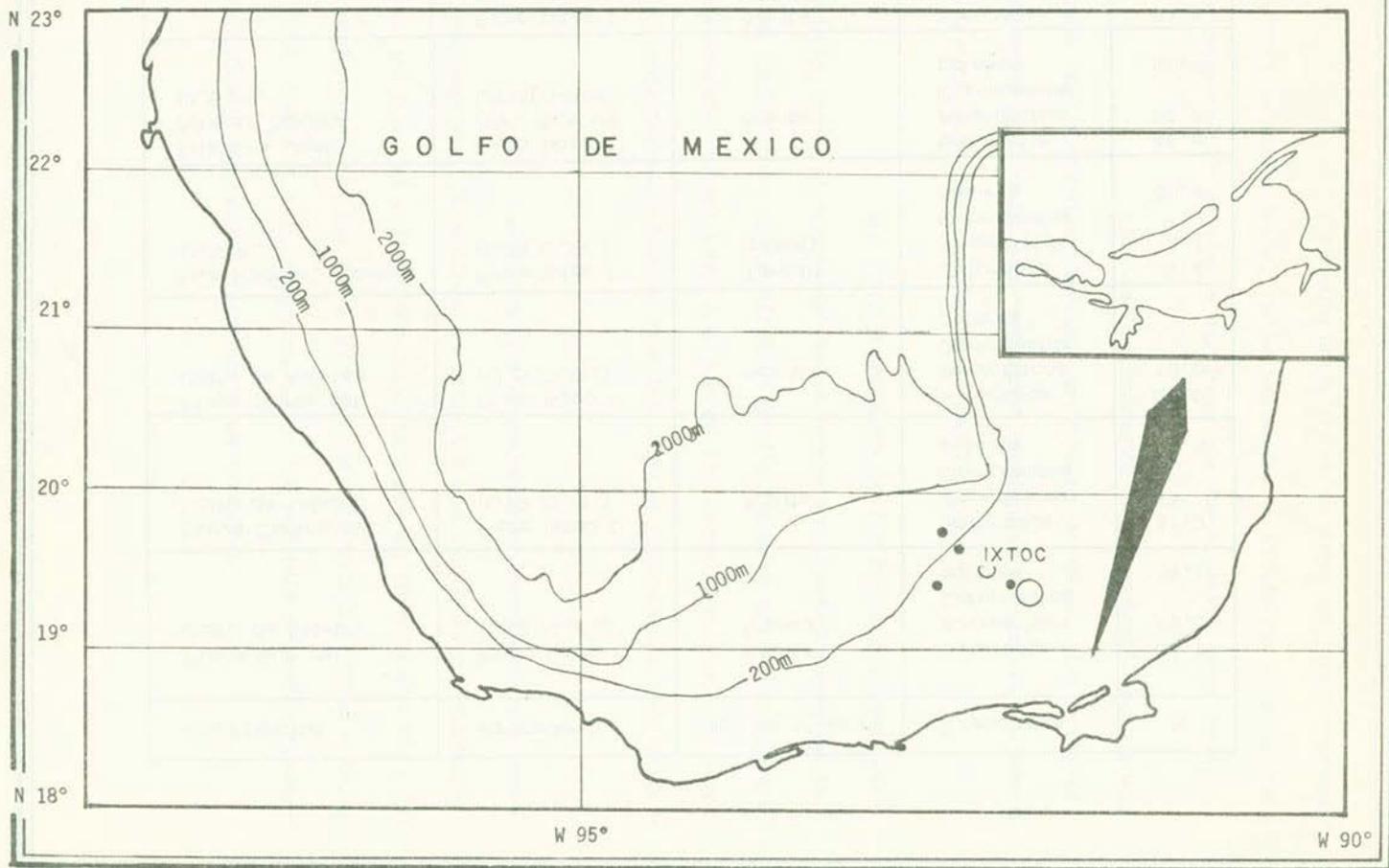
Tabla 3.8.2

Trozos de Alquitrán en Costas Mexicanas

MAPA N°
3.8.1

Concentraciones máximas (ppm) encontradas en el Crucero DM-20 Agosto 1979

Muestras Sedimentos	●	0.5 - 1.3	ppm
Crucero DM - 20	○	2.0	ppm
Agosto, 1979.	○	12.6	ppm



De los datos obtenidos después del vertimiento del Pozo IXTOC-I, a una profundidad de 60 metros en la zona cercana a Frontera, se obtuvo una concentración de 171.4 ppm, en tanto que a una latitud 13°30' y longitud 94°30', a 47 metros de profundidad se -- obtuvo una concentración de 53.5 ppm (Reporte Técnico IMP, Accidente del Pozo IXTOC-I, 1979).

En las estaciones localizadas en el Banco de Campeche se encontró una concentración del 43.7, 175.2 y 69.2 ppm. -- Las estaciones cercanas a Frontera presentaron una concentración que varió de 146 a 171 ppm (Reporte Técnico IMP, Accidente del Pozo IX-- TOC-I, 1979).

3.9.- FORMACION DE ALQUITRAN:

La sedimentación de los distintos componentes solubles del petróleo es un proceso que depende de la disolución en el -- océano, así como de la disponibilidad de partículas dispersas presentes en la columna de agua.

La evaporación y la disolución combinada con reacciones de óxido-reducción de compuestos que constituyen el material suspendido en el océano, permiten la formación de glóbulos semisólidos

(Morris y Butter, 1973).

La depositación de trozos de alquitrán en zonas costeras con alta energía se lleva a cabo durante el ciclo de mareas, estos trozos de alquitrán sufren una intensa acción del oleaje, lo cual - provoca que sean remodelados hasta formar poco a poco pequeñas partículas redondeadas, depositándose estos trozos en la zona superior e inferior de mareas; los glóbulos de petróleo que no lograron depositarse son removidos durante el ciclo de mareas siguientes (Butler et. al. --- 1973).

En la zona de baja energía caracterizada por sedimentos con grano fino, la sedimentación es rápida y la capa de aceite puede tardar poco para incorporarse al sedimento.

El trabajo mecánico sobre el sedimento es -- limitado en zonas de baja energía. En zonas caracterizadas por alta - energía, los hidrocarburos solubles en la columna de agua tendrán un - tiempo de residencia muy grande y tardan años en sedimentar.

La formación de partículas aglutinadas de pe- tróleo en forma dispersa se observó en la columna de agua y la presen- cia de pastas fue en contrada en varias playas mexicanas (sur, centro y

norte del Golfo de México) mapa 3.9.1.; la distribución de hidrocarburos saturados en las playas de estas tres zonas, osciló entre 34.7 a -- 38%, el contenido de hidrocarburos aromáticos en las playas del sur y centro del Golfo oscilaron entre 14 y 38%, y en las playas de la parte Norte el contenido fué de 18%, la cantidad de compuestos polares según estos resultados en las tres zonas de estudio fueron de 34.1 a 40.5% -- (Mapa 3.9.1., tabla 3.9.1). Sin embargo, estos resultados no son concluyentes, ya que en las muestras pueden estar presentes hidrocarburos de petróleo provenientes de otras fuentes distintas al Pozo IXTOC-I, si se considera que es una zona con una alta influencia de contaminación -- procedente del tráfico marítimo, la industria petroquímica. De ahí que se necesita desarrollar mejores técnicas que detecten los hidrocarburos contaminantes y su origen entre éstas, está el uso de carbono isotópico.

3.10.- EFECTOS ORIGINADOS POR EL DERRAME EN RELACION CON EL ECOSISTEMA:

Entre los efectos causados por un derrame o vertimiento de un crudo de petróleo en el medio marino se pueden clasificar en: agudos, crónicos, letales y subletales.

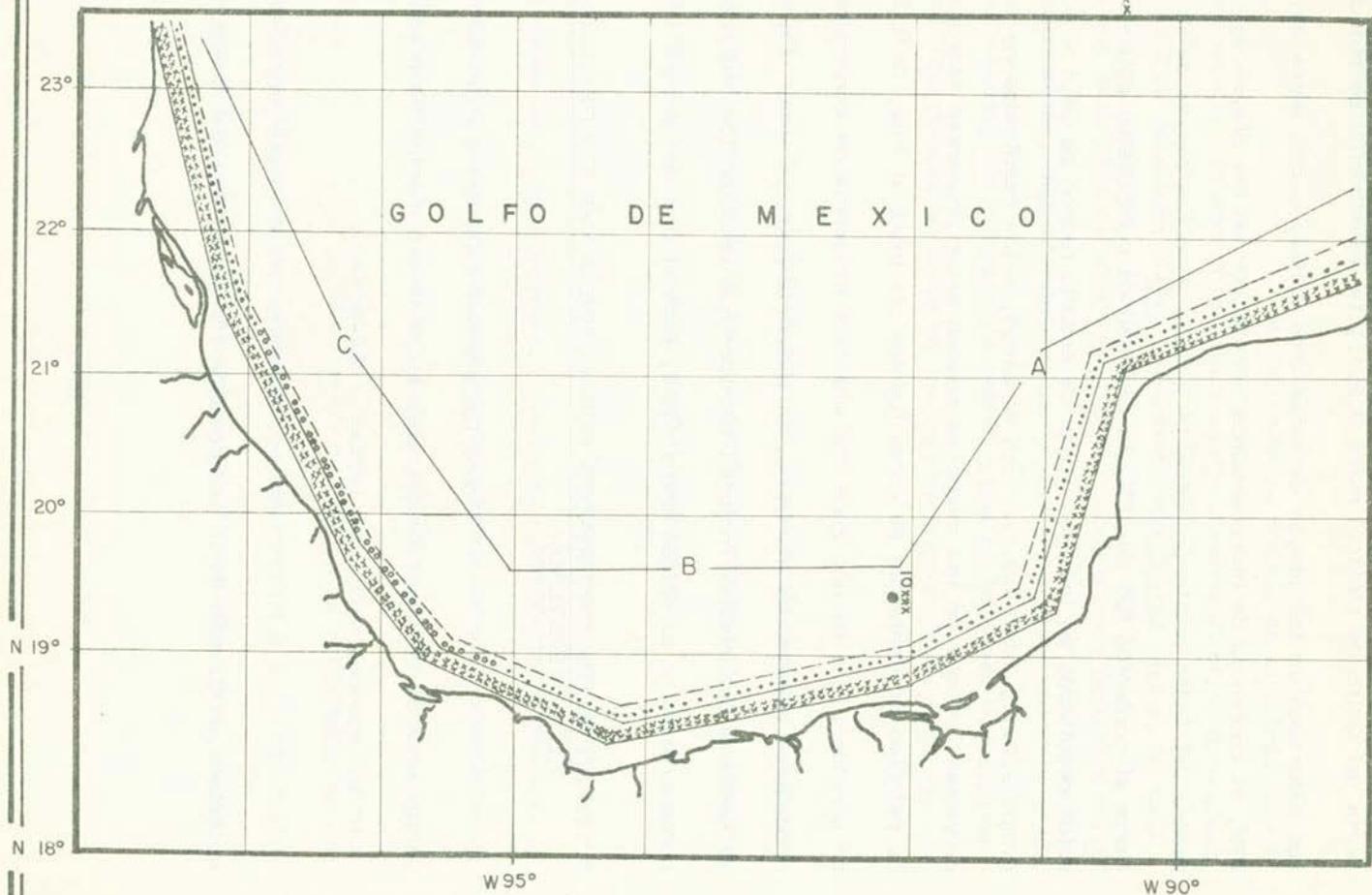
El tipo de efecto en el medio ambiente marino estará en función de la composición físico-química del crudo. Entre

MAPA N°
3.9.1

Distribución de Aceites en Playas del Sur (A);
Centro (B); Norte (C), del Golfo de México.

Fracción

% Saturados	Aromáticos	C.P
15-30	...	---
30-45	xxx	ooo
45-50	xxxx	xxxx



Descripción de la Muestra (Mousse)	Saturados %	Aromáticos %	Compuestos polares (NSO) %
Aceite fresco (Dr. J. Robinson, NOAA)	51.4	31.8	6.9
Mousse fresco (no interpretado) (Dr. Oppenhermer, PEMEX)	53.0	34.7	7.5
Mousse colectado, 40 hrs. después del derrame (Dr. Botello, México)	52.0	34.0	
Mousse (Baker U.S.C.G.) frente a Tampico	51.0	26.4	18.3
Tarballs flotando	29.4	17.3	40.2

Tabla 3.9.1 Mousse localizado en diferentes regiones.

los efectos agudos y letales están la muerte por asfixia, ocasionada en organismos marinos (peces, bivalvos, etc.), como resultado del cubrimiento de sus branquias o conductos respiratorios por petróleo presente en el agua marina.

Entre los efectos crónicos se pueden citar -- disfunciones en el metabolismo (alteraciones en el crecimiento, reproducción) que pueden presentar la flora y fauna marina.

En resumen los daños que la presencia de diversos productos del petróleo pueden causar en el medio ambiente marino son los siguientes:

- 1.- Peligro de la salud pública, originada por la ingestión de alimentos marinos contaminados
- 2.- Disminución de las pesquerías, debido a la muerte en masa que provoca un derrame en las zonas de pesca
- 3.- Disminución de lugares de valor estético (bahías, playas)
- 4.- Modificación del ecosistema marino, por eliminación de especies (diversidad, productividad, etc.).

3.10.1.- Modificación del Habitat:

En numerosos reportes (International Preventional --

Control of Oil Pollution, 1978), se indica que los efectos en organismos marinos pueden ser inmediatos (agudos) o a largo plazo (crónicos), originados por la presencia de aceites y crudos del petróleo, los crudos influyen directamente en la fisiología y comportamiento de los organismos acuáticos, así como en la estructura y la función de sus comunidades.

Gordon y Prouse (en prensa), citan algunos efectos que provoca el crudo Fuel Oil 2 en cierto líquenes. Un derivado de este crudo originó una reducción del 40% en la fijación del carbono, en tanto que la presencia del crudo de Kuwait no produjo una reducción aparente en estos organismos.

3.10.2.- Efectos en los Organismos de Baja Marea (intermarea):

Nort et. al. (1969) y Sanders et. al. (1972); señalaron que los hidrocarburos del petróleo presentes en fondos rocosos pueden ser tóxicos para organismos del bentos. Una escasa mortalidad fue observada entre pelecipodos (Jones et. al., 1969), esto ocurrió cuando las emulsiones aceite-agua se formaron poco a poco en el agua marina.

Cuando ocurrió el derrame del buque Torrey Canyon (1968), se hicieron experimentos realizados con organismos bentónicos -

expuestos a hidrocarburos del petróleo, en estos estudios se observó, - que al cabo de un tiempo se produjo la pérdida de la capacidad motora, de los organismos expuestos.

3.10.3.- Pesquerías:

Al hablar de pesquerías se sabe que estas constituyen una fuente potencial de alimentación y trabajo para el hombre. La pesca mundial ocupa un importante renglón dentro del marco de actividades humanas; existen inclusive comunidades que se dedican exclusivamente a la pesca (Noruega, Portugal y España) ya sea a la pesca en alta mar o al maricultivo como el mejillón y la ostra (España, Francia y Japón).

De este papel tan importante nace la necesidad de - vigilar y controlar el contenido de hidrocarburos en el agua marina, para mantener el Stock de especies marinas comerciales en un nivel explotable, ya que cuando el contenido de hidrocarburos presentes en el océano, excede su capacidad de su autodepuración, como sucede al ocurrir un derrame por choque de un buque tanque o descontrol de un pozo petrolero. Muchos habitantes marinos se ven en peligro de desaparecer porque cuando el accidente ocurre en regiones costeras, éstas se ven amenazadas con una capa densa de petróleo, que cubre a los organismos

que en ellas habitan, produciendo en muchos casos la muerte por asfixia como ocurre en el caso de los peces.

En Louisiana E.U., se hizo una estimación del vertimiento de petróleo ocurrido. Al cabo de 30 años se observó un aporte a las aguas costeras de 1.1×10^6 barriles de petróleo, sin embargo, no se observó daño alguno en las ostras nativas de esta región.

3.11.- TOXICOLOGIA DE LOS CRUDOS PROVENIENTES DEL POZO - IXTOC-I:

Algunos estudios de toxicidad con muestras -- procedentes del cabezal del Pozo IXTOC-I, fueron llevadas a cabo en -- el Institute of Marine Sciences, University of Texas A. & M. E. U. -- Los resultados obtenidos fueron comparados con algunos crudos tejanos, a continuación se describen algunos resultados.

Se hicieron experimentos de bioensayos utilizando la fracción soluble en agua (WSF*) y la fracción acomodada de -- aceite (OAW**) y se utilizaron como inóculo especies zooplanctónicas -- (copépodos y anfípodos), estos experimentos permitieron saber que la -- LD₅₀ a 96 horas fué superior a 1.35 ppm.

* WSF = Water Soluble Fraction = Fracción Soluble en Agua

**OAW = Oil Accomodate Water = Aceite Acomodado en Agua

Por estos resultados se encontró que las fracciones solubles del crudo IXTOC-I en agua, son menos tóxicas aún que las probadas en experimentos similares empleando la fracción soluble en agua del crudo de Louisiana y del Fuel Oil No. 2.

También se realizaron estudios de toxicidad del crudo mexicano en huevos de Corbina (Red drum, *Scianops cellata*). Esta especie constituye una pesquería importante en nuestro país, se localiza en el Golfo de México y se extiende desde las costas de Florida hasta Nueva York. Para determinar la posible toxicidad del crudo mexicano en los huevos y larvas de Corbina se realizaron 3 pruebas, utilizando en la primera y segunda una concentración de 25-30 ppm de petróleo en agua (OAW), en la tercer prueba se utilizó una concentración de 4 gramos de crudo mexicano sin filtrar y con una mezcla de 9 gramos de espuma a 1 litro de agua, se utilizó la temperatura ambiente y los huevos se incubaron por un día.

Los resultados de LD₅₀ indicaron que la fracción soluble en agua (WSF), es más tóxica que la fracción acomodada de agua en el aceite (OAW) debido a que los experimentos llevados a cabo permitieron observar que el valor de la LD ocurrió a concentraciones más bajas en la WSF que en la OAW.

Los estudios, utilizando espumas (mousse) - reportaron que a una concentración de 9 g/l de agua la mezcla resultó ser más tóxica, la presencia de larvas deformadas a bajas concentraciones de espuma indican que esta mezcla puede causar un 100% de mortalidad después de un extenso período de contacto con las larvas.

Los estudios de toxicidad del crudo proveniente del derrame del pozo IXTOC-I sobre el zooplancton, indican que el crudo derramado fué menos tóxico que cualquier otro crudo, como el proveniente del Sur de Louisiana o el Fuel Oil No. 2. La toxicidad en general, para este estudio, se relacionó con el petróleo en el agua de mar en la fracción soluble de agua estando relacionado con las concentraciones de aromáticos, tales como: bencenos y naftalesnos (Anderson et. al. (1974); Bryne et. al. (1977) y la cantidad total de compuestos orgánicos presentes en el agua de mar (Lee, dato no publicado, manuscrito). Los valores de LD₅₀ variaron de acuerdo con el Phyla animal.

Los estudios realizados por investigadores de la Universidad de Texas en invertebrados marinos (camarón café, *Penaeus aztecus*; Bivalvos, (*Donax varibilis*); poliquetos (*Scoelelepis Texana*); crustáceo de marea (*Emerita sp*); indicaron que se observó una gran mortalidad en los poliquetos comparados con los otros tipos de fauna; -

este hecho se relacionó con sus hábitos alimenticios. Debido a que los poliquetos son organismos que se alimentan en la superficie, ingieren numerosos trozos microscópicos de alquitrán que estuvieron suspendidos en el OAW, mientras que los otros dos tipos de organismos se alimentan de sustancias en suspensión.

Se puede concluir que los efectos del derrame de hidrocarburos del petróleo provenientes del Pozo IXTOC-I en el biota marino queda aún por determinarse, ya que, en las pruebas llevadas a cabo por el Institute of Marine Sciences, University of Texas A. & M. no fueron evaluados los efectos biológicos subletales, los efectos en la salud de los organismos a largo plazo (efectos crónicos), la acumulación de sustancias tóxicas en organismos marinos, el efecto en el crecimiento, etc.

Los estudios realizados indicaron que los efectos provocados por el crudo mexicano en los distintos organismos marinos (zooplancton, fitoplancton, invertebrados marinos) resultaron ser menos tóxicos que los diversos crudos provenientes de Louisiana, E.U. o el Fuel Oil No. 2.

4.- ASPECTO OPERACIONAL Y ECONOMICO DEL ACCIDENTE:

4.1.- ESTRATEGIA PARA LA LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION:

Al presentarse el descontrol del Pozo IXTOC-I, Petróleos Mexicanos puso en operación el "PLAN DE RESPUESTA - EN CASOS DE URGENCIAS", con el propósito de confinar y recolectar el mayor volumen posible del petróleo derramado; por otro lado la Armada de México propuso un plan de emergencia para la tercera y quinta zona naval, el que consistía en vigilar la zona costera afectada por el derrame y apoyar las operaciones de limpieza de playas que realizaba PEMEX.

Para los efectos de limpieza del área afectada, PEMEX envió a ésta varios kilómetros de barreras flotantes y recolectores de aceite; además se contó con la ayuda de empresas norteamericanas, noruegas y británicas así como de la guardia costera de Estados Unidos.

Pasados 15 días se organizó un plan para contener el derrame en tres frentes, para lo cual se emplearon 7 barcos - remolcadores, 8 barcos de suministro, 7 chalanes cisterna y 2 aviones DC-6 para dispersión de agentes tenso-activos.

Apoyando a estas operaciones se organizaron grupos de trabajo para la limpieza de playas y la protección de lagunas costeras y arrecifes, para lo cual se crearon centros de operación en:

- Ciudad del Carmen, Camp.
- Villahermosa, Tab.
- Coatzacoalcos, Ver.
- Veracruz, Ver.
- Poza Rica, Ver.
- Tampico, Tamps.

Con el apoyo de los elementos de la Armada de México, destacados en estas regiones.

4.2.- CONTROL DEL POZO:

Para controlar el derrame del Pozo IXTOC-I, se decidió la perforación de dos pozos de alivio (direccionales); y el día 6 de Junio de 1979 se inició la perforación del primer pozo direccional, denominado IXTOC-I-A mediante el apoyo de la plataforma Azteca situada a 780 m al Norte del pozo accidentado. Conjuntamente a estos trabajos se realizaban maniobras submarinas, con el auxilio de buzos tanto extranjeros como mexicanos, para tratar de cerrar las válvulas de los-

preventores. El día 24 de Junio se logró cerrar las válvulas del pozo durante 3 horas; sin embargo, dada las malas condiciones del cabezal y de las tuberías, estas no resistieron las altas presiones de salida del gas y del aceite, lo que originó que se presentara nuevamente la fuga de petróleo.

El día 3 de Julio de 1979, la plataforma Interocean II, se instaló al Este del Pozo IXTOC-I, a una distancia de 850 m para iniciar la perforación del otro pozo direccional, denominado IXTOC I-B.

Otros intentos para taponar el pozo consistieron en inyectar esferas de materiales pesados, tales como: acero y plomo; esto hizo posible reducir el flujo del derrame de 30,000 a 10,000 barriles/día.

Con el fin de conocer la distancia exacta de la tubería del Pozo IXTOC-I, el avance en la perforación del pozo direccional I-A se retardó, auxiliándose de un sistema de registro magnético del tipo Magrange II; por todo lo anterior el Pozo IXTOC I-B avanzó más rápidamente alcanzando los 3,809 m de profundidad, donde sufrió una pérdida total de lodo, dado que este pozo cayó aproximadamente a 2 m del IXTOC-I.

En la perforación del pozo I-A se procedió - con mayor cuidado, avanzando lentamente y midiendo constantemente la distancia, con el Magrange II, para evitar caer en la zona de pérdida. El 31 de Diciembre se inyectó un volumen de agua de mar de aproximadamente 2,400 barriles al yacimiento (por el pozo I-B), con lo cual se logró reducir la fuga a 2,000 barriles/día. A principios de Enero de 1980 se observaron rebabas metálicas en el lodo procedente del Pozo IXTOC-I y para el 5 de Febrero se intersectó la formación productora a 3,800 m de profundidad. Para estas fechas, se habían inyectado al yacimiento, por el pozo I-B una cantidad total de 9 a 10 millones de barriles de agua de mar.

Mediante el empleo de anilina se comprobó la comunicación de los dos pozos direccionales con el IXTOC-I, encontrándose que los líquidos inyectados al I-A tardaban 7 minutos en atravesar la formación que los separaba, en tanto que el tiempo para el I-B era de 36 minutos; por lo tanto se decidió operar con el I-A, instalándose el buque George Brown (con capacidad de bombeo de 120 barriles/min.) a la boya que bombeaba agua de mar.

El 9 de Marzo siendo las 10:00 hrs., después de varios días de inyectar agua de mar por los dos pozos de alivio, se

apagó totalmente el fuego del IXTOC-I y para el 17 de Marzo, el flujo de petróleo había desaparecido totalmente. El día 20 de Marzo la barcaza Río Pánuco se ancló a la boca del pozo, con el propósito de meter la tubería para sellar el pozo.

Debido a la obstrucción en la entrada del pozo, por el cabezal, se empleó una grúa del barco Sarita para arrancar completamente el cabezal, con lo cual la entrada quedó franca y se continuó la inyección de agua de mar.

El día 23 de Marzo se introdujo 2,705 m de tubería de 3.5 pulg. en el IXTOC-I y acto seguido se inyectó cemento de cinco puentes desde diferentes profundidades hasta la boca del pozo.

Siendo las 23 hrs. del día 27 de Marzo de 1980 se selló completamente el Pozo IXTOC-I; así también para el 5 de Abril se dieron por concluidos los trabajos de taponamiento de los dos pozos de alivio.

Un hecho trascendental ocurrió a fines de Octubre de 1979. Cuando por primera vez en la historia en accidentes de pozos submarinos se diseñó, con las ideas de ingenieros mexicanos, y se construyó una campana recolectora que pesaba 300 tons., con el fin de succionar el petróleo y gas derramado; instalándola encima de la fu-

ga del pozo a través de una plataforma fija a una distancia de 60 m del IXTOC-I, obteniéndose una recuperación aproximada de 42% que corresponde a 4,200 barriles/día (65% de aceite y 35% de agua). Los productos recolectados se quemaron a bordo de la segunda plataforma situada a una distancia de 100 m (fig. 4.2.1.) y se operó durante 3 semanas. Se observó que esta operación incrementó la emulsificación de aceite en agua dificultando la separación de éste que estaba reposando en la segunda plataforma.

Debido a una tormenta, después de 3 semanas de operación, fue deteriorado el sistema recolector, procediéndose a la retirada de la campana en forma definitiva.

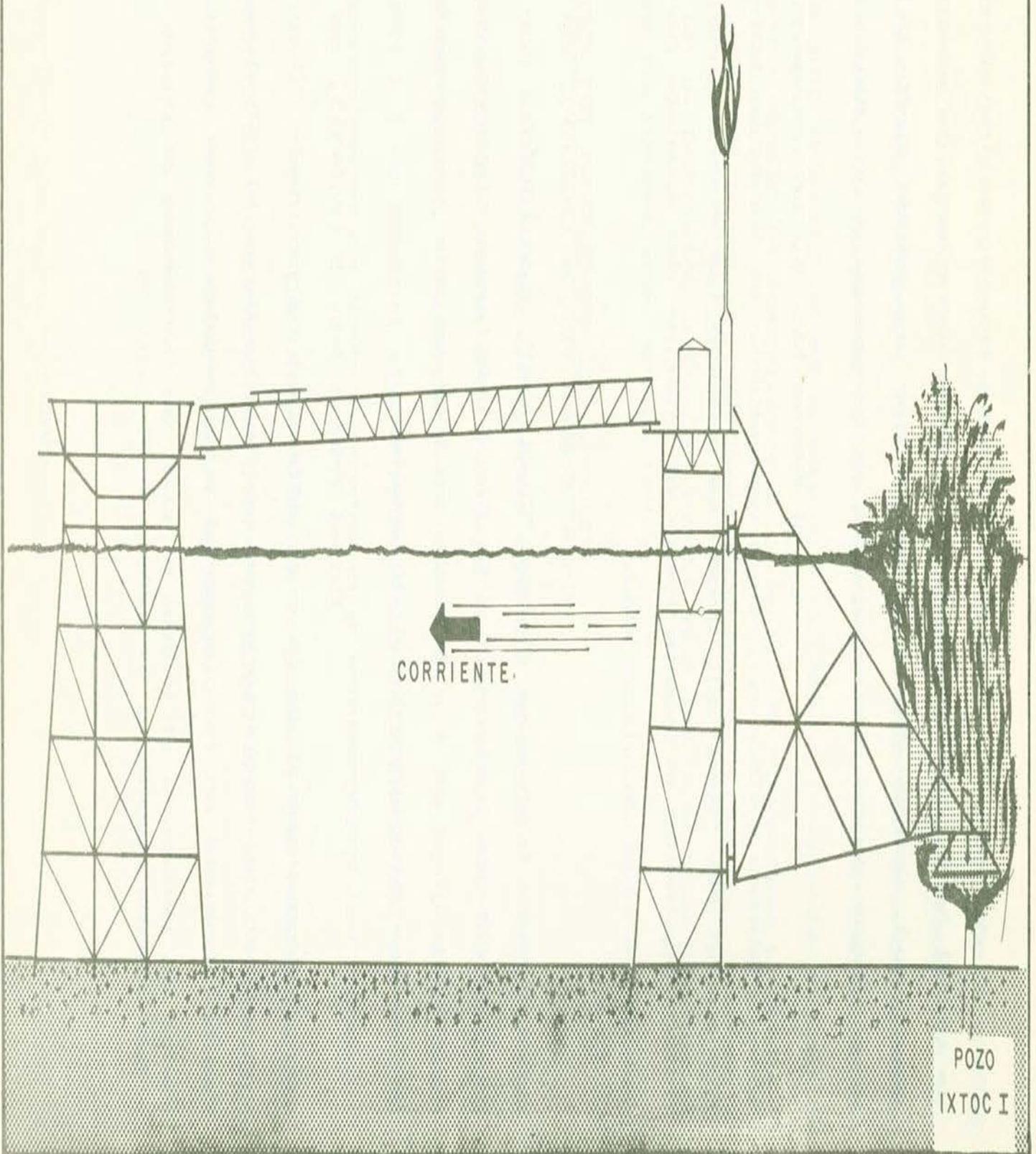
4.3.- RECUPERACION DEL DERRAME:

El sistema de recuperación del derrame consistió en cuatro frentes fijos y dos móviles, operando a favor de las corrientes marinas de la zona.

En el frente No. 1, se instalaron dos recolectores de aceite marca "Framo", noruegos, constituidos esencialmente por un sistema de discos automotorizados, basándose su operación en las diferencias de viscosidades entre el agua y el aceite.

FIG. 4.2.1.

ESTRUCTURAS DE "CAMPANA RECOLECTOR"



En el frente No. 2, se instalaron 2 equipos - de la Oil Mop, consistente en material absorbente de aceite (material oleofílico), transportando el aceite por una banda sinfín y escurriéndolo a un tanque donde posteriormente se bombeaba a un chalán cisterna.

En el frente No. 3, se ubicaron dos recolectores ingleses (Vikoma), cuyo mecanismo es fundamentalmente el mismo que el del "Framo", donde se utilizan los discos giratorios que permiten recolectar el aceite hacia el interior del aparato por efecto de -- las diferencias de viscosidad.

En el frente No. 4 (móvil), se emplearon -- dos unidades francesas marca "Cyclonet", constituídas por recuperado-- ras centrífugas instaladas a lo largo del buque cisterna; se observó que a una velocidad de 4 a 6 nudos se lograba una recuperación casi total -- de la capa fina superficial de aceite.

En el frente No. 5 (móvil), se instaló un -- equipo experimental de la compañía Shell denominado "Sock", equipado -- con un par de recolectores de aceite similares al "Cyclonet". La ope-- ración consiste en recolectar el agua aceitosa y por medio de un sepa-- rador se recupera el aceite el cual es bombeado al buque cisterna.

El frente No. 6, inició su operación a media dos de Agosto de 1979, con un sistema denominado "Open Water Oil -- Containment Recovery System", que consiste en una barrera de altamar que se instala en "U" a favor de la corriente y en cuyo vértice lleva incorporado sistema recolector de aceite y su bomba. Mediante el uso de este equipo para abatir la contaminación, se logró recolectar un volumen total de 167,000 barriles, que corresponden al 5.4% del volumen total vertido en el derrame; esto nos indica que los aparatos recolectores empleados no fueron muy eficientes.

4.4.- EMPLEO DE AGENTES QUIMICOS:

Se utilizaron agentes tenso-activos para dispersar las películas de aceite de la superficie del mar, incrementando las partículas de aceite. Teóricamente, en 400 m³ de agua éstas bacterias degradan 1 l de aceite; obviamente esto dependerá del contenido de nitratos, compuestos de fósforo, oxígeno y temperatura del agua.

La dispersión de productos fue realizada por medio de aviones, que los esparcen sobre la superficie de la mancha, - obteniendo una alta eficiencia en esta operación.

El tipo de dispersante empleado dentro del -

límite de 30 millas fueron compuestos químicos tenso-activos biodegradables, marca COREXIT 9517 y 9527 de la compañía EXXON; que tiene como característica principal, el dividir el aceite en micropartículas, - facilitando el ataque bacteriano, debido a la mayor superficie de contacto que presentan las micropartículas aceitosas.

También se empleó el COREXIT 7664, cuando el derrame rebasó el límite fijado de 30 millas.

En la dispersión con barcos, se utilizó COREXIT 9517 y 9527 y los dispersantes DUBOIS y KEY-E-D y un cargamento de DIS-MAR/46.

4.5.- COSTOS DEL ACCIDENTE:

Analizando los datos estadísticos de los principales derrames de petróleo en el mundo el accidente del IXTOC-I, -- puede calificarse como el número 1 dado el volumen total derramado; - rebasando el récord mundial del accidente del Amoco-Cádiz en el canal de la Mancha (tabla 4.5.1.) representando un gasto de limpieza alrededor de 2,000 millones de pesos mexicanos.

Por otro lado el accidente listado con el número 12; que ocurrió en una refinería en el mar interior de Japón, en

TABLA 4.5.1

PRINCIPALES DERRAMES EN EL MUNDO

	CANTIDAD DE DERRAME TONELADAS BARRILES x 10 ³	LOCALIZACION	NOMBRE DEL PETROLERO O PLATAFORMA	FECHA DEL ACCIDENTE	CAUSA DEL ACCIDENTE	PERJUICIO (MILLONES)	COSTO DE LIMPIEZA (MILLONES)	COSTO DE LIMPIEZA POR DIA (MILES)
1	484.3 3,100.	GOLFO DE CAMPECHE	POZO IXTOC I	3 JUNIO '79	FUGA	—	840 (PESOS MEX)	3,000 (PESOS MEX)
2	2,000 BLS. (NO ESTIMADO)	TOBAGO	ATLANTIC EMPRESS AEGEAN CAPITAN	22 JULIO '79	COLISION	—	—	—
3	220. 1,396.	FRANCIA	AMOCO-CADIZ	17 MAR. '78	VARADA	—	84 (DOLARES)	93 (DOLARES)
4	117. 737.1	INGLATERRA	TORREY CANYON	18 MAR. '67	VARADA	89 (LIBRAS)	16 (LIBRAS)	—
5	115. 724.5	GOLFO DE OMAN	SEA STAR	19 DIC. '72	—	—	—	—
6	99. 623.7	OCEANO PACIFICO	HAWAIIAN PATRIOT	23 FEB. '77	—	—	—	—
7	60 - 100 378 - 630	MAR BALTICO	OTHELLO	20 MAR. '70	—	—	—	—
8	88. 554.4	ESPAÑA	URQUIOLA	12 MAYO '76	VARADA	—	—	—
9	84. 529.2	PORTUGAL	JAKOB MAERSK	19 ENE. '75	—	—	—	—
10	63. 396.9	SUDAFRICA	WAFRA	27 FEB. '71	COLISION	—	—	—
11	51.5 324.5	ESTRECHO DE MAGELLAN	METULA	9 AGO. '74	VARADA	—	—	—
12	43. 260.9	MAR INTERIOR DE JAPON	REFINERIA MIZUSHIMA	18 DIC. '74	ROTURA DE TANQUE	57 (DOLARES)	44 (DOLARES)	244 (DOLARES)
-	11.35 71.	PUERTO RICO	OCEAN EAGLE	3 MAR. '68	VARADA	—	2 (DOLARES)	—
-	0.632 4.04	U.S.A.	ESTUARIO DE OHKLAND	18 ENE. '73	ROTURA DE TANQUE	—	1.2 (DOLARES)	120 (DOLARES)

1974, consumió alrededor de 1,000 millones de pesos mexicanos para - eliminar la mancha producto del derrame de 260,300 barriles de hidrocarburos; ésta cantidad representa una quinta parte del derrame en el Canal de la Mancha.

Comparando los dos siniestros el accidente - del Amoco-Cádiz cuesta aproximadamente 2,140,000 pesos diarios para controlar el derrame y el accidente de Japón dada la alta productividad pesquera de la región, se emplearon 38,653 embarcaciones, 344 aviones y numerosos equipos anticontaminación así como personal especializado; lo que hizo que el gasto fuese de aproximadamente 4,530,000 pesos al día, lo que representa un gasto 2.5 veces mayor que el del Amoco-Cádiz.

De lo anterior se infiere que una catástrofe por derrame de hidrocarburos, independientemente de las pérdidas y los daños de los recursos marinos y petroleros, representa una erogación - del orden de 1,000,000 de pesos diarios (mínimo), para controlar y -- limpiar el derrame; a esto añádase que los países antes citados estaban materialmente preparados para combatir este tipo de accidente.

De acuerdo con las estimaciones de PEMEX, las maniobras para controlar el Pozo IXTOC-I, tuvieron un costo de --

840 millones de pesos, en la instalación y operación de frente para la recuperación de aceite en la zona del accidente; así como las operaciones para proteger las zonas estuarinas y costeras de Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas, tuvieron un costo de 148 millones de pesos además se perdió alrededor de 2,000 millones de pesos mexicanos dado el volumen de petróleo vertido.

Un análisis costo-recuperación, de las eficiencias de operación de los equipos alquilados para conformar los frentes de contención del derrame se indican en la tabla que se muestra a continuación:

T i p o :	Aceite Recuperado en barriles	Costo Total en pesos	Costo de Recuperación por barriles en pesos
Framo	48,130	48'263,847	1,003/bls.
Oil Mop	39,930	60'722,231	1,520/bls.
Vikoma	35,813	15'472,575	432/bls.
Shell	21,625	16'913,920	782/bls.
Coast Gard	21,005	6'670,000	317/bls.
Cyclonet	756	10'001,050	13,229/bls.

Se aprecia que de los equipos de recupera--

ción los más efectivos utilizados para control de aceite fueron los equipos Coast Guard y Vikomama, debido a su baja relación costo-recuperación y el peor fué, el equipo francés Cyclonet, cuyo costo por barril recuperado fué de 13,229 pesos.

Lamentablemente aún no se cuenta con la evaluación del costo de las operaciones de protección a la zona estuarina, - la cual consistió en instalaciones de barreras móviles en las desembocaduras de ríos y lagunas costeras, ni del costo de la limpieza de playas.

Se estima que el accidente del IXTOC-I erogó 3'000,000 de pesos diarios para controlar el derrame, movilizandoo 200 - barcos, 12 aeronaves y 500 hombres.

A la información anterior hay que añadir el -- deterioro de los recursos marinos, actividad pesquera y actividades turísticas de la región; mismos que no han sido cuantificados.

5.- CONCLUSIONES:

Actualmente, México cuenta con 45.8 billones de barriles de reservas probadas y 200 billones de barriles de reservas probables, tanto para consumo interno como para exportación.

En Junio de 1980 la producción petrolera es ya de 2.276 millones de barriles de crudo por día, con lo que se ha superado la cantidad programada (de acuerdo a la plataforma de producción) para Noviembre de 1982, alcanzando el 5º lugar mundial entre los países productores de petróleo, siendo la Sonda de Campeche la zona petrolera más importante costa afuera, con una extensión de 8,000 Km² sobre la plataforma continental al Sur del Golfo de México.

En vista del creciente desarrollo de la industria petrolera en nuestro país y especialmente de los avances logrados en la tecnología de la explotación marina, se deben adoptar medidas de seguridad inmediatas, para proteger los recursos marinos, a fin de aprovechar al máximo la riqueza del país para todos los mexicanos.

Con este pensamiento en el año 1979 fué establecido un proyecto denominado "Plan Nacional de Contingencia" para evitar un siniestro por la contaminación de cualquier tipo de sustancias en el mar.

Como se ha visto que hay mayor peligro de -
la contaminación por exploración y explotación del petróleo, se debe re-
forzar el Plan a base de esta experiencia del IXTOC-I tanto para coordi-
nación como para adquisición de adecuados materiales y equipos anticon-
taminación.

Es necesario que el país tenga un centro de-
respuesta en el Golfo de México y otro en el Océano Pacífico para res-
ponder a cualquier necesidad con el fin de combatir la contaminación, -
estableciendo el mecanismo de coordinación operacional con el método -
preventivo adecuado y sus equipos de limpieza, incluyendo personal en-
trenado.

Ya que se ha visto anteriormente que la ope-
ración que desarrolló PEMEX para combatir el derrame del IXTOC-I -
funcionó con un rendimiento de un 5.4% de la recuperación y un 28.5%
de dispersión por agentes químicos, entre las manchas procedentes del -
IXTOC-I arribaron aproximadamente 12,800 barriles a las costas del --
Golfo de México, lo cual indica que la operación de recolección del de-
rrame no fue adecuada, probablemente debido a la alta viscosidad del -
crudo intemperizado.

Ante un derrame de petróleo se deben conside-

rar dos factores principales para definir el método de lucha y la selección de equipos anticontaminación:

- Estado del Mar
- Viscosidad y densidad del contaminante

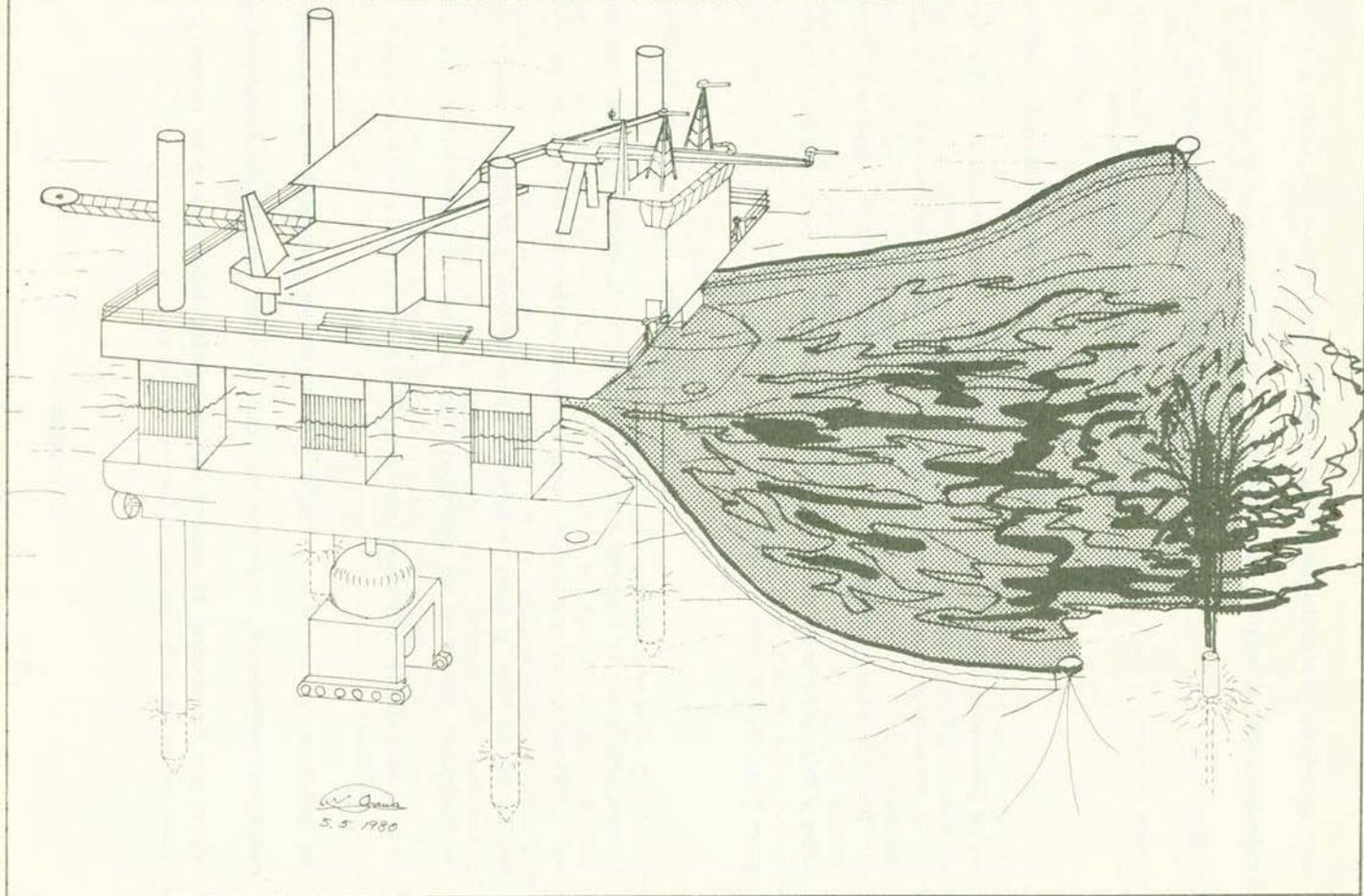
México todavía no dispone de suficiente equipo ni personal entrenado, para combatir la contaminación. Por lo tanto es necesario que se establezca un Plan de equipamiento para adquirir los aparatos y materiales de manera sistemática, bajo una coordinación y filosofía bien definida, cubriendo tanto la zona costera como alta mar (fig. 5.1.)

Ante esta situación, la Dirección General de Oceanografía de la Secretaría de Marina, esta desarrollando con personal calificado, un programa para la evaluación del estado de la contaminación en el mar y otro programa para definir métodos preventivos para cualquier derrame de petróleo, los cuales nos permitirán disponer de una estrategia adecuada con equipos y materiales seleccionados.

Para México es muy importante explotar los recursos petroleros, pero no hay que olvidar los demás recursos económicos que favorecen el desarrollo del país, tales como la pesca y el -

FIG. 5.1.

PLATAFORMA PARA CONTROLAR LA FUGA Y LOS DERRAMES DE PETROLEO.



turismo, que todavía no se están explotando en su totalidad.

Si en los mares de México, se llegará a --
romper el equilibrio del ecosistema, todos los recursos marinos, que --
debieran ser utilizados para beneficiar a los mexicanos, se perderían --
irremediablemente; por esta razón, el desarrollo del Plan Nacional de
Contingencia y el establecimiento del Plan de Equipamiento, son tan im-
portantes como la explotación del petróleo, y debemos adoptar desde --
ahora, las medidas más adecuadas para conservar los mares de México.

R E F E R E N C I A S

- American Petroleum Institute; 1976, Physical and Chemical Behavior of Crude Oil Films on the Ocean, Washington, D. C.
- American Petroleum Institute; 1977, Oil Spill Studies: Strategies and Techniques, Washington, D. C.
- Arps, Jan L.; 1973, The role of the Semi-Submersible Work Vessel in Offshore Production Operations, OTC 1974, Huston.
- Baier, R. E. 1970, Surface Quality Assessment of Natural Bodies of Water. Proc. Conf. Great Lakes Res: 13, 114-127.
- Baker, E. G. 1967, A Geochemical Evaluation of Petroleum Migration and Accumulation pp. 299-329. In Fundamental Aspects of Petroleum Geochemistry. Elsevier Amsterdam.
- Comex Industries; 1979, Catalog General, Marsella.
- Comisión Intersecretarial de Saneamiento Ambiental; 1980, Plan Nacional de Contingencia para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y Otras Sustancias Nocivas en el Mar. México, D. F.
- Davis, W. W., M. E., Krahl and G. H. A. Clowes, 1972, Solubility of Carcinogenic and Related Hydrocarbons in Water. J. Am Chem. Soc. 64, 108-110.
- Dodd, E. N. 1971, The Effects of Natural Factors on the Movement, Dispersal and Distribution of Oil at Sea. U. K. Ministry of Defense (Navy Department).
- Fallah, M. H. and Stark, R. M.; 1976, Movement of Spilled Oil at Sea, (MTS Journal V. 10 No. 1).
- Foster, M. M. Neushul, and R. Zingmark, 1971, The Santa Barbara Oil Spill. Part 2, Initial Effects on Intertidal and Kelp Bed Organisms, Environ. Pollut.: 2; 155-134.
- Garret, W. D.; 1968, The Influence of Monomolecular Surface Films on Production of Condensation Nuclei From Bubbled Sea Water. J. --

Geophys. Res. 73, 5145-5150.

- Hydro Products; 1977, Catálogo RCV-225 System y RCV-150 System.
- IMCO; 1972, Manual de Contaminación Petrolífera, Londres.
- IMCO; 1978, Manual Sobre la Contaminación Ocasionada por Hidrocarburos, Londres.
- I.M.P. Informe Técnico Sobre Perforación y el Accidente del Pozo - Ixtoc-I. Impacto Ambiental y Condiciones Preliminares, Agosto 1979. 112 p.
- Japan Ocean Industries Association; 1976, Estudios Técnicos Sobre - Desarrollo del Sistema de Recolección de los Derrames Mayores, - Tokyo (en japonés).
- Jeffegry, P. G.; 1973, Large-Scale Experiments on the Spreading of Oil at Sea and its Disappearance by Natural Factors, United Kingdom.
- Matins C. Donald. 1977, Effects of Petroleum on Arctic and Subarctic.
- Marine Environment and Organisms, 1976; Vol. I and II. Acad. Press New York, San Francisco, 321 p.
- National Academy of Sciences (U.S.A.), 1975, Petroleum in the Marine Environment, Washington.
- Ocean Systems Japan Ltd.; 1977, Ingeniería de Buques Especiales para Investigación y Explotación de los Océanos, Tokyo.
- Ogawa N.; 1978, Lucha Anticontaminación Marina, Asociación de Investigación de la Construcción Naval, Madrid.
- Rice, Lee y Hann, Roy W.; 1978, Oil Spill Modelling, Texas A. M. University.
- U. S. Department of Commerce, 1974, Marine Pollution Monitoring -- (Petroleum), Washington.
- U. S. Department of Commerce, 1978, The Amoco-Cadiz Oil Spill, -- Preliminary Scientific Report, Washington.

E L A B O R A R O N :

*Dr. Naoharu Ogawa

*M. en C. Gabriel Barud Martín

**M. en C. Alberto Vazquez de la Cerda

*M. en C. Nodier E. García Aparicio

*QFB Silvia Domínguez Parra

*Dirección de Prevención de la Contaminación Marina

**Estación Oceanográfica de Veracruz, Mex.

PUBLICACION DE LA
DIRECCION GENERAL DE OCEANOGRAFIA
SECRETARIA DE MARINA

REPORTE TECNICO
DEL
DERRAME DEL IXTOC - I



JULIO 1980

DIRECCION DE PREVENCION
DE LA CONTAMINACION MARINA

NAOHARU OGAWA, GABRIEL BARUD MARTIN
ALBERTO VAZQUEZ DE LA CERDA
MEDELLIN 10,
MEXICO 7, D. F., MEXICO.

R E S U M E N

El pozo exploratorio denominado IXTOC-I, ubicado en la Sonda de Campeche, al suroeste del Golfo de México, se accidentó el 3 de Junio de 1979, liberando más de tres millones de barriles de hidrocarburos durante 280 días.

El control de la fuga de aceite y gas natural así como del derrame, no fué tarea fácil, aún utilizando los métodos más avanzados, debido a los daños sufridos en los preventores de seguridad y a la alta emulsificación del derrame por efectos del incendio y las condiciones ambientales.

El derrame de petróleo procedente del Pozo IXTOC-I, se extendió desde las costas de la península de Yucatán, en la República Mexicana, hasta las de Texas, en los Estados Unidos de Norteamérica, en forma de manchas pastosas y de alquitirán, su desplazamiento fué predominantemente hacia el oeste, a causa de la corriente existente en la zona, que penetra por el canal de Yucatán.

Las consecuencias ecológicas a largo plazo están en proceso de investigación, sin embargo, se detectó con las primeras observaciones realizadas, al inicio del accidente que el contenido

de hidrocarburos en agua y en sedimentos se incrementó notablemente -
alrededor del pozo descontrolado. Según bioensayos quedó comprobado
que la toxicidad de las fracciones solubles del crudo del IXTOC-I fué --
menor que la del Fuel Oil No. 2 y del crudo de Louisiana.