

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

295

192



CONCEPTOS INTRODUCTORIOS PARA EL ANALISIS
ESTRUCTURAL DE PLATAFORMAS MARINAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A:

SAMUEL SOTO AVILA



MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVÉNCIA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-219

Al Pasante señor SAMUEL SOTO AVILA,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. José Luis Camba Castañeda, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CONCEPTOS INTRODUCTORIOS PARA EL ANALISIS ESTRUCTURAL DE PLATAFORMAS MARITIMAS"

1. Introducción.
2. Acciones.
3. Métodos de análisis.
4. Principales procedimientos de construcción.
5. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 26 de junio de 1980
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESCRIBU

JJE/OBLH/ser

CONTENIDO

1. - INTRODUCCION.

- 1.1. - BREVE RESEÑA HISTORICA.
- 1.2. - DIFERENTES TIPOS DE INSTALACIONES MARINAS DE PERFORACION.
- 1.3. - DIFERENTES TIPOS DE PLATAFORMAS MARINAS FI--
JAS.
- 1.4. - CONCEPTOS ESPECIALES.

2. - ACCIONES.

- 2.1. - ESTUDIOS GEOFISICOS.
- 2.2. - ESTUDIOS METEOROLOGICOS-OCEANOGRAFICOS.
- 2.3. - ESTUDIOS GEOTECNICOS.
- 2.4. - INSTRUMENTACION.
- 2.5. - EVALUACION DE LAS ACCIONES.
 - 2.5.1. - ACCIONES EN EL SITIO.
 - 2.5.2. - ACCIONES GRAVITACIONALES Y OPERACIONAL
LES.

3. - METODOS DE ANALISIS.

- 3.1. - METODO DE LAS RIGIDECES.
- 3.2. - METODO DEL ELEMENTO FINITO.

4. - PRINCIPALES PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

4.1. - PLATAFORMAS DE GRAVEDAD DE CONCRETO.

4.2. - INSTALACION.

4.3. - CIMENTACION.

4.4. - PLATAFORMA DE ACERO.

5. - CONCLUSIONES.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.- BREVE RESEÑA HISTORICA.

Desde tiempos remotos, el mar ha representado infinidad de interrogantes para la humanidad. Aunque hoy en día se exploran sus profundidades con métodos científicos; nuestro conocimiento sobre los procesos físicos y químicos, la vida en sus profundidades y la existencia de materias primas, sigue siendo limitado.

Resulta difícil predecir con exactitud los descubrimientos -- que se alcanzarán con las investigaciones realizadas. Lo único que se puede asegurar, es que con el creciente aumento de la población mundial y el progresivo agotamiento de los yacimientos de materias primas en tierra firme, el mar va cobrando cada vez mayor importancia.

Los yacimientos submarinos de minerales más importantes - para el futuro de la humanidad, lo representan los nódulos de minerales de manganeso, aunque su explotación actual en lo que a su importancia económica se refiere, es superada con mucho por la explotación de yacimientos submarinos de petróleo y gas natural.

Uno de los medios para la explotación y localización de los -- yacimientos de petróleo, lo constituyen las "PLATAFORMAS MARITI-- MAS."

La localización de los yacimientos en el mar, requiere de un esfuerzo científico y técnico mucho mayor que el que se exige para -- las explotaciones en tierra firme.

Aunque los resultados de las investigaciones de los geólogos-

indiquen la existencia de un manto petrolífero, la única forma de comprobarlo es mediante una perforación de prueba. Para poder efectuar este tipo de pruebas se han desarrollado diferentes tipos de estructuras de soporte para los equipos de perforación.

1.2. - DIFERENTES TIPOS DE INSTALACIONES MARINAS DE PERFORACION.

Las primeras perforaciones marinas se efectuaron a través de islas artificiales, estructuras de madera o acero. Sin embargo este tipo de instalaciones resultaba demasiado costoso para efectuar perforaciones de exploración, debido a esto hubo la necesidad de crear otros sistemas que resultasen más económicos; para tal efecto se crearon los siguientes, véase la Figura No. 1.

1.- Las que se apoyan sobre el fondo marino.

1.1). - La unidad totalmente sumergible.

1.2). - La unidad auto-elevable.

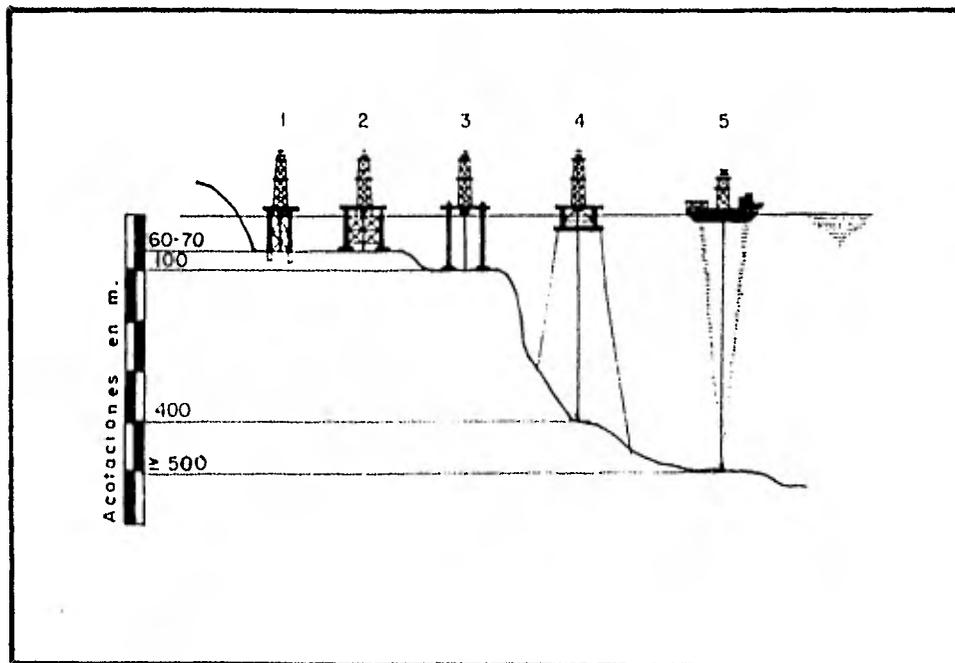
2.- Las instalaciones flotantes:

2.1). - La unidad semisumergible.

2.2). - El barco de perforación.

1.1. - UNIDAD TOTALMENTE SUMERGIBLE

La primera unidad fue construida en el año de 1949 la cual podía operar hasta una profundidad de 10 m. su característica es que la plataforma que sostiene la torre y el equipo de perforación descansa



- 1.- Instalación estacionaria de perforación
- 2.- Unidad totalmente sumergible
- 3.- Unidad autoelevable
- 4.- Unidad semisumergible
- 5.- Buque de perforación

TIPOS DE INSTALACIONES MARINAS DE PERFORACION

FIG.- I

sobre elementos flotantes que son lastrados, por tal motivo, una vez terminados los trabajos la plataforma es puesta a flote evacuando el agua del lastre, con lo que puede ser trasladada a otro sitio de trabajo.

La unidad mas grande de este tipo fué el Rig 54 de la Transworld, la cual puede operar a profundidades de hasta 50 metros y efectuar perforaciones hasta de 7000 metros de profundidad. Fue construida en el año de 1963 y empleada en el Golfo de México.

1.2.- UNIDAD AUTO-ELEVABLE.

La plataforma sobre la que se encuentra montada la torre de perforación, es construida en forma de balsa y contiene en varias cubiertas todo el equipo necesario para la perforación.

Este tipo de unidad esta apoyada en el fondo marino mediante patas hechas a base de cilindros huecos o armaduras de acero. Las unidades auto-elevables trabajan actualmente a profundidades de alrededor de los 100 metros, un ejemplo de este tipo de plataforma lo podemos ver en la Fig. 2

2.1.- UNIDAD SEMISUMERGIBLE.

Este tipo de unidad es el más favorable actualmente ya que puede ser operado en condiciones especialmente adversas.

La plataforma de trabajo y demás instalaciones repartidas en varias cubiertas, se encuentran ligadas a los flotadores los cuales gene

UNIDAD AUTO-ELEVABLE SOBRE TRES
PATAS DE SUSTENTACION A BASE DE ES-
TRUCTURA TUBULAR Y PLATAFORMA NA-
VIFORME

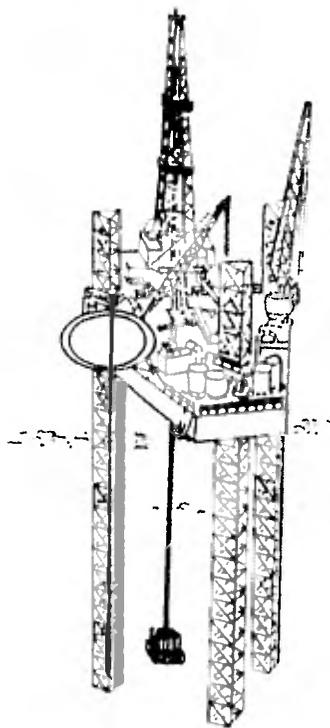


FIG.- 2

ralmente son columnas huecas de entre 30 y 45 metros de longitud.

Las grandes unidades semisumergibles pueden trabajar aún - en presencia de olas de hasta 10 metros de altura.

2.2. - BARCOS DE PERFORACION.

Los primeros barcos de perforación resultaron de la adaptación de buques mercantes de casco plano.

Con respecto a las unidades descritas anteriormente los barcos presentan la ventaja de que debido a su condición de naves pueden soportar el más fuerte oleaje.

Una vez que se han realizado las perforaciones y se ha comprobado la existencia de un manto petrolífero, viene la etapa más importante y que es la instalación de una PLATAFORMA MARINA DE PERFORACION Y PRODUCCION.

Actualmente en nuestro país se utilizan las plataformas marinas fijas. Generalmente se considera que el desarrollo de las plataformas marinas fijas principió en el año de 1945, instalándose una estructura de madera a 6 metros de profundidad en el Golfo de México.

Más tarde en el año de 1947 fué instalada una plataforma de acero a 10 metros de profundidad y desde entonces las plataformas marinas fijas se han desarrollado rápidamente.

En la actualidad las plataformas marinas fijas, pueden clasificarse básicamente en dos tipos; Las plataformas de acero con cimentaciones a base de pilotes y la plataforma de gravedad hecha de concreto

to, de diseño prácticamente nuevo. Se encuentran aún en proyecto las -
construcciones denominadas HIBRIDAS O COMBINADAS.

El desarrollo de nuestro país dentro de este campo se encuentra
en pleno avance, es entonces importante indicar que este trabajo --
dará un panorama general sobre los conceptos básicos para el análisis-
de las plataformas marítimas fijas.

1.3.- DIFERENTES TIPOS DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS.

La clasificación de plataformas fijas que a continuación se dará
es la indicada por el (API), pero esta sólo dará un panorama gene-
ral.

1.- ESCANTILLON.

Esta consiste de: Una sub-estructura o estructura especial tubu
lar soldada, diseñada para servir como un escantillón que guía a los
pilotes y con un refuerzo lateral para los mismos.

Los pilotes anclan permanentemente la plataforma al lecho --
marino y soportan las cargas laterales y verticales.

La superestructura consistirá de una armadura y una o varias
cubiertas para soportar las cargas operacionales y otras.

2.- TORRE.

La plataforma tipo torre es aquella que tiene las piernas relata
tivamente cortas (5 m.). La torre puede ser flotante para transpor-
tarla al sitio de su colocación e inundar las piernas para posicionarla-
verticalmente.

3. - FLOTANTE.

Una plataforma flotante es aquella que esta soportada fundamentalmente por elementos a tensión y soporta un pozo de perforación.

4. - OTRAS. - Otro tipo de estructuras tales como tanques de almacenamientos de petróleo en el mar, puentes de conexión entre las plataformas, trípodes para soportes de quemador, etc.

A continuación se indican algunos de los conceptos básicos de las plataformas típicas.

PLATAFORMA MINIMA DE PERFORACION/PRODUCCION AUTOSOPORTADA.

La plataforma mínima de perforación/producción autosoportada indicada en la Fig. 3 se diseña para soportar un aparejo de perforación completo para la explotación de los pozos de petróleo. El uso de esta plataforma es para poca producción o bajas reservas.

La superestructura consiste de dos niveles soportados por cuatro columnas, una cubierta es de perforación y la otra de producción. - Dependiendo del número de pozos (6-12) y el espacio entre los mismos, las columnas de la superestructura pueden espaciarse aproximadamente desde 12 X 12 m. a 15 x 15 m. y pueden extenderse a 14 x 18 m. -- adicionando un espacio proporcionado por cantilvers de 4.5 a 6 m.

La configuración de la superestructura se determinará por la profundidad del agua, forma y tipos de cargas de la super-estructura.

Este tipo de plataforma constará con un promedio de 4 pilotes para soportar la estructura, en general estas plataformas se usan en -

PLATAFORMA MINIMA DE PERFORACION
PRODUCCION AUTOSOPORTADA

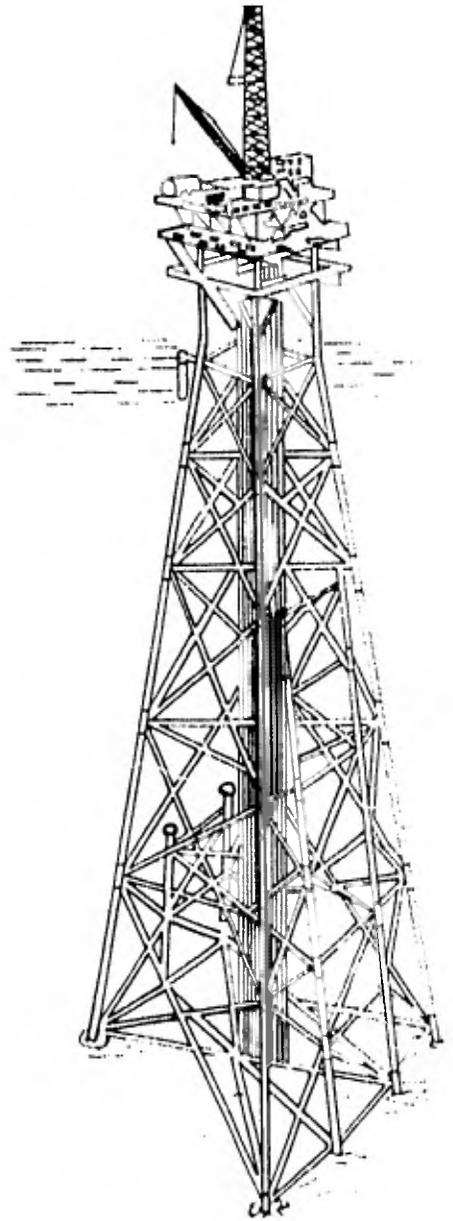


FIG-3

profundidades dentro de un rango de 60 metros. En aguas más profundas y dependiendo de las condiciones del suelo, los cuatro pilotes básicos de la subestructura se podrán incrementar a una mayor cantidad.

La colocación de la plataforma en aguas poco profundas podrá efectuarse mediante un barco-grúa, debido a que su capacidad de carga es de 500 ton. y se encuentra en el rango de peso de la plataforma.

PLATAFORMA DE PERFORACION/PRODUCCION DE UN SOLO APAREJO (TIPO API)

La plataforma básica de perforación y producción usada actualmente en el Golfo de México, es la convencional de ocho piernas.

Esta plataforma generalmente se diseña para acomodar 12 ó 24 pozos y un aparejo de perforación típico soportado por sí solo.

En la Fig. 4 se muestra una plataforma de este tipo. Los sistemas de producción pueden ser integrados dentro de la superestructura o pueden ser paquetes modulares instalados sobre la cubierta de producción o perforación.

La superestructura esta formada por dos niveles; uno contiene la cubierta de perforación y otro la de producción y estarán soportados por ocho columnas.

Actualmente se utiliza el concepto de estructura rígida para la fabricación de las traveses armadas. Generalmente para el Golfo de México, las dimensiones de la superestructura pueden variar desde 40 a 50 metros longitudinalmente y de 21 a 23 metros transversalmente.

PLATAFORMA DE PERFORACION/PRO-
DUCCION DE UN SOLO APAREJO

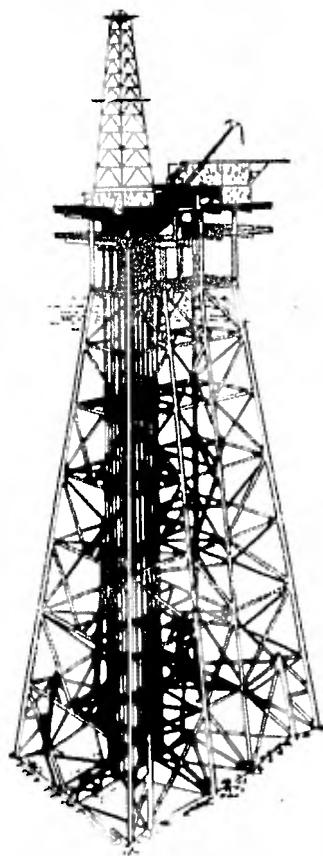


FIG: 4

La forma de la superestructura, esta dada casi siempre por los requisitos del aparejo de perforación.

El espacio entre columnas en la dirección longitudinal varía desde 10 a 14 m. y de 12 a 14 m. transversalmente. Se puede agregar un espacio adicional de 3 a 5 metros mediante un cantiliver alrededor de la plataforma.

La forma de la subestructura puede variar considerablemente dependiendo de la profundidad del agua, número de conductores, forma y tipo de cargas de la superestructura. La plataforma mostrada tiene una profundidad de 120 metros.

PLATAFORMA DE GRAVEDAD DE CONCRETO.

El enorme peso de estas estructuras es por si solo suficiente para resistir el ataque de los elementos.

Las fuerzas ascensionales producidas por su volumen son -- reducidas mediante lastrado.

Las plataformas de concreto de acuerdo con el tipo elegido, se componen de entre 5 hasta 100 celdas cilíndricas o rectangulares. -- Con un área de apoyo que por lo general abarca unos 10 000 m² de forma circular o poligonal.

Sobre esta base se levantan como prolongación de las celdas, de 2 a 4 torres cuya sección se reduce hacia la punta con alturas de - 100 a 140 metros y sobre las cuales descansa la cubierta.

En 1968 la Sea Tank Co. Patentó una estructura de gravedad

la cual se muestra en la figura No. 5, que además de ser instalada -- rápidamente cumple las siguientes funciones:

- a).- La base de la plataforma suministra a la estructura -- flotabilidad y estabilidad durante el remolque del sitio-- de construcción al sitio de operación.
- b).- Suministrar lastre a la estructura para una estabilidad-- operacional.
- c).- La estructura suministra un almacenamiento potencial-- de petróleo.

La torre, la cual consiste de una o más columnas, es cons-- truida de acero o concreto y deberá cumplir con las siguien-- tes funciones:

- a).- Asegurar la estabilidad de la estructura hasta el final-- de la inmersión de la base de concreto.
- b).- Llevar toda la tubería necesaria y facilitar la opera -- ción de almacenamiento.
- c).- En el caso de plataformas de perforación, la tubería -- conductora es protegida de la acción de las olas.
- d).- Suministrar adicionalmente un espacio protegido para-- equipo y alguna otra demanda de almacenamiento.

Las dimensiones estructurales están incorporadas a las teo-- rías de diseño má- reciente y programas de computadoras respecto a -- la acción de las olas.

PLATAFORMA DE PERFORACION Y PRODUCCION DE CONCRETO

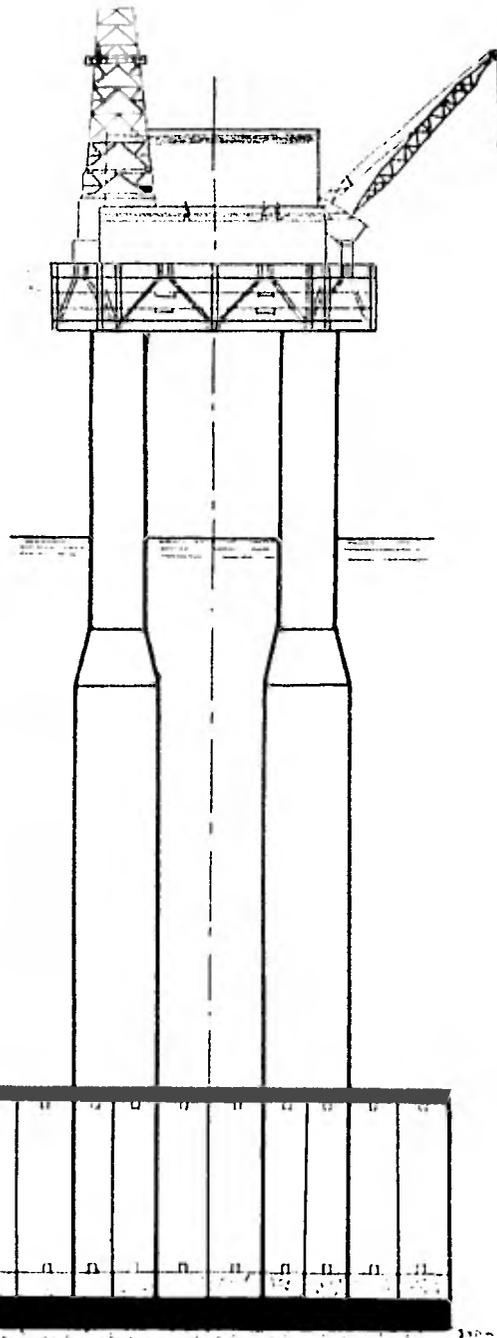


FIG- 5

El modelo de prueba, consiste en realizar en muchos casos el doble de cálculos hasta encontrar el tipo adecuado. La forma rectangular de la base fue escogida para simplificar los cálculos y procedimientos de construcción.

OTROS TIPOS DE PLATAFORMAS

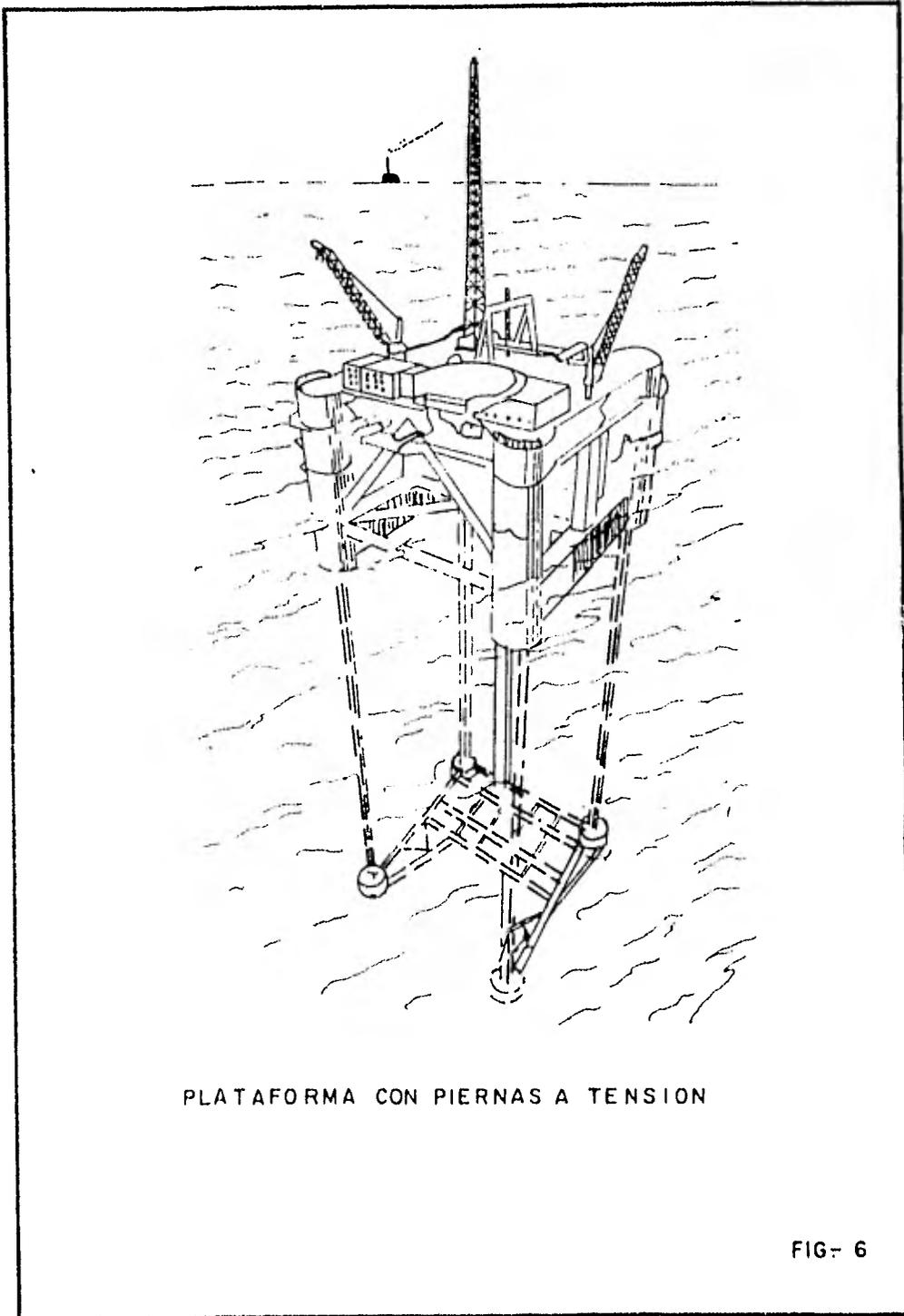
Variando la forma convencional de las plataformas Tipo, --- han sido propuestas algunas alternativas para aguas profundas como se muestra en las Figuras 6 y 7.

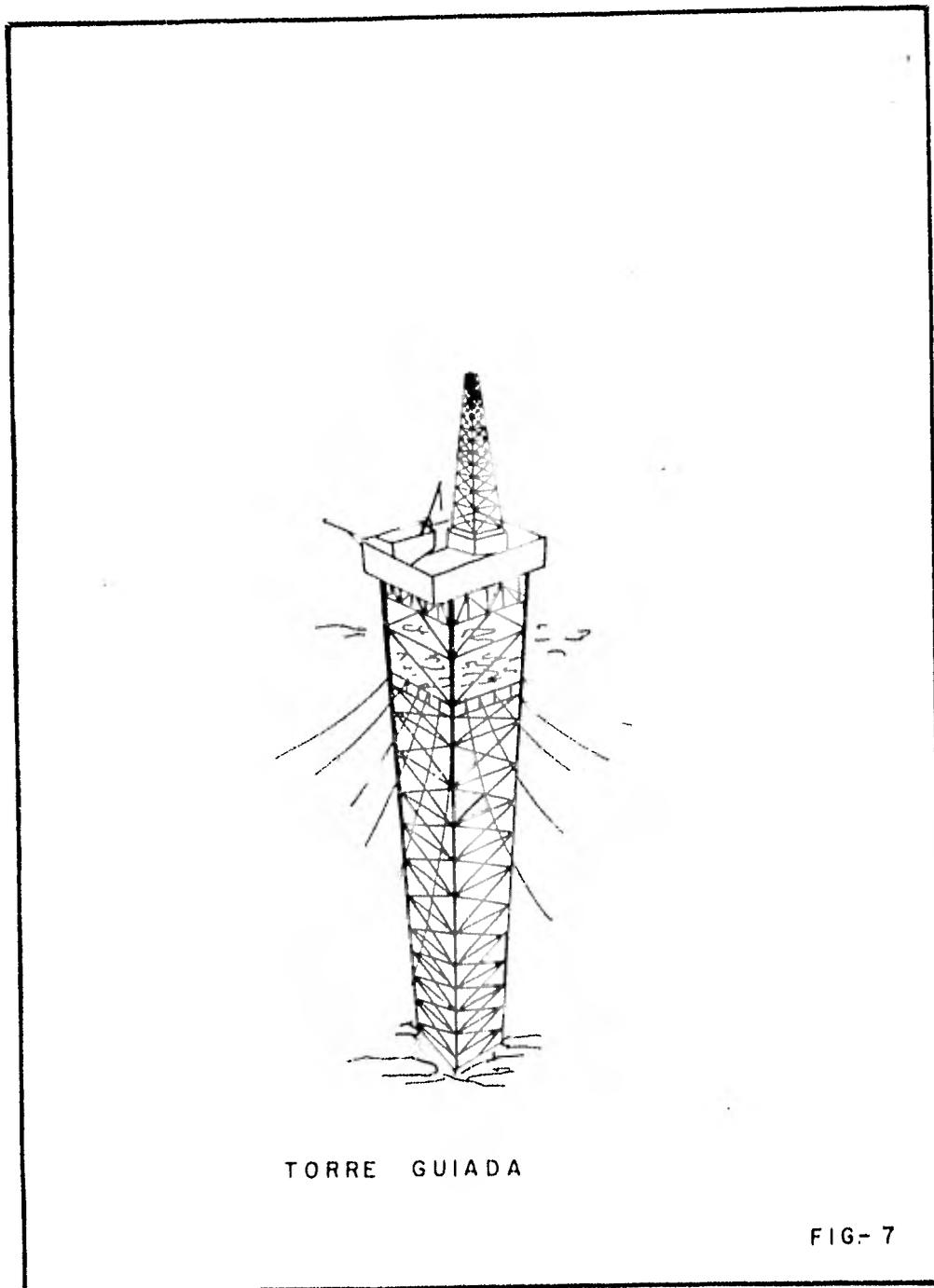
PLATAFORMAS CON PIERNAS A TENSION.

Las plataformas de este tipo (fig. 6) consisten de una subestructura rígida con columnas verticales flotantes, soportando la superestructura sobre la superficie del mar, cables a tensión anclados se prolongan a través de las columnas, asegurando firmemente la estructura al lecho marino. Las anclas consisten de una combinación de acero o concreto armado y material de lastre. La flotación de la plataforma excede su peso y carga para que el cable pueda ser tensionado y permanezca siempre en tensión.

PLATAFORMA TIPO TORRE GUIADA

Este tipo de plataforma (fig. 7) en un principio se desarrolló para usarse en aguas profundas y consiste de una torre guiada rígida - armada, la cual se ancha al lecho marino con cables guía, la torre tiene una placa base reforzada de gran peso, la cual sirve de lastre y --





TORRE GUIADA

FIG- 7

penetra en el lecho marino.

PLATAFORMA CON DOBLE APAREJO DE PERFORACION / PRODUCCION.

En aguas profundas las plataformas requieren de más pozos. Para este propósito la fig. 8, muestra un doble aparejo de perforación. Esta plataforma puede ser diseñada para acomodar aproximadamente cincuenta pozos. Los aparejos de perforación se coordinan para usar la misma viga de deslizamiento y generalmente son independientes uno del otro.

La superestructura esta formada por dos niveles, uno contiene la cubierta de perforación y el otro la de producción y están soportados por doce columnas.

Para acomodar dos aparejos de perforación se requiere que las dimensiones de la plataforma de perforación sean aproximadamente de 40 a 52 metros y el espacio entre las columnas sea aproximadamente de 13 a 15 metros.

La subestructura esta formada básicamente por doce (12) -- piernas y múltiples pilotes en la base, para optimizar la subestructura y minimizar el peso de la misma, se usarán los diámetros menores posibles en los pilotes que se incrementan en la base de la estructura.

PLATAFORMA CON DOBLE APAREJO DE PERFORACION / PRODUCCION

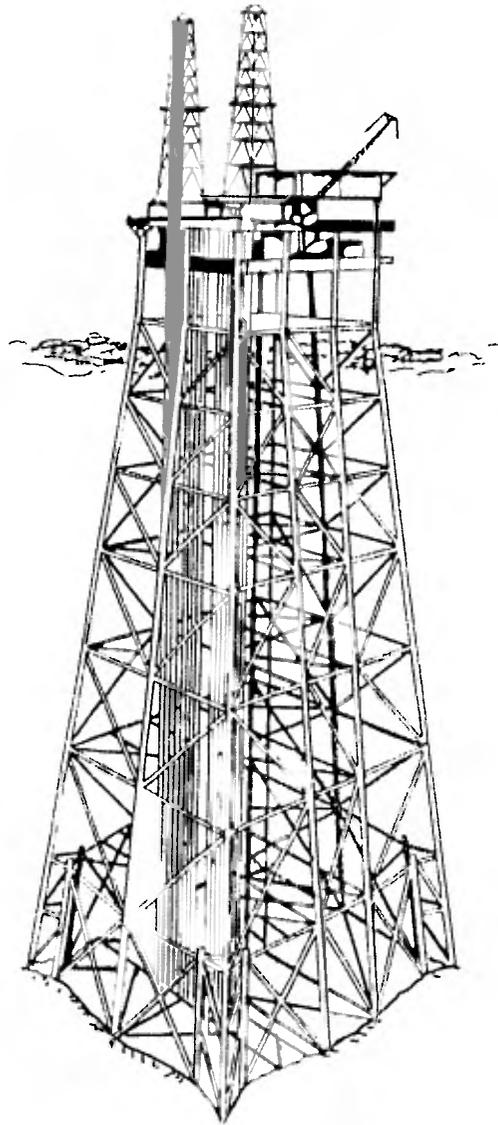


FIG. 8

1.4.- CONCEPTOS ESPECIALES

En algunos casos la combinación de plataformas puede requerirse para desarrollar un campo de explotación, en lugar de usar una sola plataforma de perforación/producción, un sistema complejo múltiple, en el cual se dividan las funciones de las plataformas: habitacionales, perforación, enlace, almacenamiento, etc. El concepto de una plataforma múltiple se ilustra en la fig. 9. Una de las finalidades del uso de este tipo de plataformas es diseñar estructuras menos complicadas.

Cuando se requiere un mínimo de pozos se puede usar la plataforma mostrada en la fig. -10. La cual tiene un espacio mínimo para efectuar una producción fácil.

En algunos casos la primera producción puede realizarse usando plataformas móviles para la perforación inicial de los pozos, a través de guías en el fondo marino.

En áreas remotas, donde no se tiene la suficiente producción que justifique el tendido de una línea submarina, se pueden colocar tanques de almacenamiento como el que se muestra en la fig. -11-. Este tanque de almacenamiento se localiza en un lugar adyacente a la plataforma de producción y el flujo del petróleo viaja en un puente soportando la línea de conducción que llega a el tanque de almacenamiento.

PLATAFORMA MULTIPLE

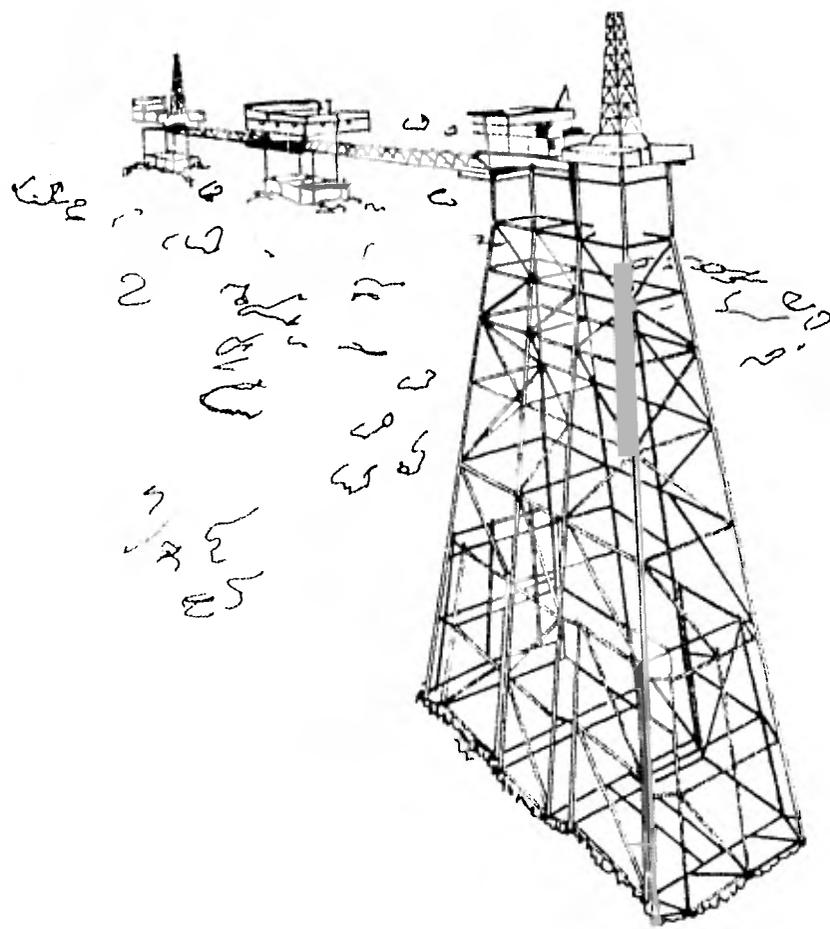


FIG- 9

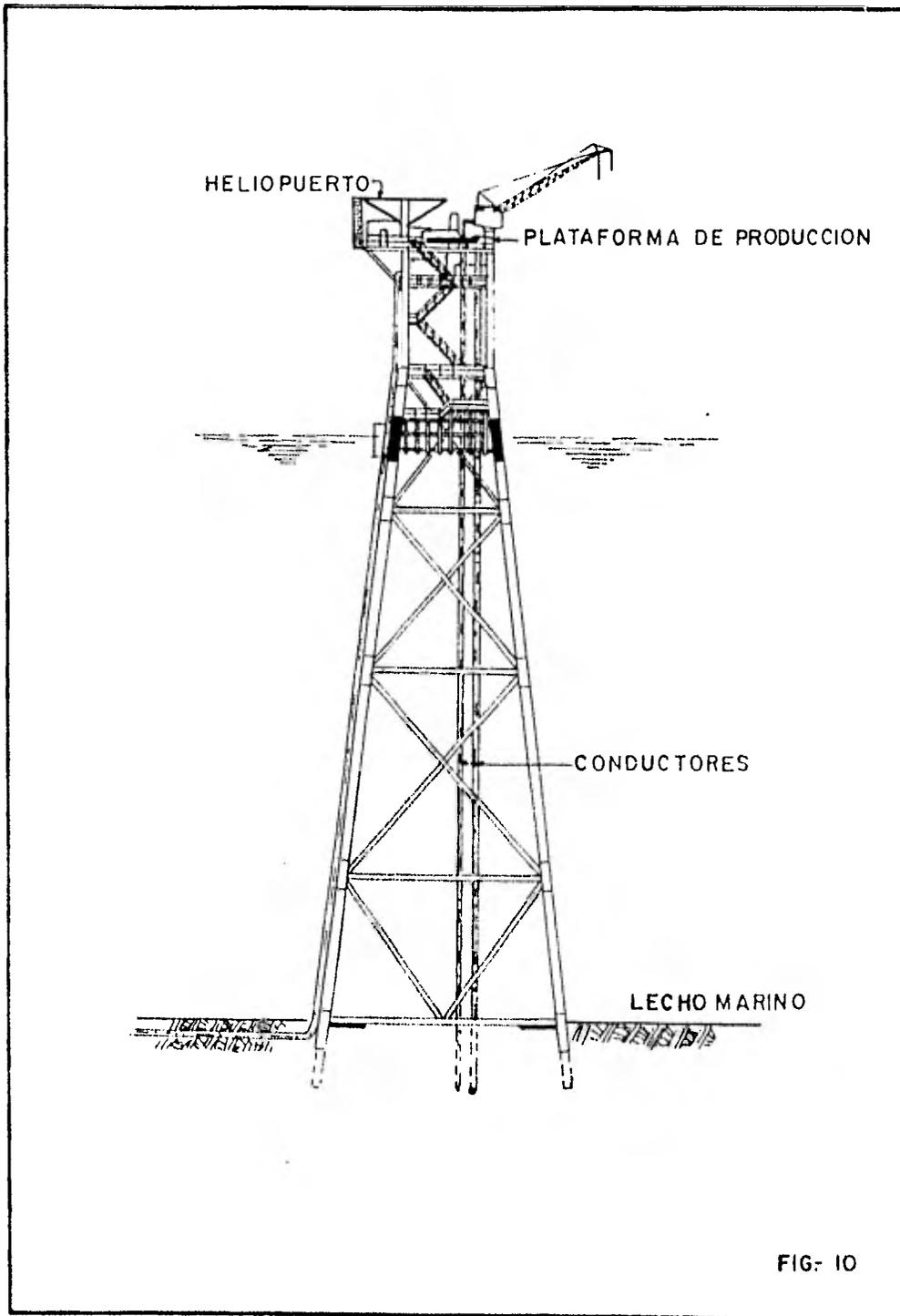
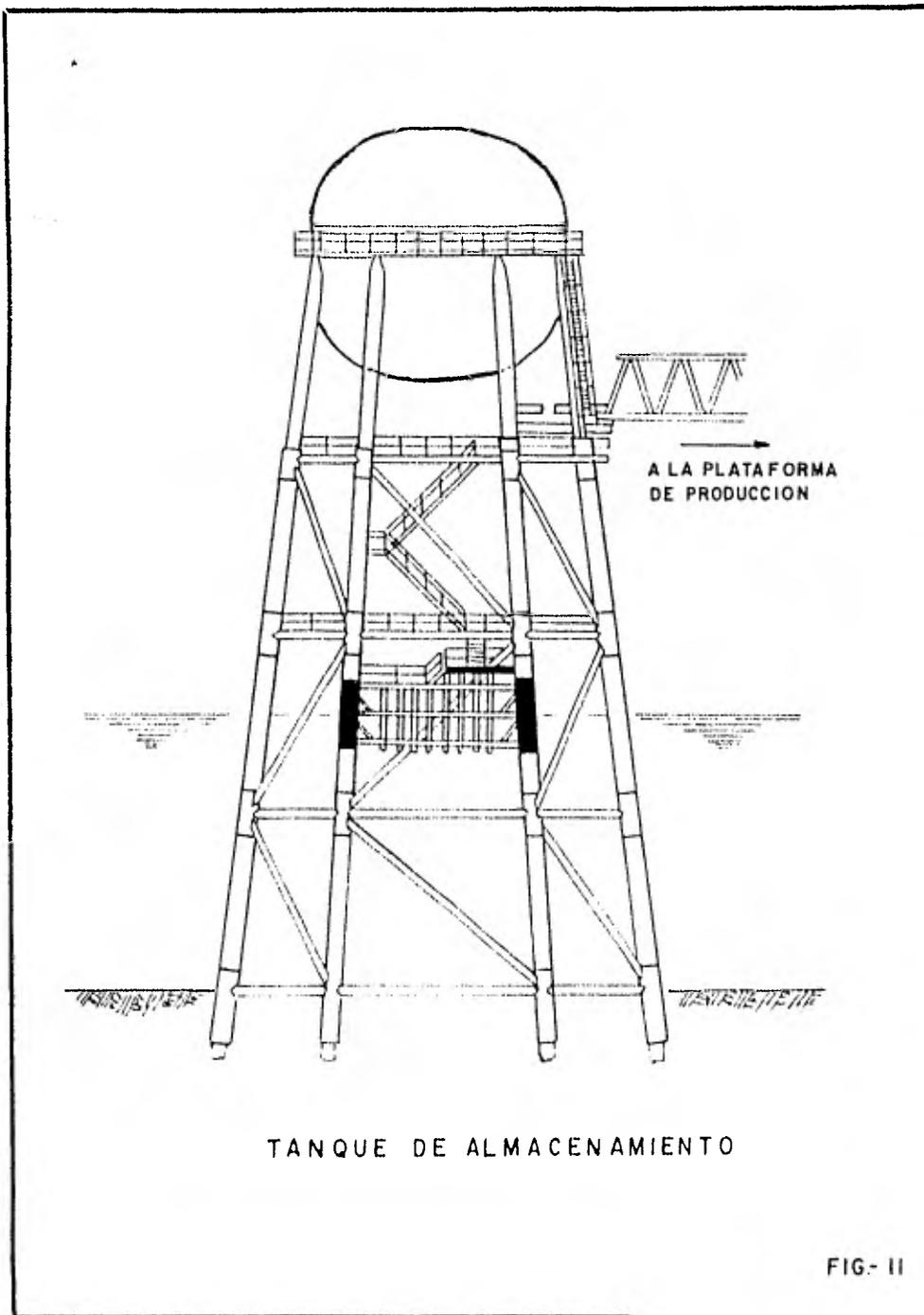


FIG- 10



CAPITULO II

ACCIONES

2.1.- ESTUDIOS GEOFISICOS.

Los datos obtenidos en un estudio geofísico son:

- a).- Estatigrafía: Se obtiene un corte o perfil del recorrido que sigue la embarcación obteniendo información de la estatigrafía del suelo.
- b).- Fondo del Mar: Se obtiene una fotografía oblicua lateral continua del fondo del mar, registrándose en ella las características que predominan en el fondo marino.
- c).- Batimetría: Se obtiene la topografía del fondo marino. Para lograr los resultados deseados en los estudios preliminares, el área de estudio se dividirá en forma reticular con el fin de obtener la posición exacta de los puntos de trabajo.

ESTATIGRAFIA

Para obtener los datos estatigráficos, se hace uso de dos dispositivos; el perfilador somero y el perfilador profundo los cuales tienen como función determinar la naturaleza de los sedimentos y los fenómenos tectónicos que los afectan hasta una profundidad de 500 metros bajo el fondo del mar.

El perfilador somero consiste en una fuente generadora de ondas acústicas de baja potencia y alta frecuencia, las cuales viajan a través del agua y llegan al fondo marino, penetran y se reflejan en las zonas de contacto entre las capas. La señal es transmitida por una

fuente de energía y el reflejo de esta onda la recibirá un receptor.

El perfilador profundo es un sistema de alta capacitancia -- y baja frecuencia que tiene un funcionamiento similar al perfilador so-- mero; la diferencia radica en que el perfilador profundo produce un pul-- so de baja frecuencia logrando penetración del orden de 500 metros de profundidad, con un registro continuo de eventos sísmicos desde el fondo del mar hasta la profundidad deseada.

FONDO DEL MAR.

El instrumento empleado para obtener una fotografía electró-- nica oblicua lateral y continua del fondo del mar, es el sonar de cubri-- miento lateral.

Su propósito es el de mostrar y detectar los objetos presen-- tes en el fondo del mar sobre un registro o sonograma que los presen-- ta en su posición relativa con respecto al barco que va remolcando al-- sensor, mismo que va sumergido. Este instrumento permite detectar-- los afloramientos y rasgos asociados a estructuras someras contenedo-- ras de gas.

El sonar de cubrimientos lateral emite una serie de pulsos-- cuyas señales al reflejarse son recibidas por el registrador el cual las amplifica y las registra en papel, apareciendo un evento para cada ob-- jeto y la intensidad luminosa que aparece en el registro es función del tamaño y reflectividad de los objetos.

BATIMETRIA

El levantamiento batimétrico tiene la finalidad de definir el lugar preciso donde se instalará la plataforma marina, que deberá ser sensiblemente horizontal y libre de obstáculos.

Para los levantamientos batimétricos se hace uso de la eco-sonda, la cual utiliza ondas sónicas para medir las profundidades.

Este equipo cuenta con un transductor que se dirige verticalmente hacia el fondo del mar y emite una serie de pulsos acústicos. Parte de la energía de dichos pulsos se refleja en el fondo marino y vuelve en forma de eco al mismo transmisor y el retorno de su correspondiente eco, es proporcional a la profundidad.

El registro de las profundidades se hace gráficamente y en forma continua, apareciendo en el papel el contorno de la topografía del fondo marino.

Para este levantamiento se hace pasar el equipo sobre diversos puntos predeterminados y perfectamente referenciados, sobre los cuales se determina el valor de la distancia al fondo, la unión gráfica de todos los puntos de igual lectura nos da la curva del nivel y por consiguiente la batimetría.

2.2.- ESTUDIOS METEOROLOGICOS-OCEANOGRAFICOS.

En el análisis y diseño de una plataforma marina involucra los fenómenos meteorológicos-oceanográficos causados sobre estructura. Estos fenómenos son difíciles de evaluar, debido a que la ubicación de

la estructura esta fuera de tierra firme y además la naturaleza de estos fenómenos es estocástica.

La realización de estos estudios se efectua a través de:

- 1.- La información recopilada por las plataformas marinas-existentes.
- 2.- Registros de estaciones meteorológicas.
- 3.- Cartas climatológicas.
- 4.- Mediciones efectuadas en los estudios de exploración

VIENTOS

Es importante conocer las características del viento por -- ser el principal generador de la corriente y el oleaje, así como también crea la marea de vientos y además produce fuerzas sobre la estructura.

Las características del oleaje que se deben conocer al efectuar el análisis de una estructura localizada en el mar son: Longitud, Período, Altura, Celeridad, Frecuencia y Dirección de la ola.

La forma más común de obtener estos datos es instalando un oleógrafo, el cual mide la amplitud y longitud. Esta información-- junto con las olas observadas, datos estadísticos y la información proporcionada por cartas hidrográficas, da la información requerida para las olas de diseño utilizadas en el análisis de la estructura, así como para el traslado e instalación de la misma.

CORRIENTES

Las corrientes son producidas por la acción del viento, oleaje, mareas y por la diferencia de densidades de dos masas de agua, esta última también puede ser creada por la salinidad o temperatura del agua.

Existen varias maneras de determinar la velocidad de la corriente como: La colocación de un aparato medidor de corrientes en diferentes lugares y profundidades, la aplicación de expresiones teóricas conocidas y la utilización de cartas hidrográficas.

Los estudios Meteorológicos-Oceanográficos que se realizan para obtener los parámetros necesarios de diseño son:

- 1.- Un estudio que proporciona la distribución de la altura de ola durante un año, asociada con su periodo, dirección, nivel de aguas tranquilas y datos sobre la corriente para el análisis estructural por fatiga.

Estos estudios los podemos agrupar de la siguiente manera

- a).- Número promedio de las olas por año, excediendo la altura de la ola especificada.
 - b).- Periodo medio recomendado para diferentes alturas de la ola especificada.
 - c).- Porcentaje anual promedio de ocurrencia de la dirección de la ola significativa en grupos.
 - d).- Tirante de agua recomendado para diseño en las dife-
-

rentes categorías de la altura de ola.

e).- Velocidad total de la corriente oceánica superficial recomendada, para diferentes categorías de la altura de ola.

f).- Porcentaje de variación de la corriente oceánica superficial en relación con la profundidad.

2.- Obtención de las condiciones normales de la ola y las olas de tormenta, las cuales se obtienen mediante:

a).- Evaluación en un registro del porcentaje de ocurrencia durante el año, para diferentes rangos de altura de la ola significativa en grupos, relacionados con la dirección en que se presentan.

b).- Valuación del porcentaje promedio anual de ocurrencia del período de la ola significativa, seleccionados para diferentes categorías de la altura de la ola.

c).- Se efectúa un resumen del número promedio de ocurrencia de olas de mayor altura que las diferentes olas significantes.

3.- Las condiciones normales y de tormenta del viento y el oleaje, son características meteorológicas-oceano-gráficas de interés en el análisis, diseño y operación de las plataformas marinas, por lo que es necesario que se estudie:

- a).- El porcentaje promedio de la velocidad y dirección del viento en grupos, por lo menos durante un año.
- b).- El porcentaje promedio anual de ocurrencia de la altura de la ola significativa en grupos, en diferentes direcciones.
- c).- El porcentaje promedio anual de ocurrencia del período de la ola significativa, en relación con los diferentes rangos de altura de la ola significativa.
- d).- La velocidad del viento para tormentas de 10 años y un año para los siguientes períodos de duración 3, 1, 0.5- horas y la velocidad instantánea de una ráfaga.
- e).- La altura y períodos máximos para una tormenta de uno a 10 años.
- 4.- Se efectúa un estudio para obtener las características del viento, marea, oleaje y corrientes en una tormenta de 100 años
- a).- Los parámetros de una tormenta de 100 años para el análisis de una plataforma marina son:
- * Nivel promedio de la bajamar.
 - * La altura máxima de la marea astronómica.
 - * Altura de la marea de tormenta.
 - * Altura total de la marea.
 - * Nivel de aguas tranquilas.
 - * Evaluación máxima de la ola.
 - * Período máximo de la ola.

- * Evaluación de la cresta de la ola máxima sobre el nivel de aguas tranquilas.
 - * Elevación de la cresta de la ola máxima sobre el lecho marino.
 - * Longitud de la ola máxima.
 - * Velocidad del viento durante varios períodos de ocurrencia 3, 1, 0.5 horas y un minuto.
 - * La mayor velocidad instantánea de una ráfaga de viento.
- b).- Evaluación de las diferentes velocidades de la corriente producida por el movimiento del viento, la diferencia de densidad y las mareas durante una tormenta de 100 años a diferentes porcentajes de profundidad.

2.3.- ESTUDIOS GEOTECNICOS.

Los estudios geotécnicos del subsuelo marino dan los parámetros del suelo para analizar y diseñar la cimentación de las plataformas marinas.

Las etapas de investigación para obtener los parámetros de resistencia del suelo son: exploración de campo, (perforación y muestreo), ensayos de laboratorio y gabinete.

EXPLORACION DE CAMPO

La exploración de campo se efectúa en un barco especial a través del cual se realizan los sondeos, así como las pruebas inmedia-

tas después de extraer la muestra del subsuelo en un laboratorio a -- bordo. Con cuyos datos se efectúa un análisis preliminar de la capacidad de carga vertical, que permiten definir la profundidad del sondeo. Posteriormente se confirman esos datos con los análisis del laboratorio en tierra.

Para el muestreo se realiza una perforación en el subsuelo marino de donde se obtienen muestras y simultáneamente se mide la resistencia a la penetración. La profundidad de estos sondeos queda-- determinada por las acciones verticales transmitidas por la estructura.

OBSERVACIONES DURANTE LA EXPLORACION DE CAMPO.

Es necesario contar con una supervisión constante durante-- la exploración, mediante la clasificación visual y al tacto inmediato --- después de la recuperación de las muestras, además de determinarles su resistencia al corte con la veleta y penetrómetro y, de ser posible con la prueba de compresión simple; posteriormente se conservarán -- muestras representativas, protegidas y empacadas adecuadamente a -- bordo de la embarcación, para su envío a tierra para pruebas de labo-- ratorio.

ENSAYES DE LABORATORIO Y GABINETE.

Las pruebas de laboratorio proporcionan los parámetros -- requeridos para el análisis estructural estático y dinámico de la ci--- mentación de la plataforma.

Las pruebas esenciales de laboratorio son:

- * Descripción física y clasificación según el SUCS a todas y cada una de las muestras recuperadas.
- * Contenido natural del agua.
- * Límite líquido y plástico.
- * Peso específico relativo de los sólidos.
- * Distribución granulométrica.
- * Peso volumétrico sumergido.
- * Resistencia a la compresión simple con su respectiva -- curva esfuerzo-deformación.
- * Prueba de compresión triaxial no consolidada no drenada.

2.4. - INSTRUMENTACION DE UNA PLATAFORMA MARINA

Por lo complejo e importante que es una plataforma marina - en su diseño, se toman en cuenta las etapas de su construcción y operación.

De tal forma se ve en la necesidad de instrumentar y observar el comportamiento de la estructura, en nuestro país los problemas asociados con el análisis y diseño, se encuentran aún en la fase inicial por lo que se hace de vital importancia elaborar proyectos de investi--gación experimental, para valorar los métodos actualmente empleados.

La investigación experimental sumada con análisis teóricos, - contribuyen a la evaluación decisiva de las técnicas de diseño y ejecu--

ción de estructuras no convencionales .

La construcción de un plataforma marina en el océano, para la explotación y producción del petróleo, se inició en depositos localizados sobre la plataforma continental, llegando a ser factibles la experiencia en el diseño, pero aún se esta dentro de un campo limitado, por lo que se deben hacer esfuerzos en elaborar programas de instrumentación con el propósito de:

- * Verificar la validez de las suposiciones empleadas en el análisis y diseño .
- * Controlar la seguridad de la estructura durante su construcción, transportación, instalación y operación .
- * Recopilación de datos para ser usados en el perfeccionamiento de diseño .

La investigación experimental puede ser tomada en laboratorio o en el sitio .

En la investigación de laboratorio, hay la posibilidad de probar el comportamiento de los materiales bajo diferentes condiciones de carga, realizar estudios específicos para problemas estructurales--observar el comportamiento de modelos reducidos, etc .

Un estudio experimental hecho en el sitio provee oportunamente una serie de información, la cual junto con los datos obtenidos en el laboratorio, permite una sólida correlación de los resultados teóricos y prácticos .

La investigación experimental para obtener el comportamiento de la estructura en el sitio de operación y en su transporte, se efectúa instrumentando la estructura la estructura.

La instrumentación de una plataforma marina depende de algunos factores como el tipo de estructura, el propósito de la instrumentación y otros, que generalizado podemos dividir la instrumentación en dos grupos:

1.- PARA CONTROLAR EL TRANSPORTE Y LA INSTALACION

El propósito de esta instrumentación, es el de verificar si el suelo o la estructura no han sufrido algún daño durante este proceso.

Los datos que debemos controlar son los siguientes.

- * Movimientos de la plataforma.
- * Distancia desde la base de la plataforma al lecho marino.
- * Corrientes de afre sobre la plataforma
- * Comportamiento del mar.
- * Nivel de lastre en los tanques.
- * Esfuerzos en el suelo.
- * Inclinación.
- * Presión de contacto en el suelo.

2.- PARA OBSERVAR SU FUNCIONAMIENTO.

La información que se obtiene en este tipo de instrumentación, es utilizada para verificar el funcionamiento de la estructura y en la recopilación de los parámetros de diseño de los eventos ambien-

tales. La información obtenida es la siguiente:

- * Dirección y velocidad del viento.
- * Dirección y altura de las olas.
- * Humedad, presión y temperatura del aire.
- * Dirección y velocidad de las corrientes.

Los siguientes datos están relacionados con las plataformas y se efectúa en forma diferente dependiendo del tipo de estructura, ya sea de concreto o de acero.

- * Aceleración lineal y desplazamiento en la base, a una altura media de la estructura y en la cubierta.
- * Presión del poro en el suelo.
- * Aceleración angular y desplazamiento en la base y al nivel de la cubierta.
- * Estudios de los esfuerzos en los lugares que se consideran de importancia en la estructura.

2.5.- EVALUACION DE LAS ACCIONES

Las plataformas marítimas son una de las estructuras más complejas que se pueden encontrar desde el punto de vista matemático y complicadas por las solicitaciones que actúan sobre la estructura.

Los resultados obtenidos en la aplicación de la tecnología actual, son únicamente índices de comportamiento de la plataforma, lo que implica que esta tecnología se encuentre en plena evolución; efec-

tuándose modificaciones en los modelos matemáticos para representar -- las estructuras en los procesamientos de solicitudes, en aplicaciones de nuevas técnicas numéricas.

En el caso de solicitudes, el problema es de mayor en--vergadura ya que el enfoque más racional para ellas dado lo complica--do del fenómeno, es un modelo de tipo estocástico, que deben medirse--con los acontecimientos ocurridos en el lugar de interés, una cosa difi--cíl de evaluar si se vé que los eventos son raros y de un orden esto--cástico, por tal motivo para la evaluación de las solicitudes que ac--túan sobre las plataformas marinas las dividimos en dos tipo--nes en el sitio y las acciones de traslado.

2.5.1.- ACCIONES EN EL SITIO.

Las solicitudes en una plataforma marina y casi en cual--quier estructura, pueden dividirse en ambientales, gravitacionales y de--operación, pero para el caso de las plataformas, las acciones ambien--tales son críticas por su desconocimiento, tanto en magnitud como en -ocurrencia y en su representación analítica.

La dinámica del mar es muy compleja pues en ella se con--jugan las acciones de: a) viento; b) oleaje; c) corriente; d) sismo. Es--tas acciones que actúan en la estructura, complican aún más la situa--ción por su carácter aleatorio. Sin embargo para fines prácticos, se--simplifica el conjunto analizado en forma particular los efectos de cada uno de los parámetros anteriores y posteriormente se combinarán para

obtener conclusiones reales sobre el comportamiento de la estructura.

La forma matemática que se utiliza para encontrar las ecuaciones que rigen estos fenómenos, han partido de condiciones simplificadas, además de tratar separadamente cada uno de ellos.

a) VIENTO

La velocidad del viento que se usará en el análisis deberá ser determinada por mediciones apropiadas.

La velocidad seleccionada se considera con un cierto riesgo el cual es asumido por la estructura.

La fuerza del viento se podrá obtener mediante la siguiente fórmula.

$$F = 0.0055 C V^2 A \quad \text{(en kg.)}$$

Donde:

F = Fuerza inducida por el viento en kg.

V = Velocidad de diseño del viento a una altura de más 10-metros (km/hr.)

C = Coeficiente de empuje (sin dimensiones).

A = Area de incidencia del viento sobre el objeto (m²)

DIRECCION DE LA FUERZA DE VIENTO.

Las fuerzas sobre una superficie plana en todos los ángulos de incidencia del viento en la estructura, actúan normalmente a dicha superficie; las fuerzas sobre un recipiente cilíndrico, tubos y otros - objetos actúan en la dirección del viento, para cualquier elemento de-

la estructura con una posición cualquiera las fuerzas podrán ser calculadas tomando en cuenta la dirección de incidencia del viento en relación con la posición del objeto.

COEFICIENTES DE EMPUJE.

Los coeficientes de empuje recomendados para los ángulos de entrada del viento son:

En muros rectangulares verticales	_____	0.75 en el lado de barlovento y 0.68 del de sotavento.
En traves	_____	1.5 a 2.0
Secciones cilíndricas	_____	0.7

VARIACION DE LA VELOCIDAD CON LA ALTURA

En el análisis por viento de cualquier estructura, se toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura, este mismo criterio se sigue para plataformas marinas de acuerdo con la relación.

$$V_z = V \left[\frac{Z}{Z_0} \right]^{\alpha}$$

Donde:

V = Velocidad básica de diseño en km./hr.

V_z = Velocidad de diseño a una altura "Z" sobre el nivel medio del mar en km./hr.

Z = Altura sobre el nivel medio del mar.

Z₀ = Altura estandar de 10 metros.

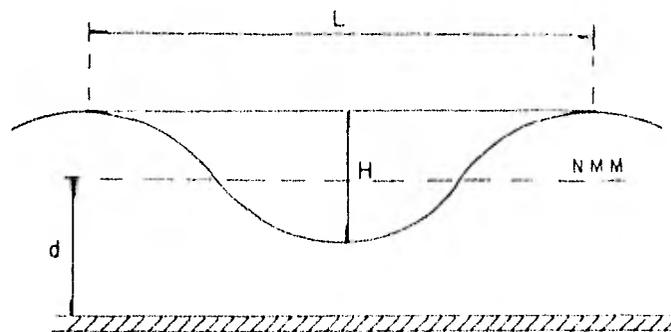
α = Coeficiente cuyo valor depende de la velocidad del -

viento y del lugar donde se encuentra localizada la estructura; para las estructuras localizadas en mar abierto $\alpha = 0.085$.

b) OLAJE

Dentro de la dinámica del mar, el oleaje es un factor determinante en el análisis y diseño de las plataformas y por lo mismo es necesario definir sus características para asegurar que la estructura diseñada podrá resistir las condiciones más difíciles; lo que nos interesa estudiar de una ola es su longitud, altura, período, celeridad, frecuencia y profundidad del agua, aunque para poder lograrlo, teóricamente se simplifica la forma de la ola a un conjunto de ondas senoideas o incluso a una sola onda.

La representación simplificada de una onda es de la siguiente forma.



Donde:

L = Longitud

H = Altura

a = Amplitud = $H/2$

d = Profundidad.

C = Celeridad = Velocidad de propagación = L/T

T = Período (tiempo en que tarda en pasar dos crestas ó -
dos senos consecutivos por un plano).

f = Frecuencia = $\frac{1}{T}$

H/L = Esbeltez

Los parámetros que deben conocerse a través de la observación ó medición en el campo son H y T, los otros parámetros dependen de estos.

La simplificación de una onda da como consecuencia la idealización del movimiento de la misma.

En el viaje de un tren de ondas, desde profundidades teóricamente infinitas hasta llegar a la playa sufre dos modificaciones, la primera a profundidades relativamente bajas cuando el fondo deja sentir su influencia y la otra a profundidades donde el fondo influye demasiado, debido a esto podemos tener tres zonas.

Aguas Profundas.- El fondo no tiene influencia sobre las ---
olas.

Aguas Intermedias.- Aquí el fondo sí ejerce influencia. .

Aguas Bajas.- En donde el fondo influye completamente sobre la celeridad de las ondas de tal forma --

que esta se vuelve independiente del período.

Los límites entre estas zonas están en función de la relación entre la profundidad relativa y la longitud.

Aguas profundas ----- $d = L/2$

Aguas bajas ----- $d = L/20$ ó $d = L/25$

Puesto que las ondas cambian en estas zonas y a medida que penetran a la zona de aguas intermedias y bajas, la celeridad se retrasa, la longitud se acorta y su esbeltez aumenta de tal manera que la forma senoidal se altera, por tal motivo debe considerarse esta circunstancia si se quiere tener mayor precisión en los desarrollos matemáticos.

Por esta razón se han desarrollado varias teorías del oleaje.

La teoría de Stokes, que considera a la ola de amplitud finita (mayor esbeltez, $a < L$) y es válida desde aguas profundas hasta $d/L = 0.1$; la teoría senoidal cuya validez es: $0.1 > d/L > 0.02$ y finalmente la teoría de la onda solitaria válida desde $d/L = 0.02$, hasta justo antes de romper en la playa.

De acuerdo a los parámetros en donde son válidas las teorías antes mencionadas, el API recomienda que la teoría de la onda solitaria es aplicable primeramente para valores de H/d lo más cerca posible de la altura máxima de la ola y para valores muy pequeños d/T^2 (menores que 0.058 m/seg.^2)

Fuera de estos rangos de H/d y d/T^2 , la teoría de la ola de Stokes de quinto orden es aplicable.

Las fórmulas indicadas en la tabla No. 1 son aplicables en teoría solamente para olas de altura infinitesimal. En la práctica puede aplicarse a olas de altura y pendientes pequeñas. Las olas de altura finita requiere de terminos no lineales para ser incluidos en la ecuación de Bernoulli.

En 1847 Stokes desarrolla una teoría cuya solución es una serie, por lo tanto tiene diferentes aproximaciones según sean los terminos que se calculen.

Para una aproximación de 5° orden se tiene:

La velocidad de la partícula dada por la función potencial --

$$a = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial s}$$

La forma de la serie para el perfil "Y" es:

$$\begin{aligned} \beta y = & \lambda \cos \theta + (\lambda^2 B_{22} + \lambda^4 B_{24}) \cos 2 \theta \\ & + (\lambda^3 B_{33} + \lambda^5 B_{35}) \cos 3 \theta \\ & + \lambda^4 B_{44} + \lambda^5 B_{55} \cos 5 \theta \end{aligned}$$

La forma de la serie para la función potencial de velocidad

" ϕ " es:

$$\begin{aligned} \frac{\beta \phi}{C} = \frac{2 \pi \phi}{L C} = & (\lambda A_{11} + \lambda^3 A_{13} + \lambda^5 A_{15}) \cos h \beta S \text{ Sen } \theta \\ & + (\lambda^2 A_{22} + \lambda^4 A_{24}) \cos h 2 \beta S \text{ Sen } 2 \theta \\ & + (\lambda^3 A_{33} + \lambda^5 A_{35}) \cos h 3 \beta S \text{ Sen } 3 \theta \\ & + \lambda^4 A_{44} \cos h 4 \beta S \text{ Sen } 4 \theta \\ & + \lambda^5 A_{55} \cos h 5 \beta S \text{ Sen } 5 \theta \end{aligned}$$

La celeridad de la ola esta dada por:

$$\beta \bar{c}^2 = C_0^2 (1 + \lambda^2 C_1 + \lambda^4 C_2)$$

La longitud de la ola esta dada por:

$$L = \bar{c} T$$

Los coeficientes β y λ se determinan mediante los parámetros independientes H , d , L , con las ecuaciones.

$$\frac{\pi H}{d} = \frac{1}{(d/L)} \left\{ \lambda + \lambda^3 B_{33} + \lambda^5 (B_{35} + B_{55}) \right\}$$

$$\frac{d}{L_0} = (d/L) \operatorname{Tan} h \beta d (1 + \lambda^2 C_1 + \lambda^4 C_2)$$

$$L_0 = \frac{g T^2}{2}$$

Las constantes involucradas en el desarrollo de la serie de Stokes tienen como parámetros la relación (d/L) profundidad del agua entre la longitud de la ola. Para abreviar la notación de las constantes se hará que:

$$S = \operatorname{Sen} h (2 \pi d/L) \quad \text{y} \quad C = \operatorname{Cos} h (2 \pi d/L)$$

Por lo tanto se obtiene que:

$$C_0^2 = g (\operatorname{Tan} h \beta d)$$

$$A_{11} = 1/S$$

$$A_{13} = \frac{-C (5C^2 + 1)}{8 S^5}$$

$$\Lambda_{15} = \frac{- (1184C^{10} - 1440C^8 - 1992C^6 + 2641 C^4 - 249 C^2 + 18)}{1536 S^{11}}$$

$$\Lambda_{22} = \frac{3}{8 S^4}$$

$$\Lambda_{24} = \frac{(192 C^8 - 424 C^6 - 312 C^4 + 480 C^2 - 17)}{768 S^{10}}$$

$$\Lambda_{33} = \frac{(13 - 4 C^2)}{64 S^7}$$

$$\Lambda_{35} = \frac{(5 12C^{12} + 4224C^{10} - 6800C^8 - 12808C^6 + 16704C^4 - 3154C^2 + 107)}{4096 S^{13} (6C^2 - 1)}$$

$$\Lambda_{44} = \frac{(80C^6 - 816C^4 + 1338C^2 - 197)}{1536 S^{10} (6C^2 - 1)}$$

$$\Lambda_{55} = \frac{- (2880C^{10} - 72480C^8 + 324000C^6 - 432000C^4 + 163470C^2 - 16245)}{61440 S^{11} (6C^2 - 1) (8C^4 - 11C^2 + 3)}$$

$$B_{22} = \frac{(2C^2 + 1)}{4 S^3} C$$

$$B_{24} = \frac{C (272C^8 - 504C^6 - 192C^4 + 322C^2 + 21)}{384 S^9}$$

$$B_{33} = \frac{3 (8C^6 + 1)}{64 S^6}$$

$$B_{35} = \frac{(88128C^{14} - 208224C^{12} + 70848C^{10} + 54000C^8 - 21816C^6 + 6264C^4 - 54C^2)}{12288 S^{12} (6C^2 - 1)}$$

$$B_{44} = \frac{C (768C^{10} - 448C^8 - 48C^6 + 48C^4 + 106C^2 - 21)}{384 S^9 (6C^2 - 1)}$$

$$B_{55} = \frac{(192000C^{16} - 262720C^{14} + 83680C^{12} + 20160C^{10} - 7280C^8)}{12288 \cdot S^{10} (6C^2 - 1) (8C^4 - 11C^2 + 3)}$$

$$+ \frac{(7160C^6 - 1800C^4 - 1050C^2 + 225)}{12288 S^{10} (6C^2 - 1) (8C^4 - 11C^2 + 3)}$$

$$C_1 = \frac{(8C^4 - 8C^2 + 9)}{8 S^4}$$

$$C_2 = \frac{(3840C^{12} - 4096C^{10} + 2592C^8 - 1098C^6 + 5944C^4 - 1830C^2 + 147)}{512 S^{10} (6C^2 - 1)}$$

Nomenclatura Usada en la Teoría de Stokes.

C = Celeridad de la ola.

$\varphi = \beta(x - \bar{C}t) =$ Angulo de fase.

L = Longitud de la ola.

$$\beta = 2\pi/L$$

d = Profundidad media del agua.

$$H = 2a$$

$$T = \text{Perfodo de la ola} = L/\bar{c}$$

X = Distancia horizontal, medida desde la cresta.

t = Tiempo.

$$S = \text{Distancia Vertical} = (d + y)$$

Y = Perfil de la ola.

$$C = \text{Cos } h\beta d$$

$$S = \text{Sen } h\beta d$$

CONCEPTO	AGUAS BAJAS $\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$	AGUAS INTERMEDIAS $\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	AGUAS PROFUNDAS $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
PERFIL DE LA OLA		$Y = \frac{H}{2} \cos \theta = \frac{H}{2} \cos k(x - ct)$	
CELERIDAD DE LA OLA	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh(Kd)$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \left(\frac{gL}{2\pi} \right)^{1/2}$
LONGITUD DE LA OLA	$L = T \sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(Kd)$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \cot$
VELOCIDAD DE LA PARTICULA DE AGUA	$U = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos \theta$	$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh K(Y+d)}{\sinh K(Kd)} \cos \theta$	$U = \frac{\pi}{L} e^{KY/L} \cos \theta$
a) HORIZONTAL	$V = \frac{H\pi}{T} \left(1 + \frac{Y}{d}\right) \sin \theta$	$V = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh K(Y+d)}{\sinh(Kd)} \sin \theta$	$V = \frac{\pi H}{T} e^{KY/L} \sin \theta$
b) VERTICAL			
ACELERACION DE LA PARTICULA DE AGUA	$U = \frac{H\pi}{T} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$	$U = \frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\cosh K(Y+d)}{\sinh(Kd)} \sin \theta$	$U = \frac{2\pi^2 H}{T} e^{KY} \sin \theta$
a) HORIZONTAL	$V = 2H \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \left(1 + \frac{Y}{d}\right) \cos \theta$	$V = \frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\sinh K(Y+d)}{\sinh(Kd)} \cos \theta$	$V = \frac{2\pi^2 H}{T} e^{KY} \cos \theta$
b) VERTICAL			
NOTA ① $0 = \left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right]$	NOTA ② $K = \frac{2\pi}{L}$		

TABLA No 1
OLEAJE

v = Velocidad vertical de la partícula.

λ = Amplitud de la ola.

$L_0 = gt^2/2\pi =$ Longitud de la ola para aguas profundas.

u = velocidad horizontal de la partícula

ϕ = Función potencial de la velocidad.

FUERZA DE LA OLA

La fuerza del oleaje sobre una plataforma marina es de origen dinámico. Para la mayoría de las profundidades utilizadas en el análisis, estas cargas pueden ser adecuadamente representadas por su equivalente estático. Para aguas más profundas el análisis estático no describe adecuadamente las fuerzas dinámicas inducidas sobre la estructura. Un análisis correcto de cualquier plataforma requiere un análisis de carga, involucrando la acción dinámica de la estructura.

ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA OLA.

Generalmente la ola de diseño seleccionada para las plataformas está descrita por los siguientes parámetros: altura de la ola, período de la ola y profundidad del agua, mencionados anteriormente.

De otra manera, la ola de diseño se puede especificar por el promedio de distribución de la frecuencia de su energía contenida. En cada uno de los casos los valores especificados serán consistentes en la clasificación dada a la estructura.

FUERZA HORIZONTAL DE LA OLA SOBRE UN MIEMBRO

Para obtener las fuerzas que se ejercen sobre los miembros

de una plataforma aplicaremos los métodos de Morriss, O' Brien y -- Shaaf, los cuales parten de la expresión de la Hidrodinámica; que consiste en una fuerza de arrastre la cual esta relacionada con la energía cinética del agua y una fuerza de inercia, la cual está relacionada a la aceleración de la partícula del agua.

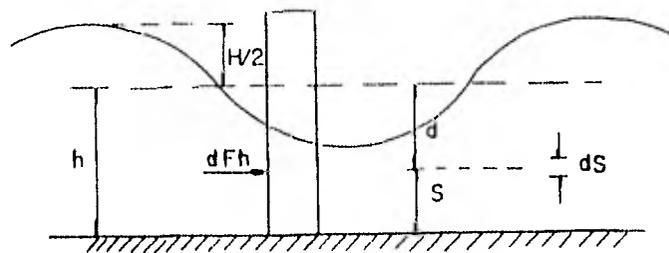
La fuerza está dada por:

$$dF_h = \left(C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u}{\partial t} + 1/2 C_D \rho D |u| u \right) dS$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cos h \frac{2\pi(Y+d)/L}{\text{Sen } h \frac{2\pi h}{L}} \text{Sen } \theta$$

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cos h \frac{2\pi(Y+d)/L}{\text{Sen } h \frac{2\pi h}{L}} \text{Cos } \theta$$

$$Y = \frac{H}{2} \text{Cos } \theta ; \theta = 2\pi \left(\frac{X}{L} - \frac{t}{T} \right)$$



Donde:

C_M = Coeficiente de Masa

C_D = Coeficiente de arrastre

ρ = Densidad del agua marina.

D = Diámetro de la columna

$\frac{u}{t}$ = Componente horizontal de la aceleración local del fluido.

u = Componente horizontal de la velocidad de las partículas del agua.

H = Altura de la ola

L = Longitud del oleaje.

T = Periodo del oleaje.

θ = Angulo de fase.

u = Valor absoluto de u

Los valores de C_D y C_M dependen en parte de la teoría de oleaje que sea usada: Los valores típicos para miembros cilíndricos se usarán dentro de un rango de 0.6 a 1.0 para C_D y desde 1.5 a 2.0 para C_M . Los valores seleccionados no serán menores que los límites inferiores de estos rangos.

c) -CORRIENTE

La velocidad de la corriente seleccionada tomará en cuenta sus diferentes componentes, tales como la corriente de marea, la corriente generada por el viento y la corriente por la diferencia de densidades si es relevante.

En caso de no tener datos fieles de la velocidad de la corriente, podrá ser calculada de la siguiente manera, con lo cual se toma en cuenta la variación que se tiene con la profundidad,

$$V_x = V_s \left(\frac{x}{d} \right)^{1/7}$$

V_x = Velocidad de la corriente en (m/seg.) a una distancia--
X en (m) sobre el lecho marino.

V_s = Velocidad de la corriente en (m/seg.) en la superficie--
del agua.

X = Distancia en (m.) sobre el lecho marino.

d = Distancia en (m) sobre la superficie del agua al lecho --
marino.

FUERZA DE LA CORRIENTE.- Donde la corriente está ac--
tuando sola (sin la influencia del oleaje), la fuerza se puede determi--
nar de la siguiente forma:

$$FL = 0.5 C_L \rho V^2 A$$

$$FD = 0.5 C_D \rho V^2 A$$

FL = Fuerza de empuje por unidad de longitud, N/m

FD = Fuerza de arrastre por unidad de longitud, N/m

CD = Coeficiente de arrastre.

C_L = Coeficiente de levantamiento.

ρ = Densidad de la masa, kg./m^3

V = Velocidad de la corriente, m/seg.

A = Area proyectada por unidad de longitud, m^2/m

LA CORRIENTE ASOCIADA CON EL OLAJE

Debe considerarse que puede efectuarse la superposición de-

la corriente y el oleaje. En estos casos donde la superposición se juzga necesaria, la velocidad de la corriente podrá ser sumada vectorialmente a la velocidad de la partícula de la ola, antes de ser sumada a la fuerza total.

d) SISMO

Los efectos sísmicos se consideran para las estructuras que se encuentran localizadas en áreas que se determinan como activamente sísmicas.

Un área se considera activamente sísmica en base a registros previos llevados a cabo en la zona, midiendo su frecuencia de ocurrencia y su magnitud.

Para las áreas donde se dispone de la información detallada de la actividad, se tomará esta como base para determinar la sismicidad de la zona.

En la zona en la que no se disponga de tal información, se efectuarán investigaciones detalladas a través de estudios geológicos, así como eventos sísmicos de la región y de esta manera determinar la sismicidad de la zona.

Si la zona ha sido determinada como activamente sísmica y se presentan en la estructura tales efectos, se hace necesario tomarlos en cuenta en el análisis. Sin embargo en áreas en las cuales los eventos ambientales son los que provoquen los efectos más críticos en la estructura, serán estos los que gobiernen el diseño.

La elaboración del modelo de análisis que se usará para de-

terminar la respuesta sísmica de la estructura, tomará en cuenta el sistema de interacción Estructura--Suelo-Agua, de tal forma que sea lo más apegado a la naturaleza real del problema, y así poder obtener resultados confiables a través del método de análisis empleado.

En el análisis sísmico de la estructura podemos emplear el método del espectro de respuesta o el método de registro a través del tiempo entre otros.

La selección del método que se usará podrá estar definido por los datos disponibles de la actividad sísmica y así poder efectuar el análisis con un grado adecuado de precisión, por ejemplo el método de registros a través del tiempo es adecuado para la superposición de modos y cuando el análisis está dentro de un rango inelástico, sirve para obtener los esfuerzos de degradación bajo las cargas cíclicas.

El método del espectro de respuesta proporciona una estimación de la respuesta máxima de la estructura.

Cuando se usa el método del espectro de respuesta se considera tantos modos como sean necesarios para obtener por lo menos el 90% de la energía modal total o se considerará como mínimo 6, los cuales contengan la mayor cantidad de energía y de otra forma la respuesta máxima no será menor que:

$$S = S_n + \sqrt{\sum S_i^2}$$

S = La respuesta máxima

S_n = Modo que contribuye en la mayor respuesta modal

S_i = Todos los demás modos de análisis

Es importante indicar que las cargas originadas por el sismo deberán ser combinadas con las cargas de gravedad, flotación y presión-hidroestática.

La carga por gravedad incluirá la carga muerta más la carga viva así como el 75% de las cargas máximas de provisiones y almacenamiento.

2.5.2.- ACCIONES GRAVITACIONALES Y DE OPERACION

CARGA MUERTA.- La carga muerta se toma como el peso propio de la plataforma, como es la superestructura, subestructura, tuberías de conducción etc.

FLOTACION.- La flotación se evaluará sobre la base del empuje del agua sobre la plataforma con respecto al nivel medio del mar, con la deducción de los elementos inundados de la estructura.

EQUIPO DE PERFORACION.- Se tomará el peso del equipo de perforación colocado en la plataforma incluyendo la torre de perforación, aparejo de maniobras, bombas de lodos, tanques de lodos y almacenamiento, etc.

EQUIPO DE PRODUCCION.- Se tomará el peso de los separadores, compresores, distribuidores de producción, etc.

CARGA DE PERFORACION.- Consiste en la combinación apropiada de la carga del aparejo en esquina, hacia atrás, o carga de la rotatoria.

CARGAS DINAMICAS.- Todas aquellas cargas que actúan en-

adición al peso de los equipos y que se tomarán en cuenta por las siguientes consideraciones.

- a).- Amplificación dinámica de las cargas cíclicas que existan a la plataforma o alguna componente de la misma, cerca de su frecuencia natural.
- b).- Impacto, producido por la aplicación de cargas en forma repentina ó dinámicas.

DIFERENTES COMBINACIONES DE CARGAS.

La ocurrencia simultanea de las acciones gravitacionales, ambientales y de operación, así como las de transporte e instalación no es posible, por lo que es necesario efectuar una serie de combinaciones de las acciones.

Dentro de las combinaciones que se deben efectuar para el análisis de una plataforma se debe considerar el ángulo de incidencia de las acciones sobre la plataforma, para obtener los esfuerzos máximos de trabajo de cada uno de los miembros en las diferentes combinaciones y diseñarlos para los efectos más críticos.

Deberá considerarse que la dirección de las cargas ambientales puede ser cualquiera a menos que una condición específica señale una opción más razonable.

Una de las formas que se pueden observar en la serie de combinaciones de las diferentes acciones, para una plataforma de perforación describe el API de la siguiente manera:

CONDICIONES DE CARGA MINIMA

La plataforma se analizará, diseñará y checará para un mínimo de cinco combinaciones. Las cuales son:

- a).- Diseño en condiciones ambientales, con las cargas apropiadas para perforación.
- b).- Diseño en condiciones ambientales, con las cargas apropiadas de producción.
- c).- Condiciones ambientales de operación, durante las operaciones de producción.
- d).- Diseño en condiciones ambientales con las cargas mínimas sobre la plataforma.
- e).- Condiciones ambientales de operación, durante las operaciones de perforación.

CARGAS INDIVIDUALES EN UN MIEMBRO

Cada miembro podrá ser diseñado individualmente para la carga o combinaciones de cargas que produzcan los esfuerzos máximos para cada elemento.

CONSIDERACIONES BASICAS

Al efectuar las combinaciones de carga para el análisis estructural de una plataforma, los eventos básicos que se deben tomar en cuenta son: a).- La plataforma en operación normal, b).- En condiciones de tormenta, c).- Bajo la acción del sismo. Los eventos a que esta sujeta la estructura se valuarán en diferentes direcciones X y Y, re

feridos a un sistema de coordenadas seleccionado, así como también se encontrará el ángulo de ataque bajo el cual se encuentren los efectos -- más críticos para la estructura tales como la tensión y compresión -- máxima en los diferentes elementos estructurales de la plataforma.

El ángulo de ataque se puede valuar de la siguiente forma.

$$\xi R = \frac{\sum Mx}{\sum dy^2} \frac{dy}{dx} + \frac{\sum My}{\sum dx^2} \frac{dx}{dy}$$

$$\text{Tan}^{-1} \alpha = \frac{dy}{dx} \frac{\sum dx^2}{\sum dy^2}$$

Las diferentes cargas que actúan sobre una plataforma marina se pueden contemplar más claramente cómo se muestra en la figura No. 12.

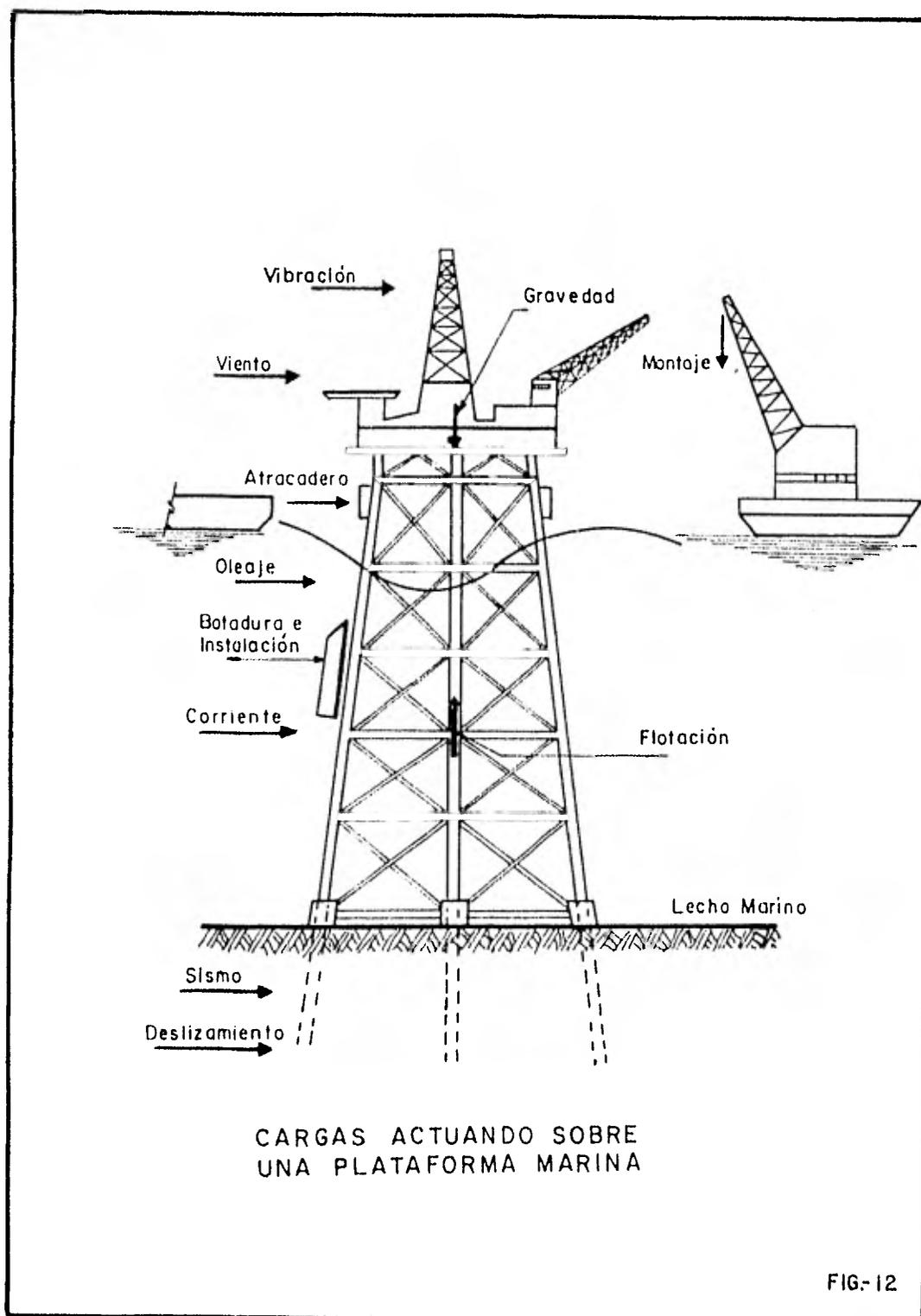


FIG-12

CAPITULO III

METODOS DE ANALISIS

El objetivo de analizar una estructura es determinar su respuesta cuando se le somete a las solisitaciones de carga que están actuando en ella; o sea determinar los esfuerzos y deformaciones que se generan en cualquier punto de la misma.

Para el análisis de estructuras tan complejas como son las plataformas marítimas, solamente se puede efectuar mediante el uso de las computadoras, las cuales tienen capacidad para almacenar grandes cantidades de información, operar a alta velocidad, efectuar una serie de operaciones especificadas, realizar decisiones lógicas y obtener resultados correctos. El algebra matricial utiliza con ventaja estas características, por tal motivo los únicos métodos de análisis que podemos utilizar son aquellos que puedan ser programados, como son: el método de las rigideces y el del elemento finito entre otros.

3.1. - METODO DE LAS RIGIDECES.

Cuando aplicamos el método de las rigideces también conocido como método de los desplazamientos, en la solución de una estructura hiperestática se necesita determinar primero las componentes independientes de los desplazamientos lineales y angulares que se desconocen.

Estos desplazamientos se consideran las incognitas del problema y utilizando las relaciones esfuerzo-deformación del material podemos determinar las fuerzas internas de la estructura, las cuales se pueden expresar en función de estos desplazamientos.

Por cada componente de desplazamiento desconocida, se está

blece una ecuación de equilibrio en función de las fuerzas externas conocidas y de las fuerzas internas no conocidas, las cuales están expresadas en términos de los desplazamientos. Se forma un sistema de ecuaciones cuyo número es igual al número de componentes de desplazamiento desconocida.

Al aplicar el método de las rigideces a nuestro problema lo podemos resumir en los siguientes pasos:

1.- Se analiza un elemento del sistema estructural, expresando la relación que existe entre las fuerzas, los desplazamientos y las propiedades elástico - geométricas de la barra en el sistema local, realizando las transformaciones necesarias para referir los elementos estructurales al sistema global.

2.- Se establecen las condiciones de compatibilidad y equilibrio de las barras del sistema en cada nodo.

El establecimiento de estas condiciones informan sobre las cargas externas y de la descripción de la conexión de las barras, formándose la matriz de rigideces global K .

3.- Resolviendo el sistema de ecuaciones anterior se obtienen los desplazamientos en cada nodo.

4.- Los elementos mecánicos en las barras, se obtendrán una vez conocidos los desplazamientos de los nodos y sustituyéndolos en las ecuaciones fuerza - desplazamiento.

Planteando el método usando la ecuación fuerza desplazamiento, que en general podrá escribirse para una barra de cualquier sistema estructural en coordenadas locales como:

$$\begin{aligned} \{ P_1 \} &= [K_{11}] \{ d_1 \} + [K_{12}] \{ d_2 \} \\ \{ P_2 \} &= [K_{21}] \{ d_1 \} + [K_{22}] \{ d_2 \} \end{aligned} \quad \text{----- (1)}$$

Para referir estas ecuaciones al sistema de coordenadas general global tendremos:

$$\{ P' \} = [T] P \quad \text{----- (2)}$$

$\{ P' \}$ = Vector de fuerzas en el sistema global.

$[T]$ = Vector transformador.

P = Vector de fuerzas en el sistema local.

También tenemos:

$$d = [T]^t \{ d' \} \quad \text{----- (3)}$$

Donde:

d = Vector de desplazamiento en el sistema local.

$[T]^t$ = Vector Transformador Transpuesto.

$\{ d' \}$ = Vector de desplazamiento en el sistema global.

Premultiplicando por T a (1)

$$\begin{aligned} [T] P_1 &= [T] K_{11} d_1 + [T] K_{12} d_2 \\ [T] P_2 &= -[T] K_{21} d_1 + [T] K_{22} d_2 \end{aligned} \quad \text{----- (4)}$$

Sustituyendo (2) y (3)

$$\begin{aligned} \{ P'_1 \} &= [T] K_{11} [T]^t \{ d'_1 \} + [T] K_{12} [T]^t \{ d'_2 \} \\ \{ P'_2 \} &= -[T] K_{21} [T]^t \{ d'_1 \} + [T] K_{22} [T]^t \{ d'_2 \} \end{aligned} \quad \text{----- (5)}$$

Llamando:

$$[K'] = [T] K [T]^t$$

Tenemos:

$$\begin{aligned} \{P'_1\} &= [K'] \{d'_1\} - [K'] \{d'_2\} \\ \{P'_2\} &= -[K'] \{d'_1\} + [K'] \{d'_2\} \end{aligned} \quad \text{----- (6)}$$

$$\begin{Bmatrix} P'_1 \\ P'_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K' & -K' \\ -K' & K' \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d'_1 \\ d'_2 \end{Bmatrix} \quad \text{----- (7)}$$

Las ecuaciones (7) son las ecuaciones fuerza - desplazamiento en el sistema global.

3.2.- METODO DEL ELEMENTO FINITO.

Al igual que el método de las rigideces, este método también puede ser programable y consiste en dividir a la estructura en un número determinado de miembros, los cuales se tratan aisladamente para formar sus matrices de rigideces y después efectuar el acoplamiento de todos ellos para realizar el análisis de la estructura.

Los pasos que se siguen para aplicar el método a cualquier problema ingenieril son los siguientes:

- 1.- Discretizar el medio (estructura).
- 2.- Formular la matriz de rigidez de cada elemento.
- 3.- Formular la matriz de rigidez de la estructura.
- 4.- Introducir las condiciones de frontera.
- 5.- Resolver el sistema de ecuaciones (desplazamientos).
- 6.- Obtener Deformaciones y Esfuerzos.

El método directo de formulación de las ecuaciones de rigideces consiste en los siguientes pasos.

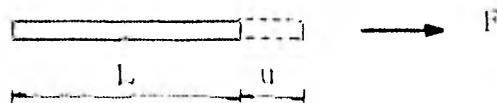
a). - El campo de desplazamientos en el elemento es expresado en función de un número finito de parámetros. Si los parámetros que carecen de significado físico, se escogen inicialmente para establecer una transformación que relacione a estos con los grados de libertad del elemento.

b). - El campo de deformaciones es expresado en términos de los grados de libertad por definición del campo de desplazamientos de acuerdo a las ecuaciones de la elasticidad.

c). - Para establecer una relación entre los desplazamientos y los esfuerzos se aplican las ecuaciones constitutivas dadas en la teoría de la elasticidad.

d). - Las ecuaciones que describen las fuerzas en los nodos F como función del campo de esfuerzos son obtenidas por definición de estas fuerzas como estáticamente equivalentes a los esfuerzos actuando en las fronteras del elemento, puesto que las ecuaciones para ∇ en términos de los desplazamientos son obtenidas en el paso anterior, es posible relacionar ahora $\{F\}$ con los desplazamientos, obteniendo la matriz de rigidez del elemento al establecer esta relación.

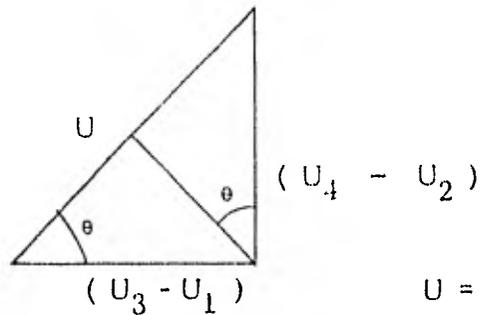
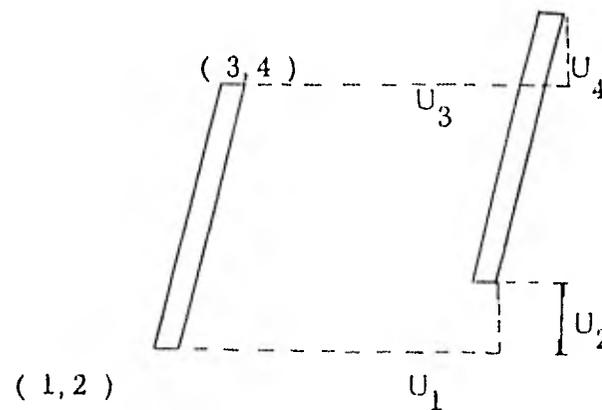
Si tenemos la siguiente barra:



$$F = \frac{AE}{L} u \quad \text{Si } u = 1$$

$$F = \frac{AE}{L} = K$$

Para derivar la matriz de rigidez tomamos la siguiente barra.



$$U = (U_3 - U_1) \cos \theta + (U_4 - U_2) \sin \theta$$

$$F = \frac{AE}{L} U$$

$$F_3 = F \cos \theta$$

$$F_4 = F \sin \theta$$

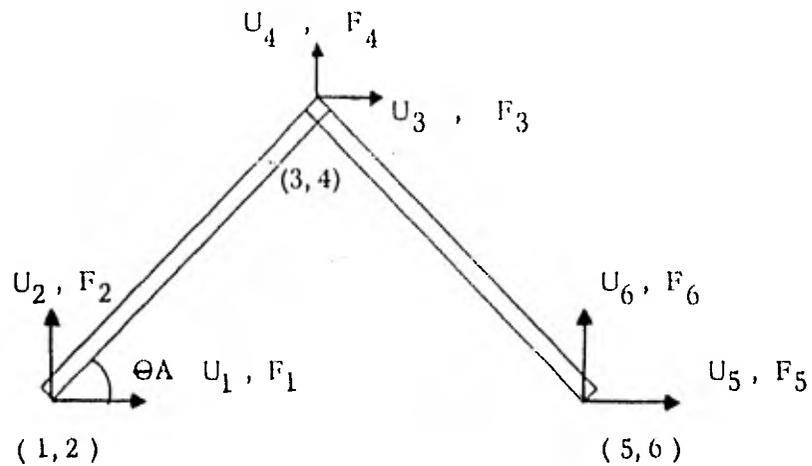
$$- F_1 = F_3 = \frac{AE}{L} \left[(U_3 - U_1) \cos^2 \theta + (U_4 - U_2) \cos \theta \sin \theta \right]$$

$$- F_2 = F_4 = \frac{AE}{L} \left[(U_3 - U_1) \cos \theta \sin \theta + (U_4 - U_2) \sin^2 \theta \right]$$

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \cos\theta \sin\theta & -\cos^2\theta & -\cos\theta \sin\theta \\ \cos\theta \sin\theta & \sin^2\theta & -\cos\theta \sin\theta & -\sin^2\theta \\ -\cos^2\theta & -\cos\theta \sin\theta & \cos^2\theta & \cos\theta \sin\theta \\ -\cos\theta \sin\theta & -\cos^2\theta & \sin\theta \cos\theta & \sin^2\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{Bmatrix}$$

MATRIZ DE RIGIDEZ

Ahora supongamos una estructura de dos elementos:



ELEMENTO A

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{Bmatrix}$$

ELEMENTO B

$$\begin{Bmatrix} F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \end{Bmatrix}$$

MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} = \frac{\Delta E}{L} \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & 0 & 0 \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & 0 & 0 \\ K_{31} & K_{32} & (K_{33}^A + K_{33}^B) & (K_{34}^A + K_{34}^B) & K_{35} & K_{36} \\ K_{41} & K_{42} & (K_{43}^A + K_{43}^B) & (K_{44}^A + K_{44}^B) & K_{45} & K_{46} \\ 0 & 0 & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ 0 & 0 & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \end{Bmatrix}$$

Una vez que se tiene la matriz de rigidez global, se introducen las condiciones de frontera para plantear el sistema de ecuaciones que nos darán los resultados finales.

La aproximación de los dos métodos descritos, depende de la forma en que se valúen las solicitaciones que intervienen en la estructura, así como el planteamiento de las mismas en los diversos análisis que se llevan a cabo desde su fase inicial hasta la definición de la estructura. Por lo que se debe elaborar una planeación adecuada de los análisis.

FASE INICIAL

Durante esta fase la configuración básica de la estructura se desarrollará a través de cálculos manuales o por computadora, usando

en el primer análisis cargas uniformemente distribuidas para determinar la sección de los miembros.

En esta fase es importante contar con la siguiente información:-
Tipo de plataforma y sus funciones específicas de trabajo, así como la altura y período de la ola, datos de la corriente y el viento para diseño en condiciones normales de operación y tormenta para cada evento.

Es importante tomar en cuenta que los conceptos preliminares serán comparados en base al costo y facilidad de construcción.

FASE FINAL

En la fase final de diseño se justificará la estructuración del proyecto y decisiones que fueron tomadas en la fase inicial.

Como se había mencionado anteriormente, el análisis final se hace empleando complejos programas de computadora, considerándose la aplicación de las cargas en condiciones ambientales, los parámetros del suelo y los materiales que se usarán en la estructura.

Las siguientes indicaciones son las más importantes en el análisis definitivo de la plataforma.

La fase definitiva del análisis incluirá la derivación de las cargas existentes en la estructura, las condiciones de las mismas para su simulación en los cálculos y su interacción con la plataforma, así como también se observarán las diferentes alternativas realizadas para el análisis y seleccionar la más óptima de acuerdo con los diferentes tipos de carga, el ángulo de ataque de los eventos ambientales y la geometría desarrollada para la estructura.

El análisis se apegará tan estrechamente como sea posible a la configuración real de la plataforma con la derivación y aplicación exacta de las cargas físicas a la que está sujeta en cada uno de los elementos.

Las trabes armadas principales de la estructura, columnas refuerzos, etc. son totalmente simuladas en el análisis.

La rigidez aplicada a las trabes de la superestructura es representada a través de miembros ficticios, los cuales interconectan las columnas de la superestructura.

SIMULACION DE LA CIMENTACION

La simulación de la cimentación para una estructura de acero se basa en la interacción del movimiento fundamental del pilote con la pierna de la subestructura. Dentro del análisis también se toma en cuenta la acción del suelo-estructura.

Para efectuar el análisis de la estructura en conjunto con los pilotes se realizará una idealización de tal forma que el pilote este actuando fuera de la pierna de la sub-estructura, ligada a esta a través de pequeños miembros ficticios, estando unidos también a la columna de la cubierta en forma continua, con el objeto de obtener los esfuerzos actuantes en el pilote.

El suelo se idealizará por medio de resortes convenientemente espaciados.

Para lograr la idealización entre el suelo y la estructura se tendrán que efectuar en el análisis una serie de consideraciones tales como:

- a). - La resistencia del suelo a los desplazamientos laterales -

del pilote podrán ser simulados por resortes con una rigidez tal que representen las propiedades del suelo en que este actúa.

b). - Los soportes verticales de la estructura pueden ser simulados por resortes, cuya rigidez está en función de las deformaciones elásticas axiales del pilote y la resistencia del suelo.

Con la simulación de la cimentación se concluye la etapa del análisis; la siguiente etapa consiste en el diseño de los diferentes elementos que constituyen la plataforma, lo cual no se hará en este trabajo.

CAPITULO IV

PRINCIPALES PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

4.1.- PLATAFORMAS DE GRAVEDAD DE CONCRETO.

El procedimiento de construcción de plataformas de concreto que se ha seguido durante los últimos años ha sido similar y único; A continuación se describirán los pasos que se siguen, tomando como --- ejemplo una plataforma de la Línea CONDEEP, véase la Figura No. 13- y 14.

Esta plataforma tiene un peso total de 160 000 toneladas, altura de 200 metros aproximadamente.

La estructura es construida en un lugar protegido de viento- y olas.

El sitio escogido debe satisfacer las siguientes condiciones:

- a).- Disponibilidad de profundidad.
- b).- Acceso al mar abierto en condiciones satisfactorias de remolque.
- c).- Disponibilidad de mano de obra.

Los trabajos de construcción comienzan en un dique seco, -- colando el concreto de la sección inferior de las celdas, las figuras -- No, 15 y 16 muestran esta etapa de construcción.

Una vez que las paredes han alcanzado la altura necesaria-- para poder flotar, se habren las compuertas.

El dique se llena de agua, la sección de fondo se pone a -- flote y es remolcado hacia aguas más profundas.

Ahí continúa la construcción, 17 de los 19 cilindros son tapa-- dos en la parte superior, una vez que han alcanzado una altura de 45--

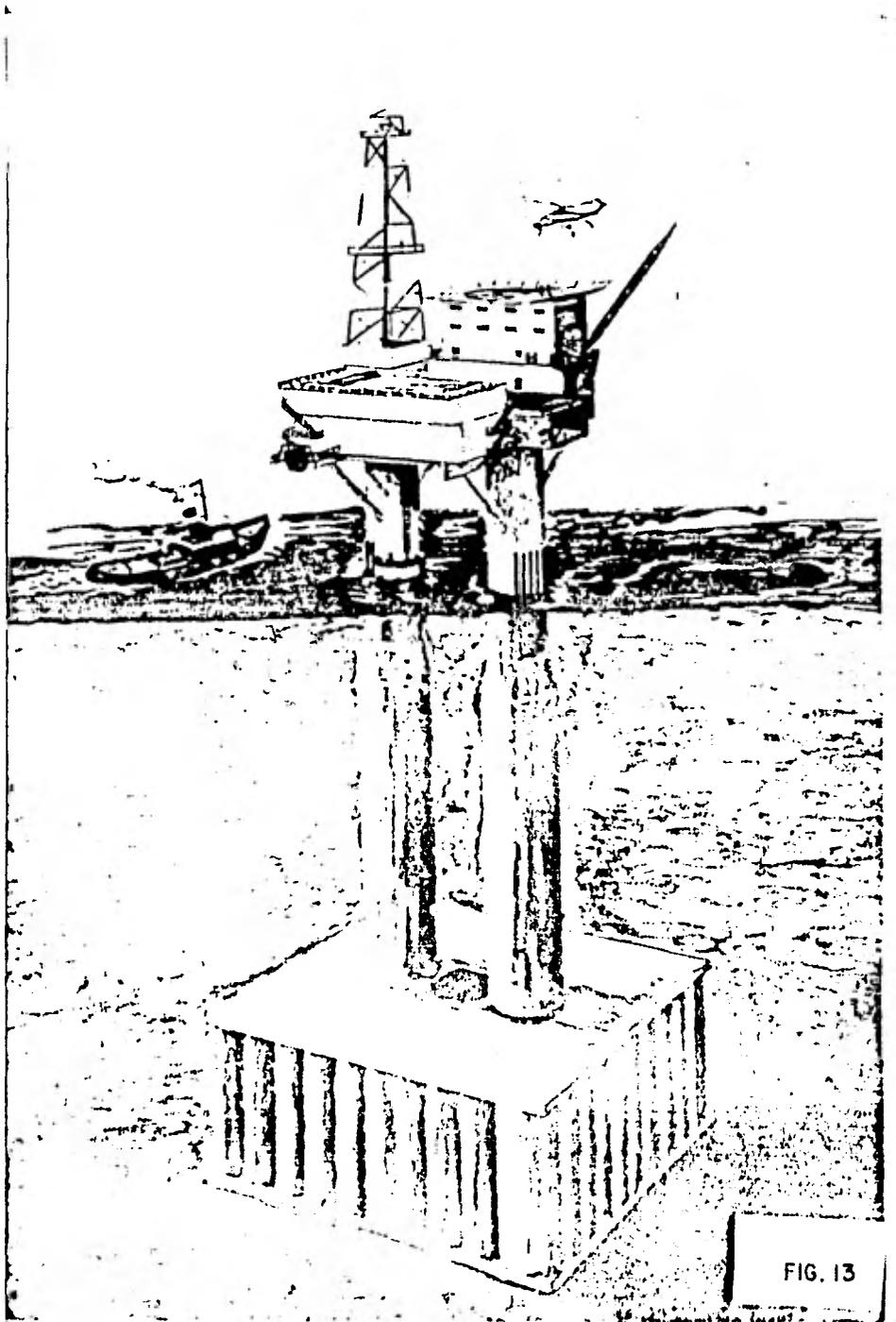


FIG. 13

FABRICACION, TRANSPORTE E INSTALACION
DE UNA PLATAFORMA DE CONCRETO

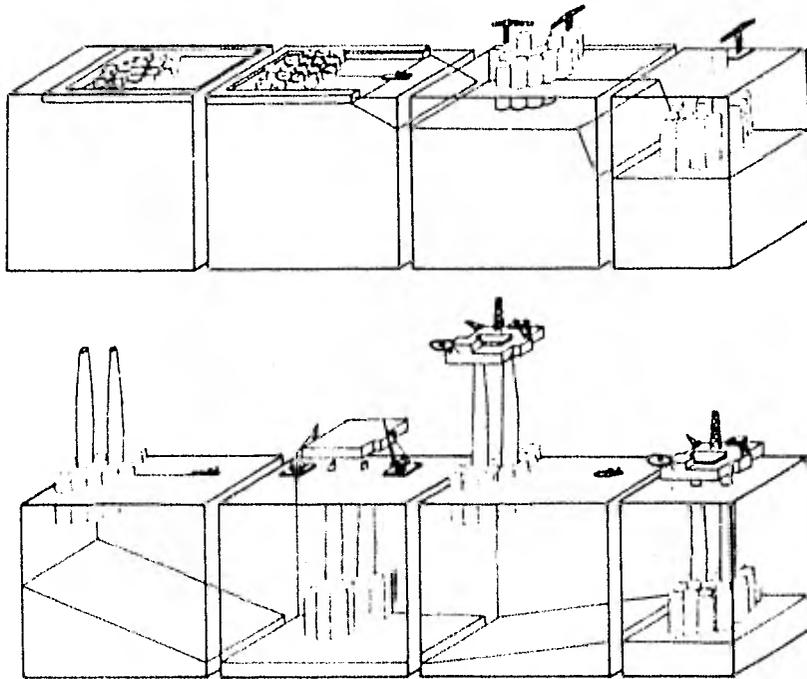


FIG.- 14

metros aproximadamente. Se forma así una batería de tanques de almacenamiento.

Los dos cilindros restantes son prolongados hacia arriba, -- ya que estos representan los apoyos para la cubierta.

Durante el desarrollo de los trabajos, la batería de recipientes es sumergida paulatinamente mediante la introducción de agua y arena que sirven como lastre, esto se hace para poder trabajar a una altura adecuada sobre la superficie del agua. Una vez que las últimas celdas han alcanzado la altura prevista, el grupo de fondo se deslustra --- parcialmente. La estructura vuelve a flotar y es remolcada nuevamente hacia zonas más profundas. Ahí vuelve a sumergirse la batería de re-- recipientes, llenando las diferentes celdas con agua hasta una profundidad-- tal en que sea posible colocar la cubierta de trabajo.

Una vez terminada estas operaciones se vacía parcialmente-- la batería de recipientes, de tal forma que sólo emerja sobre el agua-- la parte superior de la misma. Posteriormente toda la unidad es remol-- cada hasta el sitio donde se colocará definitivamente. Ahí vuelven a lle-- narse los recipientes con agua a fin de que la plataforma quede apoyada en el suelo marino.

El suelo en dicha zona deberá ser absolutamente liso y no -- presentar ninguna depresión ó prominencia, ya que de otra forma podrán desarrollarse sobrecargas y esfuerzos locales en la sección de fondo de la plataforma, que a su vez podría producir fisuramientos.

A continuación se describirán los pasos que se siguen en la-

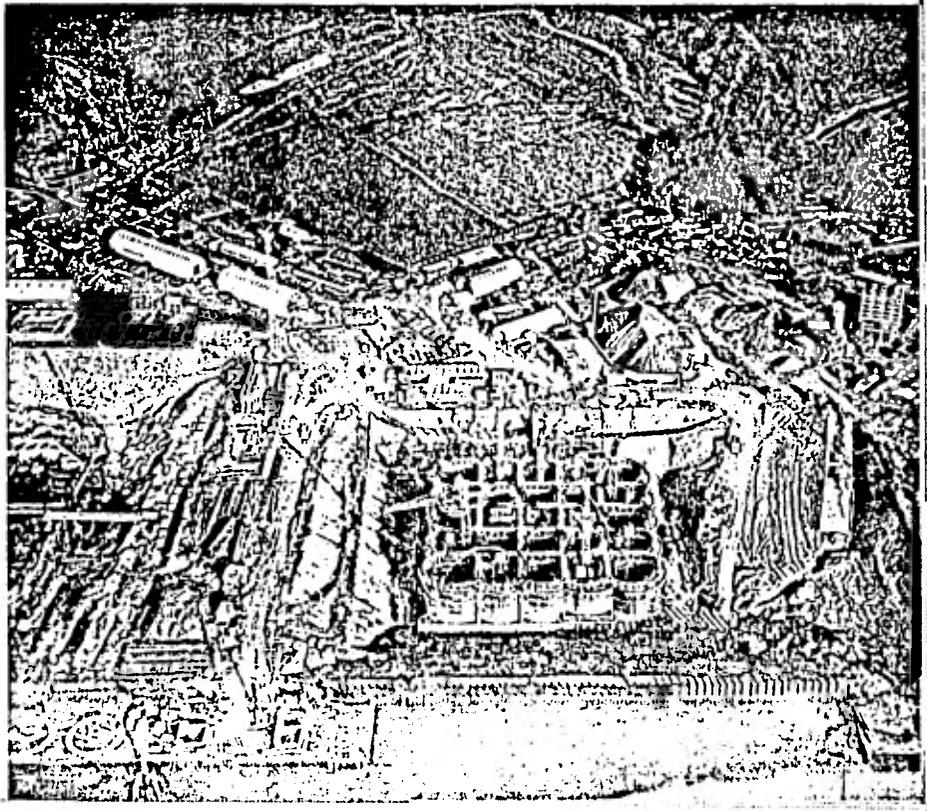


FIG- 15

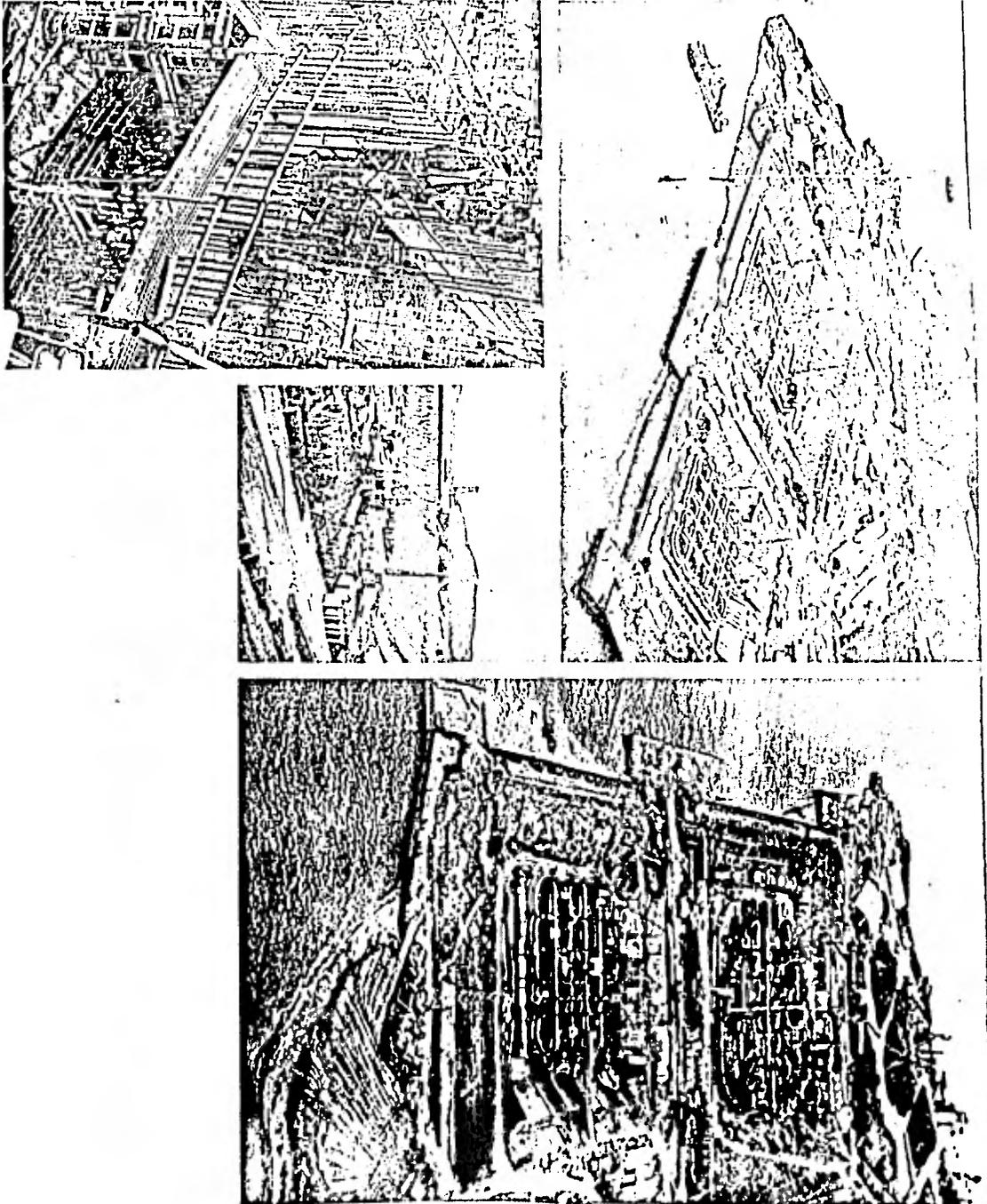


FIG - 16

construcción e instalación de una plataforma de concreto tipo Sea Tank Co. así como la cimentación de una base de concreto.

Como se había mencionado anteriormente, los pasos que se siguen en la construcción de una plataforma de concreto son similares, por tal motivo podemos resumir estos pasos en las figuras No. 17 mostrando 4 fases de construcción.

4.2.- INSTALACION

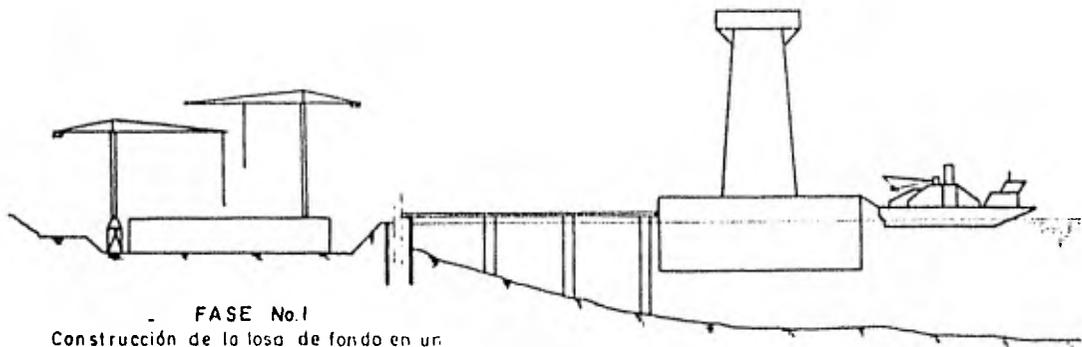
En la Fig. 18 se muestra el procedimiento de inmersión de una plataforma de concreto; aunque en cada fase se menciona la secuencia que se está siguiendo, es importante hacer los siguientes comentarios al respecto.

La corona de la base de concreto es sumergida entre las fases 2 y 3. Esta operación es la única que requiere buenas condiciones en mar abierto.

En realidad los efectos de sustentación debidos a la elevación tienen que ser vencidos lastrando la estructura. Una vez que la estructura se encuentra en esta etapa, es sumergida inmediatamente dejándola en posición de equilibrio, para esto debemos tomar en cuenta la altura de la ola.

Esta maniobra Sea Tank Co. la estudia mediante modelos y pruebas simultaneas.

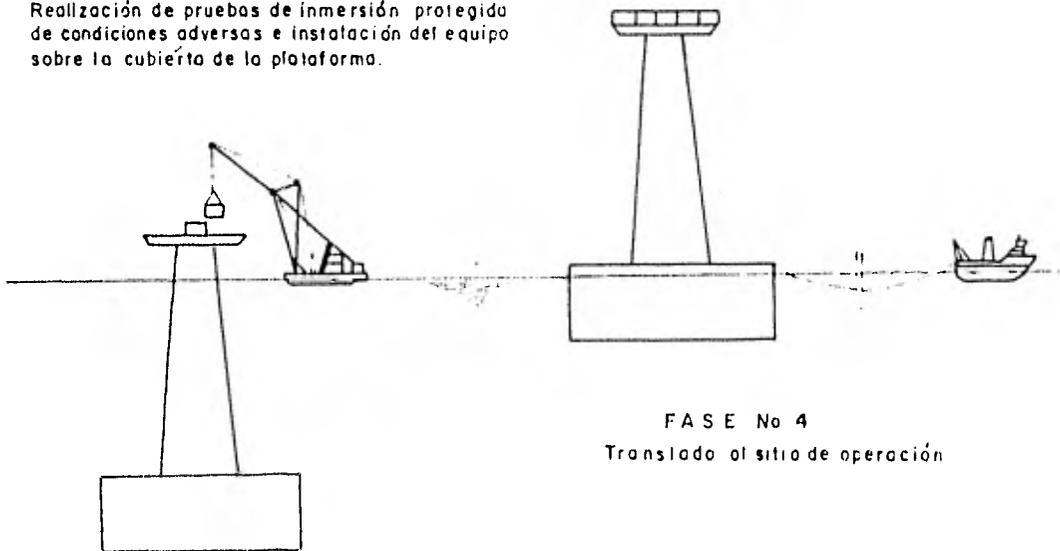
Durante este procedimiento, los compartimientos de las esquinas pueden ser lastrados o quitarles el lastre separadamente en or-



FASE No.1
 Construcción de la losa de fondo en un muelle seco provisional o permanente.

FASE No.2
 Terminación de la estructura flotante enclavada en aguas tranquilas, para después ser trasladada al sitio de operación.

FASE No.3
 Realización de pruebas de inmersión protegida de condiciones adversas e instalación del equipo sobre la cubierta de la plataforma.



FASE No.4
 Traslado al sitio de operación

FIG- 17

den de poder corregir alguna inclinación que se pueda presentar en la estructura.

Todo lo anterior se hace con la ayuda de un programa de computadora que instantaneamente calcula la cantidad de agua que deberá ser depositada o desalojada en los compartimientos.

Los sistemas de control constan de nivelar, calibrar, clasificar las medidas, medición de la profundidad y verticalidad. Es recomendado un sistema de control remoto para la trasmisión de todo dato e instrucciones.

En la figura se mostró una estructura típica de concreto. En el caso de una estructura de acero, el nivel de agua es mantenido a pocos metros encima del nivel del mar.

Una vez que la estructura está apoyada sobre el fondo del mar, sus compartimientos son llenados de agua y si el equipo esta encubierto puede comenzar a operar inmediatamente.

Las ventajas que se tiene con este tipo de plataformas, es que una vez que se han terminado los trabajos de explotación, esta puede ser trasladada a otro sitio, para esto se efectúa la operación de desencallamiento, que es similar a la operación de inmersión, esto se hace siempre y cuando algunos equipos esten disponibles para poder ser trasladados.

4.3.- CIMENTACION

La cimentación de la base de concreto de una plataforma --

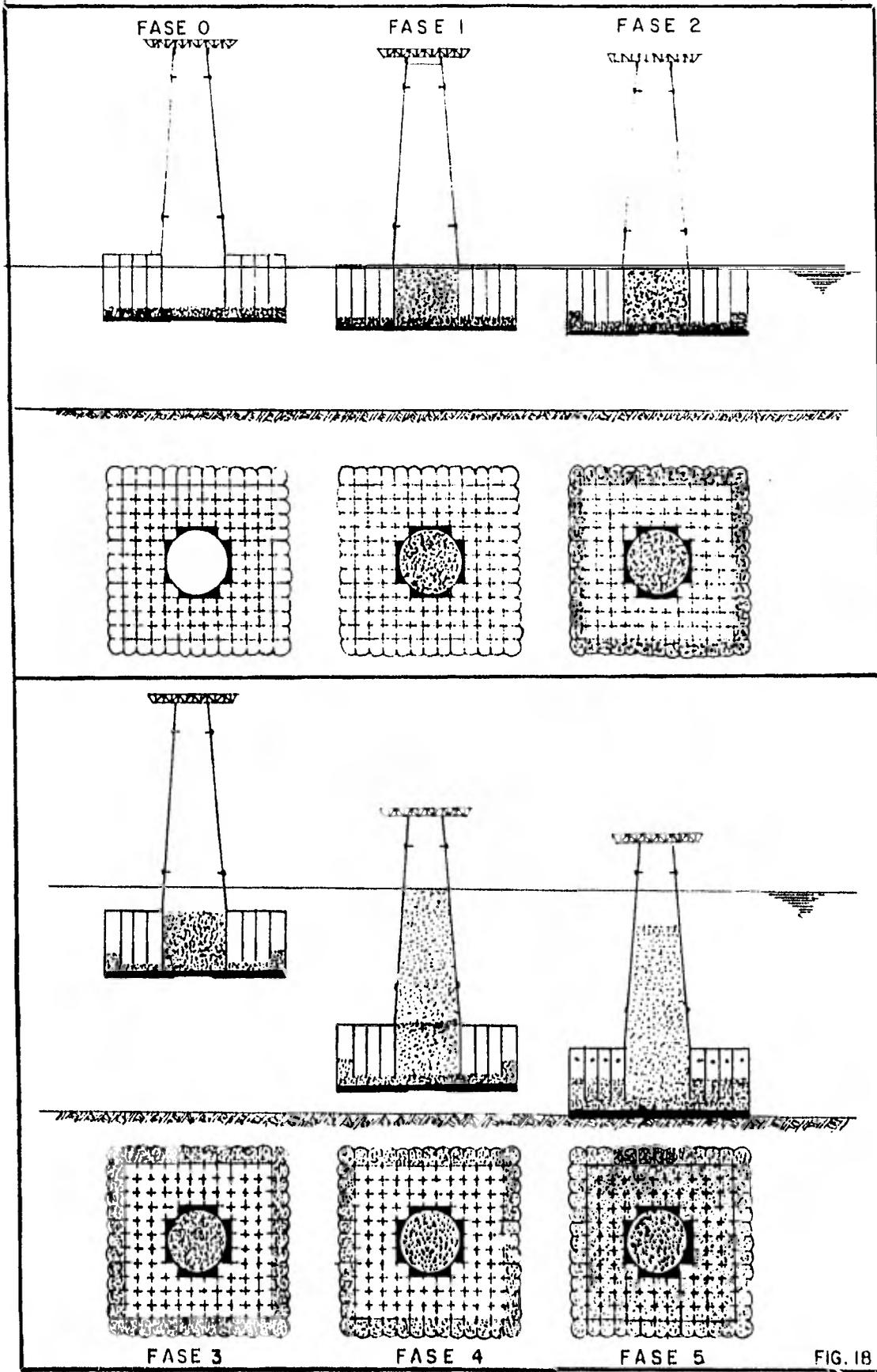


FIG. 18

FASE 0

Se comienza a bajar la estructura durante el remolque.

FASE 1

La columna central es lastrada, lo cual origina que se aumente el colado.

FASE 2

Los compartimientos exteriores son lastrados. El colado es incrementado hasta que el techo del bloque de concreto se mantenga a nivel del mar.

FASE 3

En esta fase se efectúa la inmersión de la base de concreto incrementando el lastrado de los compartimientos de los extremos. Las posibles inclinaciones que se presentan se corrigen de inmediato con un lastrado diferencial.

FASE 4

Se efectúa el hundimiento de toda la estructura mediante el lastrado de la columna central. Esto es controlado por un rápido bombeo del flujo.

FASE 5

La estructura descanza sobre el fondo del mar. Se completa el relleno de la base y columna de concreto. En estas condiciones la estructura presenta una seguridad contra una tormenta de 100 años.

es una etapa muy importante, ya que se requiere de un estudio completo en cada caso, tomando en cuenta estudios del suelo, perforaciones del suelo y muestras del suelo para determinar sus propiedades mecánicas.

La solución final depende en muchos casos de las condiciones finales de cada sitio.

El problema inicial es topográfico, si el fondo del mar tiene poca pendiente, la base debe inclinarse para poder tener la estructura vertical. En esta operación la plataforma es levantada en posición vertical, una vez estando en esta posición, el espacio entre la base del dique y la base del fondo del mar es posteriormente tapado de tal modo de dar un soporte apropiado.

Malas cimentaciones dan como resultado otros problemas -- que no han sido previstos, en la figura No. 19 se muestra una solución típica de la cimentación que estamos tratando.

En este caso particular, la torre consiste de una estructura de acero hecha de cuatro columnas tubulares.

Como se muestra en la figura los estratos I y II son incapaces de soportar alguna cimentación, es por lo tanto necesario hacer penetrar el dique de concreto esos estratos a profundidades del orden de 15 metros.

Cargando la estructura mediante el lastrado del dique, la verticalidad de la estructura es controlada por un lastrado selectivo, el cual es independiente del lastre de los compartimientos.

La arcilla blanda es extraída mediante dragado, bombeando y descargando directamente en forma temporal en las grietas de las columnas localizadas centralmente en los cuatro compartimientos de la base de fondo.

El drenaje de los estratos I y III se hace directo con un equipo depurador especial para tuberías. El resultado que se obtiene es muy alto si se sobrecarga la arcilla, o sea consolidando el estrato II y la parte superior del estrato IV.

Durante estas dos últimas fases de penetración, el dique verticalmente es controlado por medio extracción diferencial o bombeando en los cuatro compartimientos de la base. Debido a esta operación, no se produce una estructura perfectamente horizontal, algún residuo que queda en las orillas puede ser corregido con una lechada final; la cual se hace mediante inyección utilizando los tubos provistos en las columnas temporalmente para este propósito en el centro de cada compartimiento.

Este procedimiento de cimentación fue establecido en cooperación con Mecasol, París, Consultores de Mecánica de Suelos y Sotelande, París, Internacionalmente reconocidos como especialistas en Procedimientos de Cimentaciones.

4.4.- PLATAFORMAS DE ACERO.

Al igual que lo que ocurre en la construcción de una plataforma de concreto, los trabajos se inician con la excavación de un di-

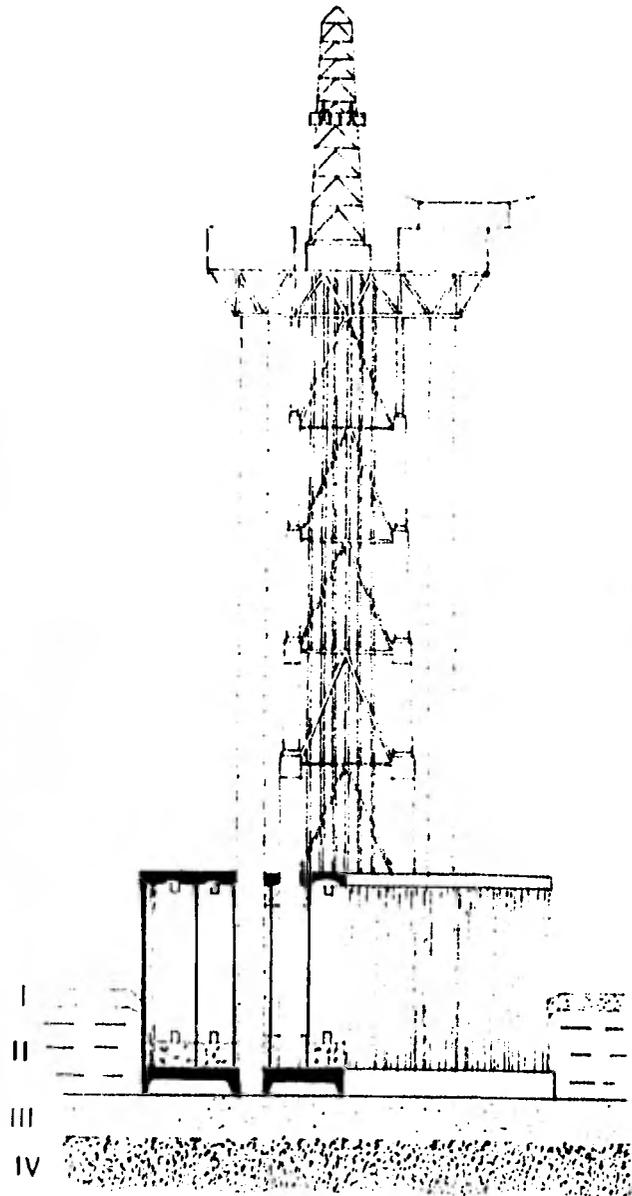
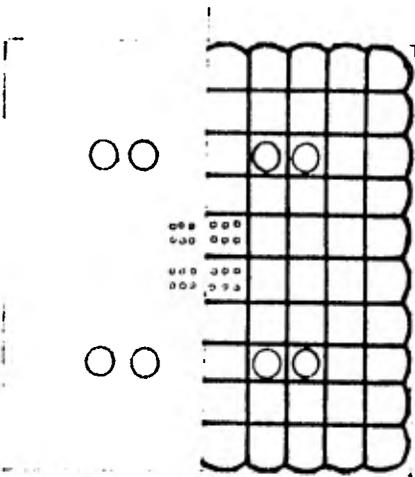
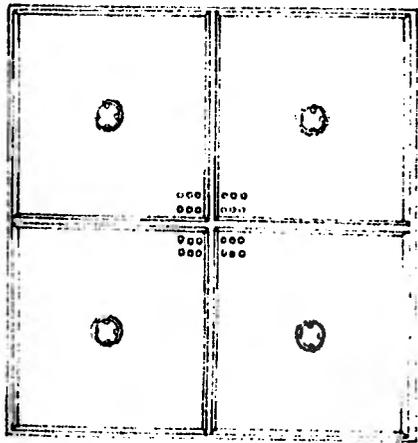


FIG. 19

que seco en las cercanías de la costa, cuyas dimensiones corresponden a las de la subestructura. El proceso de construcción e instalación se puede esquematizar en las figuras Nos. 20 y 21.

Además de la construcción de la estructura que forma en si la plataforma, en el dique seco se construye el flotador que habrá de transportar dicha estructura hasta el sitio de operación. Una vez terminado el flotador, se monta la subestructura encima de él.

Después de fijar los tanques adicionales de ascensión y de instalar el sistema de control remoto para inundación y lastrado, se inunda el dique seco, se habren las compuertas y el flotador junto con la subestructura se remolcan hacia afuera del dique.

En el sitio de instalación se inundan el flotador y los tanques de lastre que se encuentran en los tubos de las esquinas, hasta que la estructura de acero adopta la posición vertical y puede finalmente ser sumergida. Tanto durante esta maniobra como durante el remolque la subestructura está en peligro por la marejada.

Una vez lograda la puesta en posición se introducen los pilotes tubulares en las patas de las esquinas de la subestructura.

Posteriormente son hincados, inmediatamente después el flotador se separa de la subestructura y se regresa a la posición horizontal expulsando el agua del lastre y remolcándose nuevamente al astillero para su posterior utilización.

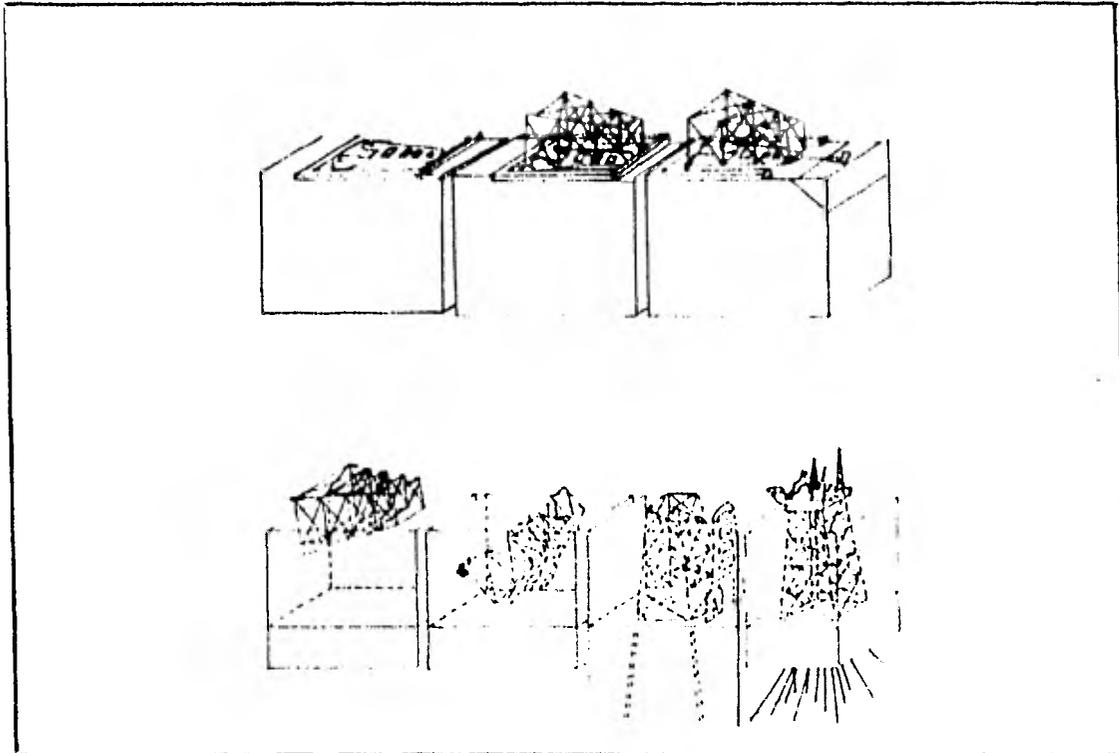
La subestructura misma se asegura mediante el hincado de pilotes adicionales.

Mediante este procedimiento de anclaje, las plataformas de acero resultan adecuadas para casi todo tipo de subsuelo y son por lo tanto bastante independientes de las condiciones del mismo.

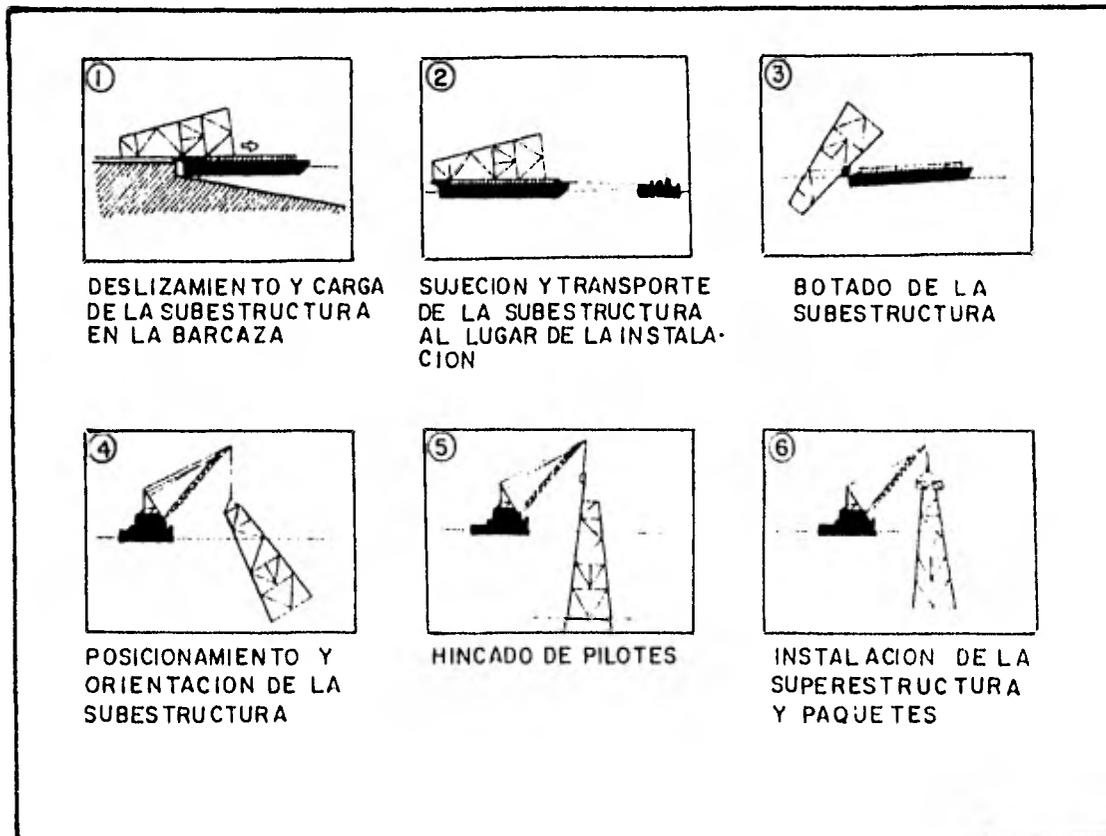
De esta manera, aún durante la etapa de construcción, puede modificarse el sitio de erección de la plataforma.

Dado que su construcción en forma de armadura presenta poca resistencia a la acción del oleaje, las fuerzas que actúan sobre la plataforma son relativamente pequeñas. La elasticidad de la construcción representa una ventaja adicional, aún cuando por otra parte se originan problemas de oscilación difíciles de controlar.

Para el hincado de pilotes, se cuenta actualmente con martinetes de vapor con una fuerza de golpeo de 80 toneladas que pueden ser colocados directamente sobre el pilote. En presencia de arcillas y arenas compactas se utilizan equipos de barrenación para hacer una horadación preliminar introduciendo la tubería de barrenación a través del pilote. El piloteo es por lo tanto un proceso intenso de equipo y trabajo, el cual puede durar a veces hasta meses durante los cuales la estructura, que aún no ha alcanzado su estabilidad total, está expuesta a la acción de los elementos. Una vez terminados estos trabajos puede iniciarse el montaje de las cubiertas, torres de perforación, etc.



FABRICACION, TRANSPORTE E INSTALACION
DE UNA PLATAFORMA DE ACERO



INSTALACION DE UNA PLATAFORMA DE ACERO

CAPITULO V

5.- CONCLUSIONES.

El desarrollo básico de este trabajo, fué el de dar un panorama general acerca de los conceptos que se deben tomar en cuenta para el análisis y posteriormente el diseño de las plataformas marinas, -- aunque como es de notarse, por estar nuestro País en pleno auge dentro de este campo, se plantean serios problemas en su avance, lo que implica que a partir de este momento se deben estudiar para poder resolver las incertidumbres actuales y futuras .

Los estudios que se efectuen para solucionar estos problemas, deberán tomar primero como base de partida las experiencias de los -- países que se encuentran a la vanguardia dentro de este campo, a la -- vez que se conjuntarán con los que se tienen en nuestro país para dar -- una solución real a nuestras necesidades.

En la primera parte de este trabajo se hizo mención de los -- diferentes tipos de plataformas marímas, tanto de perforación como -- de producción, dando una descripción general acerca de su capacidad y funcionamiento.

Debido a que en nuestro País, hace algunos años sólo se --- trabajaba a profundidades del orden de los 50 metros sobre la plataforma continental, se hizo evidente la importancia de estudiar aquellas plata-- formas que eran empleadas en aguas profundas, actualmente se está -- estudiando la estructuración de las plataformas que se están utilizando -- con el objeto de conocer su funcionamiento real y plantear una adecua-- da solución a sus necesidades y de esta manera emplear las estructu-- ras que satisfagan las condiciones de funcionalidad y economía de la --

mejor manera posible.

También es conveniente conocer la respuesta de la estructura bajo las sollicitaciones reales a las que estará sujeta, por lo que se plantea la necesidad de determinar las zonas marinas que se encuentran en desarrollo, así como los lugares de una futura explotación y en consecuencia efectuar en dichas zonas estudios oceanográficos que tendrán una gran importancia en el avance tecnológico en los campos de explotación.

En el segundo capítulo se hizo mención de las diferentes acciones que actúan sobre las plataformas, así como de los diferentes estudios preliminares que se deben efectuar; de los cuales podemos decir que las técnicas empleadas actualmente en nuestro País para la elaboración de dichos estudios se encuentra en su fase inicial, por tal motivo se pueden encontrar deficiencias en su realización, lo que da como consecuencia que se tengan datos con una confiabilidad limitada. Debido a esto se deben efectuar una serie de constantes estudios para conocer realmente las condiciones de nuestros litorales y de esta manera se tendrán bases reales para el diseño de las plataformas marinas.

Esta serie de estudios se podrá efectuar a través de una adecuada instrumentación sobre cada plataforma para valorar todos los eventos posibles que se están tomando en cuenta actualmente y aún más, es recomendable valorar todos los eventos posibles que no se toman en consideración en los análisis actuales. Así como también se deberá instrumentar todas las embarcaciones nacionales posibles para obtener

una serie de registros reales para lo cual se debe desarrollar un programa de instrumentación con registros automáticos en las embarcaciones y con ellos elaborar un almanaque de eventos.

Una adecuada evaluación de los eventos ambientales, así -- como de el conocimiento de las funciones que se realizan en cada plataforma dará una mejor aproximación de las solicitaciones generadas-- en la estructura.

Ya definidas perfectamente las solicitaciones, es importante que al valuar sus efectos sobre la estructura se realicen las combinaciones adecuadas de los diferentes tipos de carga y se obtenga la experiencia necesaria para minimizar el trabajo en los análisis futuros.

Para el análisis de la estructura se recomienda que se intente idealizar lo mejor posible la naturaleza real del problema, como lo es el análisis de la cimentación en el cual intervienen una serie de -- incognitas.

Un análisis que de los esfuerzos reales a que se somete la estructura en su transportación, en su posicionamiento y así como analizar la mayor parte de problemas que se presentan en la estructura -- en su operación normal y en condiciones extraordinarias posibles.

En cada uno de estos análisis se utilizarán los métodos de mayor exactitud conocidos en la actualidad y además se procurará minimizar el costo en cada uno de ellos.

Una vez que se ha efectuado el análisis más adecuado de la estructura, es conveniente que se tengan los manuales más actualiza--

dos para poder efectuar un diseño eficaz de la plataforma y además tomar en cuenta los factores de seguridad recomendados por los mismos.

Por último se hizo mención de los diferentes procedimientos de construcción tanto de plataformas de acero como de concreto siendo estas últimas totalmente nuevas en nuestro País ya que actualmente no se cuenta con ninguna de este tipo. Debido a las características de este tipo de plataformas, las cuales se mencionaron anteriormente, sería la plataforma ideal para nuestro País ya que se cuenta con grandes reservas de petróleo, pero actualmente este tipo de plataformas se encuentran en anteproyecto pues los sitios para su construcción deben estar protegidos y que además tengan la profundidad adecuada y debe existir una distancia corta entre el sitio de construcción y el de instalación de la misma.

Por todo lo anteriormente dicho es evidente que una plataforma marítima es un reto al avance tecnológico de nuestro país, ya que como se ha visto existe una gran variedad de problemas, no solo relacionados con la ingeniería civil, sino con otras áreas diferentes, lo que implica un sistema multidisciplinario en el cual se deben elaborar una serie de programas de trabajo para que se ligen adecuadamente las funciones de cada una de las áreas que intervienen en el proceso del análisis, diseño y construcción.

Debido a estas razones que se plantean para la explotación de nuestros campos petrolíferos, se ve en la necesidad de estudiar a fondo cada uno de los problemas que se presentan en el análisis pa-

ra lograr un aprovechamiento adecuado de los energéticos .con que cu
ta nuestro país.