

20144



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“ASPECTOS GENERALES DEL ANALISIS Y DISEÑO
ESTRUCTURAL DE PLATAFORMAS MARINAS PARA
LA SONDA DE CAMPECHE”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N
ROBERTO CHAVEZ ARGUELLES
JESUS ADRIAN GARCIA VAZQUEZ

FALLA DE CRIGEN

MEXICO, D. F.

1989



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 está 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.

I N D I C E

		PAG.
1.0	INTRODUCCION	1
1.1	CONTENIDO	3
2.0	DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLATAFORMA.	5
2.1	SUBESTRUCTURA	9
2.1.1	ACCESORIOS DE LA SUBESTRUCTURA	15
2.2	SUPERESTRUCTURA	31
2.3	CIMENTACION	35
2.3.1	SISTEMA SUELO-PILOTE	36
2.3.2	SISTEMA SUBESTRUCTURA-PILOTE	37
3.0	FABRICACION, TRANSPORTE E INSTALACION DE PLATAFORMAS.	39
3.1	FABRICACION	40
3.1.1	SUBESTRUCTURA	43
3.1.2	SUPERESTRUCTURA	48
3.1.3	PILOTES	54
3.2	TRANSPORTACION	56
3.2.1	TRANSPORTACION DE LA SUBESTRUCTURA	56
3.2.2	TRANSPORTACION DE PILOTES	58
3.2.3	TRANSPORTACION DE LA SUPERESTRUCTURA	59
3.3	INSTALACION	61
3.3.1	INSTALACION DE SUBESTRUCTURA Y PILOTES	61
3.3.1.1	LANZAMIENTO DE LA SUBESTRUCTURA	61
3.3.1.2	IZAJE DE LA SUBESTRUCTURA	68
3.3.1.3	INSTALACION DE PILOTES	73
3.3.2	INSTALACION DE LA SUPERESTRUCTURA	88
4.0	ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL	93
4.1	DISEÑO Y ANALISIS CONDICION "EN SITIO"	94
4.1.1	ANTECEDENTES	94
4.1.2	CODIGOS Y REGLAMENTOS APPLICABLES AL DISEÑO DE PLATAFORMAS MARINAS	109
4.1.3	CARGAS	115

	PAG.	
4.1.4	DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA	124
4.1.4.1	DISEÑO PRELIMINAR	124
4.1.4.2	DISEÑO FINAL	133
4.1.5	DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA	139
4.1.5.1	DISEÑO PRELIMINAR	139
4.1.5.2	DISEÑO FINAL	142
4.1.6	DISEÑO DE PILOTES	147
4.1.6.1	DISEÑO PRELIMINAR	147
4.1.6.2	DISEÑO FINAL	155
4.1.7	ANALISIS EN SITIO	158
4.1.8	RED DE ACTIVIDADES	168
4.1.9	ELABORACION DE PLANOS	171
4.2	ANALISIS COMPLEMENTARIOS	172
4.2.1	ANALISIS CONDICION DE IZAJE DE LA SUBESTRUCTURA	172
4.2.2	ANALISIS CONDICION DE IZAJE DE LA SUPERESTRUCTURA	173
4.2.3	ANALISIS DE LANZAMIENTO Y FLOTACION DE LA SUBESTRUCTURA.	174
4.2.3	ANALISIS DE TRANSPORTACION	177
5.0	CONCLUSIONES.	178
	BIBLIOGRAFIA.	179

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAG.
1.1	PLATAFORMA DE PERFORACION ABKATUM "D"	4
2.1	COMPONENTES PRINCIPALES PLATAFORMA DE PERFORACION	8
2.2	ESTRUCTURACION SUBESTRUCTURA	13
2.3	ESTRUCTURACION SUBESTRUCTURA	14
2.4	VIGAS DE DESLIZAMIENTO	21
2.5	OREJAS DE ARRASTRE	22
2.6	TAPA INFERIOR PARA FLOTACION	23
2.7	TAPA SUPERIOR PARA FLOTACION	24
2.8	SISTEMA DE INUNDACION	25
2.9	OREJA PARA IZAJE	26
2.10	PLACA BASE DE APOYO EN LECHO MARINO	27
2.11	DEFENSAS	28
2.12.A	EMBARCADERO	29
2.12.B	DETALLES DE EMBARCADERO	30
2.13	CONEXION TRABE-COLUMNA	34
3.1	PATIO DE FABRICACION	42
3.2	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE SUBESTRUCTURA	44
3.3	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE SUBESTRUCTURA	45
3.4	FABRICACION DE SUBESTRUCTURAS PARA PLATAFORMAS DE PERFORACION.	46
3.5	ETAPAS DE FABRICACION DE SUPERESTRUCTURA	50
3.6	FABRICACION Y MONTAJE DE CUBIERTA	51
3.7	FABRICACION DE SUPERESTRUCTURAS PARA PLATAFORMAS DE PERFORACION	52
3.8	SUPERESTRUCTURA TERMINADA	53
3.9	CHALAN DE LANZAMIENTO	62
3.10	POSICION PARA LANZAMIENTO DE SUBESTRUCTURA	63
3.11	LANZAMIENTO DE SUBESTRUCTURAS PARA TIRANTES MEDIOS EN LA SONDA DE CAMPECHE	67
3.12	PREPARATIVOS PARA IZAJE DE SUBESTRUCTURA	68
3.13	MANIOBRAS DE ESTROBAMIENTO DE SUBESTRUCTURA	69
3.14	ESTROBAMIENTO DEL GANCHO PRINCIPAL	70

	PAG..	
3.15	CHALAN DE PILOTES	74
3.16	ARREGLO DE PILOTES	75
3.17	IZAJE TRAMOS DE PILOTES	76
3.18	PREPARATIVOS PARA LA CONEXION DE TRAMOS DE PILOTE	81
3.19	PROCESO DE HINCADO DE PILOTES	82
3.20	CORTE DE LA CABEZA DE UN TRAMO DE PILOTE	83
3.21	DETALLE DE CONEXION DEL PILOTE A LA SUBESTRUCTURA	87
3.22	GUIA PARA ACOPLAMIENTO DE SUPERESTRUCTURA	92
4.1	LOCALIZACION BAHIA DE CAMPECHE	99
4.2.A	DETALLES DE CONEXION SUBESTRUCTURA	105
4.2.B	DETALLES DE CONEXION SUBESTRUCTURA	106
4.3	RANGOS DE APLICACION TEORIAS DE OLEAJE	122
4.4	RANGOS DE APLICACION TEORIAS DE OLEAJE	123
4.5	ESTRUCTURACION MARCOS DE SUBESTRUCTURA	126
4.6	ESTRUCTURACION MARCOS DE SUBESTRUCTURA	127
4.7	ESTRUCTURACION PLANTAS DE SUBESTRUCTURA	128
4.8	ESTRUCTURACION PLANTAS DE SUBESTRUCTURA	129
4.9	CONEXION TUBULAR SIMPLE	138
4.10	CUBIERTA PRINCIPAL	144
4.11	CUBIERTA INFERIOR	145
4.12	EJE "1" DE SUPERESTRUCTURA	146
4.13	MODELO SIMPLIFICADO INTERACCION SUELO-PILOTE	167
4.14	RED DE ACTIVIDADES DISEÑO CONDICION "EN SITIO"	170

1.0 INTRODUCCION

La explotación de hidrocarburos situados en el subsuelo de la zona marina ha adquirido gran importancia en los últimos años, dando origen al desarrollo y aplicación de tecnologías que den solución a los problemas que plantea esta actividad.

En lo que concierne a la Ingeniería Civil, el diseño y construcción de estructuras sobre las cuales puedan realizarse los trabajos de explotación ha representado uno de las principales problemas a resolver, bajo la premisa de la economía y seguridad, lo cual ha desembocado en una gama de soluciones basadas fundamentalmente en el tirante de agua del sitio de interés. Algunos de los países que han desarrollado tecnologías para el diseño, fabricación e instalación de estas estructuras denominadas plataformas marinas son: Estados Unidos de Norteamérica, Noruega, Francia, Holanda y Gran Bretaña.

A finales de los años setentas da inicio en nuestro país la explotación de los yacimientos petrolíferos situados en el subsuelo del mar territorial, principalmente frente a las costas de Campeche. En esta época, los trabajos de diseño, así como de la fabricación e instalación de plataformas se hallaba en manos de compañías extranjeras, principalmente norteamericanas. Sin embargo, actualmente tales actividades se realizan por profesionales nacionales en su mayoría, no obstante que persista aún en nuestro país la dependencia tecnológica extranjera, expresada en códigos, especificaciones, programas y equipo de computación requeridos para el diseño, o bien en cuanto al equipo y maquinaria para construcción y embarcaciones para la instalación.

El diseño de plataformas marinas para la Sonda de Campeche tiene como antecedentes, criterios y procedimientos de firmas de ingeniería estadounidenses reconocidas internacionalmente, mismos que han sido asimilados y reestructurados acorde con los recursos y sistemas de trabajo existentes en el país, en base a las necesidades de Petróleos Mexicanos.

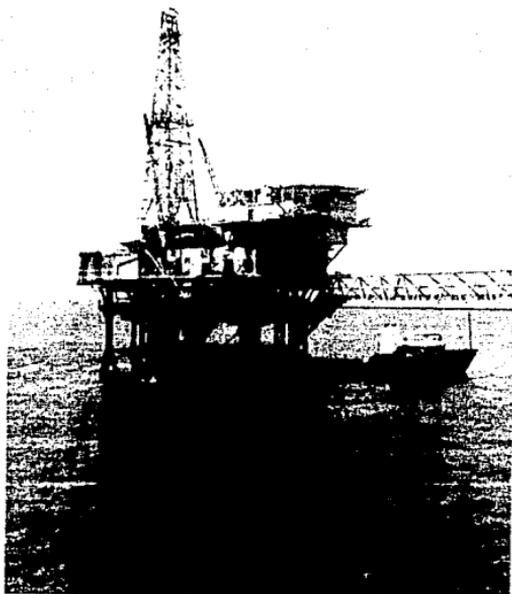
Cabe señalar que reviste importancia significativa que México cuente con personal preparado para satisfacer sus requerimientos de instalaciones fuera de costa, dado el grado de especialización que exigen estas obras y la magnitud de su costo.

1.1 C O N T E N I D O

El presente trabajo tiene por objeto mostrar los aspectos generales de análisis y diseño estructural de Plataformas Marinas, destinadas a la explotación de hidrocarburos en la Sonda de Campeche.

Con objeto de que se identifiquen y visualicen apropiadamente las diversas etapas en que se divide el análisis y diseño, se llevará a cabo una descripción general de las componentes estructurales de que se integra una plataforma, así como también, del proceso constructivo y las etapas por las que transita la estructura hasta su instalación; aspectos que serán tratados en los capítulos 2 y 3 respectivamente.

Con base en la perspectiva lograda en los capítulos 2 y 3, serán tratados en el capítulo 4 los aspectos relevantes del análisis y diseño estructural. tales como, la modelación de la estructura y sus cargas, criterios de diseño de sus componentes estructurales; así mismo, se mencionarán los principales Códigos y reglamentos que regulan en nuestro país al diseño, fabricación e instalación de plataformas marinas.



PLATAFORMA DE PERFORACION "ABKATUM-D"
SONDA DE CAMPECHE -MEXICO 1988

Figura 1.1

**2.0 DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA
DE UNA PLATAFORMA**

Las condiciones propias de la Sonda de Campeche en lo que se refiere a la disposición y volumen de los mantos petrolíferos, condiciones ambientales, tirantes de agua prevalecientes en la zona y propiedades mecánicas del suelo, determinaron las características primordiales de los campos petroleros por desarrollar, los cuales quedaron constituidos a base de plataformas fijas de acero, -intercomunicadas mediante puentes, y utilizando líneas de tuberías apoyadas en el lecho marino para la conducción de los productos.

Los campos petroleros desarrollados en el mar han quedado constituidos por grupos de plataformas destinadas a diversas actividades tales como perforación de pozos, producción, enlace, habitación, compresión de gas, etc., de acuerdo con los requerimientos de producción y los procesos involucrados en la separación, manejo, envío y conducción de los productos.

En combinación con las condiciones antes descritas, las características de operación, dimensiones y peso de los equipos requeridos para la explotación, integran factores determinantes en el establecimiento de las dimensiones básicas -de las plataformas.

Las plataformas fijas de acero para la explotación de petróleo pueden ser de -diversos tipos, de acuerdo con la función que desarrollen, sin embargo, todas constan de dos partes principales que son la estructura y el equipo. Este último se ha diseñado para ser instalado sobre una plataforma, o removido de ---ella, con el mínimo de dificultad, por lo cual se integra en paquetes fabricados prácticamente en su totalidad en tierra, minimizando el trabajo a desarrollar en mar, dada la mayor dificultad de realización y el extraordinario incremento en los costos de ejecución.

Por su parte, la instalación de la estructura es con carácter permanente, -considerando que su estancia en la localización que le es asignada, corresponde a un período de vida útil de 20 años en promedio, para lo cual se fija al -suelo marino, con objeto de resistir satisfactoriamente las fuerzas inducidas sobre ella por las condiciones ambientales, a la vez de proporcionar un área de trabajo segura para la operación del equipo y del personal que la ocupen.

La estructura típica de una Plataforma para explotación de petróleo en la Sonda de Campeche, se compone de tres partes, denominadas Superestructura, Subestructura y Cimentación. Cada componente se construye independientemente de las otras llevándose a cabo su acoplamiento durante su instalación en mar.

La división de la estructura total en las componentes descritas, es el fundamento de la técnica desarrollada para este tipo de estructuras. Técnica que comprende al diseño, la construcción, el transporte, instalación y operación. La estructura de la plataforma se desplanta en el lecho marino y su cimentación es a base de pilotes. Sobresale del nivel del mar, hasta la elevación necesaria para la operación del equipo al que alojará.

Las diferentes necesidades que deben satisfacerse en la explotación de la Sonda de Campeche, mediante la utilización de plataformas marinas, han dado lugar al empleo de estructuras de diversas dimensiones, clasificadas comunmente por el número de piernas o apoyos de que disponen, obteniendo así los calificativos de plataformas de doce patas, octápodos, hexápodos, tetrápodos o tripodos.

La gran mayoría de las plataformas instaladas en la Sonda de Campeche son octápodos de perforación, por lo que la descripción siguiente de las partes que constituyen a la estructura, se basará en este tipo, considerando que se halla instalada.

En capítulos posteriores se describirán características de cada una de las partes principales que integran a la estructura, para las condiciones de construcción, transporte e instalación, así como con relación a su diseño.

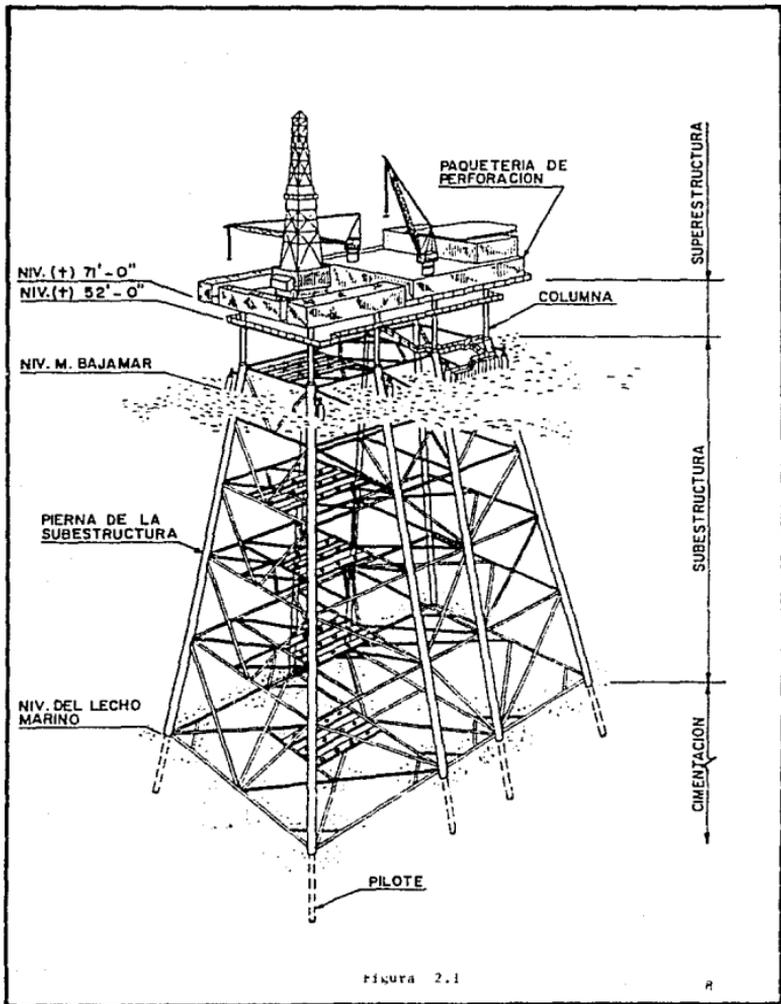


Figura 2.1

2.1 SUBESTRUCTURA.

Las plataformas empleadas en la Sonda de Campeche para la explotación de hidrocarburos, pertenecen a la clasificación de plataformas de acero fijas, de acuerdo con el API (American Petroleum Institute).

Las características principales que distinguen a este tipo de plataformas, se refieren sobre todo a la subestructura, ya que el diseño de ésta se halla en función de las variables que determinan la clasificación, así como el período de utilización de la plataforma en un mismo sitio, el cual puede considerarse de carácter permanente (varios años) o temporal (varios meses). Las propiedades del acero y de los perfiles que pueden fabricarse con este material, determinan a su vez características propias de este tipo de plataformas; como la utilización exclusiva de perfiles tubulares de sección circular (de fabricación comercial en su gran mayoría) y caracterizando aspectos relativos a la construcción, manejo de las estructuras, embarque y transporte, instalación por secciones, conexiones en sitio, así como toda la gama de posibilidades y restricciones inherentes al manejo del acero estructural.

En cuanto a costos se refiere, cada tipo de plataforma resulta económico para un determinado rango de tirantes, fuera del cual es necesaria la aplicación de otro tipo. Cabe señalar que la clasificación que nos ocupa es sumamente económica para tirantes relativamente pequeños, ya que para éstos, además de la sencillez en la estructura---ción de la Subestructura, se requiere una infraestructura para fabricación e instalación, acorde con tales dimensiones.

Los tirantes de agua prevalencientes en la Sonda de Campeche son pequeños (de 60'-0" (18.29 m) a 240'-0" (73.17m) lo cual ha determinado la utilización de este tipo de plataforma.

La Subestructura se integra totalmente por perfiles tubulares de sec-

ción circular. Su estructuración se basa en el empleo de elementos principales que constituyen sus piernas (un total de ocho), en un arreglo de 2 x 4, interconectados y arriostrados por elementos de menor sección, adoptando en conjunto, la forma de una pirámide truncada que se desplanta al nivel del lecho marino y con una altura que la hace sobresalir del mar hasta una elevación de (+)22'-6" (6.86 m) sobre el nivel medio de su superficie; la inclinación de las caras de esta pirámide, que corresponde a la inclinación de las piernas, está dada -- por la relación 1:8 (horizontal : vertical), mejorando las características de rigidez del conjunto y carga axial en los apoyos, en comparación con una estructura de piernas verticales.

El trabajo de la Subestructura se realiza en combinación con los pilotes, que se hallan en forma concéntrica dentro de sus piernas, a través de las cuales han sido hincados en el suelo marino; los pilotes se extienden hasta una elevación de (+)24'-0" (7.32 m) sobre la superficie media del mar, siendo conectados rigidamente con las piernas de la subestructura en la elevación (+)22'-6". De esta manera, la Subestructura se apoya en los extremos superiores de los pilotes.

La Subestructura contiene en el interior de sus piernas, placas espaciadoras, que limitan la holgura existente entre el diámetro interior de éstas y el diámetro exterior de los pilotes, constituyendo puntos de contacto entre ambos elementos. Las placas espaciadoras se colocan en varios puntos a lo largo de las piernas, coincidentes con grupos de arriostramientos horizontales.

La Subestructura constituye junto con los pilotes una estructura con rigidez y estabilidad suficientes, capaz de resistir las cargas provenientes de la superestructura, así como de las actuantes sobre ella, debidas a peso propio y oleaje, lo cual se debe a su interrelación, expresada en los siguientes conceptos:

- A). La subestructura interconecta a los ocho pilotes, determinando el trabajo conjunto de éstos.
- B). Proporciona apoyo lateral a los pilotes a través de las placas espaciadoras, limitando sus longitudes libres de pandeo.
- C). Ejerce restricción al giro de los pilotes al nivel del lecho marino.
- D). En los puntos en que tiene contacto con los pilotes, la subestructura transmite sobre ellos sus cargas de peso propio y oleaje.

La estructuración adoptada en la subestructura (véase figuras 2.2 y 2.3) y su participación en la estructura total, determina que sus arriostramientos inclinados trabajen principalmente por carga axial (un 70% de su relación de interacción en promedio), mientras que en los horizontales, la flexión es la predominante.

Los diámetros empleados comúnmente para estos elementos son desde 12 3/4" hasta 30".

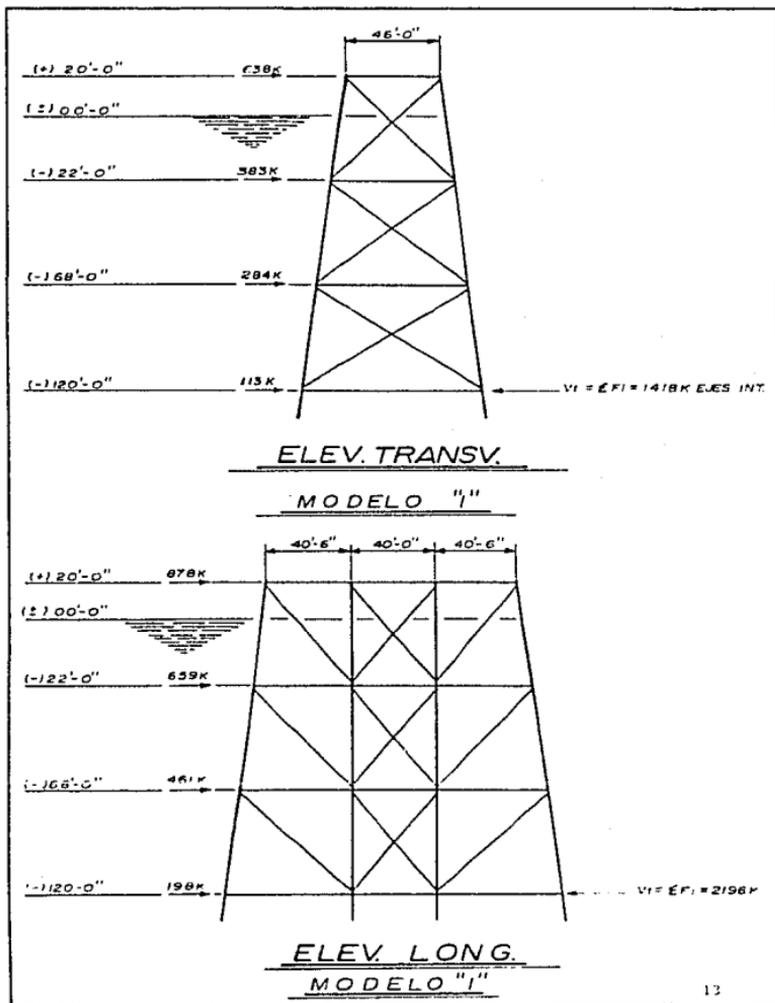
Las dimensiones de los elementos que integran a las piernas de la subestructura, se encuentran determinados por el diámetro de los pilotes que habrán de contener, así como por las diversas condiciones que habrán de resistir: construcción, embarque, transporte, lanzamiento y operación en sitio. Las solicitaciones que afectan a los miembros integrantes de las piernas, son por un lado aquellos elementos mecánicos generados por su participación como barras, y por otro, aquellos de tipo local, debidos al efecto de punzonamiento por parte de los arriostramientos que inciden sobre ellos. Condiciones que aunadas a requerimientos de espesor para su conexión con los arriostramientos, así como el de satisfacer la rigidez necesaria para la transmisión de sus efectos, originan que tales miembros se constituyan de espesores-

diferentes, e incluso de aceros diferentes.

El 100% de las conexiones de la Subestructura son soldadas y las soldaduras empleadas en ellas son de penetración completa, correspondiendo a la clasificación del AWS D1.1, y a los procesos de soldadura recomendados por este código.

Algunos de los conceptos que determinan el requerimiento de elementos tubulares de sección circular en la subestructura, son los siguientes:

- 1.- Gran parte de ellos trabajan como viga-columna, siendo predominante el efecto axial.
- 2.- El tipo de pilotes y la sección transversal de éstos.
- 3.- Obtención de conexiones seguras, de manufactura relativamente sencilla, de gran resistencia a la fatiga.
- 4.- Baja oposición multidireccional al movimiento del agua, originando fuerzas mínimas de oleaje.
- 5.- Buen comportamiento ante fuerzas hidrostáticas.
- 6.- Ligereza, debida a las cualidades propias de su geometría.
- 7.- Aprovechamiento de su flotación durante las maniobras de instalación.
- 8.- Mínima superficie mojada, en relación a su protección anticorrosiva.
- 9.- Aplicabilidad de procesos automáticos de corte y soldadura.



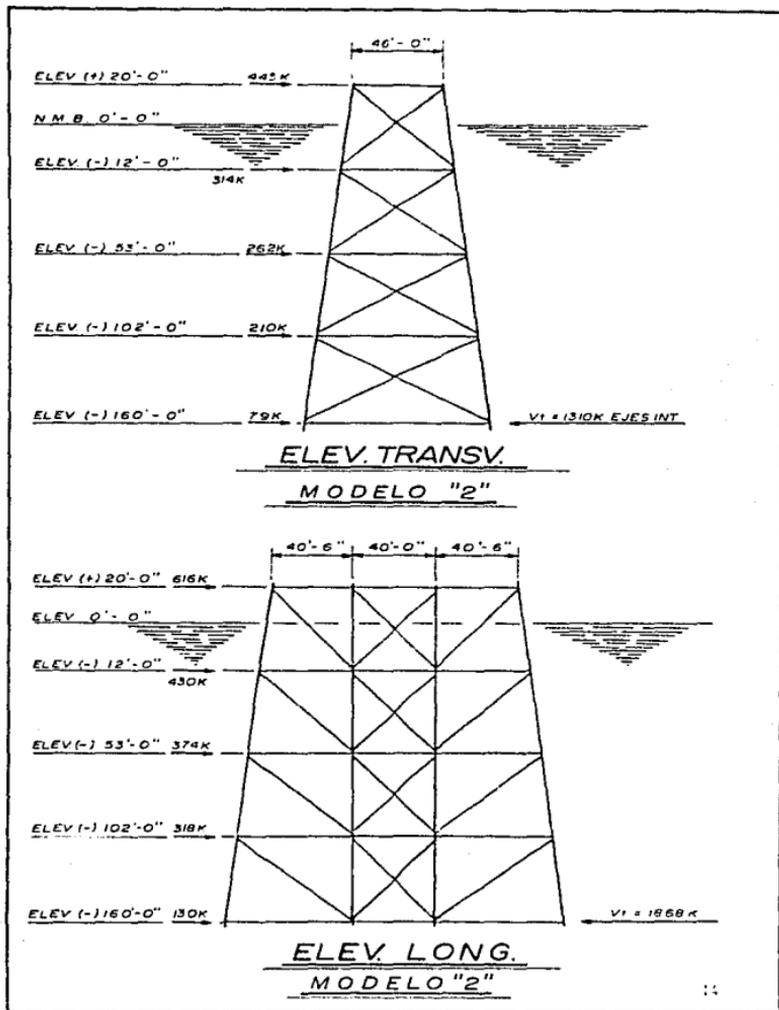


Figura 2.3

2.1.1 ACCESORIOS DE LA SUBESTRUCTURA.

Las condiciones por las que transita la estructura desde su fabricación hasta la instalación, establecen la necesidad de que cuente con accesorios que permitan y/o favorezcan su fabricación y manejo, así como su instalación y operación. Cada uno de los accesorios cumple una función específica y cada uno de ellos se sujeta a un análisis y diseño estructural. A continuación se describen las características y funciones principales de los accesorios que complementan el diseño de la Subestructura.

SISTEMA DE DESLIZAMIENTO.

VIGAS DE DESLIZAMIENTO.

Es un sistema constituido por dos vigas, donde cada una se compone de una cama de placa conectada a un arreglo de polines, sobre el cual se inicia la fabricación de la Subestructura (Ver figura 2.4) sus funciones principales son:

- A). Dar apoyo a la Subestructura durante la fabricación.
- B). El sistema constituye un esquí para el deslizamiento de la Subestructura durante la maniobra de arrastre, en las etapas de embarque y lanzamiento.
- C). Distribuye las cargas del peso propio de la Subestructura sobre las piernas en que se apoya, así como sobre las traveses de fabricación del patío o de las vigas del chالآن durante su transporte y lanzamiento.
- D). El arreglo de madera proporciona el material de contacto entre la Estructura y las traveses sobre las que se apoya y desliza.

OREJAS DE ARRASTRE.

Sistema formado por cuatro elementos constituidos por placas y conectados en las dos piernas en las que se apoya la Subestructura durante su fabricación, localizados en sitios próximos a los extremos.

Su función consiste en proporcionar puntos de apoyo para tirar de la Subestructura, mediante un sistema de cables, poleas y malacates u otro medio de tracción con objeto de deslizarla. (Ver figura 2.5).

SISTEMA DE FLOTACION.

TAPAS DE LAS PIERNAS.

Es menester que la Subestructura misma se provea de suficiente flotación para que sea capaz de flotar satisfactoriamente y proporcione una trayectoria de escasa profundidad dentro del agua, durante su lanzamiento en mar; condición a la que obedece que le sean instaladas tapas en ambos extremos de cada una de sus piernas.

TAPAS INFERIORES.

En el extremo inferior de las piernas (considerando su posición final en el sitio), se colocan tapas con forma y dimensiones diseñadas de tal manera que después de cumplir con su cometido, permitan su rompimiento al ser golpeadas por el impacto de la caída libre del primer tramo de pilote, en la etapa inicial de hincado. (Ver figura 2.6).

TAPAS SUPERIORES.

Las tapas superiores son elementos planos constituidos por placa, colocadas en el extremo superior de cada pierna de la Subestructura, sirviendo además como base para el apoyo de tanques de flotación y provistas con válvulas utilizadas para la prueba de hermeticidad y durante la inundación de las piernas en la etapa inicial de la instala-

ción. (Ver figura 2.7).

TANQUES DE FLOTACION.

Para complementar la flotación de la Subestructura y proporcionar a ésta una posición final de flotación conveniente (posición horizontal preferentemente), son utilizados tanques constituidos normalmente por tubería de las mismas características de la empleada para las piernas. Se ubican en la parte superior de la Subestructura, conectando sus -- apoyos sobre las tapas superiores.

SISTEMA DE INUNDACION.

Consiste en válvulas de 4"Ø y 1/4 de vuelta, instaladas en el extremo inferior de cada una de las piernas de la Subestructura, operadas mediante una extensión que se manipula desde el extremo superior. Permanecen cerradas durante la etapa de lanzamiento y flotación y son -- abiertas para permitir la inundación de las piernas durante la instalación de la Subestructura, complementando esta acción con las válvulas ubicadas en las tapas superiores, que al abrirse, permiten la sa lida del aire. (Ver figura 2.8).

ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS.

OREJAS DE IZAJE.

La Subestructura debe ser provista de elementos a partir de los cuales pueda sujetarse y manipularse con la grúa de instalación. Las -- orejas de izaje cumplen este objetivo, utilizándose en la etapa posterior al lanzamiento, para girar a la estructura a su posición vertical y para mantenerla suspendida en esta posición durante su acarreo-- hasta la localización de su instalación. Se colocan en el extremo superior de las piernas interiores. (Ver figura 2.9).

ESTRUCTURA TEMPORAL PARA ESTROBOS.

Los estrobos con los que se efectúa el izaje de la Subestructura, son colocados desde el patio de fabricación, en las orejas de izaje, mediante grilletes. Los cuatro extremos de los estrobos que deberán en gancharse en el block de la grúa de instalación, se sujetan sobre una estructura temporal que proporcione simultáneamente una pequeña área de trabajo para el personal que realiza esta operación.

La estructura temporal para estrobos, se conecta a la Subestructura - mediante abrazaderas con tornillos, ubicándola sobre el eje B; y es - retirada de ésta, una vez concluida la instalación.

PLACA BASE.

Para llevar a cabo el hincado de pilotes, que constituyen la cimentación definitiva de la Plataforma, es necesario que la Subestructura - se apoye temporalmente sobre el suelo, requiriendo para ello una cimentación a base de placas, que le proporcionan características de estabilidad ante condiciones de carga prevaletientes durante la instalación (carga de oleaje y peso propio).

Al concluir el hincado de pilotes y la conexión de éstos con la Subestructura, la placa base termina su función principal. (Ver figura -- 2.10).

Los elementos principales que forman parte de la placa base, se constituyen en apoyos laterales de algunos arriostramientos de la Subestructura.

DEFENSAS.

Una vez que la plataforma inicia su operación, será abastecida de insumos, mediante embarcaciones con desplazamientos promedio de 20,000 toneladas.

Por lo que es necesario protegerla de posibles impactos sobre su estructura, mediante defensas provistas con amortiguadores, ubicadas en cada una de las piernas de la Subestructura, a pesar de que la aproximación de las embarcaciones se halla restringida a condiciones ambientales de mar en calma (altura de ola de 5 pies [1.5 m] en promedio).

Las defensas se integran de un elemento vertical principal, protegido con una camisa de caucho, apoyado en sus dos extremos sobre amortiguadores en posición horizontal (Ver figura 2.11). Los amortiguadores son de tipo axial y el peso de la defensa es soportado mediante una cadena que deberá tensarse durante la instalación.

EMBARCADEROS.

Los embarcaderos cumplen una función similar a la de las defensas e incluso trabajan en combinación con ellas. Su objetivo principal es el de proporcionar una estructura que permita el acoderamiento de la embarcación con la plataforma, para abastecimiento de insumos, así como embarque o desembarque de personal.

El embarcadero, constituye un acceso a la plataforma por vía marítima, cuenta con elementos de caucho adosados a los miembros estructurales que tienen contacto con la embarcación; se halla conectado rigidamente a las piernas de la Subestructura, a las que transmiten las cargas de impacto mediante elementos cuya sección se amplía considerablemente en la conexión. (Ver figura 2.12).

PASILLOS, BARANDALES Y ESCALERAS.

Los pasillos, barandales y escaleras proporcionan los conductos por los cuales el personal tiene acceso a los diversos sitios de la plataforma, a donde debe llegar en forma apropiada y segura. Los pasillos se integran de elementos tubulares y rejilla galvanizada. Los barandales son de tipo tubular, desmontables, para facilitar las mani-

bras de instalación de la Subestructura; de igual forma, las escaleras que conducen a los embarcaderos son desmontables, cuyas alfardas se integran por secciones canal, contraventeadas con ángulo. Los escalones son de rejilla galvanizada, conectados a las alfardas mediante tornillos.

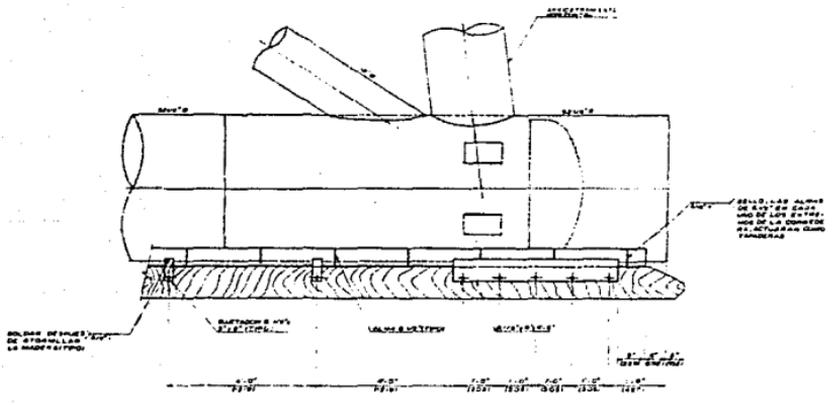
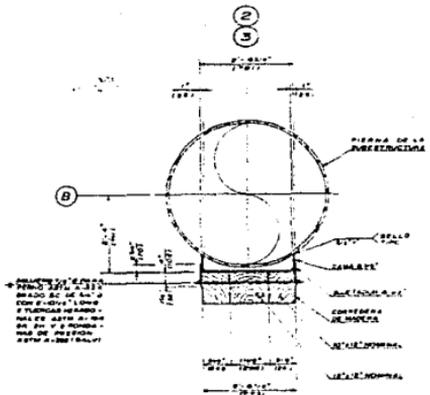
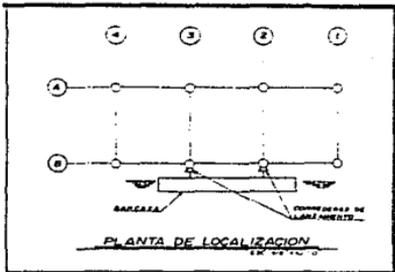
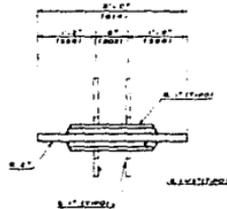
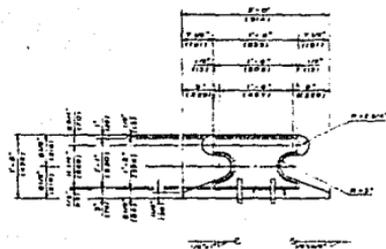
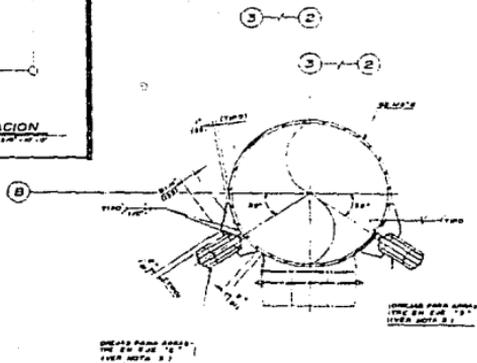
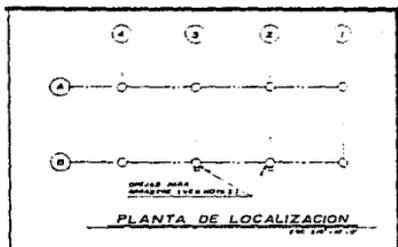
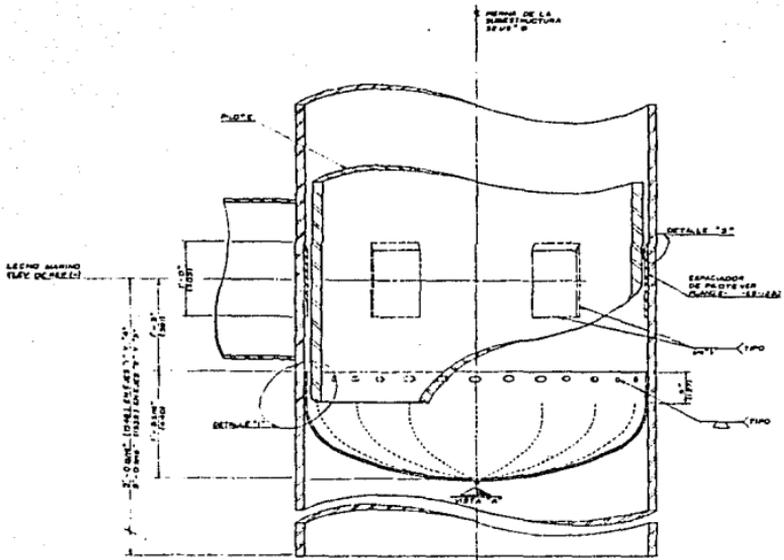


FIGURA 2.4

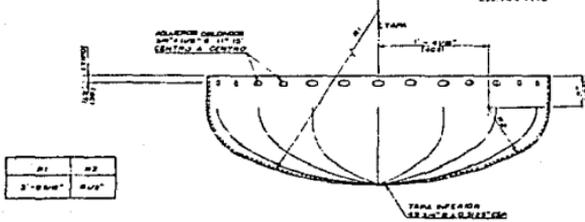


DETALLES DE OREJAS PARA ARRASTRE
ESC. 20:100.0

FIGURA 2.5



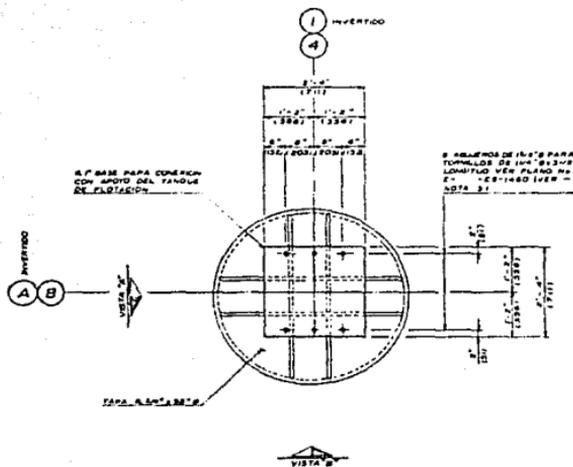
ELEVACION
TAPA INFERIOR PARA FLOTACION
ESC. 1/8" = 1'-0"



#1	#2
3'-0" x 3'-0"	4'-0" x 4'-0"

TAPA TORIESFERICA
ESC. 1/8" = 1'-0"

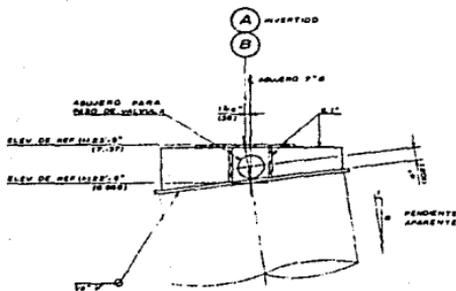
FIGURA 2.6



DETALLE "I" TAPADERA

COLUMNAS DE ESQUINA

ELEV DE REF 11-123-0" ETC 21-0710



VISTA "A"

ELEV DE REF 11-123-0" ETC 21-0710

FIGURA 2.7

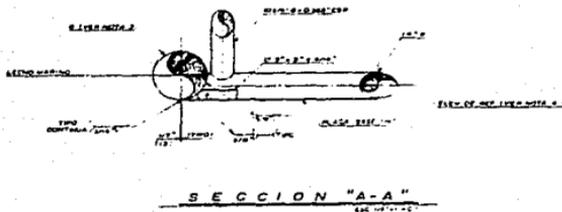
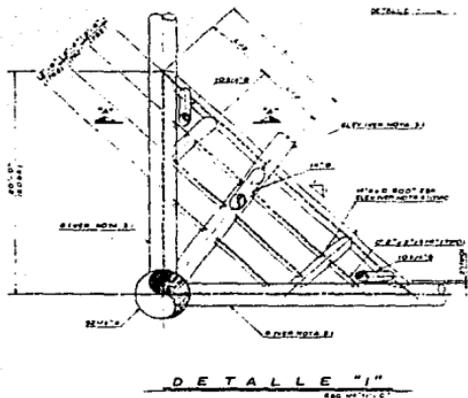
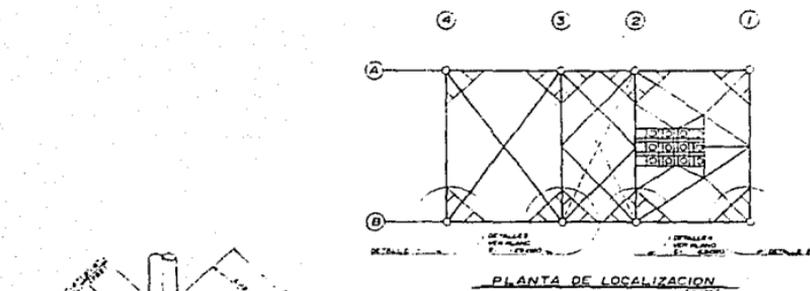


FIGURA 2.10

2.2 SUPERESTRUCTURA

La Superestructura es la parte de la estructura destinada a dar alojamiento y soporte al equipo de operación de la plataforma. Se halla formada por marcos rígidos, con columnas de sección tubular circular de 48" (1.22 m) de diámetro generalmente, apoyadas sobre los extremos superiores de los pilotes en la elevación de referencia (+)24'-0" (7.32 m); e interconectadas mediante traveses de sección I fabricadas de tres placas, con peraltes que oscilan entre 3'-6" (1.07 m) y 6'-0" (1.83 m) en promedio. Las traveses dan soporte a sistemas de piso donde se apoya el equipo.

La Superestructura cuenta con dos sistemas de piso o cubiertas, con una superficie aproximada de 11250 pies cuadrados (1045.7 m²) cada una. Los sistemas de piso están formados por largueros de sección I patín rectangular (W o WF) - rolados en caliente, sobre los que se apoya rejilla de soleras dentadas, placa antiderrapante o madera tratada con retardantes e inhibidores de fuego, dependiendo del tipo de trabajo y operación del equipo que contengan.

La primera cubierta se ubica en la elevación (-) 52'-0" (15.85 m) con respecto al nivel medio bajamar, bajo la consideración de que el equipo que aloja se mantiene por arriba de la cresta de una ola con período de retorno de 100 años. La elevación de la segunda cubierta se establece en función de la altura libre requerida entre cubiertas para la instalación y operación del equipo.

Los patines superiores del sistema de largueros se soportan lateralmente mediante elementos secundarios, los cuales pueden ser de sección canal u otra de tipo ligero. Los largueros por su parte impiden el pandeo lateral del patín superior de las traveses principales en los puntos en que se conectan con ellas.

La sección transversal de las traveses de la primera cubierta, en su conexión con las columnas, aumenta considerablemente con objeto de proporcionar mayor restricción al giro de estas últimas, induciendo de esta manera una mayor capacidad de carga axial en ellas. El acartelamiento de las traveses en sus extremos, sigue en forma aproximada la envolvente de los diagramas de momentos flexionantes obtenidos para las condiciones de diseño en operación y tormenta.

La variación de la sección transversal en traves de esta cubierta, se obtiene al incrementar el ancho y espesor de los patines, manteniendo constante su peralte, favoreciendo el tránsito por abajo de la cubierta, de tuberías con grandes dimensiones y peso, permitiendo su proximidad con las columnas y evitando efectos de flexión excesiva sobre las propias traves.

La convergencia de traves acarteladas horizontalmente, sobre cada columna, -- origina la formación de un anillo alrededor de ésta, que reduce notablemente los efectos locales sobre la columna durante la transmisión de elementos mecánicos en el nudo (ver figura 2.13).

En general el sistema de cargas gravitacionales que afectan a esta cubierta -- se canaliza a través de los largueros sobre las traves de los marcos transversales principalmente.

En la segunda cubierta las traves principales se conectan entre sí apoyándose sobre las columnas, debido sobre todo a la operación de la torre de perforación, cuya base se desliza sobre los patines superiores de las traves longitudinales. El sistema de cargas gravitacionales de esta cubierta está integrado en general por cargas concentradas sobre las traves longitudinales, provenientes de edificios (paquetería de perforación) y torre de perforación, cuya estructura es independiente de la cubierta.

Las traves longitudinales son apoyadas lateralmente en todo su peralte por -- traves intermedias a cada 10'-0" (3.05 m), y son diseñadas con acartelamientos verticales en sus extremos, logrando una mayor área de cortante y módulo de sección acorde con los requerimientos por flexión.

Las traves correspondientes a marcos transversales sobre las cuales inciden -- cargas gravitacionales relativamente pequeñas, se hallan solicitadas por elementos mecánicos importantes, como resultado de los desplazamientos de la plataforma por efecto de las cargas de oleaje y viento principalmente. El sistema de largueros impide al párdco lateral en los patines superiores de estas -- traves cuya sección transversal es constante.

Con relación a las columnas, su diámetro se establece en función del diámetro de los pilotes, con el que deben ser compatibles; y a su vez, el pilote de -- be ser compatible con el espesor de la columna. El espesor requerido en las

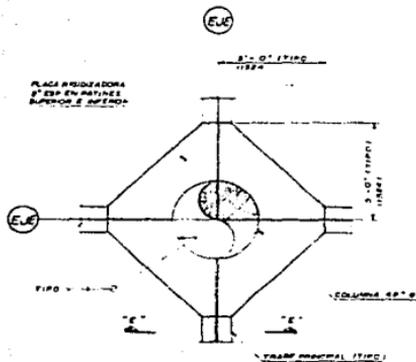
columnas es de $1\frac{1}{4}$ " (3.18 cm) en promedio, el cual relacionado con el diámetro determina que estos elementos no sean objeto de pandeo local. Los efectos locales por concentraciones de esfuerzos originados a partir de la incidencia de miembros sobre las columnas, son resistidos con la utilización de anillos soldados por el interior de éstas, o con solapas exteriores de placa rolada.

MARCO BASE DE DESLIZAMIENTO.

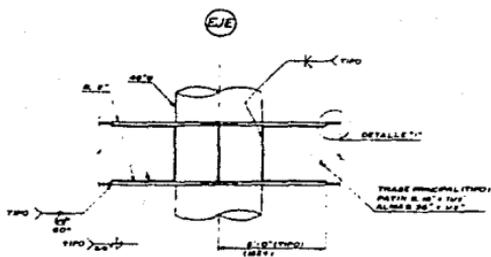
Dada la imposibilidad de izar a la superestructura por las limitaciones de las grúas utilizadas en patios para la fabricación, es menester arrastrarla para efectuar su embarque, por lo que es necesario apoyarla sobre una estructura denominada trineo o base de deslizamiento.

El marco de deslizamiento es requerido desde el inicio de la fabricación, ubicándolo sobre las traveses del patio e iniciando sobre él la construcción de la superestructura. Su función principal consiste en mantener las posiciones relativas de las columnas de la superestructura durante su arrastre, distribuyendo en las ocho las cargas generadas durante la maniobra. Otra de sus funciones es la de distribuir la descarga de cada una de las columnas sobre las traveses de fabricación del patio.

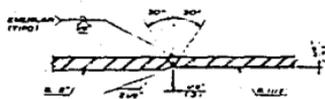
Se halla constituido por dos traveses coincidentes con los ejes longitudinales de la superestructura, interconectadas con elementos tubulares, constituyendo en conjunto una armadura horizontal. Las traveses se apoyan sobre polines de madera, mismos que constituyen el material de contacto con las traveses del patio. Las traveses del marco rematan en ambos extremos con orejas a partir de las cuales se conectan los grilletes y estrobo utilizados para su arrastre.



DETALLE
PLACA RIGIDIZADORA
ESC. No. 1:1.0



SECCION "E - E"
ESC. No. 1:1.0



DETALLE "I"
ESC. No. 1:1.0

Figura 2.13

2.3 CIMENTACION.

La cimentación correspondiente a las plataformas fijas de acero en la Sonda de Campeche, se halla constituida por pilotes tubulares de sección circular, con punta abierta, cuyas características principales se describen a continuación:

- 1.- Cada pilote consta de dos partes, una de ellas se halla contenida en el suelo marino, penetrando a profundidades que oscilan entre 250'-0" (76.22 m) y 350'0" (106.71 m) en promedio. La otra parte sobresale del suelo, ubicándose en el interior de las piernas de la subestructura, a través de las cuales se extiende hasta la elevación (+) 24'-0" (7.32 m) sobre el nivel medio del mar.
- 2.- La condición anterior determina la división del pilote en dos sistemas: Sistema suelo-pilote y sistema subestructura-pilote, división que obedece también a las diferencias en cuanto al comportamiento del pilote y al tratamiento que se da a su diseño y análisis.
- 3.- El pilote se integra de varios segmentos con diferentes espesores, de acuerdo a la magnitud de los elementos mecánicos que actúan en él y a la variación que presentan a lo largo de su longitud. Las secciones más grandes se ubican en las inmediaciones del lecho marino, donde los elementos mecánicos son máximos.
- 4.- Las secciones que se requieren para estos elementos, cuyo diámetro regular es de 48" (1.22 m), corresponden a espesores que os-

cilan entre 1 1/4" (3.18 cm) y 2 1/4" (5.72 cm), requiriéndose también por lo regular el empleo de aceros especiales (ASTM A-537 - o ASTM A-633) en la zona de elementos mecánicos máximos, para no recurrir a espesores excesivamente grandes con acero normal --- (ASTM A-36).

- 5.- Los segmentos que conforman al pilote se conectan con soldaduras de penetración completa, de acuerdo con los requerimientos del - API-RP2A, en base a lo dispuesto por el Código ANSI AWS D1.1.
- 6.- El pilote se hínca en el suelo marino por percusión, requiriendo en la punta un bisel que favorezca el corte del terreno (zapata de hincado) facilitando la penetración.

2.3.1 SISTEMA SUELO-PILOTE.

El sistema integrado por el suelo y los pilotes constituye el sistema de apoyos de la plataforma, con la cual interactúa a través del sistema subestructura-pilotes.

El trabajo conjunto del suelo y el pilote es no lineal, lo que origina que la determinación de su comportamiento resulte compleja y se requiera normalmente el empleo de programas de computadora para su rápida solución. Las características del sistema se determinan con base en un proceso iterativo, en donde las variables son el conjunto de -- cargas sobre los pilotes y la respuesta del sistema suelo-pilote; por lo que debe partirse de una configuración inicial del pilote, basada en un sistema de cargas supuesto.

Las características mecánicas del suelo en la Sonda de Campeche, dan lugar a que el sistema soporte por fricción el mayor porcentaje de las cargas axiales y la participación de la punta sea baja, a excepción - de algunos sitios en donde ésta puede ser ubicada en estratos arenosos resistentes. Cabe mencionar que solamente en condiciones de car-

ga accidentales es solicitada la participación de la punta del pilote. La fricción demandada por la carga, desarrollada entre el suelo y el pilote, origina la disminución gradual de dicha carga, en función de la penetración del pilote, requiriéndose por consiguiente secciones - de menor área a profundidades mayores.

El confinamiento que el suelo proporciona al pilote, impide su falla - por inestabilidad, por lo que el diseño del pilote se efectúa en base a los esfuerzos permisibles para columnas cortas.

En relación a las cargas laterales, el terreno posee en general escasa capacidad en los estratos superiores, lo que provoca una mayor participación del pilote en esta zona para soportar tal requerimiento, - induciendo en este último, momentos flexionantes de gran importancia. A mayor profundidad, el suelo adquiere mayor capacidad de carga lateral y tomando gradualmente la carga, disminuyen los efectos flexionantes en el pilote, hasta que éstos dejan de ser importantes a una penetración aproximada de 60'-0" (18.3 m).

La subestructura ejerce sobre cada uno de los pilotes, restricción al giro al nivel de la superficie del terreno, la cual se halla en función de las propiedades de la sección del pilote, así como de la rigidez de la subestructura.

Es esta zona la que se ha establecido como frontera la interrelación - entre los dos sistemas en que se ha dividido al pilote.

2.3.2 SISTEMA SUBESTRUCTURA-PILOTE.

Los pilotes sobresalen del suelo marino, llegando hasta la elevación - (+)24'-0" a través de las piernas de la subestructura, las cuales cuentan con elementos denominados espaciadores que reducen la holgura entre el diámetro exterior del pilote y el diámetro interior de la pierna, restringiendo su longitud libre de pandeo. En la elevación ---

(+)22'-6" se verifica la conexión rígida entre ambos elementos, constituyendo de esta manera el sistema en el que la subestructura se halla suspendida de los pilotes, transmitiendo sus cargas en dicha conexión, así como a través de los espaciadores. Simultáneamente, los espaciadores proporcionan apoyo lateral a los pilotes, limitando su longitud libre de pandeo.

El conjunto de pilotes y subestructura debe resistir las cargas que afectan a la plataforma, transmitiendo sus efectos al sistema suelo-pilote al nivel del lecho marino, sitio que se considera como frontera entre ambos sistemas.

Las secciones de los pilotes contenidas en las piernas de la subestructura, se diseñan con base en la teoría de flexocompresión, para columnas esbeltas y su análisis se lleva a cabo en forma conjunta con la subestructura y superestructura en un modelo tridimensional. Los efectos de flexión más importantes se registran en las proximidades del lecho marino y en la zona donde se verifica su conexión rígida con la subestructura y superestructura.

La transmisión de cargas entre la subestructura y los pilotes a través de los espaciadores, es exclusivamente de fuerzas cortantes. La acción de las placas espaciadoras se modela como un elemento que conecta al pilote con la pierna de la subestructura, de tal manera que permite el desplazamiento axial relativo entre ambos, así como la rotación, impidiendo solamente sus desplazamientos laterales.

**3.0 FABRICACION TRANSPORTE E INSTALACION
DE PLATAFORMAS**

3.1 FABRICACION.

Para llevar a cabo la fabricación de Plataformas, se requiere de instalaciones especiales, a cuyo conjunto se denomina comunmente como Patio de Fabricación. La ubicación de estas instalaciones debe ser estratégica, congruente con la metodología de construcción y manejo de las estructuras que constituyen la Plataforma.

En México, la fabricación de Plataformas marinas se lleva a cabo en patios construidos expresamente para este objeto, localizados en los estados de Tamaulipas y Veracruz, en las Ciudades de Tampico-Madero y Tuxpan respectivamente.

Los patios se hallan ubicados en las margenes de los ríos Pánuco, y Tuxpan, próximos a su desembocadura, condición necesaria para el embarque de las estructuras fabricadas. Cuentan con instalaciones y equipos necesarios para efectuar la fabricación de acuerdo con normas, códigos y especificaciones a que se hallan sujetas obras de esta naturaleza; entre las instalaciones destacan los muelles que dan acceso a las embarcaciones, y las trabes para fabricación.

El objeto de la fabricación en el patio, consiste en obtener partes de la estructura total, susceptibles de ser conectadas e instaladas en mar con un mínimo de trabajo. Las partes principales que integran a la estructura total de una plataforma son: Superestructura, Subestructura y Cimentación. Como se ha expresado, cada una de estas partes se fabrica separadamente, para ser integradas en mar y formar de esta manera la estructura de la Plataforma propiamente dicha.

La fabricación se lleva a cabo a cielo abierto y en función de las condiciones de viento y lluvia, se recurre a proteger localmente los procesos de soldadura. La figura 3.1 muestra en forma esquemática, el arreglo general de un Patio para fabricación de Plataformas.

Los travesaños para fabricación son estructuras sobre las cuales se lleva a cabo la construcción de la Subestructura y Superestructura. Se desplantan a escaza profundidad y generalmente se cimentan sobre pilotes. Sus objetivos principales son:

- a) Soportar las cargas debidas al peso propio de la Subestructura y/o Superestructura, así como equipos, tuberías y accesorios de éstas durante el proceso constructivo, proporcionando un apoyo con suficiente rigidez.
- b) Constituir una base para el deslizamiento de la Subestructura y Superestructura, conduciéndolas hasta su embarque.

Existen diversos procedimientos de fabricación aplicables a cada una de las partes que integran a la Plataforma, basados en técnicas desarrolladas inicialmente en otros países, pero que han sufrido una evolución, de acuerdo con los recursos que se tienen en el país, y acordes con las características y organización de cada patio, así como a los requerimientos de Pemex en cuanto a rapidez, empleo de materiales y perfiles estructurales nacionales, equipo y embarcaciones con que cuenta para la instalación, etc.

Los procedimientos de fabricación pretenden que la mayor parte de la construcción se realice a nivel de piso, realizando de esta manera la prefabricación de todos los elementos que conforman a las estructuras y el mayor porcentaje de su montaje. Los accesorios por su parte, se fabrican completamente a nivel de piso y posteriormente son conectados a las estructuras principales.

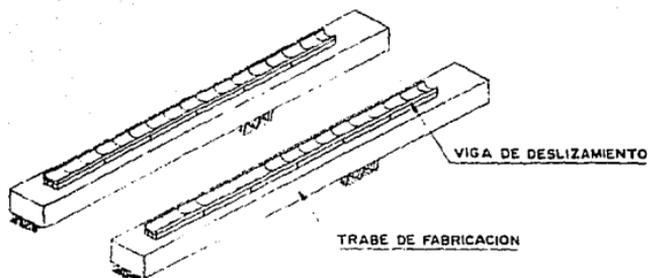
3.1.1 SUBESTRUCTURA.

Estructura Principal. El proceso de fabricación de la Subestructura se inicia con la prefabricación de sus elementos. El montaje da comienzo una vez que las camas o vigas de deslizamiento se han construido completamente sobre las traveses de fabricación del Patio.

A continuación se presenta una descripción simplificada de las etapas relevantes del proceso constructivo, representativo de Plataformas de ocho piernas.

1. Montaje de columnas A-2 y A-3 sobre vigas de lanzamiento.
2. Interconexión de columnas A-2 y A-3 mediante elementos de arriostramiento.
3. Fabricación de marcos interiores 2 y 3 a nivel de piso.
4. Abatimiento de marcos 2 y 3 hasta su posición final de fabricación.
5. Complemento de la interconexión de marcos 2 y 3 mediante elementos de arriostramiento.
6. Colocación de columnas A-1 y A-4 sobre elementos temporales de apoyo.
7. Interconexión de columnas A-1 y A-2, A-3 y A-4, mediante elementos de arriostramiento. (se completa la fabricación del eje A).
8. Fabricación de marcos exteriores 1 y 4 a nivel de piso.
9. Abatimiento de marcos, 1 y 4 hasta su posición final de fabricación.
10. Complemento de la interconexión de marcos 1 y 2, 3 y 4 mediante elementos de arriostramiento.

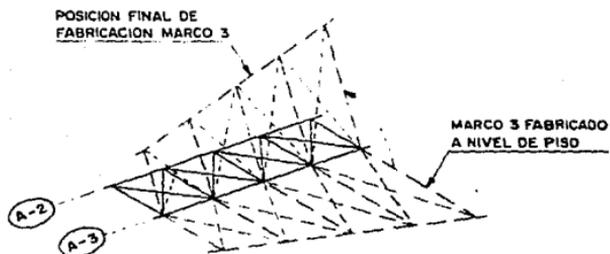
Las siguientes figuras y fotografías muestran el procedimiento de fabricación descrito.



ESQUEMA DE TRABES DE FABRICACION Y VIGAS DE DESLIZAMIENTO



MONTAJE DE PIERNA DE LA SUBESTRUCTURA
EN VIGA DE DESLIZAMIENTO



ETAPAS 2, 3 Y 4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
DE LA SUBESTRUCTURA

Las conexiones se realizan de acuerdo con las recomendaciones del API RP-2A considerando tolerancias constructivas de acuerdo con las normas de Pemex. La ejecución de las soldaduras, su inspección y pruebas, se realizan de acuerdo con el código ANSI AWS D1.1.

Durante la fabricación de la Subestructura, le son colocados los ánodos de sacrificio para su protección contra la corrosión. Así mismo, se sujeta al proceso de limpieza con chorro de arena a metal blanco, en aquellas superficies sujetas a la aplicación de recubrimientos para su protección contra la corrosión en la zona de mareas y zona atmosférica.

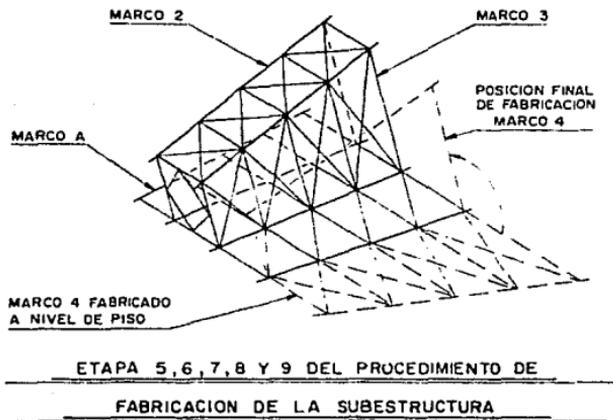


Figura 3.3



FABRICACION DE SUBESTRUCTURAS PARA PLATAFORMAS
DE PERFORACION EN EL PATIO DE CELASA TUXPAM, VER. MEXICO 1985

Figura 3.4

A C C E S O R I O S .

Accesorios tales como el sistema de inundación, tapas inferiores, tapas superiores, camisas, guías de conductores y orejas de izaje son montados en la estructura principal durante el proceso de fabricación de ésta, aprovechando la estancia temporal de los marcos a nivel de piso.

Los embarcaderos, defensas, pasillos, placa base, orejas de arrastre, -- tanques de flotación, y estructura para estrobos, se fabrican a nivel de piso, y su montaje en la estructura principal se efectúa una vez que ésta ha quedado construida prácticamente en su totalidad, e incluso durante la etapa de instalación, como es el caso del embarcadero y defensas - ubicadas en el marco "A", como consecuencia de las limitaciones de espacio entre la elevación del marco "A" y el nivel del piso del patio, así - como con relación a estas mismas limitaciones con respecto al chalán de transportación.

Las alfardas de escaleras y barandales, son fabricados normalmente en sitios ajenos a los patios, donde se les somete al proceso de galvanizado - por inmersión en caliente y son colocados en la subestructura durante su instalación en mar.

Algunos accesorios son recuperables, pudiendo emplearse en otros proyectos similares, a este grupo pertenecen los tanques de flotación, estructura para estrobos y tapas superiores.

La fabricación de accesorios se lleva a cabo de acuerdo con especificaciones y normas de Pemex, incluyendo su recubrimiento y acabado.

3.1.1 SUPERESTRUCTURA.

La fabricación de la superestructura da comienzo con la prefabricación de sus elementos principales, integrados por columnas y traveses. La prefabricación de las columnas incluye la fabricación y montaje de sus guías para acoplamiento y tapas superiores.

Al nivel del piso las columnas son conectadas entre sí, con traveses de la primera cubierta, integrando parcialmente los marcos A y B, mismos que son izados e instalados sobre un marco de deslizamiento dispuesto previamente sobre las traveses de fabricación del patio, mantenidos en posición vertical con apuntalamientos temporales.

En la siguiente etapa, ambos marcos se interconectan con el resto de las traveses principales transversales de la primera cubierta, obteniéndose en forma parcial los marcos 1,2,3 y 4. La fabricación prosigue con la prefabricación y montaje de largueros, elementos secundarios y rejilla que constituyen el sistema de piso de esta cubierta.

Paralelamente a las actividades señaladas, la segunda cubierta se construye totalmente al nivel del piso, incluyendo su limpieza y recubrimiento.

La siguiente etapa consiste en el montaje de la totalidad de la segunda cubierta sobre las columnas; para lo cual, ésta es izada mientras que las columnas y primera cubierta son deslizadas, ubicándolas finalmente justo por debajo de ella. En estas condiciones, la segunda cubierta es apoyada sobre las columnas, para ser conectada e integrar de esta manera la totalidad de la superestructura.

Durante la construcción de la segunda cubierta se montan soportes y arreglos de tubería, conduits, cables eléctricos, instrumentos, etc., aprovechando su estancia a nivel del piso.

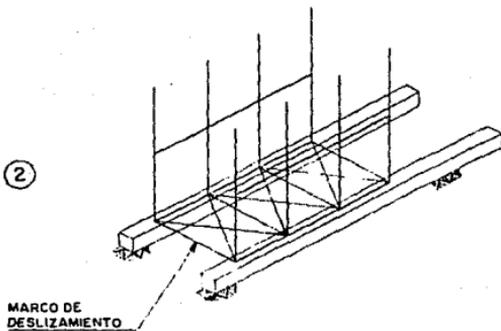
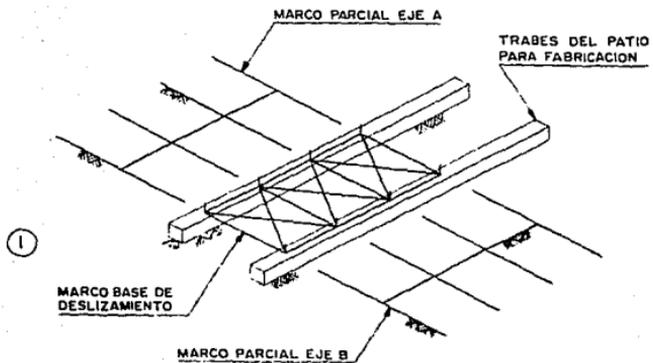
Accesorios tales como escaleras, barandales, orejas para izaje, etc.-

se instalan en la superestructura en el momento en que pueden ser --
útiles.

La totalidad de los materiales empleados en la fabricación de la supe-
restructura son de acero ASTM A-36. Los largueros y elementos secun-
darios son perfiles rolados en caliente, en su mayoría de manufactura
nacional; las trabes principales son elementos de tres placas soldadas,
cuya prefabricación se efectúa en el propio patio.

Las tolerancias en cuanto a la rectitud de los elementos y geometría -
de las secciones roladas en caliente o prefabricadas, corresponden a
las indicadas en manuales de diseño y construcción, así como de fabri-
cantes de perfiles (AISC, IMCA, AHMSA, etc). Todas las conexiones son
soldadas, debiendo sujetarse a las normas y disposiciones del Código -
ANSI AWS D1.1 vigentes. Las tolerancias relacionadas con la fabrica-
ción de la superestructura, tales como desniveles, desplomes, desali-
neamientos, etc., son establecidas por PEMEX en sus especificaciones -
correspondientes. De igual forma, la limpieza y recubrimiento de la
superestructura se realizan de acuerdo con las especificaciones esta-
blecidas por PEMEX.

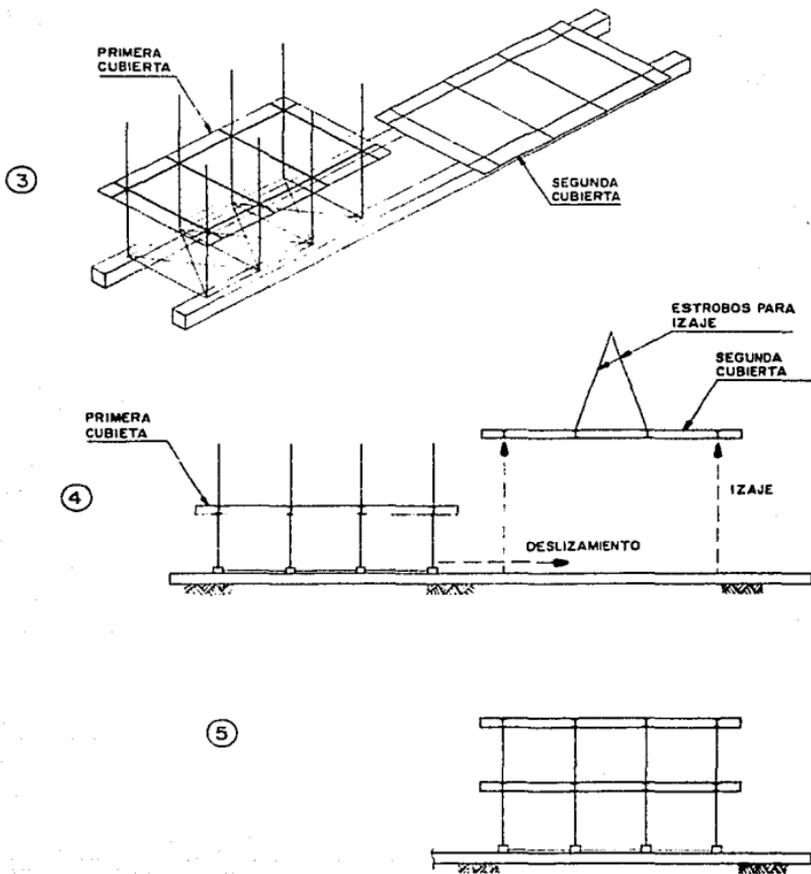
La siguiente serie de ilustraciones muestra en forma esquemática las
principales etapas del proceso de fabricación de la superestructura.



ETAPAS DE FABRICACION

DE LA SUPERESTRUCTURA

Figura 3.5



FABRICACION Y MONTAJE DE CUBIERTA

Figura 3.6



FABRICACION DE SUPERESTRUCTURAS PARA PLATAFORMAS
DE PERFORACION EN EL PATIO DE CELASA TUXPAM, VER. MEXICO 1985.

Figura 3.7



SUPERESTRUCTURA TERMINADA EN PROCESO DE LIMPIEZA,
PINTURA E INSTALACION DE EQUIPO Y TUBERIA.

PATIO DE CELASA TUXPAM, VER. MEXICO 1985.

Figura 3.8

3.1.3 PILOTES.

Las características mecánicas del suelo, así como los tirantes prevalecientes en la Sonda de Campeche, demandan pilotes de grandes longitudes, dando origen a que éstos se constituyan por varios tramos, susceptibles de ser conectados en mar durante su instalación. Las longitudes y configuración de los tramos de pilotes se obtienen en función de las condiciones de su manejo, transportación e hincado, complementarios de su análisis y diseño en conjunto con el resto de la estructura de la plataforma.

La fabricación de cada tramo de pilote se lleva a cabo uniendo varias piezas de tubería, hasta lograr el arreglo y longitud requeridos. La unión de las piezas se efectúa con procesos automáticos de soldadura circunferencial, combinándolos en ocasiones con procesos manuales. La soldadura se aplica por el exterior e interior de la tubería, debiendo ser de penetración completa.

El proceso de soldadura automática es con arco sumergido, donde las boquillas alimentadoras de electrodo y fundente son fijas; y las piezas que se conectan son giradas y alineadas con un sistema de rodillos. Para el traslado de las piezas se utilizan comúnmente grúas apoyadas sobre orugas o neumáticos, sin embargo, se han diseñado inclusive sistemas de grúas viajeras para este objeto, utilizadas también durante la fabricación de las piernas de la subestructura y columnas de la superestructura.

Las piezas de tubería utilizadas para la fabricación de los tramos de pilote pueden ser de manufactura nacional o de importación, con medidas usuales de 48" ϕ y espesores de 1 1/4" (3.18 cm) a 2 1/4" (5.72 cm), debiendo satisfacer las especificaciones API-2B, referidas a su geometría, dimensiones, procesos de soldadura aplicables y pruebas correspondientes, de acuerdo con el Código AWS. D1.1.

La preparación requerida en los extremos de las piezas para su conec-

xión, consiste en biselarlos de acuerdo a las configuraciones para co nexiones precalificadas de penetración completa. El tipo de electrodo utilizado para fondeo corresponde a la clasificación E-60-10, mien--- tras que para el resto del cordón se emplea el tipo E-70-18, recomen- dado por su bajo contenido de hidrógeno para la conexión de piezas -- con espesores mayores de 1" (2.54 cm) (Sección 4.1 AWS. D1.1). Las conexiones circunferenciales se sujetan a pruebas radiográficas en el 100% de su longitud.

Las grandes dimensiones en la longitud de los tramos de pilotes permi ten que sean admitidas diferencias parciales en la longitud de las -- piezas y tramos totales hasta de (+) 1'-0" (0.31 M), siempre que la - longitud total del pilote también se ajuste a esta tolerancia; con lo cual se disminuyen desperdicios de material.

Para efectuar la conexión de tramos de pilote en la etapa de instala- ción, éstos son preparados con guías de acoplamiento en sus extremos, las cuales tienen la función de alinearlos y de servir como elementos de respaldo requeridos para obtener la penetración completa de la sol dadura.

Concluida la fabricación de los tramos de pilotes, éstos se almacenan próximos al muelle del patio para su posterior embarque. El orden en que son embarcados los tramos corresponde al requerido para su insta- lación, de acuerdo a la secuencia de hincado.

3.2 TRANSPORTACION

La etapa de transportación de la subestructura, superestructura y pilotes, -- comprende todas las actividades requeridas para disponer de estas estructu--
ras en el sitio de su instalación.

Como se ha mencionado, las componentes estructurales de las plataformas se --
construyen en patios localizados en sitios distantes a la Sonda de Campeche, --
lo que origina la necesidad de efectuar su traslado, mismo que solo puede rea
lizarse por vía marítima, lo cual constituye una de las características de es
te tipo de estructuras.

La etapa de transportación da inicio con las actividades de embarque de las -
estructuras, cuyo objeto es el de subirlas y asegurarlas sobre la embarcación
destinada para su transporte.

3.2.1 TRANSPORTACION DE LA SUBESTRUCTURA.

EMBARQUE.

La subestructura cuenta con accesorios diseñados expresamente para las
maniobras de embarque, identificados como sistemas de deslizamiento, --
el cual consta de una base de madera formada por las vigas de desliza-
miento y orejas de arrastre a partir de las cuales se sujeta a la su-
bestructura para tirar de ella mediante un sistema de poleas y malaca
tes u otro medio de tracción. Los preparativos para el embarque de la
subestructura consisten en su deslizamiento sobre las traveses de fabri-
cación del patio, hasta aproximarla al muelle, mientras que por otro -
lado, el chalán para su transporte se alinea con las traveses del patio -
y se sujeta mediante cables a las bitas ancladas en las proximidades -
del muelle, efectuando conjuntamente su nivelación. Para efectuar el -
deslizamiento de la subestructura es necesario aplicar grasa a sus vi-

gas de deslizamiento, así como a las trabes del patio y del chalán.

El chalán para el transporte de la subestructura se conoce como chalán de lanzamiento, ya que se halla equipado para realizar esta maniobra, para la cual dispone de un par de malacates, un par de trabes de lanzamiento, un sistema de bombeo y un sistema de sisternas para lastrado y nivelación.

Logrado el alineamiento y nivelación del chalán, el sistema de cables y poleas que provienen de las orejas de arrastre de la subestructura, y le son conectados a sus malacates, cuya operación reanuda el deslizamiento de ésta, conduciéndola hacia el chalán, hasta quedar contenida completamente sobre él .

Una vez que la subestructura se encuentra ubicada convenientemente sobre el chalán, se sujeta mediante elementos tubulares denominados amarres, cuya función es mantener unidos a ambos durante la travesía, evitándoles todo tipo de daños. La conexión de los amarres con el chalán y la subestructura es a base de soldadura; su número, ubicación y disposición, así como diámetro y espesor se determinan a partir del análisis de transportación basado en el empleo de programas de computadora diseñados expresamente para la simulación y solución de esta condición.

TRANSPORTE.

La duración de la transportación es de tres días aproximadamente, la cual se realiza comúnmente durante condiciones meteorológicas favorables; considerándose como condiciones críticas aquellas que corresponden a un periodo de retorno de un año, cuyas características son:

Altura de oleaje	24'-0" (7.3 m)
Periodo de la ola.....	10.9 Seg.
Velocidad del viento.....	32.0 MPH (51.5 Km/hr)

El chalán carece de autopropulsión, requiriendo ser conducido durante todo el trayecto por un remolcador con motor de 2500 BHP aproximadamente.

3.2.2 TRANSPORTACION DE PILOTES.

EMBARQUE.

Previamente a la maniobra de embarque, los tramos de pilotes son trasladados desde el área de su almacenaje hasta el muelle. Estos trabajos se realizan con el empleo de dos grúas, ya que sólo de esta manera se asegura el control en el movimiento de los tramos y pueden sostenerse en los puntos de apoyo apropiados para su izaje, dada la gran longitud de algunos de ellos.

Para iniciar el embarque, el chalán es acoderado longitudinalmente en el muelle, acondicionándolo a continuación con pequeñas columnas encargadas de impedir el movimiento lateral de los tramos de pilotes. Tales columnas son regularmente de sección tubular de 14" \varnothing constituidas por materiales del desperdicio de la fabricación, o bien de secciones que no cumplen con las especificaciones para formar parte de la estructura de una plataforma.

El embarque de los pilotes consiste en izarlos horizontalmente y depositarlos sobre el chalán, apilándolos ordenadamente, para finalmente sujetarlos con cables a partir de las columnas de contención. Los tramos de pilotes que se apoyan directamente sobre la cubierta de la embarcación, se sujetan a ésta mediante placas que impiden su desplazamiento longitudinal y de rotación. El resto de los tramos apilados son interconectados en sus extremos con placas que cumplen el mismo objetivo.

El orden en que se embarcan los tramos considera la secuencia en que serán requeridos durante su instalación.

TRANSPORTE.

Dado que la instalación de los pilotes se realiza inmediatamente después de que la subestructura ha sido depositada en su localización, su transporte se efectúa simultáneamente al de ésta, observando la misma duración, siendo afectado por las mismas condiciones meteorológicas. La embarcación utilizada para transportar a los pilotes es conocida como chalán plano, que viene a ser la característica de su cubierta, la cual se halla libre de obstáculos o aditamentos. Al igual que el chalán de lanzamiento, no dispone de autopropulsión requiriendo el auxilio de un remolcador.

El chalán de pilotes permanece acoderado con el barco grúa desde su arribo al sitio de la instalación. Los tramos de pilotes son liberados de sus amarres hasta el momento en que son requeridos para su hincado.

3.2.3 TRANSPORTACION DE LA SUPERESTRUCTURA.

Para su embarque la Superestructura es desplazada hasta el muelle del patio sobre las trabes de fabricación, con las cuales tiene contacto a través de su marco de deslizamiento. Esta acción se realiza con un sistema de tracción integrado por un par de cables conectados en las orejas para arrastre del marco, mismos que pasan a través de dos juegos de poleas ancladas en las bitas del muelle y que son jalados simultáneamente por dos grúas.

Una vez que concluye esta maniobra, inician las actividades de acoderamiento del chalán de transporte, consistentes en su alineamiento con -

las trabes del patio, su nivelación y fijación. Operación que es llevada a cabo con el auxilio de dos barcos remolcadores.

El chalán utilizado para el transporte de la superestructura es de tipo plano, acondicionado con guías para el deslizamiento de ésta sobre su cubierta. Tales guías delimitan la trayectoria del deslizamiento de la estructura sobre el chalán, debiendo engrasarse previamente.

Otro aditamento con el que se acondiciona al chalán, corresponde a un par de orejas soldadas en las proximidades de su proa, a partir de las cuales son anclados los dos juegos de poleas para proseguir en su oportunidad con el deslizamiento de la superestructura.

Con la tracción ejercida por las grúas sobre la superestructura a través del juego de cables y poleas, se lleva a cabo su deslizamiento hacia el interior de la cubierta del chalán, mismo que se somete a una nivelación conforme va siendo afectado por el peso de la estructura.

El embarque concluye con el amarre de la estructura, sujetándola al chalán con puntales soldados a ambos, los cuales usualmente son de sección tubular de 12 3/4" Ø, empleando tres de ellos en cada columna.

La transportación, se halla sujeta a las mismas condiciones descritas para la subestructura y pilotes.

3.3 INSTALACION

3.3.1 INSTALACION DE SUBESTRUCTURA Y PILOTES

3.3.1.1. LANZAMIENTO DE LA SUBESTRUCTURA.

Las principales características que determinan la necesidad de que la subestructura sea lanzada al mar son sus dimensiones y peso, así como las capacidades del equipo para instalación de que se disponga.

En la Sonda de Campeche, Pemex cuenta actualmente con dos barcos equipados con gruas de 1800 Ton de capacidad de operación máxima, destinados a la instalación de plataformas; y a pesar de que el peso promedio de una subestructura es de 1200 Ton, las dimensiones de ésta impiden que la grúa sea capaz de efectuar su izaje y rotación a la posición vertical, directamente a partir del chalán, por lo que se recurre a depositarla en el mar, donde es capaz de flotar, condición en la que es susceptible de ser girada a la posición vertical e izada -- parcialmente por el barco grúa, dispuesta para su instalación.

La acción mediante la que se logra depositar a la subestructura en el mar se denomina lanzamiento o botadura.

Conocido el requerimiento del lanzamiento de la subestructura, se incluyen en su diseño y construcción, accesorios necesarios para tal efecto, integrados por un sistema de lanzamiento y uno de flotación. Las vigas de deslizamiento y las orejas para arrastre de la subestructura forman el primer sistema, mientras que al segundo lo forman las tapas inferiores y superiores, los tanques de flotación y sistema de inundación.

Por su parte, el chalán que ha de servir para el transporte de la subestructura, cuenta con características particulares que lo identifican como chalán para lanzamiento. Tales características son fundamentalmente que cuenta con un sistema autónomo de lastrado, un sistema -

de deslizamiento y un sistema de vigas giratorias.

El sistema de lastrado del chalón, se halla formado por un arreglo de cisternas que segmentan su volumen total, con las cuales puede lograr se la estabilidad y nivelación deseadas, inundándolas mediante la acción de bombas que forman parte integral de este sistema.

El sistema de deslizamiento se integra por un par de vigas instaladas sobre la cubierta del chalón, a lo largo de éste, apoyadas de tal manera que pueden desconectarse con facilidad y ubicarse a la separación requerida, compatible con las dimensiones de la subestructura. El chalón cuenta también con dos malacates, alineados con las vigas de deslizamiento, los cuales operan en combinación con cables y poleas que se enganchan a la subestructura para tirar de ella y lograr su deslizamiento, en las maniobras de embarque y lanzamiento.

Los extremos de las vigas de deslizamiento culminan en un sistema de vigas giratorias, cuya separación puede ajustarse para coincidir con las primeras. Las vigas giratorias adquieren esta denominación por estar conectadas al chalón mediante un pasador.

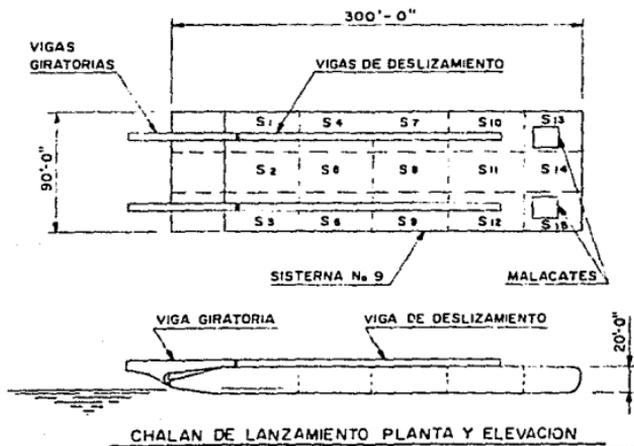


Figura 3.9

La maniobra de lanzamiento de la subestructura involucra la participación de dos remolcadores, el barco grúa para instalación y el propio chalán de lanzamiento. Las etapas principales de esta maniobra se describen a continuación.

A. INSPECCION DE LA SUBESTRUCTURA Y LASTRADO DEL CHALAN.

En etapa previa a su lanzamiento, la subestructura es objeto de una inspección general por parte del contratista de instalación y por personal de Pemex, que incluye la verificación de que el sistema de inundación de las piernas de ésta se encuentre cerrado. Tapas, tanques de flotación, embarcadero, estructura para estrobamiento y demás accesorios son revisados.

El sistema de lastrado del chalán es operado para lograr una inclinación favorable de éste para el lanzamiento (pendiente de 3% a 4% aproximadamente).

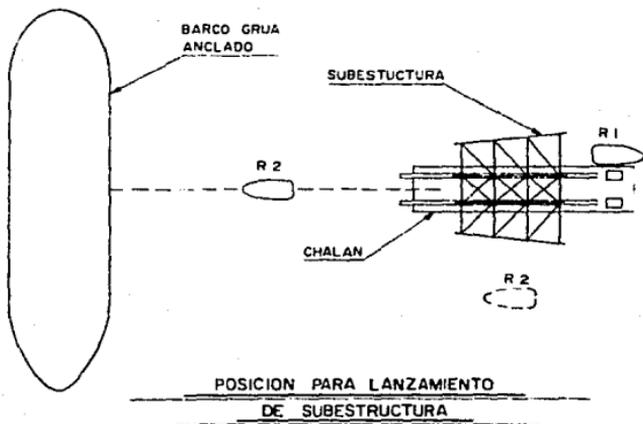


Figura 3.10

B. LIBERACION DE LA SUBESTRUCTURA.

Los amarres que fijan a la subestructura sobre el chalán, son cortados con oxiacetileno en ambos extremos, consiguiendo que la subestructura se halle solamente apoyada libremente en las vigas de deslizamiento, que constituyen apoyos guiados longitudinalmente. El remolcador R1 mantiene en posición al chalán.

C. INSTALACION DE CABLE PARA CONTROL.

La subestructura se conecta a un cable de control proveniente del barco grúa, que sirve para aproximarla a éste, después de que se efectúa el lanzamiento, para proseguir con la maniobra de izaje. El cable de control es instalado con la participación del remolcador R2.

D. DESPEGUE DE LA SUBESTRUCTURA.

La grasa utilizada para el deslizamiento de la subestructura durante su embarque, desarrolla a lo largo de varios días una acción adherente entre las vigas de deslizamiento de ésta y las del chalán, lo cual en ocasiones hace insuficiente la acción de los malacates durante la maniobra de lanzamiento. Esta condición ha originado la necesidad de utilizar gatos hidráulicos para imprimir un desplazamiento inicial a la subestructura, rompiendo la adherencia mencionada, precediendo a la acción de los malacates.

E. LANZAMIENTO.

Los malacates son accionados, iniciándose el deslizamiento de la subestructura. La acción de ambos malacates se coordina para mantener a la subestructura alineada sobre las vigas del chalán. Una vez que el centroide de la subestructura rebasa la posición del pasador de la viga giratoria, ejerce un momento alrededor de éste, ocasionando el giro de vigas y subestructura, acelerando su movimiento de ingreso al -

mar. La subestructura se sumerge prácticamente en su totalidad, y - al cabo de unos segundos frena por completo y adquiere su posición - de flotación en equilibrio estable. Por su parte, el chalán mantiene prácticamente invariable su posición durante su desacoplamiento - con la subestructura, debido a que la masa de esta última corresponde aproximadamente a la quinceava parte de la correspondiente al -- chalán.

La posición final de flotación en equilibrio de la subestructura debe ser preferentemente tendiente a la horizontal, la cual es propicia para la siguiente maniobra, correspondiente a su izaje.

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA MANIOBRA DE LANZAMIENTO.

Las condiciones ambientales que deben prevalecer durante el lanzamiento e instalación de la subestructura son las de mar en calma, - que corresponden a alturas de oleaje de 5'-0" (1.52 m) aproximadamente, y velocidades de viento despreciables. En general, estas -- condiciones son requeridas para la operación segura de la grúa de - instalación, la cual sólo admite un margen de balanceo total de hag ta cinco grados alrededor del eje longitudinal del barco, que se -- traduce en un desplazamiento vertical aproximado de 5'-0" (1.52 m)- en el gancho de la grúa en posición de operación.

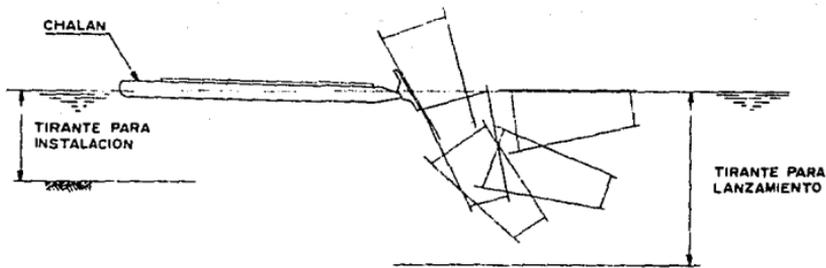
TIRANTE DE AGUA REQUERIDO PARA EL LANZAMIENTO DE LA SUBESTRUCTURA.

Las características geométricas de la subestructura, así como su re lación peso/flotación, influyen de manera determinante tanto en el movimiento que describe dentro del agua, como en la posición final - de equilibrio que adquiere. Un factor secundario que también puede influir en el movimiento que describe la subestructura dentro del - agua es el ángulo con el que penetra en el mar al ser lanzada.

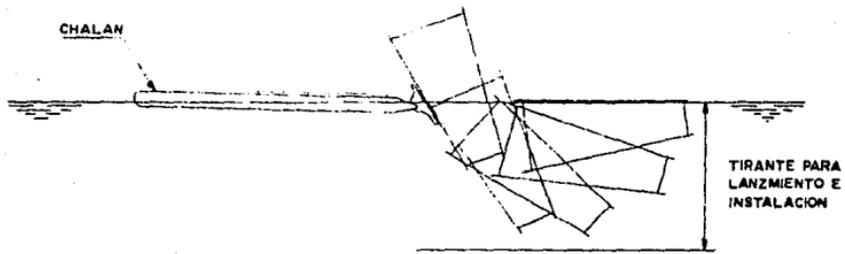
El movimiento de la subestructura dentro del agua, determina la magnitud del tirante en que debe lanzarse, el cual puede llegar a ser mayor que el tirante del sitio de instalación de la plataforma, dando lugar a que el lanzamiento se efectuó en un sitio alejado; y que posteriormente la subestructura sea trasladada, involucrando maniobras adicionales de las embarcaciones. Las subestructuras para tirantes medios de la Sonda de Campeche (130'-0") a 170'-0" (51.8 m), tienen por lo regular un comportamiento satisfactorio en su lanzamiento, y la posición final de flotación que adoptan es adecuada, permitiendo que la maniobra se efectúe en la propia localización de diseño de la plataforma, es decir, que el tirante requerido para el lanzamiento es menor o igual que el tirante en que se instala a la plataforma. Por el contrario, las subestructuras para tirantes pequeños (menores de 120'-0" (36.60 m)), requieren ser lanzadas en tirantes mayores, y llegan a presentar posiciones finales de flotación inadecuadas.

Invariablemente, el contratista de instalación debe conocer la información de diseño referente a la secuencia de lanzamiento, dimensiones, peso y flotación de la subestructura, así como la relativa a las embarcaciones involucradas en la maniobra.

Las subestructuras de tirantes pequeños pueden prescindir del lanzamiento y ser izadas directamente a partir del chalán, sin embargo, esta maniobra implica un mayor riesgo en la operación de la grúa, por lo que se prefiere recurrir a su lanzamiento. Las ventajas que ofrece el izaje directo son: a). La utilización de un chalán plano, cuyo arrendamiento es menor que el de un chalán de lanzamiento; b). La maniobra se efectúa directamente en el sitio de instalación, evitando el traslado de la subestructura.



LANZAMIENTO DE SUBESTRUCTURAS DISEÑO PARA
TIRANTES PEQUEÑOS EN LA SONDA DE CAMPECHE



LANZAMIENTO DE SUBESTRUCTURAS DISEÑO PARA
TIRANTES MEDIOS EN LA SONDA DE CAMPECHE

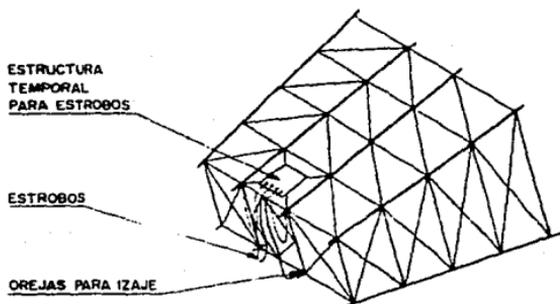
Figura 3.11

3.3.1.2 IZAJE DE LA SUBESTRUCTURA.

La maniobra de izaje de la subestructura consiste en llevarla a la posición vertical a partir de su condición de flotación en equilibrio, mediante la acción del barco grúa, levantándola a una altura conveniente para trasladarla a su localización de instalación, depositándola finalmente sobre el lecho marino.

A. PREPARATIVOS EN PATIO DE FABRICACION.

Una vez que termina la fabricación de la subestructura, la cual incluye las orejas para su izaje, es preparada para esta maniobra colocándole una estructura temporal para estrobamiento, e instalando en las orejas los grilletes y estrobos necesarios, sujetando los extremos libres de estos últimos sobre la estructura temporal. Estos preparativos se efectúan en el patio con objeto de facilitar la maniobra de izaje y abatir el tiempo de ejecución de la misma.



PREPARATIVOS PARA IZAJE

B. ESTROBAMIENTO DEL BLOCK PRINCIPAL DE LA GRUA.

La grúa con que se halla equipado el barco encargado de la instalación cuenta con un gancho o block principal con capacidad de 1800 Ton y -- dos auxiliares con capacidades de 360 Ton y 70 Ton respectivamente.

El estrobamiento del block principal de la grúa consiste en enganchar a éste los extremos libres de los cuatro estrobos provenientes de las orejas para izaje, para lo cual la subestructura es aproximada al barco mediante la acción del cable para control, a una distancia apropiada para la maniobra, la cual es regulada y mantenida mediante la acción de un remolcador que tira de la subestructura.

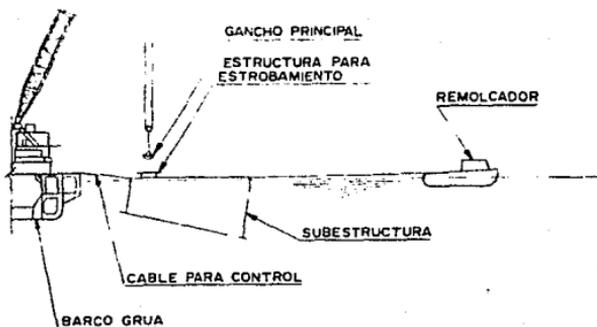
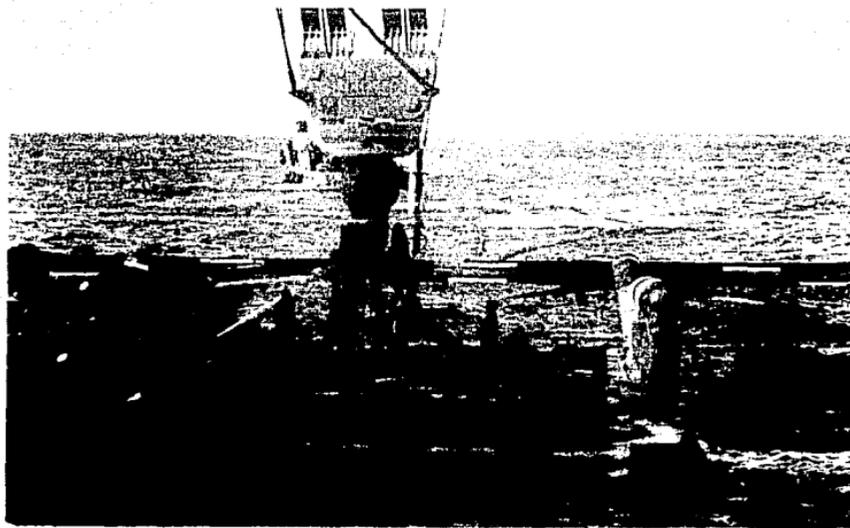


Figura 3.13



ESTROBAMIENTO DEL GANCHO PRINCIPAL.

LOS ESTROBOS PREPARADOS SOBRE LA ESTRUCTURA TEMPORAL PARA ESTROBAMIENTO SON ENGANCHADOS AL BLOCC PRINCIPAL DE LA GRUA PARA INICIAR EL GIRO E IZAJE DE LA SUBESTRUCTURA.

INSTALACION DE LA PLATAFORMA "ABKATUM-P" EN LA SONDA DE CAMPECHE, MEXICO 1987

Figura 3.14

El gancho auxiliar de 70 Ton. es el encargado de izar a cada uno de los estobos, enganchandolos en el block principal. La estructura -- temporal para estrobamiento funciona como una plataforma de trabajo -- durante esta maniobra.

Cuando la grúa adquiere el control de la subestructura, el cable de control es retirado al igual que el remolcador, llevándose a efecto a continuación el giro de la estructura, mediante el incremento progresivo de la acción de carga del gancho principal, hasta llevarla a la posición vertical.

C. TRANSPORTE DE LA SUBESTRUCTURA A SU SITIO DE INSTALACION.

Las subestructuras que son lanzadas en sitios con tirantes de agua -- mayores que los correspondientes a su sitio de instalación, son transportadas por el barco grúa, siendo izadas a una elevación conveniente para la navegación, y aseguradas a un costado del barco con amarras a base de cables.

D. LOCALIZACION, ORIENTACION Y POSICIONAMIENTO DE LA SUBESTRUCTURA.

El equipo de posicionamiento y radar con que cuenta el barco grúa, -- permite que éste ubique y oriente de manera aproximada a la subestructura en el sitio de su instalación, sin embargo, su ubicación se realizará finalmente con el empleo de aparatos topográficos de gran precisión (tránsito laser y distaciómetro), visando puntos de referencia ubicados en plataformas ya instaladas. El sitio de instalación de la subestructura es sometido a una inspección visual realizada por buzos, previamente a su depósito en el lecho marino.

Antes de efectuar la instalación de la subestructura, el barco fija su posición mediante su sistema de anclas, mismo que le permite efectuar pequeños movimientos de desplazamiento mediante la acción controlada -- de los malacates que tensan los cables de las anclas.

Una vez establecida la posición y orientación de la subestructura, es operado el sistema de inundación de sus piernas, adquiriendo mayor estabilidad ante el embate del oleaje.

A continuación la subestructura es depositada en el suelo marino, condición en la que el peso total de la misma se transmite al terreno mediante el trabajo de su placa base, concluyendo de esta forma la maniobra de izaje.

Las acciones que completan esta maniobra, se resumen en los siguientes conceptos:

- a). Desestrobamiento del gancho principal.
- b). Desconexión y retiro de tanques de flotación.
- c). Desconexión y retiro de estrobos y grilletes de las orejas para izaje.
- d). Desconexión y recuperación de estructura temporal para estrobos.
- e). Desconexión y retiro de tapas superiores de las piernas.

3.3.1.3 INSTALACION DE PILOTES.

El arribo a la Sonda de Campeche del chalón que porta a los pilotes, es simultáneo al de la subestructura. Siendo acoderado y amarrado en un cogtado del barco grúa, liberando a su remolcador, el cual es utilizado en la maniobra de lanzamiento de la subestructura.

La longitud total de un pilote representativo de la cimentación de una -- plataforma, es de 500'-0" (152.4 m) en promedio, lo que determina que sea fabricado e instalado por tramos, los cuales se van uniendo conforme van siendo hincados, dando lugar a los procedimientos y etapas de instalación que aquí se describen. Las operaciones dan comienzo con la inspección - del arreglo de los tramos de pilotes sobre el chalón, confirmando sus me didas e identificación de acuerdo a planos de proyecto, estableciendo a - continuación la secuencia en que se efectuará su hincado, la cual es seme jante para todas las plataformas.

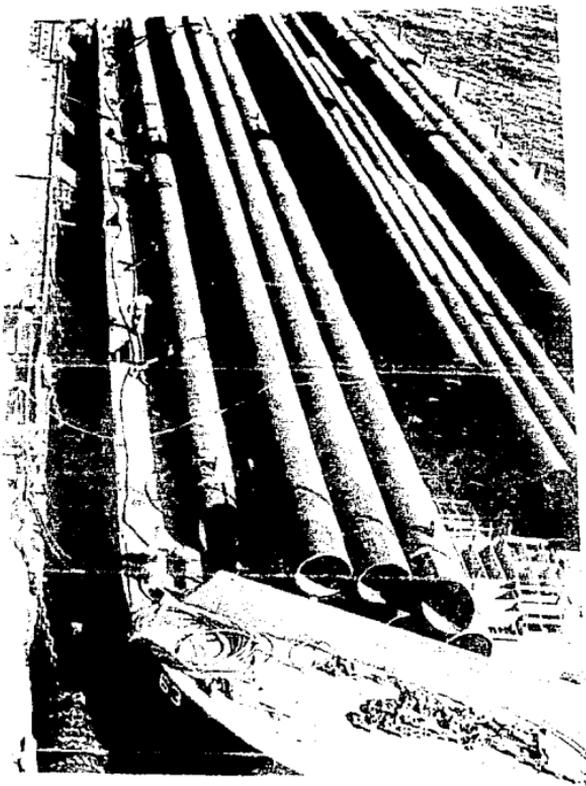
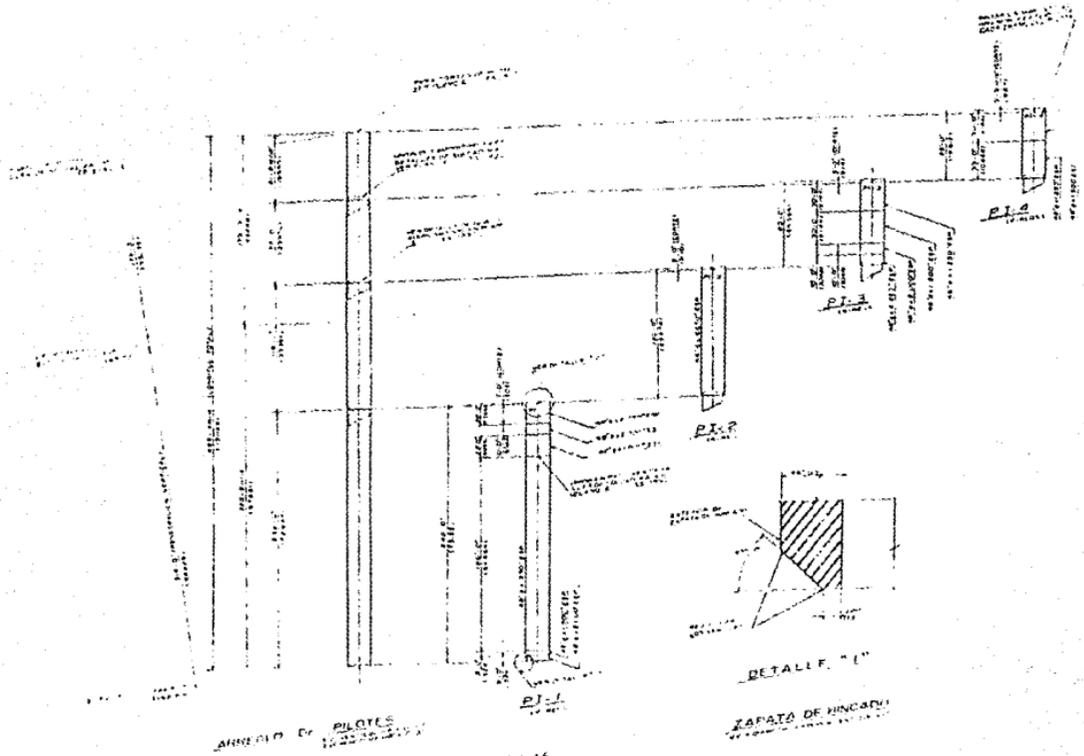


Figura 3.15
CHALAN DE PILOTES.

EL CHALAN DE PILOTES SE ENCUENTRA ACODERADO EN UN COSTADO DEL BARCO GRUA.
SE OBSERVAN LOS TRAMOS DE PILOTES Y CONDUCTORES APLADOS Y SUJETOS CON -
COLUMNAS DE CONTENCION, CABLES Y PLACAS.

INSTALACION DE LA PLATAFORMA "ABKATUM-P"
EN LA SONDA DE CAMPECHE, MEXICO 1987.



ANEXO DE PLATES
 10 20 30 40 50

Figura 3.16

ZAPATA DE HINCADO
 10 20 30 40 50

El mismo barco-grúa que realiza el izaje de la subestructura, es el encargado de llevar a cabo el hincado de los pilotes, para lo cual se halla equipado con un grupo de martillos operados con vapor.

El gancho auxiliar de la grúa, con capacidad de 360 Ton es el encargado de realizar todas las acciones requeridas para el hincado de pilotes. Para su instalación, los tramos de pilotes son izados mediante diversos sistemas que facilitan su manejo y desestrobamiento. El primero se realiza utilizando los agujeros que para este propósito le son hechos en su extremo superior desde el patio de fabricación. Los siguientes tramos -- son izados valiéndose de una oreja temporal conectada en su extremo inferior y una guía deslizante en el superior (Ver figura).

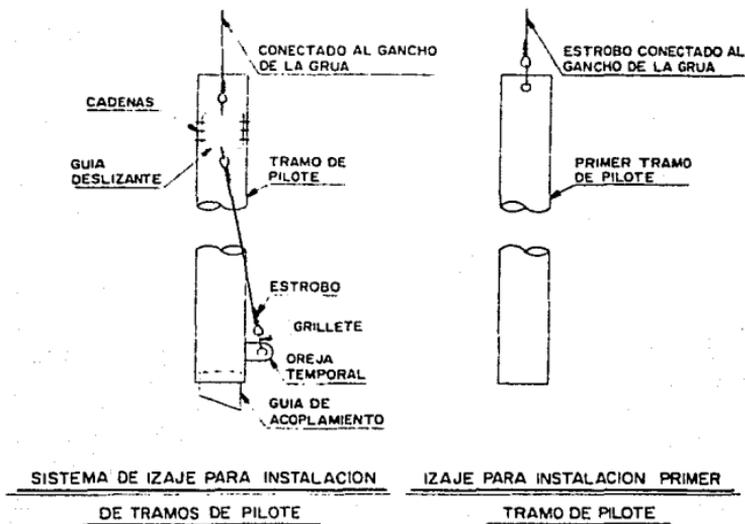


Figura 3.17

A. INSTALACION DEL PRIMER TRAMO DE PILOTE.

El primer tramo de cada pilote es en general el más largo de todos, considerando que su contacto con el suelo se efectúa después de recorrer la longitud de la pierna de la subestructura, que en esta etapa le sirve como gufa. Las placas espaciadoras ubicadas en el interior de cada pierna de la subestructura, limitan la holgura entre el diámetro exterior del pilote y el diámetro interior de la pierna, permitiendo que sólo a través de ellas tengan contacto.

El hincado del primer tramo considera la ruptura de la tapa inferior para flotación de la pierna de la subestructura, para lo cual este tramo se deja caer libremente desde una altura de 50'-0" (15.2 m) aproximadamente, con respecto a la superficie del suelo. Al romper la tapa, penetra en el suelo, hincándose por sí mismo a una profundidad de 40'-0" (12.2m) a 60'-0" (18.3 m). La penetración excesiva por caída libre, se previene utilizando topes temporales de seguridad en los pilotes, constituidos por placa, asegurando que el extremo superior del tramo de pilote permanezca sobresaliendo de la pierna que lo contiene, permitiendo que se lleve a cabo su conexión con el tramo que le sigue.

La configuración de la tapa inferior y la forma en que se halla conectada al interior de la pierna, dan origen a que su ruptura se verifique a lo largo de las trayectorias preestablecidas en ella mediante ranuras, previniendo así posibles obstrucciones de la punta del pilote.

Cuando el hincado por peso propio del primer tramo de pilote, debido a su caída libre no satisface la penetración requerida para éste, se hace necesario completarla con la acción de un martillo, cuyo sólo peso en ocasiones es suficiente para llevar a este tramo hasta la penetración deseada.

Todos aquellos tramos de pilote que son sujetos al golpeo del martillo para ser hincados, sufren deterioro en el borde que recibe los impactos, requiriéndose su corte al término de su hincado, obteniéndose un nuevo borde de material sano para su conexión con el siguiente tramo. El corte se realiza con oxiacetileno, mediante un proceso semiautomático, uti-

lizando un cinturón que sirve de guía a la boquilla del soplete, cuyo --
avance se controla accionando una manivela. La boquilla de corte se ---
orienta con el ángulo deseado para el bisel de preparación del borde del
tubo, de acuerdo al requerimiento de la conexión con el tramo siguiente.

B. INSTALACION DEL SEGUNDO TRAMO DE PILOTE.

El segundo tramo del pilote contiene en su borde inferior, una gufa de - placa rolada, que permite su acoplamiento con el tramo inicial. Su longitud y forma obligan al alineamiento de los dos tramos, el cual en ocasiones se ajusta mediante la acción de cuñas, de tal manera que la abertura de la raíz para la soldadura se encuentre dentro del rango admisible. En ocasiones se hace necesario utilizar arco aire para rebajar discontinuidades de los bordes que alteren el alineamiento de ambos tramos u originen aberturas excesivas en la raíz de la soldadura.

La gufa de acoplamiento funciona también como placa de respaldo de la soldadura, logrando que esta sea de penetración completa y su aplicación sea exclusivamente por el exterior del tubo.

El proceso de soldadura utilizado para la conexión de tramos de pilote - es el de arco metálico protegido, aplicado manualmente, con el empleo de - electrodos de 3/16" (5mm) y 1/4" (6mm) de diámetro, clasificación E-60-18 y E-70-18. La conexión se lleva a cabo por una brigada constituida por - ocho soldadores con sus respectivos ayudantes, que trabajan simultáneamente y en forma continua durante un lapso de 7 a 10 horas en promedio. Antes de iniciar el depósito de la soldadura se esmerilan y limpian las caras de la ranura formada por los bordes de ambos tramos del pilote. Ya - que los espesores de las secciones transversales del pilote oscilan entre 1 1/4" (3.1 cm) y 2 1/4" (5.7 cm), en la zona de conexión de sus tramos - se aplica un precalentamiento mediante la llama directa de soplete. La temperatura entre pasos de soldadura no decae por abajo de la mínima recomendada, ya que el proceso de soldadura es continuo, considerando además, que el área de dominio de cada soldador corresponde a una octava parte de la conexión, con una longitud de 19" (48 cm).

El tiempo que transcurre entre el hincado de tramos consecutivos tiene - gran importancia en relación a la recuperación de la capacidad de carga del terreno, asociada con el fenómeno de congelamiento del pilote, por lo que la duración del proceso de soldadura constituye un factor de primera importancia. Conservadoramente las recomendaciones que incluyen los reportes geotécnicos indican que las interrupciones del proceso de hincado -

no deben exceder de 8 horas.

Una vez que la conexión se ha concluido, es sometida a una inspección visual y de ultrasonido con objeto de verificar su calidad. En los sitios donde se localizan defectos inaceptables, se ejecutan las reparaciones necesarias, las cuales comúnmente requieren que se remueva la soldadura defectuosa mediante la acción de arco-aire. Cuando la conexión es aceptada como satisfactoria se procede al hincado de este tramo.

De acuerdo a las condiciones de resistencia del terreno se selecciona el martillo que proporcione la energía necesaria para el hincado del pilote. Generalmente en los primeros tramos se utiliza el martillo vulcán 360 -- con energía de golpeo de 180 000 lb -pie (245 KJ) u otro similar, mientras que para los restantes se emplea el vulcán 560 correspondiente a 312 500 lb -pie (425 KJ).

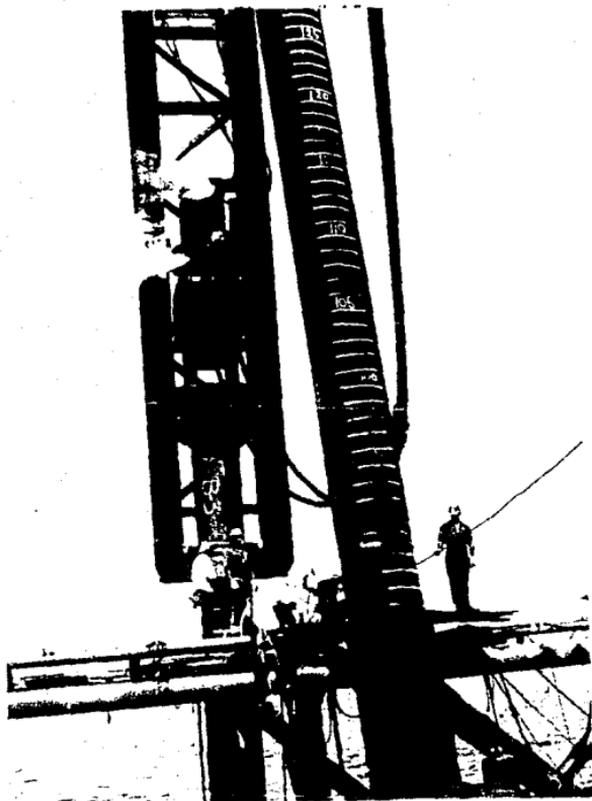
Los lapsos en que se realiza la conexión entre tramos, son aprovechados para lubricar al martillo y efectuar el cambio del material de amortiguamiento.

El hincado del segundo tramo se efectúa de manera continua, lo cual se desarrolla en forma similar para los restantes. Durante el proceso de hincado de cada pilote se elabora una vitácora, en donde se registra principalmente el número de golpes por pie de penetración, el cual refleja la variación de la capacidad de carga en el perfil del terreno, así como los sitios en que se interrumpe y reanuda el hincado; la interpretación de -- estos datos puede emplearse en la calibración de programas de computadora elaborados para el análisis de hincado de pilotes.



PREPARATIVOS PARA LA CONEXION DE TRAMOS DE PILOTE.
TRABAJOS DE AJUSTE DE LA ABERTURA DE LA RAIZ PARA LOGRAR LA PENETRACION
COMPLETA, PREVIO AL PRECALENTAMIENTO Y SOLDADURA DE FONDEO.
INSTALACION DE LA PLATAFORMA "ABKATUM P" EN LA SONDA DE CAMPECHE, MEXICO 1987.

Figura 3.18



PROCESO DE HINCADO DE PILOTES.

AL FRENTE SE OBSERVA LA CONEXION TERMINADA DE DOS TRAMOS DE PILOTE.
EN LA PARTE POSTERIOR SE APRECIA LA ACCION DE PERCUSION DEL MARTILLO
EN EL PILOTE B-3.

INSTALACION DE LA PLATAFORMA "ABKATUN-P"
EN LA SONDA DE CAMPECHE, MEXICO 1987.

Figura 3.19



CORTE DE LA CABEZA DE UN TRAMO DE PILOTE.
DESPUES DEL HINCADO DEL TRAMO DE PILOTE SE CORTA LA ZONA
DAÑADA POR LOS IMPACTOS DEL MARTILLO.

INSTALACION DE LA PLATAFORMA "ABKATUM-R"
EN LA SONDA DE CAMPECHE, MEXICO 1988.

Figura 3.20

C. INSTALACION DEL ULTIMO TRAMO DE PILOTE.

La instalación del último tramo de cada pilote presenta las condiciones más críticas de hincado, considerando que la mayor parte del pilote se halla contenido en el terreno, requiriéndose una gran cantidad de golpes para vencer la capacidad de carga desarrollada hasta entonces por el sistema suelo-pilote y lograr la reanudación del hincado. Otros factores que contribuyen a que las condiciones de hincado sean críticas, corresponden al incremento de la capacidad de carga del terreno en relación a la profundidad, así como al hecho de que la transmisión del impacto del martillo hasta la punta del pilote consume parte de la energía, requiriéndose un mayor número de golpes por pie de penetración. Esto da lugar a que la longitud del último tramo sea menor que la de los demás, con objeto de que el número de golpes que reciba no sea excesivo.

La longitud de corte de la cabeza del último tramo de pilote es superior a la de los otros tramos, quedando determinada por el desplazamiento del gancho de la grúa debido a la oscilación del barco, así como a la longitud requerida para apoyar la guía del martillo. El corte de la cabeza corresponde a una longitud de 8'-0" (2.4 m) en promedio, el cual se lleva a cabo justo antes de efectuar la instalación de la superestructura.

D. SECUENCIA DE INSTALACION DE TRAMOS DE PILOTES Y NIVELACION DE LA SUBESTRUCTURA.

La secuencia de instalación de los tramos de pilotes, además de optimizar la duración de las maniobras, corte, alineamiento y soldadura, pretende mantener la nivelación de la subestructura, llevando a cabo inicialmente la instalación de los primeros tramos de pilotes interiores, alternando aquellos diametralmente opuestos. Conforme progresa la instalación de los pilotes, se restringen en mayor proporción los movimientos de la subestructura debido a su forma piramidal, y se incrementa la dificultad de corregir los desniveles.

La secuencia de instalación termina con la instalación de los últimos tramos de pilotes de esquina.

Mediante la secuencia de instalación de los pilotes debe lograrse que la nivelación de la subestructura se encuentre dentro de los márgenes admisibles, ya que forzar la nivelación por otros métodos no se recomienda, debido a la dificultad de evaluar la magnitud de los elementos mecánicos inducidos sobre la subestructura y pilotes, los cuales pueden llegar a ser significativos, dependiendo del método que se utilice para corregir el desnivel, así como del tamaño de este último. Estos métodos de nivelación consisten en la aplicación de gatos hidráulicos que se apoyan en el extremo superior de pilotes y piernas de la subestructura, cuya acción conduce a obtener un desplazamiento diferencial entre ambos elementos; o bien, levantando a la subestructura mediante la acción del barco grúa, utilizando sus orejas para izaje.

E. CONEXION DE SUBESTRUCTURA Y PILOTES.

La holgura perimetral existente entre el diámetro exterior del pilote y el correspondiente al interior de la pierna de la subestructura es variable, debido a los defectos propios de ambos elementos en cuanto a su redondez, diámetro, espesor e irregularidades del material, así como bordes de soldadura, por lo tanto, para su ajuste y conexión se utilizan placas de relleno de diferentes espesores (ver figura 3.21).

La conexión entre la pierna y el pilote constituye también una transición entre ambos elementos lograda a través de las placas de relleno.

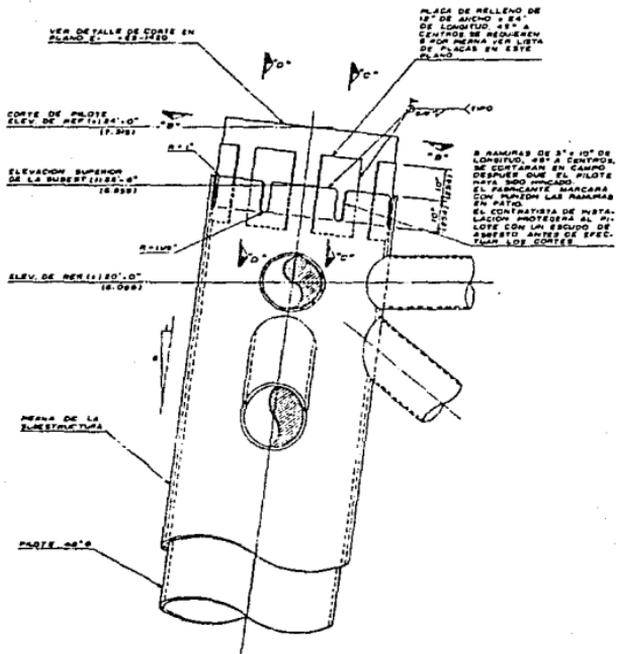
El borde de la pierna se ranura con oxicorte, asegurándose que durante este proceso exista holgura suficiente con el pilote, o bien, se utiliza un escudo de asbesto para protegerlo. Los cortes se esmerilan para eliminar las superficies endurecidas. A continuación se introducen las placas de relleno en la holgura existente entre ambos elementos incluso con la aplicación de algunos ligeros golpes con marro. Para facilitar la instalación de las placas de relleno, su diseño incluye el biselado de uno de sus extremos.

El proceso de soldadura da comienzo con el precalentamiento de las partes por conectar, mediante la aplicación de la flama de soplete; la soldadura que se aplica es de filete, con el proceso manual de arco metálico protegido, utilizando electrodos de bajo contenido de hidrógeno cla-

sificación E-70-18 en diámetros de 3/16" (5 mm) y 1/4" (6 mm).

Una vez terminada la conexión, es inspeccionada con ultrasonido, debiendo satisfacer los requerimientos de calidad indicados en el código ANSI, AWS D1.1.

Con esta actividad concluye la instalación de la subestructura y pilotes.



**DETALLE DE CONEXION DEL PILOTE
A LA SUBESTRUCTURA**

Figura 3.21

La instalación de la Superestructura puede llevarse a cabo inmediatamente después que concluye la instalación de la Subestructura y Pilotes, o bien, realizarse en una etapa posterior. Ambos casos se hallan en función de los programas de construcción e instalación de Pemex; y en ocasiones influyen en ellos también las condiciones meteorológicas.

Para la instalación de la Superestructura se emplea el mismo barco-grúa utilizado durante la instalación de la Subestructura, cuya capacidad en el gancho principal es de 1800 Ton.

El peso de la Superestructura correspondiente a una plataforma de perforación, incluyendo al equipo que le es instalado durante su construcción en patios de fabricación es de 1000 Ton aproximadamente; y sus dimensiones son tales que permiten operar convenientemente al barco-grúa, para llevar a cabo su izaje e instalación.

El procedimiento común para efectuar la instalación de la Superestructura, consta de su izaje a partir del chálán de transporte, colocación sobre los extremos de pilotes y conexión con estos mediante soldadura.

Una vez que concluye la instalación de la Superestructura se procede a la instalación de su equipo principal, el cual corresponde a la paquetería de perforación, denominada así por estar integrada en paquetes susceptibles de ser montados y desmontados con rapidez y facilidad, al contar cada uno de ellos con estructura propia. La paquetería de perforación se instala sobre la cubierta principal de la superestructura, y consta de las siguientes partes:

1. Paquete de Generación
2. Paquete de Almacenamiento
3. Paquete de Bombas
4. Paquete de Habitación

5. Paquetería de Líquidos.
6. Paquete de Lodos.
7. Torre de Perforación.

El peso de la paquetería en condiciones de operación asciende a 4000 Ton.

A. PREPARATIVOS EN PATIO DE FABRICACION.

Desde el inicio de la construcción de la Superestructura son fabricadas las guías que servirán para el acoplamiento de sus columnas con los pilotes durante su instalación (ver figura 3.22). Las características de la guía, -- además de facilitar el acoplamiento, permiten lograr soldaduras de penetración completa entre las columnas y pilotes, debido a su propia conexión con la columna.

La condición de izaje origina la necesidad de reforzar temporalmente los marcos longitudinales de la Superestructura, llevándose a cabo la prefabricación y montaje de los elementos de refuerzo en el patio de fabricación.

B. ARRIBO DE LA SUPERESTRUCTURA AL SITIO DE INSTALACION.

La Superestructura es conducida desde el patio de fabricación hasta el sitio de su instalación, sobre un chalán plano jalado por un remolcador. En el sitio de instalación es recibida por el barco-grúa que se halla posicionado y anclado estratégicamente en las proximidades de la subestructura.

A su llegada, el chalán es acoderado en un costado del barco-grúa, sujetándolo a éste con cabos de nylon, dejando en libertad al remolcador. En esta etapa la superestructura es inspeccionada visualmente por el personal encargado de las maniobras de instalación, observando su estado general, manteniendo especial interés en el sistema de amarrés y en los accesorios para su izaje.

Las condiciones ambientales requeridas para efectuar la instalación de la su-

perestructura, corresponden a las mismas descritas para la instalación de subestructura y pilotes, cuyas características son de mar en calma.

C. CORTE DE AMARRES.

Durante su embarque, la superestructura se sujeta al chalán de transporte mediante elementos de amarre que se conectan con soldadura. Justo antes de --- efectuar el izaje de la superestructura, los elementos de amarre son cortados con oxiacetileno, al igual que las placas que conectan sus columnas con el -- marco de deslizamiento.

D. CORTE DE PILOTES.

El corte de cabezas de los pilotes se realiza justo antes de la instalación - de la superestructura, llevándose a cabo en forma manual con oxicorte y acabado con esmeril. El postergar tal actividad hasta esta etapa, da lugar a que los bordes obtenidos en el corte se hallen libres de oxidación, ya que según se ha mencionado, la instalación de la superestructura en ocasiones se realiza después de un considerable tiempo con respecto a la instalación de sus correspondientes subestructura y pilotes.

Por su parte, los extremos de las columnas de la superestructura son cortados y biselados desde el inicio de su fabricación, los cuales una vez conectados con las guías de acoplamiento se limpian a metal blanco y se recubren con anticorrosivo.

E. I Z A J E .

La maniobra de izaje da comienzo con el estrobamiento, consistente en enganchar sobre el block principal de la grúa, los estrobos conectados en las orejas para izaje de la superestructura. Para el control de los movimientos - laterales de la estructura, le son conectados cables provenientes de los malacates auxiliares de la grúa. Durante estas maniobras el chalán es asistido por el remolcador, el cual lo mantiene junto al barco, restringiendo sus movimientos laterales. Cuando la superestructura se encuentra suspendida --

del gancho de la grúa, el chalán es separado del barco y alejado del sitio de instalación por el remolcador.

Mediante su sistema de anclas, el barco-grúa se desplaza hasta quedar frente a la subestructura para colocar finalmente a la superestructura sobre los extremos de los pilotes, después de lo cual se efectúa su desestrobamiento, -- desconectando los grilletes colocados en las orejas para su izaje.

F. SOLDADURA.

Considerando que el alquiler de las embarcaciones que participan en la instalación de la superestructura es sumamente costoso, resulta importante el tiempo de ejecución de cada una de las etapas de que consta, por lo que la ejecución de las conexiones entre columnas y pilotes se efectúan con esta premisa, utilizando para ello todo el personal necesario.

Con arco-aire se eliminan las irregularidades que presentan las superficies -- por soldar hasta conseguir el ajuste requerido. Las soldaduras se llevan a -- cabo con el procedimiento manual de arco metálico protegido y su inspección -- se realiza con ultrasonido. La conexión de cada columna se efectúa en forma ininterrumpida en un lapso de ocho horas aproximadamente. El precalentamiento de las superficies por soldar se realiza con la llama de soplete.

G. DETALLADO .

La instalación de la superestructura concluye con la realización de actividades secundarias, tales como la fijación de escaleras retráctiles, instalación de barandales desmontables, cubriendo los huecos de la cubierta superior requeridos para el paso de grilletes y estobos, etc., dejándola en condiciones de recibir a la paquetería de perforación y equipo complementario para su operación.

4.0 ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

4.1 DISEÑO Y ANALISIS CONDICION EN SITIO.

4.1.1 ANTECEDENTES.

Las condiciones que prevalecen en la Sonda de Campeche referidas al diseño de plataformas marinas, tales como condiciones ambientales, propiedades mecánicas del suelo y tirantes de agua principalmente, así como los múltiples diseños de plataformas que a la fecha se han realizado (existen instaladas aproximadamente 150 plataformas en la zona denominada como Sonda de Campeche), -- han dado lugar a que algunas de las características de diseño y análisis de las plataformas, así como aspectos constructivos, de transporte e instalación de las mismas, se consideren hasta cierto punto estandarizados (existen incluso proyectos de Pemex que abordan el tema).

Las características estandar de las plataformas marinas tienen repercusiones económicas importantes, sobre todo en lo que concierne a la construcción e -- instalación, por ser estas actividades las de mayor peso en el costo total de la obra (el costo del diseño es de un 1% aproximadamente del que corresponde a la fabricación de una plataforma para la Sonda de Campeche en lo que se refiere a la estructura). Las características estandar permiten conocer de antemano conceptos tales como:

- a). Materiales requeridos para la fabricación.
- b). Gama de perfiles comúnmente empleados, así como la cantidad requerida -- aproximadamente.
- c). Accesorios utilizados tales como embarcaderos, defensas, tapas, grille--tes, estrobos, ánodos, recubrimientos, etc.
- d). Requerimientos de infraestructura en patios de fabricación, tales como -- áreas de trabajo, traveses de fabricación, instalaciones en general, equipo pesado, equipo menor, etc.
- e). Requerimientos para embarque y transportación, tales como chalanas y remolcadores.

f). Requerimientos para instalación, tales como barco-grúa, equipo pesado, equipo menor, etc.

No obstante, las características estandar de las plataformas han sufrido modificaciones durante el período de explotación de la sonda, debidas a los requerimientos cada vez mayores en las capacidades de equipos, tuberías, personal y materiales de consumo que es necesario alojar en ellas.

A. CONDICIONES PREVALECIENTES EN LA SONDA DE CAMPECHE PARA EL DISEÑO DE PLATAFORMAS.

A.1 CONDICIONES AMBIENTALES.

Las condiciones ambientales cuyas características son aplicables al diseño de plataformas, se hallan establecidas en el reporte oceanográfico elaborado para Pemex por H. Glenn and Associates en 1977, el cual incluye datos para los tirantes de 43'-0" (13.1 m), 131'-0" (39.9 m) y 210'-0" (64.0 m), mismos que representan la variación de tirantes que se localiza dentro de la Sonda. Los datos corresponden a las condiciones de operación representadas por una tormenta cuyo período de retorno es de un año; y a las condiciones accidentales representadas a su vez por una tormenta con período de retorno de cien años. A continuación se muestran los datos relativos a las condiciones accidentales:

a). Para el tirante medio bajamar de 13.1 m y T= 100 años.

- Marea astronómica	0.76 m
- Marea de tormenta	2.59 m
- Altura de la ola	12.04 m
- Período de la ola	15.30 seg.
- Velocidad de la corriente al nivel de la superficie del mar (incluye su variación con respecto a la profundidad)	0.67 m/seg.
- Velocidad del viento (un minuto)	240 Km/hr.

b). Para el tirante medio bajamar de 39.9 m y T=100 años.

- Marea astronómica	0.76 m
- Marea de tormenta	1.04 m
- Altura de la ola	16.70 m
- Período de la ola	16.00 Seg.
- Longitud de la ola	305 m.
- Velocidad de la corriente al nivel de la superficie del mar.	0.95 m/seg.
- Velocidad del viento (un minuto)	240 Km/hr.

c). Para el tirante medio bajamar de 64.0 m y T= 100 años.

- Marea astronómica	0.76 m
- Marea de tormenta	1.00 m
- Altura de la ola	17.10 m
- Período de la ola	16.00 Seg.
- Longitud de la ola	347 m
- Velocidad de la corriente al nivel de la superficie del mar	1.00 m/seg.
- Velocidad del viento (un minuto)	240 Km/hr.

A.2 CARACTERISTICAS DEL SUELO.

La información acumulada hasta la fecha de las características mecánicas del suelo en la Sonda de Campeche revela que sigue siendo necesario llevar a cabo un sondeo en la localización destinada a una nueva plataforma, debido a la variación observada entre sondeos relativamente próximos. Los estudios geofísicos apoyan esta observación, ya que a través de ellos se identifican dentro de esta zona múltiples fallas geológicas, zonas de erosión, presencia de burbujas de gas a diferentes profundidades, variaciones en los espesores de estratos superficiales y profundos, etc., sin embargo, también se obser-

van características generales para toda esta zona, a partir de las cuales -- pueden inferirse los requerimientos esperados para pilotes y placa base de - nuevas plataformas. Estas características son:

a). El primer estrato está formado por arcillas de alta plasticidad, sumamente blandas, de escasa capacidad de carga, que ocupa los primeros 40'-0" ---- (12.2 m) de profundidad aproximadamente.

b). Existe una clara tendencia de incremento de la capacidad de carga del - terreno con respecto a la profundidad.

c). El perfil del suelo se compone de estratos arcillosos y arenosos intercalados.

d). La profundidad a la que se realizan los sondeos geotécnicos, oscila entre los 300'-0" (91.5 m) y los 400'-0" m (122.0 m), satisfaciendo una capacidad de carga nominal de 4400 Ton., en base a las cargas axiales actuantes en los pilotes, registradas en los análisis estructurales de plataformas.

e). Los estratos de mayor resistencia se hallan constituidos por arenas finas carbonatadas.

f). En la mayoría de los casos la capacidad de carga axial del sistema suelo-pilote se debe principalmente a la fricción desarrollada entre ambos y una escasa participación de la punta. Sólo en los casos en que la punta se des-- plante en estratos arenosos, su participación llega a ser significativa.

g). Las cargas laterales que actúan sobre los pilotes al nivel del lecho marino afectan principalmente a los primeros estratos, los cuales debido a su escasa capacidad de carga permiten desplazamientos laterales apreciables en la base de la estructura (aproximadamente de 7 pulgadas (18 cm)).

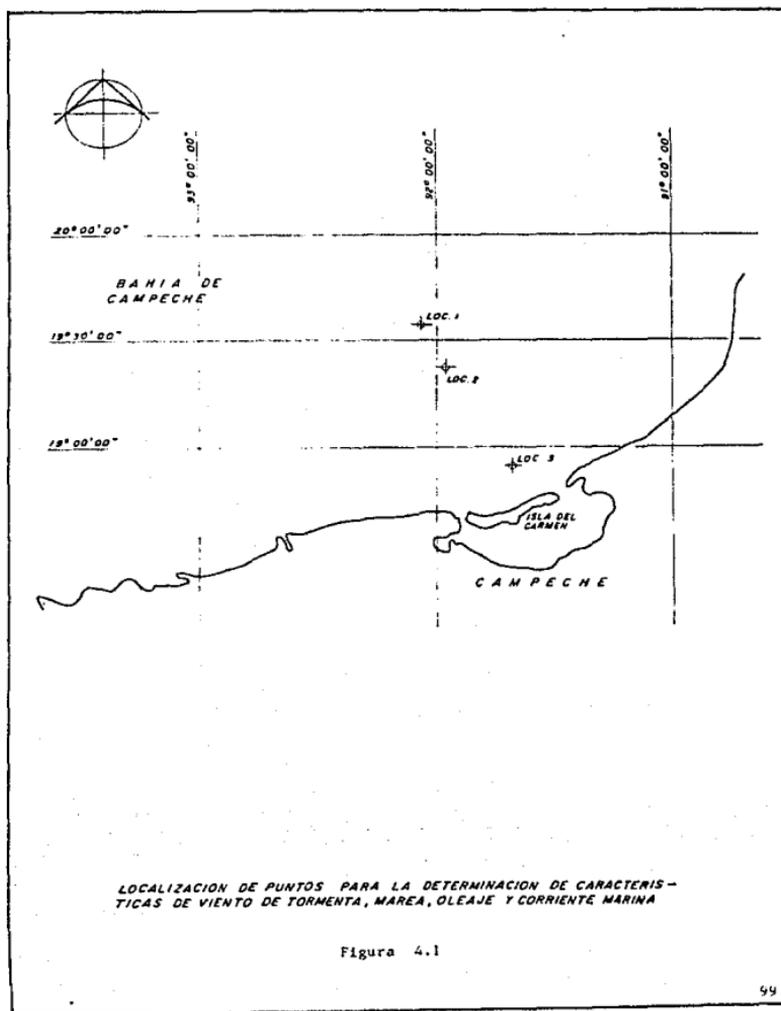
h). La baja capacidad de carga superficial del terreno determina el requerimiento de placas base de grandes dimensiones, para el apoyo temporal de la -

subestructura durante la etapa de su instalación.

A.3 TIRANTES DE AGUA EN LA SONDA DE CAMPECHE.

La Sonda de Campeche se ubica aproximadamente en el marco de las coordenadas - UTM $X_A = 520\ 000$ m, $X_B = 620\ 000$ m, $Y_A = 2\ 060\ 000$ m e $Y_B = 2\ 240\ 000$ m; y -- delimitada por las coordenadas geográficas latitud 19° a 20° Norte, longitud 91° a 93° Oeste.

La profundidad del mar presente en la Sonda incluye valores que van desde los $60'-0''$ (18.3 m) hasta los $240'-0''$ (73.2 m) en promedio, cuya tendencia de incremento es de Sur a Norte. En su gran mayoría las plataformas instaladas corresponden a tirantes que oscilan entre los $120'-0''$ (36.6 m) y $160'-0''$ (48.8 m) ubicados en los complejos AKAL, NOHOCH, ABKATUM Y POL principalmente, los cuales se localizan en la zona central de la Sonda (ver figura 4.1).



B. CARACTERISTICAS BASICAS ESTANDAR.

B.1 SUPERESTRUCTURA.

Las medidas básicas de la superestructura, su estructuración y el dimensionamiento de sus elementos, se hallan establecidas principalmente por las características de la paquetería de perforación. Las dimensiones de los paquetes, su peso, la forma en que se apoyan sobre la superestructura, la manera en que operan, así como las fuerzas ocasionadas por el viento que incide sobre estos, constituyen estándares para las plataformas diseñadas en la presente década.

La elevación con respecto al nivel medio bajamar a la que se ubican las cubiertas de la superestructura es constante para todas las plataformas ubicadas en la Sonda. Esta se encuentra ligada con la altura máxima que adquiere la ola correspondiente a la tormenta de 100 años, la cual asciende en promedio a (+) 42'-0" (13.0 m) sobre el mismo nivel de referencia.

El movimiento de la subestructura y pilotes ejercen importante influencia sobre la superestructura, no obstante este efecto es similar en plataformas de diferentes tirantes, determinándose que en general un mismo diseño de superestructura es satisfactorio para plataformas ubicadas en el rango de tirantes prevalcientes en la Sonda, quedando sujeto sólo a una verificación analítica, sobre todo para los casos en que la estructuración de la subestructura no se ajuste a las recomendaciones descritas en la sección 4.1.4.1 de este trabajo, o bien, cuando las características mecánicas, del suelo correspondientes al sitio en cuestión, difieran significativamente de las características generales de la zona.

El arreglo del equipo complementario a la paquetería de perforación, ubicado en la primera cubierta de la superestructura aún no se encuentra estandarizado, ocasionando que en esta cubierta se tengan variaciones en cuanto a la distribución de largueros, dimensiones de los voladizos, posición del pedestal para grúa, así como la ubicación y diseño de accesorios tales como muro contra in-

endio, escaleras, soportes para botes de supervivencia, etc.

En general puede afirmarse que todos los materiales y perfiles utilizados en -
el diseño de la superestructura se hallan estandarizados.

B.2 SUBESTRUCTURA.

B.2.1. INCLINACION DE LAS PIERNAS.

La inclinación de las piernas de la subestructura constituye una variable de suma importancia, ya que influye de manera determinante en la estructuración de su sistema de arriostramientos, en la esbeltez de la plataforma, así como en la magnitud de las fuerzas actuantes sobre los pilotes. En la práctica de diseño de plataformas marinas para la Sonda de Campeche, se ha comprobado que la relación 1:8 (horizontal:vertical) para la inclinación de las piernas, es adecuada para los diversos tirantes de agua presentes en la zona, por lo que se ha hecho extensiva a todas las plataformas localizadas en este sitio, originando también la estandarización y tipificación de accesorios tales como defensas y embarcaderos, así como procedimientos constructivos y de instalación, todo lo cual repercute en la economía de las obras.

B.2.2 CONFIGURACION DE LAS PIERNAS.

La forma en que la subestructura se halla conectada con los pilotes, en combinación con la estructuración adoptada para su sistema de arriostramientos, dan como resultado que sus piernas se encuentren sometidas a esfuerzos de tensión en la mayor parte de su longitud, y que sólo en su extremo superior sean solicitadas por esfuerzos debidos a flexocompresión de gran magnitud, mismos que exigen la utilización de perfiles robustos, requiriéndose inclusive aceros especiales con características de resistencia superiores a las del acero normal ASTM A-36. Por su parte, la longitud de la pierna sometida únicamente a esfuerzos de tensión requiere de perfiles relativamente esbeltos.

Un efecto adicional que actúa sobre las piernas de la subestructura es el que ocasionan los esfuerzos locales de punzonamiento ejercidos por los elementos de arriostramiento que inciden y se conectan en ellas, los cuales determinan la necesidad del refuerzo local de las piernas mediante el empleo de castillos de mayor espesor, constituidos de aceros de mayor resistencia.

B.2.3 MATERIALES Y PERFILES.

La parte superior de las piernas, sometida a flexocompresión, así como los carretes de refuerzo requeridos por efecto de punzonamiento, son de acero ASTM - A-537 Clase 1, o bien de A-633 grado C o D, ambos aceros estructurales con esfuerzo de fluencia $F_y = 50$ KSI (3515 Kg/cm^2). A su vez, los perfiles usuales para estos elementos son de $52 \text{ 1/2" } \phi \times 1 \text{ 1/4" esp.}$ ($133 \text{ cm } \phi \times 32 \text{ mm esp.}$). La parte restante de las piernas se integra por perfiles de $52 \text{ 1/2" } \phi \times 5/8"$ esp. ($133 \text{ cm } \phi \times 16 \text{ mm esp.}$) constituidos de acero ASTM A-36 con esfuerzo de fluencia $F_y = 36$ KSI (2530 Kg/cm^2).

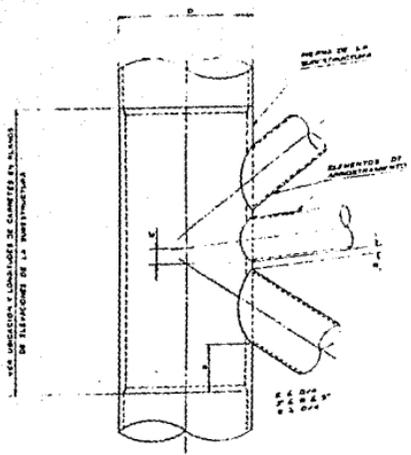
Todos los arriostamientos son de acero ASTM A-36, requiriendo en sus intersecciones principales, carretes de refuerzo con mayor espesor, constituidos de acero ASTM A-36 con requerimientos especiales S2 que mejoran su capacidad a la fatiga. A continuación se ennumeran los perfiles de uso común para el arriostamiento de la subestructura.

12 $3/4" \phi \times 3/8"$ esp.	Material ASTM A-36.
14" $\phi \times 1/2"$ esp.	" " "
16" $\phi \times 1/2"$ esp.	" " "
18" $\phi \times 1/2"$ esp.	" " "
18" $\phi \times 1"$ esp.	" " "
20" $\phi \times 1/2"$ esp.	" " "
20" $\phi \times 1"$ esp.	" " "
22" $\phi \times 1/2"$ esp.	" " "
22" $\phi \times 5/8"$ esp.	" " "
24" $\phi \times 1/2"$ esp.	" " "
24" $\phi \times 5/8"$ esp.	" " "
26" $\phi \times 5/8"$ esp.	" " "
30" $\phi \times 1"$ esp.	" " "
18" $\phi \times 3/4"$ esp.	" " "
18" $\phi \times 1"$ esp.	Material ASTM-A36 S2
20" $\phi \times 3/4"$ esp.	" " "
20" $\phi \times 1"$ esp.	" " "

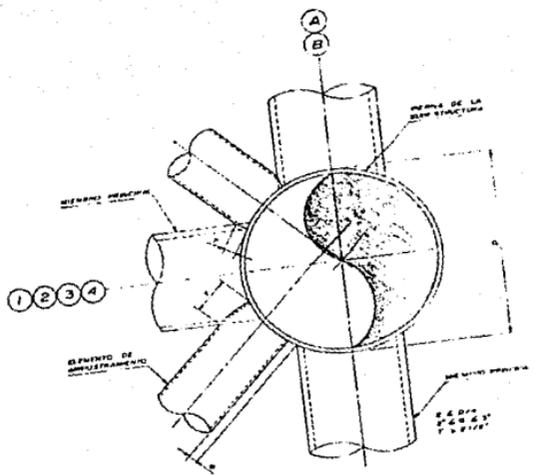
22" \emptyset x 3/4" esp.	Material ASTM A-36
22" \emptyset x 1" esp.	" " "
24" \emptyset x 3/4" esp.	" " "
24" \emptyset x 1" esp.	" " "
26" \emptyset x 1" esp.	" " "

B.2.4 DETALLES DE CONEXION.

Las conexiones de los elementos que forman la subestructura deben apegarse a las restricciones impuestas por los requerimientos de diseño, conforme a las limitaciones de aplicabilidad de teorías y fórmulas para la determinación -- del comportamiento estructural, es decir, en la obtención de sus elementos - mecánicos y su capacidad de carga. Considerando también los procedimientos de soldadura, los cuales revisten gran importancia, dado su potencial para - inducir en el material esfuerzos residuales. En la figura 4.2 se muestran conexiones típicas de la subestructura.

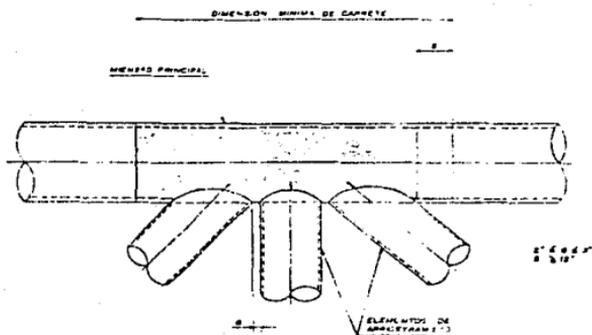


**ELEVACION NUDO PRINCIPAL EN
PIERNAS DE LA SUBESTRUCTURA**
PLANO DE REF. 1

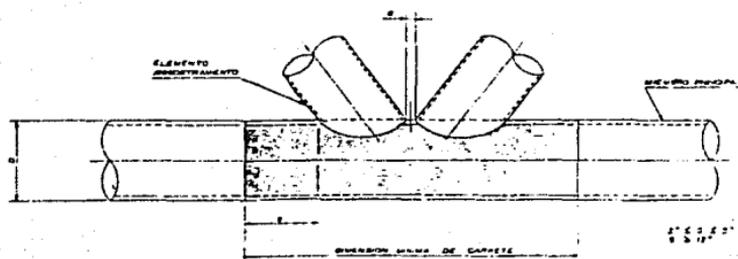


**PLANTA NUDO PRINCIPAL EN
PIERNAS DE LA SUBESTRUCTURA**
PLANO DE REF. 2

Figura 4.2.a



CONEXION TIPICA EN PLANTAS DE ARRIOSTRAMIENTO



CONEXION TIPICA EN PLANTAS DE ARRIOSTRAMIENTO

Figura 4.2.b

B.2.5 PROTECCION ANTICORROSIVA.

La protección contra la corrosión de la subestructura corresponde a tres diferentes tipos, referidos a las zonas en que ésta se divide para tal efecto, consistentes en zona de variación de mareas oleaje y salpicaduras, zona atmosférica y zona sumergida.

Para la Sonda de Campeche, la zona de oleaje y salpicaduras se halla delimitada por las cotas (+) 15'-0" (4.60 m) y (-) 10'-0" (3.05 m) con respecto al nivel medio bajamar, marcando los límites de las zonas atmosférica y sumergida. La protección empleada en la zona de oleaje y salpicaduras, al igual que en la atmosférica, es a base de recubrimientos aplicados sobre la superficie limpia a metal blanco, durante la etapa constructiva de la estructura. Las especificaciones y procedimientos para la limpieza de las superficies, los recubrimientos, su manejo, aplicación y pruebas corresponden a las normas de Pemex 3.132.01 y 4.132.01.

La zona sumergida es protegida de la corrosión mediante ánodos de sacrificio cuyo diseño se sujeta a la norma de Pemex 2.135.01.

B.3 CIMENTACION.

Las fuerzas horizontales debidas al oleaje y viento que actúan sobre una plataforma, en combinación con las cargas gravitacionales originan las condiciones críticas de carga sobre los pilotes, obteniéndose a partir de ellas su diseño.

La acción de las fuerzas horizontales, cuya resultante se ubica aproximadamente en la elevación (+) 20'-0" (6.1 m) sobre el nivel medio bajamar, y el efecto de volteo que origina sobre la plataforma, son resistidos por la cimentación mediante el trabajo axial y lateral de los pilotes.

Los elementos mecánicos originados por las cargas que actúan sobre los pilotes son máximos en las proximidades del lecho marino, resultando críticos los de flexocompresión. En general se tienen diversas combinaciones críticas de flexión y compresión dependiendo del tirante de que se trate; sin embargo, la mayoría de ellas son satisfechas por perfiles de sección transversal sumamente parecidas, dando lugar a que en la práctica se utilice un reducido número de perfiles comerciales.

Los requerimientos de capacidad de carga de la cimentación para las plataformas situadas en la Sonda de Campeche han desembocado en el empleo de tubos -- de 48" Ø, con una distribución de espesores en función de la variación de los elementos mecánicos a lo largo del pilote, que van desde 2 1/4" (57 mm) y material ASTM A-537, hasta 1 1/4" (32 mm) y material ASTM A-36.

4.1.2 CODIGOS Y REGLAMENTOS APLICABLES AL DISEÑO DE PLATAFORMAS MARINAS.

En este apartado se realiza una breve descripción de los aspectos relevantes de los códigos y normas, cuya aplicación en el diseño y construcción de plataformas marinas en México es fundamental e indispensable, ya que constituyen en conjunto la base y marco de referencia requeridos para el desarrollo de la ingeniería estructural especializada para este efecto.

Cabe mencionar que se trata de códigos y normas reconocidos internacionalmente, y de los cuales se ha comprobado su gran aplicabilidad a las condiciones existentes para el diseño y construcción de plataformas para la Sonda de Campeche.

PRACTICAS RECOMENDADAS PARA LA PLANEACION DISEÑO Y CONSTRUCCION
DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS.

Este texto constituye un marco de referencia necesario durante la concepción y desarrollo del proyecto.

Su contenido cubre la mayoría de los conceptos y problemas específicos del diseño de plataformas. En lo relativo al diseño de elementos estructurales, se aboca con gran énfasis en el establecimiento de procedimientos de diseño de tubos de sección circular, tales como punzonamiento, colapso hidrostático, fatiga y flexocompresión; por ser este tipo de elementos los idóneos para integrar la subestructura y cimentación de la plataforma.

En lo relativo a las cargas que actúan sobre la plataforma, destaca -- aquellas cuya importancia es determinante para el diseño de la estructura, como son las cargas ambientales (oleaje y viento), estableciendo recomendaciones y parámetros que deben ser considerados.

Dedica particular atención a la cimentación de la plataforma, en el análisis de las características del suelo y la determinación de la capacidad de carga de éste en combinación con los pilotes, así como el diseño de éstos, considerando aspectos de fabricación, manejo e instalación.

Establece recomendaciones relativas a cada una de las diferentes etapas del diseño, construcción transporte e instalación de las partes -- principales constitutivas de la estructura (Superestructura, Subestructura y Cimentación).

En general las recomendaciones que establece tienen aplicación directa en los diseños realizados en el país, ya que el modelo de plataforma - al que otorga atención, corresponde al modelo de plataforma empleado para la Bahía de Campeche.

Su contenido contempla la utilización de otros reglamentos y normas -- con aplicación en el diseño y fabricación de estructuras metálicas, ca les como el manual AISC, las normas ASTM y el código ANSI/AWS D1.1.

B. API-2B

ESPECIFICACIONES PARA FABRICACION DE TUBOS PARA ESTRUCTURAS.

Estas especificaciones comprenden la fabricación de tubos para estructuras, formados a partir de placa de acero rolada, con soldadura longi tudinal y circunferencial, para diámetros mayores que 16 pulgadas, con espesores de 0.375 pulgadas en adelante, y hasta 40 pies de longitud, - destinados a formar parte de la estructura de una plataforma fija; tan to en pilotes, como en elementos principales.

Establece lineamientos relativos a los procedimientos de rolado para - formar los tubos, considerando que el material que constituye a la pla ca, cumple con las normas ASTM respectivas.

Especifica los procedimientos de soldadura aplicables, así como las -- pruebas de calidad a que deben sujetarse los cordones de soldadura lon gitudinal y circunferencial respectivamente, de acuerdo con el código ANSI/AWS D1.1.

Marca las tolerancias aplicables en las dimensiones de los tubos fabri ca dos a partir de placa rolada, en lo relativo al diámetro, longitud, - espesor, redondez, perímetro y rectitud; así como en la preparación de los extremos.

Gran cantidad de los elementos tubulares que forman parte de la estructura de una plataforma, requieren ser fabricados a partir de placa rollada, tomando en cuenta las grandes dimensiones que deben satisfacer; pudiendo observarse la importancia y extensa aplicación de las presentes especificaciones.

C. AISC

MANUAL PARA CONSTRUCCION DE ACERO

El contenido de este manual comprende la definición detallada de las propiedades geométricas y estructurales de las diversas secciones laminadas que existen en el mercado estadounidense, así como la identificación de cada una de ellas en base a las características estructurales que dieron origen a su manufactura.

Lo más sobresaliente de su contenido lo integran las especificaciones -- de diseño, fabricación y construcción; las cuales representan una ayuda extraordinaria para el cálculo estructural y el desarrollo de la ingeniería de detalle.

Considera los diseños plástico y elástico, aunque abunda sobre todo en este último, especificando esfuerzos permisibles para el diseño de elementos sujetos a tensión, compresión, flexión y cortante, así como fórmulas de interacción para la acción combinada de tales esfuerzos.

Establece recomendaciones para el dimensionamiento de elementos fabricados con placas, prestando especial atención a los perfiles tipo I y tipo H, ya que la aplicación de este manual está orientada al diseño y construcción de edificios. Contiene especificaciones relacionadas con el diseño de conexiones soldadas y atornilladas, así como limitaciones en cuanto a dimensiones de agujeros, gramiles, tamaños de filetes de soldadura, etc.

La utilización principal de este manual se lleva a cabo durante el diseño de la superestructura de la plataforma.

Su contenido incluye gráficas y tablas cuyo empleo agiliza los cálculos para el diseño. Adicionalmente incluye un resumen de las principales propiedades mecánicas de los aceros estructurales contenidos en el ASTM, así como las recomendaciones y especificaciones principales sobre soldaduras del código ANSI/AWS D1.1.

Dada la importancia del contenido de este manual, las especificaciones y procedimientos de diseño que establece se hayan vertidas en programas para diseño por computadora de plataformas marinas.

D. ANSI/AWS.

CODIGO DE SOLDADURA PARA ESTRUCTURAS DE ACERO.

Este código contiene la descripción de los conceptos involucrados en los procesos de soldadura estructural, así como la simbología de los diversos tipos de soldadura para su representación en los planos del proyecto.

Establece los diferentes procedimientos de soldadura estructural, tales como arco metálico protegido, arco sumergido, arco metálico en gas inerte y arco con fundente en el núcleo.

Contiene procedimientos para el diseño de conexiones de soldadura de filete, limitaciones y recomendaciones en la aplicación de este tipo de soldadura. Así mismo, establece los requerimientos de las soldaduras de penetración completa, indicando los diversos tipos de preparaciones para los elementos por conectar y los márgenes de aplicación de éstos.

En relación a los materiales, indica las características de los aceros

estructurales susceptibles de ser conectados mediante soldadura, así -- como las características propias y denominación de los diversos electrodos.

Incluye las técnicas de aplicación de la soldadura, y las pruebas a que debe ser sometida para su inspección y calificación.

La aplicación de este código en el diseño y construcción de las estructuras de plataformas es fundamental, ya que el 100% de las conexiones -- que en ellas se verifican son soldadas.

E. NORMAS ASTM.

SECCION ACERO ESTRUCTURAL.

Este grupo de normas contiene especificaciones, métodos de prueba, definiciones y clasificaciones, relacionados con los aceros estructurales utilizados en la fabricación de plataformas marinas.

En lo concerniente a la manufactura de los aceros estructurales limita su producción a los procesos de hogar abierto, oxígeno básico y horno -- eléctrico. Especifica de igual forma los tratamientos térmicos que deberán aplicarse.

Establece la composición química y estructura metalúrgica de los aceros estructurales, así como sus propiedades mecánicas.

Especifica las pruebas a que deben sujetarse los diversos aceros y los rangos de valores en que deben satisfacerlas, de acuerdo con su clasificación. Así mismo, especifica las aplicaciones de cada uno de los -- aceros en el mercado.

4.1.3 CARGAS.

CARGAS GRAVITACIONALES.

Las cargas gravitacionales actúan en sentido vertical según la atracción de la gravedad y se pueden clasificar dependiendo de su permanencia, en cargas vivas y cargas muertas. Las cargas vivas son aquellas relativas a las personas, herramientas, equipo menor, etc., que se encuentren ubicados en la plataforma en un momento determinado. En condiciones de operación de la plataforma, se considera un valor de 100 lbs/pie² actuando sobre las áreas libres en la cubierta superior y 180 lbs/pie² en las áreas libres de la cubierta inferior. Estos valores consideran un caso extremo de carga viva y por tanto, se deben reducir para las condiciones de carga accidentales.

Quedan incluidos dentro del concepto de carga viva, los líquidos contenidos en recipientes y los materiales almacenados en lugares a propósito. Se debe considerar para cada caso cual es el valor que permanece actuando cuando se suspende la operación de la plataforma por mal tiempo.

El peso muerto está constituido por cargas de tipo permanente. En este concepto se encuentran comprendidos el peso propio de la plataforma, incluyendo pilotes, superestructura, subestructura, tubería, ánodes, estructuras accesorias, equipo fijo y paquetería.

El peso de la torre de perforación puede actuar en diferentes posiciones dependiendo del pozo en que se esté trabajando.

Se deben analizar diferentes posiciones, de manera que se determinen el momento flexionante máximo y el cortante máximo en las traveses longitudinales principales de la cubierta superior así como la compresión máxima en las columnas.

CARGAS AMBIENTALES.

Las cargas ambientales impuestas por el medio ambiente a la plataforma se integran por las cargas de oleaje, cargas de corriente marina, cargas de viento,

fuerzas de flotación y fuerzas hidrostáticas.

La ocurrencia simultánea de las cargas ambientales se considera con la adecuada superposición de las mismas.

Las cargas originadas por las condiciones ambientales se clasifican de acuerdo a su grado de intensidad en cargas de operación y cargas de tormenta. Las cargas ambientales de operación corresponden a las condiciones atmosféricas máximas con las que pueda operar la plataforma. Se considera que estas condiciones son iguales a las que se presentan en una tormenta con período de retorno de un año. Las cargas ambientales de tormenta, propiamente dicha, corresponden a las condiciones atmosféricas prevalecientes en una tormenta con período de retorno de 100 años. La clasificación anterior corresponde con los dos tipos de análisis que se realizan para obtener el diseño estructural de la plataforma. En tormenta los esfuerzos permisibles se deben incrementar una tercera parte, mientras que en condiciones de operación se deberán usar los esfuerzos permisibles básicos, los cuales corresponden a los recomendados en la sección de especificaciones del AISC y en la sección de diseño estructural de acero del API RP 2A.

La falta de simetría estructural y de cargas, así como la incierta dirección de arribo de la tormenta máxima, originan la necesidad de analizar a la plataforma para tormentas provenientes de 8 direcciones, separadas a 45° unas de otras, quedando 4 de ellas alineadas con los ejes principales de la estructura.

CARGAS DE OLEAJE.

Todo cuerpo sumergido en un líquido en movimiento experimenta fuerzas hidrodinámicas que se pueden determinar por medio de la ecuación de Morison:

$$F = \frac{1}{2} \rho C_d A u|u| + C_m V \frac{du}{dt}$$

donde,

F= Fuerza hidrodinámica (lb)

ρ = Densidad del agua $\left(\frac{\text{lb} - \text{seg}^2}{\text{pie}^2}\right)$

A= Area expuesta proyectada por el elemento en la dirección del movimiento del agua (pies²)

C_d= Coeficiente de arrastre.

C_m= Coeficiente de masa ó inercia.

u = Componente del vector de velocidad del agua, perpendicular al eje del elemento. (pie/seg).

V= Volumen desplazado por el elemento (pies³).

$\frac{du}{dt}$ = Componente del vector de aceleración del agua, perpendicular al eje del elemento (pie/seg²).

Las velocidades y aceleraciones de las partículas de agua son funciones de la altura de ola, del período de la ola, del tirante de agua, de la distancia al fondo marino y del tiempo. Estas funciones pueden determinarse por diferentes métodos o teorías entre las que se encuentran:

- 1.) Ola de Airy o Lineal.
- 2.) Stokes de 5^{to} Orden.
- 3.) Función de corriente.
- 4.) Ola Senoidal.
- 5.) Ola Solitaria.

En lo relacionado a la aplicabilidad de cada una de las teorías existen diferentes criterios según lo muestran las figuras 4.3 y 4.4.

El estudio oceanográfico realizado por A.H. Glenn y Asociados, para la Sonda de Campeche en tres tirantes diferentes, de 42.7, 131.2 y 210 pies proporciona los datos necesarios para que en función de un tirante dado se determinen los parámetros necesarios para la obtención de las fuerzas de oleaje.

Para cada dirección de oleaje se requiere hacer un barrido de olas ubicando a diferentes distancias la posición de la cresta, de tal manera que permita conocer la posición crítica de la ola, que al actuar sobre la plataforma le provoque el momento de volteo máximo.

Para el cálculo de las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre los elementos de la subestructura se considera que sus diámetros se incrementan por efecto del crecimiento marino.

M A R E A S.

Existen dos tipos de mareas, las astronómicas y las de tormenta. Las mareas astronómicas dependen de las atracciones que ejercen la Luna y el Sol, principalmente sobre los océanos. Las mareas de tormenta son debidas principalmente al empuje y arrastre superficial que ejerce el viento sobre el agua del mar. Se deberá considerar la presencia simultánea de ambos tipos de marea en las condiciones de carga ambientales, por medio de la suma directa de sus alturas con el tirante de agua del nivel medio bajamar.

CORRIENTES MARINAS.

Las corrientes marinas son debidas a tres factores principalmente, constituidos por el arrastre superficial del viento, cambios de densidad del agua de mar y variación del tirante de agua por las mareas.

En los puntos situados en la cresta de la ola, esto es por arriba del tirante medio, se considera que la velocidad de la corriente permanece constante e ---

igual el valor correspondiente a la elevación del tirante medio.

Las velocidades de las corrientes marinas son sumadas a las velocidades debidas al oleaje para la obtención de las fuerzas actuantes sobre la plataforma.

VIENTO.

Se aplican empujes por viento en direcciones correspondientes con el oleaje, sobre las áreas expuestas de equipo, paquetería y elementos estructurales localizados por arriba de la superficie del mar descrita por el perfil de la ola.

Debido a que la altura máxima de la plataforma sobre el nivel medio del mar es aproximadamente de 120 pies, no se considera la variación de la velocidad del viento con respecto de la altura, utilizándose velocidades constantes.

Las fuerzas de viento se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$F = 0.00256 (V)^2 C_s A$$

donde:

F= Empuje de viento (lb)

Cs= Coeficiente de forma

A= Area expuesta (pies²)

V= Velocidad del viento (Mph)

Se deberá hacer una bajada de cargas que considere los cortantes y momentos debidos a excentricidades en las resultantes de la acción del viento sobre los equipos, tubería y paquetería.

El coeficiente de forma depende de las características geométricas que presente el área expuesta y toma los siguientes valores:

Concepto	Cs
Vigas	1.5
Lados de edificios	1.5
Secciones cilíndricas	0.5
Cualquier área proyectada de la plataforma	1.0

FUERZAS DE FLOTACION.

La fuerza de flotación es ejercida por el medio acuático, como resultado del desalojo de una parte de su volumen por efecto de la inmersión en ella de la subestructura. La fuerza de flotación actúa en la misma dirección de la fuerza de gravedad y en sentido opuesto, y ya que su efecto depende del volumen, el centroide de aplicación de esta fuerza corresponde al del volumen sumergido de la estructura. Su efecto local sobre los elementos es muy pequeño, y su importancia se manifiesta en las reacciones que ejerce sobre la cimentación.

FUERZAS HIDROSTATICAS.

Estas fuerzas actúan sobre todos aquellos elementos sumergidos dentro del mar, cuyo interior no está sujeto a inundarse, como es el caso de todo el sistema de arriostramiento de la subestructura.

Las fuerzas hidrostáticas inducen esfuerzos de arco sobre las secciones circulares, comprimiéndolas, pudiendo ocasionar su falla por pandeo local, al actuar en combinación con esfuerzos provocados por los elementos mecánicos ocasionados por las otras fuerzas.

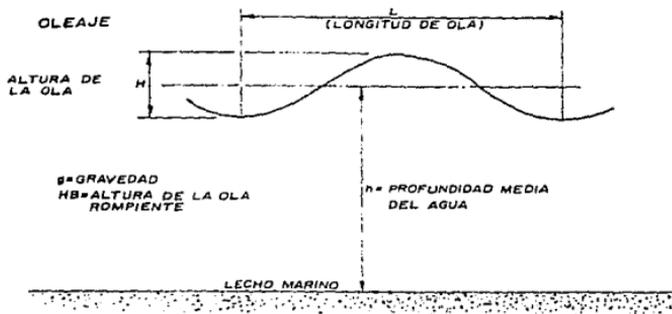
Las fuerzas hidrostáticas defieren de las demás, por el hecho de que no provocan desplazamientos en los nudos de la estructura, por lo que no intervienen en el análisis estructural del conjunto.

CONDICIONES Y COMBINACIONES DE CARGA.

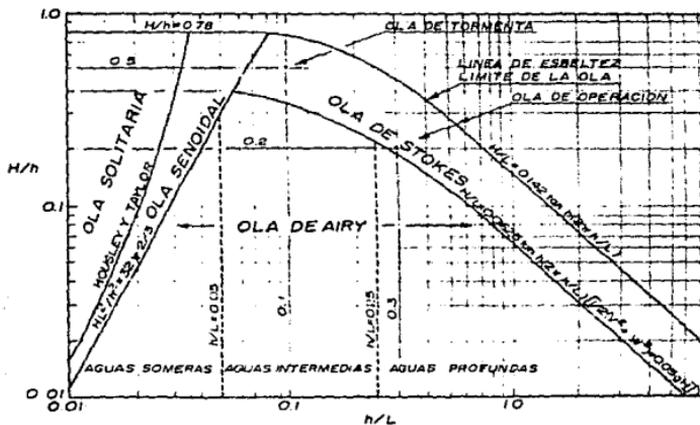
Resulta indispensable para el análisis estructural la agrupación de cargas-- en forma de condiciones de carga, con objeto de diferenciar los efectos provocados por la acción de cada una de éstas en la estructura, identificando además los diversos tipos de cada carga que deben combinarse para intervenir en un análisis determinado, considerando las diversas direcciones de incidencia del oleaje, así como las magnitudes de éste correspondientes al período de re tor no aplicable.

Cada combinación de cargas expresa una condición a la que se sujeta la estruc tura, con objeto de conocer su comportamiento.

Usualmente se realiza una combinación de cargas para cada una de las direccio nes de incidencia del oleaje para las condiciones de tormenta. En cambio, pa ra las condiciones de operación, las direcciones de incidencia del oleaje no son importantes, considerando para este caso combinaciones de cargas en que - se analizan alternativas de la distribución de los equipos.

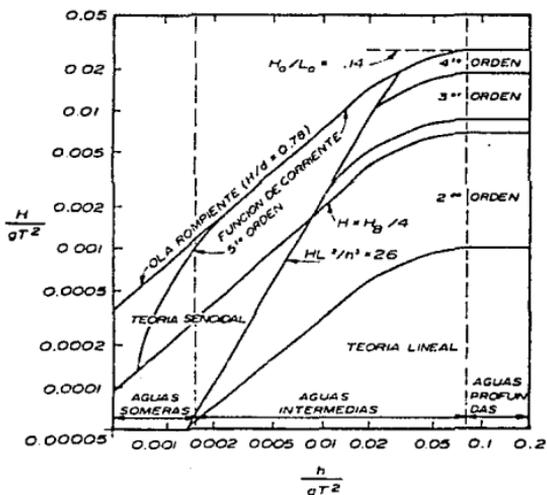
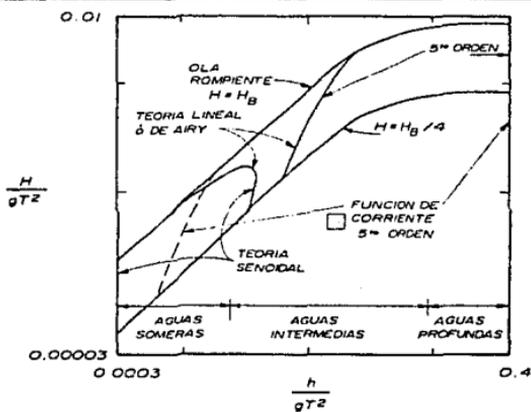


LITERALES Y SU SIGNIFICADO



RANGOS DE APLICACION DE TEORIAS DE OLAJE
KOMAR D. PAUL "BEACH PROCESSES AND SEDIMENTATION"
PRENTICE HALL INC 1976. P 61.

Figura 4.3



RANGOS DE APLICACION DE TEORIAS DE OLAJE SEGUN DEAN (1970)
Y LE MEHAUTE (1976) SARP KAYA, T. E. ISAACSON, M., "MECHANICS
OF WAVE FORCES ON OFFSHORE STRUCTURES." NUEVA YORK; VAN
NOSTRAND REINHOLD CO., 1981.

Figura 4.4

4.1.4 DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA

4.1.4.1 DISEÑO PRELIMINAR.

A. ESTRUCTURACION.

Las actividades con las que se da inicio al diseño de la subestructura corresponden a su estructuración, la cual debe considerar los siguientes conceptos.

A.1 D U C T I L I D A D .

El arreglo de los elementos de arriostramiento debe proporcionar al conjunto estructural características de ductilidad, de tal forma que al presentarse la falla de alguno de ellos la estructura sea capaz de redistribuir las cargas -- que la afectan sin llegar al colapso. Esto aplica principalmente a elementos contenidos en los marcos transversales y longitudinales, debido a que la condición de presunta falla es originada por cargas horizontales extremas.

Usualmente la configuración del sistema de arriostramientos incluye arreglos -- en "X", "K" y diagonales sencillas. Las figuras 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 ejemplifican algunas posibles configuraciones de arriostramiento.

A.2 LINEAMIENTOS GEOMETRICOS.

La subestructura realiza la función de rigidizar al grupo de pilotes que -- contiene dentro de sus piernas, interconectándolos para lograr su trabajo conjunto, de tal forma que sean capaces de resistir las fuerzas que actúan sobre -- la plataforma y transmitir las a su cimentación.

La presencia de fuerzas horizontales de gran intensidad originadas por la -- acción del viento y oleaje sobre la plataforma, da lugar al empleo de elementos de arriostramiento en la subestructura, que proporcionen rigidez lateral -- de conjunto a través de su trabajo axial principalmente. El arreglo del sistema de arriostramientos se integra a base de marcos o tableros formados por las columnas o piernas y elementos horizontales de menor diámetro, cuyos despla-

mientos verticales y horizontales se hallan restringidos por diagonales cuya capacidad axial debe satisfacer solicitaciones de compresión y tensión.

La altura de los marcos o tableros en que se divide la subestructura se halla limitada por el ángulo de inclinación necesario para el trabajo eficiente del elemento o elementos diagonales, así como por la longitud libre de pandeo de los pilotes contenidos en las piernas, debido a que el contacto entre ambos elementos se lleva a cabo en los nudos donde convergen los miembros horizontales y diagonales.

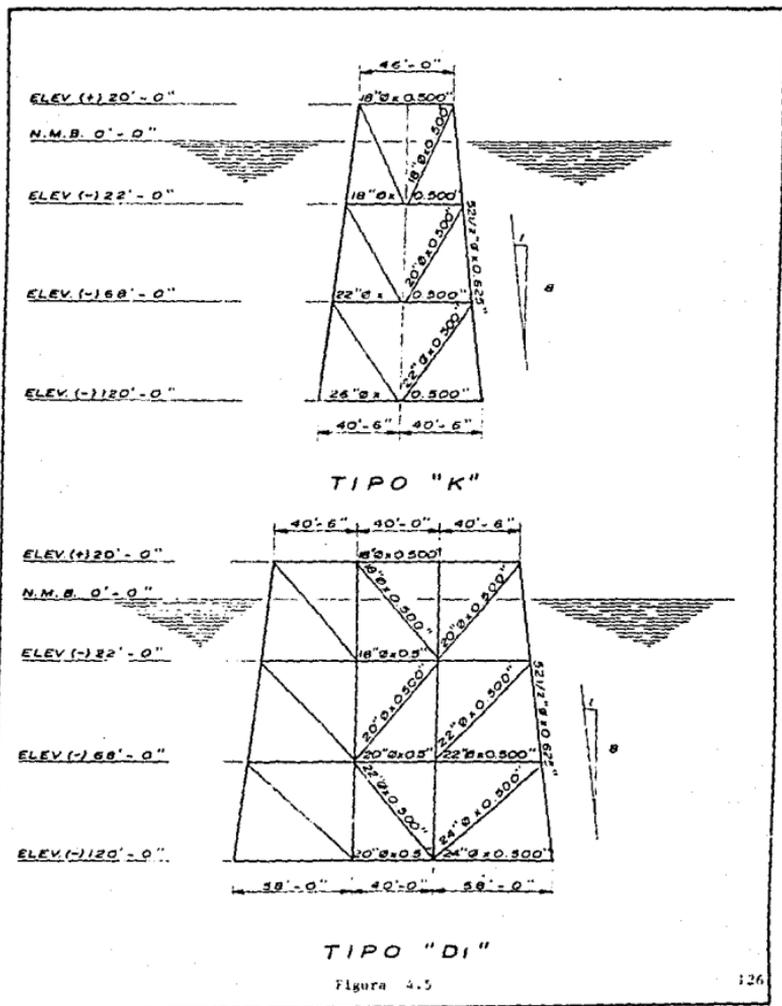
Los ángulos con respecto a la horizontal, recomendados para los elementos de arriostramiento son:

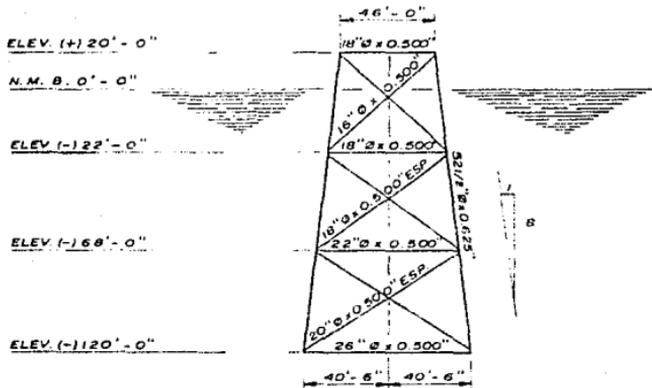
- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| a). Para Diagonales Sencillas | $40^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$ |
| b). Para Arreglos en "K" | $45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ |
| c). Para Arreglos en "X" | $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ |

La inclinación de los elementos que conforman el sistema de arriostramiento de la subestructura debe limitarse también a ángulos que originen que la longitud proyectada de estos sobre las piernas u otros elementos sea mínima, consiguiendo de esta forma longitudes de soldadura menores, longitudes mínimas en los carretes de refuerzo de las piernas y una mayor facilidad para el biselado del extremo del elemento y ejecución de su soldadura.

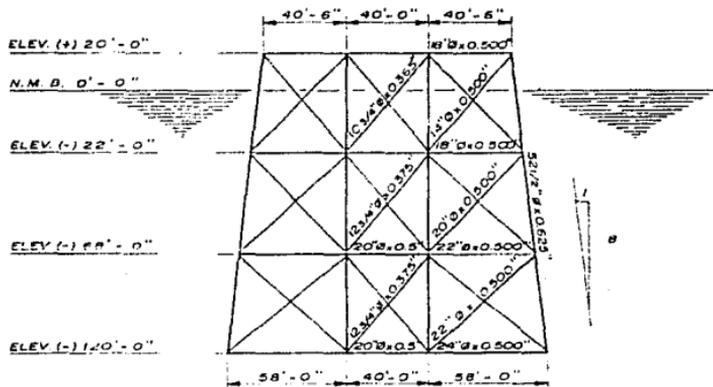
El sistema de arriostramiento se completa con elementos diagonales que en conjunto con los elementos horizontales de interconexión entre columnas, forman tableros o marcos horizontales denominados plantas de arriostramiento, que complementan la rigidez lateral de la subestructura, proporcionándole principalmente rigidez a torsión.

Al igual que en otros tipos de estructuras, la simetría constituye un factor importante en cuanto a la distribución de las cargas sobre la plataforma, así como en su respuesta ante ellas, por lo que siempre que sea posible debe procurarse, de tal manera que se eviten excentricidades, cuya presencia origina sollicitaciones mayores.



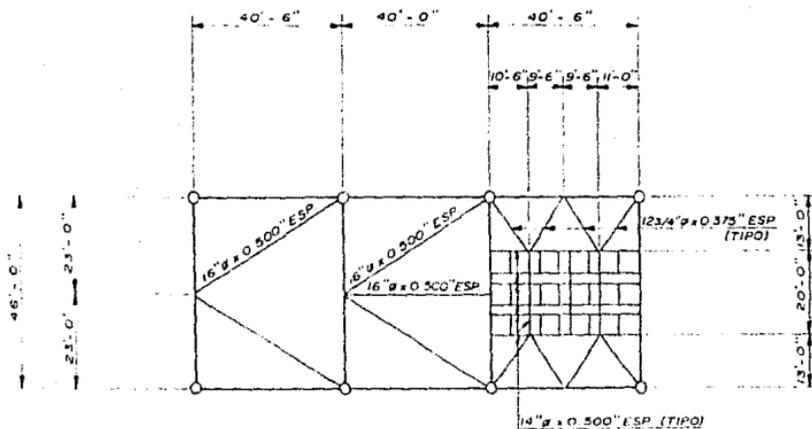


TIPO "X"



TIPO "X"

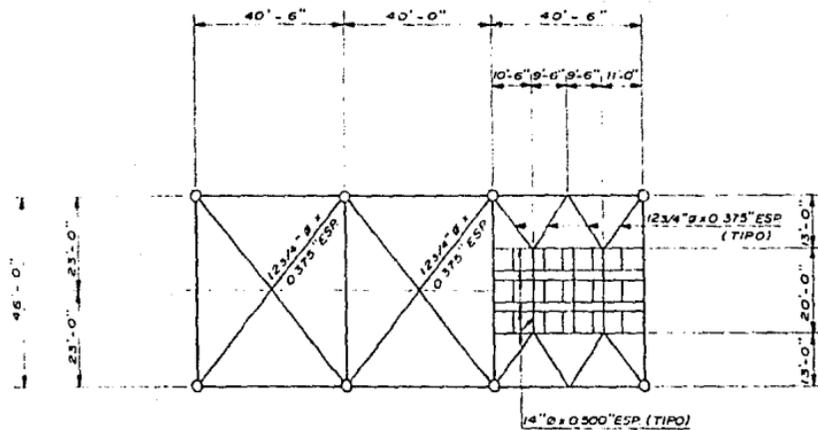
Figura 4.6



PLANTA EN ELEVACION (+) 20'-0"

TIPO "K"

Figura 4.7



PLANTA EN ELEVACION (+)20'-0"

TIPO "X"

Figura 4.8

A.3 FACTIBILIDAD.

Los elementos de juicio que dan lugar a la selección de una configuración apropiada, es decir que proporcione un comportamiento estructural satisfactorio - y que tome en cuenta la complejidad y costo de fabricación, son los siguientes:

- La rigidez que proporciona el sistema de arriostramientos a la subestructura debe ser tal que permita una distribución uniforme de las cargas actuantes de manera que se logre la participación activa del mayor número de sus elementos. Asimismo debe proporcionar una variación gradual en los desplazamientos relativos entre sus niveles.

- Debe encontrarse un equilibrio entre el peso del sistema de arriostramiento y el número de sus piezas y conexiones, los cuales constituyen los conceptos principales para la determinación de su costo. Asimismo la variación de perfiles y tipos de aceros requeridos constituyen elementos a considerar.

B. DIMENSIONAMIENTO.

El dimensionamiento preliminar de los elementos de la subestructura se refiere básicamente al sistema de arriostramientos, ya que las piernas se dimensionan principalmente en base a las características básicas ya señaladas.

Desde el inicio deben considerarse los aspectos de pandeo local de las secciones, así como el de las barras. Las siguientes relaciones recomendadas para los arriostramientos garantizan el equilibrio entre el peso del elemento y su capacidad de carga.

- a). $D/t \leq 60$
- b). $70 \leq kl/r \leq 90$

La relación diámetro a espesor inferior a 60 determina que los elementos se hallen exentos del pandeo elástico de sus secciones.

El factor de longitud efectiva k adquiere los siguientes valores según la estructuración a la que corresponda:

- $k = 0.8$ Para diagonales principales y elementos que formen parte de una "K".
- $k = 0.9$ Para el elemento de mayor longitud de una "X".
- $k = 0.7$ Para horizontales secundarias

En forma preliminar "l" pueda medirse a partir de las intersecciones de los ejes de elementos.

Al mantener la relación de esbeltez dentro del rango establecido se obtiene que los elementos de mayor longitud son también los de mayor sección transversal y capacidad de carga.

A sabiendas de que los arriostramientos trabajan en esencia axialmente, en su dimensionamiento preliminar sólo se considera su capacidad axial; y dada la forma piramidal de la subestructura así como la inclinación recomendada para los arriostramientos; y que el total de la carga que afecta a la plataforma se transmite a la cimentación al nivel del lecho marino, dan lugar a que los elementos más grandes se localicen en la parte inferior.

La variación gradual en la capacidad de carga y rigidez de los elementos de arriostramiento, de acuerdo a la posición que poseen dentro del conjunto de la subestructura, se logra también al dimensionarlos en base a las relaciones de esbeltez indicadas.

Los perfiles obtenidos de acuerdo a lo antes mencionado corresponden a diámetros desde 16" (40.6 cm) hasta 30" (76.2 cm). Es menester señalar la conveniencia de emplear desde esta etapa perfiles comerciales.

Las fórmulas aplicables para la determinación de la capacidad de carga admisible por compresión son las especificadas por el AISC, en su Sección 1.5.1.3, mismas que a continuación se transcriben:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2 C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{Kl/r}{C_c} \right) - \frac{(Kl/r)^2}{8 C_c^3}} \quad \text{-----(1.5.1)}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{F_y}}$$

Los esfuerzos de compresión originados por la presión hidrostática sobre los elementos de arriostramiento que se hallan sumergidos en el mar, normalmente son poco significativos, debido a esto, su cuantificación e interacción con los esfuerzos debidos a flexocompresión o flexotensión se efectúa en la etapa final de diseño. De igual forma, el efecto de punzonamiento en las conexiones no se revisa sino hasta dicha etapa.

Una vez terminado el diseño preliminar de la subestructura, se tienen ya todos los datos necesarios para que en conjunto con los diseños preliminares de la superestructura y la cimentación, pueda efectuarse su análisis estructural con junto, mismo que se realiza con el empleo de programas de computadora. Estos programas llevan a cabo también la revisión del diseño de cada uno de los elementos que se incluyen para el análisis; el examen de los resultados obtenidos en la revisión computarizada del diseño preliminar, así como las acciones que se derivan de ello, constituyen lo que podría llamarse diseño final.

4.1.4.2 DISEÑO FINAL.

Dada la complejidad de la estructura de la plataforma y el gran número de combinaciones de carga a que debe sujetarse, los paquetes de programas de computadora elaborados específicamente para resolver el problema estructural, además de contar con capacidades que facilitan la modelación de la geometría y cargas, efectúan el análisis y la revisión del diseño.

Las actividades a realizarse para obtener el diseño final de la subestructura se describen a continuación en forma general:

A. ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS PARA DISEÑO.

Para que el programa revise el diseño preliminar propuesto para la subestructura, debe establecerse un modelo representativo de ésta, para lo cual es necesario considerar a todas las variables involucradas.

- a). **GENERALES.** El programa considera de antemano los valores comunes para el acero estructural del módulo de elasticidad y relación de Poisson, y lleva a cabo la revisión del diseño de acuerdo con los criterios y fórmulas incluidas en las especificaciones del AISC y en las recomendaciones API RP2A
- b). **PARTICULARES.** Para cada elemento de la subestructura se establecen características tales como:

- esfuerzo de fluencia.
- longitud libre de pandeo.
- factor de longitud efectiva.
- valor del incremento de esfuerzos permisibles.
- inundado o no inundado (cálculo de presión hidrostática)
- longitudes de los diversos perfiles de que consta en caso de elementos de sección variable.

Las propiedades geométricas de las secciones, tales como área, momentos de -- inercia, módulo de sección, radio de giro, etc. son calculadas por el programa en base a los datos del diámetro y espesor.

B. REVISIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS Y DISEÑO.

Los datos que se obtienen de la ejecución del programa son:

- Elementos mecánicos actuantes sobre el miembro
- Esfuerzos actuantes por carga axial y flexión
- Relación de interacción de esfuerzos normales
- Esfuerzos actuantes por cortante
- Relación de interacción por cortante,
- Esfuerzos actuantes por presión hidrostática
- Relación de interacción de esfuerzos normales y esfuerzos de aro.

El examen de estos resultados se efectúa para cada elemento, basándose inicialmente en las relaciones de interacción, a partir de lo cual se seleccionan -- aquellos elementos en los que se observan valores inadmisibles, mismos que se sujetan a un examen más detallado, el cual culmina en el planteamiento de su rediseño.

C. REDISEÑO.

Para el caso de los elementos cuya relación de interacción exceda a la unidad, -

se detecta si en forma parcial o en toda su longitud se encuentran escasos, determinando de esta forma si deben sustituirse o reforzarse.

Los miembros que poseen relaciones de interacción muy pequeñas se sustituyen por otros de menor capacidad de carga, considerando como base los mismos elementos mecánicos actuantes.

Cabe recordar que la estructuración de la subestructura, además de satisfacer la condición de análisis "En Sitio", debe hacerlo también para aquellas debidas a su construcción, carga, transporte, lanzamiento e izaje, lo cual origina que algunos de sus miembros se hallen esforzados sólo para alguna de dichas condiciones, mismos que deberán reconocerse para no plantear equivocadamente su sustitución.

Al efectuar los cambios originados por el rediseño, deben seguirse manteniendo los principios de la estructuración referidos a la simetría y rigidez de la estructura. Así mismo, en función de la magnitud de tales cambios, podrá establecerse la necesidad de efectuar una corrida adicional de análisis y diseño en donde se incluyan las modificaciones ocasionadas por el rediseño.

D. REVISION DE LAS CONEXIONES POR PUNZONAMIENTO.

Los efectos locales desarrollados en las conexiones entre los elementos tubulares que integran la subestructura son originados por la acción de punzonamiento o desgarramiento que ejerce uno de ellos al incidir sobre otro (ver figura 4.9).

Estos efectos son difíciles de evaluar, contando para ello actualmente con fórmulas empíricas basadas en resultados experimentales.

Las variables geométricas que intervienen en la obtención de los esfuerzos actuantes y permisibles son las siguientes:

- θ = Angulo de incidencia del elemento menor (medido con respecto al eje del elemento mayor).
- g = Separación
- t = Espesor del elemento menor.
- T = Espesor del elemento mayor.
- d = Diámetro del elemento menor.
- D = Diámetro del elemento mayor.
- z = t/T
- β = d/D
- r = D/(2T)
- f = Esfuerzo nominal axial en el plano de la flexión-
o fuera del plano de la flexión del elemento menor.
- vp = Esfuerzo cortante actuante por punzonamiento.
- vpa = $Qq Qf \frac{Fy}{0.6}$ = Esfuerzo cortante permisible por punzonamiento
en la pared del elemento mayor.
- Qf = Variable que depende de los esfuerzos longitudinales en el elemento mayor.
- Qq = Variable que depende del tipo de conexión (K, X, Y y T).

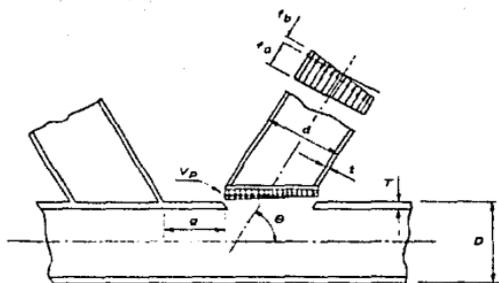
El efecto de cada uno de los elementos que inciden sobre otro se calcula separadamente.

En general, las conexiones traslapadas no se recomiendan debido a que son poco resistentes a la fatiga, por lo que han quedado en desuso en los diseños - más recientes.

Para una discusión más amplia del tema se remite al lector a la sección 2.5.5 de las recomendaciones API RP2A.

En el procedimiento usual de diseño, la revisión por punzonamiento de las conexiones se realiza después de obtener el primer análisis de la estructura sujeta a las solicitaciones de la condición "En Sitio", ya que hasta esta etapa pue

den conocerse los elementos mecánicos actuantes en cada una de las barras o elementos de la estructura. La revisión por punzonamiento se efectúa mediante el empleo de un programa de computadora dado el elevado número de conexiones presentes en la subestructura así como el importante número de combinaciones de carga a que se somete para la determinación de su comportamiento.



$$v_p = Z f \sin \theta$$

CONEXION TUBULAR SIMPLE

Figura 4.9

4.1.5 DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA

4.1.5.1 DISEÑO PRELIMINAR.

A.1 ANALISIS SIMPLIFICADO.

La estructuración de la superestructura se forma con marcos, a base de columnas y traveses, con sistemas de piso formados por largueros que proporcionan apoyo al equipo y áreas de trabajo, misma que es función de la distribución y operación del equipo de perforación.

Su diseño preliminar consiste inicialmente en realizar la bajada de cargas y un análisis simplificado para cada trabe, obteniendo las bases para definir sus perfiles. A continuación se efectúa un análisis simplificado de los marcos, considerando dos condiciones de carga, una debida a cargas gravitacionales y la segunda debida a éstas más las cargas laterales por efecto del viento. En estos análisis se considera una reserva del 30% al 40% en la capacidad de carga de las secciones, destinada a satisfacer los momentos flexionantes causados por los desplazamientos de la subestructura y pilotes resultado de su análisis conjunto para la condición "En Sitio".

Los largueros se diseñan para una condición general de carga, en base a los datos obtenidos en la bajada de cargas, idealizándolos como vigas -- continuas. Para el caso particular de algunos de ellos, sobre los que in ciden cargas concentradas, se llevan a cabo también análisis más detallados.

A.2 SELECCION DE PERFILES.

Columnas.- El diámetro de las columnas debe ser compatible con los pilotes, restando sólo la determinación del espesor, mismo que debe corresponder a alguno de los espesores comerciales de placa, ya que la obtención del perfil requerido se realiza mediante el rolado en frío de la -- placa.

Trabes Principales.- Las dimensiones requeridas para los perfiles de trabes principales sólo pueden satisfacerse mediante su fabricación con tres placas soldadas. La selección de las placas y su soldadura, deben realizarse con base en el conocimiento de las dimensiones de placas comerciales y de los procedimientos de manufactura de elementos soldados.

Largueros.- Los largueros por lo regular suelen satisfacerse con perfiles laminados en caliente, ya que en general la sección requerida no es muy grande, y en cambio la cantidad de largueros es significativa, resultando idónea la utilización de tales perfiles; la selección se hace en base a la producción comercial, empleando aquellos que satisfaciendo los requerimientos de diseño sean los más ligeros. En general son utilizados perfiles tipo IPR o W (perfiles tipo I de platón ancho), los cuales se fabrican expresamente para ser utilizados como vigas.

A.3 DIMENSIONAMIENTO.

El dimensionamiento de las trabes se basa en las especificaciones del AISC, bajo el principio de que las secciones satisfagan los requerimientos de esbeltez para vigas compactas, con objeto de constituir una estructura de comportamiento dúctil y de gran resistencia al colapso.

Las trabes principales son apoyadas lateralmente en ambos patines mediante trabes secundarias, que evitan el pandeo general del patín de compresión por flexión, debido a la presencia de momentos negativos actuantes en gran parte de su longitud, durante la acción de cargas horizontales.

Las trabes sujetas a cargas concentradas de importancia se revisan desde esta etapa por aplastamiento del alma, reforzándose con atiesadores.

A.4 CONEXIONES.

Al efectuar el dimensionamiento de las trabes principales y secundarias así como el de largueros y elementos complementarios secundarios, debe —

mantenerse presente invariablemente el problema de su interconexión, de tal forma que los peraltes y espesores sean compatibles y sea factible su unión, además, de lograr la mayor sencillez y eficacia.

Las conexiones deben realizarse de acuerdo con su idealización para el análisis y viceversa, estableciéndolas en función de las necesidades del diseño.

Desde la etapa preliminar se plantea la solución de las diversas conexiones requeridas en la superestructura, y en general son poco susceptibles de variaciones en la parte final del diseño.

Usualmente la conexión entre patines es de penetración completa, mientras que las almas se conectan con soldaduras de filete regularmente -- de mínimo tamaño, ya que en general los esfuerzos cortantes son pequeños. Para favorecer la transmisión de elementos mecánicos en la conexión trabe-columna de la cubierta inferior, a la vez de disminuir los efectos locales por la incidencia directa de los patines sobre la pared de la columna, se recurre al empleo de anillos denominados placas rigidizadoras, que constituyen elementos de transición entre trabe y columna. Adicionalmente estas placas aumentan la rigidez de los marcos y de la propia cubierta.

En la cubierta superior las trabes se apoyan sobre el extremo de la columna, con objeto de satisfacer requerimientos de operación de la paquetería de perforación. Los mismos requerimientos establecen que trabes y largueros coincidan en su paño superior, dando lugar al manejo de un gran número de piezas de los largueros, cortes, preparaciones y soldaduras.

La conexión de largueros en la cubierta inferior no se halla condicionada, por lo que su solución consiste en apoyarlos sobre los patines superiores de trabes, soldándolos con filetes, simplificando la conexión, evitando su seccionamiento y reduciendo el número de piezas.

Las conexiones para las condiciones del ambiente marino deben evitar hen

deduras y cavidades que favorezcan el acumulamiento y permanencia de la humedad y corrosión.

Las figuras 4.10, 4.11 y 4.12 muestran características generales -- del diseño de la superestructura, pudiendo apreciarse sus dimensiones generales, estructuración, dimensiones de sus elementos, conexiones, soldaduras, notas, etc.

4.1.5.2 DISEÑO FINAL.

A. REVISION DEL DISEÑO UTILIZANDO LA COMPUTADORA.

El diseño final de esta parte de la plataforma se basa en los resultados obtenidos del análisis estructural del conjunto, para la condición en sitio, mismo que se realiza mediante el empleo de programas de computadora, cuyas capacidades incluyen la revisión del diseño de los elementos.

El modelo representativo de la superestructura, para efectos de análisis, se constituye por elementos principales únicamente, tales como columnas - y trabes, siendo por consiguiente los únicos sujetos a la revisión de su diseño, lo cual implica que el efecto de los elementos secundarios deba ser considerado, no obstante que éstos no participen como barras definidas en el modelo estructural.

El programa calcula los esfuerzos actuantes sobre los elementos y determina los permisibles en base a los criterios y fórmulas de diseño del -- AISC para flexocompresión, flexotensión y cortante, reportándolos al ---

igual que las relaciones de interacción obtenidas.

Los datos que se alimentan al programa para la revisión del diseño son - los mismos que se requieren al efectuar esta revisión a mano:

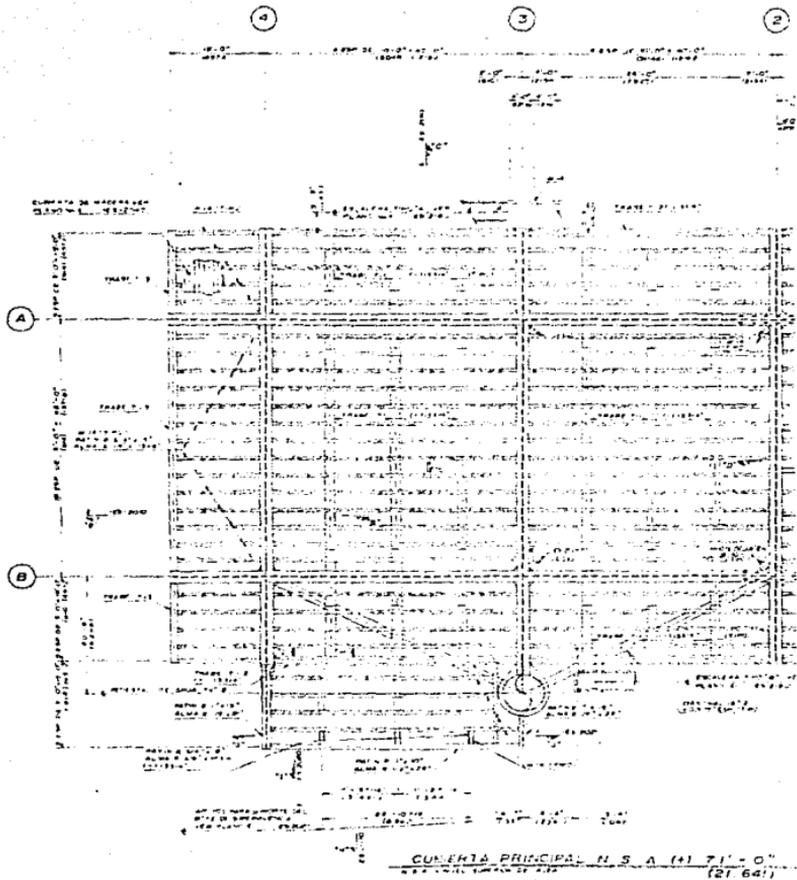
- a). Dimensiones de la sección: diámetro y espesor para elementos tubulares; peralte, espesor del alma, ancho y espesor de patines para vigas.
- b). Esfuerzo de fluencia del material.
- c). Longitud libre de pandeo alrededor del eje de mayor momento de inercia de la sección.
- d). Longitud libre de pandeo alrededor del eje de menor momento de inercia de la sección.
- e). Factor de longitud efectiva en el plano de la flexión.
- f). Valor del incremento de esfuerzos permisibles.

Para aquellas trabes en las que uno sólo de sus patines se encuentra -- apoyado lateralmente lo cual no puede definirse convenientemente en el programa, se complementa su revisión manualmente.

En lo relativo a la revisión por cortante, no es posible incluir en el - modelo la presencia de atiesadores, por lo que también esta revisión del diseño se complementa manualmente.

B. REDISEÑO.

Los resultados obtenidos de la revisión del diseño, se evalúan, identificando los cambios y ajustes por realizar; y en función de la magnitud -- de éstos se determina si es o no necesario ejecutar nuevamente el programa de análisis y revisión del diseño.



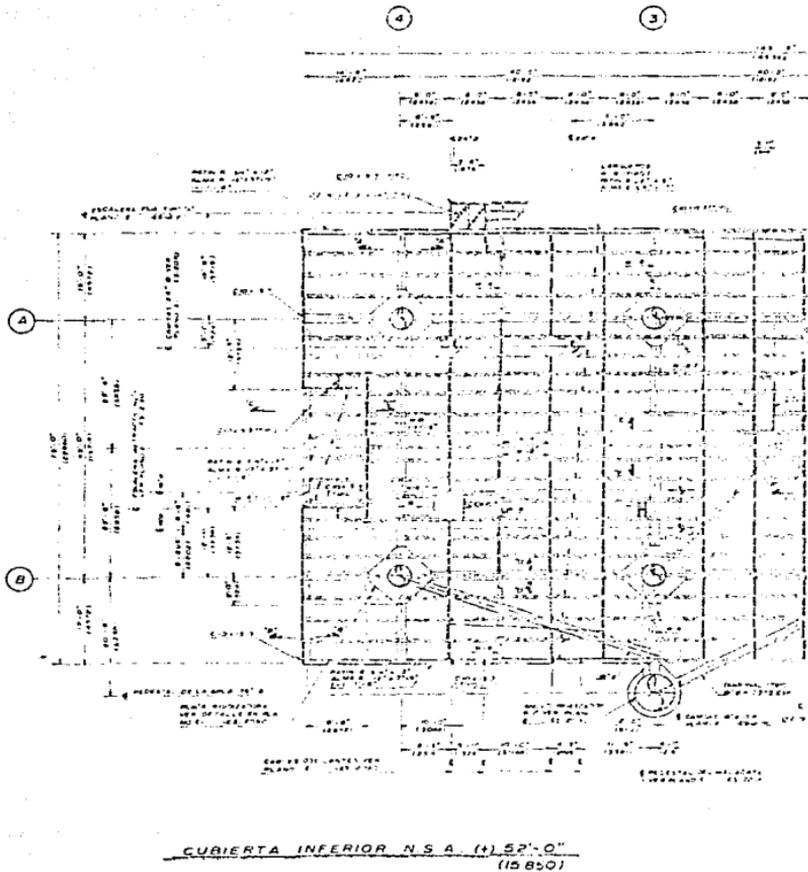


Figura 4.11

4.1.6 DISEÑO DE PILOTES

Para su diseño los pilotes se dividen en pilotes de esquina y pilotes interiores, atendiendo a la posición que tiene cada uno de ellos en la plataforma, - en función de la cual participan para resistir las fuerzas que la afectan.

El diseño de cada pilote se basa en aquellas combinaciones de carga que le originan las combinaciones máximas de elementos mecánicos, para las diferentes direcciones en que pueden incidir sobre la plataforma las fuerzas de oleaje. En esta etapa se determina la longitud del pilote y su configuración en cuanto a los espesores de las secciones de que consta, así como la distribución de éstas.

Las condiciones de manejo de los pilotes en el patio de fabricación, así como las de su embarque e hincado, establecen requerimientos adicionales que deben satisfacerse en su diseño, los cuales implican no sólo parámetros de resistencia, sino que involucran aspectos relacionados con características de los equipos de construcción, transporte e instalación. En esta etapa se determina el número, disposición y características de los tramos que integrarán a cada pilote.

4.1.6.1 DISEÑO PRELIMINAR.

Las propiedades mecánicas del suelo determinan que el análisis y diseño de los pilotes se realice mediante iteraciones, por lo cual ambas actividades parten de datos y características preliminares.

A.1. DATOS INICIALES.

Para obtener el diseño preliminar de un pilote, además de considerar las características estandar descritas al inicio de este capítulo, es necesario contar con el reporte geotécnico de un sondeo efectuado en el sitio donde se ing

talará la plataforma, y conocer los valores de las fuerzas o elementos mecánicos preliminares que actúan sobre el pilote al nivel del lecho marino, los cuales pueden obtenerse según las siguientes opciones:

- a). En base a los resultados obtenidos de análisis anteriores, correspondientes a plataformas cuyas características de tirante y estructuración sean similares a los de la plataforma por diseñar.
- b). Determinando los valores de fuerzas gravitacionales y de oleaje que actúan sobre la plataforma, estimando una distribución de éstas sobre los pilotes.

A.2 PENETRACION DEL PILOTE.

Conocido el valor de la carga axial que actúa sobre el pilote se determina la penetración requerida en base a la curva de capacidad de carga axial incluida en el reporte geotécnico.

A.3 CONFIGURACION DEL PILOTE.

Los pilotes constituyen en promedio, el cincuenta por ciento del peso total de la estructura de una plataforma, lo que equivale a un peso aproximado de 1500 Ton , lo cual aunado a sus características de longitud, procedimientos constructivos y de instalación, determinan que su configuración revista una gran importancia, ya que en ella se establecen los distintos perfiles que integran al pilote, así como su distribución a lo largo de éste.

Ya que el pilote se halla afectado por cargas que varían a lo largo de su longitud, la cual es muy grande, debe obtenerse un diseño que considere el empleo de diferentes secciones, arreglándolas de tal forma que sus características de resistencia se ajusten en lo posible a la variación de las solicitaciones, sin pasar por alto aspectos prácticos tales como:

- 1.- Espesores comerciales y longitudes en que se fabrican los tubos aplica-

bles al diseño de pilotes en el mercado internacional y nacional.

2. Dimensiones comerciales de placa, ya que por lo regular los tubos de las dimensiones requeridas para los pilotes son de placa rolada en frío.
3. Capacidades del equipo de rolado disponible en el país.
4. Disponibilidad en el mercado de diversos tipos de aceros estructurales.
5. Limitar la variedad de secciones a utilizar.
6. Las transiciones entre las diversas secciones deben ser graduales.

Como inicialmente no se conoce la variación de las solicitaciones que actúan a lo largo del pilote, disponiendo únicamente de datos preliminares de las cargas o elementos mecánicos que actúan en su cabeza al nivel del lecho marino, la configuración preliminar del pilote puede obtenerse en base a la información de que se disponga optando por alguna de las siguientes alternativas:

- a). Suponiendo una configuración basada únicamente en las características estandar relativas al diseño de pilotes.
- b). Tomando como base la configuración de pilotes diseñados con anterioridad cuyas solicitaciones al nivel del lecho marino sean similares.

A partir de la configuración inicial ya establecida puede obtenerse la configuración preliminar, para la cual es necesario dividir al pilote según los sistemas subestructura-pilote y suelo-pilote.

En el caso del sistema subestructura-pilote, la configuración inicial del pilote se toma como aceptable para la primera iteración del análisis estructural de la plataforma para la condición en sitio. Por su parte, la configuración inicial que corresponde al sistema suelo-pilote, se modela con el empleo de un programa

de computadora y se somete a las solicitudes preliminares que actúan en la cabeza del pilote al nivel del lecho marino, obteniendo como resultado una -- distribución preliminar de solicitudes a lo largo de este, con la cual puede establecerse una configuración más aproximada, en la que se toma en --- cuenta la participación del suelo. La configuración así obtenida puede con siderarse como preliminar, empleándose para la obtención del modelo suelo-pilote que se utilizará para la primera iteración del análisis estructural de la pla forma para la condición en sitio.

Una vez definida la configuración preliminar de los pilotes, además de dar lugar al inicio del análisis de la estructura de la plataforma, pueden obtenerse sus listas preliminares de materiales y dibujarse planos con el mismo carácter, los cuales regularmente son requeridos para formar parte de documentos para -- el concurso de la fabricación de la obra.

A.4 ARREGLO PRELIMINAR DE TRAMOS DE PILOTES.

En esta etapa es posible establecer el número y características de los tramos - que integrarán al pilote. Para ello es necesario considerar los siguientes aspectos:

1. Las longitudes de los tramos del pilote deben ser tales que al efectuar - el hincado de cada uno de ellos excepto para el último, la punta del primero quede ubicada preferentemente en estratos arcillosos, con objeto de que la capacidad por punta sea relativamente pequeña, evitando una mayor resistencia del terreno para la reanudación del hincado.
2. Para que el primer tramo del pilote inicie su hincado en el terreno, debe recorrer la longitud de la pierna de la subestructura; se conoce también que este tramo penetra en el suelo por su propio peso los primeros ---- 50'-0" (15.2 m) en promedio. Tales características permiten que la longi tud de éste pueda ser significativamente mayor que la del resto de los -- tramos. Sin embargo, para cada uno de ellos se trata de obtener la mayor

longitud posible, con objeto de reducir al máximo su número, lo cual repercute principalmente en el tiempo requerido para su instalación, mismo que resulta ser de un alto costo.

Los aspectos que influyen en el establecimiento de la longitud del primer tramo del pilote son:

- a). La altura del gancho auxiliar del barco-grúa utilizado en la instalación.
- b). La longitud del chalán en que se transportan los tramos de pilotes.
- c). La propia capacidad del tramo de pilote para ser maniobrado sin sufrir - daños.

De los aspectos citados, rige el que se refiere a la altura del gancho del barco-grúa, el cual puede maniobrar tramos con longitudes de hasta 240'-0" ----- (73.2 m), dato relativo a los barcos-grúa para instalación de plataformas, --- que operan en la Sonda de Campeche.

Las longitudes de los siguientes tramos se determinan únicamente en base a la - condición de carga a la que se sujetan durante su instalación, debida al peso del martillo. La inclinación de las piernas de la subestructura, que correspon de a la misma que adquieren los pilotes, origina que el peso del martillo ejerza un momento flexionante de gran magnitud sobre el pilote, mismo que determina la longitud máxima del tramo considerado.

Para la obtención de los elementos mecánicos que actúan en el pilote, originados durante esta condición de carga deben incluirse efectos de segundo orden; así - mismo, es de suma importancia considerar la manera en que el pilote se apoya en el interior de la pierna de la subestructura a través de las placas espaciado-- ras, y la holgura existente entre ambos.

3. La longitud de cada tramo debe incluir a aquella requerida por corte de la cabeza dañada por los impactos del martillo.
4. Los extremos consecutivos de los tramos que integran al pilote deben ser del mismo espesor, debido a los requerimientos de su conexión en mar durante su instalación.

En general el arreglo de los tramos de pilotes obtenido, en cuanto a su número y longitudes, es poco susceptible de cambios durante la etapa final del diseño.

A.5 RECOMENDACIONES Y FORMULAS APLICABLES AL DISEÑO DE PILOTES.

- A.5.1. El diseño de los pilotes, al igual que el de los demás elementos que forman la estructura de la plataforma se realiza en base a las recomendaciones establecidas por el Instituto Americano del Petróleo, específicamente en su publicación API RP2A, donde señala criterios básicos y recomendaciones prácticas que deben considerarse. Así mismo, indica que las fórmulas aplicables al diseño de los pilotes son aquellas contenidas en las especificaciones para diseño, fabricación y erección de edificaciones de acero estructural publicadas por el AISC - Instituto Americano de la Construcción de Acero -, correspondientes a su más reciente edición, referidas a los efectos de flexión y flexocompresión, que se hallan en su sección 1.6; mismas que se incluyen en la sección 2.5.2.d del API RP2-A y que a continuación se transcriben.

2.5.2.d Compresión Axial y Flexión Combinadas.

Los elementos cilíndricos sujetos a la combinación de compresión y flexión, deben satisfacer en cualquier punto a lo largo de su longitud los dos requerimientos siguientes.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \sqrt{f_b^2 x^2 + f_b^2 y^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_e}\right) F_b} \leq 1.0 \text{ -----(2.5.2.-6)}$$

$$\frac{f_a}{0.6 F_y} + \frac{\sqrt{f_b^2 x^2 + f_b^2 y^2}}{F_b} \leq 1.0 \text{ -----(2.5.2-7)}$$

Cuando $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$ la fórmula siguiente debe

utilizarse en lugar de las dos anteriores.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_b^2 x^2 + f_b^2 y^2}}{F_b} \leq 1.0 \text{ -----(2.5.2-8)}$$

Los terminos de las fórmulas corresponden a los mismos definidos en las especificaciones del AISC, donde:

- Fa = Esfuerzo Axial que puede permitirse si existiese únicamente fuerza axial.
- Fb = Esfuerzo Flexionante de compresión que puede permitirse si existiese únicamente momento flexionante.
- $F_e' = \frac{12 \pi^2 E}{23(Klb/rb)^2}$ Esfuerzo de Euler dividido por el factor de seguridad.
- K = Factor de longitud efectiva en el plano de la flexión.
- lb = Longitud libre de pandeo en el plano de la flexión.
- rb = Radio de giro.
- fa = Esfuerzo Axial de compresión actuante.
- fb = Esfuerzo flexionante de compresión actuante en el punto con siderado.
- Cm = Coeficiente de amplificación o reducción.

Para la combinación de tensión y flexión se aplicará la fórmula -- 2.5.2.-7, en donde f_a corresponde al esfuerzo axial de tensión actuante y f_b el esfuerzo flexionante de tensión actuante en el punto considerado.

El mismo API RP2A recomienda en su sección 2.5.2e que el factor -- de longitud efectiva del pilote sujeto a las sollicitaciones de la -- condición en sitio, sea $K=1.0$. Así mismo indica que el coeficiente de ampliación o reducción corresponda a $C_m = 0.85$ ó $C_m = \frac{1-0.4 f_a}{F_c}$ cualquiera que sea menor.

Con respecto al pandeo local, en su sección 2.5.2 señala que los -- elementos cilíndricos no atiesados, fabricados con aceros estructurales incluidos en su Tabla 2.8.1 (cuya reproducción se presenta a continuación), deberán revisarse por pandeo local ocasionado por -- compresión axial y flexión, cuando la relación diámetro a espesor -- D/t sea mayor a 60.

En general, las secciones requeridas usualmente en el diseño de pilotes no rebasan la relación mencionada.

A.5.2 Las fórmulas de diseño para todos los elementos tubulares que forman parte de la estructura de la plataforma, consideran que los efectos geométricos de su manufactura cumplen con las tolerancias establecidas en las especificaciones API2B.

A.5.3 Los esfuerzos permisibles obtenidos a partir de las fórmulas para -- flexocompresión y flexotensión, se aplicarán directamente sin sufrir incremento alguno, cuando los esfuerzos actuantes sobre los elementos obedezcan a condiciones de carga de operación de la plataforma, -- que para la Sonda de Campeche se refieren a una tormenta con período de retorno de un año.

- A.5.4 Los esfuerzos permisibles deberán ser incrementados en un 33% cuando la estructura se halle sujeta a los efectos provocados por la condición de tormenta, que en el caso de plataformas para la Sonda de Campeche corresponde a un período de retorno de cien años.
- A.5.5 Para la revisión de los tramos del pilote sujetos al peso del martillo durante su instalación, no se considerarán incrementos en los -- esfuerzos permisibles.
- A.5.6 Factores de seguridad para la cimentación.- El sistema suelo-pilote -- constituye la cimentación de la plataforma; y en vista de las incertidumbres intrínsecas en las teorías y procedimientos para la obtención de la características mecánicas del suelo, se acostumbra recurrir a -- la utilización de factores de seguridad que proporcionen márgenes admisibles de confianza en cuanto a la respuesta adecuada del terreno -- ante las sollicitaciones de carga. Para la cimentación de plataformas el factor de seguridad se obtiene afectando los valores de capacidad de carga axial del sistema suelo-pilote, de tal forma que para la -- condición de operación el factor corresponda a un valor de 2.0 y para -- tormenta de 1.5.

En general para las características que prevalecen en la Sonda de Campeche, el factor de seguridad de 1.5 para la condición de tormenta, -- tiene predominio por ser esta condición la que rige el diseño de los pilotes. El efecto del factor de seguridad se expresa en la penetración requerida para el pilote dentro del terreno.

4.1.6.2 DISEÑO FINAL.

B.1 CONDICION EN SITIO.

Después de realizar el primer análisis estructural de la plataforma para su -- condición en sitio, se obtienen de sus resultados los datos necesarios para -- llevar a cabo la segunda iteración del diseño de los pilotes. Considerando --

que el análisis y diseño de las secciones de pilotes contenidas en el suelo - se realiza por separado del resto de la estructura, dadas sus características de no linealidad, tales datos corresponden a los elementos mecánicos actuantes sobre los pilotes al nivel del lecho marino, los desplazamientos lineales que sufren a este mismo nivel, así como la restricción que ejerce la subestructura en relación a sus desplazamientos angulares.

Los programas de computadora que se emplean para el análisis estructural de - plataformas llevan a cabo también la revisión del diseño de los elementos; y ya que las secciones de pilotes contenidas dentro de las piernas de la subestructura forman parte del modelo que se somete a este análisis, se cuenta en esta etapa con las relaciones de interacción de tales secciones, mismas que - proporcionan las bases necesarias para el planteamiento de su rediseño.

En general no se requieren más allá de tres iteraciones para definir por completo el diseño de la estructura de una plataforma, incluyendo la parte que - corresponde al diseño de los pilotes.

B.2 CONDICIONES DE MANEJO E HINCADO.

Actualmente los procesos de análisis numéricos que pretenden representar las - condiciones de carga y la respuesta del sistema suelo-pilote durante la etapa de su hincado, distan aún de poder realizarlo en forma suficientemente aproximada para emplearse en la práctica común de diseño. Esto ocasiona que por el momento se proceda únicamente a satisfacer condiciones estáticas, complementadas con las recomendaciones prácticas ya establecidas en el apartado de diseño preliminar, así como en observaciones directas realizadas con anterioridad durante la ejecución de los trabajos de instalación de pilotes.

Los cambios requeridos en la configuración de los pilotes, originados por la - condición "En Sitio", se consideran para efectuar los ajustes que procedan -- en cuanto a las longitudes y número de tramos.

TABLE 2-1
STRUCTURAL STEEL PLATES AND SHAPES

GROUP	CLASS	SPECIFICATION & GRADE	YIELD STRENGTH		TENSILE STRENGTH	
			ksi	MPa	ksi	MPa
I	C	ASTM A36 (to 2" thick)	36	250	58-80	400-550
		ASTM A131 Grade A (to 1/2" thick)	34	235	58-71	100-190
		ASTM A285 Grade C (to 1/2" thick)	30	205	55-75	3-9-515
I	B	ASTM A131 Grades B, D	34	235	58-71	400-490
		ASTM A516 Grade 60	35	240	65-85	450-585
		ASTM A573 Grade 65	35	240	65-77	450-550
		ASTM A709 Grade 30T2	36	250	58-80	400-550
II	C	ASTM A131 Grades CS, E	34	235	58-71	400-490
		ASTM A441 (strength varies w thickness)	42-50	290-345	63-70 min.	435-485
		ASTM A572 Grade 42 (to 2" thick)	42	290	60 min.	415 min.
II	B	ASTM A572 Grade 50 (to 2" thick)	50	345	62 min.	450 min.
		ASTM A588 (to 2" thick)	50	345	70 min.	485 min.
		ASTM A709 Grades 50T2, 50T3	50	345	65 min.	450 min.
II	A	ASTM A131 Grade AH32	15.5	315	68-85	470-585
		ASTM A131 Grade AH36	21	350	71-89	495-620
		API Spec 2H	42	290	62-80	430-550
II	A	ASTM A131 Grades DH32, EH32	45.5	315	68-85	470-585
		Grades DH36, EH36	51	350	71-90	490-620
		ASTM A337 Class I (to 2" thick)	50	345	70-90	485-620
		ASTM A633 Grades A, B	42	290	63-83	435-570
		Grades C, D	50	345	70-90	485-620
		ASTM A678 Grade A	50	345	70-90	485-620
III	A	ASTM A572 Class II	60	415	80-100	570-690
		ASTM A633 Grade E	60	415	80-100	550-690
		ASTM A678 Grade B	60	415	80-100	550-690

*To 2" Thick For Type I, Rolled, Free Grain Practice

TABLE 2-2
STRUCTURAL STEEL PIPE

GROUP	CLASS	SPECIFICATION & GRADE	YIELD STRENGTH		TENSILE STRENGTH	
			ksi	MPa	ksi	MPa
I	C	API 5L Grade B	35	240	60 min.	415 min.
		ASTM A53 Grade B	35	240	60 min.	415 min.
		ASTM A135 Grade B	35	240	60 min.	415 min.
		ASTM A139 Grade B	35	240	60 min.	415 min.
		ASTM A361 Grade Y35	35	240	60 min.	415 min.
		ASTM A360 Grade A	33-35	230-270	45 min.	310 min.
		ASTM A361	36	250	58 min.	420 min.
I	B	ASTM A126 Grade B	35	240	60 min.	415 min.
		ASTM A324 (strength varies w thickness)	30-35	205-240	55-85	380-585
II	C	API 5LX Grade X42 2" max cold expansion	42	290	60 min.	415 min.
		API 5LX Grade X52 2" max cold expansion	52	360	60 min.	455 min.
		ASTM A500 Grade B	42-46	290-320	58 min.	400 min.
		ASTM A501	50	345	70 min.	485 min.
II	B	API 5LX Grade X52 with SPS, SR5 or SR6	52	360	60 min.	455 min.
II	A	See Part 2-2.2				

4.1.7 ANALISIS EN SITIO

El análisis estructural de la condición "EN SITIO" de la plataforma constituye la parte medular en el proceso de su diseño, considerando que en este se estudian las condiciones de carga prevalecientes sobre la estructura durante la vida útil para la que ha sido planeada. Esto implica la participación e interacción de cargas gravitacionales y ambientales, tanto en condiciones establecidas para la operación de la plataforma, como en condiciones excepcionales consideradas como accidentales, dada la magnitud de los eventos que intervienen en ellas, así como los períodos de ocurrencia de éstos.

La gran complejidad que existe en la evaluación numérica de cargas provocadas por las condiciones ambientales involucra el empleo de teorías desarrolladas para este objeto, que toman en cuenta aspectos probabilísticos, apoyados en mediciones hechas en sitio, modelos físicos y matemáticos.

El lapso de vida útil que se pretende para la estructura, así como los márgenes de seguridad con que ésta debe operar, dan lugar al establecimiento de las características básicas de las cargas ambientales, basadas en el período de retorno de las tormentas. Petróleos Mexicanos ha establecido el empleo de las características de una tormenta con período de retorno de "UN AÑO", en el diseño estructural para condiciones críticas de operación de la plataforma; así como las características de una tormenta con período de retorno de "CIEN AÑOS", como condición accidental.

El análisis estructural en sitio considera ambas condiciones "OPERACION" y "TORMENTA DE CIEN AÑOS" y su objetivo principal es el de examinar el comportamiento de todo el conjunto estructural sometido a las sollicitaciones inducidas por cada una de estas condiciones, de tal forma que se asegure una respuesta satisfactoria en la estructura sin que presente fallas.

Para este objeto la estructura debe ser sometida a diversos tipos de análisis, cuya aplicación depende de características propias del conjunto estructural, así como al medio en que se encuentra, ya que parte de ella se haya dentro --

del suelo, parte sumergida en el mar y el resto comprendida en la atmósfera. Algunas de las características del conjunto estructural se constituyen por -- el material, la estructuración, la distribución de masas, período natural de vibración, conexiones entre elementos, etc.

El análisis estructural de la plataforma constituye un problema numérico de gran magnitud, dada la complejidad del modelo, ya que se trata de una estructura espacial, definida por 600 nudos en promedio y alrededor de 1000 elementos, la cual se sujeta a varias combinaciones de carga, tanto de operación -- como accidentales. Esto conduce a la necesidad del empleo de programas de -- computadora elaborados para este objeto por firmas especializadas, ofrecidos al público usuario.

A. MODELO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL.

A.1 GEOMETRIA.

La estructura real se idealiza por medio de una estructura esquelética, formada por barras y nudos, que contiene toda la información necesaria para llevar a cabo el análisis y revisión estructural. Las barras representan a los elementos estructurales y los nudos las conexiones que se forman entre dichos elementos. El modelo inicial parte de un dimen sionamiento preliminar que proporciona todos los datos de geometría.

Al final del primer análisis los elementos inadecuados se reemplazan y se determina la necesidad de realizar análisis subsecuentes. Se emplean dos sistemas de coordenadas, local y global. El sistema de coordenadas local es único para cada barra. En él uno de los ejes coincide con el eje longitudinal de la barra y los otros dos están comprendidos en un plano transversal a la misma. Estos últimos son perpendiculares entre sí, uno de ellos es horizontal y su dirección se define -- con la regla de la mano derecha (X-Pulgar, Y-Índice, Z-Medio). El -- sistema de coordenadas local sirve para referenciar elementos meccánicos, cargas intermedias, cambios de sección transversal y todo lo relativo a una barra en particular. El sistema de coordenadas global es -- único para todo el modelo, es fijado arbitrariamente desde el principío por el analista y sirve como referencia para ubicar nudos, elementos, cargas, etc.

Los nudos se definen en las intersecciones entre barras, en los extremos de barras en cantiliver y en los apoyos. A cada nudo se le asigna un número único que sirve para identificarlo, y coordenadas en el -- espacio referidas al sistema global, que lo posicionan dentro del modelo.

Cada barra o elemento está asociado a un par de nudos. A cada nudo debe concurrir por lo menos una barra.

En cada nudo existen seis grados de libertad según los ejes del sistema de coordenadas globales, formados por tres traslaciones y tres rotaciones. Estos grados de libertad pueden restringirse independientemente unos de otros para formar diferentes tipos de apoyos: guiados, empujados, articulados, etc.

También existe la posibilidad de fijar cualquier nudo a un conjunto de uno a seis resortes correspondientes con los grados de libertad, para simular apoyos elásticos.

Las barras se conectan rígidamente a los nudos o bien pueden desconectarse en alguno o algunos grados de libertad en el sistema local de referencia para simular tipos específicos de conexión.

A.2 CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES.

Otro grupo de datos adicionales para el análisis y revisión de la estructura lo conforman las características de rigidez de la sección transversal de los elementos que la integran. En el modelo existen básicamente dos clases de perfiles estructurales, tubos y vigas tipo I. En el caso de los tubos se requiere definir el diámetro y espesor. Para las vigas tipo I los datos son: peralte, ancho de patines y espesores de las placas. Con los datos anteriores quedan determinados simultáneamente el área de la sección, el área de cortante y los momentos de inercia y polar de inercia de la sección transversal. Además de los datos anteriores deberá definirse el módulo de elasticidad y de cortante del acero, el esfuerzo de fluencia de cada acero empleado, los coeficientes y las longitudes de pandeo alrededor de los ejes locales de cada elemento. La longitud de cada elemento se calcula automáticamente a partir de las coordenadas de los nudos en sus extremos.

Los perfiles con sección variable se deben representar de manera que el análisis considere la modificación de las rigideces del elemento por efecto del cambio de sección transversal.

Para la revisión de las vigas tipo I se consideran también datos que indican si la sección es compacta o no, así como la separación entre los apoyos o contraventeos del patín de compresión.

B. MODELACION SUPERESTRUCTURA Y SUBESTRUCTURA.

B.1 SUPERESTRUCTURA.

En el modelo de la superestructura se hacen intervenir a todos los elementos estructurales principales que la forman, como son las vigas en los ejes longitudinales y transversales, las columnas, las diagonales y las vigas que se consideran como principales.

Los elementos no simulados, como las vigas secundarias y largueros, proporcionan rigidez a la estructura, la cual se simula por medio de elementos ficticios con trabajo axial exclusivamente. Estos elementos ficticios, en conjunto, proporcionan una rigidez equivalente del sistema de piso.

Los elementos secundarios son analizados y diseñados por separado del resto de la estructura.

En aquellas conexiones de gran tamaño, como son las que existen entre las columnas y las vigas principales, es necesario considerar el efecto de nudo, para lo cual las barras idealizadas que a él concurren, se simulan con momentos de inercia infinitos en el extremo contiguo al nudo, y en una longitud igual a la mitad del espesor de la junta.

Las barras esqueléticas que representan a la estructura se simulan en general a lo largo de los ejes neutros de los elementos estructurales que la integran.

La determinación de las rigideces de las vigas de gran peralte debe considerar los efectos de deformación por cortante.

B.2 SUBESTRUCTURA.

El modelo de la subestructura comprende exclusivamente tubos, y al igual que en la superestructura, sólo se simulan los elementos principales, esto es, aquellos cuya participación es indispensable para obtener un modelo representativo de la estructura real. Las estructuras secundarias como pasillos, embarcaderos, placas base, etc., se consideran únicamente como cargas, no como elementos que participen en la rigidez de la estructura principal. Los conductores contribuyen significativamente a soportar fuerzas laterales, y debido a esto se deberán simular en el modelo.

Se debe poner especial atención en la simulación de las conexiones pata-pilote, para lograr representar el apoyo guiado que le brinda la pata al pilote en los niveles de arriostamiento horizontales.

Para nudos en K y en X, donde los elementos que inciden son todos aproximadamente del mismo tamaño, los momentos causados por excentricidades en las conexiones, cuando los ejes longitudinales de los elementos no se cortan en un mismo punto, son importantes y consecuentemente se deberán tomar en cuenta en el análisis y diseño.

El modelo de la subestructura deberá incluir los resortes equivalentes del apoyo brindado a la plataforma por la cimentación a base de pilotes. Estos resortes se deberán determinar de acuerdo a la metodología descrita en el apartado correspondiente a la cimentación.

La simulación de sección variable se utiliza en el modelo de la subestructura, al considerar cambios de espesor y tipo de material en los extremos de elementos de arriostamiento, así como en las piernas, ya que regularmente se recurre al empleo de carretes de refuerzo en las interconexiones de ambos, con objeto de aumentar la capacidad a flexo-compresión de los primeros, y aumentar la capacidad por efecto de punzonamiento en estas últimas. Por otro lado, el empleo de carretes de

refuerzo en los elementos principales de las conexiones, proporciona rigidez adecuada para la transmisión de elementos mecánicos, y un espesor conveniente para los procesos de soldadura.

C. MODELACION GEOMETRICA Y ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACION.

La cimentación que corresponde a plataformas fijas, se halla constituida por pilotes de acero, formados con tubos de sección circular.

La participación de los pilotes en la estructura de la plataforma se divide en dos partes fundamentales; una de ellas corresponde a la interacción entre el pilote y el suelo, y la otra corresponde a la interacción entre el pilote y el resto de la estructura.

La interacción suelo-pilote proporciona las características de apoyo para la plataforma, cuya determinación establece un problema donde los planteamientos y métodos de solución pueden llegar a ser muy complejos, debido a las variables involucradas; principalmente en lo referente a las características mecánicas del suelo y las teorías de su comportamiento estructural no lineal, así como a la variedad de fuerzas a las que se ve sujeto cada uno de los pilotes.

El comportamiento del pilote fuera del suelo es lineal, participando con el resto de la estructura a soportar las cargas que afectan a la plataforma.

En el análisis de la estructura se considera que todos sus componentes obedecen a un comportamiento lineal, pues es ésta una de las bases que integran la teoría del análisis estructural, expresada en la ley de Hooke. Por otro lado, el comportamiento no lineal se caracteriza por no seguir un patrón definido.

Dada la incompatibilidad del comportamiento del sistema suelo-pilote -

con el procedimiento de análisis del resto de la estructura, debe recurrirse a un modelo de dicho sistema que proporcione un comportamiento lineal de éste.

C.1 MODELO SUELO-PILOTE.

Existen diversas alternativas para simular el comportamiento suelo-pilote, que proporcionan las características de apoyo de la estructura; - sin embargo, todas ellas conducen a un conjunto de restricciones a los desplazamientos, representadas mediante una matriz de rigideces que implica un comportamiento lineal, con la limitante de que su aplicación tiene validez solamente para un solo vector de fuerzas. Observando -- que cada uno de los pilotes se halla sujeto a un vector de fuerzas diferente para una combinación de cargas a que se sujeta la estructura, - y que ésta debe sujetarse a una cantidad suficiente de combinaciones - de carga, se deberá obtener una matriz de rigideces para cada pilote - y para cada combinación de cargas.

Por otro lado, debe considerarse que al iniciar el análisis del conjunto estructural no se conocen las reacciones en la cimentación (vectores de fuerzas aplicados a los pilotes) por lo que la determinación -- de la matriz de rigideces correspondiente a cada pilote, y para cada - combinación de cargas, se lleva a cabo mediante un proceso iterativo.

Dada la complejidad de solución del problema descrito, se hace necesaria la utilización de programas sofisticados de computadora. En resumen, el modelo de la cimentación, constituida por el trabajo conjunto del pilote y el suelo, se compone de una matriz de rigideces para cada pilote, cuyos valores son obtenidos como una función de los valores correspondientes al vector de fuerzas que afecta a cada pilote, y de las características propias del sistema.

La aplicación de experiencias acumuladas en el planteamiento y solución del problema, conduce a simplificaciones que llegan a ser substan

ciales y de gran significado económico, sin sacrificar de manera importante la aproximación del modelo.

En este sentido es importante señalar algunos aspectos de interés, como son:

- a). Solucionar separadamente los efectos de fuerzas axiales, torsión y flexión, con base en las características de la matriz general de rigideces de un apoyo.
- b). Iniciar el análisis del sistema suelo-pilote con base en reacciones obtenidas en plataformas similares ya analizadas.

Cabe mencionar que un análisis que considere efectos de segundo orden es imprescindible al proporcionar una mejor aproximación en el modelo, dadas las consideraciones que implica, observando que las fuerzas axiales sobre el pilote son predominantes.

A continuación se presentan en forma esquemática, en un modelo simplificado, los principales aspectos de la obtención del modelo suelo-pilote.

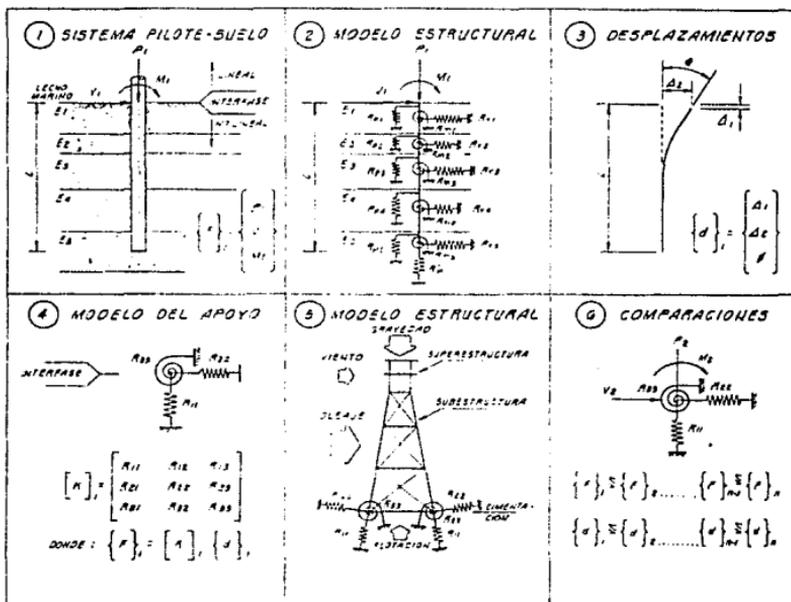


Figura 4.13

- (1) Vector de fuerzas aplicado al sistema suelo-pilote.
- (2) Modelo estructural del sistema de comportamiento no lineal.
- (3) Respuesta del sistema no lineal (Desplazamientos en el nudo de la interfase).
- (4) Determinación de un sistema lineal que tenga un comportamiento equivalente al sistema suelo-pilote (nudo de interfase).
- (5) El sistema lineal equivalente es utilizado en el análisis de la estructura, la cual es expuesta a diversas condiciones de carga.
- (6) A partir del análisis se obtienen nuevos valores del vector de fuerzas $\{F\}$, y del vector de desplazamientos $\{d\}$; estos se comparan con los valores anteriores, para determinar la validez del sistema lineal equivalente calculado.

El proceso descrito se repite hasta obtener una similitud aceptable entre los vectores $\{F\}_{n-1} \approx \{F\}_n$ y $\{d\}_{n-1} \approx \{d\}_n$. Una discrepancia de hasta 5% puede llegar a ser aceptable.

4.1.8 RED DE ACTIVIDADES.

Con objeto de visualizar la interrelación que existe entre las diversas - actividades involucradas en la obtención del diseño estructural de una - plataforma marina para la condición "En Sitio", se ha elaborado un arreglo de ellas, donde se muestra un orden en el que pueden llevarse a cabo.

La figura 4.14 representa el arreglo en forma de red de las actividades, las cuales a continuación se enlistan.

PLANTEAMIENTO GENERAL DE ACTIVIDADES PARA ANALISIS Y DISEÑO DE PLATAFORMAS CONDICION EN SITIO

ACTIVIDADES.

- A. ANALISIS Y DISEÑO PRELIMINAR DE SUPERESTRUCTURA.
 - A.1 ESTRUCTURACION SISTEMAS DE PISO Y MARCOS PRINCIPALES.
 - A.2 ANALISIS DE CARGAS GRAVITACIONALES Y AMBIENTALES (EQUIPOS Y ACCESORIOS).
 - A.3 DIMENSIONAMIENTO DE LARGUEROS Y VIGAS SECUNDARIAS.
 - A.4 DIMENSIONAMIENTO DE MARCOS PRINCIPALES.
- B. ANALISIS Y DISEÑO FINAL DE SUPREESTRUCTURA.
 - B.1 ELABORACION TOPOLOGIA Y MODELO ESTRUCTURAL.
 - B.2 VERIFICACION DE TOPOLOGIA POR MEDIO DE GRAFICACION COMPUTARIZADA.
 - B.3 ELABORACION MODELO DE CARGAS PARA ANALISIS COMPUTARIZADO.
 - B.4 ENSAMBLE CON MODELOS DE SUBESTRUCTURA Y CIMENTACION.
 - B.5 ANALISIS Y REVISION DEL CONJUNTO.
 - B.6 INTERPRETACION DE RESULTADOS Y RETROALIMENTACION PARA ANALISIS SUBSECUENTES.
 - B.7 ELABORACION INGENIERIA DE DETALLE.

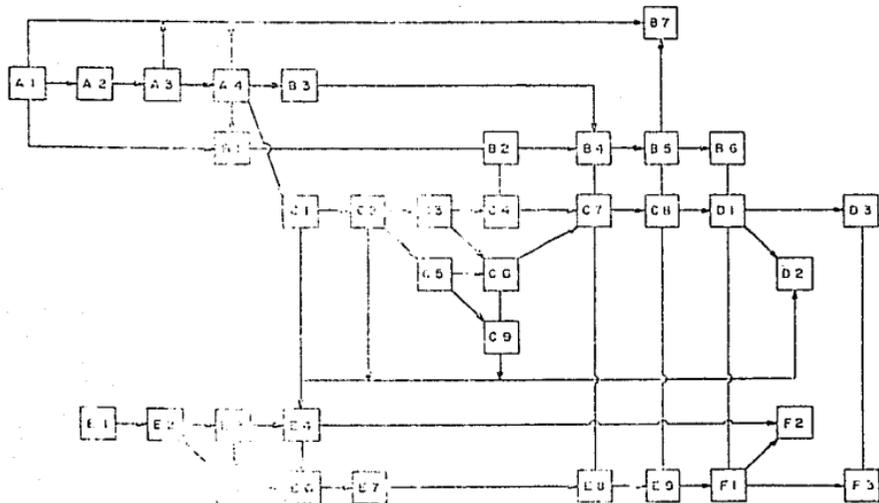
- C. ANALISIS Y DISEÑO PRELIMINAR DE SUBESTRUCTURA.
 - C.1 ESTRUCTURACION.
 - C.2 DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO.
 - C.3 ELABORACION DE TOPOLOGIA Y MODELO ESTRUCTURAL.
 - C.4 VERIFICACION DE TOPOLOGIA POR MEDIO DE GRAFICACION COMPUTARIZADA.
 - C.5 MODELACION DE ACCESORIOS.
 - C.6 ELABORACION MODELO DE CARGAS PARA ANALISIS COMPUTARIZADO.
 - C.7 ENSAMBLE CON MODELOS DE SUPREESTRUCTURA Y CIMENTACION.
 - C.8 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL CONJUNTO.
 - C.9 DISEÑO ACCESORIOS

- D. ANALISIS Y DISEÑO FINAL DE SUBESTRUCTURA.
 - D.1 INTERPRETACION DE RESULTADOS Y RETROALIMENTACION PARA ANALISIS SUBSECUENTES.
 - D.2 ELABORACION INGENIERIA DE DETALLE.
 - D.3 ANALISIS Y DISEÑO FINAL.

- E. ANALISIS Y DISEÑO PRELIMINAR DE PILOTES.
 - E.1 ESTIMACION DE ELEMENTOS MECANICOS EN PILOTES.
 - E.2 ANALISIS DE DATOS DEL ESTUDIO GEOTECNICO.
 - E.3 DETERMINACION DE PENETRACION REQUERIDA.
 - E.4 CONFIGURACION PERFIL DE PILOTES.
 - E.5 OBTENCION VALORES T-Z PARA FUSTE Y PUNTA
 - E.6 ANALISIS POR COMPUTADORA DEL COMPORTAMIENTO SUELO-PILOTE.
 - E.7 OBTENCION DEL MODELO LINEAL SUELO-PILOTE.
 - E.8 ENSAMBLE CON MODELOS DE SUPERESTRUCTURA Y SUBESTRUCTURA.
 - E.9 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL CONJUNTO

- F. ANALISIS Y DISEÑO FINAL DE PILOTES.
 - F.1 INTERPRETACION DE RESULTADOS Y RETROALIMENTACION PARA ANALISIS SUBSECUENTES.
 - F.2 ELABORACION INGENIERIA DE DETALLE
 - F.3 ITERACIONES DE ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CONJUNTO Y DISEÑO FINAL.

ANÁLISIS Y DISEÑO CONDICION. EN SITIO



RED DE ACTIVIDADES

Figura 4.14

4.1.9 ELABORACION DE PLANOS.

Una de las partes primordiales del diseño es su representación en planos. Esta actividad da comienzo usualmente una vez que se cuenta con el diseño preliminar, llegando a su término una vez que se ha obtenido el diseño final.

Los planos constituyen los documentos de mayor importancia del proyecto, ya que en ellos se resume todo el trabajo realizado para el diseño de la estructura y son la base para su fabricación e instalación.

La representación de la estructura debe ser sencilla, clara y ordenada -- para lo cual usualmente se presenta por partes aisladas que simplifican tanto su representación como la interpretación de la misma; quedando -- desglosada en elevaciones, plantas, detalles, etc.

Las actividades ingenieriles que alimentan de datos al dibujo son principalmente:

- a). La solución y detallado de las conexiones.
- b). Empleo de la simbología de soldaduras.
- c). Establecimiento de notas relativas a recomendaciones, especificaciones y limitaciones de los materiales, -- procedimientos de soldadura, procedimientos constructivos, etc. que garanticen que la obra se lleve a cabo de acuerdo con las consideraciones de diseño.
- d). Solución de problemas geométricos diversos.
- e). Manejo y aplicación de técnicas y normas de dibujo de ingeniería.
- f). Revisión de posibles obstrucciones entre los propios elementos de la estructura principal, así como con -- respecto a sus accesorios, equipos, tuberías de conducción, etc.
- g). Revisión y aprobación de planos.

4.2 ANALISIS COMPLEMENTARIOS.

4.2.1 ANALISIS CONDICION DE IZAJE DE LA SUBESTRUCTURA

El análisis estructural de la condición de izaje de la subestructura tiene -- por objeto conocer su respuesta ante dicha sollicitación, así como el de deter-- minar las acciones sobre las orejas para izaje.

Los análisis han demostrado que la condición de izaje no es crítica en el - diseño de subestructuras para las plataformas de la Sonda de Campeche, lo --- cual ha determinado que actualmente ya no se lleven acabo, a excepción de lo - que concierne al cálculo de las fuerzas que actúan en los elementos de izaje, lo cual se reduce a las siguientes actividades:

1. Determinación del peso y centroíde de la subestructura y sus acceso--- rios.
2. Obtención de las tensiones presentes en los cables para izaje durante las maniobras. Las longitudes de cables deben corresponder aproxima--- damente a las que se tienen en existencia dentro del barco-grúa.
3. Diseño de las Orejas para Izaje.

A sabiendas de que debe ser izada, la subestructura es estructurada - tomando en consideración la posición de las orejas, así como las tra--- yectorias de los cables, de tal manera que no existan interferencias.

En cuanto a la orientación de las orejas, deben considerarse las dife--- rentes direcciones de incidencia de los cables durante la etapa de gi--- ro de la subestructura, de la posición horizontal de flotación, a la - posición vertical para su instalación, seleccionando aquella en que - las fuerzas actuantes fuera del plano de la oreja sean mínimas.

Como complemento del análisis en sitio de la plataforma se llevan a cabo análisis de sus componentes principales, sujetándolas a solicitaciones a las que se hallan expuestas antes de su acoplamiento. Tal es el caso del izaje de la superestructura, durante el cual se halla suspendida a partir de los cuatro puntos donde se ubican sus orejas. El análisis estructural de esta condición, muestra que las traveses longitudinales se hallan sometidas a momentos flexionantes intensos, dada la flexibilidad de los marcos longitudinales para esta condición. El empleo de elementos temporales que incrementan significativamente la rigidez de los marcos longitudinales y originan la participación de un mayor número de elementos para resistir las cargas, representan la solución que se ha venido utilizando para evitar el trabajo excesivo de las traveses.

Por otro lado, el empleo de los elementos temporales abate sensiblemente las deflexiones de las traveses durante la maniobra de izaje, manteniéndolas dentro de los márgenes permisibles, con objeto de evitar fisuras en recubrimientos contra incendio, así como daños a equipo y tuberías contenidos en las cubiertas.

Considerando que el diseño de la superestructura es único para las plataformas de la Sonda, su análisis estructural para la condición de izaje se realizó una sola vez, adoptándose el empleo de elementos temporales para su refuerzo, por lo que actualmente el análisis de esta condición da por hecho su utilización, quedando reducido a las siguientes actividades:

1. Cálculo de peso y centroide de la superestructura, equipo y tuberías que contiene durante la maniobra.
2. Determinación de las tensiones actuantes en los cables para su izaje, durante las maniobras.
3. Diseño de las orejas para izaje.

Las orejas para izaje constituyen elementos de gran importancia, ya que durante las maniobras de izaje de la superestructura o de la estructura o equipo de que se trate, la seguridad de estos depende de la eficacia de su comportamiento, por lo que usualmente para su diseño se utiliza un factor de carga -- con valor de 2.0. Así mismo deben tomarse en consideración excentricidades -- originadas durante su manufactura y montaje, o bien, cansadas por la variación de la posición teórica del gancho de la grúa en relación a la que se obtiene en la realidad, misma que es función del ajuste de la longitud que se logre en los cables.

4.2.3 ANALISIS DE LANZAMIENTO Y FLOTACION DE LA SUBESTRUCTURA.

Los análisis de lanzamiento y flotación tienen como objetivos los siguientes:

- a). Proporcionar a la subestructura una posición adecuada de equilibrio final una vez que ha sido lanzada al agua, que facilite maniobras subsiguientes para su instalación.
- b). Determinar la trayectoria que describirá durante su inmersión, para evitar que la subestructura haga contacto con el suelo marino.

El análisis de lanzamiento y flotación, se realiza con ayuda de programas de computadora, que llevan a cabo un análisis cinemático de cuerpo rígido en el espacio, por medio del cual para un instante determinado, se calculan las fuerzas actuantes (de gravedad, de flotación, hidrodinámicas, etc), se determinan las resultantes, el centro de gravedad de la estructura, y su centro de flotación; estos datos se introducen en formulas que determinarán nuevas posiciones de la subestructura, velocidades y aceleraciones, mismas que serán datos para el siguiente intervalo de tiempo, repitiéndose el proceso hasta lograr el equilibrio.

En el caso del análisis de lanzamiento, el estudio cinemático comprende tanto a la subestructura como a la barcaza de lanzamiento. Para el análisis de flotación

tación sólo se toma en cuenta a la subestructura.

Los datos que se necesitan alimentar para llevar a cabo dichos análisis son - los siguientes:

Subestructura.

- Geometría.
- Coeficientes hidrodinámicos de arrastre y de inercia de cada elemento de la subestructura.
- Masa, flotación y características cinemáticas de estructuras secundarias tales como anodos, embarcadero, pasillos, defensas, placa base, etc.
- Identificación de tubos abiertos en sus extremos (Camisas y sumidero).
- Posición y dimensiones de las vigas de deslizamiento.

Barcaza de Lanzamiento.

- Posición del centro de gravedad.
- Masa y características cinemáticas.
- Geometría.
- Geometría particular de las vigas giratorias y de la viga de lanzamiento.
- Angulo de rotación máxima de las vigas giratorias.

Datos Análisis de Flotación.

- Posición inicial de la subestructura para el análisis.

Datos Análisis de Lanzamiento.

- Posición inicial de la subestructura con respecto de la barcaza.

- Número de intervalos de tiempo y duración de los mismos en que se determinarán posiciones, velocidades y aceleraciones de la barcaza y de la subestructura.
- Fuerza ejercida por el malacate.
- Velocidad de desconexión del malacate.
- Coeficiente de fricción estático y dinámico entre las vigas de deslizamiento y de lanzamiento.

El análisis de flotación de la subestructura se realiza antes que el de lanzamiento ya que con sus resultados se determinan el tipo y la cantidad de tanques de flotación así como su ubicación.

A continuación se realiza el análisis de lanzamiento, el cual se inicia con la subestructura encima de la barcaza de lanzamiento, en una posición de equilibrio cercano al punto donde hará accionar las vigas giratorias.

Por acción del malacate primero y después por su propio peso, resbalando sobre la superficie inclinada de la barcaza, la subestructura se desliza hasta el punto donde el centro de gravedad cruza el eje de la viga giratoria, a partir de este momento, además de deslizarse gira, terminando por introducirse completamente en el mar.

Una vez en el mar la subestructura describirá una cierta trayectoria, que con los datos que el programa arroja es posible graficar. De esta trayectoria, interesa determinar la mayor profundidad alcanzada por la subestructura, para poder definir el tirante recomendado de lanzamiento, así como la posición final de equilibrio. Dicho tirante podrá ser mayor o igual que el tirante de la localización en que se instalará a la plataforma.

4.2.3 ANALISIS DE TRANSPORTACION.

El análisis de transportación se realiza con objeto de determinar los efectos de carga a que se halla sometida la estructura durante su trayecto desde los patios de fabricación hasta el sitio de su instalación, originados por su propio peso, en respuesta a los movimientos del sistema estructural que integra con el chalán, causados por el oleaje.

Dada la complejidad del problema en cuanto a la determinación de las fuerzas de oleaje, así como a las fuerzas de inercia del sistema estructura-embarcación, número de nudos y elementos de la estructura, lastrado de chalán y sistema de amarres, su solución se efectúa mediante la utilización de programas de computadora cuya formulación se ha realizado expresamente para este problema.

Las condiciones a que se somete al sistema para sus análisis, corresponden a un período de retorno de un año, equivalente aproximadamente a la probabilidad de ocurrencia de una vez por cada cien travesías, dando por resultado los siguientes parámetros críticos.

1. Giro máximo alrededor del eje longitudinal del sistema estructura-embarcación: 20° .
2. Giro máximo alrededor del eje transversal del sistema estructura-embarcación: 10° .
3. Aceleración vertical máxima del sistema : 0.25 g.

Es poco usual la práctica de este análisis en las estructuras convencionales que forman parte de las plataformas en la Sonda de Campeche, debido a que los parámetros de diseño basados en condiciones ambientales con período de retorno de un año no provocan esfuerzos significativos en ellas, dadas sus características de gran rigidez y ligereza debidas a su escaso tirante.

5.0 CONCLUSIONES

1. El grado de estandarización logrado actualmente en el diseño, construcción e instalación de plataformas para la Sonda de Campeche ofrece beneficios económicos importantes, tanto en el costo directo de la obra, como en la rapidez con que puede realizarse, constituyendo esto último en múltiples ocasiones el principal aspecto para Pemex.
2. La escasa investigación que se realiza en nuestro país limita las posibilidades del diseño, el cual se halla restringido a la adopción de modelos para estructuras desarrollados en el extranjero, ejerciendo únicamente acciones de acondicionamiento de estos a los requerimientos -- y recursos propios.
3. El diseño estructural de una plataforma exige del ingeniero una considerable especialización en el conocimiento del problema y los planteamientos de solución existentes, así como en la aplicación de códigos -- específicos y el empleo de programas de computadora de cierta complejidad, debiendo invertir algunos años para lograr suficiente experiencia. Considerando el reducido mercado que ofrece esta actividad, el -- cual depende de las necesidades de Pemex, puede resultar inconveniente para aquel que pretende desarrollarse en un campo de trabajo más amplio y diversificado.

Por otra parte, el diseño estructural de plataformas ofrece interesantes posibilidades, al requerir al especialista para la solución de -- problemas tales como: recuperación de estructuras ya instaladas, su -- acondicionamiento y reinstalación en otros sitios, reparación o reforzamiento de estructuras dañadas, ampliaciones y modificaciones.

4. La capacidad actual de la Ingeniería Civil de México, encargada del diseño, fabricación e instalación de plataformas marinas resuelve satisfactoriamente las necesidades presentes de Pemex. Sin embargo, dista

mucho de poder afrontar las necesidades futuras, las cuales involucran instalaciones en tirantes mayores, donde no es posible el empleo de es estructuras del tipo utilizado en la Sonda de Campeche, por lo que es necesario planear y llevar a cabo la capacitación de ingenieros que opor tunamente conozcan la tecnología requerida; de igual forma, llevar a - cabo la implementación de la infraestructura necesaria para su constru cción e instalación.

B I B L I O G R A F I A

1. API RECOMMENDED PRACTICE FOR PLANNING, DESIGNING AND CONSTRUCTING FIXED OFFSHORE PLATFORMS. API RP2A SIXTEENTH EDITION 1986 AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE WASHINGTON D.C. PRODUCTION DEPARTMENT 211 N. ERVAY, SUITE 1700 DALLAS TX --- 75201.
2. MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION EIGHTH EDITION 1979 AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC. 101 PARK AVENUE, NEW YORK, N.Y. 10017
3. STRUCTURAL WELDING CODE-STEEL. TENTH EDITION ANSI/AWS --- D1.1-86 APROVED BY AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE.-- AMERICAN WELDING SOCIETY, INC. 550 N.W. LE JEUNE ROAD, P.O. BOX 351040, MIAMI, FL 33135
4. API SPECIFICATION FOR FABRICATED STRUCTURAL STEEL PIPE -- API SPEC 2B THIRD EDITION 1977.
5. 1982 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS PART 4 STRUCTURAL STEEL; CONCRETE REINFORCING STEEL; PRESSURE VESSEL PLATE AND FORGINGS; STEEL RAILS, WHEELS, AND TIRES; FASTENERS. ASTM 1916 RACE ST., PHILADELPHIA, PA. 19103