



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU"

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:  
FERNANDO ARMANDO CISNEROS ROMERO

TITULO DEL TRABAJO:  
ANALISIS ESTRUCTURAL PARA LA INSTALACION  
DE LA PLATAFORMA MARINA FIJA DE  
PERFORACION MALOOB-C PARA SONDA DE  
CAMPECHE



TUTOR:  
ING. LORENZO OCTAVIO MIRANDA CORDERO



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



## *A g r a d e c i m i e n t o s*

### ***Gracias a Dios***

*Por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y lograr otra meta más en mi vida.*

### ***Gracias a mi padre Armando y al Recuerdo de mi madre Raquel que siempre está conmigo***

*Por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. Gracias por guiarme sobre el camino de la educación.*

### ***Gracias a mis dos hermanas***

*Por crecer conmigo y ser mis amigas a lo largo de toda mi vida, pero sobre todo gracias por el apoyo que siempre me han brindado sin esperar algo a cambio.*

### ***Gracias al soporte de toda mi familia***

*Por tu apoyo, comprensión y amor que me permite sentir la base de poder lograr lo que me propongo. Gracias por escucharme, por tus consejos. Gracias por ser parte de mi vida.*

### ***Gracias a mi abuela Antonia***

*Por encomendarme siempre con Dios para que saliera adelante. Yo se que sus oraciones fueron escuchadas.*

### ***Gracias a la UNAM***

*Porque sin duda eres una gran institución, la número uno diría yo, por tu gran potencial en la enseñanza de grandes profesionales, por el entusiasmo, ya que tienes mucha experiencia en crear personas inteligentes y capaces.*

### ***Gracias a cada uno de los maestros***

*Que participaron en mi desarrollo profesional durante mi carrera, sin su ayuda y conocimientos no estaría en donde me encuentro ahora.*

### ***Gracias a los ingenieros de la Compañía CPI administración e ingeniería S.A. de C.V***

*Por sus comentarios, sugerencias y opiniones. Yo supe en mi estancia por CPI que siempre estaría apoyado por un conjunto de personas con grandes valores y con un mucho sentido de amistad.*

### ***Gracias a los ingenieros del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)***

*No voy a olvidar el apoyo que brindan a todo aquel que quiera aprender. Trabajan duro, enseñan como si fuera su obligación y durante mi estancia fue un honor convivir con ellos, fue excelente aprender de ellos.*

### ***Gracias a mi asesor Del instituto Mexicano del Petróleo El ingeniero Alejandro Bahena Pita***

*Por permitirme ser parte del grupo de trabajo. Tus consejos, paciencia y opiniones sirvieron para que me sienta satisfecho en mi participación dentro del proyecto de diseño para la plataforma de perforación MALOOB-C.*

### ***Gracias a mi asesor de la UNAM Lorenzo Miranda Cordero***

*Por saber que existen ingenieros de calidad con grandes valores, que sienten satisfacción por el trabajo logrado sabiendo que han cumplido todo este tiempo.*

### ***Gracias a todos mis amigos***

*También deseo dar gracias a mis amigos que estuvieron conmigo y compartimos tantas aventuras, experiencias y triunfos.*



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN ..... 4

I. DISEÑO DE PLATAFORMAS ..... 5

I.1 LA EXPLOTACIÓN DEL PETRÓLEO EN MÉXICO .....5

I.2 PLATAFORMAS MARINAS.....6

I.3 PLATAFORMAS MARINAS FIJAS TIPO “JACKET” Y TIPO TORRE.....8

I.4 CLASIFICACIÓN DE PLATAFORMAS FIJAS TIPO “JACKET” .....10

I.5 ANALISIS Y DISEÑO DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS .....12

I.6 PROCESO DE DISEÑO.....13

I.7 BASES DE DISEÑO .....14

I.8 CÓDIGOS Y/O RECOMENDACIONES .....14

I.9 PREDISEÑO.....15

I.10 MODELO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....17

I.11 SOLICITACIONES .....21

I.12 CONDICIONES DE SERVICIO.....26

I.13 CONDICIONES DE PRE-SERVICIO .....26

II. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA PLATAFORMA MALOOB-C DURANTE SU INSTALACIÓN ..... 35

II.1 CARGA A LA BARCAZA .....35

II.2 TRANSPORTACIÓN.....39

II.3 LANZAMIENTO.....40

II.4 POSICIONAMIENTO VERTICAL.....44

II.5 IZAJE DE LA SUPERESTRUCTURA .....46

III. INTERPETRACIÓN DE RESULTADOS..... 51

III.1 CARGA A LA BARCAZA .....51

III.2 TRANSPORTACIÓN.....54

III.3 LANZAMIENTO.....58

III.4 POSICIONAMIENTO VERTICAL.....62

III.5 IZAJE DE LA SUPERESTRUCTURA .....68

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 72

IV.1 CONCLUSIONES .....72

IV.2 RECOMENDACIONES.....74

V. REFERENCIAS ..... 75

VI. ANEXOS ..... 76

VI.1 ANEXO A1 “BASES DE DISEÑO” .....76

VI.2 ANEXO A2 “MODELO PARA ANÁLISIS EN SITIO” .....84

VI.3 ANEXO A3 “MODELO PARA ANÁLISIS DE CARGA A LA BARCAZA” .....86

VI.4 ANEXO A4 “MODELO PARA ANÁLISIS DE TRANSPORTACIÓN” .....93

VI.5 ANEXO A5 “MODELO PARA ANÁLISIS DE LANZAMIENTO” .....96

VI.6 ANEXO A6 “MODELO PARA ANÁLISIS DE POSICIONAMIENTO VERTICAL” .....100

VI.7 ANEXO A7 “MODELO PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE FONDO Y PLACA BASE” .....102

VI.8 ANEXO A8 “MODELO PARA ANÁLISIS DE CARGA DE SUPERESTRUCTURA” .....104

VI.9 ANEXO A9 “MODELO PARA ANÁLISIS DE TRANSPORTACIÓN DE SUPERESTRUCTURA” .....106

VI.10 ANEXO A10’ “MODELO PARA ANÁLISIS DE IZAJE DE SUPERESTRUCTURA” .....109

VI.11 ANEXO A12’ “PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE TRANSPORTACIÓN” .....112

VI.12 ANEXO A13’ “FIGURAS” .....113

VI.13 ANEXO B RESULTADOS Y MISCELÁNEOS .....120



## **INTRODUCCIÓN**

La industria petrolera es de las más importantes en todo el mundo, se basa en un sistema de explotación terrestre o marino, que se define como el conjunto de equipos necesarios para producir, procesar y transportar hidrocarburos localizados en mantos petroleros, ubicados bajo las aguas de los océanos o bajo los mantos terrestres. Las instalaciones Costa Afuera se diseñan y equipan para obtener petróleo del subsuelo, en el diseño y construcción de estas instalaciones se requieren varias disciplinas de la ingeniería, como: ingeniería civil, mecánica, eléctrica, topográfica, proceso e ingeniería petrolera; cada una de ellas aporta sus conocimientos para conformar una especialización llamada ingeniería Costa Afuera.

## **OBJETIVO**

Los objetivos de este trabajo están encaminados a describir y de una manera general la instalación de la plataforma de perforación llamada MALOOB-C ubicada en la zona petrolera de ciudad del Carmen, Campeche, básicamente esta explicación estará encaminada a conceptos de la disciplina de la ingeniería civil del área estructural, esto significa que se revisarán los análisis de carga a la barcaza, transportación, lanzamiento, posicionamiento vertical, estabilidad en el fondo marino e izaje de la superestructura, que corresponden exclusivamente a las condiciones de pre-servicio de la plataforma.

Implícitamente se perseguirá conocer, el diseño de una plataforma capaz de soportar todas las maniobras de instalación sin sufrir daño durante su recorrido. Es decir, la plataforma se someterá a esfuerzos y deformaciones en cada una de las etapas durante el traslado al sitio de instalación, por lo que la intención es mostrar el proceso de diseño y los métodos empleados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para una plataforma marina octápoda persiguiendo los alcances del proyecto básicos como la obtención de resultados de cada una de las maniobras de instalación, comprobar resultados y asegurar que la estructura se comporte de una manera aceptable estructuralmente hablando según los requisitos, necesidades del cliente y sus propios procedimientos. Refiriéndonos a estos procedimientos, es bueno mencionar que para fines del alcance de este trabajo de tesis, la metodología aplicada no es un modelo a seguir por todas las empresas ya que existen diferentes enfoques para analizar una estructura en su etapa de instalación.

## I. DISEÑO DE PLATAFORMAS

### I.1 LA EXPLOTACIÓN DEL PETRÓLEO EN MÉXICO

En México, a finales de los sesenta y a principios de los setenta se dio impulso a las actividades exploratorias y de perforación Costa Afuera [RV.1.sección 1.1], con el desarrollo de los campos petroleros Arenque, frente a las costas de Tamaulipas y Santa Ana en las costas de Tabasco. En 1975 se inició la perforación del primer pozo de exploración en la Sonda de Campeche, lo cual confirmaría la existencia de grandes mantos petroleros y en 1981 se construyó la primera plataforma diseñada con ingeniería 100% mexicana.

El hidrocarburo es muy importante para nuestro país. Desde que México tuvo en sus manos las decisiones sobre la industria petrolera fue necesario planear y redactar las bases para el aprovechamiento de la materia prima en forma más racional y eficaz para el desarrollo de la nación. Todo esto fue posible gracias a que en la constitución de 1917 se estableció que el petróleo es “propiedad de la nación mexicana”; en el artículo 27 se indica lo siguiente: “corresponde a la Nación el dominio directo de toda mezcla natural de hidrocarburos e hidrogeno que se encuentre en sus yacimientos, la Nación llevará a cabo la explotación de esos productos en los términos que señale la ley reglamentaria respectiva”.

El 18 de marzo de 1938 el Presidente Lázaro Cárdenas decretó la Expropiación Petrolera, por causa de utilidad pública, la cual se ejerció 21 años después de la redacción de la constitución de 1917. El 7 de junio del mismo año promulgó el decreto que creó la institución denominada “Petróleos Mexicanos” que entre otras debería encargarse de las siguientes actividades:

- ❖ Operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos
- ❖ Refinación
- ❖ Almacenamiento
- ❖ Destilación

En 1949 se desarrollaron los primeros trabajos exploratorios en la Plataforma Continental del Golfo de México, frente a la porción sur de los estados de Veracruz y Tabasco, **Región Marina Noreste**. De 1969 a 1970, se efectuó un levantamiento de información sísmica de reflexión en esa área, que conjuntamente con los trabajos de magnetometría y gravimetría, determinó la existencia de una cuenca sedimentaria en la llamada Sonda de Campeche. Esta zona es la más grande en yacimientos de petróleo del país; es ahí donde se localiza el complejo Akal-C, con aproximadamente 30 años en la extracción de crudo extrayéndose el más alto porcentaje del petróleo en México.

Desde el punto de vista exploratorio, en la Provincia Geológica Marina de Coatzacoalcos se localiza la **Región Marina Suroeste** [RV.1]. Sus antecedentes se remontan a 1923, cuando compañías petroleras



extranjeras realizaron estudios geofísicos en la porción continental. En 1949, bajo la administración de Petróleos Mexicanos, se realizaron estudios de la porción marina frente a las costas de Coatzacoalcos, Veracruz, perforando un pozo terrestre con dirección al mar, denominado Tortuguero-1; la actividad exploratoria continuó en forma irregular y en 1959 se descubrió el campo Santa Ana.

## I.2 PLATAFORMAS MARINAS

Desde el punto de vista del diseño estructural, las plataformas marinas pueden clasificarse en función del tipo de material utilizado para su construcción; es decir, pueden ser estructuras de acero o concreto (ver Anexo A13 Fig. A13.1) y (ver Anexo A13 Fig. A13.2).

En este trabajo se estudian las plataformas marinas de acero, cuya clasificación se describe a continuación:

- A. PLATAFORMAS FIJAS
- B. PLATAFORMAS SEMIFIJAS
- C. PLATAFORMAS FLOTANTES

A continuación se da una breve explicación de estas plataformas:

### A. PLATAFORMAS FIJAS

Las estructuras fijas son las más estables, se construyen de acero, concreto o una combinación de ambos materiales y preferentemente se utiliza este tipo de plataforma marina en profundidades menores a 200 metros, siendo las más comunes las siguientes:

- a.1 Plataformas de acero tipo Jacket. (Serán tratadas en esta sección mas adelante)
- a.2 Plataformas de concreto por gravedad. (No son estudiadas en este trabajo).

### B. PLATAFORMAS SEMIFIJAS

Generalmente el diseño, para plataformas marinas está en función de la profundidad de agua donde se instalarán [RV.2]. Las estructuras semifijas se construyen para tirantes mayores de 200 metros.

La estabilidad es elemental para todos los trabajos y operaciones ejecutadas en la estructura. Las plataformas semifijas presentan un grado menor de estabilidad con respecto a las plataformas fijas. Las estructuras semifijas funcionan con base en una compensación de elementos de sujeción (cables anclados en el fondo marino, restringiendo sus movimientos y los tanques de flotación que no permiten que la estructura se hunda). Se han desarrollado diversos tipos de plataformas semifijas, los más importantes son los siguientes:

- b.1 Torres atirantadas
- b.2 Plataformas flexibles
- b.3 Plataformas autoelevables
- b.4 Plataformas de piernas Tensionadas



### **b.1 Torres Atirantadas**

Son estructuras de acero, cuyas piernas no tienen ninguna pendiente, cuentan con un sistema de cables anclados en el fondo marino (ver Anexo A13 Fig. A13.3). Las cargas gravitacionales y ambientales son soportadas por cables, estas estructuras se usan para tirantes que van de 200 a 600 m aproximadamente. Como ventajas presentan buena estabilidad y posibilidad de reuso; sin embargo tienen el inconveniente de un alto costo en mantenimiento por lo únicamente se utilizan para campos pequeños, presentan complejidades en el ensamble y el costo se incrementa exponencialmente con la profundidad.

### **b.2 Plataformas flexibles**

Estas plataformas están conformadas por una armadura de sección constante, su cimentación se diseña a base de pilotes y su principal característica es el comportamiento estructural flexible (ver Anexo A13 Fig. A13.4); su periodo natural de vibración es mayor que el del oleaje.

### **b.3 Plataformas autoelevables**

Este tipo de plataformas tienen capacidad para moverse por sí mismas, o por medio de remolcadores se desplazan al lugar de destino, donde descienden sus columnas hasta anclarlas en el lecho marino. La cubierta también tiene la flexibilidad de ascender y descender verticalmente, sin que su capacidad de carga disminuya por su ubicación relativa (ver Anexo A13 Fig. A13.5). Las columnas tienen en su extremo inferior un sistema de zapatas aisladas o losa de cimentación para apoyarse en lecho marino a una profundidad de trabajo de 150 m. Presentan ventajas de movilidad, buena estabilidad aún estando en posición elevada, bajo costo y alta eficiencia.

### **b.4 Plataformas de piernas tensionadas**

Las plataformas de piernas tensionadas (TLP's) se adaptan a un sistema de cables que se fijan en los sedimentos marinos, explotando las reservas de petróleo en aguas de profundidades considerables. Estos cables que tienen dirección vertical trabajan a tensión debido al exceso de flotación de la plataforma (ver Anexo A13 Fig. A13.6). Los elementos verticales o tensores se anclan al fondo marino por medio de una estructura fabricada de acero estructural, cimentada con pilotes. Una parte esencial de la TLP son las juntas flexibles, diseñadas con material que permite la movilidad de los tensores. Estas plataformas se utilizan en profundidades de  $\pm 200$  a  $\pm 2000$  m, ofrecen movilidad, reutilidad, estabilidad y bajo costo de mantenimiento; entre las desventajas se encuentra el alto costo inicial, la fatiga en piernas y poca o ninguna capacidad de almacenamiento.



## C. PLATAFORMAS FLOTANTES

La característica principal de estas plataformas consiste en que las cubiertas de operación las soportan tres o cuatro columnas de grandes dimensiones, las cuales se conectan a verdaderos tanques de flotación llamados pontones (ver Anexo A13 Fig. A13.7). Estos sistemas fueron creados con la finalidad de sustituir a las plataformas fijas, sobre todo en los campos petroleros con reservas pequeñas o localizados en aguas profundas. Su desventaja radica en su limitada capacidad de espacio; sin embargo, cuando las condiciones no son favorables la plataforma tiene la posibilidad de seguir en operación, en comparación con las plataformas fijas y semifijas. Estas plataformas se clasifican como:

- c.1 Plataformas semisumergibles
- c.2 Barcos de producción y almacenamiento

A continuación se da una breve explicación de estas plataformas:

### c.1 Plataformas semisumergibles

Estas plataformas cuentan con columnas que están unidas a unos grandes cilindros o pontones, situados alrededor de la plataforma, hacen las veces de flotadores que pueden llenarse de agua a voluntad para conseguir la altura adecuada de trabajo. De acuerdo con la intensidad del oleaje, la estabilidad de esta plataforma se encuentra en el sistema de flotación (pontones); alcanzan profundidades que varían desde 90 hasta 1000 m.

### c.2 Barcos de producción y almacenamiento

Son barcos que transportan hidrocarburos, tienen la ventaja de contar con todos los equipos necesarios para el manejo y operación de una plataforma marina, tienen movilidad en diferentes campos de producción; sus desventajas radican en que no pueden ser usadas en condiciones de tormenta, requieren de buen clima para operar y su capacidad de carga también es limitada.

## I.3 PLATAFORMAS MARINAS FIJAS TIPO "JACKET" Y TIPO TORRE

Las plataformas fijas son estructuras comúnmente utilizadas en tirantes de hasta 200 m de profundidad, a fin de obtener diseños económicos y funcionales, mediante pilotes interiores, pilotes faldón o una combinación de ambos.

Las plataformas tipo "Jacket" son estructuras metálicas en forma piramidal, se instalan en el fondo marino por medio de pilotes desplantados en estratos resistentes, el nombre "Jacket" es de origen inglés y significa



camisa. La plataforma funciona como un sistema integral suelo-estructura, formado por tres componentes principales: cimentación, subestructura y superestructura.

Cuando la plataforma se diseña con pilotes interiores, el trabajo de la subestructura es básicamente a cortante, por oleaje, viento y corriente; sin embargo, cuando el diseño considera pilotes faldón las fuerzas gravitacionales originadas por peso propio, carga muerta adicional, carga viva, tuberías, equipo, etc., se transmiten a través de la subestructura, por lo cual su trabajo principal es a flexo-compresión. A las plataformas que tienen este comportamiento se le denomina tipo “torre”. La utilización de pilotes faldón se recomienda para plataformas fijas localizadas en tirantes de 100 a 200 m, sin embargo se han utilizado en tirantes mayores, (ver Anexo A13 Fig. A13.9, Fig. A13.10) y (ver Anexo A13 Fig. A13.11, Fig. A13.12, Fig. A13.13).

### **Cimentación de plataformas fijas tipo “Jacket”**

En la Sonda de Campeche, la cimentación de las plataformas marinas está formada por pilotes con longitudes de penetración que varía entre 70 m y 130 m, medidos a partir de la línea de lodos. Las condiciones meteorológicas del sitio así como la conformación del suelo modifican las longitudes de penetración de los pilotes, si la plataforma es cimentada fuera de este campo petrolero de Campeche, los pilotes cambian radicalmente. Por lo general los estudios geotécnicos proporcionan datos de características físicas, mecánicas y de capacidad de los diferentes estratos, con los cuales se determina la profundidad requerida de cada pilote.

### **Subestructura (Jacket)**

Es la estructura que se conecta a los pilotes después de haberse hincado a su longitud de penetración de diseño. Está formada por elementos estructurales de sección transversal tubular; generalmente la estructuración incluye un arreglo matricial de marcos longitudinales y transversales con plantas de arriostramiento horizontal localizadas de acuerdo con el tirante de diseño y el comportamiento estructural de la plataforma, en condiciones de operación y de tormenta extrema.

### **Superestructura**

Componente de la plataforma ubicada en la zona atmosférica. Sus columnas se conectan a los pilotes mediante conos de acoplamiento, generando una conexión conocida como “Punto de Trabajo”. En las diferentes cubiertas de la superestructura se localizan los equipos, la tubería y en ocasiones módulos para alojar personal, dependiendo del servicio de la plataforma.



#### **I.4 CLASIFICACIÓN DE PLATAFORMAS FIJAS TIPO “JACKET”**

De acuerdo con el tamaño y configuración de la plataforma, las más comunes son:

- ❖ **Sea Horse**
- ❖ **Sea Pony**
- ❖ **Trípodes**
- ❖ **Tetrápodos**
- ❖ **Octápodos**
- ❖ **Dúo decápodos**

De acuerdo con el servicio de la plataforma se clasifican en:

- I.4.1 Plataformas de perforación**
- I.4.2 Plataformas de producción**
- I.4.3 Plataformas de enlace**
- I.4.4 Plataformas de compresión de gas**
- I.4.5 Plataformas de rebombeo**
- I.4.6 Plataformas de inyección**
- I.4.7 Plataformas habitacionales**
- I.4.8 Plataformas de telecomunicaciones**
- I.4.9 Plataformas recuperadoras**
- I.4.10 Plataformas de apoyo**
- I.4.11 Plataformas para quemador**

A continuación se da una breve explicación de cada una de ellas:

##### **I.4.1 Plataformas de perforación**

Se utilizan para perforar pozos y extraer crudo de los yacimientos marinos, se clasifican dentro de las más importantes dentro del esquema de los sistemas de explotación, porque a partir de ellas se generan las necesidades del proceso del crudo.

##### **I.4.2 Plataformas de producción**

Alojan equipos para separar la mezcla del petróleo, gas, agua y sedimentos provenientes del crudo recién extraído, se utilizan para darle un tratamiento preliminar a la mezcla gas-aceite y posteriormente transportarlo a tierra para su comercialización.



#### **I.4.3 Plataformas de enlace**

Como su nombre lo indica unen diferentes plataformas de perforación y producción, su función es recibir el crudo transportado por tubería de conducción (ductos) y enviarlo por el mismo medio a las plataformas de producción, para su separación y transporte a terminales marítimas o terrestres.

#### **I.4.4 Plataformas de compresión de gas**

Alojan equipo de compresión para presurización de gas proveniente de las plataformas productoras y enviarlo a terminales marítimas o terrestres, a través de gasoductos submarinos.

#### **I.4.5 Plataformas de rebombeo**

Alojan turbo bombas para impulsar el crudo a través de oleogasoductos submarinos y hacerlo llegar a terminales destino.

#### **I.4.6 Plataformas de inyección**

Plataformas perforadoras de pozos inyectoros de agua presurizada o nitrógeno a los estratos productores de crudo, con la finalidad de incrementar la presión y consecuentemente la producción.

#### **I.4.7 Plataformas habitacionales**

Soportan módulos de alojamiento con diferentes capacidades y están instaladas dentro de los complejos productores.

#### **I.4.8 Plataformas de telecomunicaciones**

Tienen como objetivo soportar módulo y torres de telecomunicaciones, módulo de radares y en algunos casos módulos habitacionales y helipuerto.

#### **I.4.9 Plataformas recuperadoras**

También conocidas como plataformas protectoras de pozos, tienen como función principal proteger pozos que se han perforado con fines exploratorios; en caso de resultar productivo dicho pozo se procede a la instalación permanente de la plataforma, de lo contrario se taponan y abandona el pozo.



#### **I.4.10 Plataformas de apoyo**

Cuando se cuenta con puentes de gran longitud o cuando se trata de plataformas existentes con limitada capacidad, resulta necesario contar con un apoyo intermedio (trípodes generalmente), esta es la única función de estas plataformas.

#### **I.4.11 Plataformas para quemador**

Estas plataformas soportan un puente de acceso al quemador con una línea que conduce los excedentes de gas hacia el quemador, una torre para quemador y el propio quemador del gas excedente que no puede ser aprovechado, producto de la separación del crudo.

### **I.5 ANALISIS Y DISEÑO DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS**

En ingeniería civil el ámbito del análisis y diseño estructural abarca diversas actividades convirtiéndose en un proceso en donde una de las finalidades principales es la de crear una estructura capaz y funcional de acuerdo a las necesidades por la que es realizada, el proceso estructural es un conjunto de elementos que se combinan en forma ordenada para cumplir con determinada función, a continuación se presenta el proceso de análisis y diseño para plataformas empleado por instituto mexicano del petróleo:

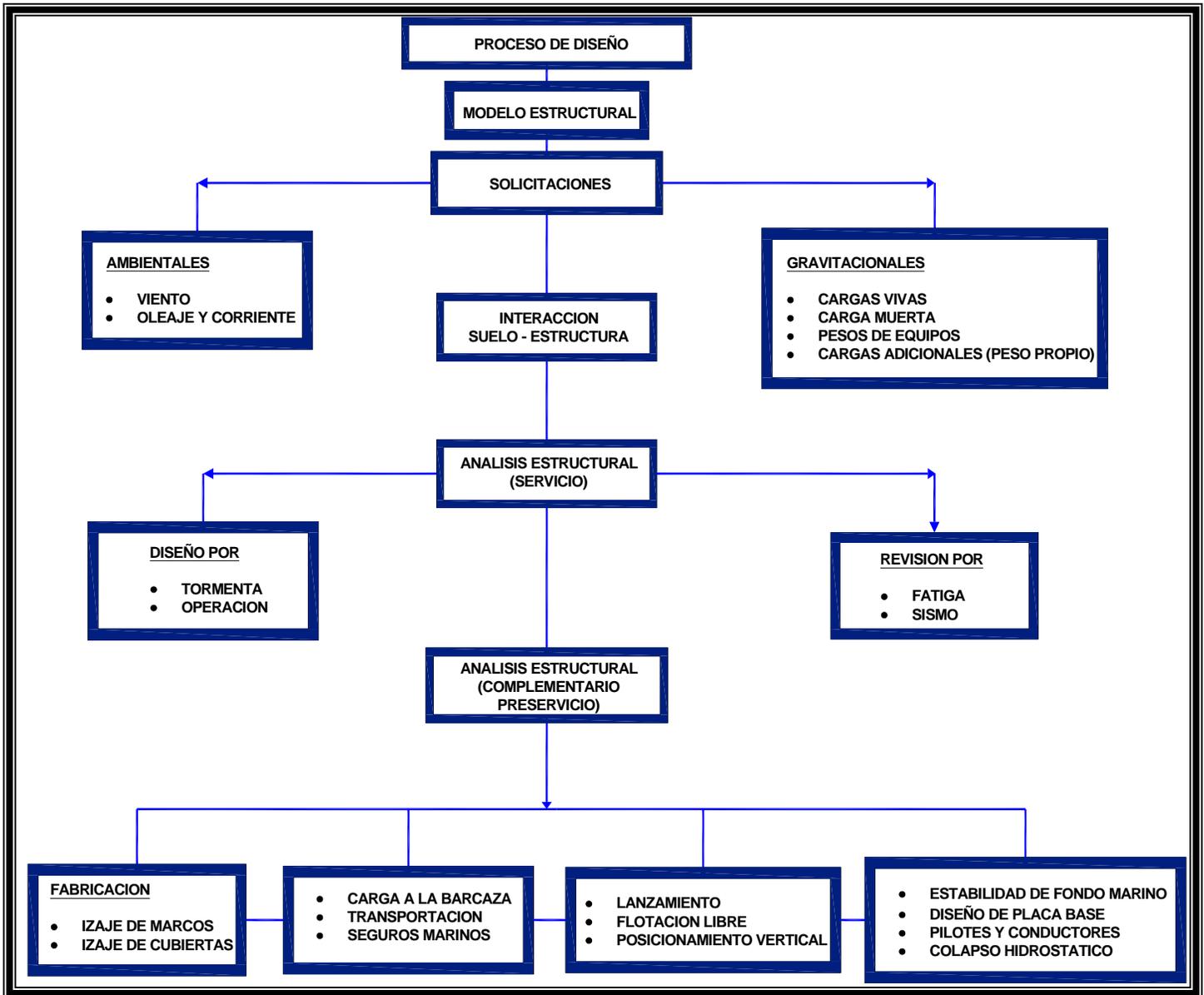


Figura I.5.1 diagrama de flujo del proceso de diseño de una plataforma marina fija.

## I.6 PROCESO DE DISEÑO

Para poder diseñar una plataforma se ha determinado por experiencia seguir un procedimiento. Estos pasos a seguir son iniciados con una solicitud del activo o estancia encargada de explotar el campo petrolero, se emiten las bases de usuario de acuerdo a las necesidades del activo, se concursa y se asigna el proyecto. La compañía ganadora comienza a diseñar de acuerdo con las bases de diseño, este documento contiene la información básica del sitio de instalación, condiciones ambientales, aspecto y forma de la plataforma, material, métodos y procedimientos de análisis que involucran la elasticidad, plasticidad, cargas tanto gravitacionales como ambientales, equipos, tuberías y estudios geotécnicos que se acerquen a las



condiciones reales a la que estará expuesta. Es decir, este proceso comienza con una etapa en la que se recaba información acerca de las condiciones a las que estará sujeta la plataforma. Además, se hace una revisión de las bases a las que deberá sujetarse este proceso.

## I.7 BASES DE DISEÑO

El principio de todo diseño estructural son las bases de diseño, documento en el que se definen las características principales de la estructura y los criterios del diseño. Las bases de diseño, para la plataforma analizada en el presente documento se presentan en el anexo A1 en este encontraremos las características especiales de la plataforma de perforación MALOOB-C.

Los criterios de diseño por lo general están muy relacionados con los códigos, reglamentos y prácticas que se han desarrollado y obtenido en la práctica.

## I.8 CÓDIGOS Y/O RECOMENDACIONES

El API (**American Petroleum Institute**) es una institución dedicada a la industria petrolera, emite códigos de diseño y evaluación de plataformas marinas tipo Jacket para la zona norte del golfo de México. A nivel mundial existen otros protocolos para el diseño de plataformas, que contemplan las variables ambientales del sitio, destacando entre éstos los de Inglaterra y Noruega en el Mar del Norte. Sin embargo, en el resto de los países que tienen explotación de hidrocarburos Costa Afuera predomina el diseño americano en el que aparecen las prácticas recomendadas por el API.

La presencia del huracán Roxana en la Sonda de Campeche en octubre de 1995, generó la necesidad de desarrollar un criterio de evaluación (Criterio Transitorio) para revisar la integridad estructural de las plataformas existentes expuestas a los efectos ambientales en el Golfo de México. Como resultado de estudios extensivos se estableció la norma "NRF-003-PEMEX-2000", "Diseño y Evaluación de Plataformas Marinas Fijas en la Sonda de Campeche", para el diseño de instalaciones Costa Afuera en México, el resultado más importante de la norma se resume en los puntos siguientes:

- La creación de una categorización definida por la consecuencia de falla, delimitada en función de pérdidas humanas, del impacto ambiental y del impacto económico.
- Especificación de nuevos parámetros de diseño para cada campo en la Sonda de Campeche, de acuerdo con la información sobre las variables meteoceánicas extremas imperantes en la zona (variables que determinan el estado de mar de un sitio específico).

A partir de la emisión del "Criterio Transitorio" y NRF-003-PEMEX-2000, el diseño de las plataformas en nuestro país se realiza con criterios propios y apoyo de las recomendaciones del API RP-2A, como se indica a continuación.



## **NORMAS OFICIALES MEXICANAS**

**NOM-008-SCFI-2002**, Sistema General de Unidades de Medida

### **NORMAS PEMEX**

**NRF-003-PEMEX-2000**, “Diseño y Evaluación de Plataformas Marinas Fijas en la Sonda de Campeche”

**NRF-041-PEMEX-2002**, “Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera”.

**NRF-043-PEMEX-2002**, “Acercamiento y amarre de embarcaciones a plataformas marinas”

**NRF-047-PEMEX-2002**, “Diseño, Instalación y Mantenimiento de los Sistemas de Protección Catódica”.

**NRF-053-PEMEX-2006**, “Sistemas de Protección Anticorrosivo a base de Recubrimientos para Instalaciones Superficiales”

**NRF-175-PEMEX-2007**, “Acero Estructural para Plataformas Marinas”

## **CÓDIGOS, RECOMENDACIONES Y MANUALES EXTRANJEROS**

**AWS D1.1**, Código de soldadura estructural (Structural Welding Code).

**API RP-2A WSD**, “Prácticas Recomendadas para la Planeación, Diseño y Construcción de Plataformas Marinas Fijas”, edición 20 – Diseño por esfuerzos de trabajo

**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO AISC**, “Diseño por Esfuerzos Permisibles” (AISC Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design)

**GUIDELINES FOR MARINE OPERATIONS** By London Offshore Consultants Limited

### **I.9 PREDISEÑO**

Una vez recabada la información necesaria de códigos y recomendaciones, datos del sitio, uso y forma de la plataforma, el siguiente paso es proponer un prediseño de la plataforma marina, con el propósito de obtener un modelo estructural preliminar.

El prediseño comienza con la idealización del sistema estructural. En algunos casos las plataformas se forman de acuerdo a planos estructurales hechos de plataformas anteriores análogas, pero existe la posibilidad de que no se tenga esta información, por lo tanto se procede a proponer elementos para el predimensionamiento de la plataforma. Comúnmente se piensa en un octápodo para cargas con mucho peso y para los de menor peso los trípodos y tetrápodos. Un paso fundamental en la etapa del prediseño es realizar el dimensionamiento de los pilotes, ya que una vez definido su diámetro, se estará en condiciones de diseñar las piernas de la subestructura y posteriormente la conformación de la superestructura. La



sustentación de una plataforma se basa en los pilotes ya que estos tendrán la mayor participación de soporte en cuanto a cargas ambientales, gravitacionales y accidentales. Una vez que la carga actuante es aplicada al pilote se procede a probar y diseñar espesor y diámetro de estos elementos tubulares hasta que sean capaces de soportar las solicitaciones descritas en las bases de diseño del proyecto. Los elementos más importantes por revisar en esta fase son los elementos mecánicos, la resistencia a la carga axial, cortante y, por experiencia, el punto crítico de flexión colocado a diez veces el espesor del pilote a partir del lecho marino. Los diámetros deberán mantenerse en los valores mínimos determinados por la resistencia del suelo, la capacidad del equipo de hincado, y los esfuerzos actuantes en ellos, para evitar el aumento en el costo.

Una vez prediseñados los pilotes se procede a predimensionar la subestructura, considerando las cargas gravitacionales, cargas ambientales, el tirante y datos elementales como el espesor y diámetro de los pilotes ya que de acuerdo con la idea general las piernas recibieran a los pilotes en su interior, comúnmente las piernas al recibir a los pilotes dejan un espacio de 2.5 pulgadas mas para evitar el roce entre ellos. Cuando se tienen el diseño de pilotes se tiene el número de piernas a utilizar.

De manera general se busca que la estructura tenga mayor estabilidad por lo que se crea una cierta inclinación en las piernas para que la base tenga mayor área consiguiendo que la estructura tenga una mayor resistencia ante cargas laterales volviéndola más estable. En cuanto a la altura de las piernas, definida por el tirante, el peligro será el pandeo de los elementos, por lo que se proponen arriostramientos verticales y horizontales, dejando claros apropiados para evitar flexiones laterales súbitas antes de llegar a al límite de fluencia.

Para la superestructura se consideran cubiertas con sistemas de piso, rejillas con placa antiderrapante, y un sistema formado de vigas principales, vigas secundarias con relación a las cargas de los equipos. La selección de las vigas puede obtenerse usando los métodos para calcular una viga continua o simplemente apoyada.

El punto de conexión entre los pilotes, subestructura y la superestructura es llamado punto de trabajo. Se ubicará en la elevación +7.315m, en este punto se realizará la conexión de los pilotes con las columnas de la superestructura por medio de la subestructura.



## I.10 MODELO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El siguiente paso en el proceso de diseño es generar el modelo que se someterá a un estudio de análisis estructural mediante el empleo de un programa de cómputo disponible para este fin, el cual será alimentado con las distintas solicitaciones o cargas que la estructura deberá soportar durante su vida útil.

El modelo de análisis estructural consiste en la representación matemática de la estructura real. Esta representación consta del gráfico tridimensional y un sistema de solicitaciones bajo el cual se desea conocer su respuesta estructural.

El modelo de análisis se elabora de acuerdo con los datos contenidos en planos estructurales, hasta formar un arreglo tridimensional de acuerdo al sistema coordinado de referencia con las condiciones de frontera correspondientes. Cada elemento estructural del modelo debe representar las condiciones geométricas y mecánicas de la estructura y su ubicación en el sistema coordinado global. Una vez definido el modelo de la estructura, se procede a modelar las solicitaciones a las que estará sujeta la estructura.

Esta etapa es esencial para el diseño final de la plataforma, sin embargo se puede pensar en dos etapas dentro del modelaje para plataformas marinas, una para los análisis de servicio y otra para los análisis de pre-servicio, pero de manera general el modelaje se desarrolla de una manera cíclica, es decir un proceso de interacción del sistema estructural. A continuación se muestran aspectos importantes de la etapa de pre-servicio del diseño de plataformas marinas, que es el tema fundamental de esta tesis.

Para la modelación de la plataforma analizada en el presente trabajo, se utilizó el programa SACS (Structural Analysis Computer System); y las modelaciones principales hechas fueron las siguientes:

- I. Carga a la Barcaza
- II. Transportación
- III. Lanzamiento
- IV. Posicionamiento Vertical
- V. Diseño de placa base
- VI. Izaje de superestructura

### I. Modelo de análisis para carga a la barcaza

El modelo para análisis de carga a la barcaza, generalmente se elabora a partir del modelo de análisis de operación y tormenta. Cuando no se dispone del modelo mencionado debe generarse a partir de planos estructurales, preliminares o definitivos.

Cuando se cuenta con el modelo de análisis en sitio se realizan las adecuaciones siguientes:

- Separación del modelo: superestructura, subestructura, cimentación, conductores y accesorios.
- Rotación de la subestructura a la posición de arrastre y carga.



- Adecuación de factores de esbeltez (factores K).
- Adecuación de espesores de la zona de mareas.
- Modelación de la estructura de arrastre, cuna de deslizamiento, marco de arrastre o zapatos independientes. La modelación de los apoyos debe considerar a los elementos "GAP"; es decir, miembros estructurales que trabajan únicamente a tensión.
- Modelación, revisión y verificación del sistema de solicitaciones para la maniobra de carga a la barcaza, incluyendo peso propio del modelo de la estructura, accesorios estructurales y accesorios de instalación.

Antes de realizar los análisis estructurales de las diferentes etapas de carga, deben confirmarse los accesorios que serán colocados en la estructura desde patio, los cuales dependen en gran medida del plan de instalación y de la posición de la estructura sobre la cubierta de la barcaza, entre otros. Lo anterior se realiza con la finalidad de no realizar trabajos innecesarios.

## II. Modelo de análisis para transportación

Las adecuaciones al modelo de análisis para transportación, se realizan a partir del modelo de análisis de carga a la barcaza.

- Verificación de cargas gravitacionales de peso propio, accesorios estructurales y de accesorios de instalación, colocados desde el patio.

El número de atracaderos, defensas de pierna, ductos ascendentes, tanques de flotación, mesas de estobos, estobos, grilletes y, en el caso de la superestructura, contrapesos, dependen del plan de instalación, por lo cual antes de realizar los análisis correspondientes, es conveniente tener una visión clara de las diferentes fases de instalación de las estructuras.

- Ubicación de la estructura sobre cubierta de la barcaza, en la posición de transportación.

Cuando la subestructura o superestructura se localiza en la cercanía de popa, la maniobra de arrastre disminuye, también la construcción e instalación de la trabe corredera es menor y consecuentemente los trabajos de patio, asociados a la maniobra de carga a la barcaza. Para definir la ubicación de transportación de la estructura, también debe tomarse en consideración el diseño del sistema de amarre, los seguros marinos se conectan a los puntos rígidos de la cubierta de la barcaza y preferentemente deben formar un ángulo cercano a los 45 grados con la horizontal (o menor), ya que el objetivo de estos elementos es tomar la fuerza lateral generada por el movimiento del sistema barcaza-estructura.



- Modelación del sistema de aseguramiento para transportación.

Los elementos de aseguramiento forman una conexión continua con la estructura, la cual puede considerarse como un nudo elástico; sin embargo la conexión con las mamparas o cuadernas de cubierta de la barcaza no genera un empotramiento a flexión, por lo cual los momentos flexionantes no son significativos y pueden ignorarse. Cuando los efectos de flexión llegan a ser importantes, pueden diseñarse conexiones a cortante; es decir, se ranura el seguro marino en el extremo que conecta al punto rígido de la barcaza y se inserta una placa previamente diseñada, para tomar la fuerza interna del elemento de amarre, así como la componente de fuerza cortante que actúa a lo largo del plano de la cubierta de la embarcación.

- Determinación de las coordenadas del centro de rotación de la barcaza.

Estos valores se utilizan en el programa "TOW" del "SACS" (el módulo TOW consiste en determinar las aceleraciones y fuerzas del sistema barcaza-estructura ocasionado por el estado de mar imperante en la zona de estudio), en la evaluación de las fuerzas de inercia y se definen como las coordenadas X, Y, Z, medidas a partir del origen del sistema coordenado de la estructura hacia el centro de rotación de la embarcación (a la mitad de la embarcación en dirección longitudinal y transversal); la coordenada Z se recomienda medirla a partir del plano horizontal del espejo del agua.

### III. Modelo de análisis para lanzamiento

Las adecuaciones al modelo de análisis para lanzamiento, se realizan a partir del modelo de análisis de carga a la barcaza o transportación.

- Se verifican las cargas gravitacionales de peso propio, accesorios estructurales y de accesorios de instalación, colocados desde patio.
- No obstante que el modelo ha sido revisado para llevar a cabo los análisis de carga a la barcaza o transportación es conveniente revisar, por lo menos al azar, factores de esbeltez (factores K), propiedades geométricas y mecánicas de elementos estructurales (datos contenidos en planos de diseño), peso propio y de accesorios.
- Se define la trayectoria de lanzamiento, mediante el módulo "launch" del programa "SACS".
- Una vez determinada la trayectoria de lanzamiento, se obtienen las cargas correspondientes a diferentes etapas de la trayectoria, mediante el módulo "post launch" del programa "SACS".
- Los niveles de esfuerzos en la estructura se revisan para las etapas más críticas, considerando la modelación del balancín y de la madera que forma parte de la obra de deslizamiento.



#### IV. Modelo de análisis para posicionamiento vertical

Las adecuaciones al modelo de análisis para posicionamiento vertical de la subestructura, se realizan a partir del modelo de análisis de carga a la barcaza, transportación o lanzamiento.

- Se verifican y realizan las adecuaciones correspondientes a las cargas gravitacionales de peso propio, accesorios estructurales y de accesorios de instalación, colocados desde patio.
- No obstante que el modelo ha sido revisado para llevar a cabo los análisis de carga a la barcaza o transportación es conveniente revisar, por lo menos al azar, factores de esbeltez (factores K), propiedades geométricas y mecánicas de elementos estructurales (datos contenidos en planos de diseño), peso propio y de accesorios.
- El modelo de análisis debe considerar elementos a paños, no a ejes, (incluir "offsets") con la finalidad de no sobrestimar la flotación de la estructura. El sistema de flotación debe modelarse y diseñarse por colapso hidrostático, de acuerdo con los resultados de los análisis.
- Se procede con los análisis de la secuencia de posicionamiento vertical, de acuerdo con el plan de instalación y con los análisis estructurales de izaje.

#### V. Modelo de análisis para estabilidad de fondo y diseño de placa base

Las adecuaciones al modelo de análisis de estabilidad de fondo y diseño de placa base, se realizan a partir del modelo de análisis de posicionamiento vertical.

- Se verifican y realizan las adecuaciones correspondientes a las cargas gravitacionales de peso propio, accesorios estructurales y de accesorios de instalación, colocados desde patio.
- No obstante que el modelo ha sido revisado para llevar a cabo los análisis de carga a la barcaza o transportación es conveniente revisar, por lo menos al azar, factores de esbeltez (factores K), propiedades geométricas y mecánicas de elementos estructurales (datos contenidos en planos de diseño), peso propio y de accesorios.
- Se definen las cargas verticales producidas por los tramos de pilotes, de acuerdo con la secuencia de hincado.
- Se procede con los análisis de estabilidad de fondo sin pilotes, se define el área requerida de la placa base y se realizan los análisis estructurales de la placa base.



## VI. Modelo de análisis para izaje de la superestructura

Las adecuaciones al modelo de análisis para posicionamiento vertical de la subestructura, se realizan a partir del modelo de análisis de carga a la barcaza y transportación.

- Modelación de cables (estos cables se modelarán con la propuesta de diámetro y espesor, se considerará un tubo sólido o un prisma sólido ) y elementos de izaje, cargas y solicitaciones propias del izaje, los cables solo tomarán carga en la dirección del elemento, el módulo de elasticidad de los cables será modificado para obtener condiciones de deformación de cables reales, es decir que se disminuirá el valor del módulo para obtener mayor deformación del material igualando al de los cables, además de que el peso de éstos no serán contemplados.
- Para la modelación del gancho, se debe tener en cuenta que los cables establezcan un ángulo entre 60 y 70 grados.
- Modelación de apoyos en modelo reales del análisis del izaje como empotramientos, y resortes para la estabilidad del modelo.
- Creación de las siguientes combinaciones de carga para la verificación del análisis de izaje.
  - ❖ **F100** condición intacta
  - ❖ **F135** Condición al 135 %
  - ❖ **F200** Condición al 200%

Para este último punto las condiciones están descritas en la norma API-RP-2A la cual describe que por cuestiones de contingencia en el sistema de izaje se procede a aplicar factores tales que revisen la deformación de sus elementos (100%), la resistencia de sus elementos secundarios al sistema de izaje (130%), y la resistencia de sus elementos principales del sistema de izaje (200%).

### I.11 SOLICITACIONES

La función de la estructura es absorber las solicitaciones que se derivan de su entorno físico, Las solicitaciones estructurales se definen como las fuerzas o acciones externas que actúan en la estructura ocasionando deformaciones y desplazamientos. A continuación se presentan definiciones de las solicitaciones en el diseño de plataformas marinas.



### 1.11.1 Carga Muerta

Se define como el peso propio de la estructura, incluyendo los pilotes de cimentación y los accesorios adheridos a la plataforma como: embarcaderos, defensas, ductos, estructuras adosadas, equipo permanente, etc., todo lo que no cambia significativamente, ni con el tiempo ni con el modo de operación de la plataforma.

### 1.11.2 Carga Viva

Son las cargas que se generan cuando la plataforma se encuentra en operación, se les conoce como cargas operacionales y varían con el modo de operación de la plataforma. Dentro de esta clasificación se encuentra el equipo de perforación y producción, módulo habitacional del equipo de perforación, helipuerto y equipo temporal de salvamento, consumibles y material de almacenamiento, cuartos de control, laboratorios móviles, talleres mecánicos, cargas que se generan en el aterrizaje del helicóptero, cargas que produce la grúa manipulando pesos, alimentos y tripulación de la plataforma durante un modo de operación (por ejemplo plataforma tripulada durante la perforación).

### 1.11.3 Cargas ambientales

Son las cargas que se generan por los fenómenos naturales como el viento, marea, oleaje, corrientes y sismo, incluyendo las variaciones en la presión y la flotabilidad hidrostática, a lo largo y ancho de toda la plataforma.

### 1.11.4 Fuerzas producidas por viento

Es un fenómeno natural que se hace presente en el diseño de plataformas marinas, el comportamiento aleatorio del viento lo hace difícil de comprender, sin embargo por medio de mediciones, estadísticas y estimaciones se ha llegado a tener una visión general del problema en el tema procesos metaoceánicos de la Referencia V.1.

Fuerza de viento.

La fuerza de viento debe ser calculada usando el método siguiente:

$$F = \left( \frac{w}{2g} \right) (v)^2 CS(A) \quad (2.3.2-8) \text{ de [R V.5]}$$

Donde:



F = Fuerza de viento

w = Densidad del aire, lb/ft<sup>3</sup> (N/m<sup>3</sup>) (0.0756 lb/ft<sup>3</sup> para una temperatura y presión estándar

g = Aceleración de la gravedad, ft/s<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>)

V = velocidad del viento, ft/s (m/s)

CS = Coeficiente de forma

A = área del objeto, ft<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>)

Los coeficientes de forma son definidos, en ausencia de datos, por experiencia o modelos probados en túneles de viento.

Vigas 1.5

Lados de edificios 1.5

Secciones cilíndricas 0.5

Área general proyectada de una plataforma 1.0

El programa SACS utiliza una formulación similar y esta se puede ver en la [ref.V.10] en la sección 3 del seastate “hydro static/dynamic data wind load”

### Velocidad de diseño

La velocidad de diseño básicamente es el promedio de las ráfagas en diferentes lapsos de tiempo, son vientos dominantes en la zona de estudio. La velocidad de diseño está definida por los conceptos de perfil medio, factor de ráfaga e intensidad de la turbulencia.

#### 1.11.5 Fuerzas producidas por el oleaje y Corriente

Una ola es una onda, y una onda es una perturbación producida por una fuerza generadora en un medio continuo. Asimismo, sobre esta perturbación actúan fuerzas que tratan de reestablecer la condición de equilibrio inicial, o fuerzas restauradoras. Las fuerzas generadoras y restauradoras pueden ser de muy diversa índole, y dependiendo de sus magnitudes y características tendrán campos de acción perfectamente definidos. En de la Referencia V.1 se encuentra una explicación más detallada de estos fenómenos.

Como principales fuerzas generadoras podemos citar:

- **La fuerza del viento**
- **Sismos, derrumbes y atracción gravitatoria**

Como principales fuerzas restauradoras podemos citar:

- **La tensión superficial**
- **La atracción gravitatoria**

- **La fuerza de Coriolis**

El viento es el principal generador del oleaje y la corriente, el viento se aplica en un área determinada y su energía se va transmitiendo durante un lapso suficientemente grande hasta que se forma el oleaje y la corriente característicos de esta zona.

Las partículas de agua que forman una ola no se trasladan, si no que oscilan describiendo una trayectoria aproximadamente circular; las partículas de agua se mueven con respecto a otras definiendo el perfil de la ola, la variación del perfil da la impresión de traslación de la ola, sin embargo es la forma en la que se mueve mientras que las partículas de agua no se trasladan. El oleaje se puede definir por tres parámetros principales: la altura de ola que se mide de cresta a valle, la longitud de la ola, o sea la distancia entre dos crestas sucesivas, y el periodo de ola, es decir, el tiempo que transcurre para que una partícula haya desarrollado un ciclo completo de su movimiento y vuelva a ocupar la misma posición. Ver Fig. I.11.1.

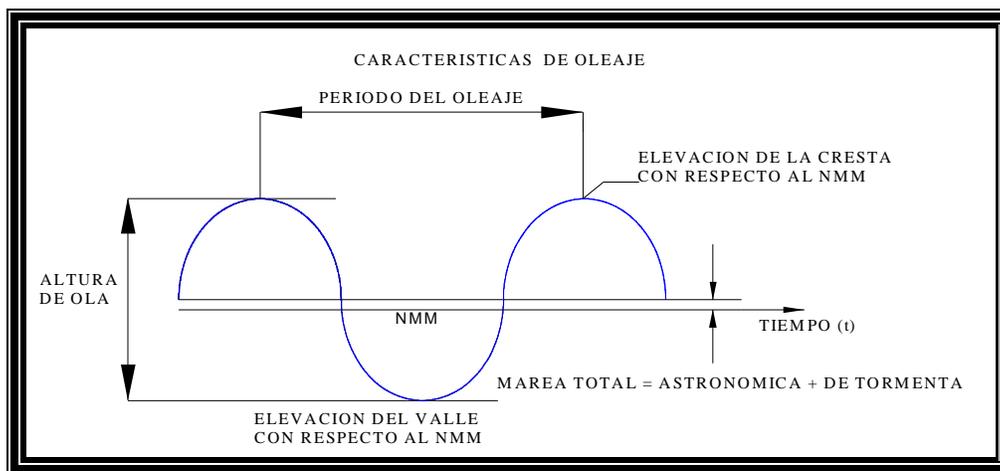


Fig. I.11.1 Características del oleaje.

Las partículas que se encuentran por debajo de la ola también describen una trayectoria similar a las partículas de la ola. Para determinar la acción del oleaje sobre una estructura se determinan los parámetros de ola de diseño y después se calculan los efectos de dicha ola sobre la estructura.

Las corrientes pueden definirse como el desplazamiento de una masa de agua, determinada por dos características: dirección y velocidad. La dirección de una corriente es el rumbo hacia el cual se dirigen; la velocidad de una corriente se expresa tradicionalmente en nudos, cuando se trata de aspectos relativos a la navegación, o bien en m/s. Las corrientes pueden ser:

- **Corrientes oceánicas**
- **Corrientes inducidas por viento**
- **Corrientes por marea**
- **Corrientes producidas por oleaje**
- **Corrientes de densidad**



### Ecuación de MORRISON.

La fuerza generada por la corriente y el oleaje se describe por la inercia y el arrastre. Matemáticamente estos efectos producen la presión total de la ola en un punto sobre el objeto, a través de la ecuación de **Morrison**, en donde  $|u|$  es la posición una partícula de la masa de agua y  $|du/dt|$  su velocidad.

$$F = C_m \left[ \frac{w}{g} \right] (V) \left[ \frac{du}{dt} \right] + C_d \left[ \frac{1}{2} \right] \left[ \frac{w}{g} \right] D_u |u|$$

$C_m$  = Coeficiente de masa

$C_d$  = Coeficiente de arrastre

$w$  = Peso específico del agua de mar

$V$  = Volumen desplazado por unidad de longitud

$D$  = Diámetro del cilindro

$F$  = Fuerza de oleaje, por unidad de longitud actuando perpendicular al eje del miembro

La fuerza total sobre el objeto será la integral de las presiones sobre su longitud, la aplicación de la ecuación de **Morrison** implica la comprensión del perfil completo de ola, velocidad y aceleración del agua en cada punto, tanto en la superficie como en las diferentes profundidades.

Hablando de las herramientas con las que se cuenta para el diseño de plataformas marinas, el programa SACS [RV.10], utiliza una librería de teorías de oleaje en la que se describen diferentes perfiles de ola de acuerdo a las recomendaciones del API RP 2A [RV.9], transforma esta energía en fuerzas con la ecuación de Morrison y las aplica en la estructura.

#### 1.11.6 Cargas de Instalación

Las cargas de instalación incluyen las fuerzas generadas durante la fase de construcción de la plataforma y las fuerzas originadas por las maniobras de carga a la barcaza, transportación, lanzamiento, posicionamiento vertical e izajes. Son cargas impuestas temporalmente a la estructura y deben considerarse en el diseño.

La siguiente etapa del proceso de diseño consiste en realizar propiamente el análisis estructural para obtener las distintas respuestas estructurales que se tendrán y que nos conducirán al diseño final de la plataforma.

Es importante señalar que en esta etapa de análisis hay dos grandes etapas: análisis bajo condiciones de servicio y el análisis bajo condiciones de pre-servicio, también conocido análisis bajo condiciones de instalación.



En este punto es fundamental señalar que este trabajo se enfocará a describir y estudiar exclusivamente las condiciones de pre-servicio, o de instalación, de la plataforma marina MALOOB-C.

A continuación se explican las diferencias fundamentales entre estos dos tipos de análisis.

### **I.12 CONDICIONES DE SERVICIO**

Son las condiciones que la plataforma experimenta en sitio durante su vida útil. El diseño para condiciones de servicio considera análisis de tormenta extrema, tormenta de operación, sismo, fatiga y en ocasiones análisis dinámicos por oleaje, si el periodo natural de vibración de la plataforma es mayor a tres segundos (RV.8] en la sección C5.2.2 Periodo natural) por la simple razón que la plataforma y el oleaje o corriente pudieran entrar en resonancia. Los análisis en sitio consideran fuerzas gravitacionales máximas, como carga muerta, carga viva, cargas de tuberías y cargas de equipos; también se consideran fuerzas ambientales debidas al viento, el oleaje y la corriente; se combinan y analizan aquellas que produzcan los efectos más desfavorables en la estructura, en términos de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, debido a los alcances de este trabajo de tesis el análisis y diseño por condiciones de servicio quedan fuera de estudio.

### **I.13 CONDICIONES DE PRE-SERVICIO**

Son las condiciones que experimentan los diferentes componentes de la plataforma (subestructura, superestructura, módulos, etc.) durante las maniobras de instalación, las cuales inician con la construcción de la estructura en los talleres y concluyen con la instalación costa afuera. El diseño de una plataforma marina fija, para condiciones de instalación o de pre-servicio, considera los análisis siguientes:

Para la subestructura:

- A) Fuerzas generadas durante la construcción**
- B) Carga a la barcaza**
- C) Transportación**
- D) Lanzamiento**
- E) Posicionamiento vertical**
- F) Estabilidad de fondo sin pilotes**

Para la superestructura:

- G) Izaje**
- H) Fuerzas generadas durante la construcción**
- I) Carga a la barcaza**
- ❖ Transportación**

Análisis complementarios:



- ❖ **Diseño de orejas de arrastre (subestructura-superestructura)**
- ❖ **Estructura de arrastre (marco-zapatos)**
- ❖ **Elementos de izaje y/o posicionamiento vertical**
- ❖ **Sistema de aseguramiento para transportación**
- ❖ **Análisis detallados de elementos de izaje y/o juntas tubulares, por elemento finito**
- ❖ **Diseño de placa base**
- ❖ **Hincado de pilotes**

Las condiciones de pre servicio son particulares para cada etapa, sin embargo para algunos análisis el proceso es el mismo sin importar la estructura, como por ejemplo el análisis de carga a la barcaza, transportación, por lo que se expondrá brevemente en qué consisten cada una de estas etapas de manera general, también conviene comentar que hay algunos análisis que son exclusivos de cada tipo de estructura como por ejemplo lanzamiento y posicionamiento vertical para la subestructura e izaje vertical para la superestructura.

#### **A. Fuerzas generadas durante la construcción**

Son las fuerzas aplicadas a elementos individuales o componentes de la plataforma durante la construcción. Se generan por el movimiento a una posición diferente dentro del mismo patio o por movimientos requeridos por el propio procedimiento constructivo, como izaje y colocación de una cubierta en la superestructura, rolado de marcos de la subestructura, etc. Con base en que tanto la estructura como el equipo de patio se encuentran apoyados sobre terreno firme, no es necesario afectar las cargas máximas estáticas por ningún factor de amplificación dinámica [RV.8].

#### **B. Carga a la barcaza**

La maniobra de carga a la barcaza de una subestructura o superestructura, según el caso, inicia cuando la barcaza se "acodera" al muelle del patio y termina cuando la estructura se encuentra en posición de transportación sobre de la cubierta de la barcaza. En general, existen dos métodos de carga a la barcaza, el método de carga horizontal y el de carga vertical.

##### **Método de Carga Horizontal**

Este método consiste en trasladar la estructura desde el patio hasta la embarcación, mediante la utilización de malacates o grúas de apoyo (arrastre). Es práctica común instalar malacates sobre la cubierta de la barcaza, con los cuales se aplican fuerzas de tensión directa a la estructura; en otras ocasiones se utilizan



grúas y desde patio se realiza el arrastre de la estructura mediante la aplicación de fuerzas invertidas, a través de sistemas de cables y poleas.

Para llevar a cabo el arrastre de la subestructura se colocan “orejas” en las piernas, mientras que para el arrastre de la superestructura se colocan “orejas” en el marco de arrastre. En el diseño de los elementos de arrastre debe considerarse el efecto de fricción, a través de coeficientes que consideran el tipo de superficies de contacto (acero / grasa / madera) y las condiciones de lubricación. Un coeficiente de fricción aceptable para las superficies de contacto acero-madera lubricada es de 0.1 fricción dinámica y 0.2 fricción estática según la [RV.9].

Las fuerzas a las que se somete la estructura durante el arrastre se deben principalmente a la tensión máxima en cables al inicio de la maniobra o al reinicio después de una etapa programada durante la carga, al movimiento de la barcaza por cambios de marea, al tráfico marino cercano y a cambios o alteraciones no planeadas en la aplicación del plan de lastre.

Debido a que la maniobra de carga se realiza de manera planeada, programada y es relativamente lenta no es necesario considerar factores de amplificación dinámica de la carga, ni deben incrementarse los esfuerzos permisibles para la revisión de esfuerzos en juntas y elementos estructurales.

#### **Método de Carga Vertical**

El método de carga por izaje se utiliza para estructuras menores, como trípodas, tetrápodos ligeros, puentes, pilotes, conductores y accesorios. Es poco común que una superestructura equipada se cargue a la barcaza mediante izaje, debido a que en todas las estructuras marinas se prefiere instalar, desde el patio de construcción, la mayoría de los equipos y accesorios necesarios para su operación en sitio, en virtud de que los trabajos Costa Afuera son más costosos y los tiempos de ejecución se incrementan considerablemente.

Cualquiera que sea el método de carga a utilizar, para un análisis estructural de diseño de carga a la barcaza, se debe contar con los planos de diseño, el modelo de análisis estructural, el procedimiento definido de carga, y los datos y características de la embarcación de carga. Para realizar un análisis estructural definitivo de carga a la barcaza, se debe contar con los resultados del pesaje electrónico, último reporte de control de peso, los planos estructurales actualizados (As-Built), los datos de la barcaza de carga, los datos de traveses correderas de la barcaza y la capacidad de carga de la cubierta, en diferentes puntos de mamparas y cuadernas.



### C. Transportación

La superestructura o subestructura se coloca sobre la cubierta de la barcaza, en la ubicación definida en diseño; se aplica el “Plan de Lastre” para la travesía, y posteriormente se coloca el sistema de aseguramiento para transportación con la finalidad de no generar esfuerzos iniciales en el sistema barcaza-estructura.

La primera parte de los análisis de transportación incluye la determinación de las aceleraciones del sistema, producidas por el oleaje, corriente, viento y los movimientos de la barcaza con su carga, se deben considerar acciones de oleaje, viento y corriente actuando de manera simultánea en las direcciones más desfavorables, a cada 45 grados (0, 45, 90, etc.).

Una vez conocidas las aceleraciones del sistema, se calculan las fuerzas de inercia que actúan sobre la barcaza con su carga. Preferentemente se debe considerar la rigidez relativa entre la barcaza y la estructura a transportar; es decir, debe considerarse la flexibilidad de la barcaza mediante una modelación detallada tridimensional, si se cuenta con el software adecuado. Cuando no se cuente con las herramientas requeridas, se puede obtener una respuesta aproximada considerando una barcaza rígida.

Finalmente, se combinan las condiciones más desfavorables del movimiento con las acciones de la gravedad, en un análisis estructural que permite conocer los esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales, juntas tubulares y sistema de aseguramiento para transportación.

Los análisis de transportación de las plataformas de la Sonda de Campeche, se realizan de acuerdo con los datos ambientales de la norma NRF-003-PEMEX-2000 [RV.5] y recomendaciones API RP-2A, sección 2.4.4 [RV.8]. Debido a que las fuerzas de transportación se obtienen de efectos ambientales temporales, los esfuerzos permisibles pueden incrementarse un tercio para revisión de elementos estructurales y juntas tubulares.

### D. Lanzamiento de la subestructura

La maniobra de lanzamiento consiste en trasladar la subestructura, desde la posición de transportación sobre cubierta de la barcaza a la posición de flotación libre en mar. Con base en los resultados de los análisis de la trayectoria de lanzamiento, se determina si la maniobra puede llevarse a cabo en el sitio de instalación o si es necesario contar con un tirante mayor, a fin de mantener un claro libre entre la parte más baja de la subestructura y el lecho marino de diez metros (recomendación práctica de instalación).

La maniobra de “lanzamiento de la subestructura”, se inicia con la inclinación de la barcaza de lanzamiento, mediante la modificación requerida del “Plan de Lastre”, a fin de que la estructura se deslice por efecto de la



gravedad; sin embargo, con frecuencia es necesario utilizar gatos hidráulicos de apoyo y/o malacates para dar inicio al deslizamiento de la subestructura, a lo largo de las trabes correderas de la barcaza.

A pesar de que la maniobra es breve, se generan altos niveles de esfuerzos en elementos estructurales y juntas tubulares, sobre todo cuando el centro de gravedad se alinea con el balancín, el cual al girar hace que la estructura se proyecte libremente hacia el agua, hasta quedar en la posición de flotación libre. Las fuerzas más severas que experimenta la estructura se presentan generalmente al inicio de la rotación del balancín.

Debido a que las fuerzas de lanzamiento se obtienen de análisis estáticos de diferentes posiciones, los esfuerzos permisibles no deben incrementarse, cuando se haga la revisión de elementos estructurales y de las juntas tubulares.

### E. Posicionamiento Vertical

A partir de la posición de flotación libre, el barco instalador inicia la maniobra de posicionamiento vertical de la subestructura; es decir, gira la estructura de la posición horizontal a la posición vertical y la transporta desde el sitio de lanzamiento hasta el sitio de instalación (cuando el sitio de lanzamiento es diferente al sitio de instalación). Los análisis de flotación libre deben considerar inicialmente la flotación propia de la estructura y posteriormente, en caso de ser necesario, se deberá considerar la utilización de tanques de flotación; los tanques de flotación deben diseñarse para proporcionar una reserva de flotación de por lo menos el 15%, en la fase de diseño (recomendación práctica de compañías dedicadas a la instalación de estructuras Costa Afuera). La ubicación de los flotadores, debe considerar fácil acceso para su inundación y recuperación, después de que la subestructura se ha instalado en sitio.

Los análisis de posicionamiento vertical deben considerar la determinación de una secuencia detallada estable, para condiciones intactas de la estructura, las condiciones intactas son las que consideran únicamente las condiciones de mar en calma, es decir el análisis se realizara sin condiciones de mar extremas, la norma NRF-041-PEMEX-2002 dice que hay que revisar las condiciones meteorológicas extremas así como la revisión del corrimiento del centro de gravedad. También debe considerarse el análisis de una secuencia de posicionamiento vertical para condiciones de daño, por ejemplo alguna de las piernas o un tanque de flotación, a fin de detectar cualquier condición de contingencia que pudiese presentarse durante la instalación y tomar las medidas preventivas requeridas. La modelación matemática de la maniobra de posicionamiento vertical, debe representar con la mejor precisión las condiciones reales del plan de instalación de la subestructura.

Adicionalmente a lo anterior, debe considerarse para la secuencia de posicionamiento vertical en condiciones intactas, el corrimiento de la posición del centro de gravedad en dirección  $\pm X$  (1.0 m),  $\pm Y$  (0.50 m) y  $\pm Z$  (1.0 m), de acuerdo con las recomendaciones de la norma NRF-041-PEMEX-2002, anexo A, sección A.1.1.1 en Peso y distribución de peso [RV.6].



Una vez analizada y aceptada la secuencia de posicionamiento vertical, se realiza el análisis de izaje vertical considerando la posición más desfavorable de la estructura; cuando el posicionamiento se realiza con un solo gancho (barco con una grúa), la posición más crítica para la estructura generalmente se presenta cuando el gancho se encuentra en la posición más alta, debido a que se reducen el número de elementos estructurales que participan en su flotación. Cuando el posicionamiento se realiza con dos ganchos, es necesario revisar posiciones inclinadas de la subestructura. Se recomienda considerar en la revisión de esfuerzos de elementos estructurales y juntas tubulares, las posiciones de 30° y 60° con respecto a la horizontal, adicionalmente a la posición vertical.

Se recomienda que la secuencia de posicionamiento vertical se realice con la estructura parcialmente inundada, a fin de que la flotación contribuya en la reducción de las fuerzas estáticas máximas en los cables de izaje y consecuentemente en la disminución de los niveles de esfuerzos en la estructura.

Las orejas de izaje deben diseñarse para la máxima fuerza estática que se presente en la eslinga más cargada, considerando los factores de amplificación dinámica de la carga, de acuerdo con las recomendaciones de la sección 2.4.2 de la [RV.8]. La estructura debe analizarse para tres combinaciones de carga. En la primera de ellas se toma en cuenta la condición estática, sin considerar ningún factor de amplificación dinámica de la carga, con ella se calcula la localización del centro de gravedad de la estructura; en la segunda se aplica un factor de amplificación dinámica de carga de 1.35 para revisión de elementos secundarios y en la tercera combinación se aplica un factor de amplificación dinámica de 2.0 para diseño de las orejas de izaje y revisión de esfuerzos en elementos estructurales (incluyendo sus dos conexiones) que conectan directamente a las orejas de izaje.

Se recomienda que el diseño de las orejas de izaje, considere que se encuentran orientadas al centro geométrico, formado por los cuatro puntos de izaje. Estas fuerzas deben tomar en cuenta las componentes horizontales y verticales. Adicionalmente deben considerarse en el diseño las componentes fuera del plano, generadas por la orientación al centro geométrico, incrementadas un 5% y aplicadas de manera simultánea, como se indica en la [RV.6] y en la sección 2.4.2 de la [RV.8]

#### **F. Estabilidad de fondo sin pilotes y diseño de placa base**

Al concluirse el posicionamiento vertical de la subestructura, por un periodo muy corto debe auto soportarse en el lecho marino hasta que se inicia la instalación de los pilotes. Para lograr la estabilidad de la subestructura en el fondo marino sin los pilotes se diseña una placa de apoyo a fin de garantizar su estabilidad mientras se inicia la instalación de los pilotes.

La placa base se diseña con elementos estructurales y placa de acero estructural, generalmente desfasada por debajo de la planta de arriostamiento horizontal, ubicada en la línea de lodos. Puede diseñarse de diferentes configuraciones geométricas, siempre y cuando cuente con el área de sustentación requerida y



con la capacidad de carga necesaria para que todos los elementos estructurales que la conformar no alcancen los valores de esfuerzos permisibles.

El diseño de la placa base debe considerar una condición de análisis para cargas gravitacionales únicamente y otra para condiciones de cargas gravitacionales combinadas con oleaje, viento y corriente. La condición de análisis de cargas gravitacionales debe tomar en cuenta el peso propio de la subestructura (menos flotación), el peso de todos los accesorios estructurales que gravitan sobre la propia subestructura, el peso de los tramos de pilotes colocados en una o en dos de las piernas de la subestructura y los pesos de los accesorios de instalación (martinete, cojinete, porcentaje de peso del martillo, etc.). Para esta condición el factor de seguridad mínimo es 2, de acuerdo con los lineamientos de la [RV.8], en la sección 6 Foundation Desing. La condición de oleaje, viento y corriente combinada con el peso propio de la subestructura (menos flotación) debe tomar en cuenta las direcciones más críticas de incidencia del oleaje a cada  $45^\circ$  (0, 45, 90, etc.), considerando los datos ambientales de la recomendación en la sección 10.4 "Condiciones de estabilidad", en la tabla 10.4 de la [RV.5], como la altura de la ola de instalación y sus parámetros asociados. Para esta condición, el factor de seguridad mínimo es 1.5, ó 2.0 de acuerdo con los lineamientos de la [RV.8] en la sección 6 Foundation Design.

Para ambas condiciones de análisis, se recomienda realizar un análisis preliminar con un área propuesta para la placa base, con la finalidad de obtener las fuerzas de reacción y momentos de volteo, calcular el área requerida y realizar un análisis estructural para revisión de los niveles de esfuerzos en los elementos estructurales y en la propia placa base.

Es importante realizar un diseño optimizado y detallado que cumpla con los factores de seguridad mínimos recomendados e indicar en los planos de ingeniería las notas relevantes que el instalador debe cumplir para lograr el control requerido del proceso, a fin de evitar hundimientos diferenciales durante la instalación, difíciles de resolver, sobre todo por los efectos desfavorables no considerados en el diseño de la plataforma.

Es importante resaltar que para el análisis de estabilidad en el fondo marino se presentan ciertos fenómenos que son importantes tomar en cuenta, como son el colapso hidrostático, la flotación y la estabilidad, y que se explican a continuación. Se aclara que estos fenómenos no son exclusivos del análisis de la estabilidad en el fondo marino, sino que algunos de ellos los podemos encontrar también en los análisis de transportación, lanzamiento y posicionamiento vertical.

### **Colapso Hidrostático**

Los elementos estructurales tubulares de la subestructura, especialmente "las piernas" que se encuentran selladas en ambos extremos, superior e inferior se exponen a los efectos de la presión hidrostática, durante el lanzamiento, flotación libre y posicionamiento vertical. La presión hidrostática produce una fuerza perpendicular a la superficie del objeto sumergido y su magnitud depende de la posición relativa del

elemento ya que la presión hidrostática se incrementa con la profundidad. Por lo cual, deben realizarse análisis de colapso hidrostático de elementos estructurales y considerar el refuerzo requerido en el diseño, de acuerdo con las recomendaciones de la sección 3.2, de la [RV.8]

### Conceptos generales de flotación y estabilidad

La flotación se basa en el principio de Arquímedes, ley que afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza hacia arriba igual al peso del volumen de fluido desplazado por dicho cuerpo, lo cual explica por qué flota un barco cargado: el peso del agua desplazada por el barco equivale a la fuerza hacia arriba que mantiene al barco a flote.

El punto sobre el que actúan todas las fuerzas que producen el efecto de flotación se llama centro de flotación y corresponde al centro de gravedad del fluido desplazado. El centro de flotación de un cuerpo que flota está situado exactamente encima de su centro de gravedad; cuanto mayor sea la distancia entre ambos, mayor es la estabilidad del cuerpo. Al inclinarse el barco debido a fuerzas externas se genera un nuevo centro de flotación; al moverse el centro de flotación, tanto el peso del barco como el empuje ascendente del volumen de agua desplazado forman un par de fuerzas, y a medida que es más grande la distancia de este par es más fuerte la inclinación del barco. En arquitectura naval el metacentro es el punto de intersección del plano diametral (Es todo plano que pasa por el centro de una embarcación que divide a esta en dos hemisferios comúnmente se utilizan los planos longitudinal y transversal) de la barcaza y la vertical trazada a partir del centro de flotación. La distancia comprendida entre el centro geométrico y el metacentro se conoce como altura metacéntrica. Estas dimensiones son punto de referencia para determinar la inestabilidad o la estabilidad de una embarcación; se infiere entonces que existe un límite en la condición de estabilidad, presentándose tres casos: (1) cuando el metacentro está por arriba del centro de gravedad, esta condición se llama positiva o de equilibrio estable; (2) cuando el centro de gravedad coincide con el metacentro se obtiene estabilidad nula o indiferente y (3) cuando el centro de gravedad está por encima del metacentro se presenta estabilidad negativa o inestable.

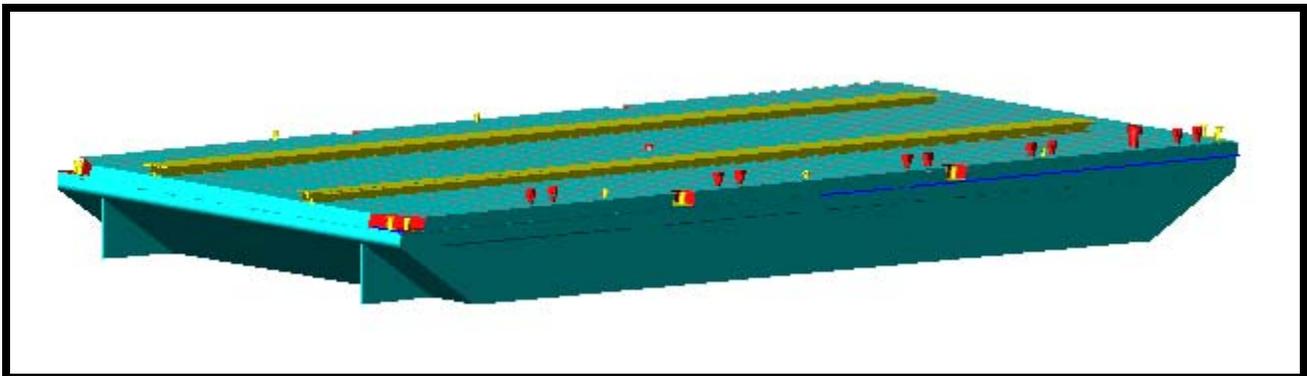


Fig. I.13.1 Barcaza típica de carga y transportación

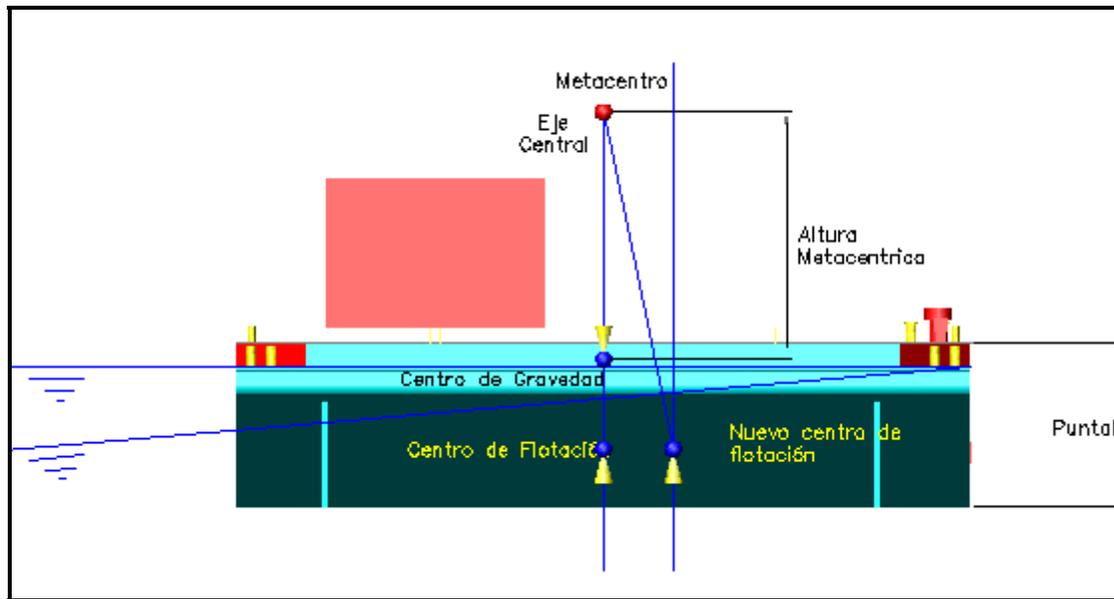


Fig. I.13.2 Grafico del Sistema Barcaza-Estructura, Elevación

### G. Izaje de la superestructura

Una vez que la subestructura ha sido fijada al suelo marino, se realiza el izaje e instalación de la superestructura mediante el apoyo de un barco grúa. El objetivo de este análisis es conocer el estado de esfuerzos a que se someten los elementos estructurales durante el izaje. En la mayoría de los izajes de superestructuras se adicionan elementos temporales de refuerzo, mismos que se retiran al concluirse la instalación de la superestructura. La primera parte del análisis de izaje de la superestructura incluye la localización del centro de gravedad, la cual es función, en gran medida, de la modelación detallada y precisa de las cargas gravitacionales como el peso propio, la carga muerta adicional (sistema de piso y accesorios en general), carga de tuberías y equipos en condición de vacío, de manera que los valores numéricos de los ángulos de inclinación del sistema no rebasen los valores permisibles, establecidos en la [RV.6], sección A 1.2.3. Cuando no se cumple con la localización del centro de gravedad recomendado en la normatividad, se tiene la opción de utilizar cables de diferentes longitudes, a fin de alinear la posición del gancho del barco grúa con el centro de gravedad y si esto no lo acepta el Cliente o el Instalador, o no se resuelve la problemática, entonces se puede recurrir a la opción de utilizar contrapesos, cuidando no sobrepasar la capacidad de carga segura del barco grúa ni generar problemas de esfuerzos en la estructura, de lo contrario se tendría que disminuir la carga en la superestructura (remover equipos, tuberías y/o estructura) o utilizar marcos de izaje, los cuales permiten que los cables se mantengan totalmente verticales.

Las cargas gravitacionales deberán afectarse por un factor de contingencia, que toma en cuenta las incertidumbres en la determinación del peso y el posible corrimiento del centro de gravedad. En la etapa inicial del diseño de la plataforma las incertidumbres asociadas al peso de la estructura, de tuberías y de equipos es mayor (y diferente entre los conceptos citados) que en la etapa final de la construcción donde ya



se cuenta con la obra estructural, electromecánica y equipo conocido, además de contar con reportes de control de peso actualizado conforme al avance de la obra. Por lo anterior los valores de contingencias a considerar también son variables. En la fase de diseño es común utilizar factores del 10% para la estructura y 20% para tuberías y equipo, como se indica en la [RV.8].

Los cables de izaje deberán seleccionarse para la máxima carga estática del punto de izaje más cargado y cumplir con un factor de seguridad de cuatro. Los grilletes deberán seleccionarse para la máxima carga estática del punto de izaje más cargado y cumplir con un factor de seguridad de tres. La parte final del análisis de izaje considera la revisión de los niveles de esfuerzos en elementos estructurales, juntas tubulares y el diseño de los elementos de izaje, oreja o muñones. La revisión es realizada por medio de métodos de diseño tomados del manual AISC ASD para estructuras de acero. Las orejas y los muñones son diseñados a compresión, tensión, cortante, flexión, aplastamiento, ayudados de la norma API RP-2A-WSD en la sección 2.4.2 [RV.9] que se refiere a factores de seguridad y a la carga actuante en el plano y fuera de él.



se cuenta con la obra estructural, electromecánica y equipo conocido, además de contar con reportes de control de peso actualizado conforme al avance de la obra. Por lo anterior los valores de contingencias a considerar también son variables. En la fase de diseño es común utilizar factores del 10% para la estructura y 20% para tuberías y equipo, como se indica en la [RV.8].

Los cables de izaje deberán seleccionarse para la máxima carga estática del punto de izaje más cargado y cumplir con un factor de seguridad de cuatro. Los grilletes deberán seleccionarse para la máxima carga estática del punto de izaje más cargado y cumplir con un factor de seguridad de tres. La parte final del análisis de izaje considera la revisión de los niveles de esfuerzos en elementos estructurales, juntas tubulares y el diseño de los elementos de izaje, oreja o muñones. La revisión es realizada por medio de métodos de diseño tomados del manual AISC ASD para estructuras de acero. Las orejas y los muñones son diseñados a compresión, tensión, cortante, flexión, aplastamiento, ayudados de la norma API RP-2A-WSD en la sección 2.4.2 [RV.9] que se refiere a factores de seguridad y a la carga actuante en el plano y fuera de él.

## II. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA PLATAFORMA MALOOB-C DURANTE SU INSTALACIÓN

Aquí se presentan los análisis realizados para la plataforma de perforación MALOOB-C, para cada una de las etapas que se realizaron para la preparación del modelo tridimensional para después pasar a los análisis. Los modelos de análisis estructural, para las diferentes etapas de instalación, se presentan a partir del Anexo A2.

### II.1 CARGA A LA BARCAZA

#### Descripción del análisis

Una vez preparado el modelo de análisis para carga a la barcaza, es decir, que se han realizado las actividades descritas en el capítulo 2, incluyendo la determinación de la [secuencia](#) de carga a la barcaza (ver anexo A3), se procede con la ejecución de los análisis estructurales.

#### Localización del centro de gravedad

Se ejecuta un análisis tipo “seastate” este modulo involucra y agrupa las fuerzas de gravedad (cargas muertas) determinando el punto más importante de este análisis que es el centro de gravedad, este es vital ya que nos permite observar el comportamiento a lo largo de la maniobra como se explica en la secuencia de arrastre con el programa “SACS”, considerando la posición de la estructura sobre el muelle (posición “tal como se construyó”).

**Nota**

Es necesario mencionar que existen diferencias en los métodos de análisis para las todas las maniobras de instalación, eso hace que el peso en cada una de éstas cambie, provocando que el centro de gravedad de la estructura se modifique en su posición. A continuación se presentan las siguientes figuras mostrando el centro de gravedad y el origen del sistema en el análisis de la plataforma de perforación MALOOB-C.

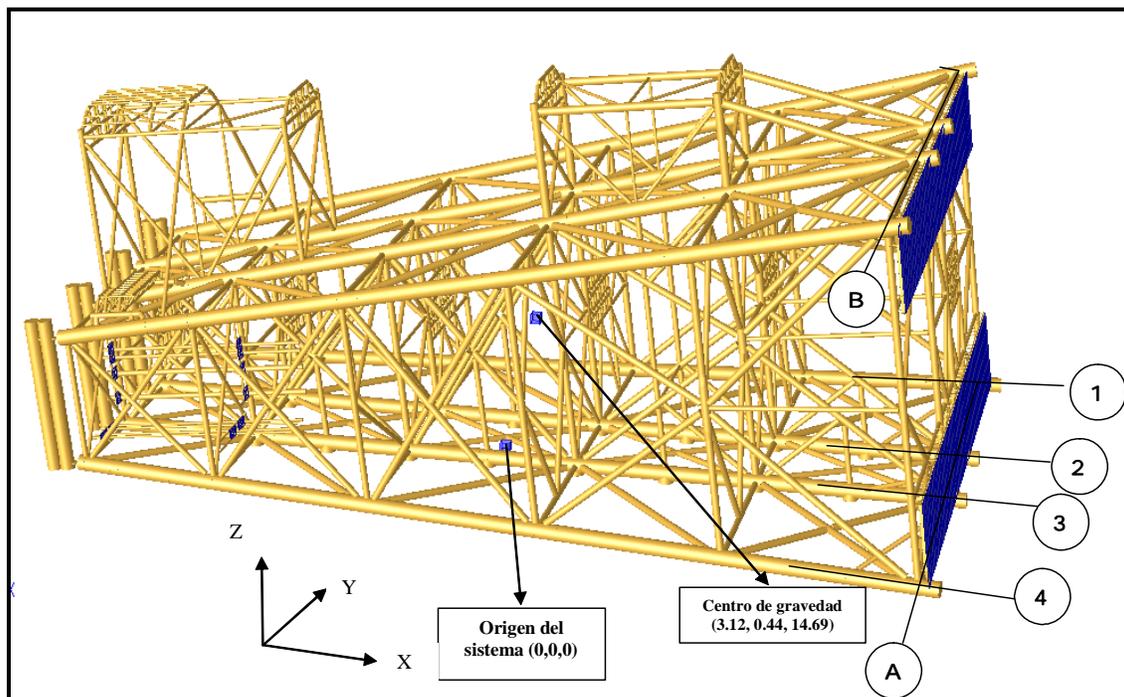


Fig. II.1.1 Centro de Gravedad, 3 dimensiones

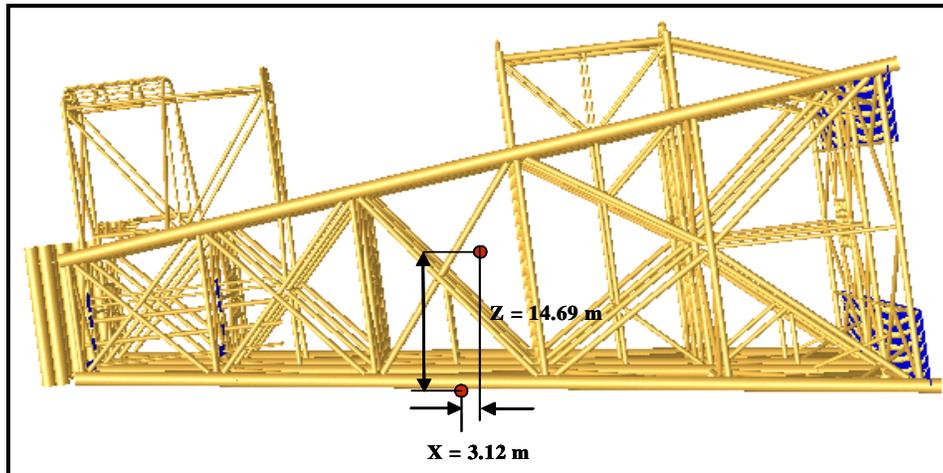


Fig. II.1.2 Centro de Gravedad, elevación

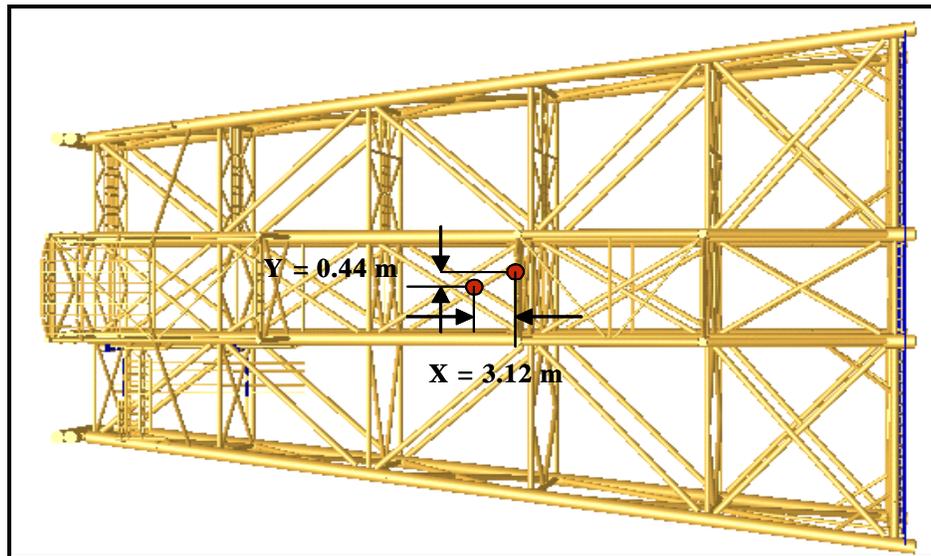


Fig. II.1.3 Centro de Gravedad, planta

Se ejecutan los análisis definidos en las diferentes etapas de la secuencia de carga, a través del módulo de análisis estáticos con elementos "GAP" para simular las condiciones reales de la plataforma es necesario utilizar este modulo, permitiendo que la estructura tenga los movimiento naturales de arrastre, es decir el modulo Gap tiene el poder de quitar la influencia de la tensión que produce la condición de apoyo normal y esta influencia es trasladada a los apoyos en compresión pero solo a los apoyos correspondientes a esos movimientos o por decirlo de otra maneras a los apoyos involucrados. Los análisis se aplican de manera iterativa hasta obtener el máximo desplazamiento relativo, entre dos puntos de la propia estructura para cada etapa de carga, hasta obtener la envolvente de desplazamientos permisibles de la maniobra, como se muestra en la tabla II.1.1.



Tabla II.1.1 Desplazamientos máximos permisibles

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PERMISIBLES (mm)																		
Etapa de Carga	Apoyos Elev. (-)8.500M		Apoyos Elev. (-)16.477M		Apoyos Elev. (-)25.500M		Apoyos Elev. (-)34.066M		Apoyos Elev. (-)43.500M		Apoyos Elev. (-)53.00M		Apoyos Elev. (-)62.500M		Apoyos Elev. (-)72.250M		Apoyos Elev. (-)82.00M	
	Nodos de los apoyos	A308	A208	A316	A216	A325	A225	A334	A234	A343	A243	A353	A253	A362	A262	A372	A272	A382
0	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
1A	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X
1B	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	+25	+25
1C	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	Δ	X	X	X	X	+19
1D	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	Δ	X	Δ	X	Δ	X	Δ	X	X	+19	X
2A	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	+25	+25
2B	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X	-25	-25
2C	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X	X	+19
2D	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X	+19	X
3A	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+25	+25
3B	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-25	-25
3C	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+19
3D	Δ	Δ	X	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+19	X
4A	X	X	X	X	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
4B	X	X	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ

Δ	Indica apoyo restringido
X	Indica apoyo libre
#	Indica desplazamiento inducido/ permitido

Donde los nodos de los apoyos hacen referencia al eje y al nivel en donde se encuentran, por ejemplo el nodo A308 significa que corresponde a los ejes A3 y la elevación 08 metros.

Los resultados de los análisis de carga, para cada etapa, se muestran en la sección III.1.

## II.2 TRANSPORTACIÓN

### Descripción del análisis

Una vez preparado el modelo de análisis para transportación, como se indica en la sección I.10 del capítulo I, definidas las solicitaciones y los parámetros de diseño que se muestran en el anexo A4, se procede con la ejecución de los análisis correspondientes.

Es conveniente realizar un análisis de cargas, a través del módulo “SEASTATE” del SACS, con la finalidad de conocer la localización del centro de gravedad de la estructura y de esta forma facilitar la revisión del comportamiento estructural del sistema, ver nota en el capítulo II.1.

### Localización del centro de gravedad (C.G.) de la subestructura y Centro de rotación (C.R.) del sistema

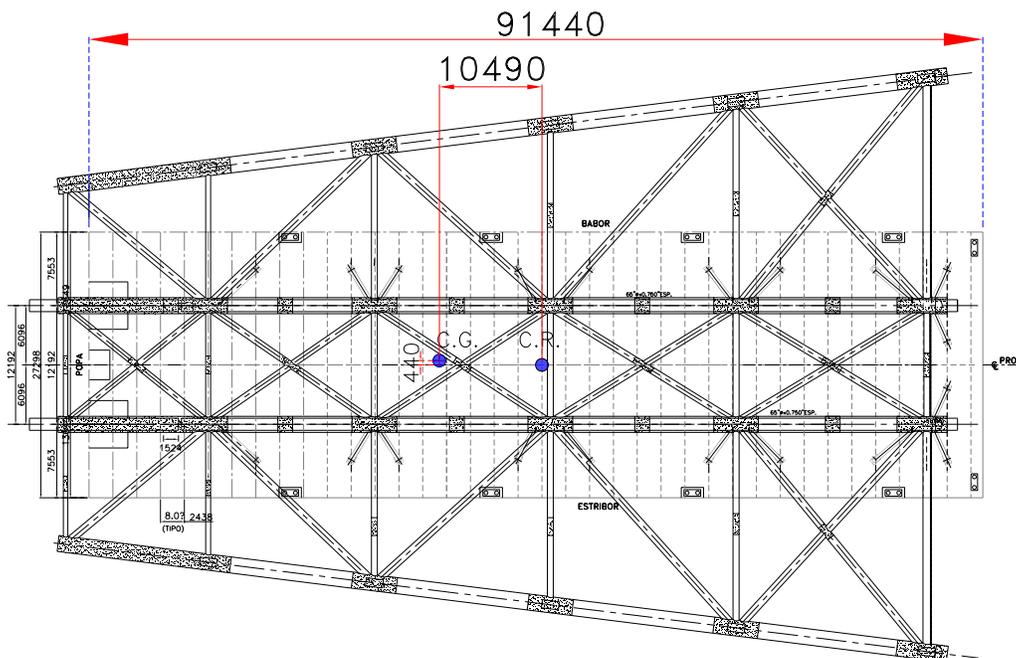


Fig. II.2.1 Ubicación en planta del centro de rotación y el centro de gravedad de la estructura en la barcaza de transportación

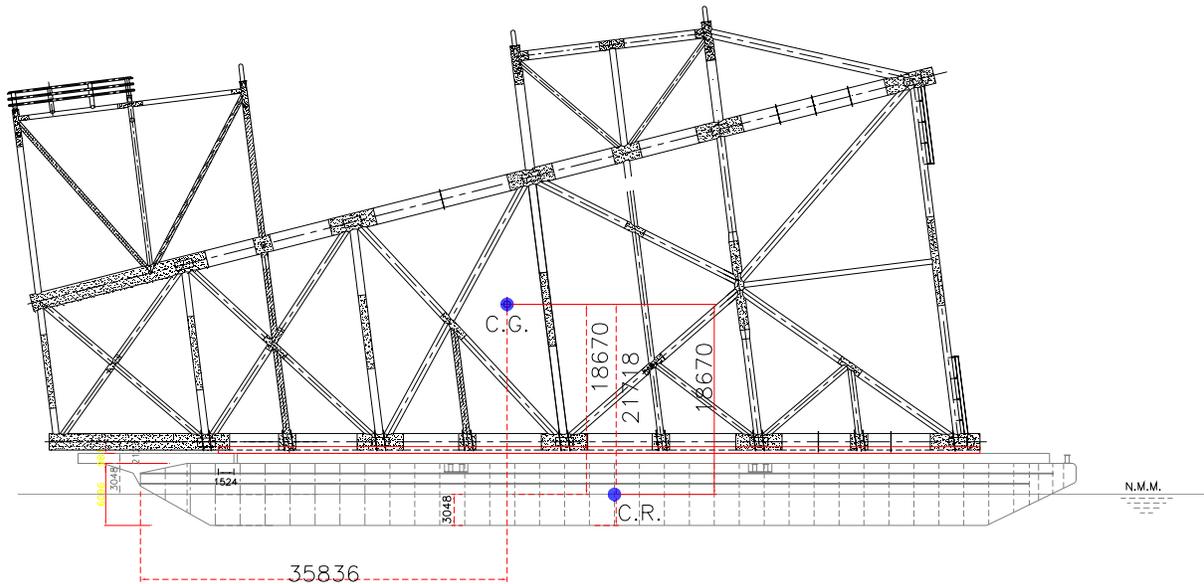


Fig. II.2.2 Ubicación en elevación del centro de rotación y el centro de gravedad de la estructura en la barcaza de transportación

De acuerdo a las figuras 5.2.1 y 5.2.2 se describen las siguientes dimensiones.

A partir del centro de gravedad de la estructura, en dirección longitudinal, la distancia es de 10.490 m.

A partir del centro de gravedad, en dirección transversal, la distancia es de 0.440 m.

A partir del centro de gravedad, en la dirección vertical, se tiene una distancia de -18.670 m.

Cuando se aceptan valores prescritos de movimientos recomendados en los Criterios Estándar de Diseño (ver anexo A1, sección datos ambientales para transportación), como es el caso del presente trabajo, se procede con la determinación de las fuerzas de inercia lineales y rotacionales producidas por las transportación de la estructura mediante el módulo "TOW" del programa SACS.

Una vez conocidas las fuerzas de inercia, para las diferentes direcciones de análisis, se combinan con las acciones por efecto de la gravedad y se realizan los análisis estructurales para cada dirección.

### II.3 LANZAMIENTO

#### Descripción del análisis

A continuación se presenta la descripción del análisis de lanzamiento mediante los siguientes pasos:

- Secuencia de lanzamiento (trayectoria)
- Localización del centro de gravedad
- Fuerzas de la trayectoria
- Revisión estructural



### Secuencia de lanzamiento

Se determina la trayectoria de lanzamiento de la subestructura, se inicia con la inclinación de la barcaza y el deslizamiento de la estructura en la barcaza, hasta que se encuentra en posición de flotación libre en el agua.

En la secuencia de lanzamiento se determinan:

- Tiempos en los cuales los elementos de apoyo de la subestructura (plantas de arriostamiento horizontal) pasan sobre el perno (pin) del balancín, como se muestra en el anexo B resultados y misceláneos. Para la secuencia de la trayectoria de lanzamiento, el programa SACS contiene una instrucción que consiste en la generación de información de la dinámica de lanzamiento, desde que la subestructura está en la barcaza hasta la flotación libre. Este registro se hace por incrementos de tiempos que transcurren en la trayectoria del lanzamiento. Para este caso se determinó que la información se registre segundo a segundo para las fases 1, 2, 3, 5 excepto para la fase 4 que fue cada 0.4 de segundo debido a que en la fase 4 se presenta las condiciones más críticas del movimiento de la estructura en la barcaza de lanzamiento (perno del balancín) y es necesario tener más información sobre este período o lapso de tiempo. Por otro lado, para toda la trayectoria de lanzamiento se determinó una duración de 120 segundos.
- El claro mínimo entre el lecho marino y el punto más cercano, de la subestructura al lecho marino.
- Reacciones máximas que se presentaran en el “perno” del balancín.

Se utilizó el módulo “LAUNCH” del programa SACS, el cual requirió los datos siguientes: Tirante del sitio de lanzamiento, características de la barcaza, posición inicial de la subestructura sobre la barcaza, dimensiones del balancín, coeficientes de fricción, tiempos de las fases de lanzamiento y la velocidad inicial de arrastre.

El módulo mencionado considera 5 fases de la secuencia de lanzamiento:

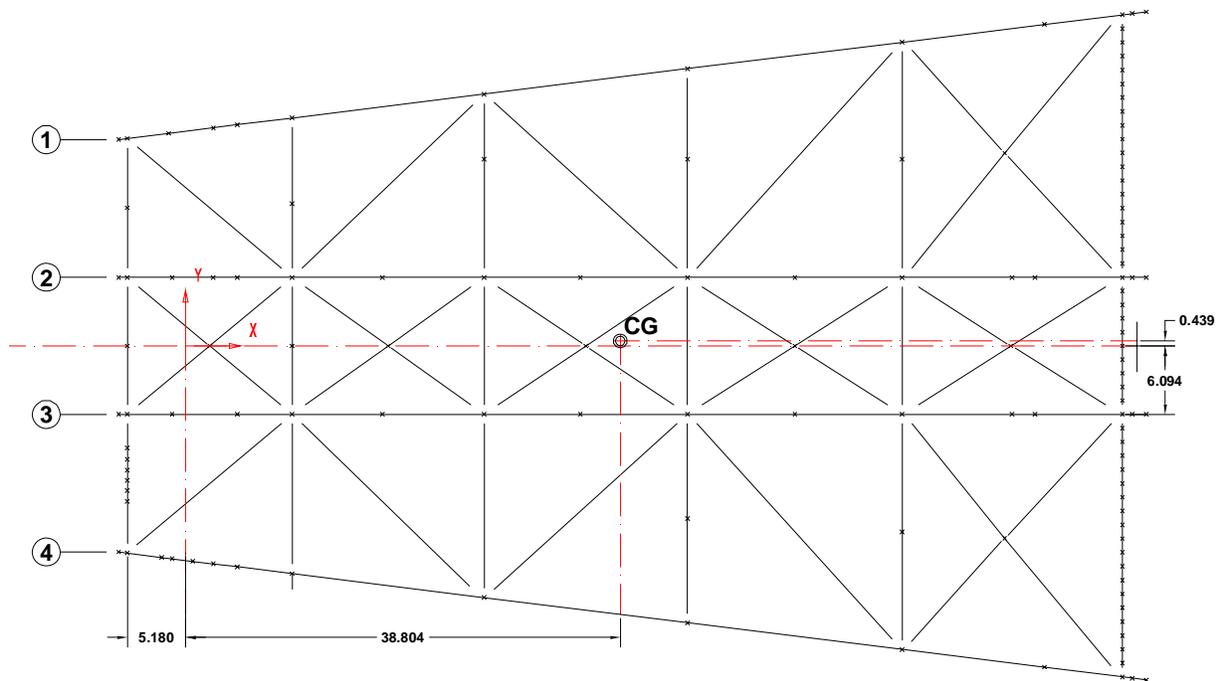
- Fase 1.- El deslizamiento de la estructura ocurre cuando la estructura es movida con la acción del sistema de deslizamiento (malacates), la velocidad de movimiento de la subestructura corresponde a la velocidad de movimiento del sistema de deslizamiento. En esta fase no hay giro del balancín.
- Fase 2.- El deslizamiento de la estructura ocurre debido a la acción de la gravedad. En esta etapa tampoco hay giro del balancín.
- Fase 3.- El deslizamiento ocurre cuando la estructura es movida debido a la acción del sistema de deslizamiento y da inicio el giro del balancín.
- Fase 4.- El deslizamiento ocurre cuando la estructura es movida debido a la acción de la gravedad y del giro del balancín.

Fase 5.- Cuando la estructura se desliza completamente en el agua y ha dejado de tener contacto con la barcaza.

La secuencia del análisis de la trayectoria se presenta en el anexo A5 de este documento, también es importante tener la ubicación del centro de gravedad ya que este es un parámetro que determina los movimientos de la estructura con respecto a la barcaza.

### Localización del centro de gravedad

En las Figuras III.3.1 y III.3.2, se indica la ubicación del centro de gravedad en planta y elevación, así como el origen de coordenadas del modelo estructural de la subestructura. Ver nota en I.1



CG = CENTRO DE GRAVEDAD  
DIMENSIONES EN M

Fig. II.3.1 Centro de gravedad en planta para la maniobra de lanzamiento

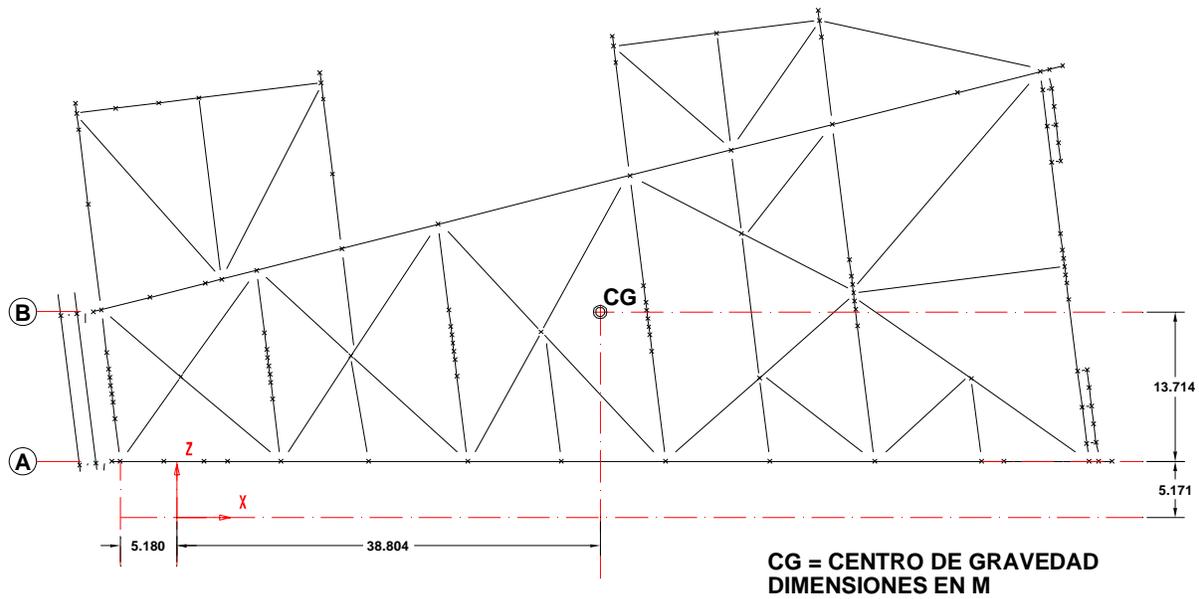


Fig. II.3.2 Centro de gravedad en elevación para la maniobra de lanzamiento

### Fuerzas generadas durante la trayectoria

En esta etapa del análisis se determinan las fuerzas generadas por la fricción, fuerzas inerciales y de flotación, para cada uno de los momentos determinados en la secuencia de lanzamiento. Se utiliza el módulo "POST-LAUNCH" del programa SACS, con los datos siguientes: tirante del sitio de lanzamiento, características de la barcaza, posición inicial de la subestructura sobre la barcaza, dimensiones del balancín, coeficiente de fricción, tiempos de las fases de lanzamiento, la velocidad inicial de arrastre y tiempos en los cuales los arriostramientos pasan por el perno del balancín para la determinación de cargas.

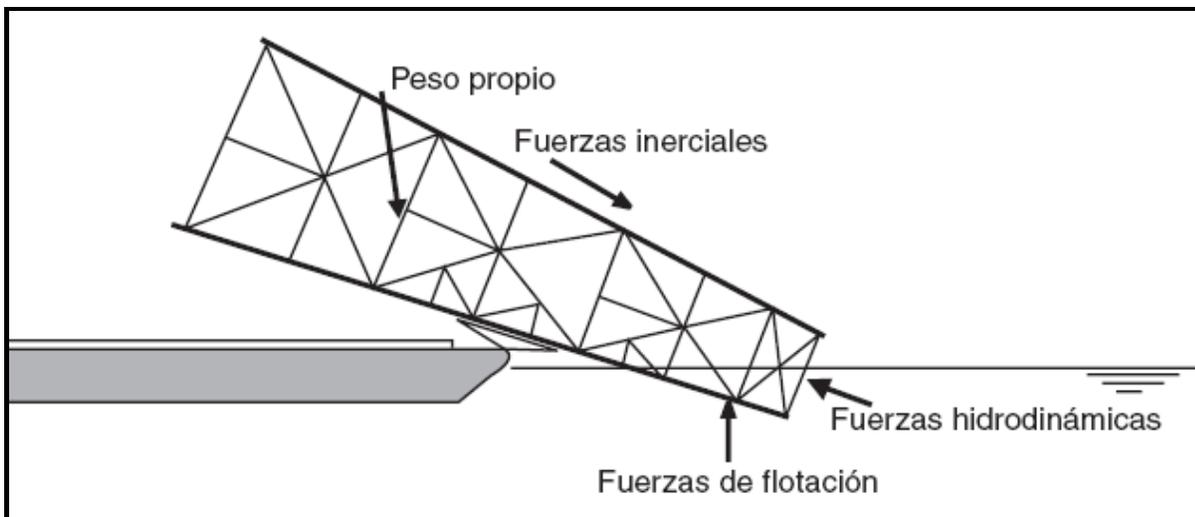


Fig. II.3.3 Solicitaciones de la maniobra de lanzamiento



## Análisis estructural

Para cada instante en donde las partes rígidas de la estructura pasan sobre el balancín, se realiza un análisis estructural estático, mediante el cual se determinan los esfuerzos en elementos y juntas tubulares, de esta manera se garantiza que cumplen con los esfuerzos permisibles.

Se realizaron análisis de lanzamiento con dos barcasas diferentes; los resultados numéricos se muestran en la sección 6 capítulo de lanzamiento.

### II.4 POSICIONAMIENTO VERTICAL

#### Secuencia de Posicionamiento Vertical

A partir de la posición natural de flotación libre, se inicia el posicionamiento vertical de la subestructura, se colocan las eslingas de posicionamiento vertical en el gancho del barco grúa y se aplica tensión mínima, y se continúa el movimiento ascendente del gancho hasta obtener la posición vertical de la estructura.

A continuación se da la descripción de la secuencia de posicionamiento vertical para la subestructura de la plataforma Maloob-C.

Tabla. II.4.1 Descripción de pasos a seguir en el análisis de lanzamiento “Fases de lanzamiento”

Fase	Descripción
1	A partir de la posición natural de flotación libre se inicia el posicionamiento vertical de la subestructura (ver figura en el anexo A6).
2	Se abren las válvulas del sistema de inundación de las piernas de los ejes A2 y A3. Se sube el gancho desde una elevación 0.00 m hasta una elevación de 65.0 m (ver figuras en el anexo A6)).
3	Se acodera, es decir tomar como apoyo la embarcación para llevar la estructura a sitio, el movimiento será que la subestructura se asegure al barco instalador y se traslada al sitio de instalación (tirante de 82.00 m)
4	Se inundan las piernas A1, A4, B1, B2, B3, B4, se baja el gancho hasta que la parte inferior de la subestructura alcanza el fondo marino (Ver figura en el anexo A6)).

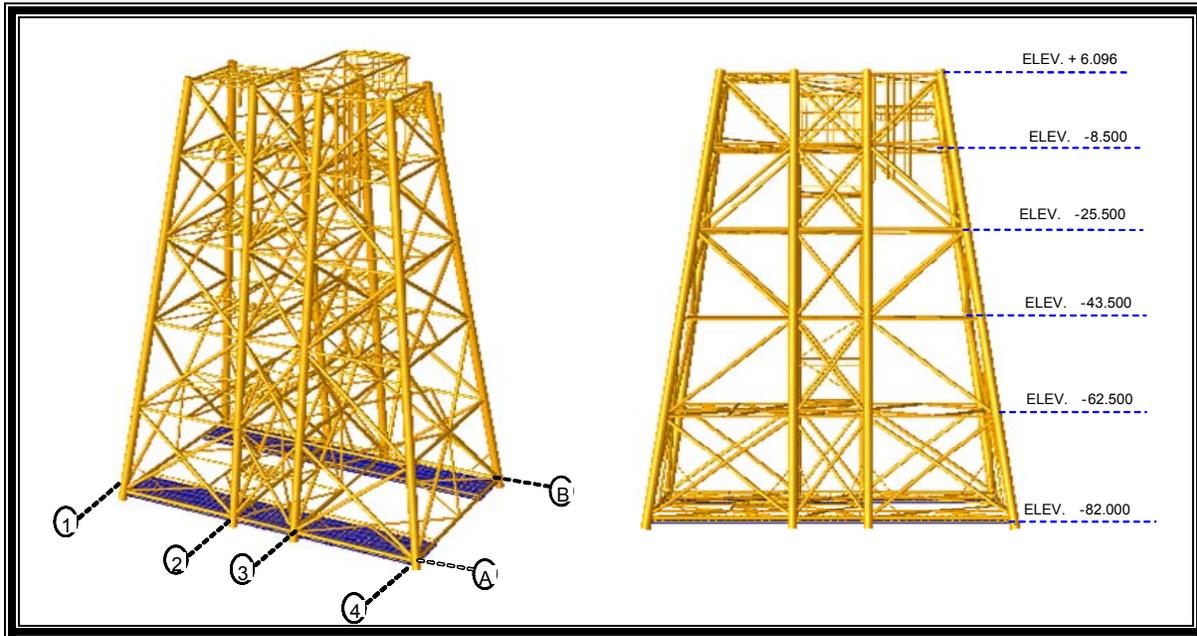


Fig. II.4.1 Localización de ejes y elevaciones de la subestructura para la plataforma de perforación MALOOB-C

Para medir la estabilidad de la estructura se consideran condiciones de sensibilidad, mediante el corrimiento del centro de gravedad en las direcciones +X, -X, +Y, -Y, +Z, -Z; así como mediante la simulación de daño en la pierna A1, B1, y un tanque de flotación. A continuación se presenta el desplazamiento del centro de gravedad que permite soportar los esfuerzos en la estructura en este análisis.

No.	CONDICIÓN DE ANÁLISIS	CORRIMIENTO DEL CENTRO DE GRAVEDAD [M]
1	Intacta	0.00
2	Corrimiento del cg +x (1 m)	1.00
3	Corrimiento del cg -x (1 m)	-1.00
4	Corrimiento del cg +y (1 m)	0.35
5	Corrimiento del cg -y (1 m)	-0.55
6	Corrimiento del cg +z (1 m)	1.00
7	Corrimiento del cg -z (1 m)	-1.00
8	Daño pierna a1	0.00
9	Daño pierna b1	0.00
10	Daño tanque de flotación eje 1	0.00



### **Análisis estructural**

Se realiza un análisis estático lineal para determinar el nivel de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos de elementos estructurales y juntas tubulares. Para la revisión estructural se empleó el programa de computadora SACS versión 5.2. Los resultados numéricos se muestran en la sección 6.

### **Colapso Hidrostático**

Se realiza un análisis de colapso hidrostático de todos los elementos estructurales tubulares, considerando las diferentes fases de instalación de la subestructura: lanzamiento, flotación libre y posicionamiento vertical para conocer la que resulte más crítica para los elementos expuestos. Se sacan las cargas de las fases y con el módulo Linear Static Analysis del SACS se corre las condiciones de carga incluyendo las tarjetas para el análisis de colapso hidrostático (esta tarjetas determinan el tirante, la densidad del agua y se especifica el tipo de anillo de refuerzo que se va a colocar de acuerdo a las cargas impuestas), de acuerdo a lo indicado en la sección 3.3.3 y 3.3.4 del API-RP-2A. [R V.5]

Los resultados numéricos se muestran en la sección 6.

## **II.5 IZAJE DE LA SUPERESTRUCTURA.**

### **Descripción del análisis**

Una vez modificado el modelo de análisis para las condiciones de izaje, como se indica en la sección I.10 y anexo A10, se ejecutan los análisis de izaje. La maniobra se basará en el movimiento de la estructura desde la barcaza de transportación, se levantará por medio de grúas mediante un sistema de izaje instalado y terminará con la unión de la subestructura con la superestructura en el punto de trabajo (unión). El centro de gravedad es importante conocerlo por condición de estabilidad durante el izaje. Para tener un comportamiento satisfactorio de la maniobra de izaje, es ideal pensar en que el centro de gravedad en el plano (x,y) debe coincidir con el gancho de izaje en ese mismo plano(x,y), sin embargo en mayor número esto no se cumple. Una solución importante es emplear contrapesos para tener un mejor desempeño de la maniobra. Es importante mencionar que entre más alejado esté el centro de gravedad del gancho de izaje, más se generarán problemas estructurales en la superestructura.

Otro concepto importante de la maniobra es el giro de los puntos de izaje, es decir se cuidan y se limitan los desplazamientos en giros del sistema de izaje. A continuación se presenta el centro de gravedad de la superestructura, esta es una planta localizada en la superestructura en la elevación 19.100 m

### Localización del centro de gravedad

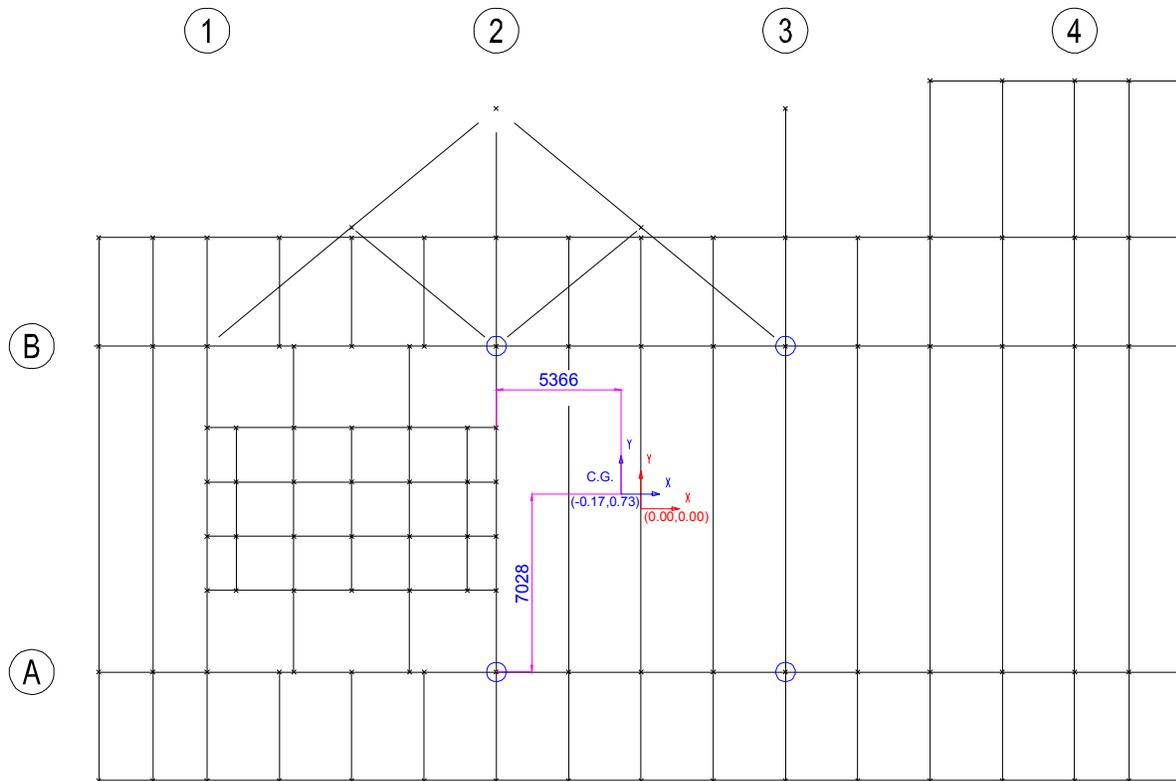


Figura II.5.1 Localización del centro de gravedad

### Análisis estructural

La estructura es modelada en tres dimensiones (ver anexo A10), con base en los dibujos estructurales actualizados durante la construcción de la superestructura.

La revisión estructural consiste en el desarrollo de un análisis estático lineal, a nivel de esfuerzos y deformaciones en miembros y juntas de la estructura.

Se analiza la estructura en tres combinaciones de carga, en la primera de ellas se toma en cuenta la condición estática la cual no incluye ningún factor de seguridad (condición estática), en la segunda se aplica un factor de seguridad de 1.35 para revisión de elementos secundarios y en la tercera combinación se aplica un factor de seguridad de 2.0 para los elementos que conectan directamente a las orejas de Izaje.

La revisión de las orejas, cables y ganchos se hizo con los factores de seguridad y las condiciones de carga descritas en el anexo A10.

Para este análisis se consideró que la condición más crítica durante la maniobra de izaje, sería desplazando el centro de gravedad hasta la excentricidad permisible por la norma, en el cuadrante donde se localizó el centro de gravedad real (ver figura II.5.3).

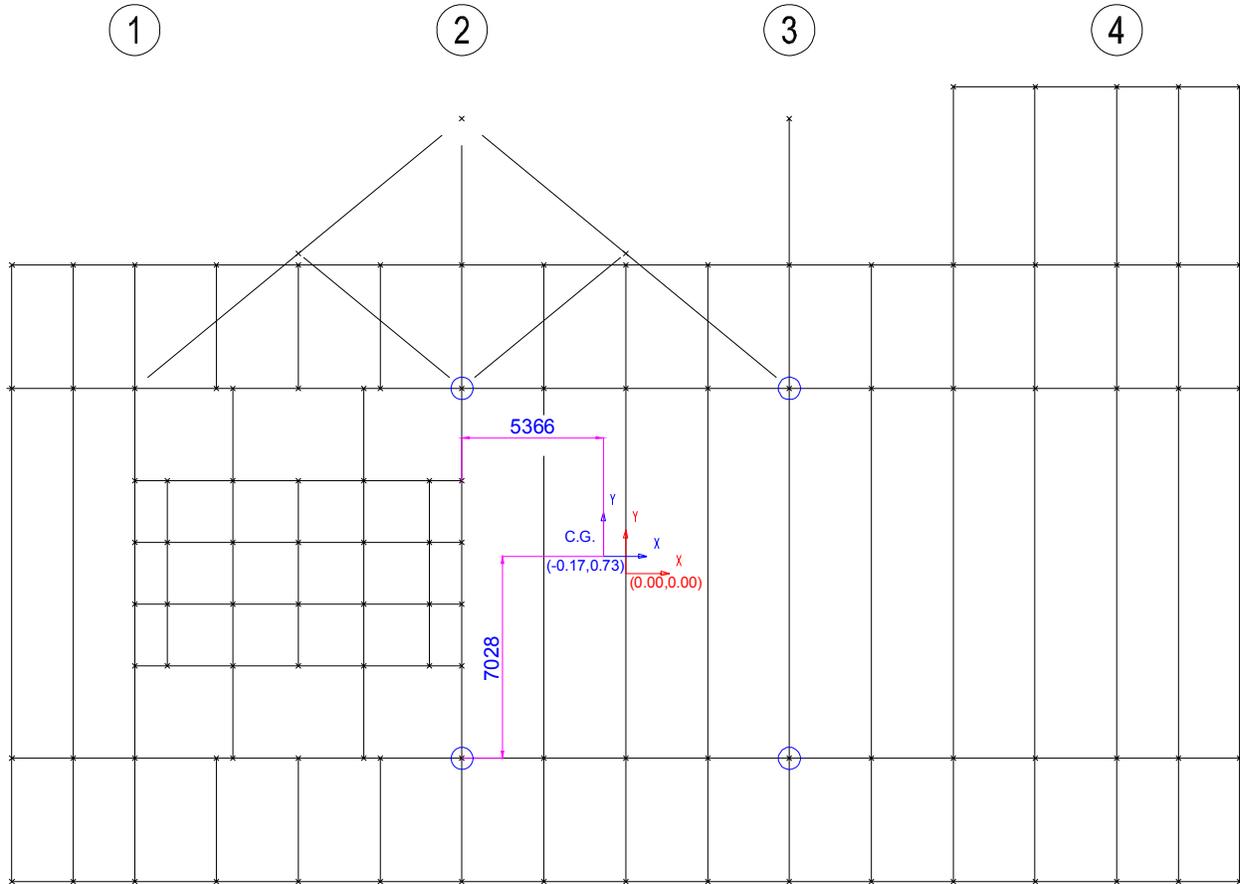


Figura II.5.2 Localización del centro de gravedad

Para lograr desplazar el centro de gravedad al punto de la excentricidad permisible, se colocaron cargas puntuales en las columnas, que formaban un par, de esta manera hacen desplazar el centro de gravedad y al mismo tiempo no generan peso adicional, ya que la sumatoria es cero.

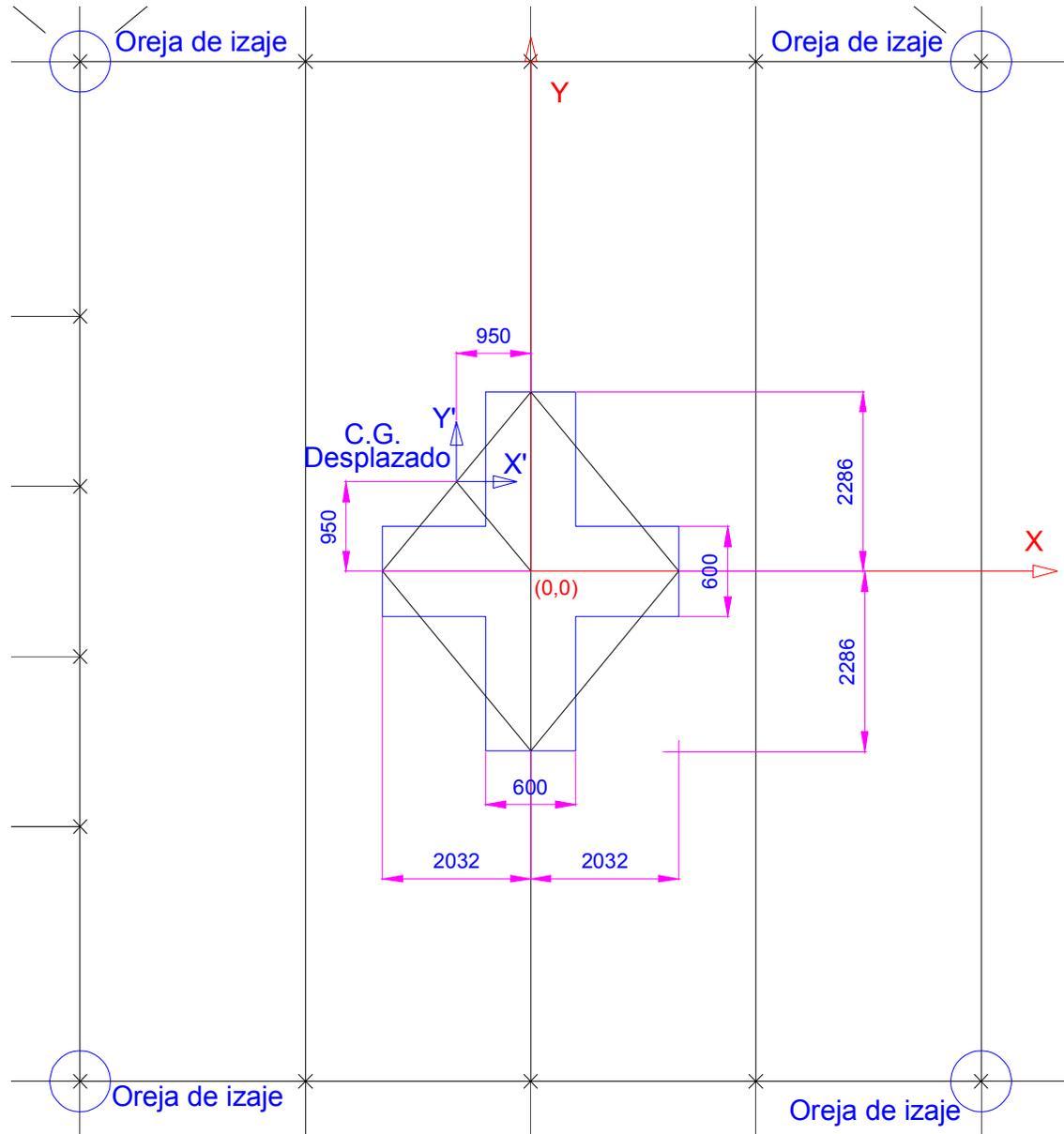


Figura II.5.3 Localización del centro de gravedad desplazado.

Se observa en la Figura II.5.3, la posición del centro de gravedad desplazado con respecto al punto de izaje (coordenada 0,0) y las excentricidades máximas permitidas por la norma NRF-041-PEMEX-2002.

#### Revisión de eslingas y orejas de izaje.

A continuación, en a Figura II.5.4, se presentan las tensiones calculadas durante el izaje de la superestructura en toneladas, así como los nodos y los ejes en el sistema de izaje.

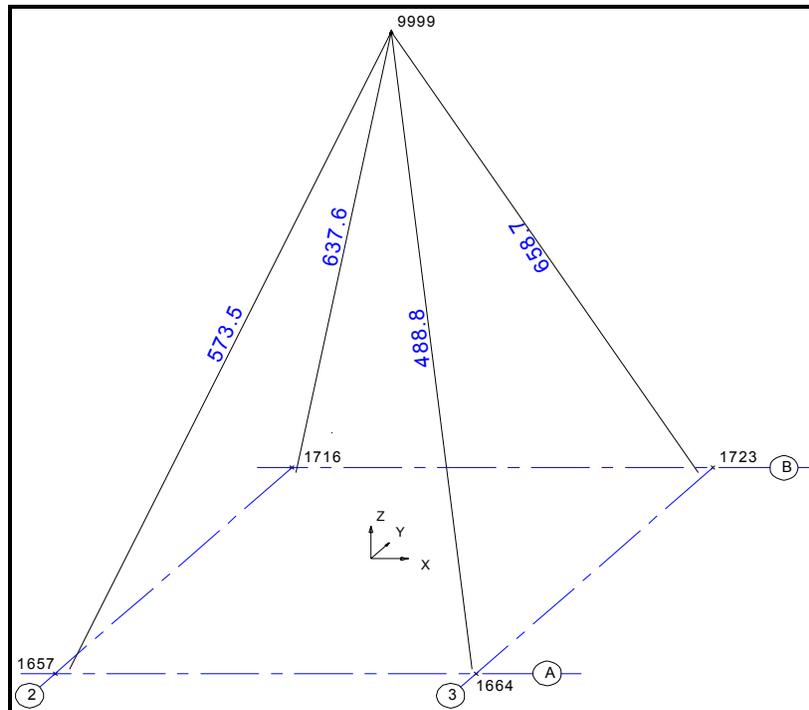


Figura II.5.4 Tensiones en las eslingas (toneladas)

De acuerdo a la norma NRF-041-PEMEX-2002, “Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera” se recomienda realizar una revisión del centro de gravedad, desplazado una cierta excentricidad con respecto al punto de izaje.

**Peso y distribución de peso.**

En izaje costa afuera, la colocación de cualquier estructura ya sea superestructura, subestructura, accesorios, etc. se debe considerar el mayor peso estimado de la carga. Después de pesar la estructura y antes de la carga puede hacerse la distribución final de los elementos de soporte de la estructura para realizar la maniobra.

Para este análisis se consideró que la condición más crítica durante la maniobra de izaje, sería desplazando el centro de gravedad hasta la excentricidad permisible por la norma, en el cuadrante donde se localizó el centro de gravedad real.

También se presenta el giro de la estructura resultante en el anexo A10 de acuerdo a la [RV.6].



### III. INTERPETRACIÓN DE RESULTADOS

#### III.1 CARGA A LA BARCAZA

Se han realizado dos análisis de carga a la barcaza en la que se muestran los resultados de dos métodos distintos y los resultados muestran un comportamiento aceptable; hay elementos que se reforzaron debido a que sus límites de resistencia fueron rebasados, el resultado es el incremento en sus dimensiones para un mejor comportamiento estructural.

Vale la pena mencionar que los diseños se realizaron con el método de esfuerzos de trabajo en donde sus principios fundamentales es que la estructura se comporte de una manera elástica lineal, para garantizar que la estructura se comporte de esta manera se utiliza una relación de interacción llamada por el programa SACS Unity Check (UC) que consiste saber si las cargas rebasan la resistencia nominal de los elementos. Esta relación se describe como el cociente entre el esfuerzo actuante y el esfuerzo permisible.

#### Comparativa de Métodos

Existen dos formas de realizar el análisis de carga a la barcaza:

- **Módulo GAP**
- **Paso a paso**

El Módulo GAP permite realizar el análisis de carga a la barcaza de una manera muy rápida, la secuencia en su totalidad se analiza en un solo paso, sin embargo existen diferencias con respecto al método Paso a Paso que vale la pena mencionar.

A continuación se presentan las diferencias entre los métodos:

**Modelo.-Cambios en los apoyos de la estructura,** La diferencia radica en los apoyos de la estructura, el método paso a paso permite variar sus apoyos de acuerdo a la secuencia de análisis; en el módulo GAP siempre permanecen constantes, eso hace que este método sea mucho más práctico.

**Tiempo de análisis.** El módulo GAP facilita la secuencia por que solo se trabaja con un solo modelo de análisis es mucho más práctico, con el método paso a paso es mucho más tardado porque utiliza modelos como pasos de análisis en la secuencia de carga.

**Interpretación de resultados.** Son los mismos, a excepción de la configuración deformada; es decir, para el método paso a paso los resultados son más fáciles de observar y analizar, mientras que para el módulo GAP los desplazamientos no se distinguen, ya que los apoyos no permiten a la estructura deformarse libremente.

A continuación se presentan las graficas de resultados mostrando las diferencias entre los métodos descritos para carga a la barcaza.

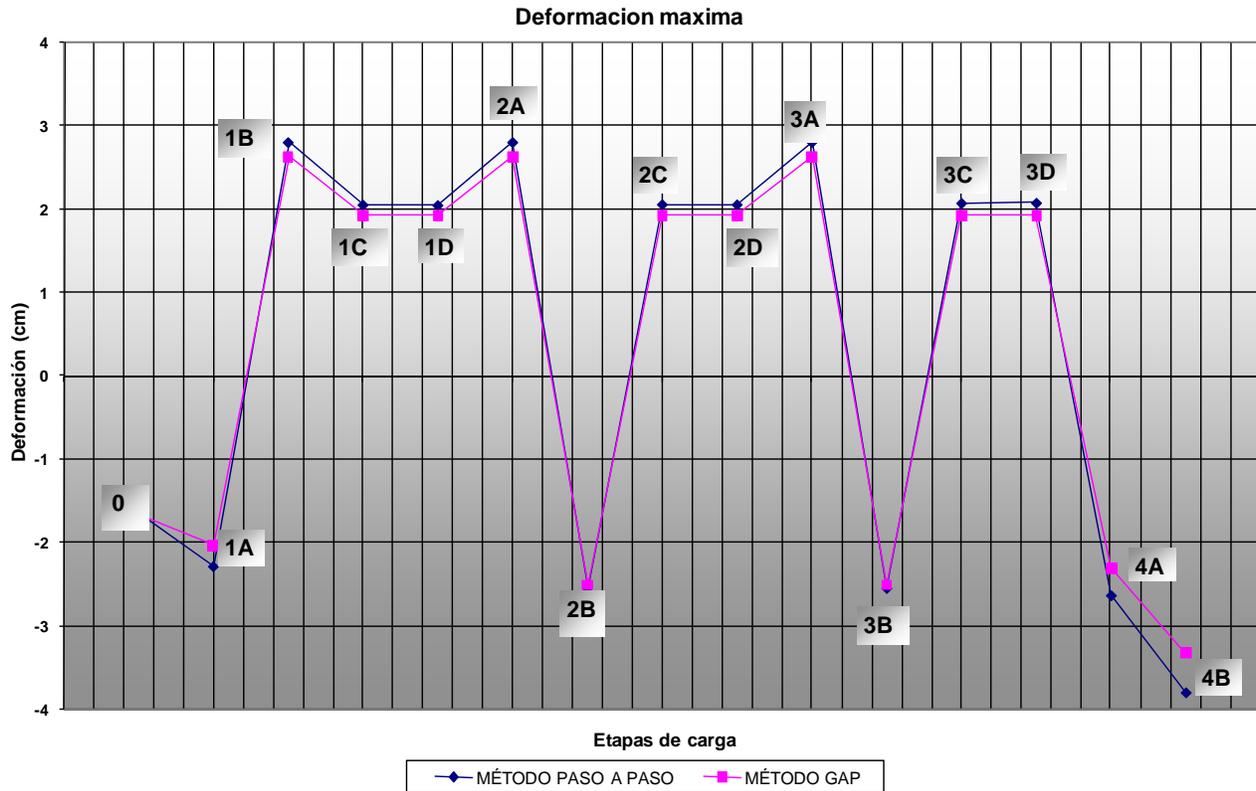


Figura III.1.1 Deformación máxima de la subestructura de acuerdo a la secuencia de carga, comparando los métodos GAP y paso a paso

De acuerdo a cada etapa de carga mostrada en la secuencia de carga (ver Anexo A13 Tabla. A13.2), se observan las diferencias de deformación en todos los casos de carga.

Los resultados mostrados en la Figura III.1.1 nos muestran variación en las deformaciones, sin embargo ésta no es muy grande para considerar que los métodos de análisis son muy discordantes. Esta información es recopilada y puesta en el anexo A13 con formato de tabla, sobre la que se ven a las juntas y elementos graficados en varios parámetros, tanto de esfuerzos y deformaciones en cada una de las etapas.

Una de las razones por las que los parámetros no son iguales es debido a los elementos GAP explicados en el capítulo anterior en la sección de carga a la barcaza, implementados, ya que estos detienen la tensión total en los elementos.

Debido al arreglo de apoyos de la estructura, las reacciones en algunos casos son muy variables y sus diferencias son considerables. Puesto que el método paso a paso y método GAP son diferentes en arreglos de apoyos, esa es la razón de la diferencia en las reacciones, además que las etapas no coinciden; esto se muestra en (Anexo A13 Tabla. A13.2).

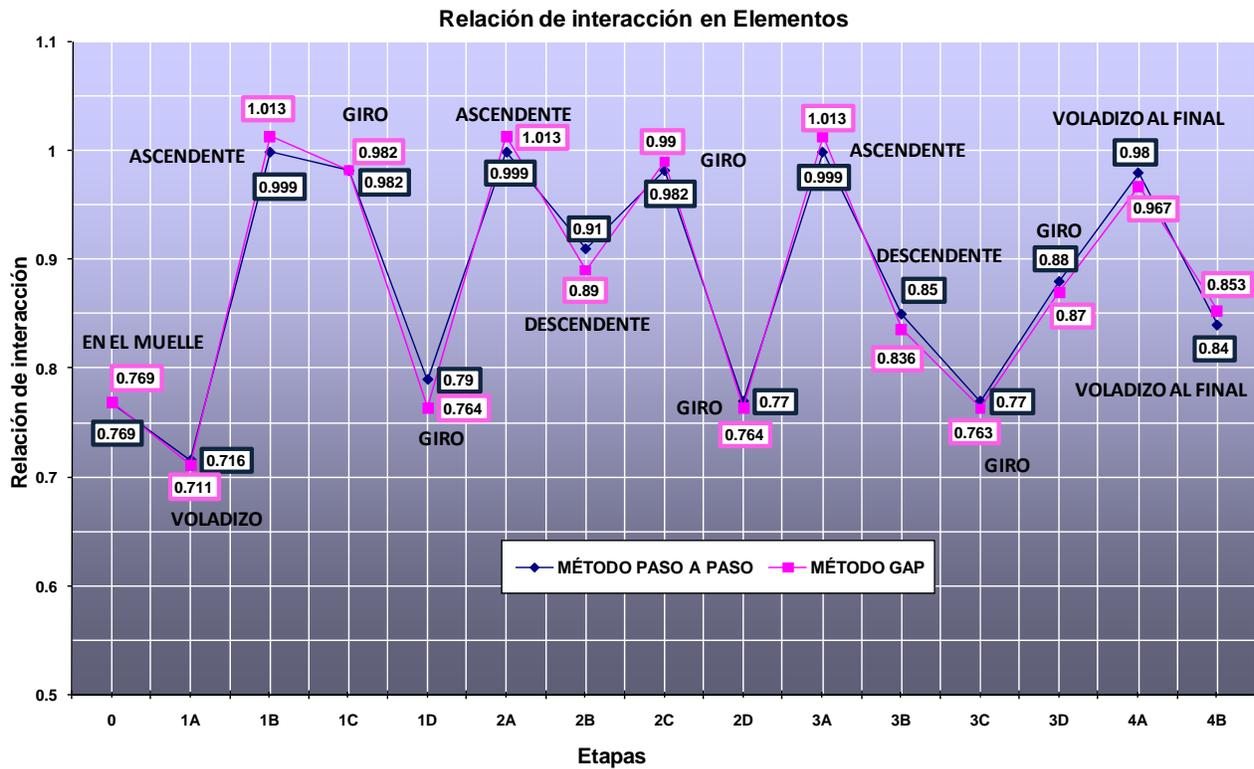


Figura III.1.2 Reacciones máximas en los apoyos para la secuencia de carga comparando los métodos GAP y paso a paso

La relación de interacción de esfuerzos en elementos se muestra en el grafico anterior en todas sus etapas. Se observa una diferencia entre los métodos, aunque la diferencia permite ver un comportamiento similar en los dos métodos.

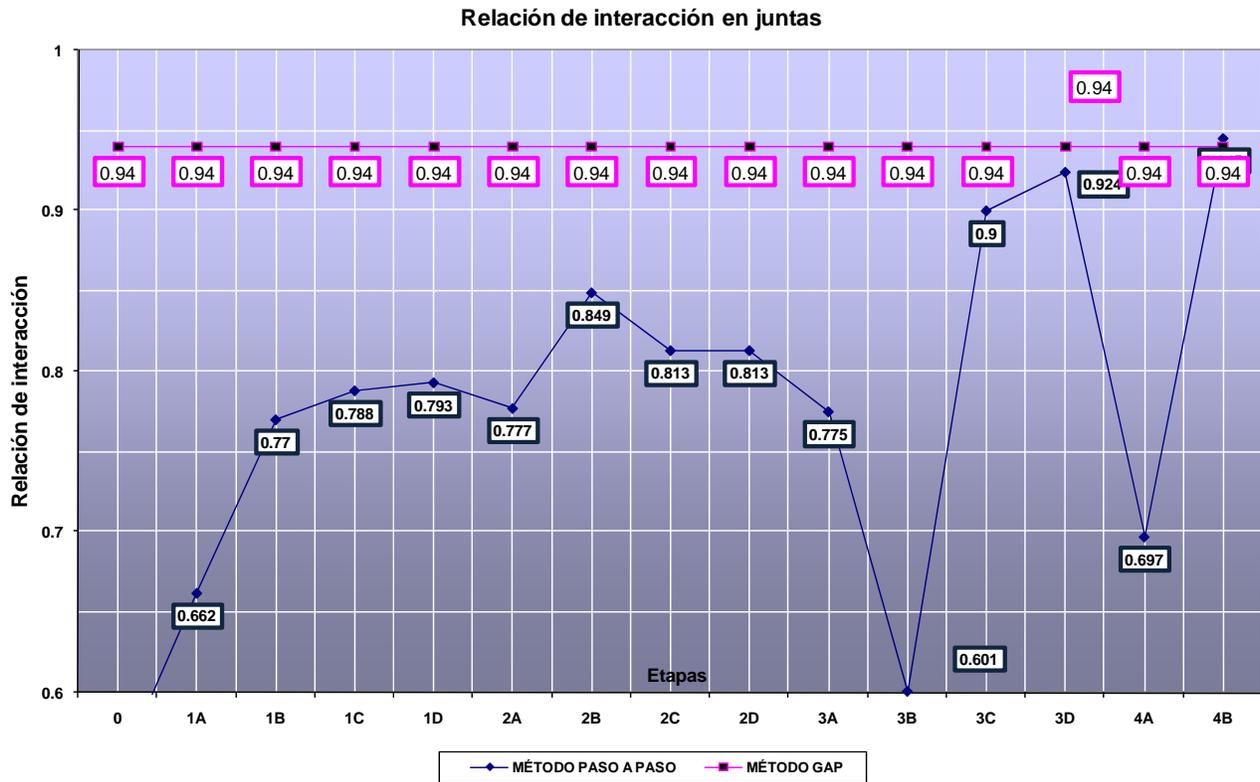


Figura III.1.3 Resultado de la relación de interacción en juntas

Para la relación de interacción de juntas los valores mostrados permiten ver resultados etapa por etapa. Para el análisis GAP es un solo valor debido a que el programa manda la relación de interacción máxima para cada análisis; para el método pasa a paso existen tantos modelos como etapas de análisis, por lo que es difícil la comparación, pero se observa que estos valores nos permiten ver que existe un valor similar máximo para los dos métodos, y que este valor no sobrepasa el esfuerzo permisible para los dos métodos.

### III.2 TRANSPORTACIÓN

Debido a que en un inicio la estructura es diseñada para su posición vertical definitiva, resulta necesario, en la mayoría de los casos, el reforzamiento de elementos y juntas que garanticen su integridad mientras se encuentre en posición horizontal, siendo el objetivo determinar las fuerzas de inercia que se desarrollan sobre la estructura y que provocan esfuerzos importantes en algunos de los puntos de la misma. Se han realizado dos análisis de transportación, haciendo una comparativa entre dos barcazas (barcaza de 300 ft vs barcaza de 400 ft) diferentes. Los resultados de esta comparativa se exponen en la gráfica de resultados III.2.1

Para tener un punto de comparación, la estructura conserva su posición original y se conserva el mismo arreglo de seguros marinos.

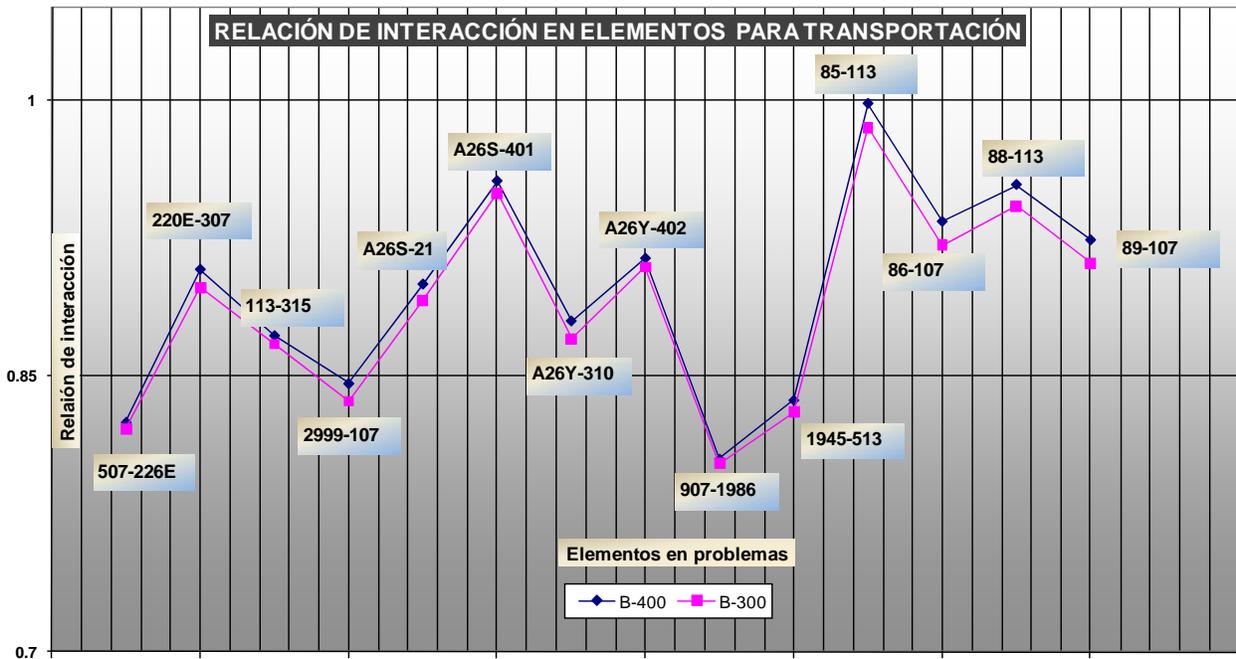


Figura III.2.1 Relación de interacción entre el esfuerzo actuante y el permisible para los elementos mostrados, comparando las barcasas de 300 ft y 400 ft

Como se vio en la sección II.2 de este documento el movimiento natural de la embarcación se describe como la combinación de los desplazamientos y las rotaciones en las tres direcciones del espacio, estos movimientos son descritos en el anexo A4 Fig. A4.2 así como los criterios y consideraciones de diseño para la realización de este análisis. Los resultados mostrados en la Fig. III.2.1 indica un incremento en la relación de interacción de los elementos entre análisis siendo el análisis con barcaza de 400 ft el más afectado. Vale la pena mencionar que estos elementos se presentaron con la interacción de movimientos en la condición más desfavorable que es la combinación de Roll y Heave, que quiere decir que el movimiento más desfavorable consiste en el desplazamiento vertical en combinación con la rotación en la cara transversal del lado más corto de la embarcación, además es necesario decir que los elementos mostrados aquí son los que forman parte del arreglo de sujeción de la estructura y los elementos estructurales de la subestructura de la plataforma de perforación Maloob-C.

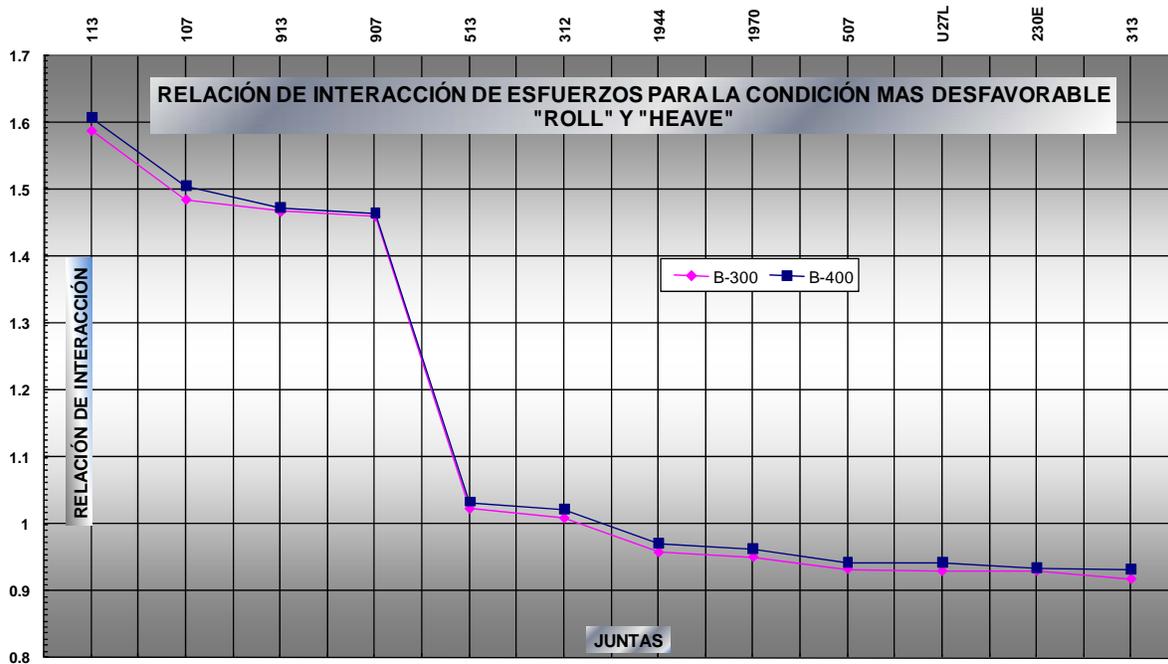


Figura III.2.2 Relación de interacción entre el esfuerzo actuante y el permisible para las juntas mostradas, barcazas de 300 ft y 400 ft

En cuanto a juntas, en la Figura III.2.2 se presenta un incremento en la relación de esfuerzos de la barcaza de 300 ft a la barcaza de 400 ft. Vale la pena mencionar que estas juntas son las que presentaron las máximas relaciones de interacción de las condiciones más desfavorables de carga presentadas en el análisis.

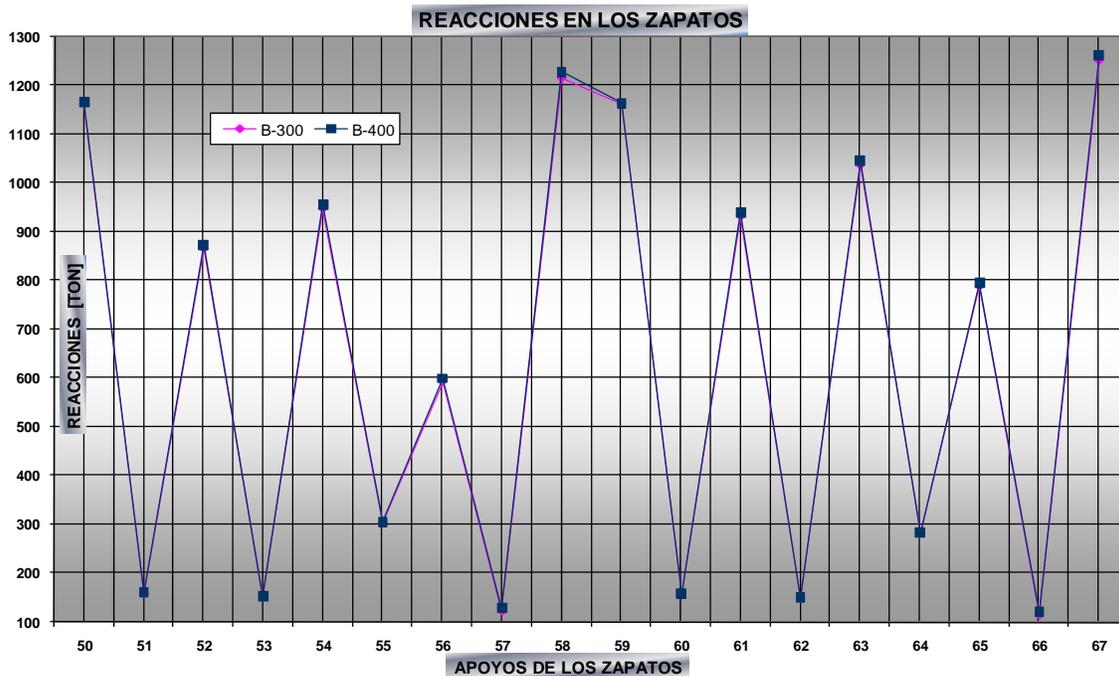
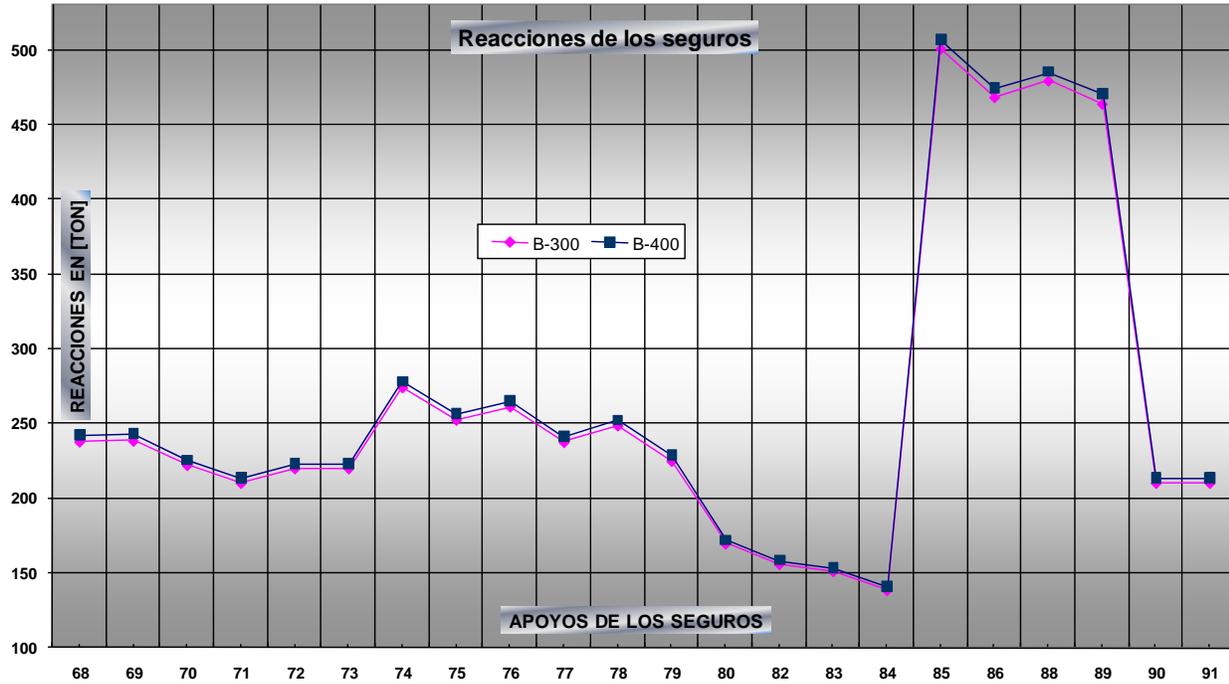


Figura III.2.3 Reacciones en los Zapatos de apoyo para la plataforma de perforación Maloob-C, barcazas de 300 ft y 400 ft

En esta **Figura III.2.3** se aprecia que la barcaza con mayores dimensiones incrementa las reacciones en los apoyos debido a la distancia entre el centro de gravedad de la estructura y el centro de rotación de la barcaza; estas diferencias pueden ser mas grandes a medida que esta distancia sea mayor.



**Figura III.2.3** Reacciones en los seguros en la barcaza para la plataforma de perforación Maloob-C, haciendo la comparación de barcazas de 300 ft y 400 ft

Los resultados en cuanto a reacciones en los seguros, mostrados en la **Figura III.2.3**, en los dos análisis casi no presentan cambios sustanciales; en cuanto a apoyos (zapatos o viga de deslizamiento) las reacciones se presentaron positivas, es decir no hay tensiones. En seguros se tomó en valor máximo absoluto.



### III.3 LANZAMIENTO

Se presentarán los resultados que muestran los tiempos de las fases de la trayectoria de lanzamiento obtenidos para las dos barcazas, comparando y analizando las causas y efectos provocados por las dimensiones de las dos barcazas, que reflejan las diferencias de los resultados.

A continuación se presentan los resultados de los tiempos de la trayectoria en los apoyos que pasan por el perno del balancín para las dos barcazas.

**Tiempos en los cuales los elementos de apoyo de la subestructura pasan sobre el perno (pin) del balancín**

Posición	Nivel en que los apoyos están ubicados [M]	B-300 T[s]	FASE DE TRAYECTORIA B-300	B-400 T [s]	FASE DE TRAYECTORIA B- 400
P1	-8.50	26.08	2	45.51	2
P2	-16.45	29.99	2	61.14	2
P3	-25.50	32.74	2	70.23	2
P4	-34.15	34.78	2	79.55	2
P5	-43.50	36.74	2	80.74	2
P6	-53.00	38.53	2	85.19	4
P7	-62.50	40.25	4	88.33	4
P8	-72.33	42.00	4	90.85	4
P9	-82.00	43.40	4	93.47	4

En la tabla se observa un desfase de tiempo de una barcaza a otra. El cambio en las características dimensionales de las barcazas es el causante de estas diferencias, físicamente para barcazas de mayores dimensiones se requiere de más inercia para que exista movimiento de la estructura en la barcaza.

En las fases de trayectoria se observa que la Barcaza de 400 ft tiene más tiempo en la fase 4 que en la 2; esto quiere decir que el perno del balancín está girando y soportando mucho más tiempo a la estructura.

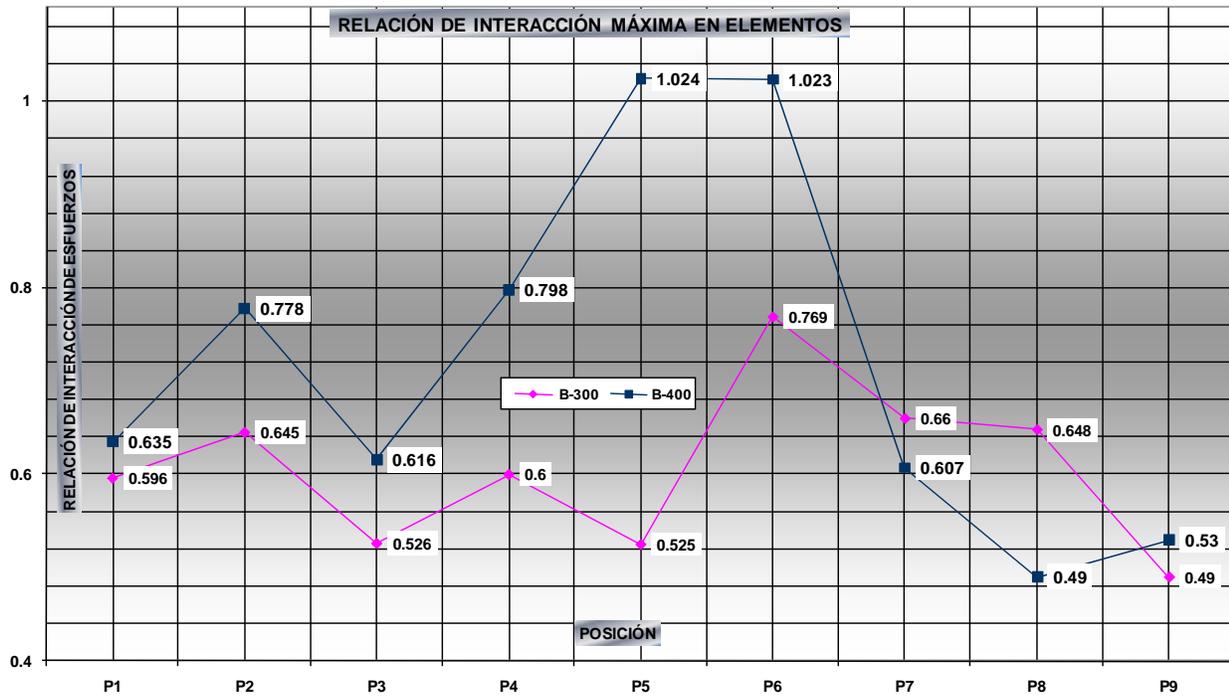


Figura III.3.1 Relación de interacción de esfuerzos en elementos para la plataforma de perforación Maloob-C, barcasas de 300ft vs 400ft

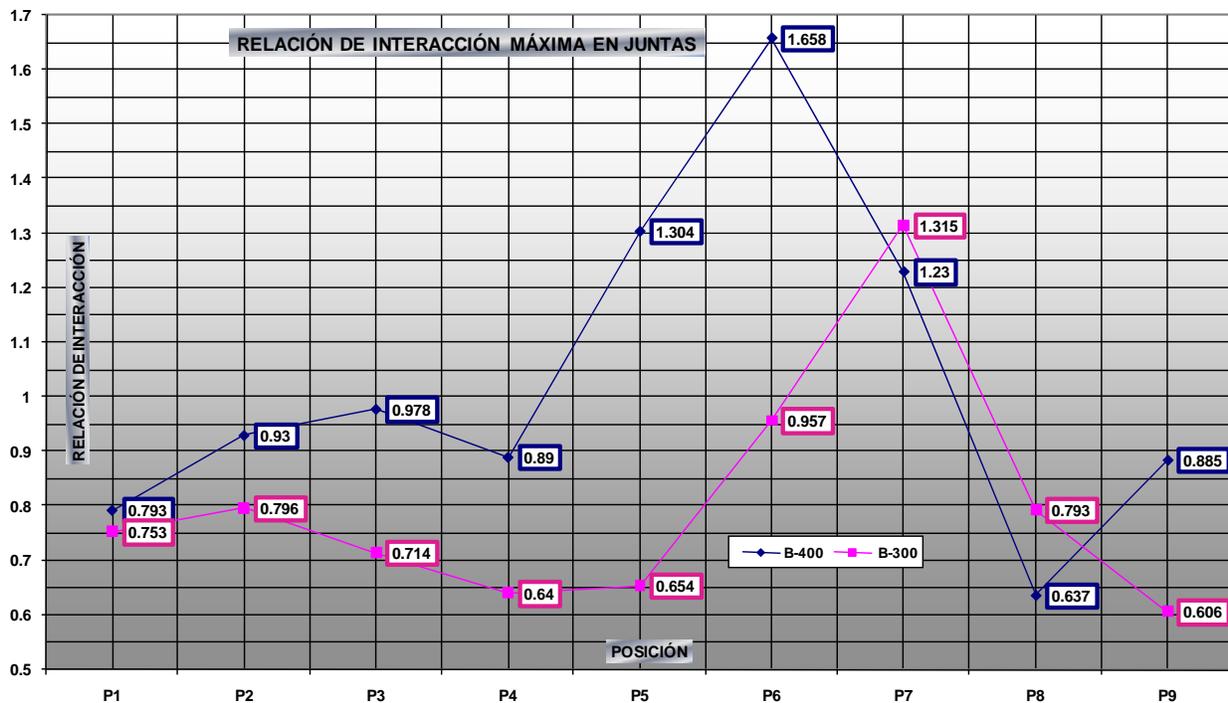


Figura III.3.2 Relación de interacción de esfuerzos en juntas para la plataforma de perforación Maloob-C, barcasas de 300 ft y 400 ft

En estas Figuras III.3.1 y III.3.2 se describe el comportamiento tanto en juntas como en elementos de la estructura con respecto a las dos barcasas. Se nota un aumento de la relación de interacción en las primeras posiciones de la barcaza de 400ft, más adelante baja esa relación, y en la posición 7 ya que la carga disminuye debido a las fuerzas hidrodinámicas que aguantan a la estructura.

Las siguientes Figuras III.3.3, III.3.4, III.3.5, III.3.6 muestran que existen fuerzas a lo largo de la trayectoria de lanzamiento, la Figura III.3.3 muestra la descripción de las consideraciones hechas en el análisis, como por ejemplo el sistema referencial inercial, puntos de observación y análisis, además de la interacción que grada el sistema barcaza-estructura- agua, las graficas mostradas en las Figuras III.3.4, III.3.5, III.3.6 muestran el aumento de fuerzas de lanzamiento de la barcasas en las tres direcciones(X, Y, Z) en el espacio. Según la trayectoria de la estructura en la barcaza se proponen 7 posiciones. Estas posiciones son puntos en los cuales el arriostamiento horizontal pasa por el perno del balancín (Fig. III.3.3). El comportamiento de las fuerzas a medida que va avanzando la estructura se muestra en las posiciones (P1, P2,...,P9); la fuerzas involucradas son el peso propio, las fuerzas inerciales, las fuerzas hidrodinámicas y las de flotación.

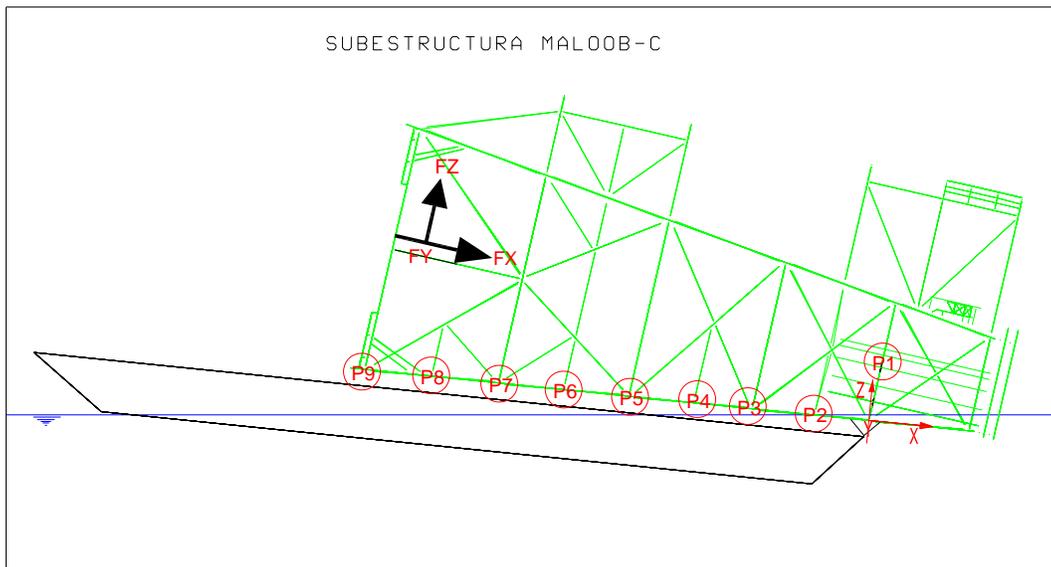


Figura III.3.3 Fuerzas en la trayectoria de lanzamiento.

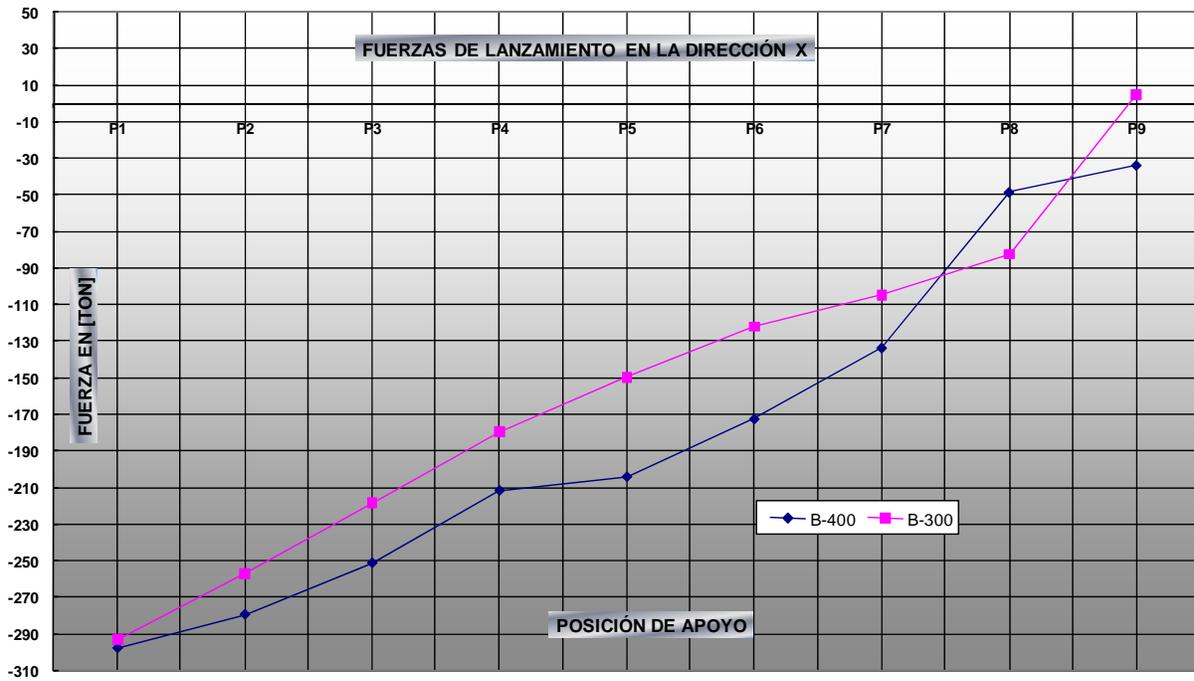


Figura III.3.4 Fuerzas de lanzamiento en la dirección X para la plataforma de perforación Maloob-C, haciendo la comparación de barcasas de 300 ft y 400 ft

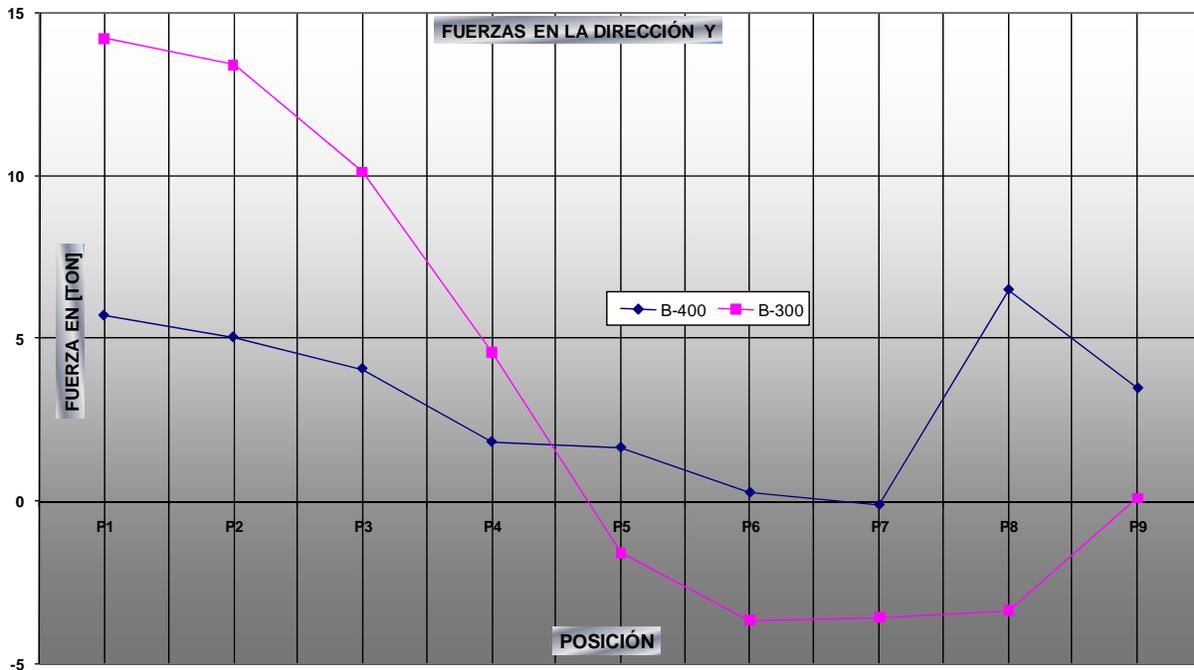


Figura II.3.5 Fuerzas de lanzamiento en la dirección Y para la plataforma de perforación Maloob-C, haciendo la comparación de barcasas de 300 ft y 400 ft

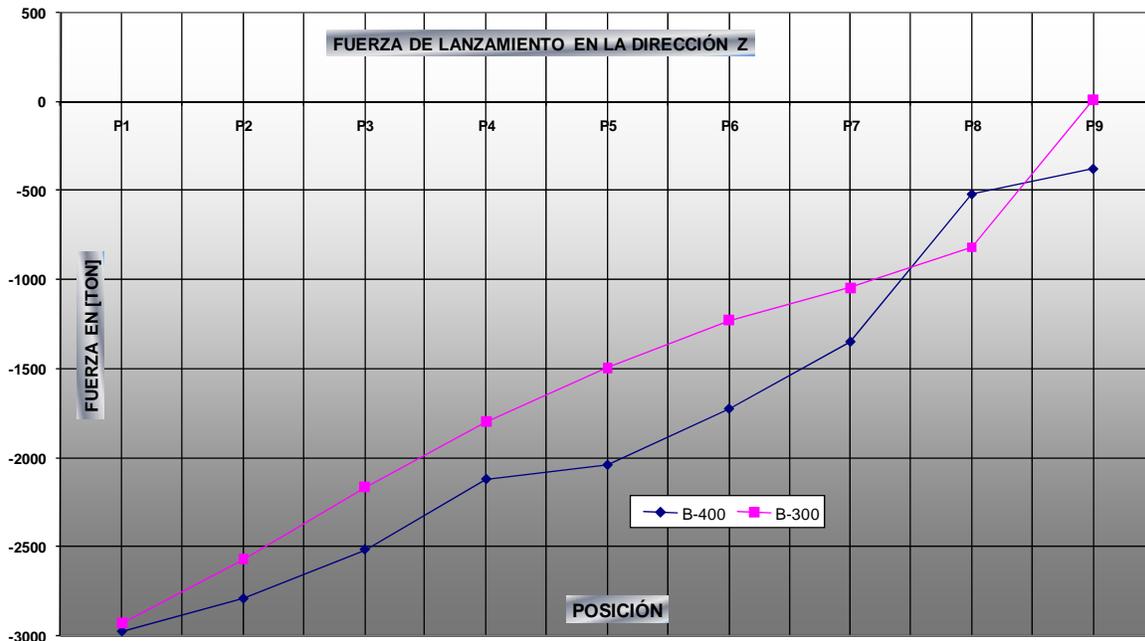


Figura III.3.6 Fuerzas de lanzamiento en la dirección Z para la plataforma de perforación Maloob-C, haciendo la comparación de barcasas de 300 ft y 400 ft

El objetivo de las gráficas en las Figuras III.3.5, III.3.6, III.3.7 es ver las fuerzas actuando en la estructura cuando pasan por el perno de la barcaza, verificando el cambio de fuerzas en las tres direcciones para las dos barcasas.

### III.4 POSICIONAMIENTO VERTICAL

Se han analizado varias posibilidades de contingencias por las que la estructura puede estar sometida en la maniobra de posicionamiento vertical y éstas son:

- Corrimiento del C.G en la dirección +X
- Corrimiento del C.G en la dirección -X
- Corrimiento del C.G en la dirección +Y
- Corrimiento del C.G en la dirección -Y
- Corrimiento del C.G en la dirección +Z
- Corrimiento del C.G en la dirección -Z
- Exista daño en la pierna A1 de la subestructura
- Exista daño en la pierna B1 de la subestructura
- Exista daño en los tanques de la intersección de los ejes A1 de la subestructura

En el siguiente Figuras III.4.1 se muestra la carga máxima para el gancho y el cable, indispensable para la capacidad de la grúa, y la selección de los cables en los catálogos.

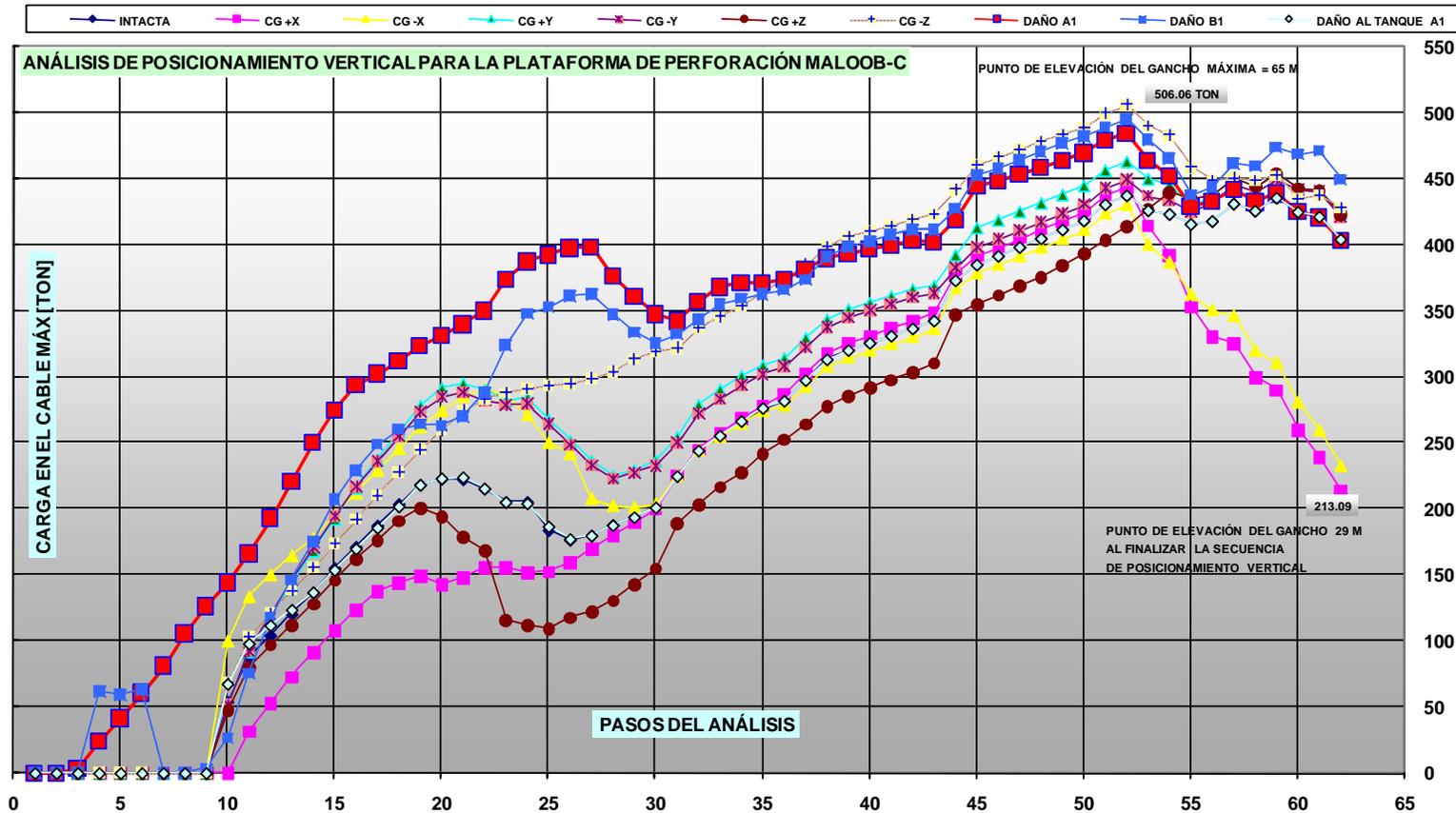


FIGURA. III.4.1 Tensión máxima en los cables variando el C.G en el análisis de posicionamiento vertical para la plataforma de perforación MALOOB-C

Las diferencias mostradas en esta gráfica sobre la trayectoria o la forma en que varía la carga en el cable consiste en que el centro de gravedad se mueve con respecto al punto de izaje o gancho, provocando que algunos cables queden sueltos y otros se esfuerzan más, por ejemplo para la condición B1 tiene variaciones ya que se presenta un giro que desestabiliza a la estructura del paso 4 al 6 pero vuelve a tomar estabilidad a partir del paso 7 con la inundación del eje B. El punto de elevación máxima del gancho es 65 [m], en esa elevación el peso máximo es de 506.06 ton en la condición CG-Z, la variación del centro de gravedad provoca un mayor peso conforme hay mayor distancia entre el centro de gravedad y el punto de izaje.

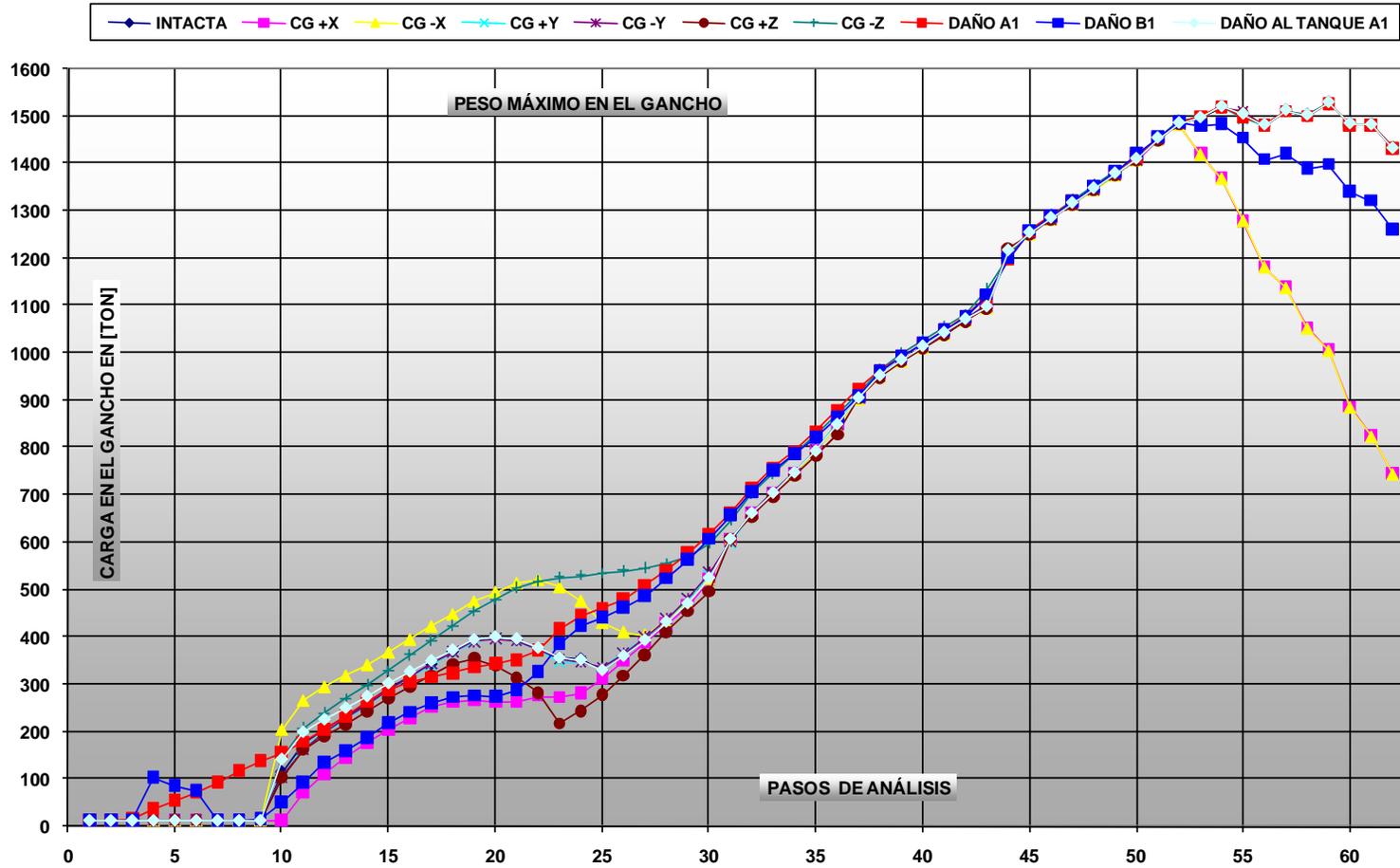


Figura III.4.2 Peso máximo en el gancho con variaciones del C.G. en el análisis de posicionamiento vertical para la plataforma de perforación Maloob-C

El peso del gancho sirve para obtener la condición más desfavorable para la grúa y diseñar las cargas de diseño para el modelo de izaje de la subestructura.

ÁNGULO PITCH DEL POSICIONAMIENTO VERTICAL PARA LA SUBESTRUCTURA DE LA PLATAFORMA DE PERFORACIÓN MALOOB-C

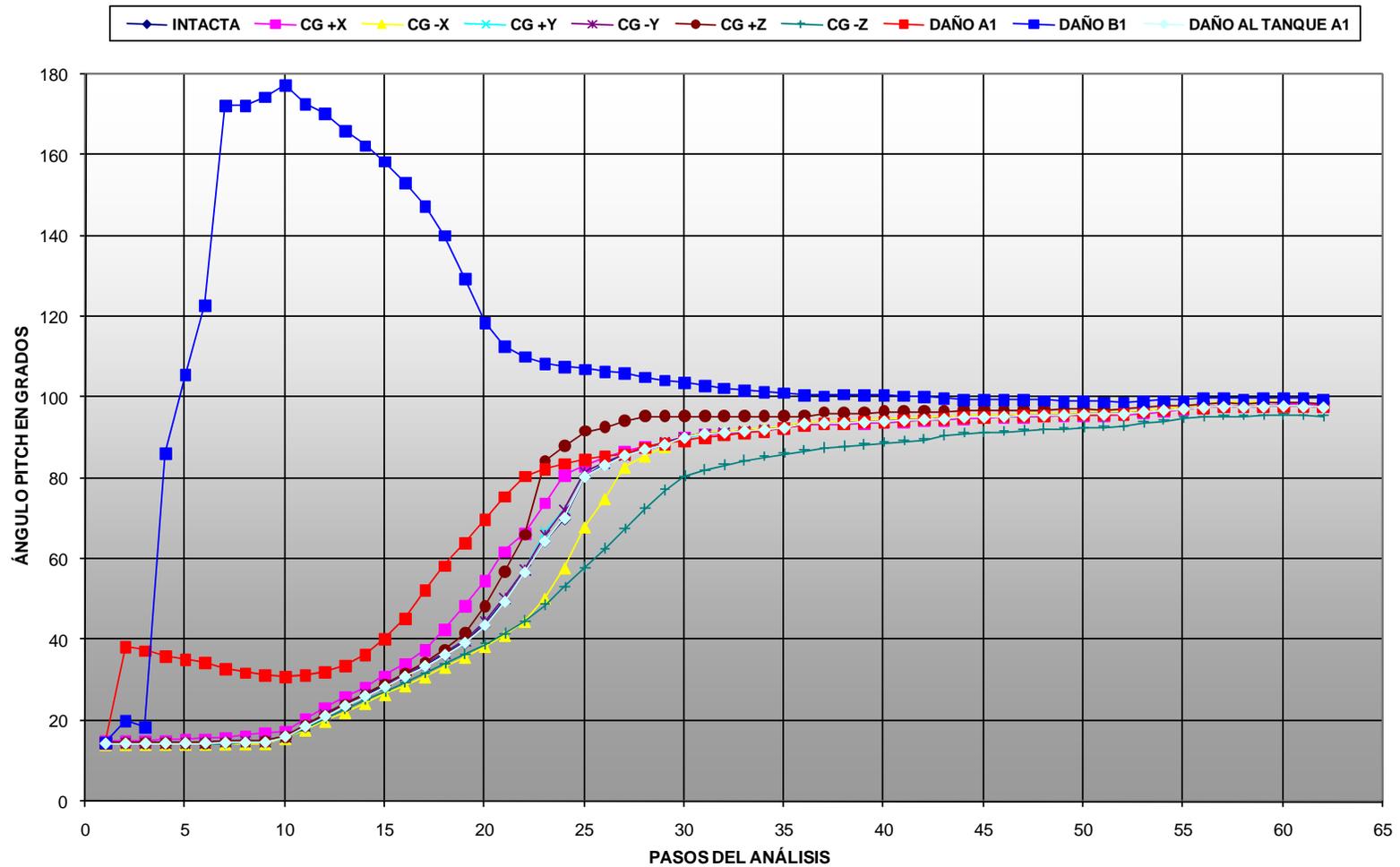


Figura III.4.3 Posición de la estructura con respecto al ángulo pitch variaciones del C.G. en el análisis de P.V para la plataforma de perforación Maloob-C.

La no estabilidad de la subestructura para la condición de daño B1 se muestra con el ángulo pitch de cabeceo de los pasos de análisis.

ÁNGULO ROLL DE LA SUBESTRUCTURA DE LA PLATAFORMA DE PERFORACIÓN MALOOB-C

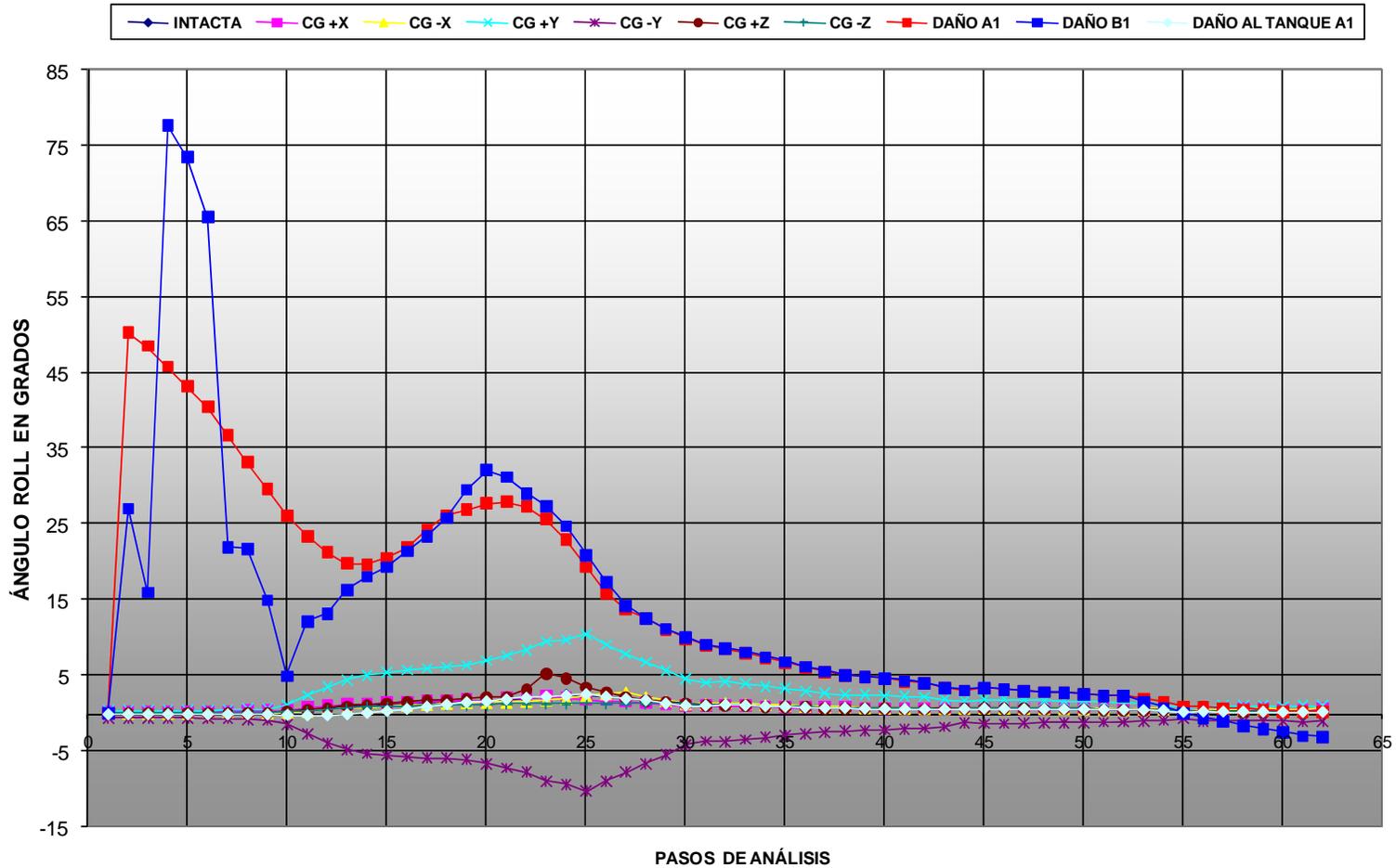


Figura III.4.4 Posición de la estructura con respecto al ángulo Roll variando el C.G. en el análisis de P.V para la plataforma de perforación Maloob-C.

Para el ángulo de balanceo ROLL para la condición de daño A1 y B1 también se muestra el desequilibrio en la trayectoria con respecto a las demás condiciones.

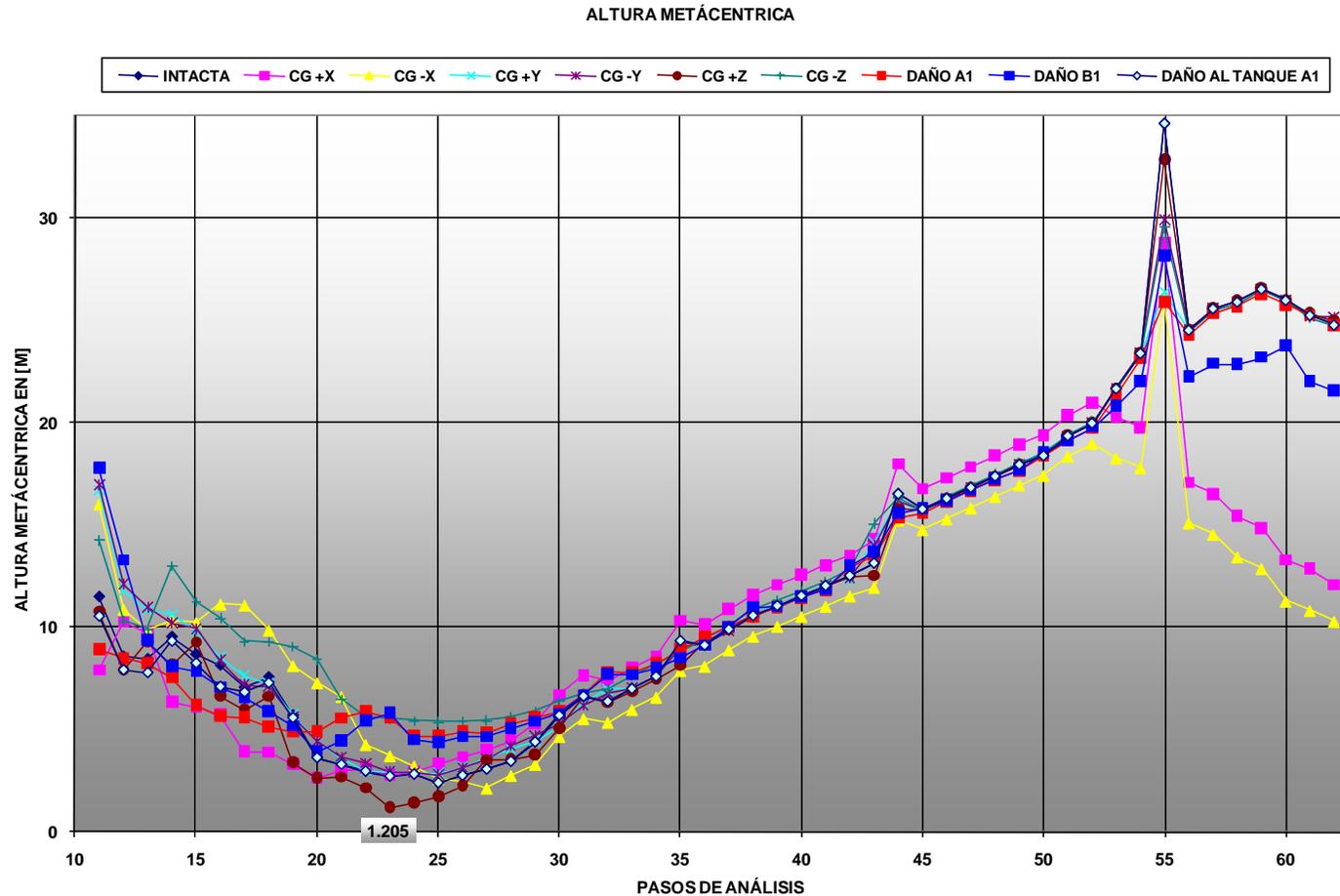


Figura III.4.5 Altura metacéntrica con variaciones del para el análisis de P.V de la plataforma de perforación Maloob-C.

La altura metacéntrica muestra la distancia que hay del metacentro al centro de gravedad de la estructura para las distintas condiciones de análisis. Esta altura mínima es de vital importancia porque es otro indicador de la estabilidad de la estructura, es decir en la norma NRF-041-PEMEX-2002 nos recomienda que para tener un análisis controlado sin cambios bruscos de movimientos es necesario que la altura metacéntrica no deba de disminuir de 1 metro. Como se muestra en la **Figura III.4.5** esta distancia permanece por arriba del metro con un valor de 1.205m.



La siguiente tabla muestra la reserva de flotación que es la diferencia de la flotación sumergida y el peso de la estructura entre flotación sumergida, y la altura metacéntrica mínima para cada condición.

Tabla III.4.1 Altura metacéntrica

CONDICIÓN	RESERVA DE FLOTACIÓN en %		ALTURA METACÉNTRICA LONGITUDINAL MÍNIMA en [m]
	CONTINGENCIAS	NO CONTINGENCIAS	
INTACTA	12.429	20.39	2.38
CG +X	12.444	20.404	2.607
CG -X	12.444	20.404	2.128
CG +Y	12.444	20.404	2.856
CG -Y	12.444	20.404	2.799
CG +Z	12.444	20.404	1.205
CG -Z	12.444	20.404	5.392
DAÑO A1	12.444	20.404	4.693
DAÑO B1	12.444	20.404	5.021
DAÑO AL TANQUE A1	11.729	19.754	2.396

La Tabla III.4.1 muestra numéricamente el resultado de la altura metacéntrica mínima para cada una de las condiciones, se aprecia que la condición CG-Z es la más desfavorable, sin embargo esta dentro del rango recomendado por la norma NRF-041-PEMEX-2002, además también se muestra la reserva de flotación que es otro indicador importante de la estabilidad que guarda la estructura a lo largo de la trayectoria de posicionamiento vertical, la norma NRF-041-PEMEX-2002 indica que con una reserva de flotación mayor o igual a 10 % es suficiente para tener éxito en la maniobra por lo que de acuerdo con la tabla el valor es 12.44 % por lo que es suficiente para lograr que la maniobra se realice.

### III.5 IZAJE DE LA SUPERESTRUCTURA.

A continuación se presentan los resultados para el análisis de izaje de la superestructura de la plataforma de perforación Maloob-c. Estos resultados muestran las relaciones de interacción en juntas y elementos para el centro de gravedad desplazado y el no desplazado. Estos resultados se comparan para tener una idea de la importancia del centro de fuerzas en las plataformas y la sensibilidad de éste.

En la siguientes dos graficas 6.5.1 y 6.5.2 se presentan la interacción de juntas y elementos comunes, que se presentaron en el listado de resultados para el C.G desplazado y C.G real. El C.G real está localizado en la coordenada (-0.17, 0.73), el C.G desplazado tiene una coordenada (-0.95, 0.95), el C.G desplazado tiene una localización fuera del rango para la revisión de la norma NRF-041-PEMEX-2002.



Figura III.5.1 Relación de interacción en elementos para el análisis de izaje de la plataforma de perforación Maloob-C.

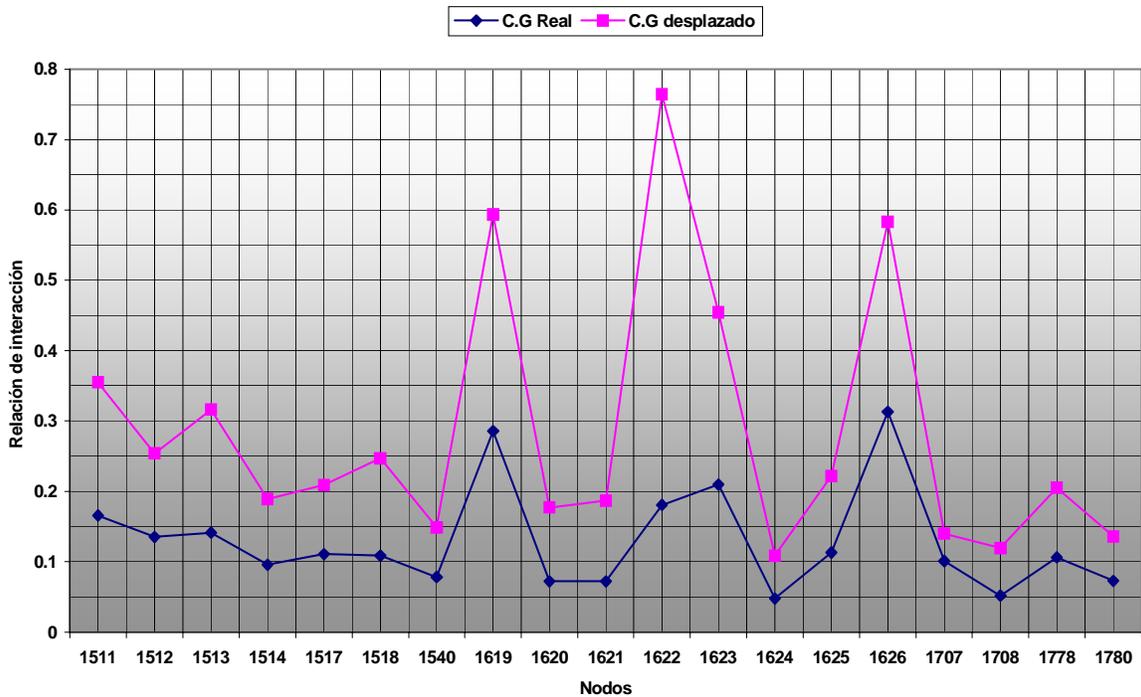


Figura III.5.1 Relación de interacción en juntas para el análisis de izaje de la plataforma de perforación Maloob-C.

Como se puede observar, la sensibilidad que se produce en cuanto a relación de esfuerzos es de aproximadamente al doble de las relaciones entre análisis, es decir que a medida que el C.G se encuentre fuera del el rango que marca la norma de NRF-041-PEMEX-2002 las relaciones se incrementan

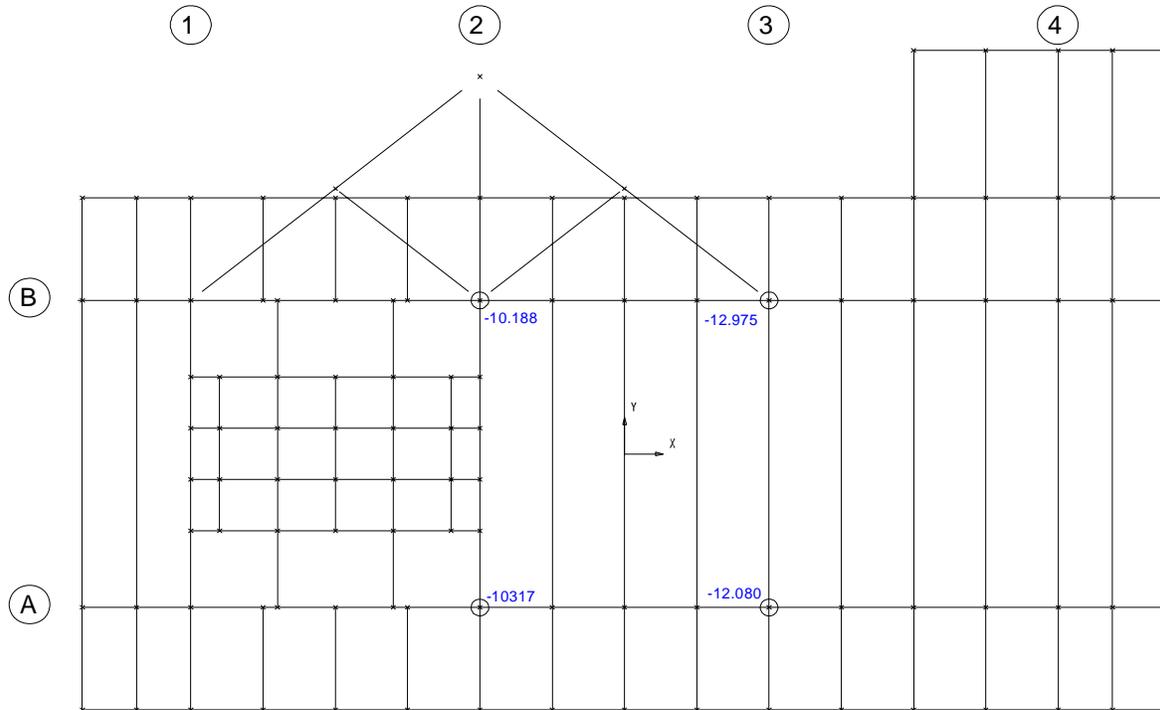


Figura III.5.3 Grafico de ubicación del sistema de izaje de la superestructura de la plataforma de perforación Maloob-C.

$$\theta_x = \text{inv tan} \frac{-10.188 - (-10.317)}{1317.6} = -0.01^\circ, \text{ de acuerdo con la norma NRF-041-PEMEX-2002 se debe de}$$

verificar que los giros de la plataforma no sean muy severos por lo que se recomienda analizar el grado del giro producido a la hora de realizar la propia maniobra. Para esta ecuación el giro se analiza para la planta estructural de la superestructura y simplemente es la relación trigonométrica del movimiento vertical, o desplazamiento de los nodos en el eje vertical, entre la distancia que guardan los puntos de izaje, como se observa en la Figura III.5.3 para los ejes 2, 3, A y B.

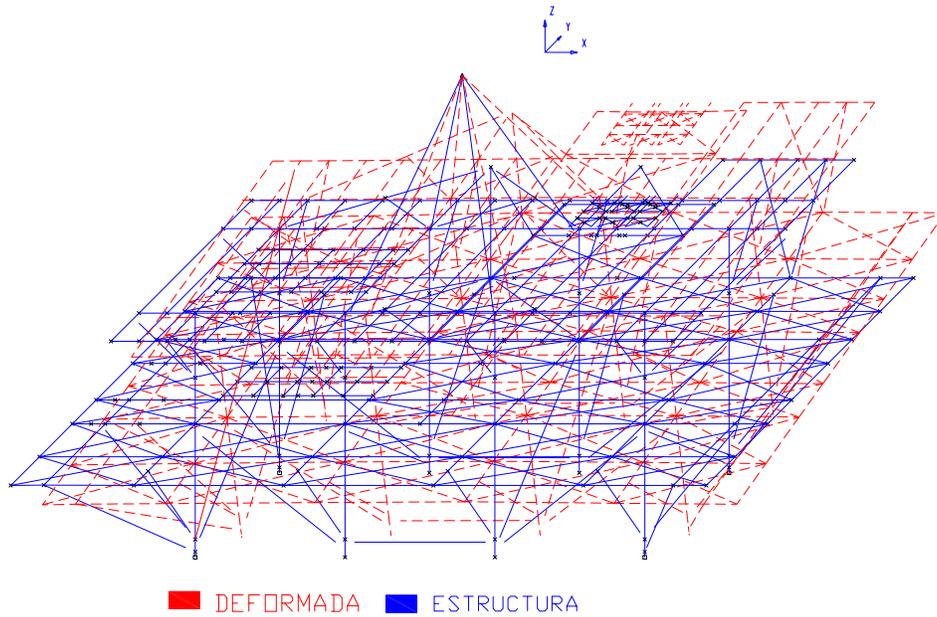


Figura III.5.4 Deformada del análisis de izaje de la superestructura de la plataforma de perforación Maloob-C.

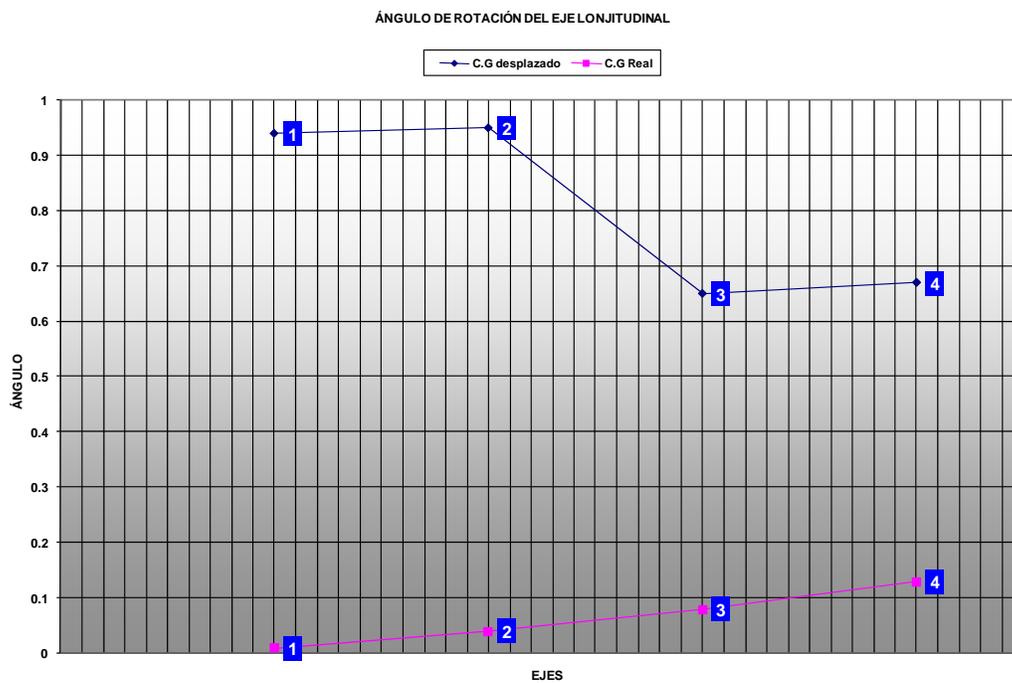


Figura III.5.5 Angulo de rotación para el análisis de izaje de la superestructura de la plataforma de perforación Maloob-C.

En esta Figura III.5.5 se representa la diferencia que hay entre los análisis, el ángulo de rotación de los ejes o el grado de giro y los elementos cercanos a los puntos de izaje, revisando los desplazamientos como marca la norma. También se nota que a pesar de ser grandes los desplazamientos en los ejes del C.G desplazado, los ángulos no sobrepasan los límites permitidos por la norma API-RP-2A [R.V.9] que es de 2 grados.



## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### IV.1 CONCLUSIONES

#### **Carga a la barcaza**

Se realizó el análisis de carga a la barcaza para las condiciones presentadas en la secuencia de carga propuesta, utilizando los métodos paso a paso y Gap.

Al inicio de la maniobra, la estructura cuenta con la capacidad necesaria para que la planta de arriostamiento de la elevación -82.00 m permanezca en voladizo (sin apoyo).

Debido a la posición y peso de la estructura adosada, se generan excentricidades de carga vertical que deberán limitarse durante la maniobra, mediante un estricto control de los desplazamientos relativos máximos permisibles.

De los resultados obtenidos en el análisis de carga de la subestructura, se concluye que los esfuerzos en elementos estructurales y juntas tubulares se pueden mantener por debajo de los niveles de esfuerzos permitidos por los códigos, siempre y cuando se respeten los desplazamientos relativos indicados en el presente documento, mediante una maniobra controlada.

#### **Transportación**

El diseño de los seguros marinos es aceptable con las secciones propuestas, lo que garantiza una buena estabilidad de la estructura durante la travesía del patio de fabricación al sitio de instalación con base en la norma NRF-003-PEMEX-2000 y para la temporada de verano como dictamina la norma de referencia de Pemex.

El diseño propuesto de la subestructura cumple con los códigos de diseño aplicables. Como se puede apreciar, los resultados muestran incremento de esfuerzos al cambiar de barcaza, es decir de una barcaza de 300 ft a una de 400ft, esto es debido a la distancia que hay entre el centro de gravedad de la estructura y el centro de rotación de la barcaza.

#### **Lanzamiento**

Se realizó el análisis de lanzamiento de la subestructura de la plataforma de perforación Maloob-C, en la cual se tomaron en cuenta los lineamientos de la NRF-041-PEMEX-2002, "Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera y las recomendaciones del API-RP-2A, edición 20.

En cuanto a la comparación de barcazas se observa un incremento de esfuerzos en el perno del balancean para la barcaza de 400 ft. De acuerdo con los resultados de los análisis se concluye que la subestructura de la plataforma de perforación Maloob-C, cuenta con la rigidez y resistencia requerida para llevar a cabo la maniobra de lanzamiento, garantizando su trayectoria. De igual manera, de acuerdo a los resultados



obtenidos en los análisis estructurales, se concluye que la subestructura será capaz de mantener niveles de esfuerzos, durante la maniobra de lanzamiento, por debajo de los permitidos por los códigos.

### **Posicionamiento vertical de la estructura**

Se realizó el análisis de posicionamiento vertical de la subestructura de la plataforma de perforación Maloob-C, en la cual se tomaron en cuenta los lineamientos de la NRF-041-PEMEX-2002, "Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera y las recomendaciones del API-RP-2A, edición 20.

De los análisis estructurales realizados se concluye lo siguiente:

Para condiciones intactas la maniobra de posicionamiento vertical se puede efectuar en un tirante de al menos 95.00 m, aceptando un claro de al menos 12.3 m entre el lecho marino y la parte inferior de la subestructura.

La estabilidad de la subestructura durante la maniobra de posicionamiento vertical se ha verificado positivamente en condiciones intactas. Para el caso de daño para cada una de las piernas se detectó comportamiento inestable, por lo que se recomienda verificar en patio (previo al inicio de la transportación) que las piernas se encuentren perfectamente selladas con la finalidad de evitar que las condiciones de daño se presenten.

La carga máxima en el gancho principal no es superior a las 1504 ton métricas, mientras que la carga máxima en los cables del gancho principal siempre es menor que 434 toneladas métricas y corresponden a la estructura parcialmente inundada (elevación del gancho a 65 m con respecto del Nivel Medio del Mar). En ningún caso se contempla sacar la estructura completamente fuera del agua.

Los elementos y juntas estructurales, así como orejas de izaje, presentan siempre relaciones de interacción menores que 1.00. Los resultados obtenidos reportan un adecuado comportamiento estructural de acuerdo a las solicitudes de la maniobra.

### **Izaje de la superestructura**

Se realizó el análisis de izaje de la superestructura de la plataforma de perforación Maloob-C, en la cual se tomaron en consideración las recomendaciones del API-RP-2A, edición 21.

Los accesorios considerados para diseño son:

4 Estrobos de 65 pies de longitud por 10.25 pulgadas de diámetro.

4 Grilletes de cuerpo ancho (G-2160, marca crosby) de 700 ton de capacidad.



Para diseño se tomaron longitudes cortas de eslingas, con la finalidad de que en la revisión final para instalación (al concluirse la construcción de la subestructura), las longitudes reales de las eslingas del instalador sean mayores a las de diseño y que consecuentemente los esfuerzos en la estructura disminuyan.

Se consideró el corrimiento del centro de gravedad de acuerdo con las recomendaciones de la norma NRF-041-PEMEX-2002, "Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera", obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a rigidez y resistencia de acuerdo a las solicitudes propias de la maniobra de izaje.

#### IV.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados, los análisis se desarrollaron de manera aceptable. Sobre la cuestión si es factible utilizar el método Gap como método de análisis para la carga de la estructura a la barcaza, es recomendable tener un poco de experiencia sobre el comportamiento de la estructura para esta maniobra, ya que el método Gap es de mucha ayuda, pero hay que utilizar el criterio propio al emplearlo.

Con respecto al análisis de transportación es recomendable el uso de la barcaza con dimensiones de 300ft ya que se generan menos esfuerzos, además de que los costos disminuyen.

Para el análisis de lanzamiento es mejor utilizar la barcaza de 300ft, ya que con la de 400ft se dificulta romper la inercia de la estructura debido a la distancia y altura que tiene que recorrer la estructura a lo largo de la trayectoria de lanzamiento.

Con referencia al análisis de posicionamiento vertical, es recomendable tener contacto con los ingenieros de instalación en campo, por las condiciones de sensibilidad en el centro de gravedad es necesario tener las precauciones debidas sobre todo si cambian las condiciones ambientales del sitio.

Hablando del análisis de estabilidad en el fondo marino, es recomendable tener un estudio de suelos exclusivo de esta zona porque, muchas veces, por hacer que la estructura se diseñe con mayor rapidez se utilizan estudios cercanos a esta zona que muchas veces no corresponden a la realidad de la capacidad de suelo del sitio en cuestión. Sobre el análisis de izaje es recomendable también tener contacto con los ingenieros de instalación ya que muchos de los cables utilizados para esta maniobra son de reuso por lo que puede ser peligrosa la instalación de este material, aunque en el propio análisis se aplican factores para contrarrestar estas contingencias.



## V. REFERENCIAS

- V.1 Curso de Ingeniería Civil Costa Afuera Tomo 1
- V.1 Curso de Ingeniería Civil Costa Afuera Tomo 2
- V.2 Maniobras marítimas para instalación de plataformas IMP 2004)
- V.3 Diseño estructural Meli Piralla
- V.4 Norma NRF-003-PEMEX-2002, “Diseño y evaluación de plataformas marinas en la sonda de CAMPECHE”
- V.5 Norma NRF-041-PEMEX-2002, “Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera”
- V.6 Norma NRF-043-PEMEX-2002, “Acercamiento y amarre de embarcaciones a plataformas Marinas”
- V.7 Norma (API-RP-2A WSD) Diseño y evaluación de Plataformas Marinas
- V.8 Manual de fórmulas técnicas 18° edición, Kurt Gieck; Alfaomega)
- V.9 Manual de operación del programa analítico “SACS”



## VI. ANEXOS

### VI.1 Anexo A1 “Bases de Diseño”

**Alcance.** Incluye la elaboración de ingeniería y anexos técnicos de las bases de licitación para la plataforma de perforación, tipo octápoda con dieciocho conductores, 6 de los cuales son adosados.

**Perforación simultánea.** Se considera a las tareas de perforaciones en conductores al mismo tiempo; interiores y exteriores (adosadas).

**La superestructura.** Contará con dos cubiertas, una localizada en el nivel +19.100m y otra en el nivel +27.939 m, estructuradas con traves principales transversal y longitudinal, traves intermedias transversales, traves perimetrales y largueros para formar el sistema de piso. Ángulos y canales que serán perfiles comerciales. Las dos cubiertas de la superestructura estarán soportadas por 8 columnas de 48” de diámetro, de acuerdo a diseño.

**En columnas.** 48” de diámetro.

**En traves armadas de tres placas.** “I” 3pls (alma pl 19 x 1702 y 1499 + pats pl 45 x 610), “I” 3pls (alma pl 13 x 1176 + pats. Pl 32 x 406) y “I” 3pls (alma pl 16 x 833 + pats. Pl 29 x 306) en la cubierta superior.

**Largueros del sistema de piso de la cubierta superior.** En la cubierta superior se utilizarán traves IR-356

**En elementos temporales para izaje de superestructura.** En los marcos, se usara ASTM A-36, de 30” de diámetro.

**La subestructura.** Contará con ocho columnas de acero estructural dispuestas en cuatro marcos transversales y dos longitudinales. Contará con una estructura adosada en el eje b, una entre los ejes 2 y 3, las columnas de esquina de los ejes 1 y 4, tendrán doble pendiente 1:8 y las columnas de los ejes 2 y 3 tendrán una pendiente simple de 1:8.

**La cimentación.** Contará con ocho pilotes principales.

#### Localización.

PLATAFORMA	ACTIVO	CAMPO	TIRANTE (M)	COORD-X (UTM)	COORD-Y (UTM)	ORIENTACION
MALOOB-C	KU-MALOOB-ZAAP	MALOOB	82.00	581,868.88	2'166,141.38	45° SUROESTE

**Criterio de diseño estructural.** La ingeniería estructural se realizará de acuerdo con los requerimientos y condiciones del sitio de trabajo, se regirá por las normas NRF-003-PEMEX-2000 y la NRF-041-PEMEX-2003, así como, API RP 2A (WSD), edición 20.



**Diseño de pilotes.** Serán de sección tubular de punta abierta, los diámetros, espesores y longitudes de penetración se determinarán de acuerdo a diseño. Adicionalmente a la longitud de penetración de diseño se considerarán 6.096m (20'), en cada pilote, por sub hincado o sobre hincado.

**Punto de trabajo.** Se ubicará en la elevación +7.315m, en este punto se realizará la conexión de los pilotes con las columnas de la superestructura, se utilizarán conos de transición para llevar a cabo la conexión entre ambos componentes estructurales.

**Diseño de conductores.** Se consideran 18 conductores, de acero estructural ASTM A-36. Se diseñarán guías para cada conductor, en cada nivel de arriostamiento horizontal. Seis conductores serán ubicados en el área de la estructura adosada y doce serán ubicados entre los ejes 1 y 2 (entre los ejes a y b). Se instalaran los 18 conductores por medio de hincado con martillo.

**Diseño de la subestructura. Columnas de la subestructura.** Se proponen los siguientes diámetros preliminares: 1651 $\emptyset$  (65"Ø), entre las elevaciones +6.096m y la -8.500m. 1651 $\emptyset$  (65"Ø) a 1651 $\emptyset$  (65"Ø) entre las elevaciones -25.500m, -43.500m, -62.500m y -82.00m. 1651 $\emptyset$  (65"Ø) para canutos de pierna "joint can") entre las elevaciones -25.500m a -82.25m.

**Elementos de arriostamiento.** Para los marcos transversales se proponen diámetros de 610 $\emptyset$  (24"Ø) a 762 $\emptyset$  (30"Ø), Se considerará la utilización de elementos existentes de 762 $\emptyset$  (30"Ø).

**Plantas de arriostamiento horizontal.** La subestructura contará con seis plantas de arriostamiento horizontal, localizadas en las elevaciones +6.096m, -8.500m, -25.500m, -43.500m, -62.500m, -82.00m. Los conductores estarán formados por elementos tubulares de 355.6 $\emptyset$  (14"Ø) a 406.4 $\emptyset$  (16"Ø). Los elementos interiores de las plantas de arriostamiento horizontal serán de 355.6 $\emptyset$  (14"Ø) a 508 $\emptyset$  (20"Ø) con canutos de 508 $\emptyset$  (20"Ø) a 762 $\emptyset$  (30"Ø).

**Estructura adosada.** Se diseñará una estructura adosada para alojar 6 conductores y estará formada por 4 plantas de parrillas de conductores a base de elementos tubulares que se conectarán a la subestructura con soldadura, desde el patio de construcción, en las elevaciones: +6.096m, -16.477m, -43.500m y, -62.500m. Las parrillas se unirán para forma 2 bloques, en las elevaciones +6.096m a -16.477m y (-) 43.500m a la (-) 62.500m.

**Espacio anular pierna-pilote y placas centradoras.** Los pilotes se diseñarán de tal forma que se mantenga un espacio anular mínimo, entre la pierna y el pilote, de 25.4mm (1") a fin de alojar placas centradoras de 12.7mm (½") de espesor con una holgura de 12.7mm (½").

**Conexión subestructura-pilote.** Se utilizarán placas de relleno para conectar cada pilote a la subestructura. El número de placas disponibles costa afuera deberá ser mayor al requerido y se indicará en el plano de conexión de la subestructura a los pilotes. La conexión subestructura-pilote se realizará en la elevación +6.858m.

**Zona de mareas y oleajes.** La zona de mareas se considera ubicada entre las elevaciones -3.048m y +4.572m, con referencia al nivel medio del mar.



**Tolerancia por corrosión.** Para tomar en cuenta la posible pérdida de material de los elementos estructurales de la zona de mareas y oleaje (piernas y arriostramientos), por efectos de corrosión, el espesor de dichos elementos, se disminuirá 6.35mm (¼”) en los análisis estructurales “in-situ”.

No obstante que el espesor real no participa en lo referente a esfuerzos y relaciones de interacción, el peso real de los elementos será considerado como carga.

**Protección catódica.** La zona sumergida de la subestructura se protegerá de la corrosión con ánodos de sacrificio, de aluminio galvalum iii tipo H725 (peso neto 725 lbs de aluminio).

**Accesorios estructurales.** Se considerará el peso de toda la estructura miscelánea como: pasillos, escaleras, barandales, rejilla, soportería, etc. Todas las rejillas y barandales.

**Atracaderos.** Se consideran dos atracaderos de 12.192m (40') de longitud, uno conectado en las piernas a1 y a2 y otro en las piernas b3 y b4. Se diseñarán a base de elementos tubulares protegidos con tiras de hule amortiguador comercial y de elementos frontales rellenos de concreto con un  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ .

**Defensas de pierna.** Se instalarán defensas de pierna en aquellas piernas que en su trayectoria de orientación no cuenten con defensas para ductos, las defensas de pierna, de esquina, se localizarán a 45 grados con respecto a cualquiera de los ejes de la plataforma.

**Placa base.** Se diseñará una placa base localizada en la última planta de arriostramiento (elev. -82.00m), se desfazará por abajo del nivel -82.00m y se unirá a dicha planta por medio de tubos cortos.

**Peso de ductos ascendentes.** Se considerará el peso de dos ductos ascendentes requeridos por el proyecto y se tomará en cuenta la posible instalación de dos ductos futuros.

Ducto 1. Gasoducto de 12” $\varnothing$ , de la interconexión submarina con la línea 22, proveniente de las plataformas PB-KU-H/ PP-MALOOB-A, localizado en la pierna A2.

Ducto 2. OLEOGASODUCTO de 24” $\varnothing$  (hacia la plataforma PP-KU-H) localizado en la pierna A4.

Ducto 3. Ducto futuro de 24” $\varnothing$ , para fines de diseño, localizado en la pierna A4.

Ducto 4. Ducto futuro de 24” $\varnothing$ , para fines de diseño, localizado en la pierna B4.

**Defensas de ductos ascendentes.** Se incluirá el diseño de defensas para los ductos ascendentes de 12”  $\varnothing$  y 24”  $\varnothing$ .

**Cuna de deslizamiento.** Se considera una cuna de deslizamiento para la maniobra de arrastre y lanzamiento, formada de silletas de placa estructural y polines de madera, localizadas sobre las piernas de los ejes 2a y 3a, entre las elevaciones de los niveles -3.440m y -84.212m.

**Sistema de inundación.** Se considera un sistema de inundación para cada pierna, del tipo anillo de cambio de marcha, con línea de venteo retornando al tope de la subestructura.

**Tanques de flotación.** Se instalara un sistema de flotación consistente en tanques diseñados a base de tubos de diámetros grandes con tapas en ambos extremos y anillos de refuerzo internos o externos de placa,



espaciados a longitudes iguales a lo largo del tubo. Las dimensiones de los tanques de flotación y su ubicación en la estructura se definirán de acuerdo con los resultados de los análisis de lanzamiento y flotación libre.

**Tapas de sello.** Se especificarán tapas de sello comerciales, de neopreno o material similar para soportar la presión de prueba requerida y que garantice la hermeticidad de las piernas en la maniobra de lanzamiento y posicionamiento vertical.

**Diseño de la superestructura. Conexión superestructura-subestructura.** Las columnas de la superestructura se conectarán a los pilotes de la cimentación en la elevación +7.315m (punto de trabajo) después de que se haya realizado la nivelación, corte y preparación de pilotes.

**Elevación y dimensiones de cubiertas.** Estará en la elevación +19.100m y cubierta superior se localizará en la elevación +27.939m, las dimensiones se definirán por el requerimiento de perforación y las dimensiones de la plataforma autoelevable. Las cubiertas tendrán las siguientes dimensiones: en dirección longitudinal, entre el eje 1 y el eje 2, 12.192m (40'), entre el eje 2 y el eje 3 12.192m (40'), entre el eje 3 y el eje 4, 12.192m (40') y en dirección transversal, del eje a al eje b 13.716m (45'). En la cubierta superior (+27.939m) se considera un área de volado localizada en el eje b entre los ejes 3 y 4 para la instalación del bote salvavidas del equipo de perforación. Los volados de la cubierta inferior (+19.100 m) se consideran de 10m en ambos lados y ambas direcciones.

**Sistema de piso.** La cubierta de perforación (elevación +27.939m) tendrá un sistema de piso a base de perfiles ir 356x32.9 kg/m, orientados en dirección longitudinal. Desde el eje 2 y hasta el volado del eje 1, se instalará placa antiderrapante con charolas pluviales. Entre los ejes 3 y 4 se colocará piso de placa antiderrapante para un helipuerto a nivel de cubierta (elevación +27.939m). En las áreas libres restantes se instalará rejilla desmontable, electro forjada, de barra dentada de 4.8x31.8 mm o similar, galvanizada.

La cubierta inferior (elevación +19.100m) tendrá un sistema de piso a base de perfiles ir 457x74.5 kg/m, orientados en dirección transversal; sobre del cual se instalará rejilla desmontable, electro forjada, de barra dentada de 4.8x31.8mm o similar, galvanizada.

**Pedestal de grúa** se diseñara un pedestal de 50mt en la elevación 37.389m considerando la operación de la grúa, el diseño contemplara planos de los niveles implicados, escaleras y la etapa de instalación.

**Escaleras, barandales y pasillos.** Se contará con dos escaleras abatibles para comunicar la cubierta inferior con los pasillos de la subestructura y dos escaleras fijas para comunicar la cubierta inferior con la cubierta superior.

**Muro contra incendio.** Se especificarán las características y requerimientos estructurales de dos muros contra incendio

**Camisas para bombas.** Se diseñaran camisas estas serán localizadas entre los ejes 3 y 4 de la cubierta inferior con elev. +19.100m y se extenderán hasta la elevación -15.240m, aproximadamente.



**Helipuerto.** Se considera el diseño de un helipuerto integrado a nivel de cubierta (elevación +27.939m), ubicado entre los ejes 3 y 4.

**Datos meteorológicos y oceanográficos de diseño**

Se utilizarán los datos de la NRF03 -PEMEX-2000, “diseño y evaluación de plataformas marinas fijas en la sonda de CAMPECHE” y se analizarán las direcciones de incidencia de oleaje: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° y 315°.

**Datos de diseño para transportación**

Para la determinación de las fuerzas de inercia, generadas por la transportación, se emplearán los datos establecidos en la NRF-041-PEMEX-2003, “carga, amarre, transporte e instalación de plataformas costa afuera”, sección A.2, “consideraciones de análisis y diseño para operaciones de transporte”, del anexo A, “diseño de la carga”, tabla A2. Criterio estándar de movimiento para chalanes grandes. Los parámetros que definen a las grandes barcazas, son:

- 24.4 m < manga < 36.6 m
- 5.00 m < puntal < 8.0 m
- 76.0 m < eslora < 122.0 m

Temporada	Amplitud simple en 10 segundos		Sustentación
	Balaceo (roll)	Cabeceo (pitch)	
Transportación en verano	20°	12.5°	0.25 g
Transportación en invierno	25°	15°	0.30 g

Para la transportación de MALOOB-c se utilizarán los datos siguientes:

Movimientos y características de la barcaza					
Cabeceo (pitch) =	12.5 grados	Eslora =	91.44m (300')	Balancín=	15.24m (50')
Periodo en balaceo =	10 segundos	Manga =	27.43m (90')	Inclinación =	1%
Fuerza de sustentación =	0.25 g	Puntal =	6.096m (20')	Calado =	50% = 3.048m
				Corredera =	0.914m (3')

**Lanzamiento y posicionamiento vertical de la subestructura**

Los análisis de lanzamiento y de posicionamiento vertical se usarán valores estimados del coeficiente de fricción, basados en experiencias previas de diseños similares y la utilización de barcazas de lanzamiento conocidas. En el modelo analítico de lanzamiento, se supondrá que la barcaza es infinitamente rígida y se tomará en consideración la longitud del balancín.

No se considerará sacar a la estructura en su totalidad del agua en la maniobra de posicionamiento vertical. En los análisis se considerará la variación del centro de gravedad de 1.0m y se revisarán daños de piernas y de tanques de flotación.

**Datos de diseño para instalación**

Se utilizarán los datos de la tabla 10.4 de la NRF03 -PEMEX-2000, “diseño y evaluación de plataformas marinas fijas en la sonda de CAMPECHE” y se analizarán las siguientes direcciones de incidencia de oleaje: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° y 315°.



**Parámetros hidrodinámicos**

<b>Coefficiente (para tubo rugoso)</b>	
Arrastre cd:	1.05
Inercia cm:	1.20

<b>Condición ambiental</b>	<b>Factor de cinemática de la ola</b>
Extrema (tormenta).	0.85
Operación.	1.00
Transportación.	1.00
Estabilidad del fondo sin pilotes.	1.00

**Cargas gravitacionales**

**Carga muerta adicional al peso propio**

Incluye pasillos, barandales, sistema de piso y otros accesorios menores (placas, soportería, protección anticorrosiva, cableado del sistema eléctrico y de instrumentación, etc.) Se aplicarán como carga uniformemente distribuida sobre de la cubierta.

**Carga viva**

**Cubierta de perforación (elev. +27.939m)**

En el área ocupada por la tubería de perforación (en el techo de los paquetes de bombas y almacenamiento) se aplicará una densidad de carga de 2400 kg/m<sup>2</sup>.

En el área del piso de perforación se aplicará una densidad de carga de 500 kg/m<sup>2</sup>.

En el área de las plantas del módulo habitacional se aplicará una densidad de carga de 300 kg/m<sup>2</sup>

**Cubierta de producción (elev. +19.100m)**

En las áreas abiertas se aplicará una densidad de carga de 750 kg/m<sup>2</sup>, la cual incluye el peso de tuberías con todos sus soportes

En las áreas ocupadas por equipos se aplicará la densidad de carga que produzca el peso de dicho equipo.

**Pasillos, escaleras y subniveles**

Se aplicarán 500 kg/m<sup>2</sup>

**Carga de tuberías para izaje de superestructura**

**En un análisis preliminar se utilizarán las cargas siguientes:**

Cubierta de perforación	100 kg/ m <sup>2</sup>
Cubierta de producción	175 kg/ m <sup>2</sup>

**Carga de equipo**

Se utilizará para diseño el peso de un equipo de perforación rehabilitado de 5500 toneladas nominales.

**Cargas de viento y factores de forma**

El análisis en sitio de la plataforma integrada, incluyendo cimentación, subestructura y superestructura, se basará en una velocidad de viento promedio de una hora y se utilizará un factor de forma de 1.0.



Se utilizará un factor de forma de 1.5 para las áreas planas de paquetes individuales. En el caso de elementos tubulares individuales se utilizará un factor de forma de 0.50.

**Factores de diseño**

**Factores de incremento de esfuerzos**

Condición de análisis	Factor incremento de esfuerzos
Tormenta en sitio	1.33
Operación en sitio	1.00
Carga a la barcaza	1.00
Transportación	1.33
Estabilidad de la subestructura antes del hincado de pilotes	1.33 con oleaje y corriente
Izaje costa afuera	1.00 bajo carga vertical únicamente.
Sismo	1.70

**Factores de seguridad**

Condición de análisis	Factor de seguridad mínimo
Tormenta en sitio (pilotes)	1.50
Operación en sitio (pilotes)	2.00
Presión hidrostática en condiciones de tormenta.	Debe cumplir con la sección 3.3.5-2 del api rp 2a-wsd.
Presión hidrostática en condiciones de operación	Debe cumplir con la sección 3.3.5-1 del api rp 2a-wsd.
Presión hidrostática en posicionamiento vertical	Debe cumplir con la sección 3.3.5-1 del api rp 2a-wsd.
Orejas	2.0
Eslingas de izaje	4.0
Grilletes	3.0

**Factores de contingencia**

Tomarán en consideración la incertidumbre en la evaluación del peso de la estructura, del equipo y/o la variación de la localización del centro de gravedad.

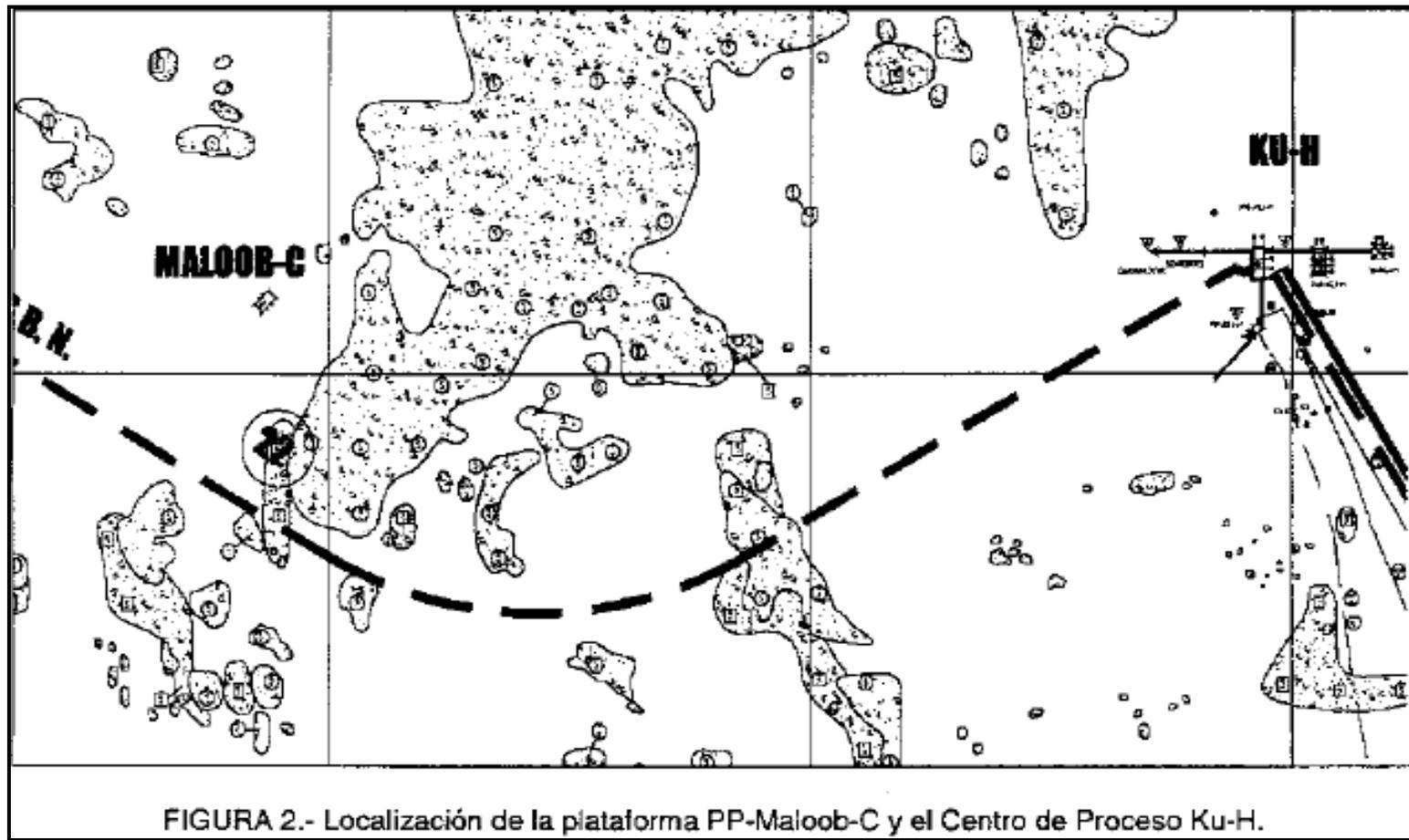
Carga	Factor de contingencia (%)
Estructura	10
Equipo	20
Tubería	20

**Factor de amplificación dinámica (fad)**

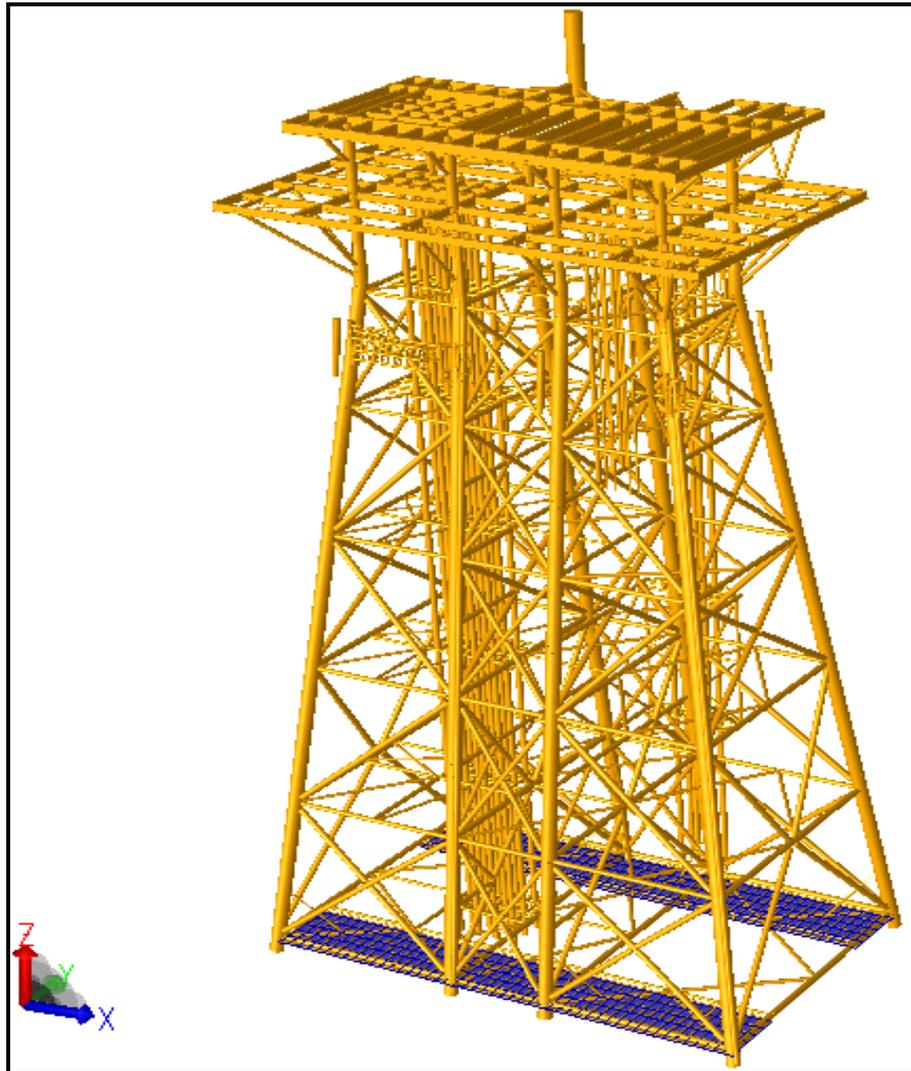
El factor de amplificación dinámica de carga aplica para la condición de izajes costa afuera, de acuerdo con lo establecido en la sección 2.4.2c, de la referencia 15.1.

Fad	Revisión de esfuerzos
2.0	Elementos estructurales y juntas tubulares que conectan directamente con los elementos de izaje.
1.35	Elementos estructurales y juntas tubulares que <b>no</b> conectan directamente con los elementos de izaje.

Previo al izaje de la superestructura se deberá verificar que todos los equipos y tuberías se encuentren vacíos.



VI.2 Anexo A2 “Modelo para Análisis en Sitio”



**FACTORES DE DISEÑO**

**Factores de contingencia**

Componente	Factor de contingencia
Estructura	10%
Equipo y tuberías	20%

**Factores de esfuerzos permisibles**

Condición de análisis	Factor incremento de esfuerzos
Tormenta en sitio	1.33
Operación en sitio	1.00



**Factores de seguridad en pilotes**

Condición de análisis	Factor de seguridad
Tormenta en sitio (pilotes)	1.50
Operación en sitio (pilotes)	2.00

**Cargas gravitacionales consideradas**

Descripción	Carga (Ton)	Factor de Contingencia	Carga total (Ton)
Peso propio-Flotación + Crecimiento Marino	-4,124.03	10%	-4,536.43
Cubierta superior, carga muerta	-178.49	10%	-196.34
Cubierta superior, carga viva	-395.04		-395.04
Cubierta superior, carga de tubería	-156.93	20%	-188.32
Cubierta superior, carga de equipo en operación	-4,491.58		-4,491.58
Cubierta inferior, carga muerta	-331.68	10%	-364.85
Cubierta inferior, carga viva	-841.33		-841.33
Cubierta inferior, carga de tubería	-477.91	20%	-573.49
Cubierta inferior, carga de equipo	-453.36	20%	-544.02
Cubierta superior, torre en operación, posición 1	-629.66		-629.66
Subestructura, accesorios	-93.13	10%	-102.44
Superestructura, accesorios	-74.32	10%	-81.75
		<b>Total</b>	<b>-12,945.25</b>

**Subestructura, desglose de pesos de accesorios**

DESCRIPCIÓN	CARGA (KG)
Ánodos (290 pzas)	-68,150.00
Cuna, madera	+1,130.87
Cuna, acero	-1,938.635
Pasillos	-13,886.507
Orejas de arrastre y lanzamiento	-1,303.00
Orejas de posicionamiento vertical	-4,652.00
Sistema de inundación	-4,329.718
	<b>TOTAL</b>
	<b>-93,129</b>

**Superestructura, desglose de pesos de accesorios**

DESCRIPCIÓN	CARGA (KG)
Muro contra incendio	-15,579.09
Conos de acoplamiento	-4,685.20
Orejas de izaje de superestructura	-6,776.0
Tapa de columna	-4,888.0
Apoyo de grúa	-2,074.0
Anillo de pedestal	-2,400.0
Placas estrella	-15,208.0
Mensuras de columnas	-10,272.0
Escalera eje A	-5,826.0
Escalera eje B	-5,826.0
Tapa pedestal	-783.00
	<b>TOTAL</b>
	<b>-74,317</b>

VI.3 Anexo A3 “Modelo para Análisis de Carga a la Barcaza”

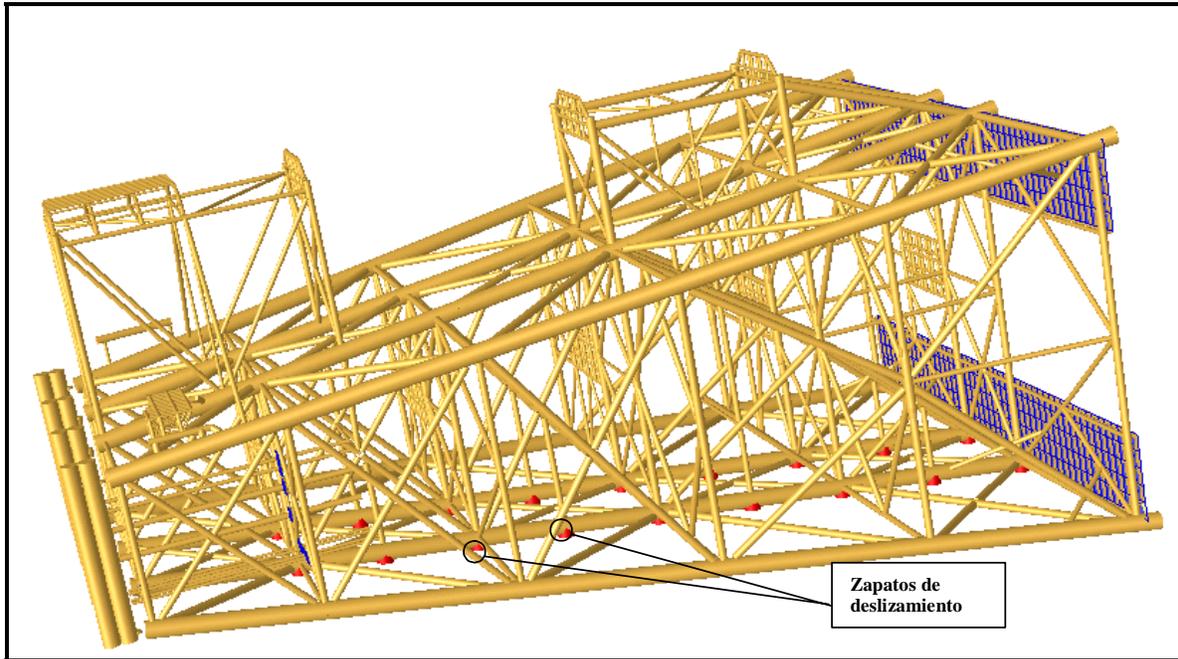


Fig. A3.1 Modelo Geométrico de la subestructura de la plataforma de perforación MALOOB-C para el análisis de carga a la barcaza De acuerdo con la sección 2.4 del API- RP 2A [R.6.8].

**FACTORES DE DISEÑO**

**Factores de contingencia**

Componente	Factor de Contingencia
Peso propio y accesorios	10%

**Factor de esfuerzos permisibles**

Condición de Análisis	Factor de Incremento de Esfuerzos
Carga a la barcaza	1.00

**SOLICITACIONES**

**Cargas de peso propio modelado**

Descripción	Carga (Ton)	Factor de Contingencia	Carga total (Ton)
Peso propio + tanques de flotación	2,727.48	1.10	3000.23
<b>Total</b>			<b>3000.23</b>



**Cargas de accesorios no modelados**

Descripción	Carga (Kg)
Ánodos	97,507.0
Apoyos de tanques de flotación	10,780.5
Anillos de tanques de flotación	1,503.7
Anillos de colapso global	1,960.0
Anillos de colapso hidrostático	2,800.0
Cuna de deslizamiento	72,978.6
Mesa de estrobos	10,000.0
Orejas de arrastre	1,500.0
Orejas de posicionamiento vertical	4,652.0
Pasillos	13,884.5
Sistema de inundación	4,982.0
Tapas inferiores de piernas	2,600.0
Tapas superiores de piernas	6,400.0
Tapas de tanques de flotación	6,460.0
Tazones, guías de conductores	9,600.0
Concreto de atracadero	10,480.4
Acero de "rubstrip" de atracadero	8,192.5
Hule de "rubstrip" de atracadero	1,948.4
Eslingas de posicionamiento vertical (8½")	14,728.0
Grilletes de posicionamiento vertical	2,400.0
<b>TOTAL</b>	<b>285,357.5</b>

**Peso total de carga**

Descripción	Carga (Ton)	Factor	Carga Total (Ton)
Peso propio	2,727.48	1.10	3000.23
Cargas adicionales	285.36	1.10	313.89
<b>Total</b>	<b>3,012.84</b>		<b>3,314.12</b>

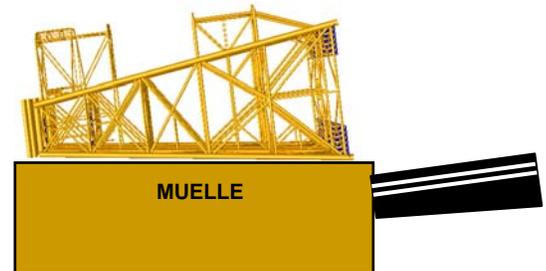
**Secuencia de carga de la subestructura**

A continuación se presenta esta secuencia para la que se determinaron 15 casos para el análisis de [carga a la barcaza](#).

### Etapa de Carga 0

**Estructura en el muelle.** Posición de la estructura antes de iniciar la maniobra de carga a la barcaza. El modelo de subestructura se encuentra recostada sobre el eje A y totalmente apoyada en el muelle, en este paso los apoyos de la subestructura se localizan entre las piernas de la subestructura y la viga de deslizamiento formando un marco de arrastre, se modelaron 18 apoyos en las piernas de los ejes A2 y A3 entre las elevaciones (-) 8.50m y la elevación (-) 82.0m, las cargas modeladas son el peso propio (incluyendo la estructura adosada) y los accesorios no modelados, es decir las cargas gravitacionales de la estructura sin equipos ni tuberías instaladas

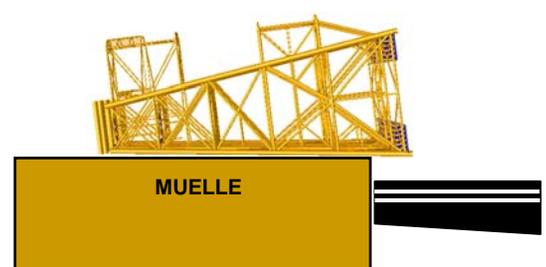
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 1A

Comienza el arrastre jalando la estructura con el sistema de remolque instalado, hasta un punto en el que existe contacto entre la estructura y la barcaza sin embargo en ese paso la estructura puede quedar en la posición llamada **estructura en voladizo**. Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M, -25.500M, -43.500M y -62.500M se encuentran apoyados en patio. Los apoyos de la planta de arriostamiento horizontal -82.00M se encuentran en voladizo (libres). Se asume que el lastre de la barcaza no permite contacto entre estructura y embarcación. El modelo analítico sufre una modificación dejando libres los apoyos del nivel -82.00 m en los A2 y A3 dejando que la estructura muestre su deformación a la hora de calcular la posición (corrida).

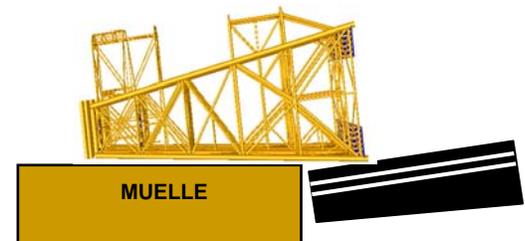
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 1B

En esta etapa se asume por contingencia una fuerza vertical ascendente producida por la barcaza a la estructura a través de los primeros apoyos de contacto. El marco de arrastre se debe modelar permitiendo que sus elementos solo tomen fuerzas de compresión sin tomar fuerzas de tensión. La estructura puede perder apoyos en esta condición, quedando la **estructura apoyada en patio y sobre barcaza**. Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M, -25.500M, -43.500M y -62.500M se encuentran apoyados en patio y -82.00m en la barcaza. El arreglo del modelo analítico se modifica quitando los apoyos de la -62.500M y proponiendo un desplazamiento ascendente (el programa calcula las fuerzas en los apoyos restantes correspondientes al desplazamiento propuesto) en los apoyos de la -82.00m; una vez corrido el programa se observan tensiones en los apoyos; éstos se quitan dejando solo apoyos de compresión, El análisis termina cuando se llega a tener un adecuado comportamiento estructural tanto en juntas como en elementos.

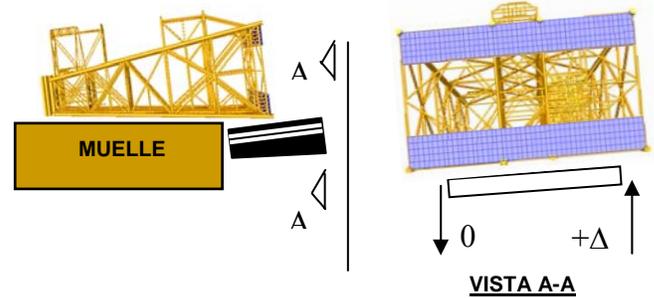
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 1C

Adicionalmente con esa misma posición la barcaza experimenta giros con respecto al eje transversal de la barcaza lo que significa que algunos apoyos se levantan. **Estructura apoyada en patio y sobre barcaza con giro.** Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M, -25.500M, -43.500M y -62.500M se encuentran apoyados en patio. Se consideran desplazamientos en sentido babor - estribor (sube en babor – baja en estribor, es decir sube en derecha y baja en la izquierda de la embarcación).

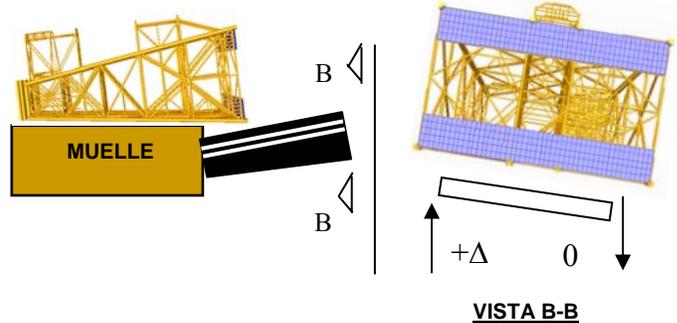
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 1D

Adicionalmente con esa misma posición la barcaza experimenta giros con respecto al eje transversal de la barcaza lo que significa que algunos apoyos se levantan. **Estructura apoyada en patio y sobre barcaza con giro.** Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M, -25.500M, -43.500M y -62.500M se encuentran apoyados en patio. Se consideran desplazamientos en sentido babor - estribor (sube en estribor – baja en babor, es decir sube en izquierda y baja en la derecha de la embarcación).

### Vista de la Estructura

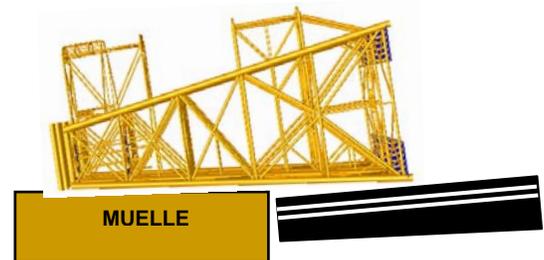


### Etapa de Carga 2A

**Estructura apoyada en patio y sobre barcaza.** Los apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M, -25.500M y -43.500M se encuentran apoyados en patio. Se acepta que por contingencia la barcaza se desplaza verticalmente, en sentido ascendente, Se aplican desplazamientos verticales en sentido ascendente en los apoyos de la planta de arriostamiento (-) 82.00M. La estructura pierde contacto en la planta de arriostamiento del nivel (-) 43.500M.

Al igual que todas las etapas, los apoyos se modifican de acuerdo a la etapa de arrastre hasta que los apoyos estén completamente a compresión y los elementos se comporten de una manera aceptable con desplazamientos propuestos y adecuados para la maniobra de carga.

### Vista de la Estructura

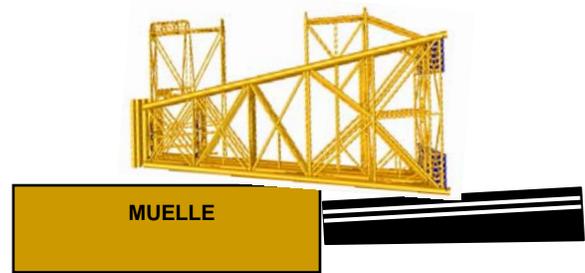


### Etapa de Carga 2B

**Estructura apoyada en patio y sobre barcaza.** Los apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal - 8.500M, -25.500M y -43.500M se encuentran apoyados en patio. Se acepta, que por contingencia la barcaza se desplaza verticalmente, en sentido descendente y la estructura sigue a la barcaza, los apoyos del eje 1 se soportan sobre de la cubierta de la barcaza.

Al igual que todas las etapas los apoyos se modifican de acuerdo a la etapa de arrastre hasta que los apoyos estén completamente a compresión y los elementos se comporten de una manera aceptable con desplazamientos propuestos y adecuados para la maniobra de carga.

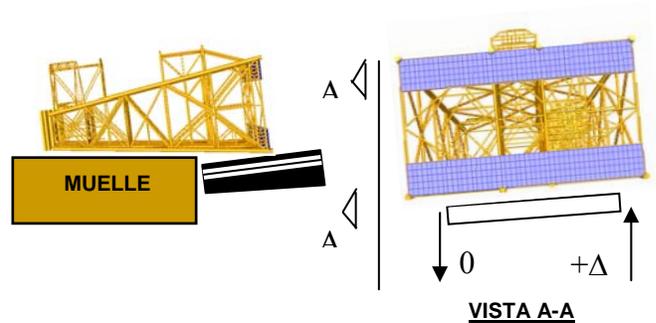
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 2C

**Estructura apoyada en patio y sobre barcaza.** Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M, -25.500M y -43.500M se encuentran apoyados en patio. Se consideran desplazamientos en sentido babor - estribor (sube en babor – baja en estribor).

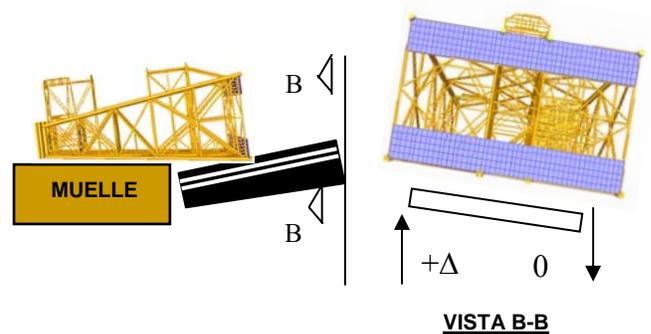
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 2D

**Estructura apoyada en patio y sobre barcaza.** Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M, -25.500M y -43.500M se encuentran apoyados en patio. Se consideran desplazamientos en sentido estribor - babor (sube en estribor – baja en babor).

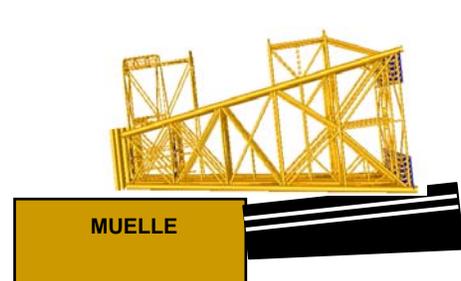
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 3A

**Estructura apoyada en patio y sobre barcaza.** Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M y - 25.500M se encuentran apoyados en patio. Se acepta que por contingencia la barcaza se desplaza verticalmente, en sentido ascendente, Se aplican desplazamientos verticales en sentido ascendente en los apoyos de la planta de arriostamiento (-) 82.00M. La estructura pierde contacto en las plantas de arriostamiento interiores

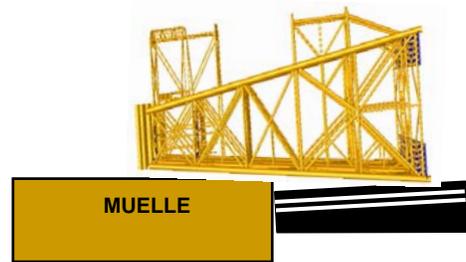
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 3B

**Estructura apoyada en patio y sobre barcaza.** Los apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M y -25.500M se encuentran apoyados en patio. Se acepta, que por contingencia la barcaza se desplaza verticalmente, en sentido descendente y la estructura sigue a la barcaza, los apoyos del eje 1 se soportan sobre de la cubierta de la barcaza

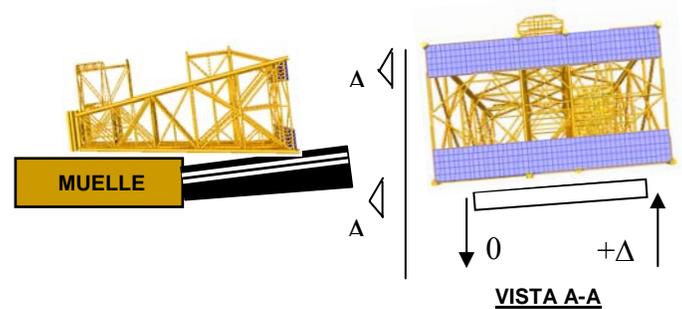
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 3C

**Estructura apoyada en patio y sobre barcaza.** Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M y -25.500M se encuentran apoyados en patio. Se consideran desplazamientos en sentido babor - estribor (sube en babor - baja en estribor).

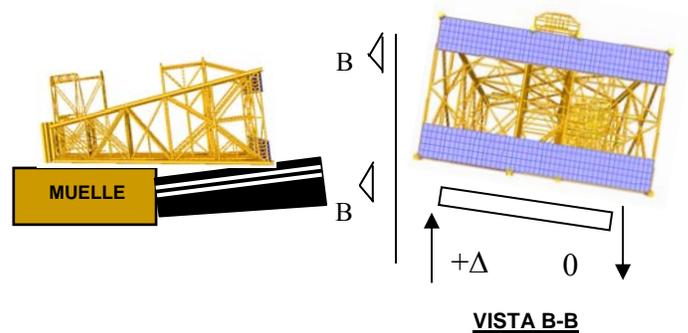
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 3D

**Estructura apoyada en patio y sobre barcaza.** Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -8.500M y -25.500M se encuentran apoyados en patio. Se consideran desplazamientos en sentido estribor - babor (sube en estribor - babor).

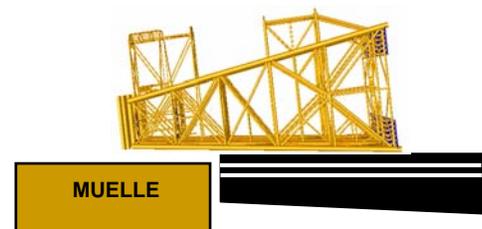
### Vista de la Estructura



### Etapa de Carga 4A

**Estructura en voladizo al final de la maniobra.** Lo apoyos de las plantas de arriostamiento horizontal -43.500M, -62.500M y -82.00M se encuentran apoyados sobre de cubierta de la barcaza. Los apoyos de la planta de arriostamiento horizontal -8.500M se encuentran en voladizo (libres). Se asume que el lastre de la barcaza no permite contacto entre estructura y traveses correderas de patio

### Vista de la Estructura

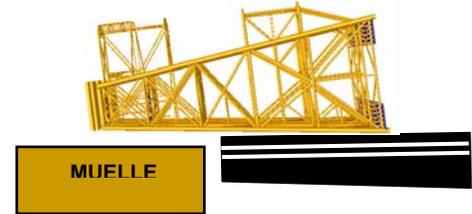




ETAPA DE CARGA 4B

VISTA DE LA ESTRUCTURA

**Estructura como viga simplemente apoyada.** En patio, la estructura se apoya en la planta de arriostamiento de la elevación -8.500M. En la barcaza, la estructura se apoya en las plantas de arriostamiento de las elevaciones -65.500M y -82.00M.



A continuación se presenta el archivo de entrada para el análisis en patio de carga a la barcaza.

**Archivo de entrada de la estructura Maloob – C en la etapa cero (en patio para el Método paso a paso**

**\*\*\*// Se determina los parámetros físicos como la densidad del agua y material, altura de la línea de lodos, la dirección vertical, sistema coordinado, sistema de unidades, y archivos de reporte o salida que se requieran //\*\*\***

```
LDOPT      NF+Z1.02837 7.85      0.00      0.00GLOBME      MPT
OPTIONS    ME  PI  SDUC  2 2      PTPPTPTPT      PT
```

**\*\*// Se hace la declaración de las combinaciones de carga que se quieran generar //\*\*\***

```
LCSEL GP      3
```

**\*\*\*// Se definen rangos para los reportes de las relaciones de interacción de carga //\*\*\***

```
UCPART      .5  .8  .8  1.0  1.0
```

**\*\*\*// Aquí se determinan las características geométricas de los elementos que conforman a la estructura, definidos por grupos y secciones //\*\*\***

```
SECT
SECT CONE1      CON      91.44  2.54  76.2
GRUP
GRUP 12A      32.385.952  2039.815.72532. 1      1.0  1.0      .5  N7.849
GRUP 12B      32.3851.6967  2039.815.72532. 1      1.0  1.0      .5  N7.849
.....
.....
.....
GRUP TAN      152.4  .952  2039.815.72532. 1      1.0  1.0      .5  N7.849
GRUP W14 W14X22  2039.815.72532. 9      1.0  1.0      N7.849
GRUP W8 W8X21      2039.815.72532. 9      1.0  1.0      N7.849
```

**\*\*\*// La ubicación de los nodos y elementos (placas, tubos, etc.)Se determinan aquí de acuerdo aun sistema global o local de la estructura; para el caso de los elementos se generan los detalles como alargar ó acortar los elementos de acuerdo a su configuración estructural y con respecto a sus nodos también se presentan las condiciones de frontera (liberaciones y restricciones de los nodos) //\*\*\***

```
MEMBER
MEMBER119681973 12A      .9  1.8
MEMBER OFFSETS      6.0591-33.02-48.47-1.4439.88  11.54
.....
.....
MEMBER164486079 W8
MEMBER OFFSETS      6.8814-.3E-6.860186.8814-.3E-6.86018
PGRUP
PGRUP PLB .64  2039.0.3  2532.0      7.849
PGRUP PLC 1.27  2039.0.3  2532.0      7.849
PLATE
PLATE A336 6354635563636364PLB      1
PLATE OFFSETS      17.315-.8E-62.164417.315-.8E-62.1644
PLATE OFFSETS      17.315-.8E-62.164417.315-.8E-62.1644
```

```

.....
.....
.....
PLATE A493 111738891118 PLC 0
PLATE A494 388911161118 PLC 0
PLATE A495 111511163889 PLC 0
JOINT
JOINT 3 50.002729.708 .99953
JOINT 5 -35.37419.247 8.7568
.....
.....
.....
JOINT U27M 6.6018 .00905820.7494
JOINT U27N 8.2623 .0089757.4657

```

\*\*\*// La generación de cargas se muestra en esta sección la cual se registrar como condiciones, la generación del peso propio y la carga de los accesorios no modelados se registran como cargas básicas//\*\*\*

```

LOAD
LOADCN 1
LOADLB 1PESO PROPIO
DEAD
DEAD -Z M
LOADCN 2
LOADLB 2PESO DE ACCESORIOS
LOAD 701 GLOB JOIN SIS-INUN -138.39
LOAD 719 GLOB JOIN SIS-INUN -138.39
LOAD 501 GLOB JOIN SIS-INUN -138.39
.....
.....
.....
LOAD Z 20041187 3.048 -3682.0 GLOB CONC SLINGAS
LOAD Z 20043937 3.02 -3682.0 GLOB CONC SLINGAS

```

\*\*\*//de acuerdo a las condiciones de cargas básicas se hacen las combinaciones con sus factores de contingencia, también se establece un nombre a la combinación la cual se registra en líneas arriba de este archivo //\*\*\*

```

LCOMB
LCOMB 3 11.1 21.1

```

\*\*\*// Fin del archivo/ \*\*\* END

#### VI.4 Anexo A4 “Modelo para Análisis de transportación”

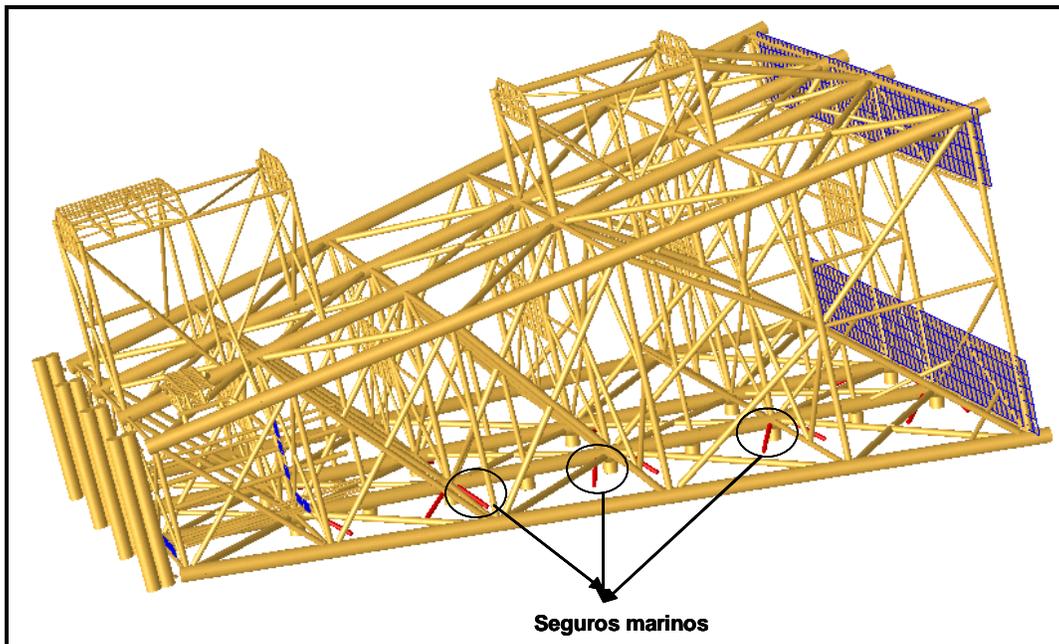


Fig. A4.1 Modelo Geométrico de la Subestructura de la plataforma de perforación MALOOB-C para el análisis de Transportación



## FACTORES DE DISEÑO

De acuerdo con la sección 2.4 del API- RP 2A (ver referencias).

### Factores de contingencia

Componente	Factor de Contingencia
Subestructura y accesorios	1.10

### Factor de esfuerzos permisibles

Condición de Análisis	Factor De Incremento de Esfuerzos
Transportación	1.33

## SOLICITACIONES

### Cargas de peso propio modelado

Descripción	Carga (Ton)	Factor de Contingencia	Carga total (Ton)
Peso propio (modelado)	2,764.53	1.10	3,040.98

### Cargas de accesorios no modelados

Descripción	Carga (Kg)
Ánodos	97,507.0
Apoyos de tanques de flotación	10,780.5
Anillos de tanques de flotación	1,503.7
Anillos de colapso global	1,960.0
Anillos de colapso hidrostático	2,800.0
Cuna de deslizamiento	72,978.6
Mesa de estrobos	10,000.0
Orejas de arrastre	1,500.0
Orejas de posicionamiento vertical	4,652.0
Pasillos	13,884.5
Sistema de inundación	4,982.0
Tapas inferiores de piernas	2,600.0
Tapas superiores de piernas	6,400.0
Tapas de tanques de flotación	6,460.0
Tazones, guías de conductores	9,600.0
Concreto de atracadero	10,480.4
Acero de "rubstrip" de atracadero	8,192.5
Hule de "rubstrip" de atracadero	1,948.4
Eslingas de posicionamiento vertical (8½")	14,728.0
Grilletes de posicionamiento vertical	2,400.0
	<b>TOTAL 285,357.5</b>



**Peso total de la transportación**

Descripción	Carga (Ton)	Factor	Carga Total (Ton)
Peso propio	2,764.53	1.10	3,040.98
Cargas adicionales	285.36	1.10	313.90
<b>Total</b>	<b>3,049.89</b>		<b>3,354.88</b>

\* El peso propio incluye 26.10 TM de seguros marinos

**Criterios y consideraciones de diseño**

En este análisis se emplean valores de movimientos estándar, definidos en la sección, “Criterios de Diseño”.

[R 6.5] A continuación se presentan las combinaciones analizadas.

COMBINACION	MOVIMIENTO PREESTABLECIDO			PERIODO
	BALANCEO (Roll = °)	CABECEO (Pitch = °)	SUSTENTACION (Heave = g)	
1 (+P+H)		12.5	1.25	10
2 (+P-H)		12.5	-1.25	10
3 (-P+H)		-12.5	1.25	10
4 (-P-H)		-12.5	-1.25	10
5 (+R+H)	20		1.25	10
6 (+R-H)	20		-1.25	10
7 (-R+H)	-20		1.25	10
8 (-R-H)	-20		-1.25	10

\*En el movimiento de sustentación está implícito el peso propio de la estructura.

Para la determinación de las fuerzas de inercia, generadas durante la transportación, se emplearán los datos establecidos en la NRF-041-PEMEX-2003, “Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera”, sección A.2, “Consideraciones de análisis y diseño para operaciones de transporte”, del anexo A, “Diseño de la carga”, Tabla A2. Criterio estándar de movimiento para chalanes grandes.

Los parámetros que definen a las barcasas grandes, son:

- 24.4 m < Manga < 36.6 m
- 5.00 m < Puntal < 8.0 m
- 76.0 m < Eslora < 122.0 m

Para la transportación de Maloob-C se utilizarán los datos siguientes:

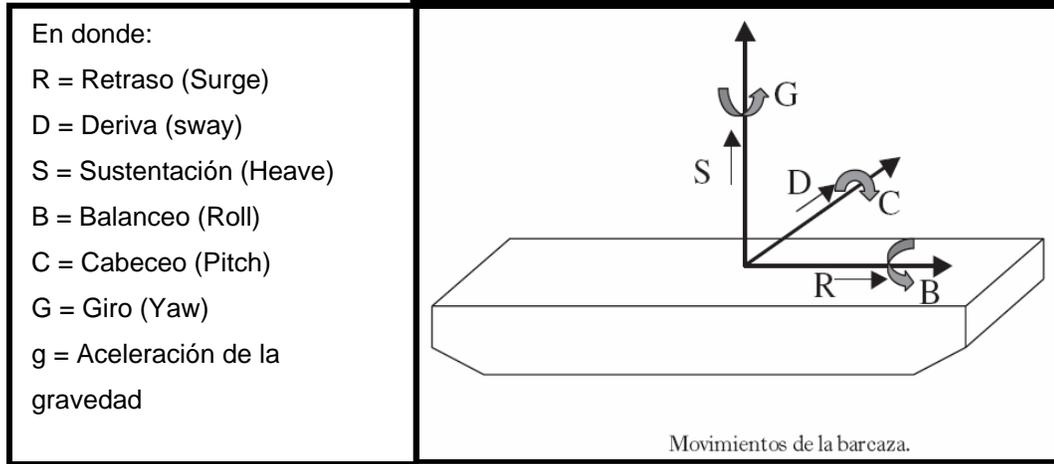


Fig. A4.2 movimientos de la embarcación para la plataforma MALOOB-C para el análisis de Transportación

Movimientos y Características de la Barcaza					
Cabeceo (Pitch) =	12.5 grados	Eslora =	91.44M (300')	Balancín=	15.24M (50')
Balanceo (Roll) =	20.0 grados	Manga =	27.43M (90')	Inclinación =	1%
Periodo en balanceo y cabeceo =	10 segundos	Puntal =	6.096M (20')	Calado =	50% = 3.048M
Fuerza de sustentación =	0.25 g			Corredera =	0.914M (3')

### VI.5 Anexo A5 “Modelo para Análisis de Lanzamiento”

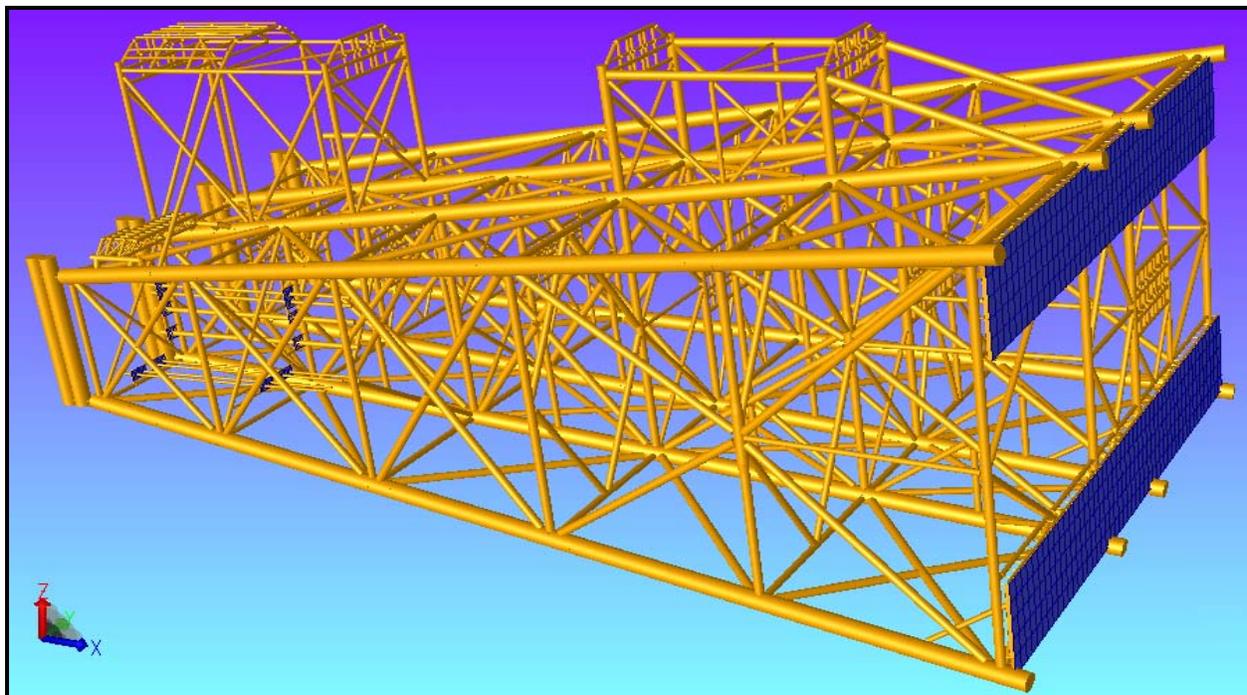


Fig. A5.1 Modelo Geométrico de la Subestructura de la plataforma de perforación MALOOB-C para el análisis de Lanzamiento



## FACTORES DE DISEÑO

### Factores de contingencia

Componente	Factor de contingencia
Estructura	10%

### Factores de incremento de esfuerzos permisibles

Condición de análisis	Factor incremento de esfuerzos
Lanzamiento	1.00

## SOLICITACIONES

### Cargas gravitacionales consideradas

Descripción	Carga (Ton)	Factor de Contingencia	Carga total (Ton)
Peso propio	2728.2	1.1	3001.0
Subestructura, accesorios	285.3	1.1	313.8
		<b>Total</b>	<b>3314.8</b>

### Subestructura, desglose de pesos de accesorios

Descripción	Carga (kg)
Ánodos (267 pzas)	97455
Cuna, madera	45383
Cuna, acero	27598
Pasillos	13889
Orejas de arrastre	1500
Orejas de izaje	4652
Guías de conductores	9600
Mesa de estrobos	10000
Apoyos para tanques de flotación	10780
Tapas de tanques de flotación	6460
Anillos de tanques de flotación	1503
Sistema de inundación	4982
Tapas superiores	6400
Tapas inferiores	2600
Refuerzo en juntas	1960
Anillos de colapso hidrostático	2800
Concreto de atracadero	10480
Acero de rubstrip de atracadero	8192
Hule de rubstrip de atracadero	1948
Grilletes (posicionamiento vertical)	2400
Grommet (posicionamiento vertical)	14728
	<b>TOTAL</b>
	<b>285310</b>



**Subestructura, factores de flotación de accesorios**

Descripción	Carga (kg)
Ánodos (267 pzas)	0.380
Cuna, madera	1.025
Cuna, acero	0.937
Pasillos	0.131
Orejas de arrastre	0.131
Orejas de izaje	0.131
Guías de conductores	0.131
Mesa de estrobos	0.131
Apoyos para tanques de flotación	0.131
Tapas de tanques de flotación	0.131
Anillos de tanques de flotación	0.131
Sistema de inundación	0.131
Tapas superiores	0.131
Tapas inferiores	0.131
Refuerzo en juntas	0.131
Anillos de colapso hidrostático	0.131
Concreto de atracadero	0.131
Acero de rubstrip de atracadero	0.131
Hule de rubstrip de atracadero	0.131
Grilletes (posicionamiento vertical)	0.131
Grommet (posicionamiento vertical)	0.131

**Criterios y consideraciones de diseño**

A continuación se presenta las consideraciones del análisis de Lanzamiento para Maloob-C de dos barcasas de lanzamiento diferentes:

BARCAZA DE 400FT x 100FT	BARCAZA DE 300FT x 90FT
Coeficiente de fricción dinámica de 0.1.	Coeficiente de fricción dinámica de 0.1.
Calado de lanzamiento de 15 pies (4.572 m).	Calado de lanzamiento de 12 pies (3.658 m).
Trimado de lanzamiento de 4.0°.	Trimado de lanzamiento de 4.0°.
Factor de contingencia para peso propio y accesorios 10%	Factor de contingencia para peso propio y accesorios 10%
Sólo se consideran como inundadas las camisas de bombas.	Sólo se consideran como inundadas las camisas de bombas.
Se considera la fuerza de inundación provocada por los elementos no modelados.	Se considera la fuerza de inundación provocada por los elementos no modelados.
Barcaza de lanzamiento de dimensiones 400 pies X 100 pies X 25 pies (121.92 m X 30.48m 7.620m) de eslora, manga y puntal respectivamente.	Barcaza de lanzamiento de dimensiones 300 pies X 90 pies X 20 pies (121.92 m X 27.432m 6.096m) de eslora, manga y puntal respectivamente.
Altura de trabes correderas 4 pies (1.22 m).	Balancín: Altura del pin = 5 pies 8 5/8 pulgadas (1.743 m), longitud total del balancín = 50 pies (15.24 m).
Balancín: Altura del pin = 7.382 pies (2.25 m), longitud total del balancín = 72.18 pies (22.00 m).	Balancín: Altura del pin = 5 pies 8 5/8 pulgadas (1.743 m), longitud total del balancín = 50 pies (15.24 m).
Tirante para realizar el lanzamiento 82.00 m.	Tirante para realizar el lanzamiento 82.00 m.

### Colapso Hidrostático

La estructura alcanza una profundidad de 31.95 m, en su punto más bajo. En esta condición los tanques de flotación alcanzan la máxima profundidad durante la maniobra de lanzamiento. Los datos de esta posición de lanzamiento fueron obtenidos del archivo de resultados de la trayectoria.

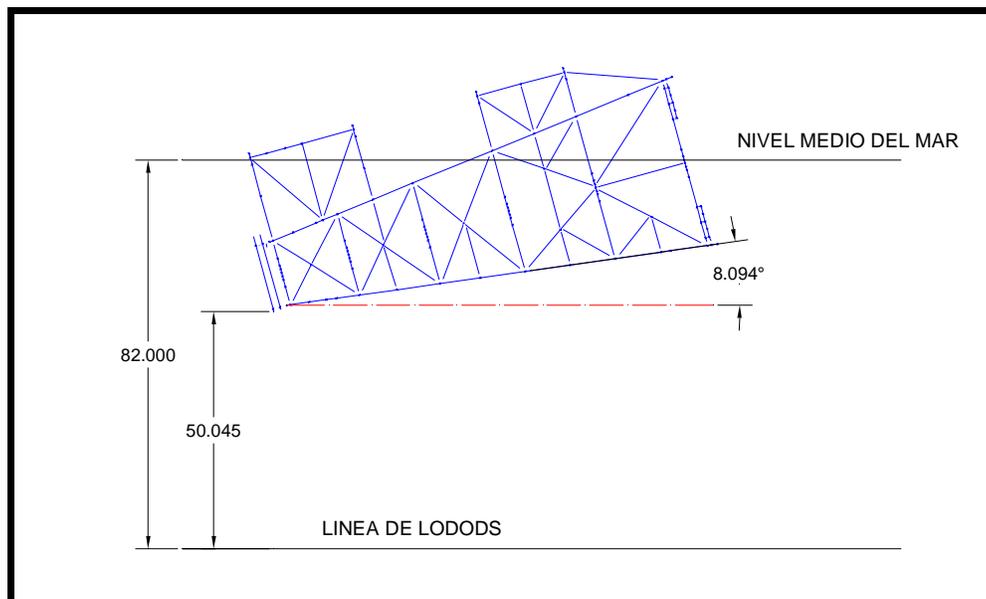


Figura A5.2 Posición 1 para el análisis de colapso hidrostático

VI.6 Anexo A6 “Modelo para Análisis de Posicionamiento Vertical”

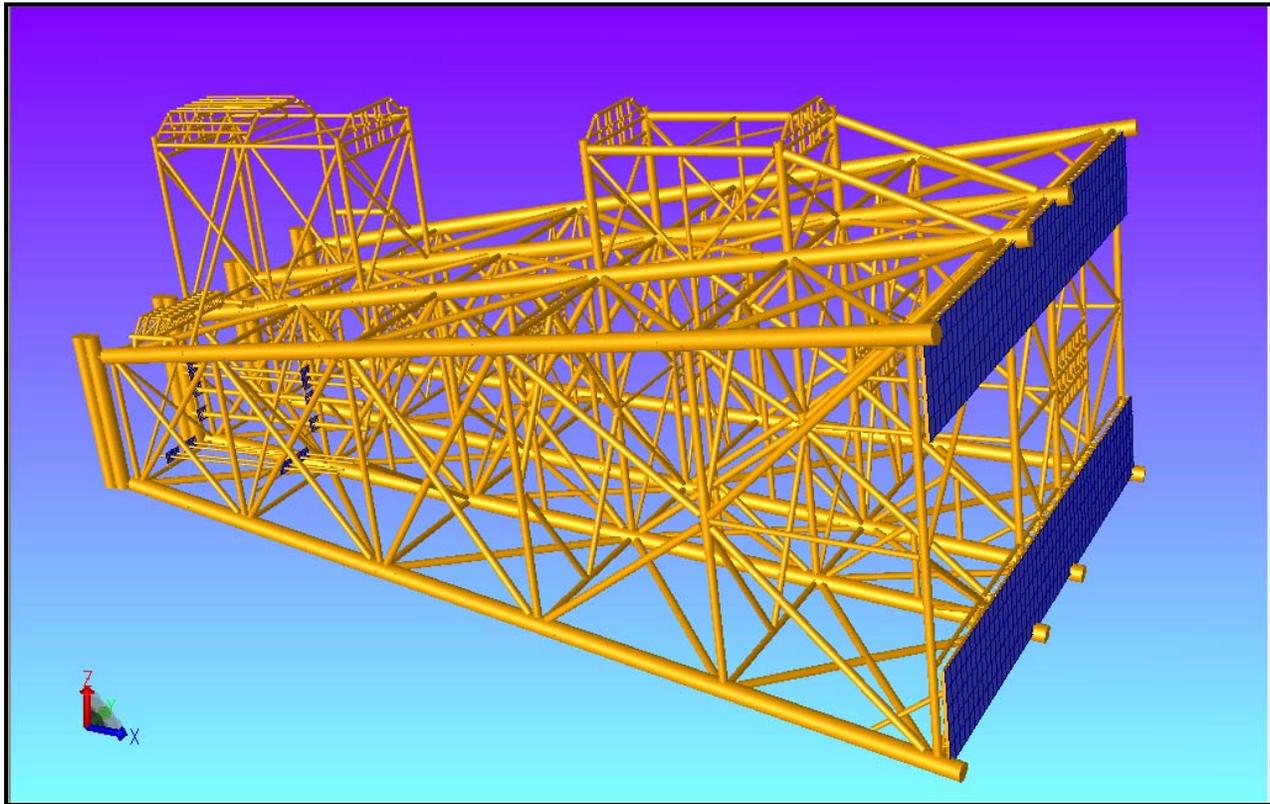


Fig. A6.1 Modelo Geométrico de la Subestructura de la plataforma de perforación MALOOB-C para el análisis de Posicionamiento Vertical

**Factores de diseño**

**Factor de contingencia**

Componente	Factor de contingencia
Estructura	10%

**Factores de incremento de esfuerzos permisibles**

De acuerdo a lo indicado en el APIRP2A, los elementos se revisarán conforme a la siguiente tabla:

Condición de análisis	Factor incremento de esfuerzos
Posicionamiento vertical	1.00

**Factor de amplificación dinámica**

De acuerdo a lo indicado en el APIRP2A, los elementos se revisarán conforme a la siguiente tabla:



Aplicación	Factor de seguridad
Los elementos de izaje y los elementos estructurales (así como ambas juntas) unidos a las conexiones de dichos elementos de izaje, se diseñarán para un factor mínimo de carga de 2.0, aplicado a las cargas estáticas calculadas.	2.00
Todos los elementos estructurales que transmiten fuerzas de izaje, pero que no se conectan directamente a los elementos de izaje, serán diseñados con un factor mínimo de carga de 1.35.	1.35

### Factores de seguridad

De acuerdo a lo indicado en el APIRP2A, los elementos se revisarán conforme a la siguiente tabla:

Componente	Factor de seguridad
Elementos de izaje.	2.0
Cables de izaje Serán seleccionados para cumplir con un factor de seguridad de 4 veces la carga estática.	4.00
Grilletes y accesorios (fittings) Los grilletes serán seleccionados para una carga de trabajo igual o mayor que la carga estática. El factor de seguridad mínimo especificado por el fabricante será de por lo menos de 3.	3.0

VI.7 Anexo A7 “Modelo para Análisis de Estabilidad de Fondo y Placa Base”



Fig. A7.1 Modelo Geométrico de la Subestructura de la plataforma de perforación MALOOB-C para el análisis de Estabilidad en el fondo marino

**Factores de diseño**

De acuerdo con la sección 2.4 del API- RP 2A (ver referencias).

**Factores de contingencia.**

Componente	Factor de Contingencia
Estructura	10%

**Factor de esfuerzos permisibles.**

Condición de Análisis	Factor Incremento de Esfuerzos
Estabilidad durante el hincado	1.00



**Factores de seguridad**

Condición de Análisis	Factor de Seguridad
Cargas gravitacionales.	2.0
Oleaje de instalación.	1.5

**SOLICITACIONES**

**Peso total**

Descripción	Carga (Ton)	Factor de Contingencia	Carga total (Ton)
Peso propio (modelado)-flotación	550.71	1.10	605.78
Carga muerta adicional al peso propio-flotación	90.00	1.10	99.00
		Total	704.78

**Cargas de accesorios no modelados**

DESCRIPCION	CARGA PESO SECO (KG)	CARGA DE FLOTACION (KG)	CARGA APLICADA (KG)
Anodos de sacrificio (162 piezas)	59778	23112	36666
Anillos de colapso global	1140	149	991
Anillos de colapso hidrostático	600	79	521
Orejas de arrastre	1500	197	1303
Orejas de posicionamiento vertical	4652	0	4652
Pasillos en el nivel de mareas (+)6.096	6283	0	6283
Sistema de inundación	2491	688	1803
Tazones, guías de conductores a recuperar 40"	8280	1085	7195
Tazones, guías de conductores en desarrollo 40"	7245	949	6296
Concreto de atracadero	10481	0	10481
Acero de "rubstrip" de atracadero	8192	1073	7119
Hule de "rubstrip" de atracadero	1949	1169	780
Muñones de izaje horizontal	21956	19827	2129
Anillos Muñones	4000	524	3476
Placas centradoras de pilotes	355	47	308
<b>TOTAL</b>	<b>138902</b>	<b>48899</b>	<b>90003</b>

**CARGAS AMBIENTALES**

**Direcciones de análisis**

Se utilizaron los datos de la Norma NRF03 -PEMEX-2000, "Diseño y Evaluación de Plataformas Marinas Fijas en la Sonda de Campeche" y se analizaron las direcciones de incidencia de oleaje: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° y 315°.

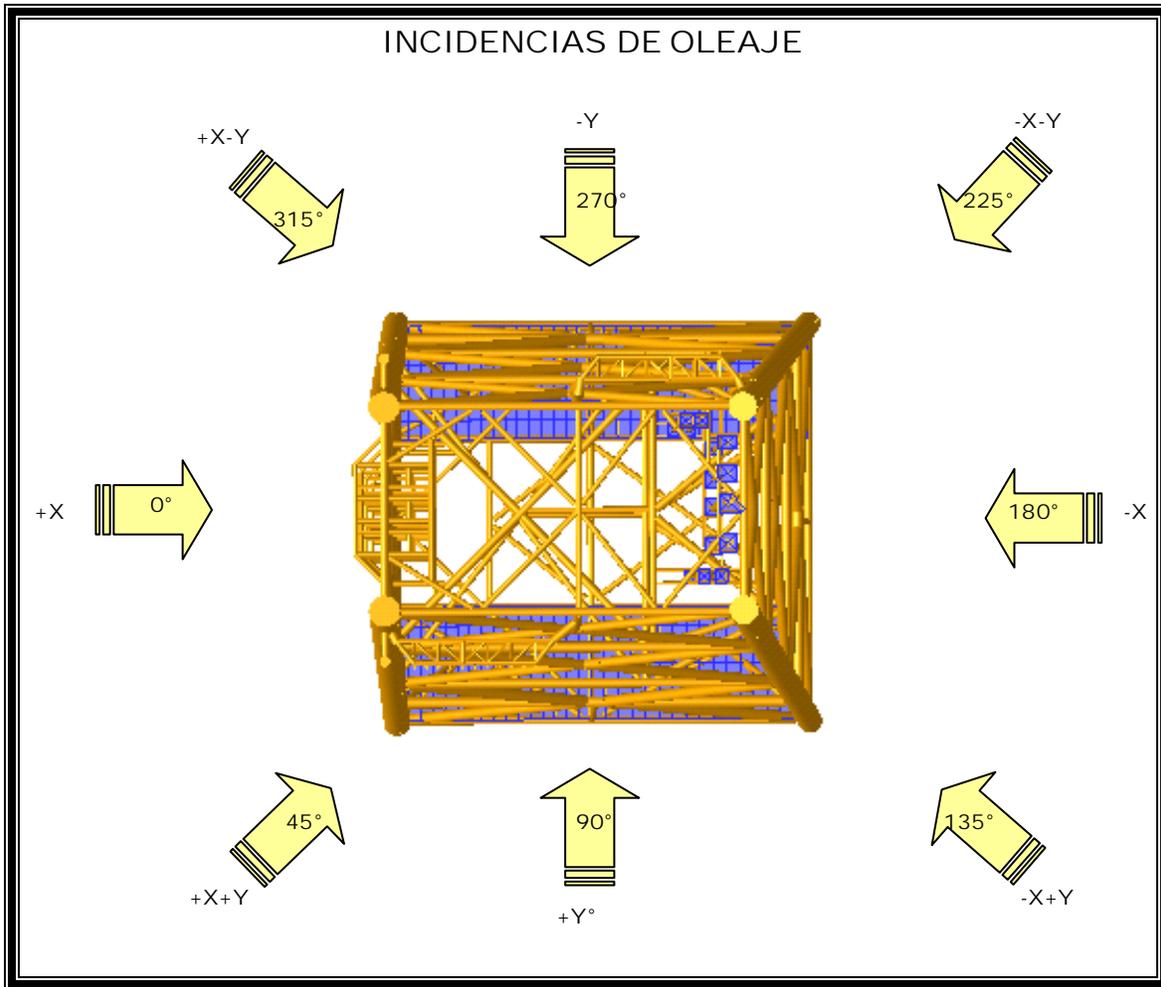


Fig. A7.2 Incidencia de oleaje para la plataforma de perforación MALOOB-C para el análisis de Posicionamiento Vertical

VI.8 Anexo A8 “Modelo para Análisis de Carga de Superestructura”

**FACTORES DE DISEÑO**

De acuerdo con la sección 2.4 del API- RP 2A [R.6.8].

**Factores de contingencia**

Componente	Factor de contingencia
Estructura	10%
Equipo y tuberías	20%



**Factor de esfuerzos permisibles**

Condición de análisis	Factor incremento de esfuerzos
Carga	1.00

**Criterios de diseño**

Para el presente análisis de carga a la barcaza se emplea el criterio basado en desplazamientos relativos máximos permisibles durante la maniobra, considerando que la maniobra de carga se realiza de forma longitudinal a la barcaza.

**SOLICITACIONES**

**Cargas de peso propio modelado**

Descripción	Carga (Ton)	Factor de Contingencia	Carga total (Ton)
Peso propio	944.147	1.10	1038.562
<b>Total</b>			<b>1038.562</b>

**Cargas de accesorios no modelados**

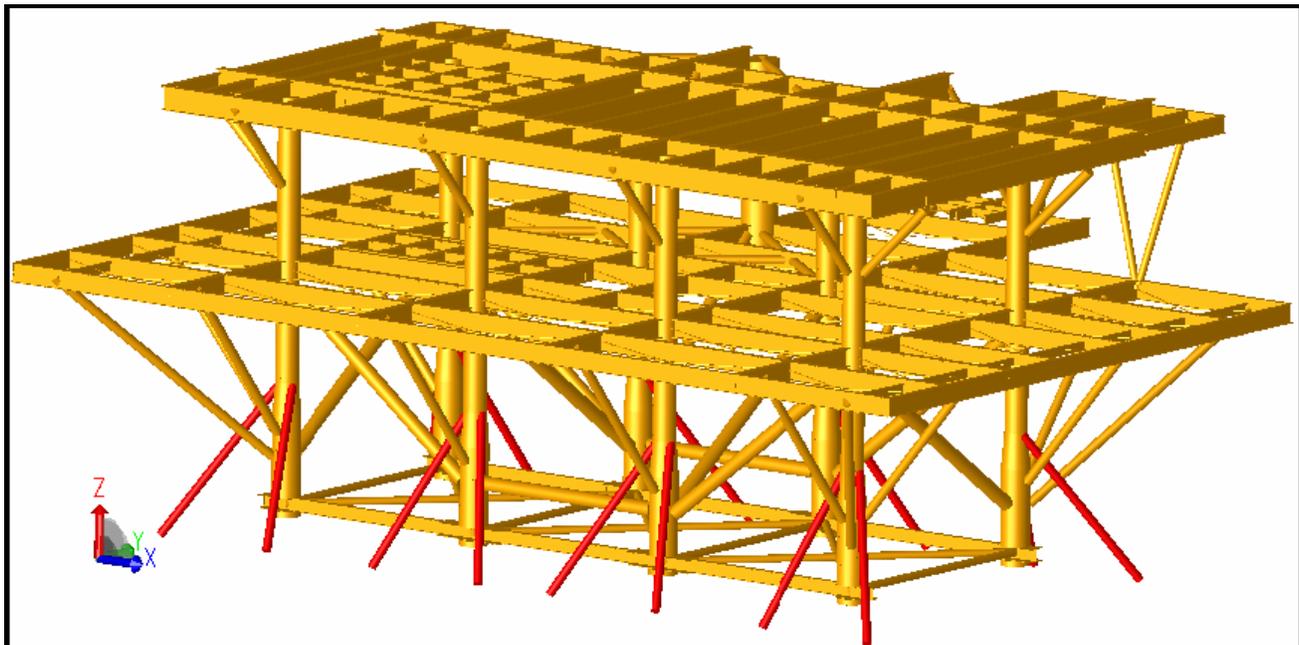
Descripción	Carga (Kg)
Escaleras eje A	11652
Escalera Abatible	4280
Cono de acoplamiento	4685
Placas tapa en columnas	4888
Placas tapa en pedestal	783
Anillos Int. en pedestal	1200
Placa (estrellas en columnas)	15208
Mensulas en columnas	10272
Orejas de izaje	6776
Apoyo de pluma de grúa	2074
Muro contra incendio	15579
<b>TOTAL</b>	<b>77397</b>

**Peso total de carga a la barcaza**

Descripción	Carga (ton)	Factor	Carga total (ton)
Peso propio	944.147	1.10	1038.562
Cargas muerta de sistema de piso	510.228	1.10	561.251
Carga Muerta de accesorios	77.397	1.10	85.137
Carga de tubería	330.122	1.20	396.146
Carga de equipo	86.816	1.20	104.178
<b>Total</b>	<b>1,949.249</b>		<b>2,185.274</b>

Al peso propio se incluye el peso del marco de arrastre.

**VI.9 Anexo A9 “Modelo para Análisis de Transportación de Superestructura”**



**FACTORES DE DISEÑO**

De acuerdo con la sección 2.4 del API- RP 2A [R.6.8].

**Factores de contingencia**

Componente	Factor de contingencia
Estructura	10%
Equipo y tuberías	20%



**Factor de esfuerzos permisibles**

Condición de análisis	Factor incremento de esfuerzos
Transportación	1.33

**Criterios de diseño.**

Para la determinación de las fuerzas de inercia, generadas durante la transportación, se emplearán los datos establecidos en la NRF-041-PEMEX-2003, "Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera", sección A.2, "Consideraciones de análisis y diseño para operaciones de transporte", del anexo A, "Diseño de la carga", Tabla A2. Criterio estándar de movimiento para chalanes grandes.

Los parámetros que definen a las barcasas grandes, son:

- 24.4 m < Manga < 36.6 m
- 5.00 m < Puntal < 8.0 m
- 76.0 m < Eslora < 122.0 m

Para la transportación de Maloob-C se utilizarán los datos siguientes:

Movimientos y Características de la Barcaza					
Cabeceo (Pitch) =	12.5 grados	Eslora =	91.44M (300')	Balancín=	15.24M (50')
Balanceo (Roll) =	20.0 grados	Manga =	27.43M (90')	Inclinación =	1%
Periodo en balanceo y cabeceo =	10 segundos	Puntal =	6.096M (20')	Calado =	50% = 3.048M
Fuerza de sustentación =	0.25 g			Corredera =	0.914M (3')

**SOLICITACIONES**

**Cargas de peso propio modelado**

Descripción	Carga (Ton)	Factor de Contingencia	Carga total (Ton)
Peso propio	947.461	1.10	1,042.207
		<b>Total</b>	<b>1,042.207</b>



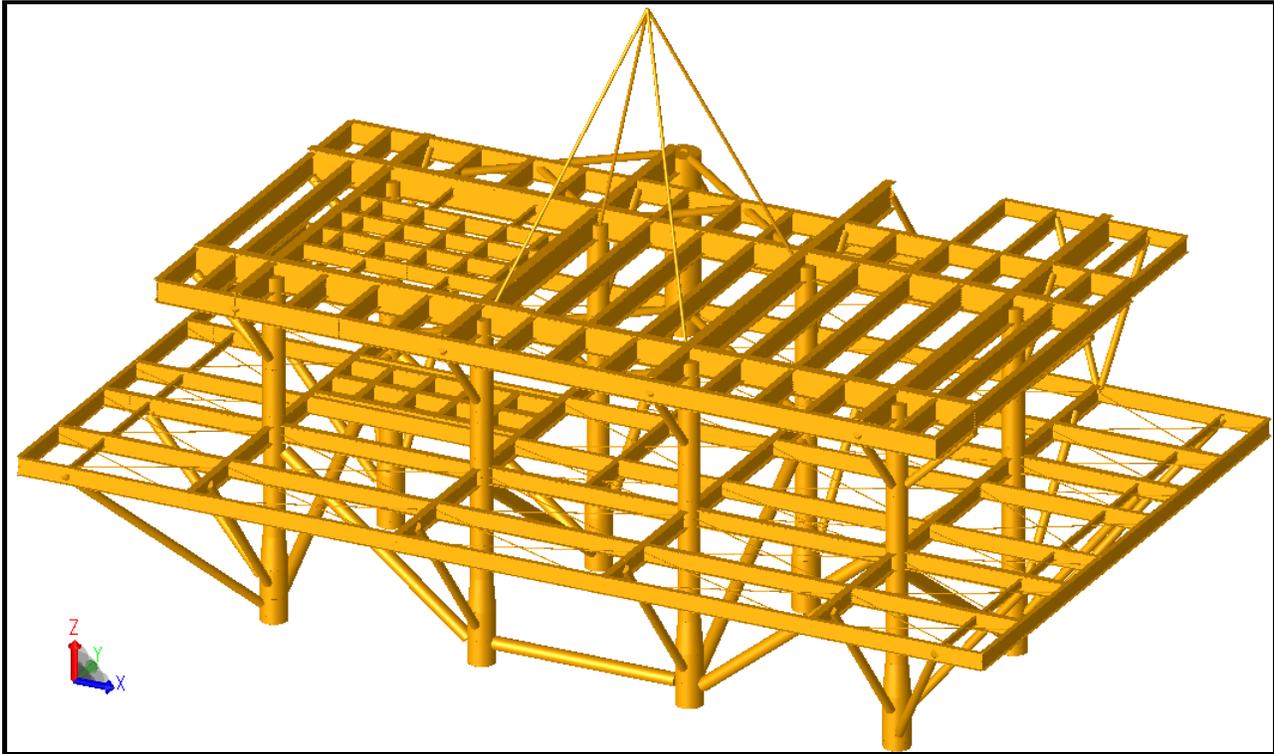
**Cargas de accesorios no modelados**

Descripción	Carga (Kg)
Escaleras eje A	11652
Escalera Abatible	4280
Cono de acoplamiento	4685
Placas tapa en columnas	4888
Placas tapa en pedestal	783
Anillos Int. en pedestal	1200
Placa (estrellas en columnas)	15208
Mensulas en columnas	10272
Orejas de izaje	6776
Apoyo de pluma de grúa	2074
Muro contra incendio	15579
<b>TOTAL</b>	<b>77397</b>

**Peso total de izaje (en el aire)**

Descripción	Carga (ton)	Factor	Carga total (ton)
Peso propio	<b>947.461</b>	1.10	<b>1,042.207</b>
Seguros marinos	<b>21.178</b>	1.00	<b>21.178</b>
Carga Adicionales	<b>78.044</b>	1.10	<b>85.849</b>
Carga Muerta	<b>510.228</b>	1.10	<b>561.251</b>
Carga de tubería	<b>330.121</b>	1.20	<b>396.146</b>
Carga de equipo	<b>86.816</b>	1.20	<b>104.178</b>
<b>Total</b>	<b>1,973.849</b>		<b>2,210.809</b>

VI.10 Anexo A10' "Modelo para Análisis de Izaje de Superestructura"



**FACTORES DE DISEÑO**

De acuerdo con la sección 2.4 del API- RP 2A [R.6.8].

**Factores de contingencia**

Componente	Factor de contingencia
Estructura	10%
Equipo y tuberías	20%

**Factor de esfuerzos permisibles**

Condición de análisis	Factor incremento de esfuerzos
Izare	1.00



**Factor de amplificación dinámica**

Aplicación	Factor de seguridad
Los elementos de izaje y los elementos estructurales (así como ambas juntas) unidos a las conexiones de dichos elementos de izaje, se diseñarán para un factor mínimo de carga de 2.0, aplicado a las cargas estáticas calculadas.	2.00
Todos los elementos estructurales que transmiten fuerzas de izaje, pero que no se conectan directamente a los elementos de izaje, serán diseñados con un factor mínimo de carga de 1.35.	1.35

**Factores de seguridad**

Componente	Factor de seguridad
Elementos de izaje.	2.0
Cables de izaje Serán seleccionados para cumplir con un factor de seguridad de 4 veces la carga estática.	4.00
Grilletes y accesorios (fittings) Los grilletes serán seleccionados para una carga de trabajo igual o mayor que la carga estática. El factor de seguridad mínimo especificado por el fabricante será de por lo menos de 3.	3.0

**SOLICITACIONES**

**Cargas de peso propio modelado**

Descripción	Carga (Ton)	Factor de Contingencia	Carga total (Ton)
Peso propio	877.526	1.10	965.279
<b>Total</b>			<b>965.279</b>



**Cargas de accesorios no modelados**

Descripción	Carga (Kg)
Escaleras eje A	11652
Escalera Abatible	4280
Cono de acoplamiento	4685
Placas tapa en columnas	4888
Placas tapa en pedestal	783
Anillos Int. en pedestal	1200
Placa (estrellas en columnas)	15208
Mensulas en columnas	10272
Orejas de izaje	6776
Apoyo de pluma de grúa	2074
Muro contra incendio	15579
<b>TOTAL</b>	<b>77397</b>

**Peso total de izaje (en el aire)**

Descripción	Carga (ton)	Factor	Carga total (ton)
Peso propio	<b>877.526</b>	1.10	<b>965.278</b>
Cargas adicionales	<b>77.397</b>	1.10	<b>85.137</b>
Carga Muerta	<b>510.228</b>	1.10	<b>561.251</b>
Carga de tubería	<b>330.121</b>	1.20	<b>396.146</b>
Carga de equipo	<b>86.816</b>	1.20	<b>104.178</b>
<b>Total</b>	<b>1,882.088</b>		<b>2,111.990</b>



VI.11 Anexo A12' "Procedimiento para Análisis de Transportación"

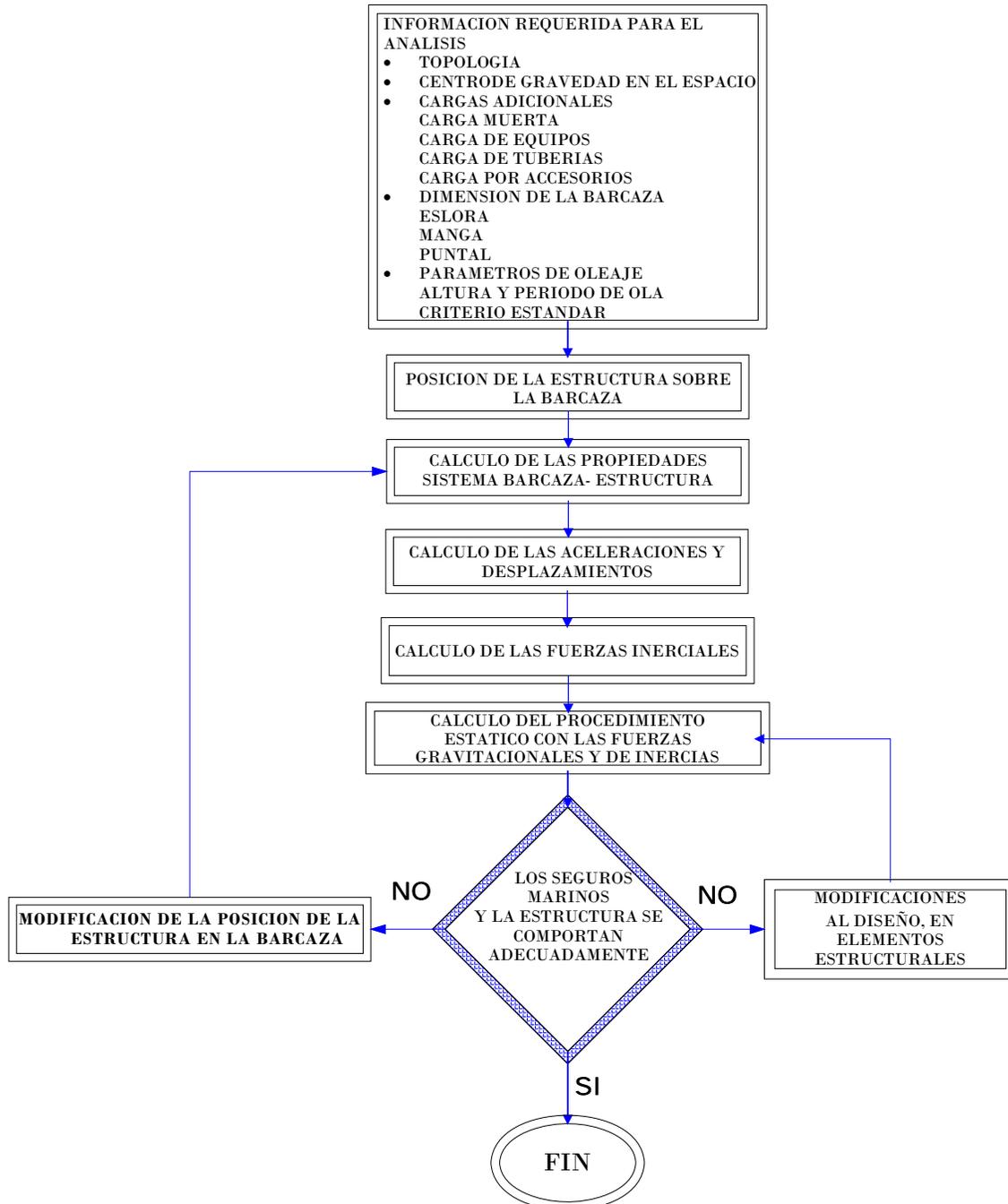


Diagrama A12.1 Diagrama de flujo del análisis de transportación

VI.12 Anexo A13' "Figuras"

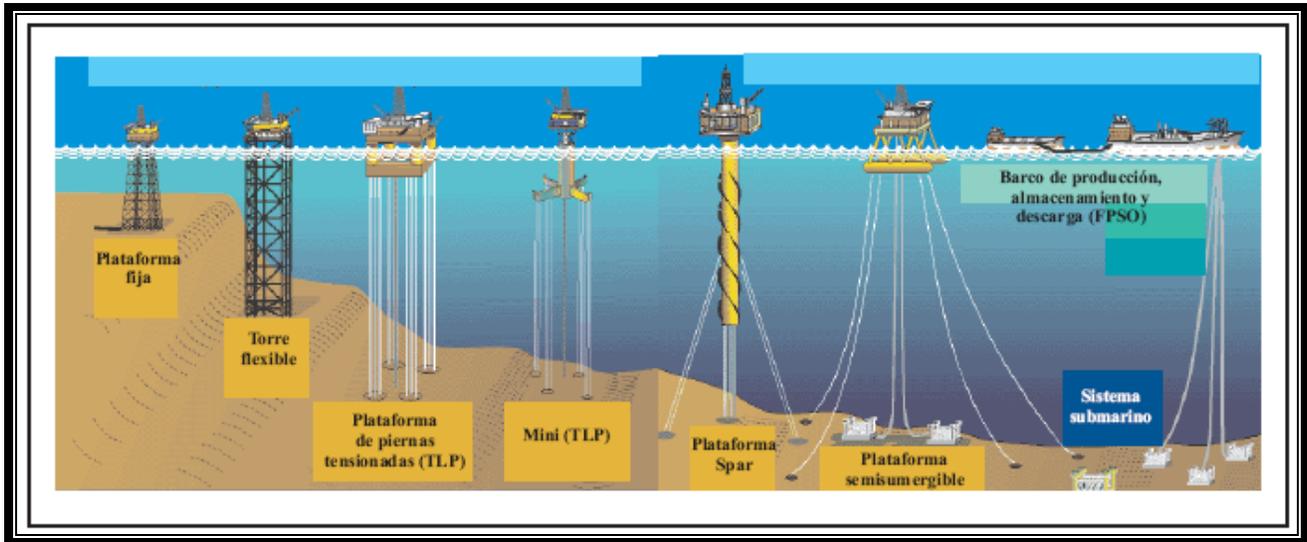


Fig. A13.1 Las diferentes diseños de plataformas existentes



Fig. A13.2 plataforma de concreto

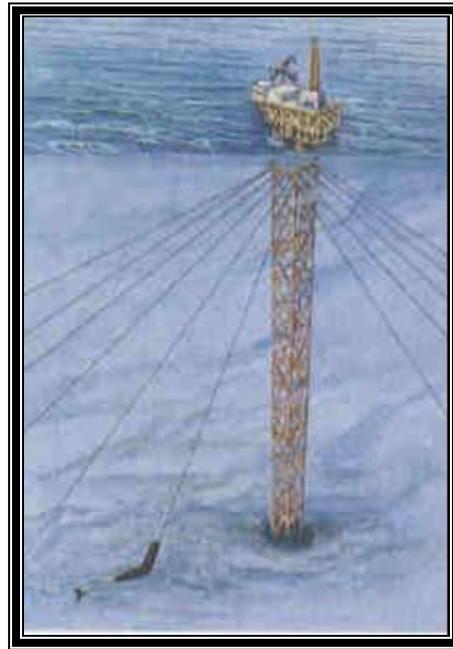


Fig. A13.3 Plataforma tipo torre Atirantada



Fig. A13.4 Plataforma tipo torre flexible



Fig. A13.5 Plataforma tipo Autoelevable

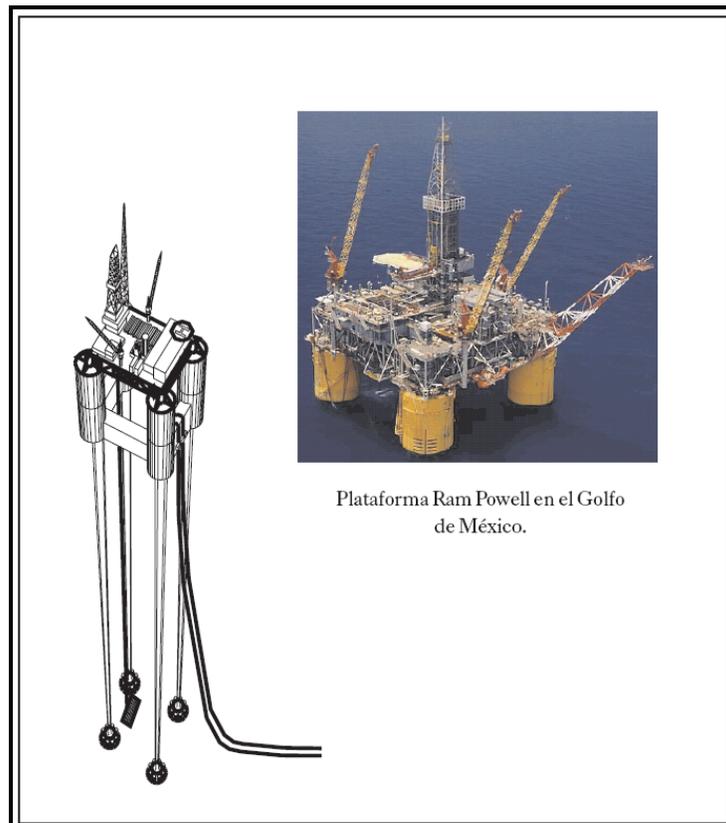


Fig. A13.6 Plataforma tipo Piernas tensionadas



Fig. A13.7 Plataformas semisumergibles



Fig. A13.8 Plataformas flotantes con elementos robóticos para la extracción del crudo en aguas profundas

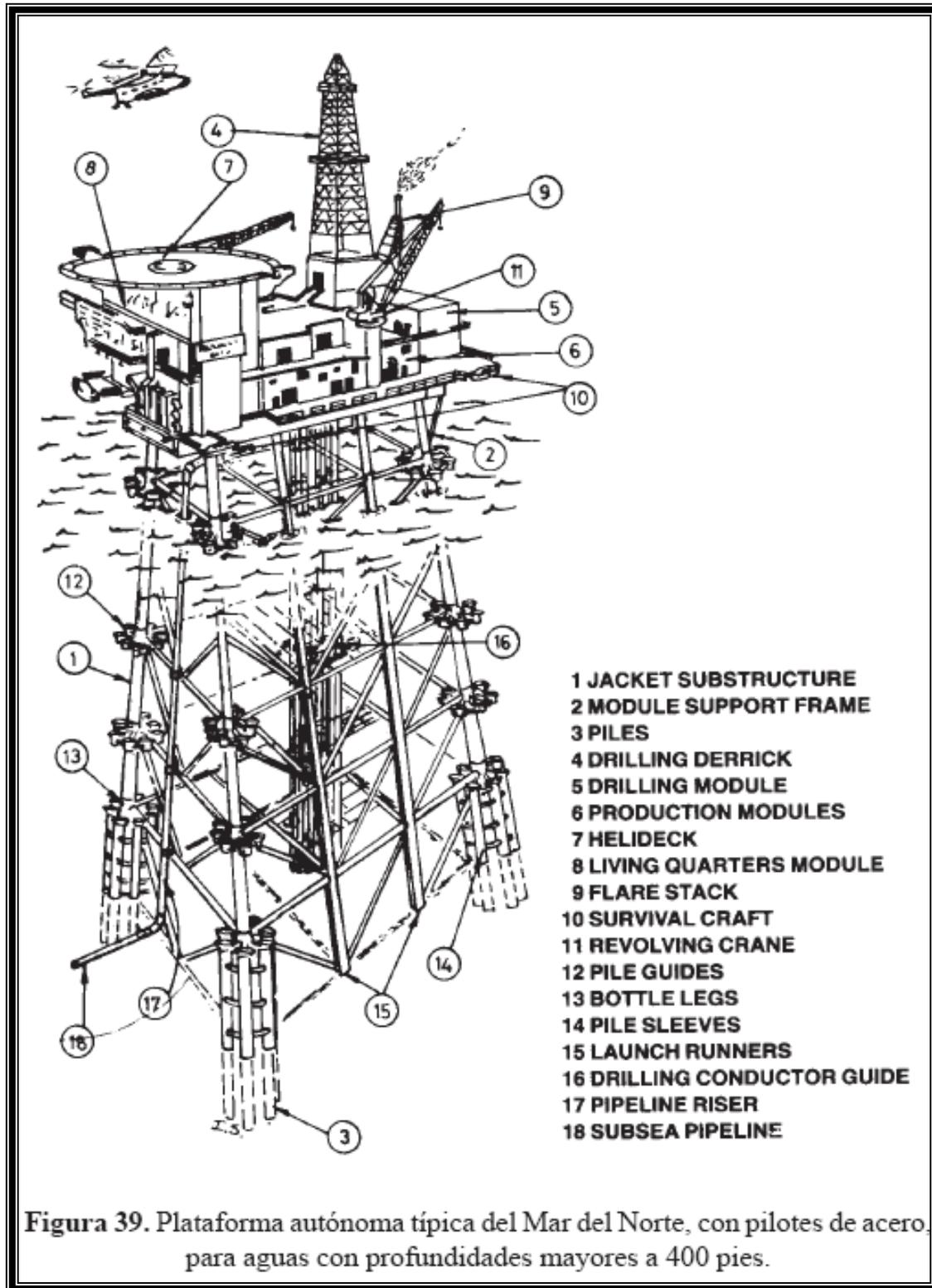


Fig. A13.9 Plataforma tipo con pilotes faldón

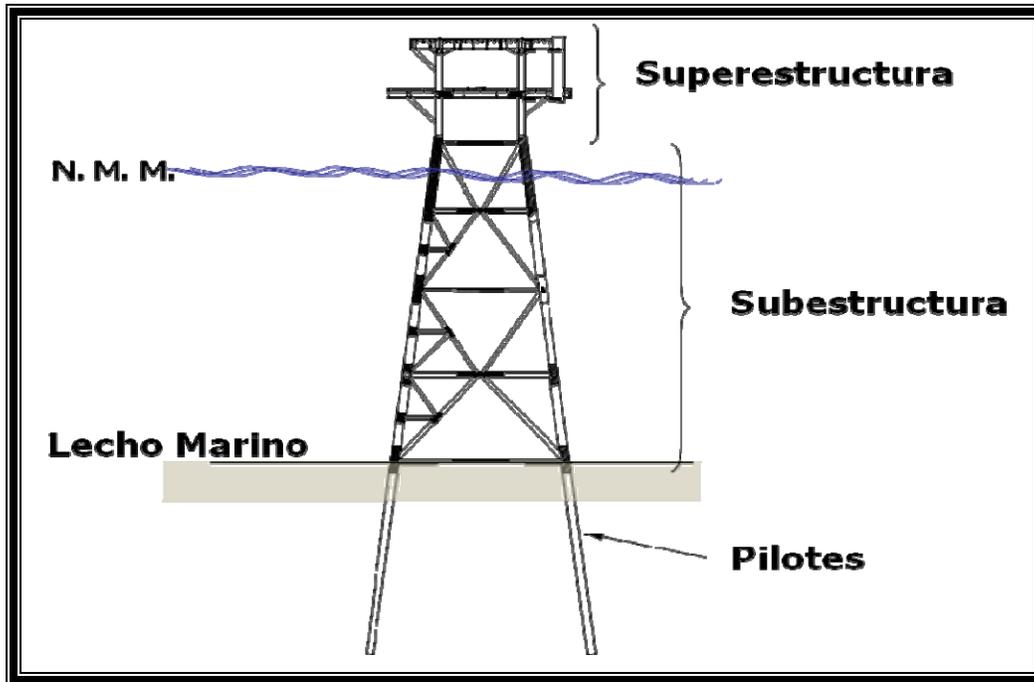


Fig. A13.10 Componentes generales de las plataformas marinas fijas.

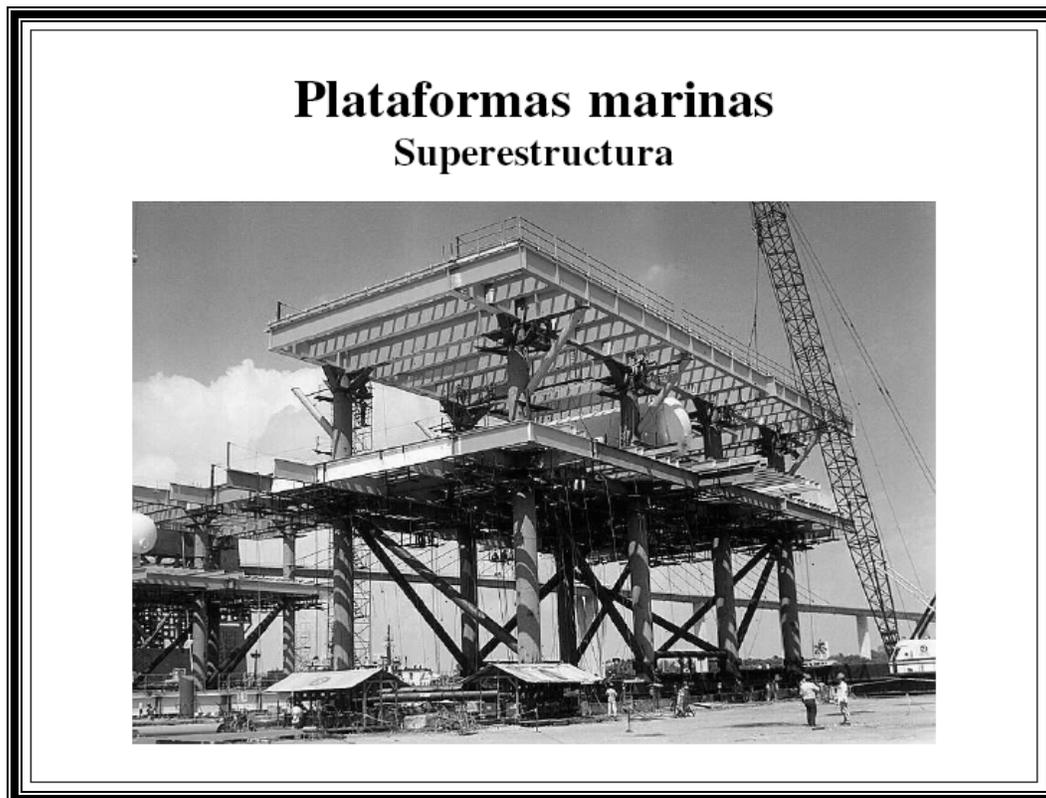


Fig. A13.11 Superestructura



Fig. A13.12 Fuerzas en la construcción como Izaje de sistemas de pisos en Superestructura.



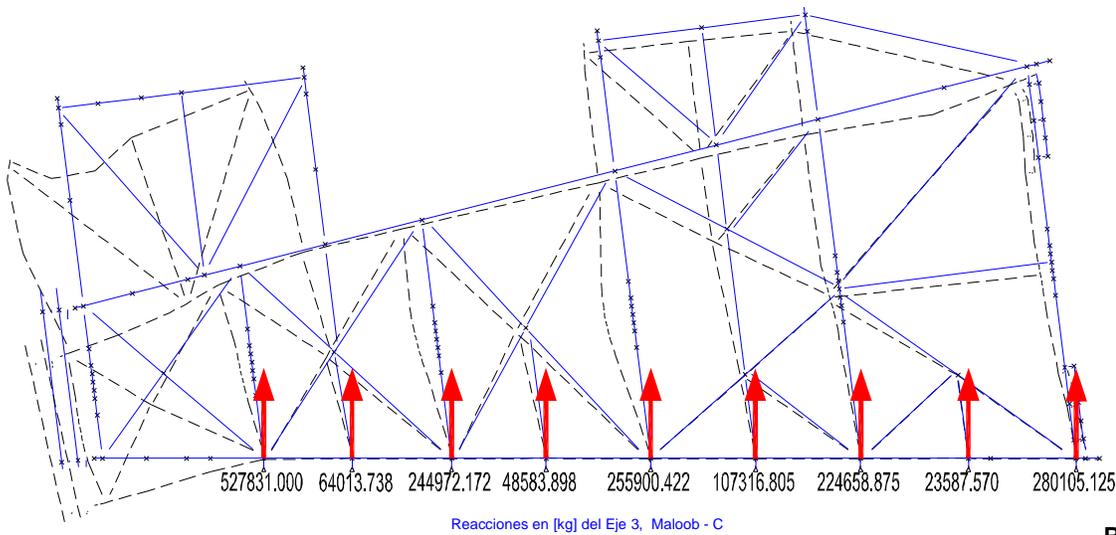
Fig. A13.13 Fuerzas en la construcción y ensamble de la Subestructura

### VI.13 Anexo B Resultados y Misceláneos

A continuación se presenta los resultados por etapa del análisis de carga a la barcaza de transportación de la subestructura de la plataforma de perforación MALOOB-C.

#### Etapa - 0

Los resultados obtenidos en la etapa 0 permite ver la configuración deformada de la estructura en patio, y obtener el máximo desplazamiento de la estructura, también se observan las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles como lo muestra la figura siguiente.



Eje 3, Maloob - C

Etapa - 0

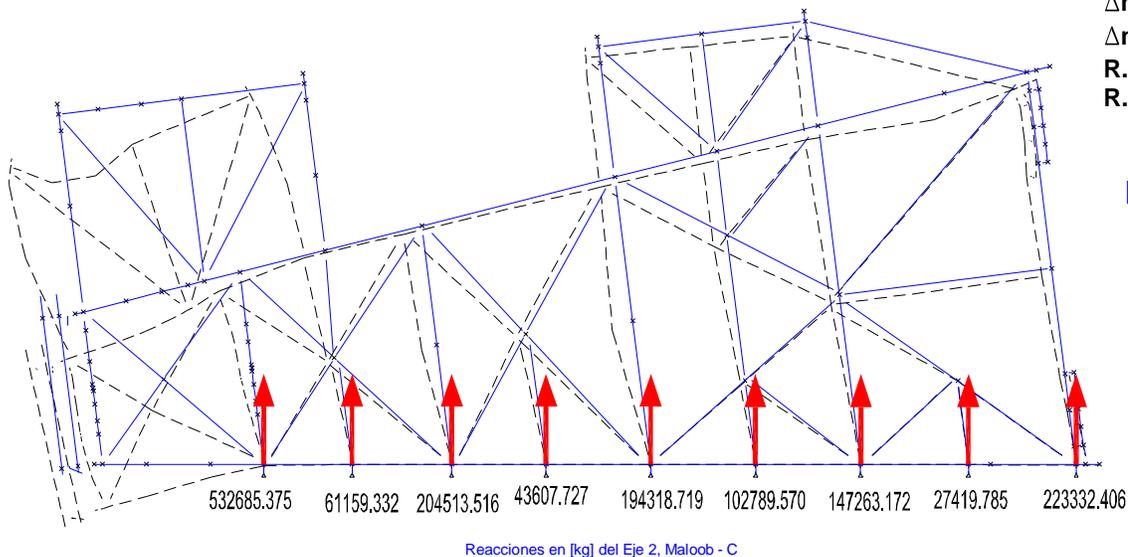
#### Respuesta Máxima

$\Delta_{max} = -1.19$  cm en Eje 2

$\Delta_{max} = -0.87$  cm en Eje 3

R.I.max = 0.77 en Elementos

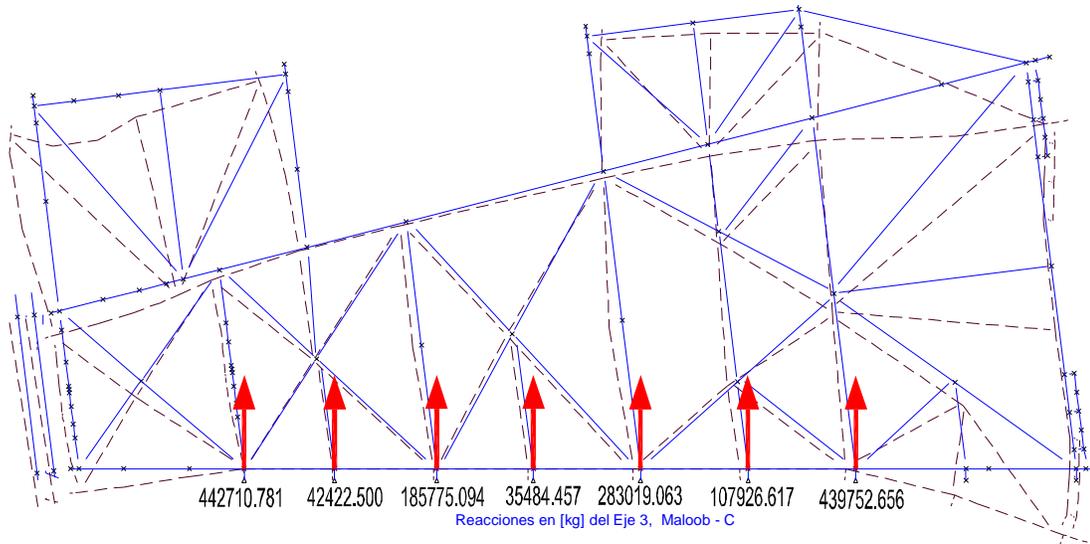
R.I.max = 0.91 en Juntas



Eje 2, Maloob - C

### Etapa – 1A

Los resultados obtenidos en la etapa 1A permite ver la configuración deformada de la estructura en voladizo, y obtener el máximo desplazamiento de la estructura, también se observan las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. Para este efecto se liberaron algunos apoyos (niveles (+) 82.00m y (-) 72.375 m) con la finalidad de representar lo más real las condiciones de la estructura en este paso.

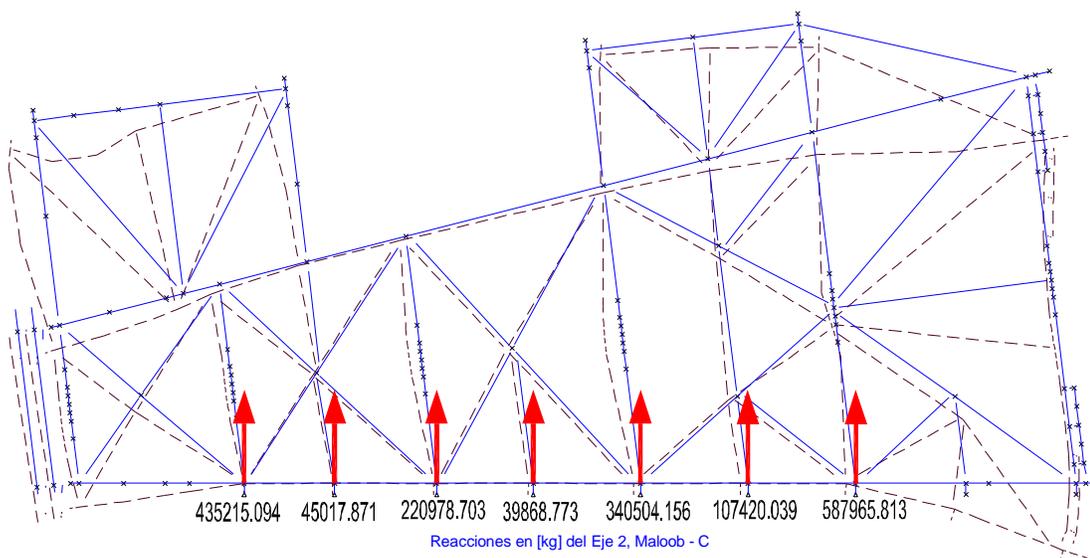


Eje 3, Maloob - C

Etapa - 1A

### Respuesta Máxima

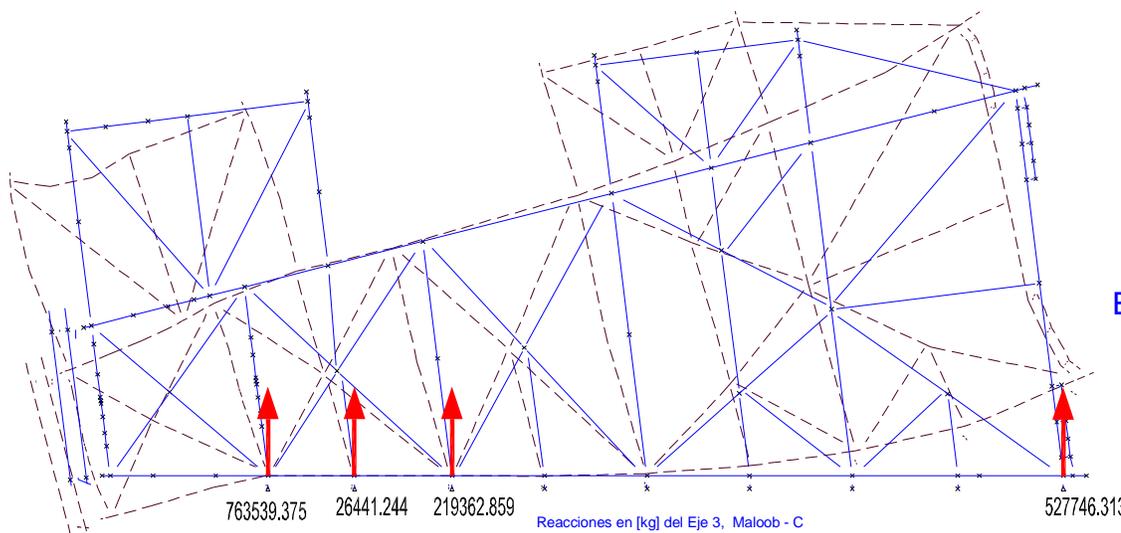
- $\Delta_{max} = -1.61$  cm en Eje 2
- $\Delta_{max} = -1.58$  cm en Eje 3
- R.I.max = 0.76 en Elementos
- R.I.max = 0.92 en Juntas



Eje 2, Maloob - C

### Etapa – 1B

Los resultados obtenidos en la etapa 1B permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento en el nivel de lodos (-) 82.00 m, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. Para este efecto se aplicaron fuerzas produciendo desplazamientos haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciono anteriormente no se deben de registrar estas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.



Eje 3, Maloob - C

Etapa - 1B

Reacciones en [kg] del Eje 3, Maloob - C

#### Acciones

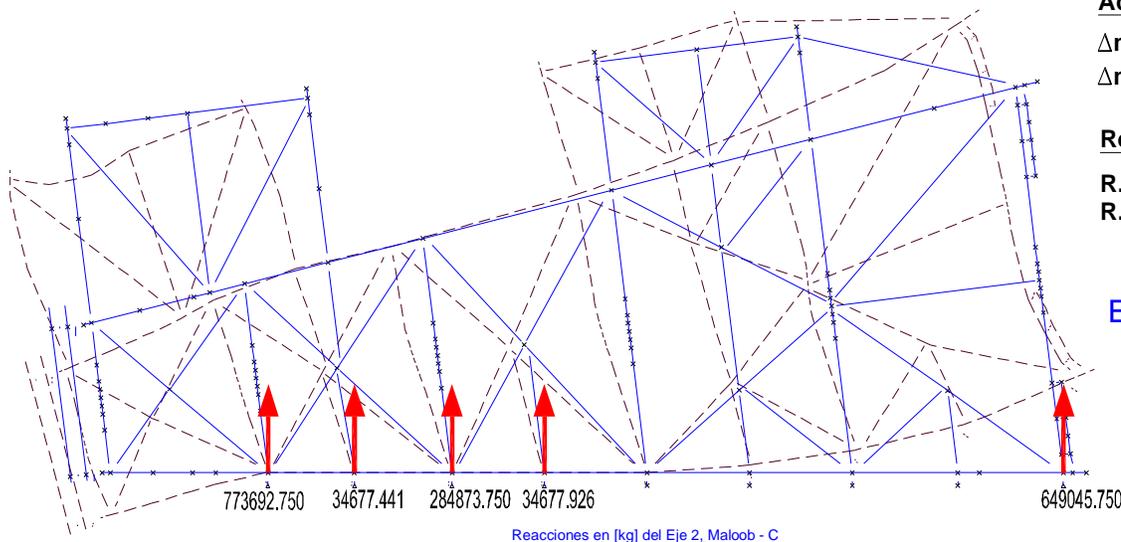
$\Delta_{max} = 2.50$  cm en Eje 2

$\Delta_{max} = 2.50$  cm en Eje 3

#### Respuesta Máxima

R.I.max = 0.99 en Elementos

R.I.max = 0.86 en Juntas

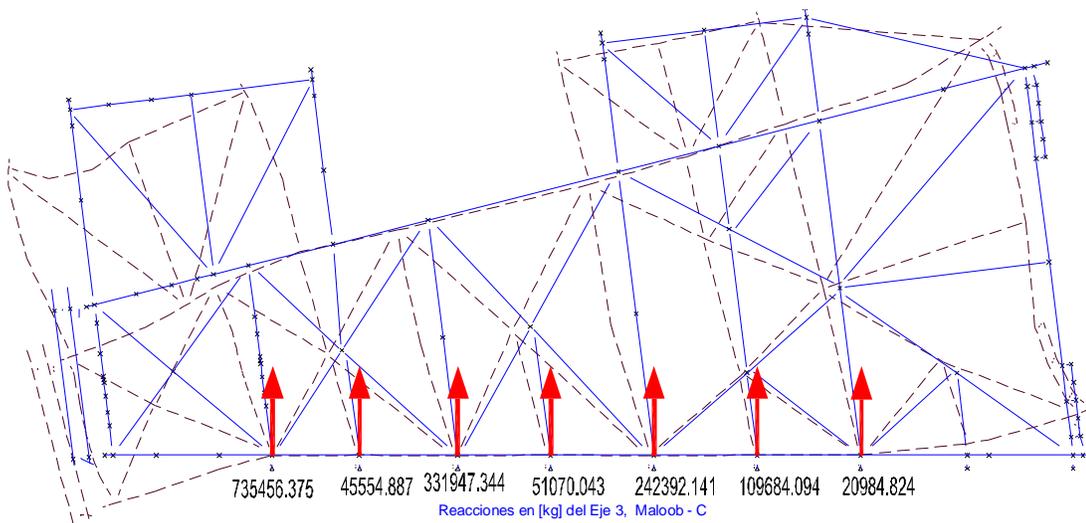


Eje 2, Maloob - C

Reacciones en [kg] del Eje 2, Maloob - C

### Etapa – 1C

Los resultados obtenidos en la etapa 1C permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento y provocando un giro en la estructura en el nivel de lodos (-) 82.00 m, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. Para este efecto se aplicaron una fuerza en el eje 2 causando desplazamientos haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciona anteriormente no se deben de registrar estas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.



Eje 3, Maloob - C

Etapa - 1C

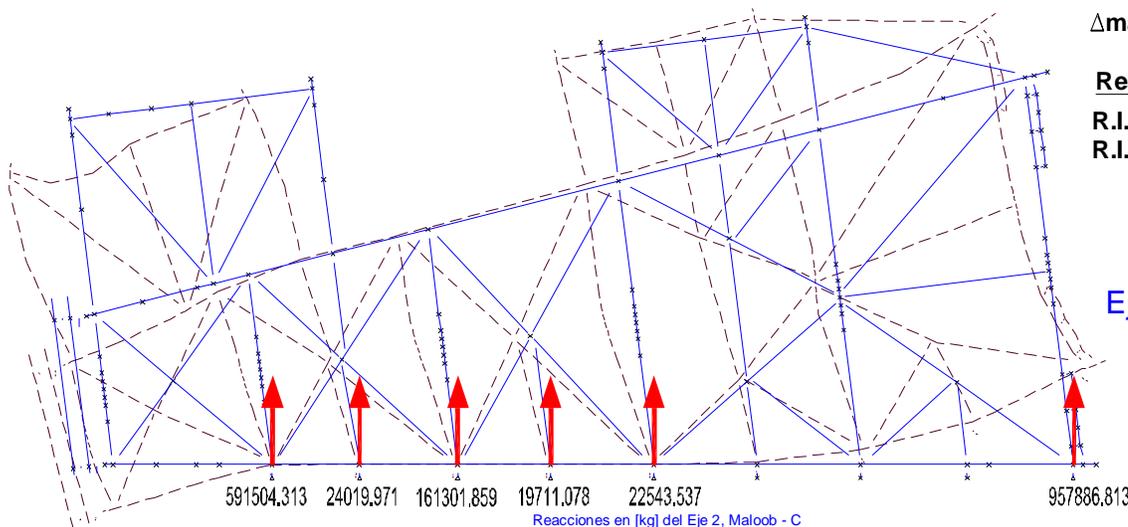
#### Acciones

$\Delta_{max} = 1.905$  cm en Eje 2

#### Respuesta Máxima

R.I.max = 0.98 en Elementos

R.I.max = 0.99 en Juntas

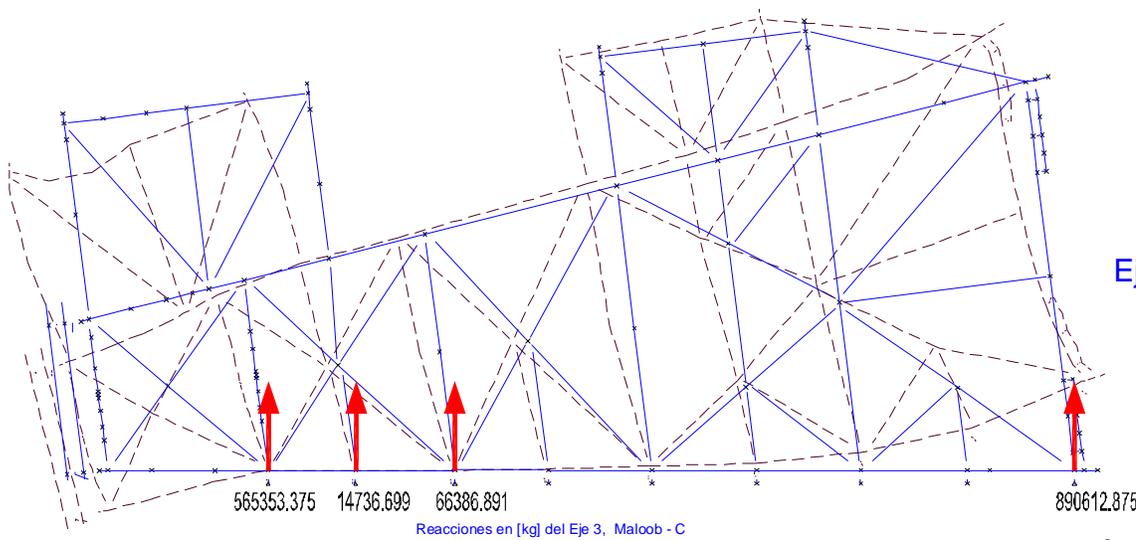


Eje 2, Maloob - C



### Etapa – 1D

Los resultados obtenidos en la etapa 1D permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento y provocando un giro en la estructura en el nivel de lodos (-) 82.00 m, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. Para este efecto se aplicaron una fuerza en el eje 3 causando desplazamientos haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciona anteriormente no se deben de registrar éstas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.



Eje 3, Maloob - C

Etapa - 1D

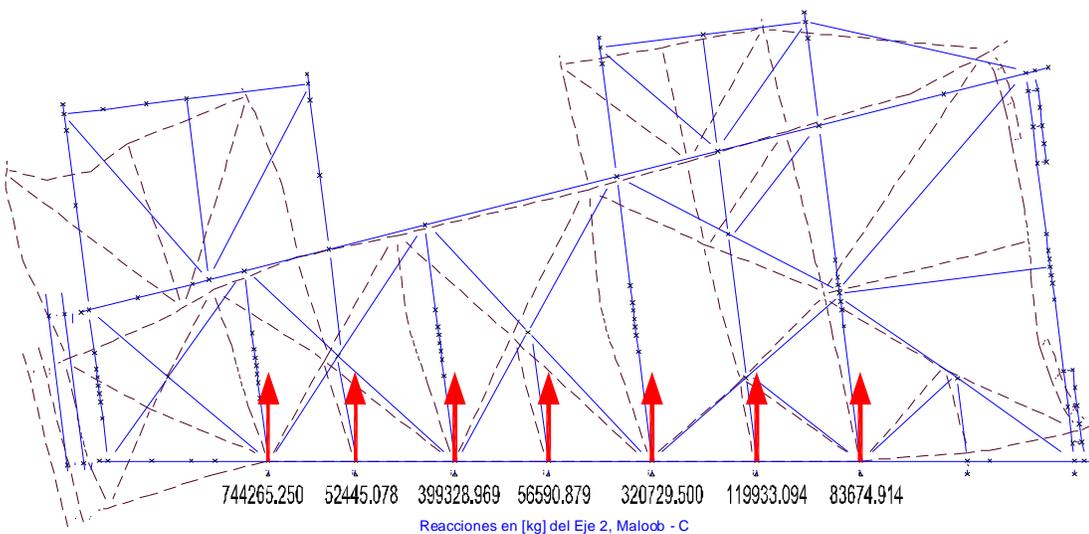
#### Acciones

$\Delta_{max} = 1.905$  cm en Eje 3

#### Respuesta Máxima

R.I.max = 0.79 en Elementos

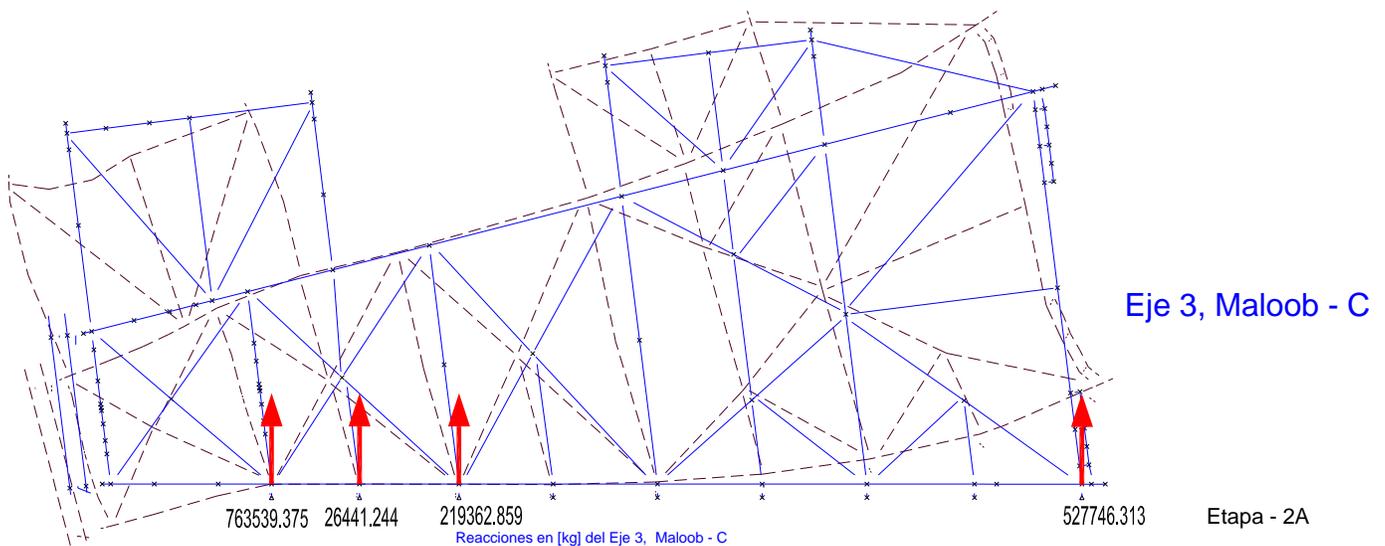
R.I.max = 0.86 en Juntas



Eje 2, Maloob - C

### Etapa – 2A

Los resultados obtenidos en la etapa 2A permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. En este paso se liberarán en principio los niveles (-) 72.375, (-) 62.500, (-) 53.00. Ya que parte de la estructura está en la barcaza y por su inclinación apoyos quedan entre el muelle y la barcaza. Para este efecto se aplicaron fuerzas el nivel de lodos (-) 82.00 m causando desplazamientos, haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciona anteriormente no se deben de registrar estas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.



#### Acciones

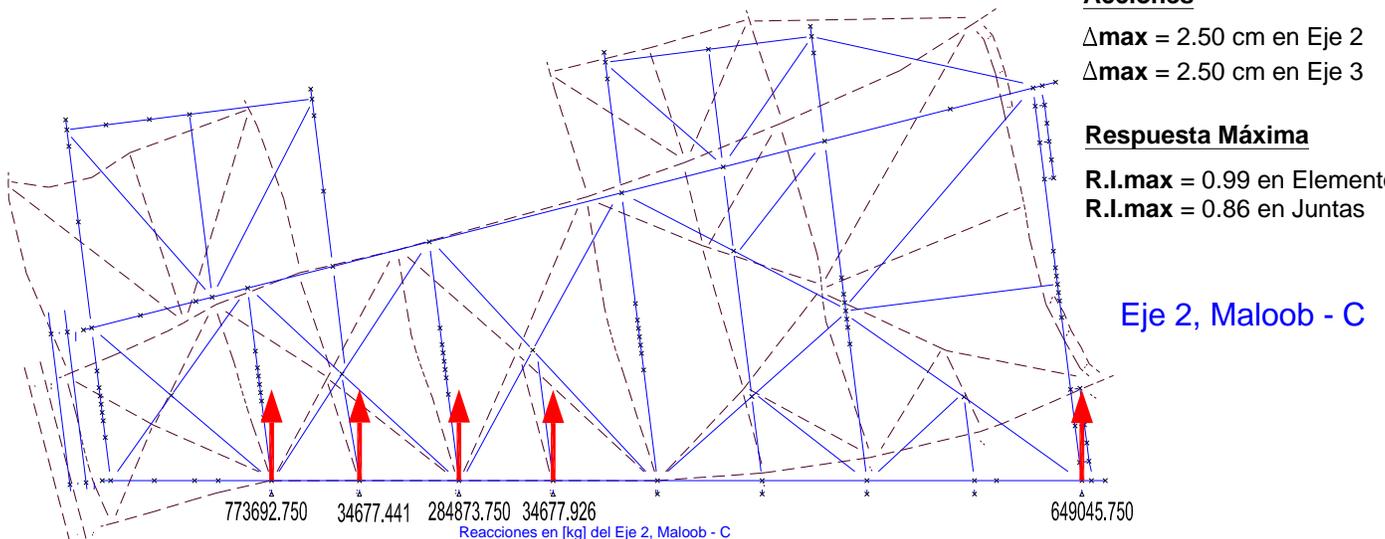
$\Delta_{max} = 2.50$  cm en Eje 2

$\Delta_{max} = 2.50$  cm en Eje 3

#### Respuesta Máxima

R.I.max = 0.99 en Elementos

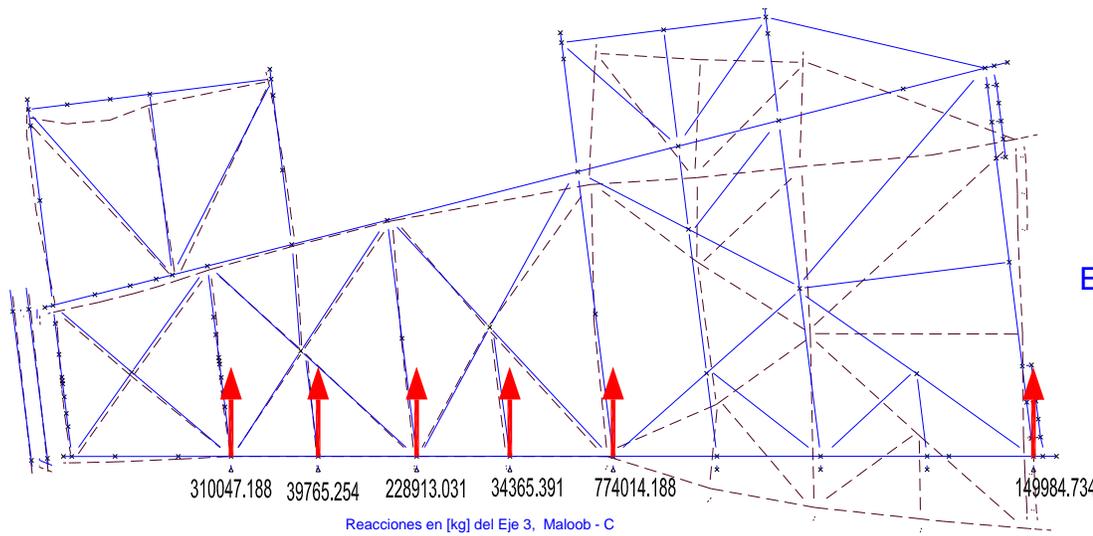
R.I.max = 0.86 en Juntas





**Etapa – 2B**

Los resultados obtenidos en la etapa 2B permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. En este paso se liberarán en principio sin cargar en los niveles (-) 72.375, (-) 62.500, (-) 53.00, ya que parte de la estructura está en la barcaza y por su inclinación algunos apoyos quedan entre el muelle y la barcaza. Para este efecto se aplicaron fuerzas el nivel de lodos (-) 82.00 m causando desplazamientos, la configuración deformada natural se representa para las condiciones reales de la estructura en este paso.



Eje 3, Maloob - C

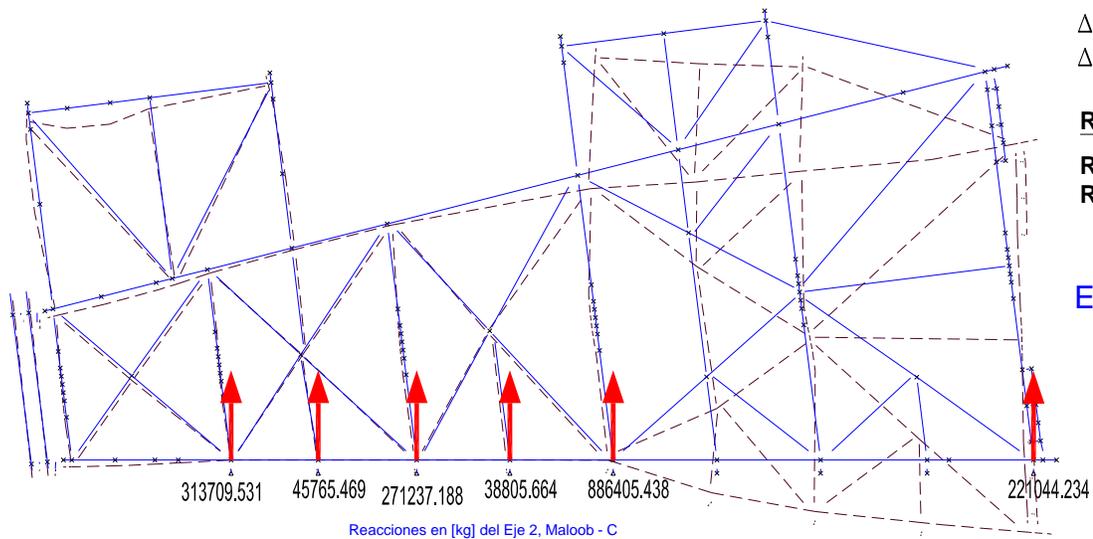
Etapa - 2B

**Acciones**

$\Delta_{max} = -2.50$  cm en Eje 2  
 $\Delta_{max} = -2.50$  cm en Eje 3

**Respuesta Máxima**

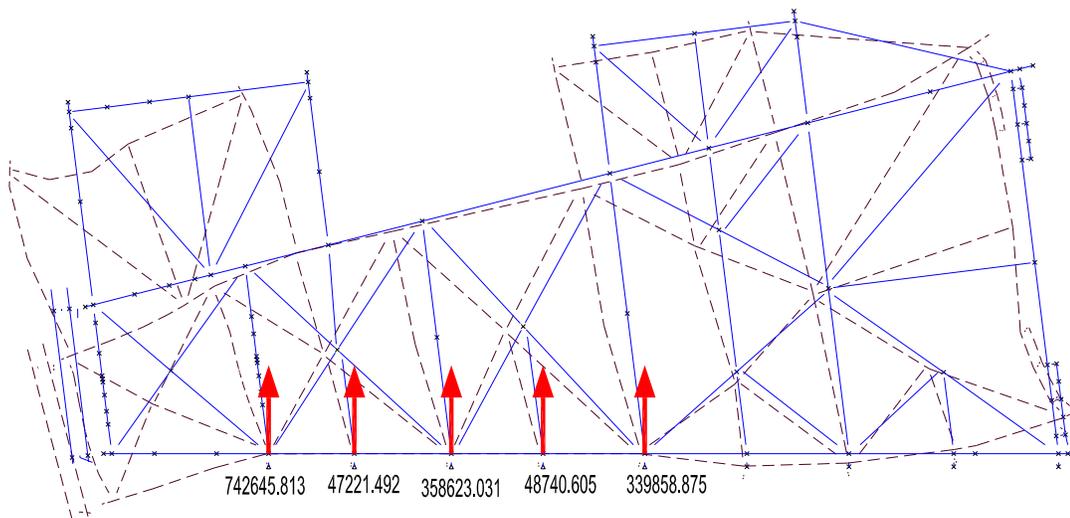
R.I.max = 0.91 en Elementos  
 R.I.max = 0.85 en Juntas



Eje 2, Maloob - C

### Etapa – 2C

Los resultados obtenidos en la etapa 2C permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento y provocando un giro en la estructura en el nivel de lodos (-) 82.00 m, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. En este paso se liberarán en principio sin cargar en los niveles (-) 72.375, (-) 62.500, (-) 53.00. ya que parte de la estructura está en la barcaza y por su inclinación algunos apoyos quedan entre el muelle y la barcaza. Se aplico una fuerza en el eje 2 causando desplazamientos haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciono anteriormente no se deben de registrar estas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.



Eje 3, Maloob - C

Etapa - 2C

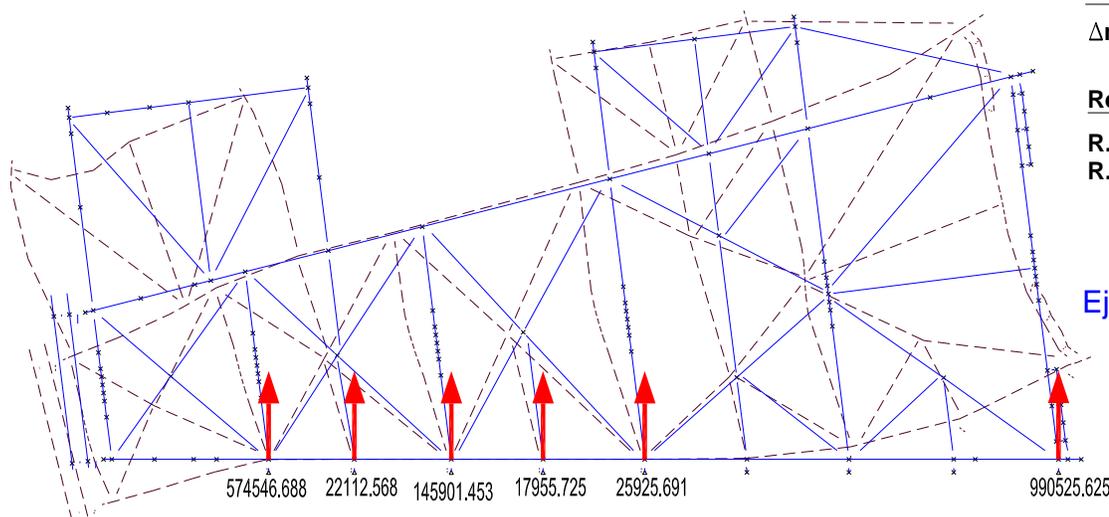
#### Acciones

$\Delta_{max} = 1.905$  cm en Eje 2

#### Respuesta Máxima

R.I.max = 0.99 en Elementos

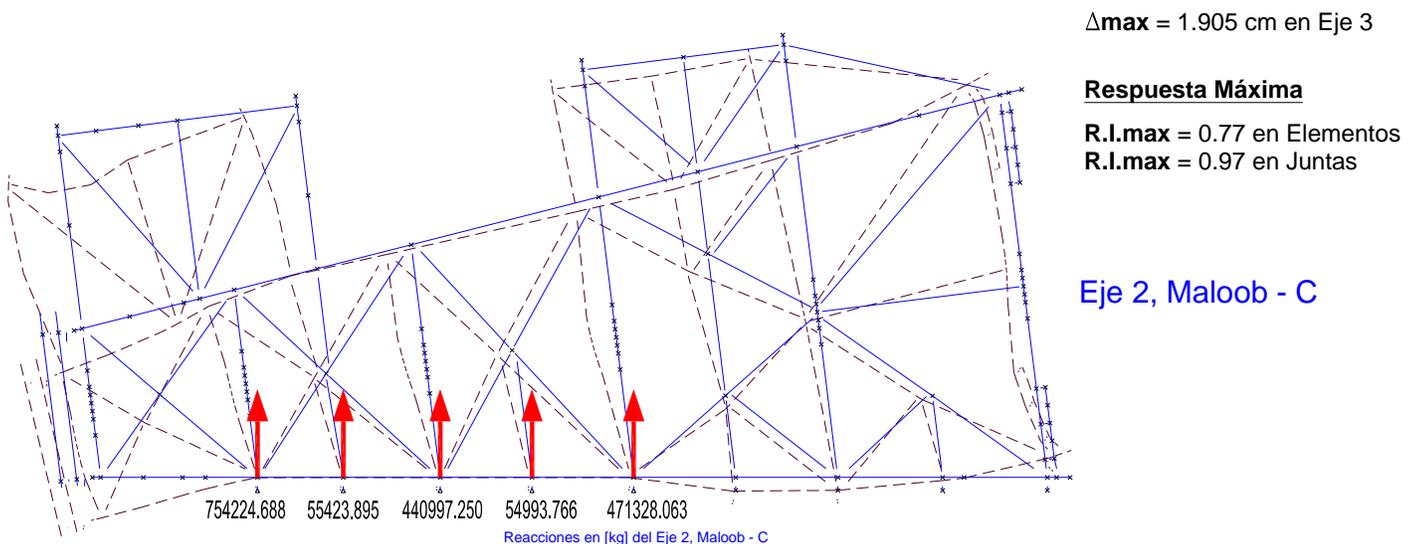
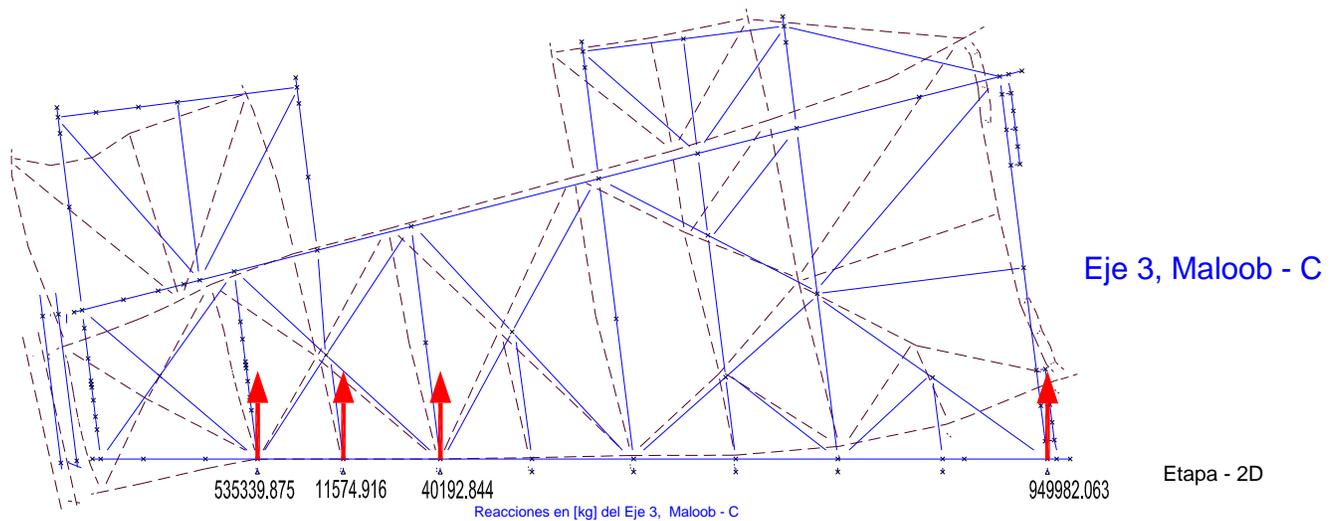
R.I.max = 0.97 en Juntas



Eje 2, Maloob - C

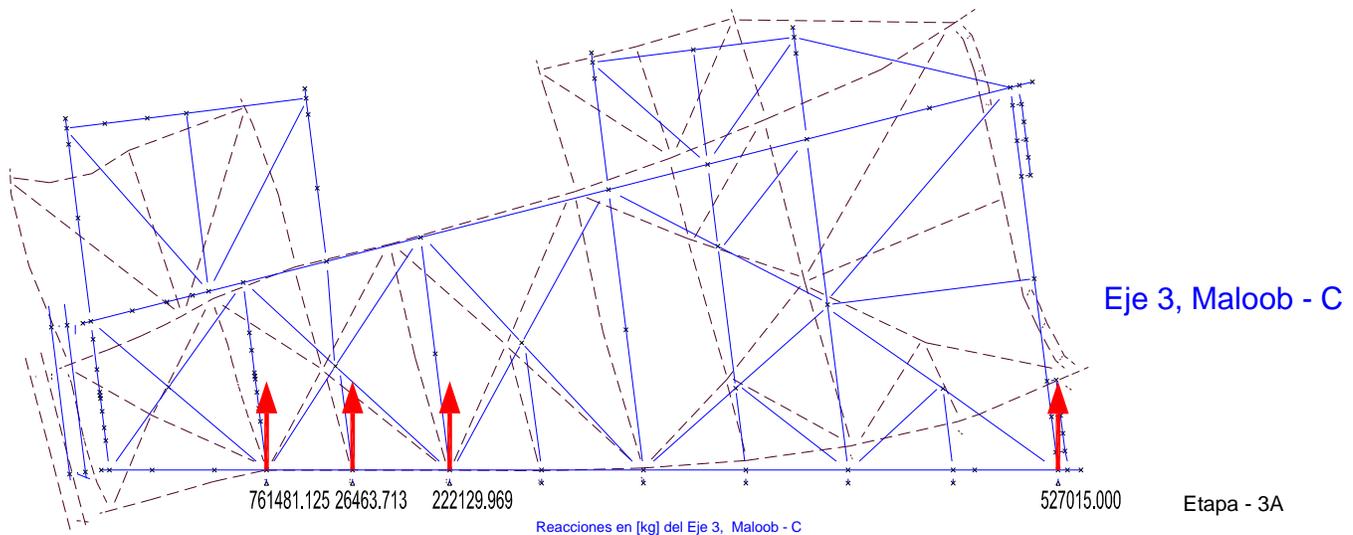
### Etapa – 2D

Los resultados obtenidos en la etapa 2D permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento y provocando un giro en la estructura en el nivel de lodos (-) 82.00 m, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. En este paso se liberarán en principio sin cargar en los niveles (-) 72.375, (-) 62.500, (-) 53.00. ya que parte de la estructura está en la barcaza y por su inclinación algunos apoyos quedan entre el muelle y la barcaza. Se aplico una fuerza en el eje 3 causando desplazamientos haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciono anteriormente no se deben de registrar estas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.



### Etapa – 3A

Los resultados obtenidos en la etapa 3A permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. En este paso se liberarán en principio los niveles (-) 34.033, (-) 43.500, (-) 53.00. Ya que parte de la estructura está en la barcaza y por su inclinación algunos apoyos quedan entre el muelle y la barcaza. Para este efecto se aplicaron fuerzas el nivel de lodos (-) 82.00 m causando desplazamientos, haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciona anteriormente no se deben de registrar estas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.

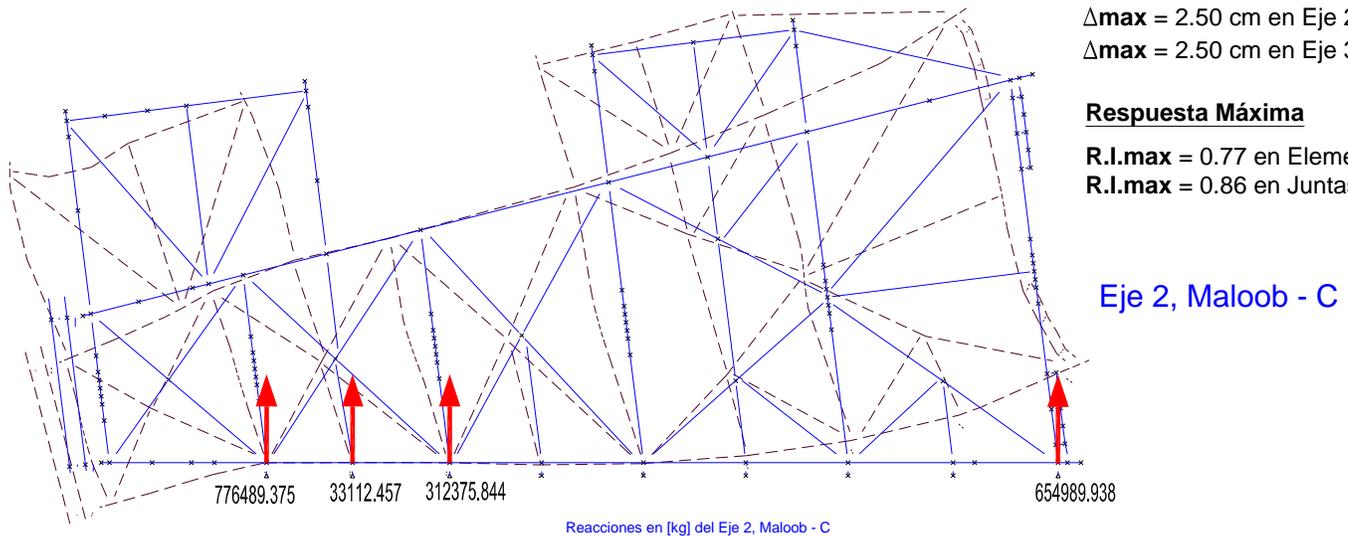


#### Acciones

$\Delta_{max} = 2.50$  cm en Eje 2  
 $\Delta_{max} = 2.50$  cm en Eje 3

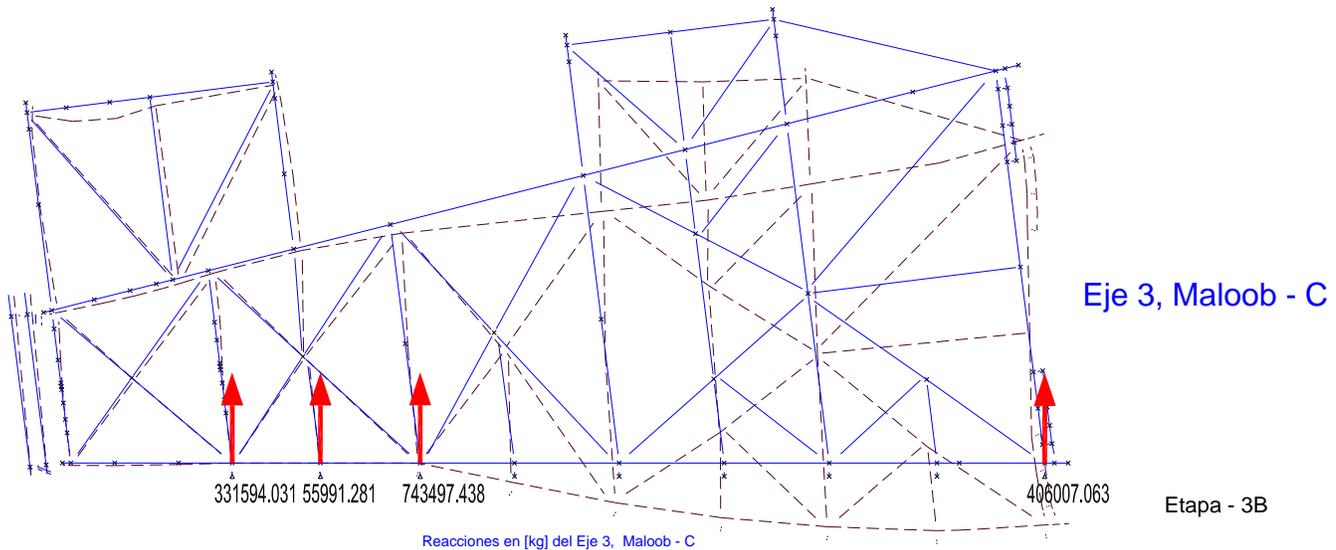
#### Respuesta Máxima

R.I.max = 0.77 en Elementos  
R.I.max = 0.86 en Juntas



### Etapa – 3B

Los resultados obtenidos en la etapa 3B permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. En este paso se liberarán en principio sin cargar en los niveles (-) 34.033, (-) 43.500, (-) 53.00.ya que parte de la estructura está en la barcaza y por su inclinación algunos apoyos quedan entre el muelle y la barcaza. Para este efecto se aplicaron fuerzas el nivel de lodos (-) 82.00 m causando desplazamientos, la configuración deformada natural se representa para las condiciones reales de la estructura en este paso.

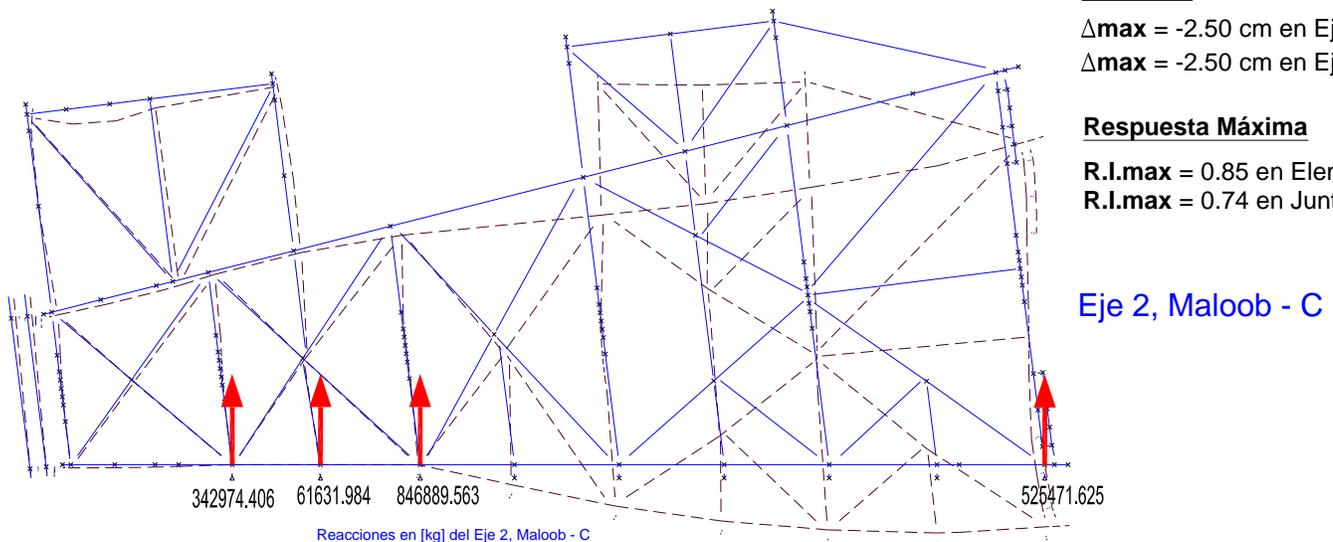


#### Acciones

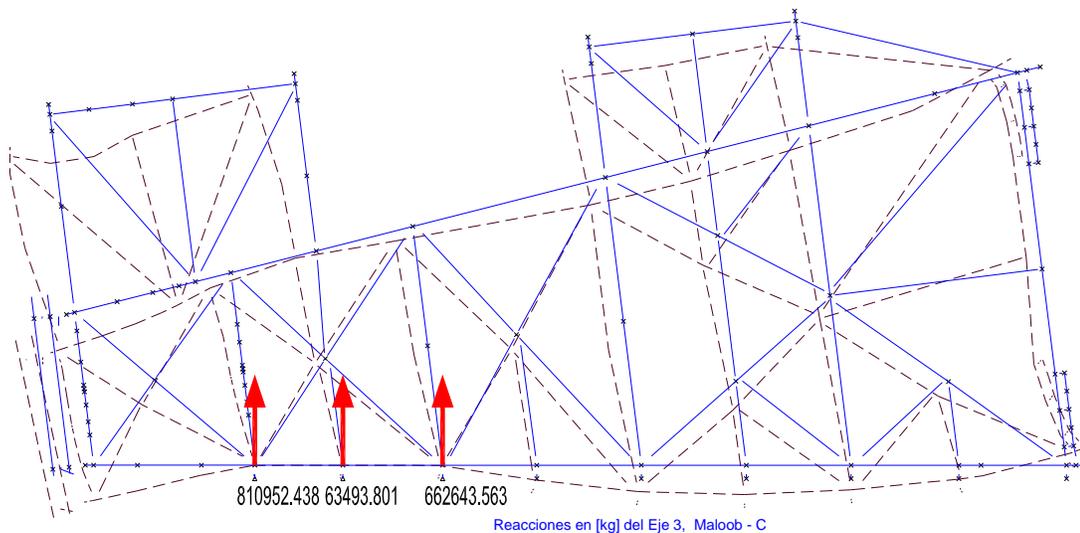
$\Delta_{max} = -2.50$  cm en Eje 2  
 $\Delta_{max} = -2.50$  cm en Eje 3

#### Respuesta Máxima

R.I.max = 0.85 en Elementos  
R.I.max = 0.74 en Juntas



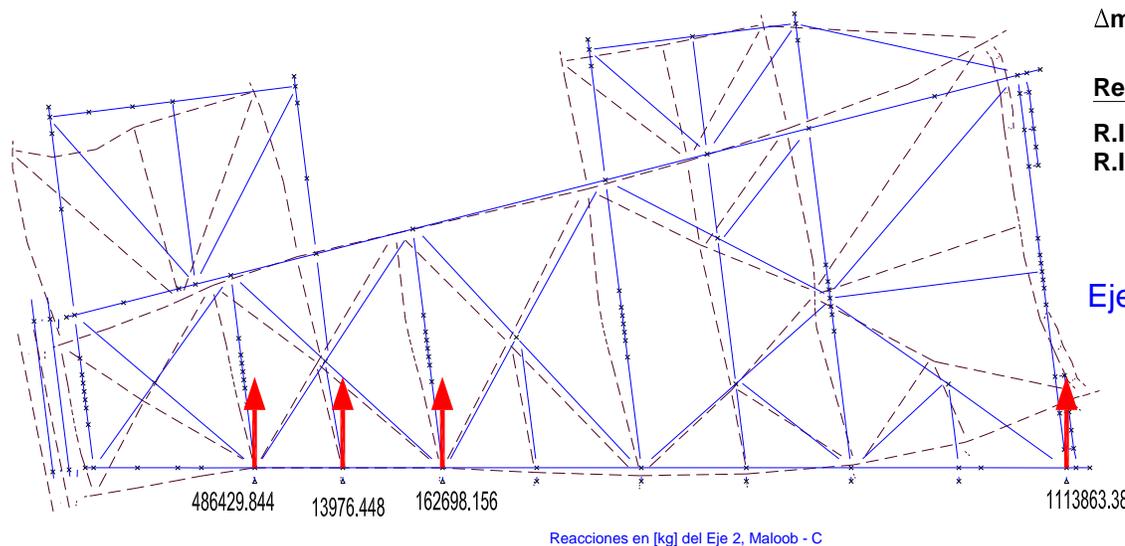
Los resultados obtenidos en la etapa 3C permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento y provocando un giro en la estructura en el nivel de lodos (-) 82.00 m, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. En este paso se liberarán en principio sin cargar en los niveles (-) 34.033, (-) 43.500, (-) 53.000. Ya que parte de la estructura está en la barcaza y por su inclinación algunos apoyos quedan entre el muelle y la barcaza. Se aplico una fuerza en el eje 2 causando desplazamientos haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciono anteriormente no se deben de registrar estas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.



Eje 3, Maloob - C

Etapa - 3C

Reacciones en [kg] del Eje 3, Maloob - C



$\Delta_{max} = 1.905$  cm en Eje 2

**Respuesta Máxima**

R.I.max = 0.77 en Elementos

R.I.max = 0.90 en Juntas

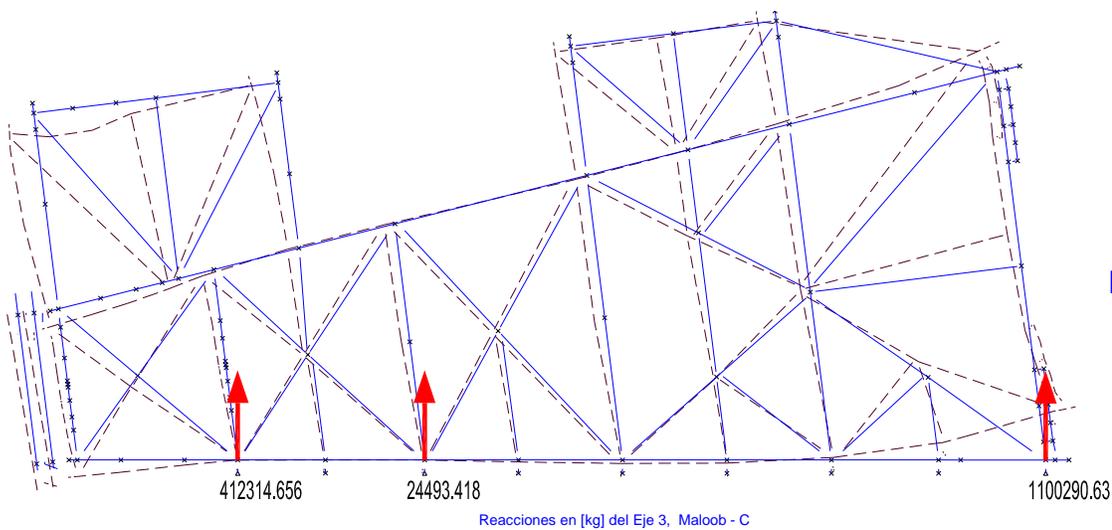
Eje 2, Maloob - C

Etapa - 3D

Reacciones en [kg] del Eje 2, Maloob - C



Los resultados obtenidos en la etapa 3D permite ver la configuración deformada de la estructura aplicando un desplazamiento y provocando un giro en la estructura en el nivel de lodos (-) 82.00 m, y obtener las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. En este paso se liberarán en principio sin cargar en los niveles (-) 34.033, (-) 43.500, (-) 53.000. Ya que parte de la estructura está en la barcaza y por su inclinación algunos apoyos quedan entre el muelle y la barcaza. Se aplico una fuerza en el eje 3 causando desplazamientos haciendo que la estructura se levante, al levantarse se tuvieron que liberar apoyos de acuerdo a las tensiones registradas ya que como se menciono anteriormente no se deben de registrar estas tensiones para que no afecten al modelo de carga, al liberar estos apoyos se observa la configuración deformada natural y se representan las condiciones reales de la estructura en este paso.



Eje 3, Maloob - C

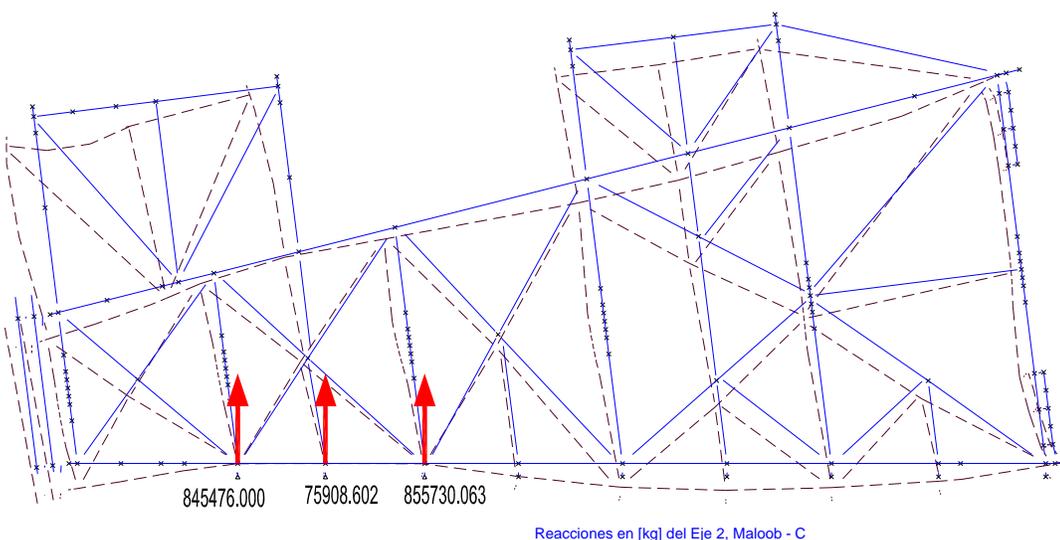
Etapa - 3D

$\Delta_{max} = 1.905$  cm en Eje 3

**Respuesta Máxima**

R.I.max = 0.88 en Elementos

R.I.max = 0.93 en Juntas

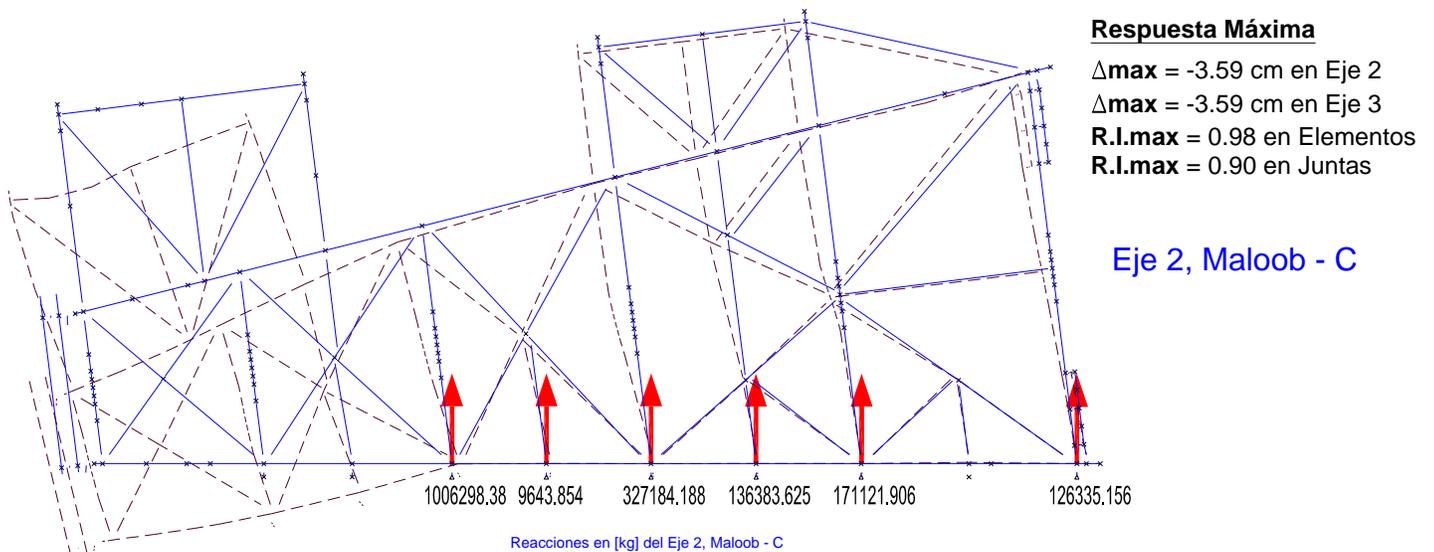
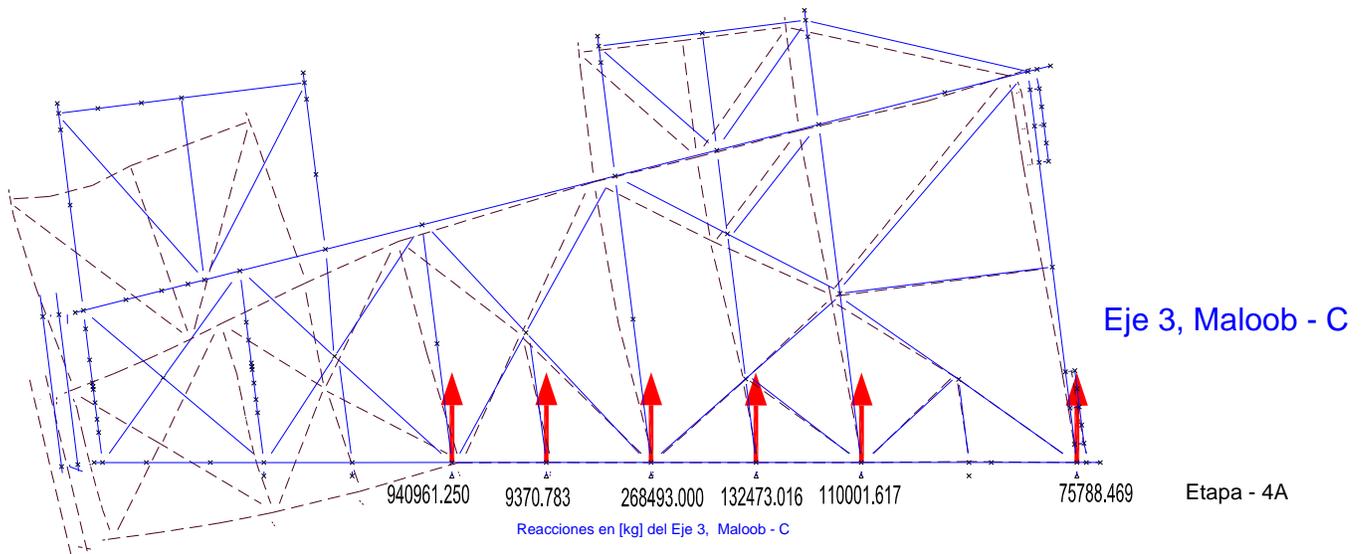


Eje 2, Maloob - C

Etapa - 4A



Los resultados obtenidos en la etapa 4A permite ver la configuración deformada de la estructura en voladizo, cuando la estructura ésta en su mayor parte en la barcaza y obtener el máximo desplazamiento de la estructura, también se observan las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. Para este efecto se liberaron algunos apoyos (niveles (+) 8.500 m y (-) 16.477 m) con la finalidad de representar lo más real las condiciones de la estructura en este paso.



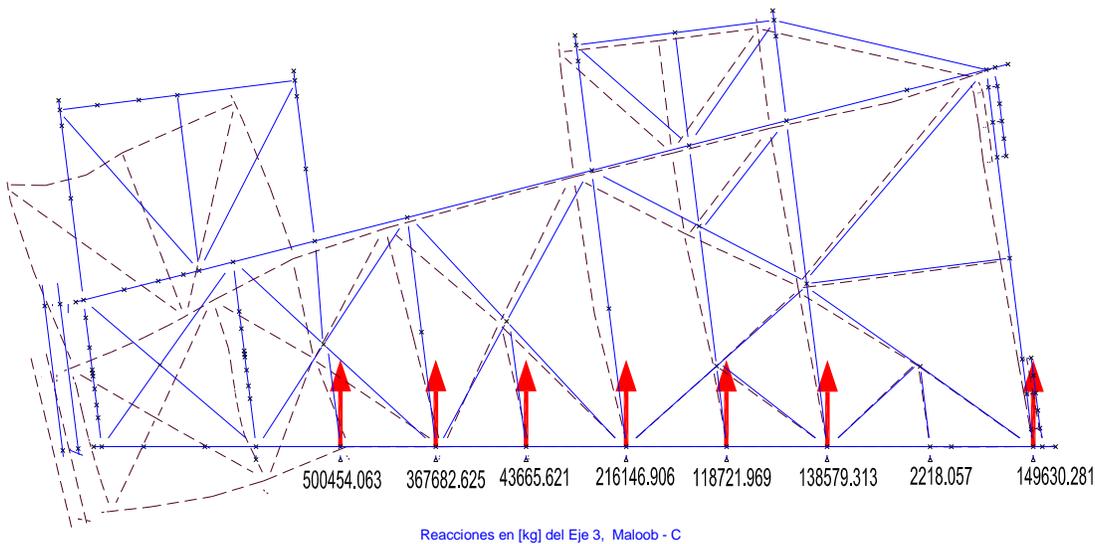
**Respuesta Máxima**

- $\Delta_{max} = -3.59$  cm en Eje 2
- $\Delta_{max} = -3.59$  cm en Eje 3
- R.I.max = 0.98 en Elementos
- R.I.max = 0.90 en Juntas



### Etapa – 4B

Los resultados obtenidos en la etapa 4B permite ver la configuración deformada de la estructura en voladizo, cuando la estructura ésta en su mayor parte en la barcaza y obtener el máximo desplazamiento de la estructura, también se observan las descargas en los apoyos (reacciones) ubicados en los diferentes niveles establecidos en los planos estructurales. Para este efecto se liberaron algunos apoyos (niveles (+) 8.500 m) con la finalidad de representar lo más real las condiciones de la estructura en este paso.

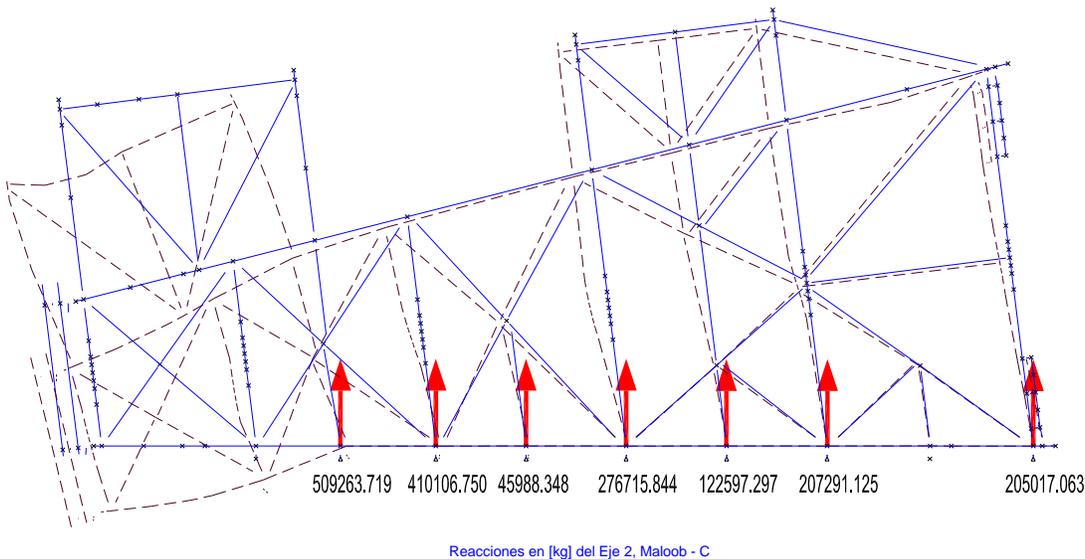


Eje 3, Maloob - C

Etapa - 4B

### Respuesta Máxima

- $\Delta_{max} = -2.36$  cm en Eje 2
- $\Delta_{max} = -2.36$  cm en Eje 3
- R.I.max = 0.84 en Elementos
- R.I.max = 1.012 en Juntas



Eje 2, Maloob - C



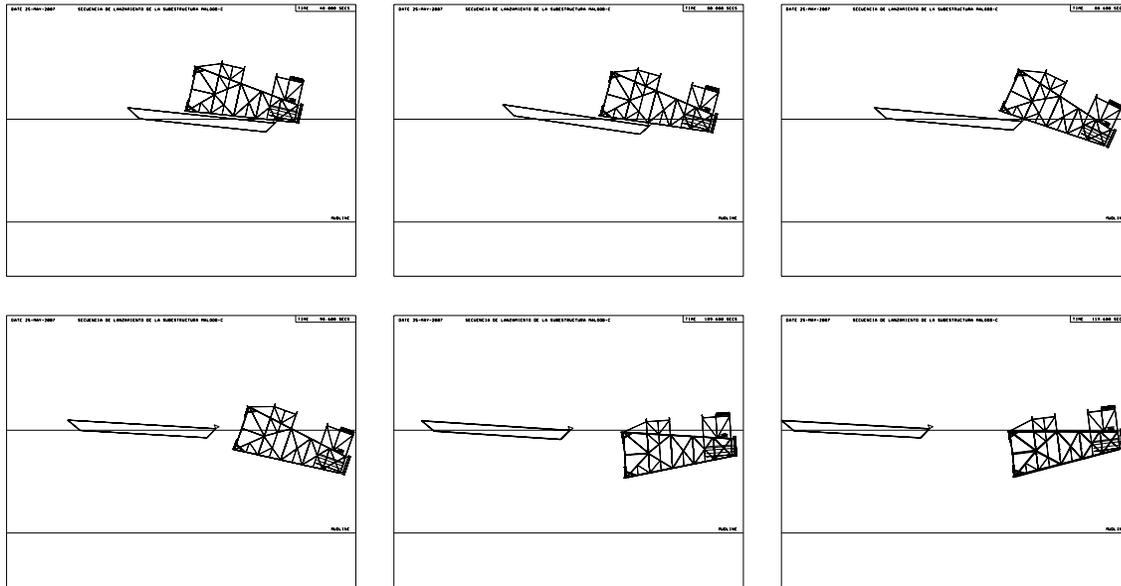
Metodo Gap						
Etapas	Elementos	Juntas	Reacción Maxima [TON]		Deformación [cm]	
	Relación de esfuerzos	Relación de esfuerzos	Junta	Valor	Junta	Valor
0	0.769	0.94	A208	532.685	2031	-1.6604
1A	0.711	0.94	A308	465.24	2031	-2.0269
1B	1.013	0.94	A208	779.358	13	2.6409
1C	0.982	0.94	A282	992.628	7	1.9338
1D	0.764	0.94	A382	919.896	13	1.9327
2A	1.013	0.94	A208	739.358	13	2.6409
2B	0.89	0.94	A208	465.239	A282	-2.5
2C	0.99	0.94	A208	962.627	7	1.9338
2D	0.764	0.94	A308	919.896	13	1.9327
3A	1.013	0.94	A208	779.358	13	2.6409
3B	0.836	0.94	A308	465.24	A282	-2.5
3C	0.763	0.94	A282	992.627	7	1.9338
3D	0.85	0.94	A382	919.986	8138	1.9327
4A	0.967	0.94	A216	886.883	5231	-2.3003
4B	0.853	0.94	A325	478.855	5231	-3.3209

Método Paso a Paso						
Etapas	Elementos	Juntas	Reacción Maxima [TON]		Deformación [cm]	
	Relación de esfuerzos	Relación de esfuerzos	Junta	valor	Junta	Valor
0	0.77	0.55	A208	532.685	2031	-1.6604
1A	0.719	0.662	A282	587.965	2031	-2.2807
1B	0.999	0.77	A208	773.692	13	2.8004
1C	0.98	0.788	A282	957.886	7	2.0512
1D	0.79	0.793	A382	890.612	13	2.0459
2A	0.999	0.777	A208	773.692	13	2.8008
2B	0.91	0.849	A243	886.405	A282	-2.54
2C	0.982	0.813	A282	990.525	7	2.0558
2D	0.77	0.813	A382	949.982	13	2.05424
3A	0.999	0.775	A208	776.489	13	2.802
3B	0.85	0.601	A225	846.889	A282	-2.5424
3C	0.77	0.9	A282	1113.86	7	2.072
3D	0.88	0.924	A382	1100.29	8138	2.074
4A	0.98	0.697	A225	1006.3	5231	-2.6294
4B	0.84	0.95	A216	509.263	5231	-3.7937

Tabla A.B.1 Resultados de carga a la barcaza



Fig. B.3 Trayectoria para Barcaza de 400 ft



Posicionamiento vertical

Secuencia Grafica de Posicionamiento Vertical

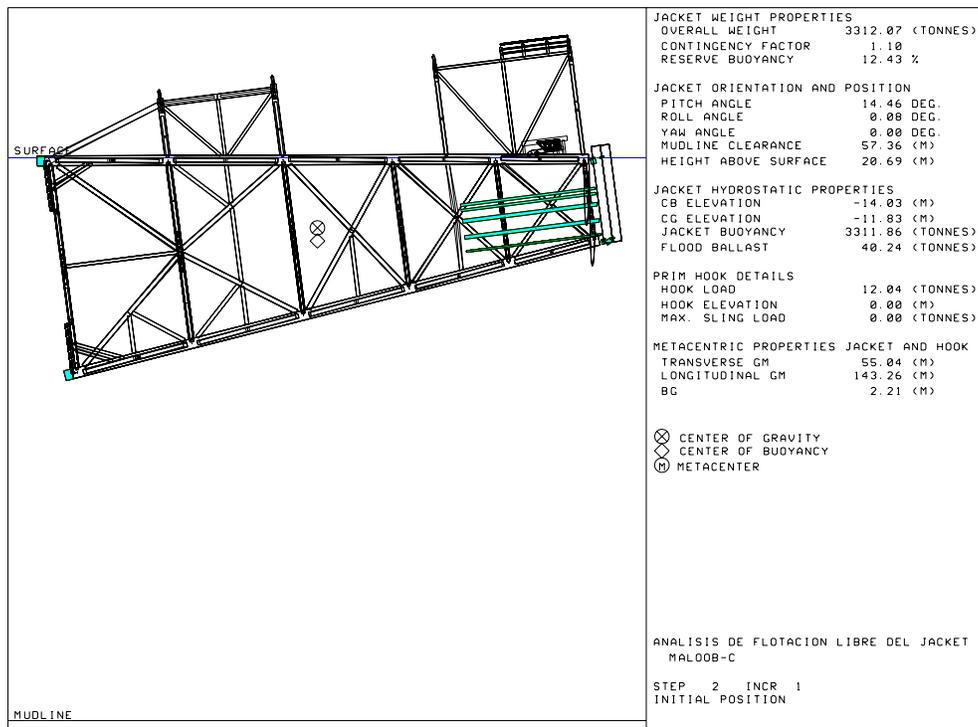


Fig. B.4. Posición natural de flotación de la estructura, vista en cabeceo "pitch"

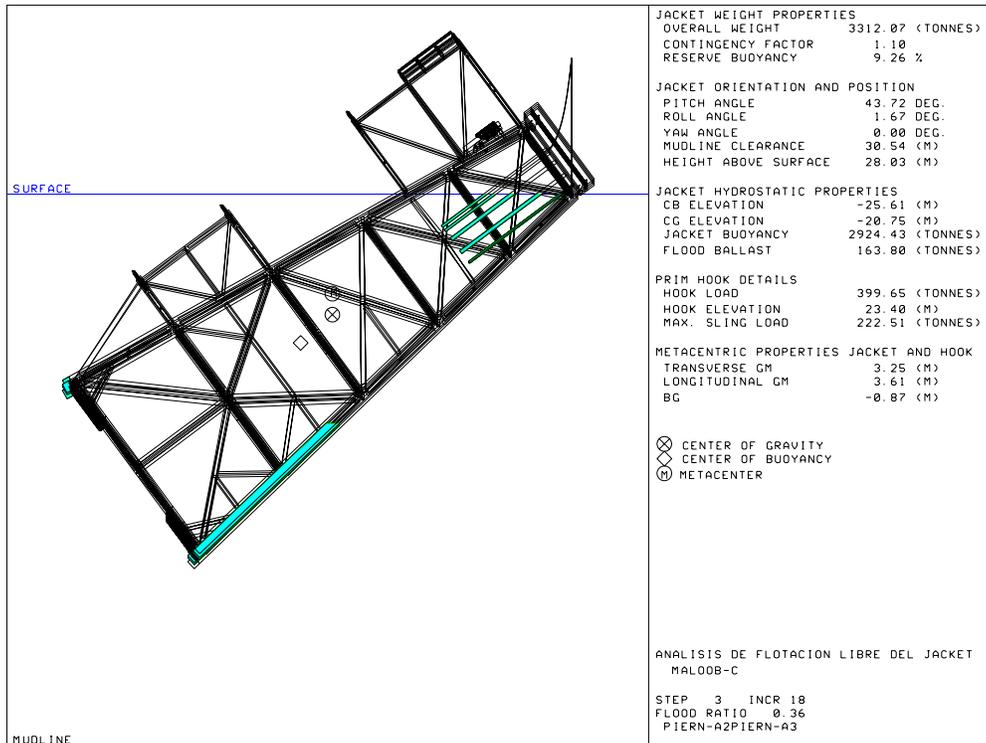


Fig. B.5. Posición de la estructura para una elevación del gancho de 23.40 m.

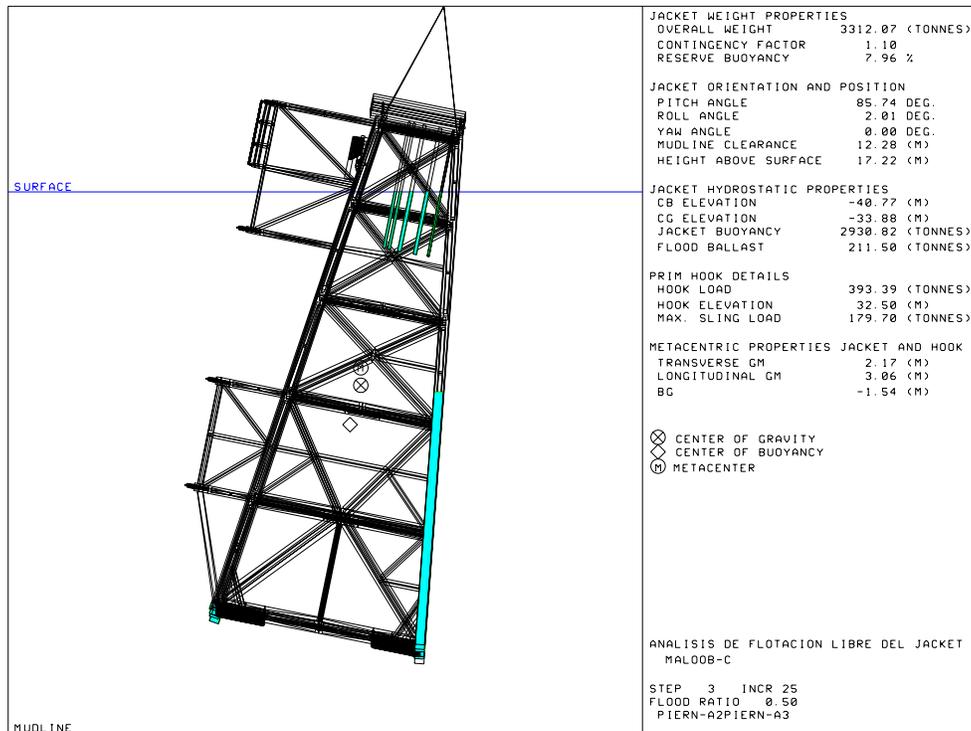


Fig. B.6. Posición de la estructura para una elevación de 32.50 m.

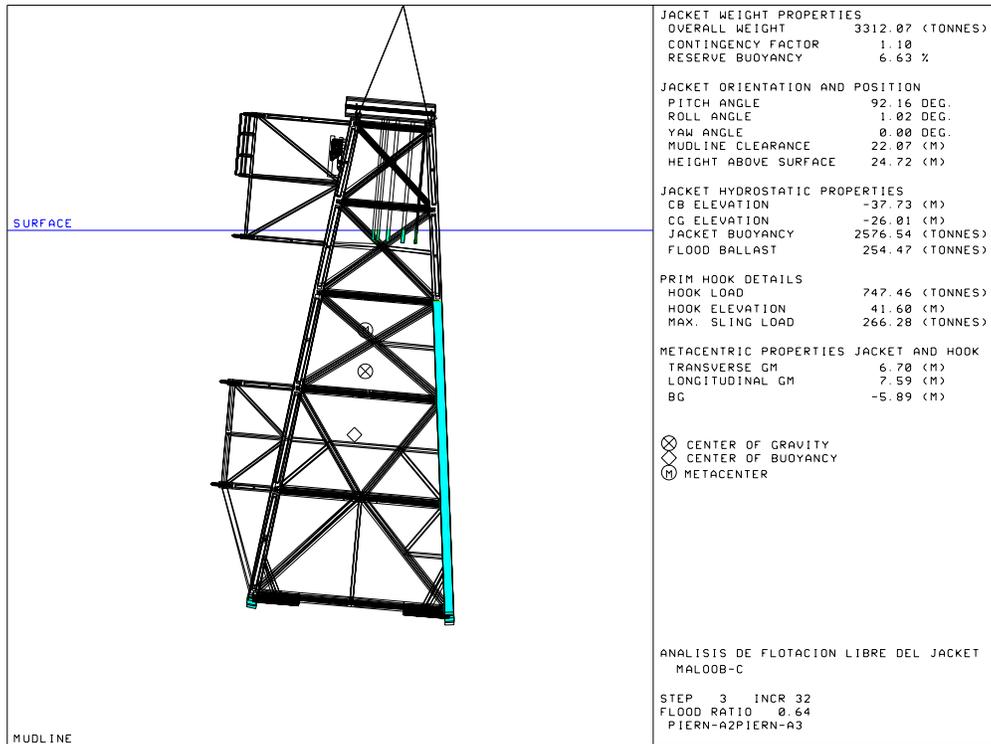


Fig. B.7. Posición de la estructura para una elevación de 41.60 m.

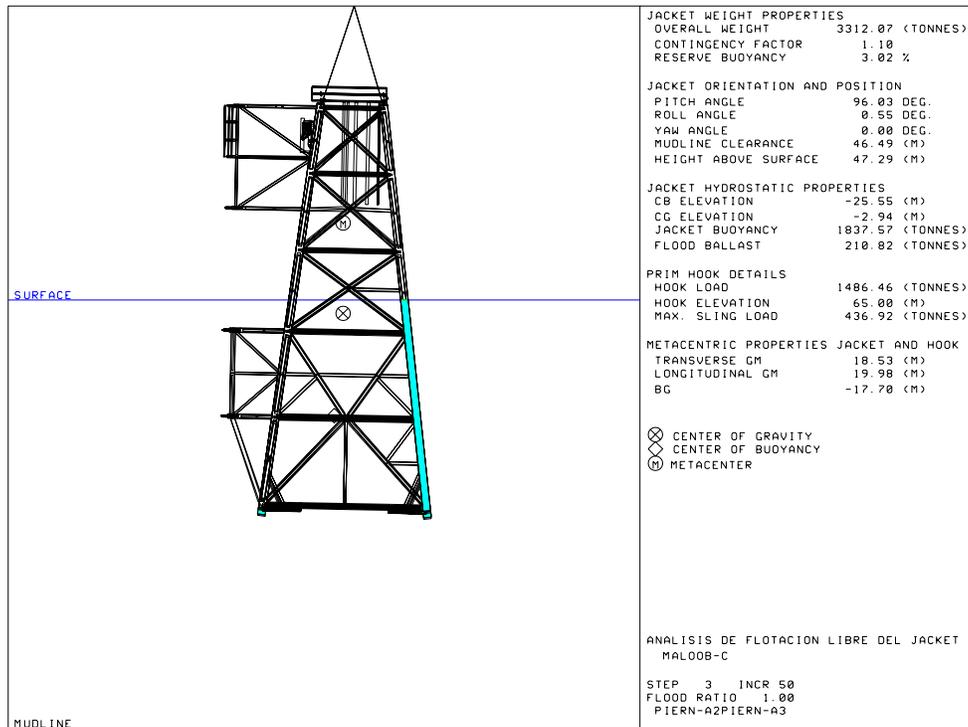


Fig. B.8. Posición de la estructura para una elevación de 65.00 m.

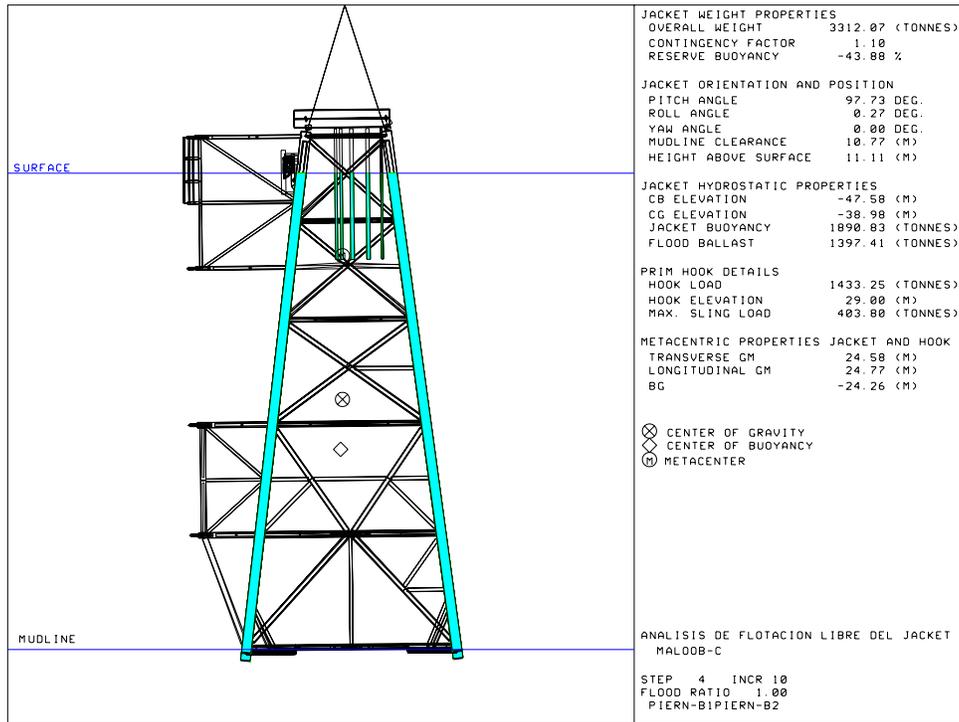


Fig. B.9. Posición de la estructura para una elevación de 29.00 m.