



COMPARTIMENTO ESTANCO DE UNA CUBIERTA
DE UNA PLATAFORMA SEMISUMERGIBLE.

TITULACIÓN INTEGRAL
TESIS

que para obtener el título de
INGENIERO NAVAL

presenta

RAYMUNDO LIZARRAGA OSUNA.

No. de Control: 131000273

Mazatlán, Sin., Junio de 2022.

Instituto Tecnológico de Mazatlán
División de Estudios Profesionales

OF. DE TITULACIÓN NO. 270/2021.

Mazatlán, Sinaloa, 14 de Junio de 2022

ASUNTO: Autorización de Impresión.

**C. LIZARRAGA OSUNA RAYMUNDO
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA NAVAL
OPCIÓN INSPECCION**

En atención a su solicitud de autorización de impresión de su trabajo de **Titulación Integral** relativa a **TESIS** con el título:

"COMPARTIMENTO ESTANCO DE UNA CUBIERTA DE UNA PLATAFORMA SEMISUMERGIBLE"

Cuya asesoría estuvo a cargo Asesor interno: el M.V.I. CAYETANO SIMON MOLINA y de los revisores el ING. GEOVANNI SAINT OSUNA BURGUEÑO y el ING. ELAM MORENO MOZO, la División de Estudios Profesionales del plantel le comunica que, no habiendo encontrado ningún inconveniente, proceda su impresión de acuerdo a los lineamientos establecidos para tal efecto.

ATENTAMENTE
EXCELENCIA EN EDUCACIÓN TECNOLÓGICA®



PEDRO DAVID AUÑELO GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PDAG*



Calle: Corsario 1 No 203 Colonia: Urías C.P. 82070
Mazatlán, Sinaloa.

Tel. 01 (669) 983-84 00 - 990-02-09 991-10-61

e-mail: direccion@itmazatlan.edu.mx

www.tecnm.mx



2022 Ricardo
Flores
Año de
Magón
PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA MEXICANA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Claudia Sofía Osuna Sandoval y Ángel Lizárraga Rodríguez, por brindarme la oportunidad, el apoyo y el siempre inculcar la superación académica para el crecimiento personal; a mi esposa Denisse Lizbeth Osuna González y a mi hija Sofía Leolett Lizárraga Osuna que con su amor y motivación logramos sacar adelante este gran proyecto.

Agradezco a mis hermanos Jesús Omar Lizárraga Osuna y Claudia Itzayeli Lizárraga Osuna, por contar con su apoyo incondicional a pesar de que tengamos rumbos distintos siempre están al pendiente de mí.

En especial agradezco a mis abuelas, Sofía Sandoval (que en paz descanse) y María Lizárraga, las cuales siempre muestran su apoyo incondicional hacia mi desde que era un niño, nunca me soltaron la mano y siempre creyeron que yo sería capaz de hacer todo lo que me propusiera.

A mis maestros en especial el profesor Cayetano Simón por compartir su tiempo y sabiduría.

Agradezco a todos mis amigos y compañeros que mantuve, hice y perdí durante esta gran etapa de mi vida.

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	4
3. HIPÓTESIS.....	6
4. OBJETIVO	7
4.1 Objetivo General.....	7
4.2 Objetivos Específicos	7
5. FUNDAMENTO TEÓRICO	8
5.1 Plataforma Semisumergible tipo “Flotel”	8
5.2 Análisis estructural por el método de elementos finitos	9
5.3 Esfuerzo Von Mises.....	14
6. PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE APLICACIÓN NAVAL	17
7. DESARROLLO DEL PROYECTO	21
7.1 Dimensiones Principales de la Plataforma Semisumergible tipo “Flotel” ..	21
7.2 Característica de la cubierta para ser estanco	22
7.3 Normas internacionales	25
7.4 Metodología del proyecto	27
7.4.1. Descripción del diseño de la cubierta para ser estanca.....	27
7.4.2. Sistema de coordenadas	28
7.4.3. Materiales	28

7.4.4.	Factor de seguridad	30
7.4.5.	Programa informático de elemento finito	31
7.4.6.	Modelado para análisis por elementos finitos	31
7.4.7.	Mallado de elementos finitos	32
7.4.8.	Aplicación de carga	32
7.4.9.	Resultados de análisis estructural	37
8.	CONCLUSIONES	41
9.	RECOMENDACIONES	42
10.	REFERENCIAS	43
11.	ANEXO	45
11.1	Planos de plataforma Semisumergible tipo flotel.	45
11.2	Planos estructurales de cubierta.....	48
11.3	Sellador tipo Rise / nofirno.....	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Dimensiones Principales.....	21
Tabla 2.	Tipo de material	28
Tabla 3.	Resistencia de diseño estructural	30
Tabla 4.	Tabla de volúmenes.....	35
Tabla 5.	Comparativa de esfuerzo permisible y esfuerzo Von Mises.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Tipos de Plataformas Costa Afuera. (Industry, s.f.)	1
Figura 2.	Campos con mayor producción de petróleo en México. (Commerce, s.f.)	2
Figura 3.	Las 3 etapas de una simulación numérica. La estructura de estudio, el modelado conceptual y el modelo de elemento finito con el programa Genie. (DNV.GL, 2016).....	2
Figura 4.	Fotografía de la Plataforma Semisumergible “Jupiter” en su hundimiento. (PEMEX, 2011).....	4
Figura 5.	Plataforma Semisumergible “Jupiter” tocando el lecho marino. (Offshore, s.f.)	4
Figura 6.	Vista de perfil lado de estribor, ubicación de cuarto de bombas.....	5
Figura 7.	Plataforma Semisumergible Flotel IOLAIR realizando trabajos a plataforma fija. (WIKIPEDIA, 2021)	8
Figura 8.	Comparativa entre un Análisis Estructural por el Método Analítico y el Método Numérico.	11
Figura 9.	Fases de Pre-Procesamiento de un Análisis estructural por el Método de Elementos Finitos. (Genie, 2011)	12
Figura 10.	Fases de Pre-Procesamiento de un Análisis estructural por el Método de Elementos Finitos, discretización del modelo estructural en Elementos Finitos.....	13
Figura 11.	Diferentes tipos de mallados o discretización.	13
Figura 12.	Fases de Post-Procesamiento de un Análisis estructural por el Método de Elementos Finitos. (Genie, 2011)	14
Figura 13.	Tensiones admisibles y márgenes de seguridad en acero dúctil. (Avilés, 2015).....	15

Figura 14.	Esfuerzo Hidrostático y Esfuerzo Desviatorio. (Ventura, 2016)	16
Figura 15.	Modelos estructurales elaborados en Genie. (GL, 2019)	17
Figura 16.	Tipos de elementos finitos generados en Genie. (GL, 2019).....	18
Figura 17.	Mallado generado en el programa Genie. (GL, 2019)	19
Figura 18.	Tipos de cargas empleados en Genie. (GL, 2019)	19
Figura 19.	Carga de equipo generado en Genie. (GL, 2019)	20
Figura 20.	Desplazamientos y esfuerzo generados en Genie. (GL, 2019)	20
Figura 21.	Plataforma Semisumergible tipo “Flotel”. (Traffic, 2007).....	21
Figura 22.	Vista transversal de la cubierta para ser estanco.	22
Figura 23.	Vista de perfil de la ubicación de la cubierta para ser estanca.	22
Figura 24.	Piso antiderrapante, ubicación anterior de Silo.....	23
Figura 25.	Acceso a cuarto de bombas de la parte superior.....	23
Figura 26.	Aberturas existentes de cables eléctricos.....	24
Figura 27.	Abertura de tuberías existentes.	24
Figura 28.	Vista de planta de las condiciones de la cubierta para ser estanca...	24
Figura 29.	Vista en 3 dimensiones de las aberturas de la cubierta para ser estanca.....	25
Figura 30.	Modelado en 3 dimensiones del diseño de la cubierta para ser estanca.....	27
Figura 31.	Tipo de acero en tambucho y placa de cubierta.	28
Figura 32.	Tipo de acero de refuerzos debajo de la cubierta.....	29
Figura 33.	Espesores de placas de cubierta y tambucho.	29
Figura 34.	Espesores de placa de cubierta y tambucho.	30
Figura 35.	Modelado de elementos placas.	31
Figura 36.	Modelado de elementos vigas.	31

Figura 37.	Mallado de cubierta.	32
Figura 38.	Eslora de condición 1.	33
Figura 39.	Manga y puntal condición 1.	33
Figura 40.	Eslora y puntal condición 2.	34
Figura 41.	Manga condición 2.	35
Figura 42.	Presión hidrostática sobre tambucho y cubierta.	36
Figura 43.	Aplicación de carga hidrostática en Genie.	36
Figura 44.	Esfuerzo máximo de Von Mises presentado.	37
Figura 45.	Elemento estructural con máximo esfuerzo Von Mises.	38
Figura 46.	Valores de esfuerzos Von Mises en el área superior del tambucho. .	38
Figura 47.	Deformación máxima presentada en la parte superior del tambucho.	39
Figura 48.	Deformación máxima presentada en la placa de cubierta.	39
Figura 49.	Deformación máxima presentada en los refuerzos de la cubierta.	40

RESUMEN

Las Plataformas Semisumergibles que operan en la industria del petróleo están sometidas a cargas ambientales que son oleaje, corriente marina y viento. La combinación de estas cargas ambientales con otros factores importantes como el deterioro de la placa del casco con el paso del tiempo, la falta de mantenimiento preventivo y la deficiencia en el diseño de la Plataforma puede causarle daños que provoquen hasta su hundimiento.

La etapa de diseño de una plataforma semisumergible es muy importante para prevenir daños durante la etapa de su operación. En esta etapa se deben de tomar en cuenta todos los posibles daños que pueda sufrir la plataforma para incluirle sistemas que puedan ayudar a que la plataforma continúe a flotar a pesar del daño que pueda sufrir.

Derivado del hundimiento de la Plataforma Sumergible tipo Flotel “Júpiter” en el 2011 en la zona de Campeche, fue considerado para este proyecto una Plataforma Semisumergible tipo Flotel similar, realizándole el diseño de una cubierta estanca para prevenir el mismo resultado registrado en la Plataforma “Júpiter”.

Para el estudio fue considerado una cubierta por donde pasan tuberías, cables eléctricos, la tripulación, etc. Para hacerla estanca se cubrieron con placa estructural los accesos, se fabricó e instaló un tambucho y una escotilla estanca para el acceso del personal.

Para verificar la estanqueidad de la cubierta diseñada, se realizó un modelo por el programa informático especializado que utiliza el método de elemento finito, se aplicó un mallado, se aplicaron las cargas correspondientes y se obtuvo el esfuerzo local Von Mises para determinar si el diseño propuesto cumple con la resistencia estructural adecuada.

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería naval presenta cada día nuevos retos donde el ingeniero naval tiene que conocer las nuevas tecnologías para desarrollar los cálculos estructurales navales para realizar diseños confiables cumpliendo con las normas y reglamentos nacionales e internacionales.

Los retos de los ingenieros navales en México son los mismos que se presentan en la industria del petróleo de nuestro país. Tal como lo indica (Cicilia, 2012), para efectuar las actividades de producción más allá de la costa, la industria petrolera internacional ha utilizado plataformas fijas, las torres flexibles, los sistemas submarinos y los sistemas flotantes.

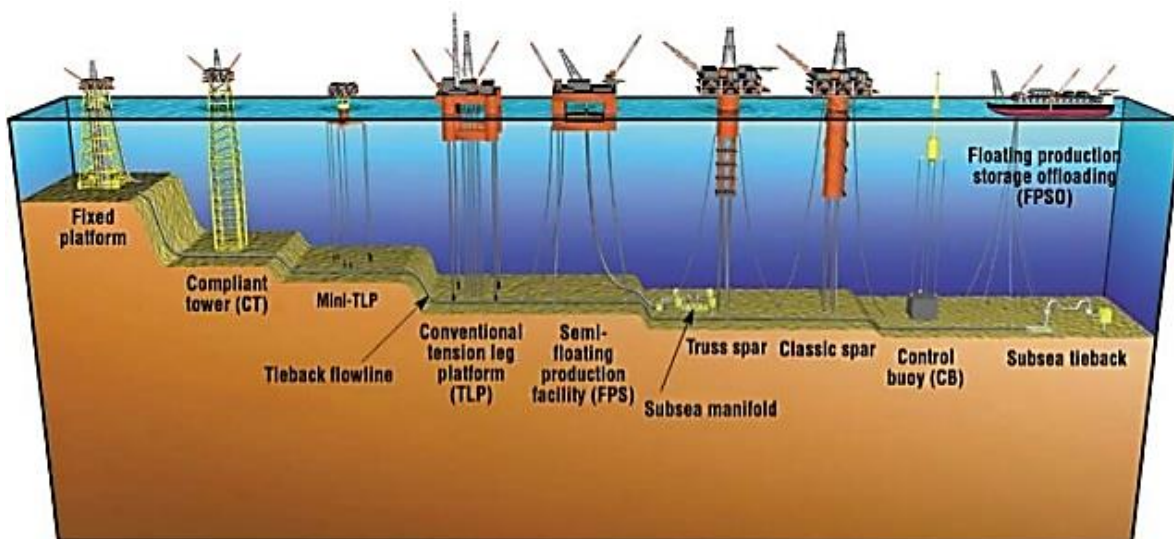


Figura 1. Tipos de Plataformas Costa Afuera. (Industry, s.f.)

De acuerdo con (Hidrocarburos, s.f.), el reporte de la actividad petrolera en México en noviembre de 2021 fueron un total de 7,097 pozos operando con 1,652.6 Miles de Barriles diarios. Donde los campos de mayor producción de petróleo fueron en

campos en aguas someras, los campos se indican en la siguiente imagen.

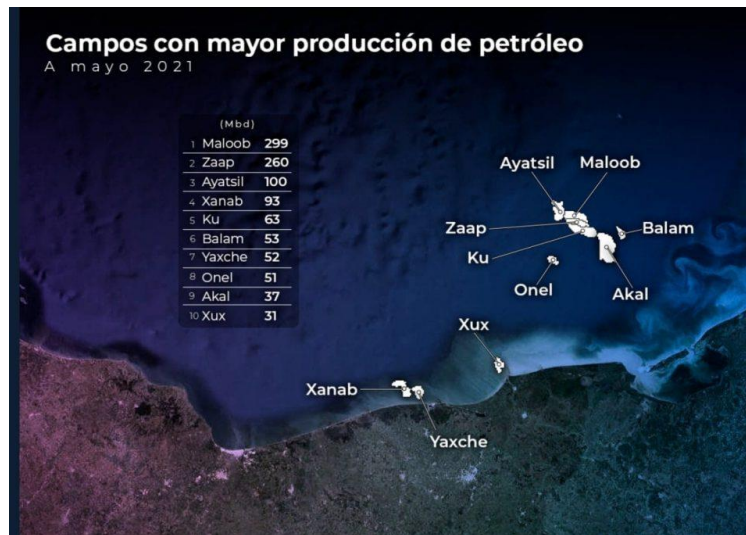


Figura 2. Campos con mayor producción de petróleo en México. (Commerce, s.f.)

Con el panorama actual es necesario actualizarse en la utilización de programas de cómputo para satisfacer los requerimientos y necesidades que la industria naval costa afuera exige en nuestro país.

Algunos de los programas que utilizan el método de elemento finito, simulación y análisis numéricos aplicados a la industria naval son Sesam Genie, Ansys entre otros. En donde se realiza un modelo conceptual del diseño y mediante un post procesador realiza el cálculo numérico de elemento finito. Esto se realiza de forma más rápida y más exacta, con la ventaja de ahorrar tiempo y ahorrar material en los diseños estructurales.

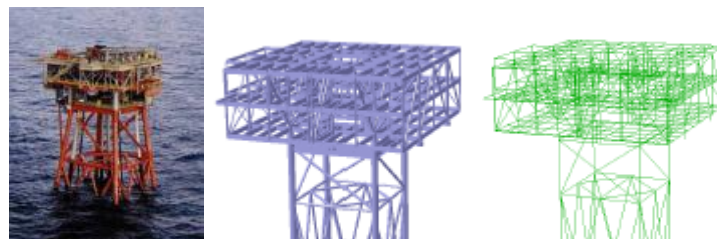


Figura 3. Las 3 etapas de una simulación numérica. La estructura de estudio, el modelado conceptual y el modelo de elemento finito con el programa Genie. (DNV.GL, 2016)

Los ingenieros Navales nos enfrentamos hoy en día a nuevos retos, retos de actualizarnos en conocimientos estructurales y en la utilización de herramientas que optimicen los cálculos que la industria naval requiere.

La industria naval costa afuera requiere de rediseños y adecuaciones estructurales para prevenir accidentes y optimizar la funcionalidad dentro de sus servicios en el ámbito marino. Para realizar el diseño del compartimento estanco de una cubierta de una plataforma semisumergible es necesario contar con los conocimientos apropiados para desarrollar de manera correcta los cálculos estructurales navales.

2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto surge a partir del antecedente ocasionado con la Plataforma Semisumergible “Júpiter” ocurrido en el año 2011. De acuerdo con (Proceso, 2011), el accidente fue mecánico aparentemente en una válvula de control del pontón de babor de la plataforma semisumergible, las bombas de achique propias de la instalación fueron insuficientes para contrarrestar la entrada de agua a la misma, por lo que se procedió a la evacuación completa del personal. Tras varios intentos para rescatar la plataforma, no se logró estabilizarla, se pantoqueó y se hundió.



Figura 4. Fotografía de la Plataforma Semisumergible “Jupiter” en su hundimiento. (PEMEX, 2011)

Actualmente la plataforma ya fue removida por la empresa Mammoet. De acuerdo con (Executive, 2019), la plataforma se localizaba a 38 metros de profundidad.

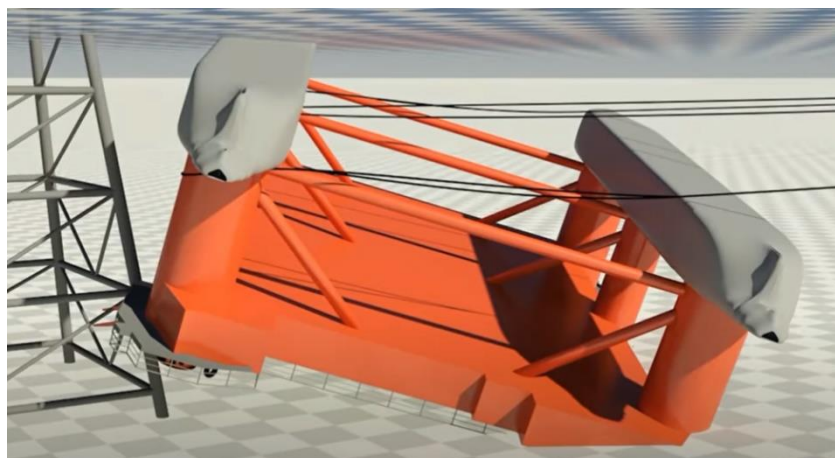


Figura 5. Plataforma Semisumergible “Jupiter” tocando el lecho marino. (Offshore, s.f.)

Verificando el diseño de una Plataforma Semisumergible similar a la Plataforma Semisumergible “Júpiter”, se analizó los efectos de inundación en el cuarto de bombas o en la columna. Debido a que la cubierta situada a 8.25 m de la línea base no es estanca, y si está cubierta no es estanca tendría el mismo resultado que presentó la Plataforma Semisumergible “Júpiter”. En la siguiente imagen se observa una imagen de la ubicación del cuarto de bombas.

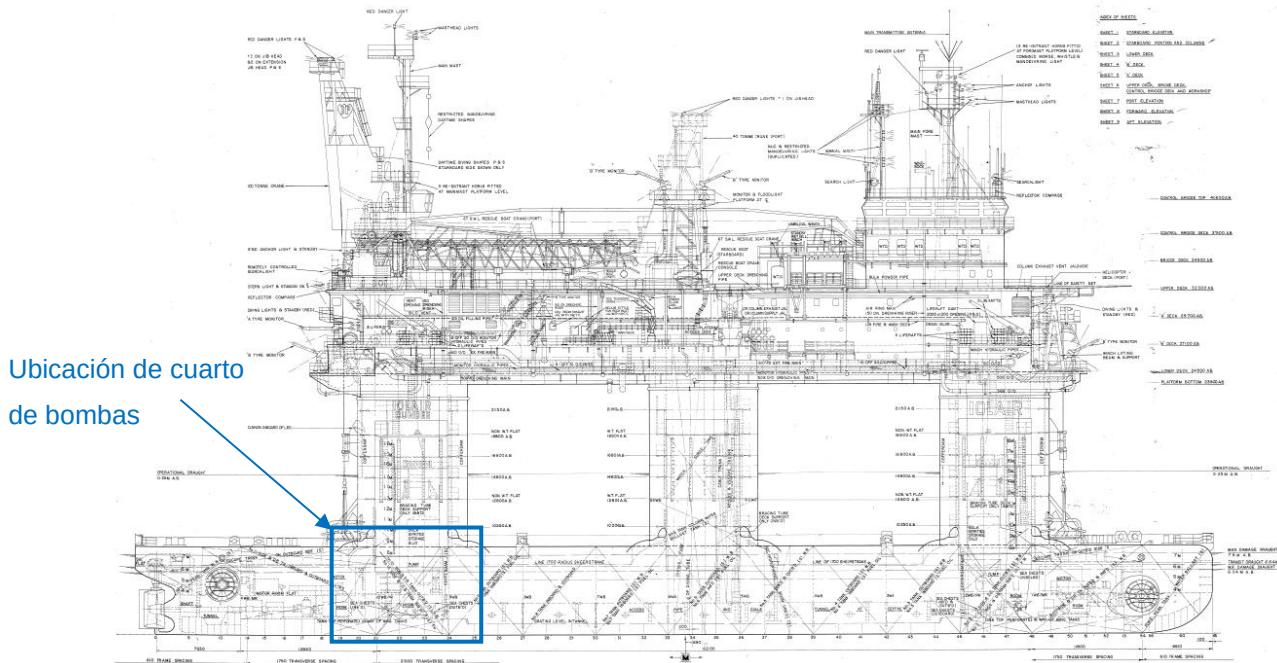


Figura 6. Vista de perfil lado de estribor, ubicación de cuarto de bombas.

Justificando de esta forma la realización del diseño estructural de un compartimento estanco de la cubierta ubicada a 8.25 m de la línea base.

3. HIPÓTESIS

Con una simulación numérica mediante el método de elemento finito y utilizando un programa informático especializado para la industria naval se logra predecir el comportamiento estructural de un compartimento estanco de una cubierta de una plataforma semisumergible considerando la carga de presión hidrostática provocada por la entrada de agua.

4. OBJETIVO

4.1 Objetivo General

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño de un compartimento estanco de la cubierta de una Plataforma Semisumergible considerando la presión hidrostática por la entrada de agua y cumpliendo con las normas internacionales de seguridad estructural.

4.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar y elaborar un modelo estructural en 3 dimensiones de la cubierta estanca mediante un programa informático especializado de aplicación naval.
2. Elaborar del modelo estructural de la cubierta estanca, el mallado correspondiente, para que pueda ser analizado por el método de elementos finitos mediante el programa informático especializado de aplicación naval.
3. Definir y aplicar las cargas hidrostáticas a que será sometido la cubierta estanca por posible entrada de agua.
4. Realizar el análisis estructural por el método de elementos finitos mediante el programa informático especializado de aplicación naval.
5. Obtener el esfuerzo Von Mises.
6. Verificar si los resultados cumplen con las normas internacionales de seguridad estructural.

5. FUNDAMENTO TEÓRICO

5.1 Plataforma Semisumergible tipo “Flotel”

Actualmente en la industria del petróleo en México, se utilizan muchas plataformas tipo “Flotel” para alojar al personal que trabaja en las plataformas fijas o en sistemas flotantes de producción o almacenamiento de petróleo y gas en la zona de Campeche.

Las Plataformas Semisumergibles tipo “Flotel” o “Alojamientos Flotantes” tienen la siguiente característica como lo indica (Whamond, 2019), son sistemas flotantes que prestan apoyo a las operaciones costa afuera y que sirven de alojamiento temporal para los operarios que tienen diversas tareas en otras plataformas como las tareas de mantenimiento, supervisión, reparación, etc. Normalmente cuentan con medios de propulsión propios, sus facilidades permiten mejores comodidades y servicios al personal.



Figura 7. Plataforma Semisumergible Flotel IOLAIR realizando trabajos a plataforma fija.
(WIKIPEDIA, 2021)

Sus principales características son la de servir de talleres flotantes y de alojamiento temporal del personal que efectúa trabajos de mantenimiento de plataformas

productivas durante un periodo prolongado. Por lo general, se ubican a una distancia cercana o unidades mediante una pasarela telescópica a las unidades que apoyan. Además de los alojamientos cuenta con servicios para el personal, talleres, depósitos de repuestos y material, grúas, capacidad de generación eléctrica, helipuerto, etc.

5.2 Análisis estructural por el método de elementos finitos

El método de elementos finitos es muy importante para predecir el comportamiento físico de sistemas de ingeniería complejas. En la actualidad los programas informáticos destinados a realizar análisis por el método de elementos finitos tienen una gran aceptación en la industria, en la educación y en la investigación del ámbito naval.

El Método de Elementos Finitos es un método numérico para la solución de problemas de Ingeniería que involucran un alto grado de complejidad.

Los Método Numérico son técnicas mediante las cuales es posible formular problemas matemáticos de tal forma que puedan resolverse usando operaciones aritméticas. Algunos de los Métodos Numéricos son los siguientes:

- Raíces de ecuaciones:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Sea

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad y \quad x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

- Sistemas de ecuaciones lineales simultáneas:

$$\begin{cases} 2x - 4y + 3z = 11 \\ 3x + 3y - z = 2 \\ x - y + 2z = 5 \end{cases}$$

- Interpolación, diferenciación e integración:

$$I = \int_1^{1.5} e^{-x^2} dx = \frac{1}{4} \int_{-1}^1 e^{-\frac{(t+5)^2}{16}} dt$$

- Ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

- Ecuaciones diferenciales parciales:

$$\frac{dy}{dx} - 4y = 2$$

Para determinar el comportamiento estructural puede realizarse de dos maneras:

1. Por el Método Analítico: donde se utilizan formulas ya desarrolladas y comprobadas para determinar el comportamiento físico de una estructura que puede ser el esfuerzo, la deformación, etc.
2. Por el Método Numérico: Es utilizando los programas informáticos que utilizan el método de elementos finitos que los programas especializados utilizan resolviendo las ecuaciones diferenciales, ecuaciones de integración, etc. para determinar el comportamiento físico de una estructura que puede ser el esfuerzo, la deformación, etc.

En la siguiente imagen se muestra una comparativa entre un Análisis Estructural utilizando el Método Analítico y el Método Numérico mediante un programa informático, siendo el método numérico más exacto y presentando los resultados en diferentes secciones del elemento estructural.

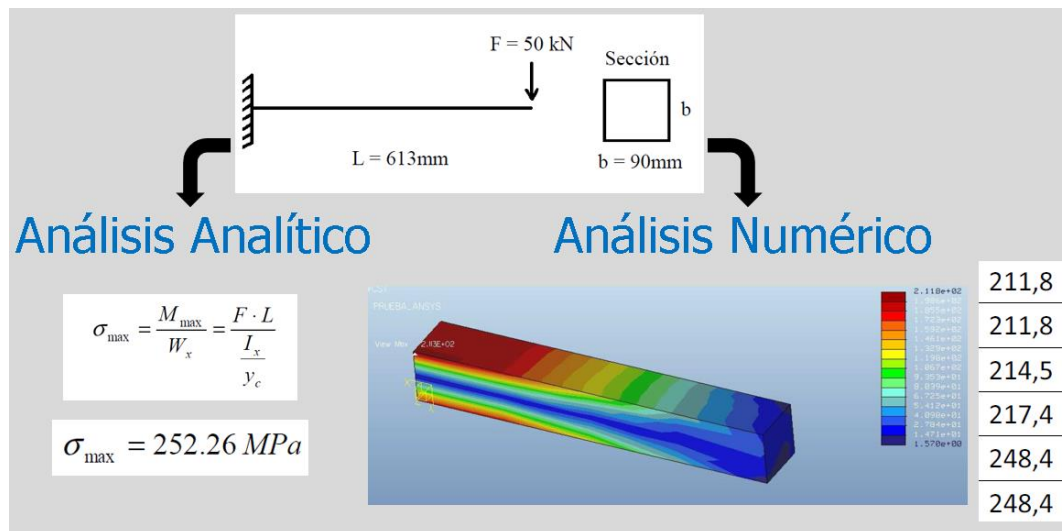


Figura 8. Comparativa entre un Análisis Estructural por el Método Analítico y el Método Numérico.

Las fases y pasos básicos implicados en un Análisis estructural por el Método de Elementos Finitos es el siguiente:

Fase de Pre-procesamiento

- 1 Elaboración de modelo estructural en 3 dimensiones, con sus propiedades físicas.
- 2 Discretizar o dividir el modelo estructural en elementos finitos; es decir, generar nodos y elementos. Se le conoce como mallado, este no siempre es uniforme. El tamaño de la malla depende de la exactitud del análisis.
- 3 Aplicación de cargas y condiciones de frontera asumiendo el comportamiento físico del sistema.

Fase de Solución

- 4 Resolver el conjunto de ecuaciones algebraicas lineales o no lineales simultáneamente para obtener los resultados nodales.

Fase de Post-Procesamiento

- 5 Obtener información importante del comportamiento estructural, como las deformaciones, esfuerzos, etc.

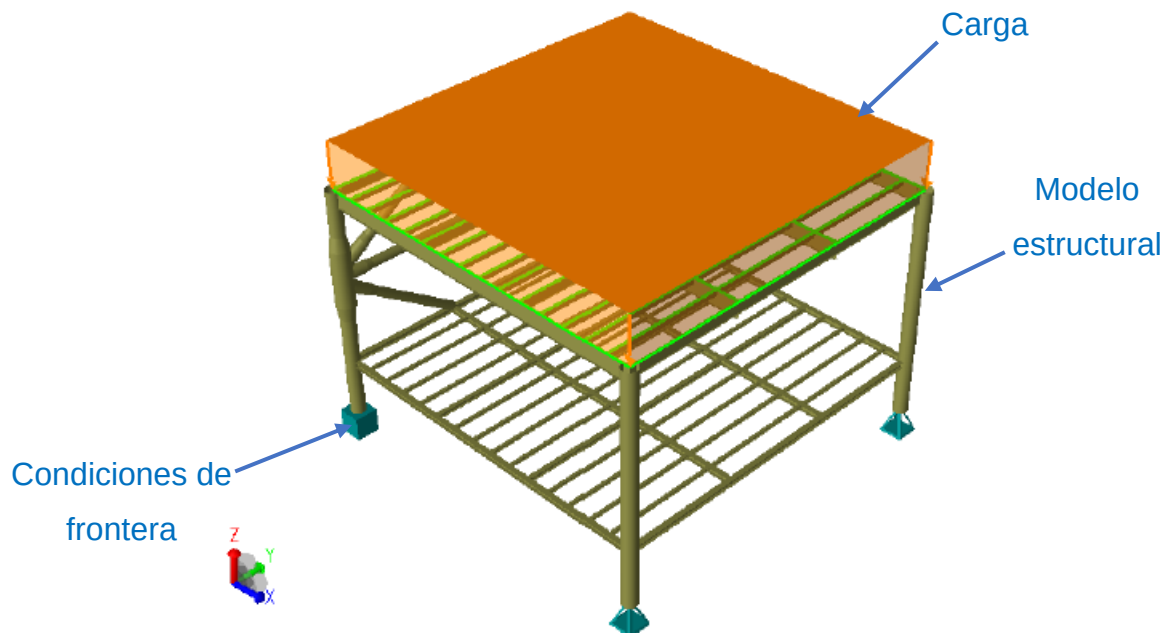


Figura 9. Fases de Pre-Procesamiento de un Análisis estructural por el Método de Elementos Finitos. (Genie, 2011)

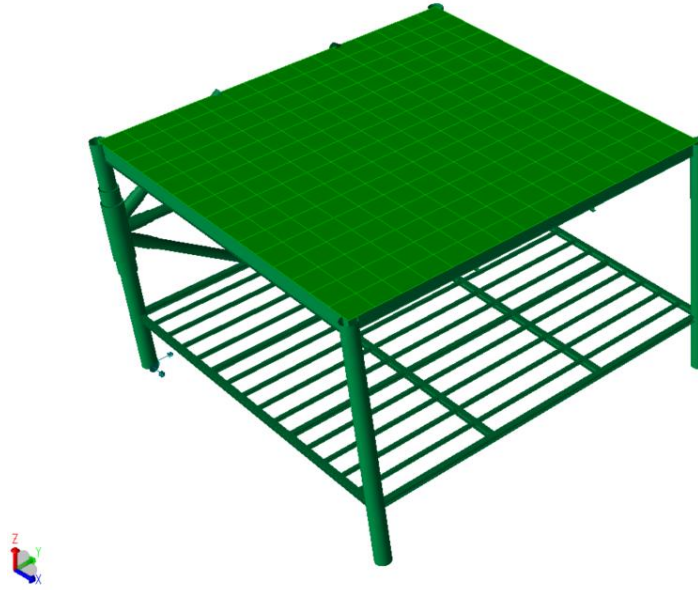


Figura 10. Fases de Pre-Procesamiento de un Análisis estructural por el Método de Elementos Finitos, discretización del modelo estructural en Elementos Finitos.

La discretización o mallado puede ser en elementos de 2 dimensiones o 3 dimensiones. Las de 2 dimensiones son los mostrados en la siguiente figura (A), donde cada punto indicado con número es un nodo, y la formación de 2 nodos es un elemento. El mallado de 3 dimensiones indicados en (B) de la siguiente figura.

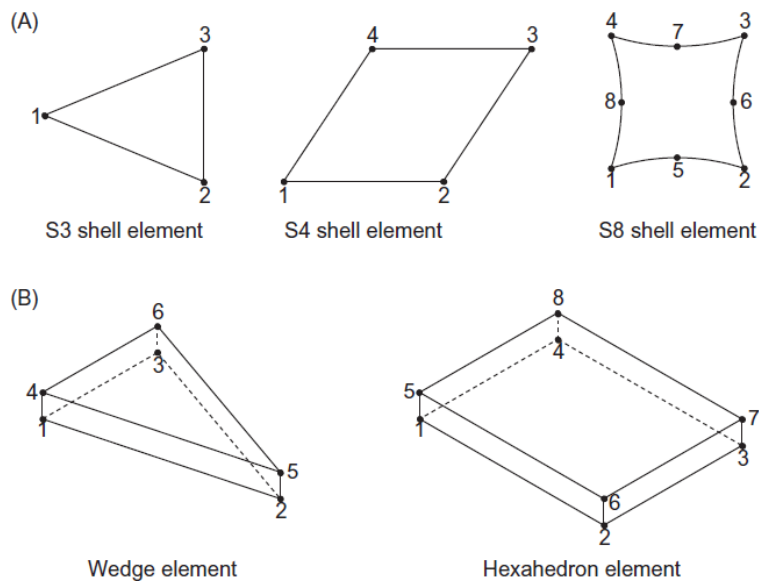


Figura 11. Diferentes tipos de mallados o discretización.

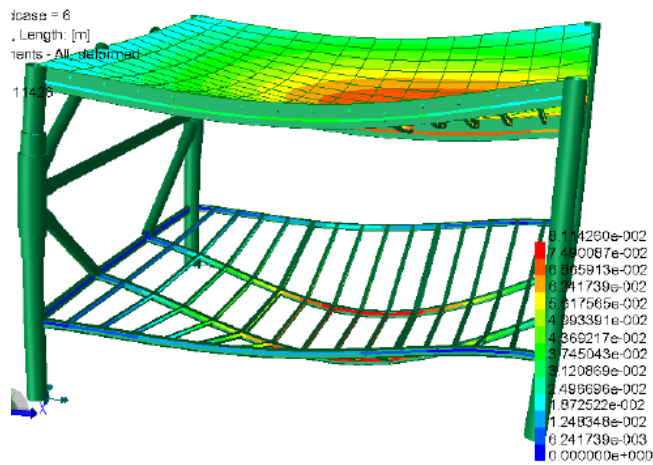


Figura 12. Fases de Post-Procesamiento de un Análisis estructural por el Método de Elementos Finitos. (Genie, 2011)

5.3 Esfuerzo Von Mises

De acuerdo con (SIMSCALE, 2021), el esfuerzo de Von Mises es un valor que se utiliza para determinar si un material dado cederá o se fracturará. Se utiliza principalmente para materiales dúctiles como los metales.

Cabe indicar que un material dúctil es el que posee gran deformación antes de llegar a la ruptura. En la siguiente imagen se muestra el comportamiento de un material dúctil. Donde σ_{yp} es el límite de fluencia o cedencia del material también llamado límite elástico, es el máximo valor donde la deformación es elástica. A partir del límite de fluencia el material comienza el fenómeno conocido como fluencia, donde el material entra en la zona plástica y se caracteriza en un alargamiento muy rápido de la deformación sin el incremento de carga.

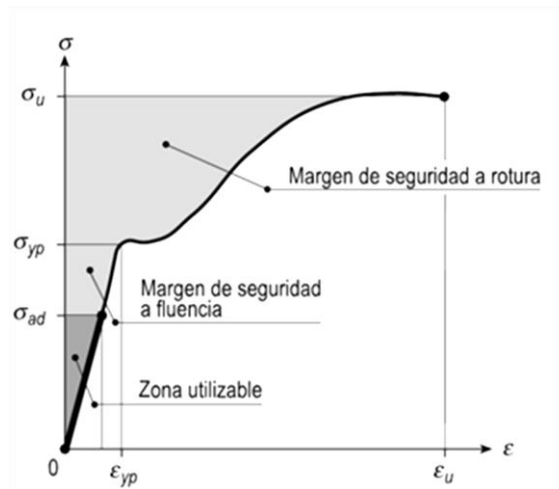


Figura 13. Tensiones admisibles y márgenes de seguridad en acero dúctil. (Avilés, 2015)

Los materiales dúctiles disponen de una seguridad adicional que es la zona plástica frente a la ruptura. Como lo menciona (Avilés, 2015), sobrepasando el límite de fluencia aún queda un margen de tensiones, es decir, que en caso de producirse la rotura de la pieza, esta no es instantánea, pudiera decirse coloquialmente que los materiales dúctiles avisan antes de romper, lo que hace que algunos efectos del fallo puedan ser minimizados.

Indicado en (SIMSCALE, 2021), la teoría de la teoría elástica comenzó con los estudios de Robert Hooke en el siglo XVII quien exploró conceptos fundamentales de la deformación y el desplazamiento. En el siglo XIX nació la teoría cuantitativa y matemática de la elasticidad de los cuerpos, que permitió el uso del cálculo integral y diferencial a la hora de modelar los fenómenos elásticos.

Surge en 1904 la teoría de la energía de distorsión máxima propuesto inicialmente por Hubert y desarrollado por Richard Edler Von Mises en 1913. Según Von Mises, la fluencia se produce cuando la energía de distorsión alcanza un valor crítico. Este valor crítico, que es específico para cada material, se puede obtener fácilmente realizando una prueba de tensión simple. (SIMSCALE, 2021)

Como lo menciona (Ventura, 2016), Von Mises propuso que el tensor esfuerzo se podía se podía descomponer en 2 partes, a las que definió como: "Esfuerzo

Hidrostático" y "Esfuerzo Desviatorio" como se muestra en la siguiente figura. La parte hidrostática responde a los cambios en volumen, y la parte desviatoria es responsable de la deformación. Descubrió que la parte desviatoria es la responsable de la fluencia, y que la parte hidrostática no afecta en la fluencia.

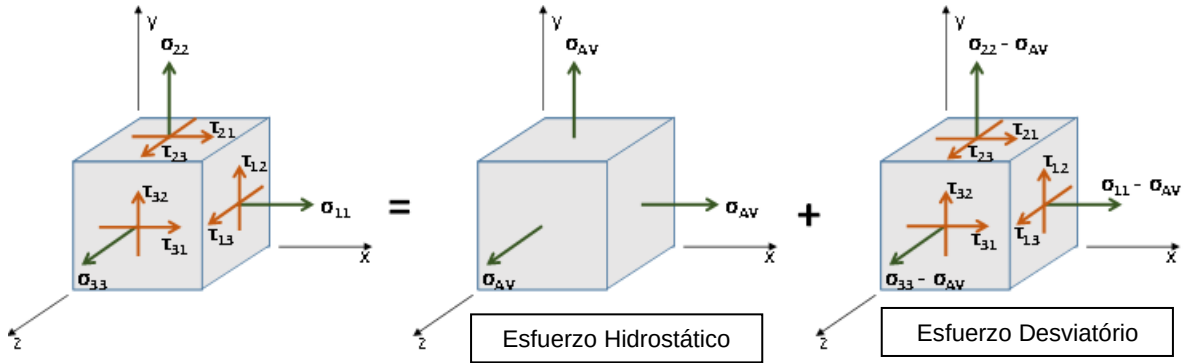


Figura 14. Esfuerzo Hidrostático y Esfuerzo Desviatorio. (Ventura, 2016)

El uso del criterio de Von Mises es una de las formas de comparar los seis valores del tensor esfuerzo con el esfuerzo de fluencia del material en cuestión. En varios libros, artículos, y otro tipo de publicaciones podemos encontrar la fórmula para calcular el esfuerzo de Von Mises con base en los esfuerzos principales, misma que se expresa a continuación. (Ventura, 2016).

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(1/2)[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)]}$$

6. PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE APLICACIÓN NAVAL

En la actualidad existen diversos programas informáticos que el Ingeniero Naval tiene como herramienta para realizar sus cálculos navales. Dichos programas están especializados en realizar algún tipo de tarea como son cálculos navales, cálculos estructurales, elaboración de planos, etc.

El Programa Informático utilizado en este proyecto es el Programa Sesam. De acuerdo con (GL, 2019), Sesam es un paquete de programas para el análisis hidrodinámico y estructural de barcos y estructuras costa afuera. Basado en el método de elementos finitos. Sus principales herramientas son Genie, HydroD, Sima y DeepC que a través de sus funcionalidades nos ayudan para modelar y realizar el análisis específico según el estudio a realizar.

Genie es un programa informático para realizar el modelo conceptual en 3 dimensiones de la estructura en estudio, en el cual se puede generar cargas de equipos, cargas puntuales, cargas lineales y de superficie así como cargas de viento.

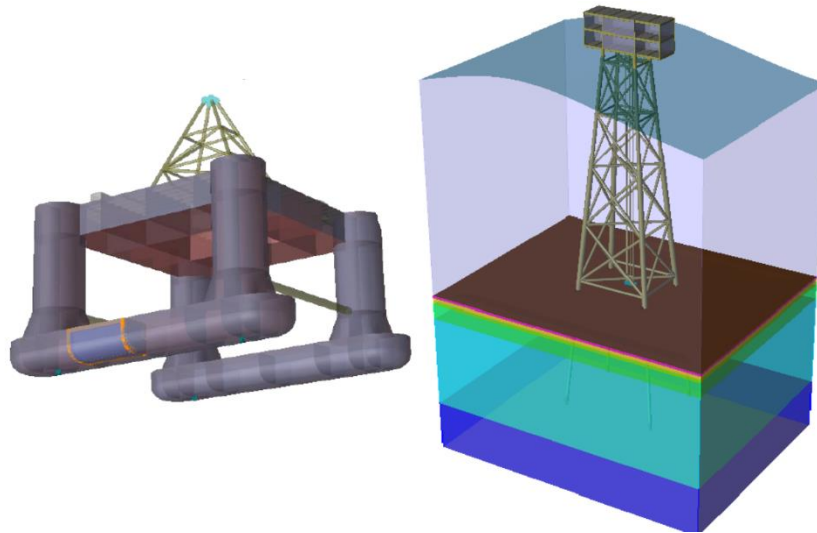


Figura 15. Modelos estructurales elaborados en Genie. (GL, 2019)

Genie puede crear los siguientes tipos de elementos finitos mostrados en la siguiente figura. (a) Barra con 2 nodos, (b) viga con 2 nodos, (c) viga con 3 nodos

de segundo orden, (d) placas con 3 nodos de forma triangular, (e) placas con 4 nodos de forma cuadrilateral, (f) placas tipo curva para forro de forma triangular con 6 nodos y (g) placas tipo curva para forro de forma cuadrilateral con 8 nodos.

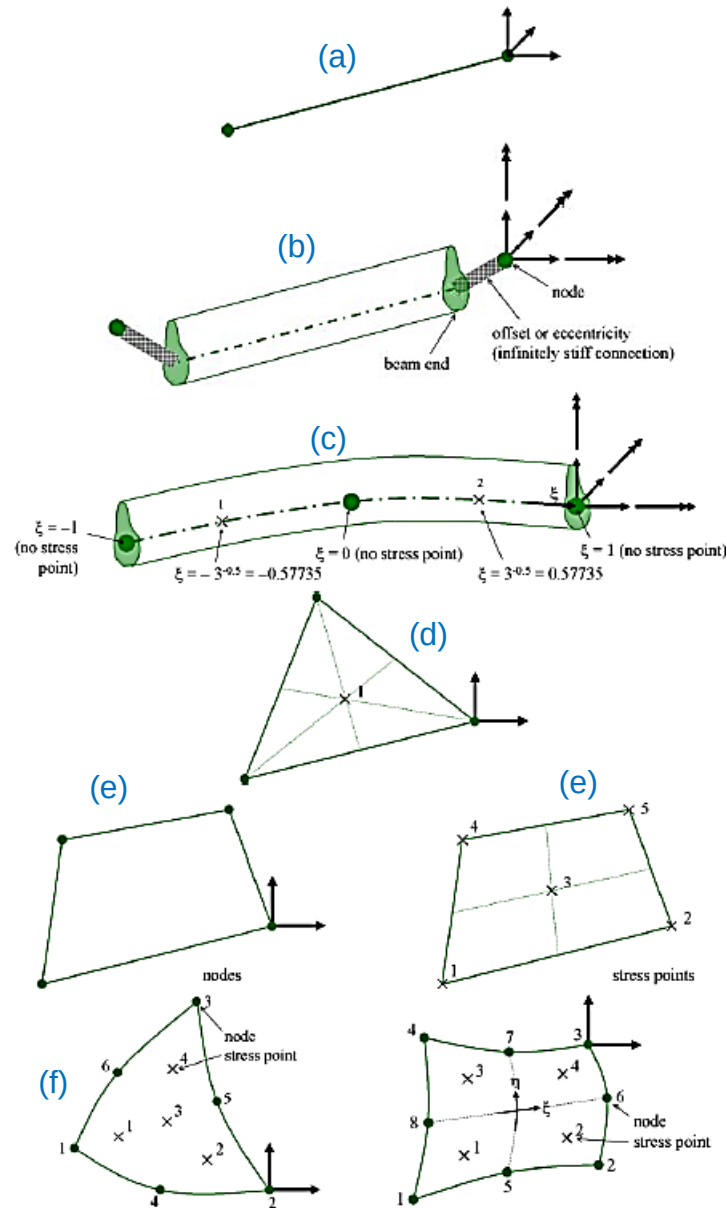


Figura 16. Tipos de elementos finitos generados en Genie. (GL, 2019)

En el programa Genie cuando se genera el mallado siempre refleja la geometría. Las geometrías básicas formadas por vigas, placas y placas curvas determinan el mallado del elemento finito. (GL, 2019)

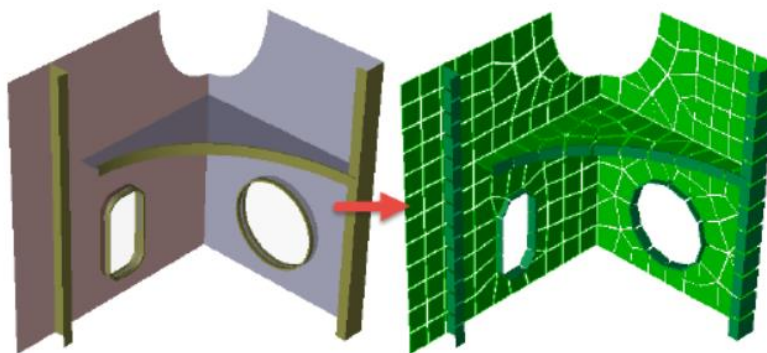


Figura 17. Mallado generado en el programa Genie. (GL, 2019)

Los tipos de cargas que se pueden aplicar en Genie son: (a) Cargas puntuales, (b) cargas lineales y (c) cargas de superficie.

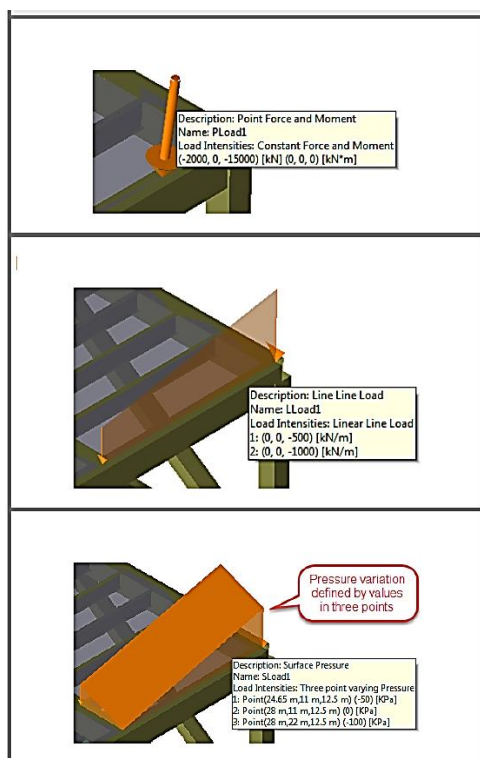


Figura 18. Tipos de cargas empleados en Genie. (GL, 2019)

Genie tiene una herramienta de generar también carga derivado de equipo. Como se muestra en la siguiente figura.

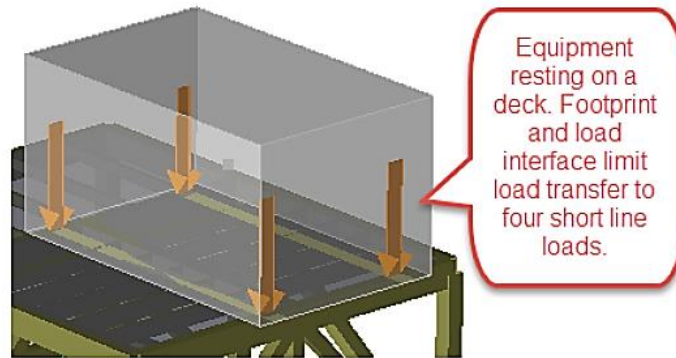


Figura 19. Carga de equipo generado en Genie. (GL, 2019)

El Post-Procesador de Genie genera algunos de los siguientes resultados: (a) el desplazamiento de vigas y placas mostrando como grafico de contorno en una vista de 3 dimensiones, (b) esfuerzos (esfuerzo de Von Mises, esfuerzos principales, cortantes, etc.) en placas y placas curvas presentado como gráfico de contorno en una vista de 3 dimensiones, etc.

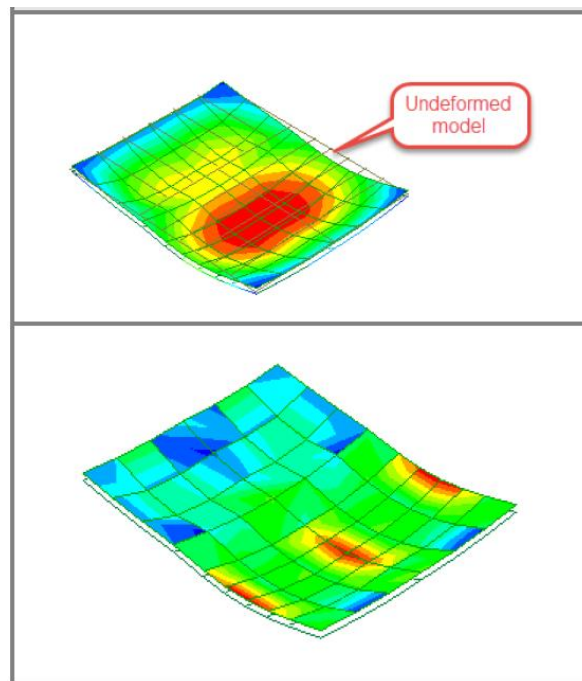


Figura 20. Desplazamientos y esfuerzo generados en Genie. (GL, 2019)

7. DESARROLLO DEL PROYECTO

7.1 Dimensiones Principales de la Plataforma Semisumergible tipo “Flotel”

Las dimensiones principales de la plataforma en estudio se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1. Dimensiones Principales

Eslora (m)	102.00
Manga (m)	76.50
Calado de tránsito (m)	6.54
Calado de operación (m)	15.25
Velocidad (Nudos)	12
Tripulación	44
Arqueo bruto (t)	15,765.00
Arqueo neto (t)	4,746



Figura 21. Plataforma Semisumergible tipo “Flotel”. (Traffic, 2007)

7.2 Característica de la cubierta para ser estanco

La cubierta localizada a 8.25 de la línea base, arriba del cuarto de bomba se encuentra con aberturas por donde hay una escalera y también aberturas con accesos de cables y tuberías existentes.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación de la cubierta para ser estanco.

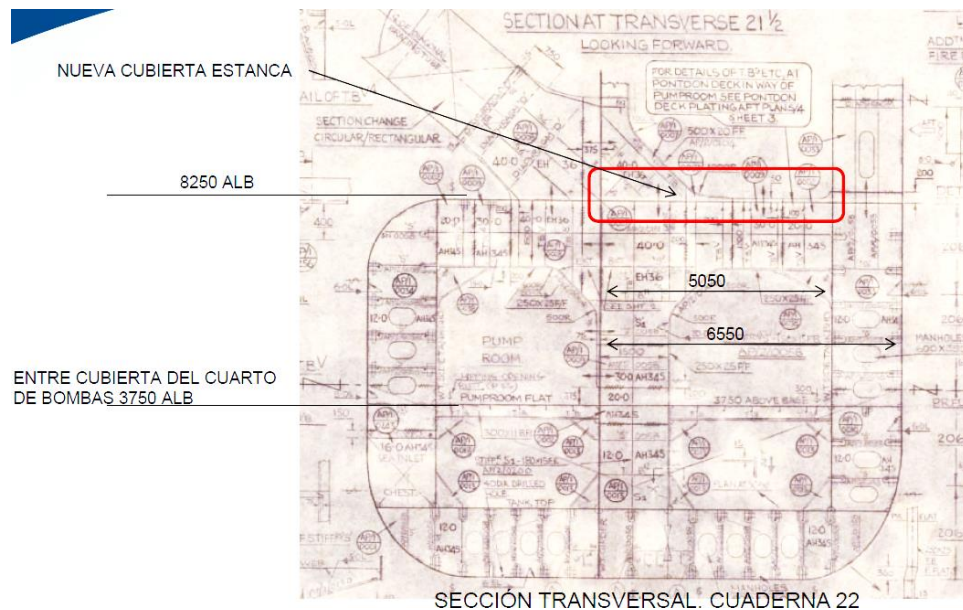


Figura 22. Vista transversal de la cubierta para ser estanco.

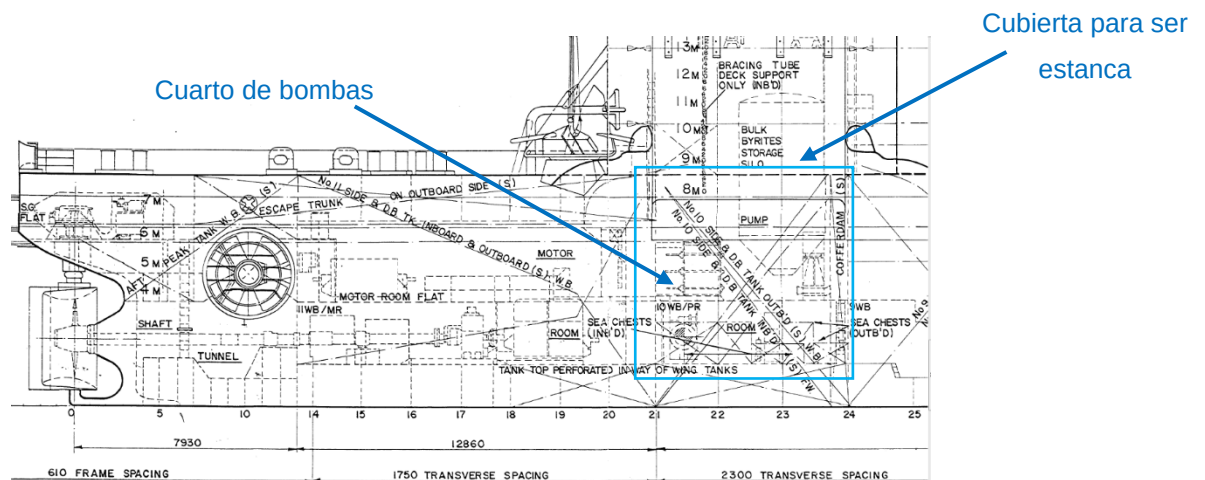
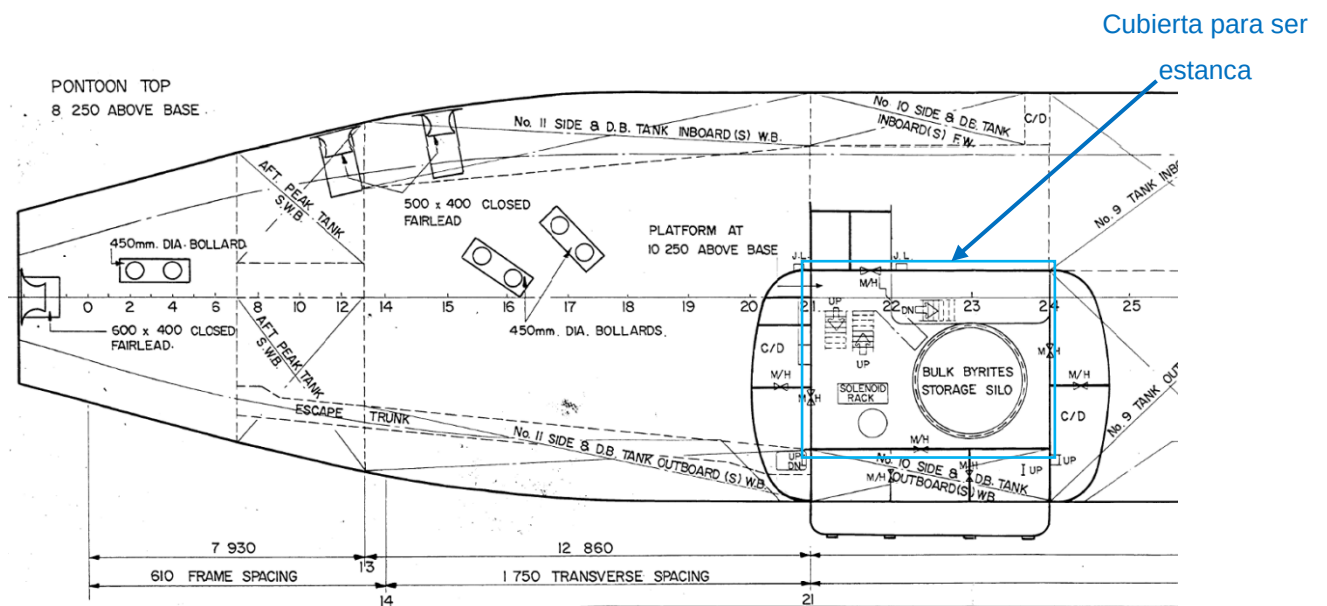


Figura 23. Vista de perfil de la ubicación de la cubierta para ser estanca.



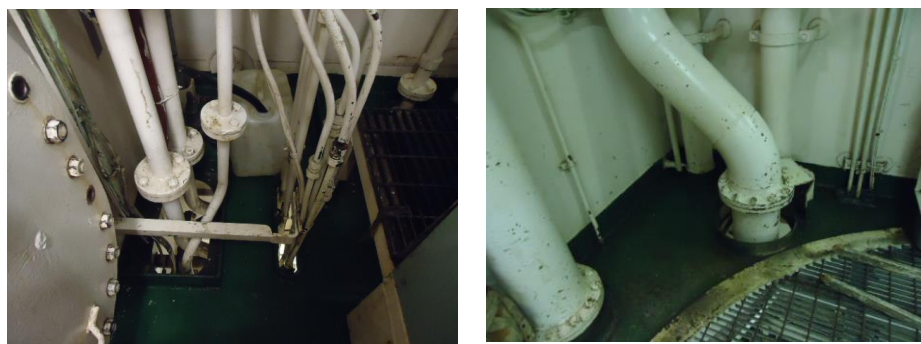
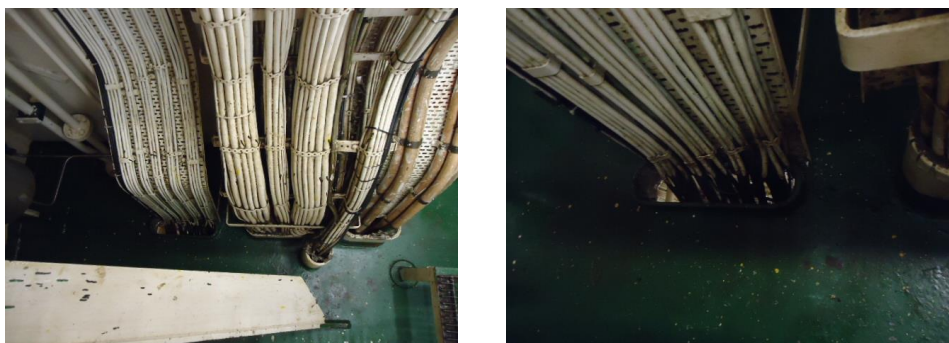
Derivado de un levantamiento físico, se logró percibir las condiciones actuales de la cubierta localizada arriba del cuarto de bombas, cubierta para ser estanca.



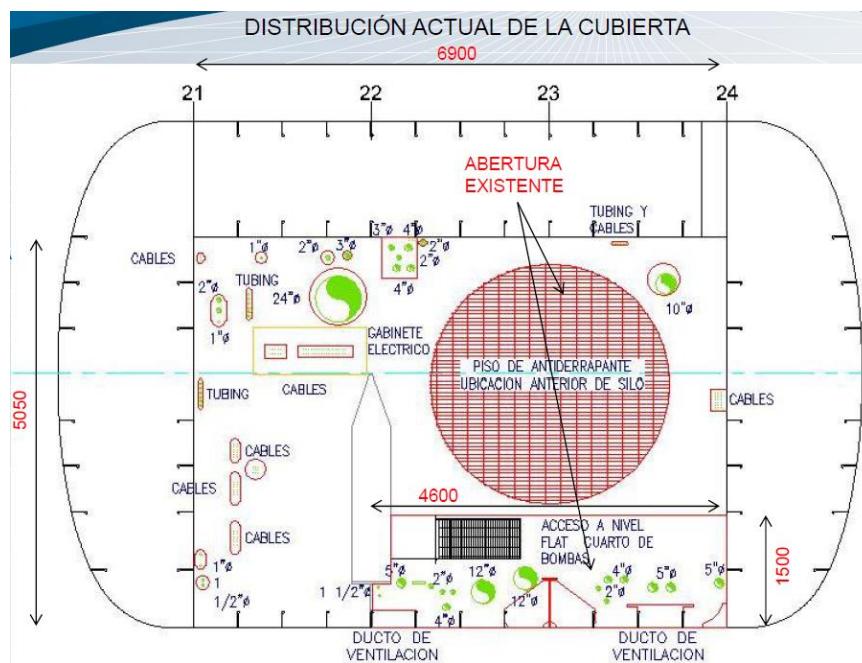
Figura 24. Piso antiderrapante, ubicación anterior de Silo.



Figura 25. Acceso a cuarto de bombas de la parte superior.



La vista de planta de las condiciones actuales y dimensiones se muestra en la siguiente imagen.



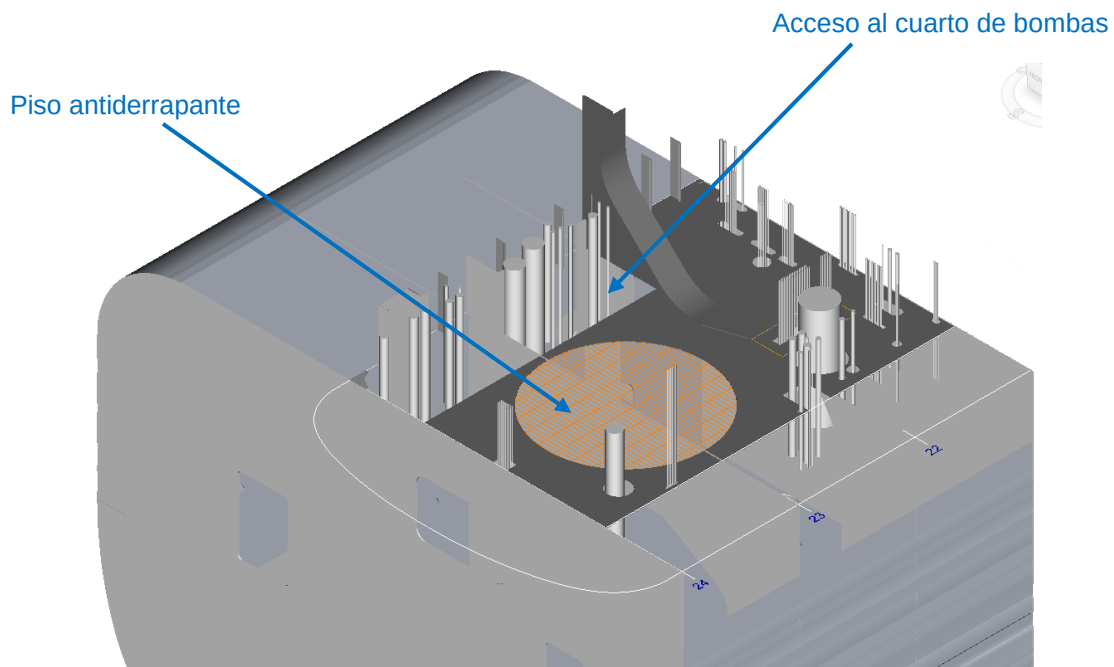


Figura 29. Vista en 3 dimensiones de las aberturas de la cubierta para ser estanca.

7.3 Normas internacionales

Considerando que la Plataforma Semisumergible tipo “Flotel” está clasificado por la casa clasificadora DNV GL. Para realizar estanca la cubierta tiene que cumplir con las siguientes normativas:

1. DNVGL-OS-C301 Stability and watertight integrity, edición Julio 2020. Esta normativa costa afuera indica *“El número de subdivisiones de aberturas estancas se mantendrá en un mínimo compatible con el diseño y funcionamiento adecuado de la unidad o instalación. Cuando sean necesarias penetraciones en cubierta y mamparos estancos para el acceso de tuberías, ventilación, cables eléctricos, etc., se tomarán todas las medidas necesarias para mantener la integridad estanca de los compartimentos cerrados”*. (DNVGL, DNVGL-OS-C301 Stability and watertight integrity, 2020)
2. DNVGL-OS-C101 Design of offshore steel structures, edición Julio 2018. Esta normativa costa afuera indica lo siguiente en relación a la resistencia estructural. (DNVGL, DNVGL-OS-C101 Design of offshore steel structures., 2018)

- a. La resistencia de diseño estructural (R_d) es determinado por la siguiente formula (capitulo 2, sección 1, punto 4.2.7):

$$R_d = \phi R_k \quad (1)$$

Donde:

R_k = resistencia característica

ϕ = factor de resistencia. Este factor se relaciona con el factor del material con la siguiente formula.

$$\phi = \frac{1}{\gamma_M} \quad (2)$$

Donde γ_M es el factor del material, que placas estructurales es $\gamma_M = 1.15$ (Capítulo 2, sección 4, punto 2.1)

Considerando $\gamma_M = 1.15$, sustituyendo el valor en la formula (2) quedaría de la siguiente forma el valor del factor de resistencia (ϕ):

$$\phi = \frac{1}{\gamma_M} = \frac{1}{1.15} = 0.87$$

- b. En el capítulo 2, sección 4, punto 1.4.1 indica: “*Los componentes del esfuerzo de diseño individual y el esfuerzo de diseño equivalente de Von Mises para placas estructurales no deben exceder la resistencia de diseño*”.

7.4 Metodología del proyecto

7.4.1. Descripción del diseño de la cubierta para ser estanca

El proyecto consiste en realizar estanca la cubierta localizada a 8.25 m de la línea base, para ello se requiere cerrar todos los accesos existentes, colocando placas de acero con refuerzos en las zonas de aberturas y colocando en los accesos de cables y tuberías brazolas y un sellador especial.

Para ello se diseñó un tambucho con una puerta estanca en la zona de acceso al cuarto de bombas y se cubrió con placa el piso de antiderrapante. Para las aberturas de cables y tuberías se pondrá un sellador especial tipo “Rise y Nofirno”. En la siguiente imagen se muestra un modelo en 3 dimensiones del diseño de la cubierta. Para ver los detalles del diseño del tambucho, escotilla, tapa y detalles del tipo de sellador ver en la sección de anexos.

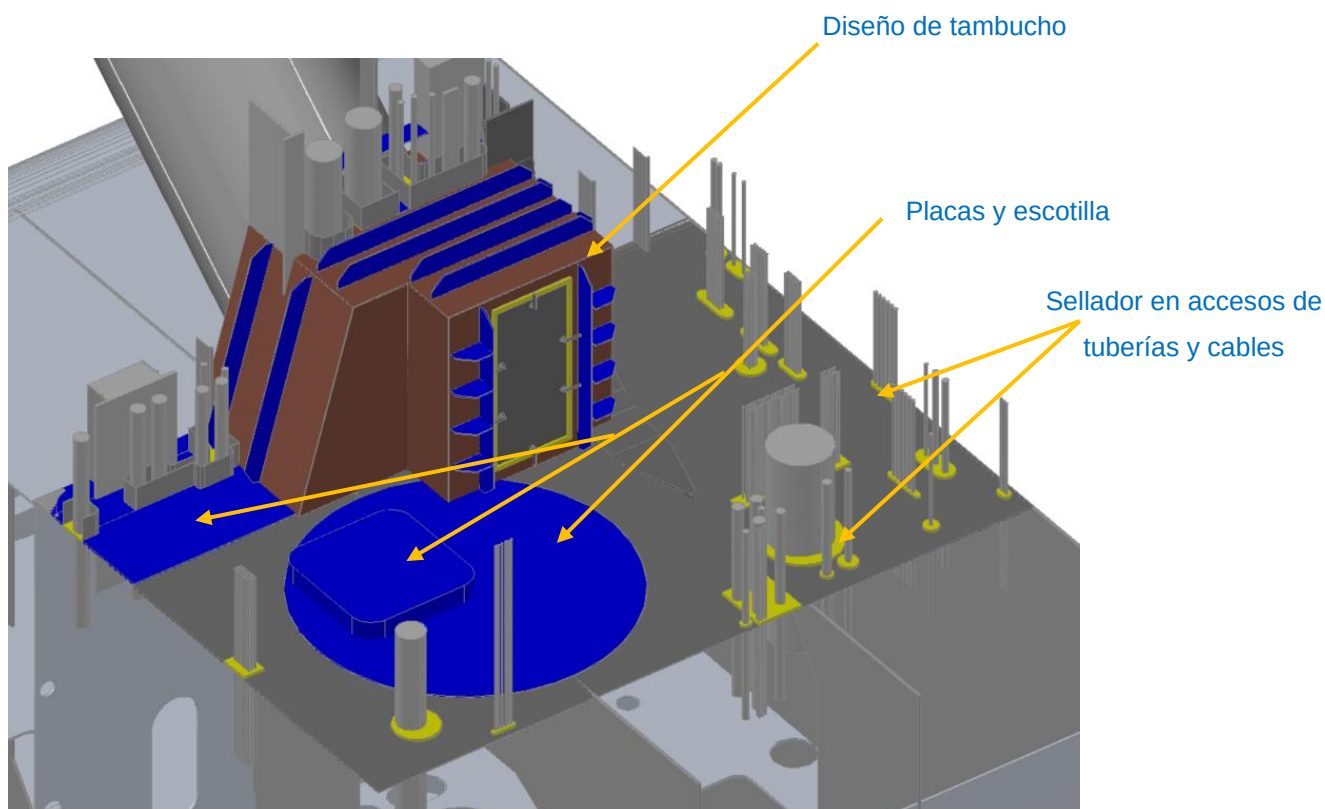


Figura 30. Modelado en 3 dimensiones del diseño de la cubierta para ser estanca.

7.4.2. Sistema de coordenadas

El sistema de coordenadas empleado para el análisis estructural es el sistema de la mano derecha con las coordenadas X, Y y Z.

7.4.3. Materiales

El tipo de acero considerado para el análisis estructural se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tipo de material

Tipo de acero	Límite de Fluencia	Usado para
Acero A-36	355 MPa	Nuevos elementos
Acero DH	315 MPa	Elementos existentes

En las siguientes imágenes de 3 dimensiones se muestran el tipo de material utilizado.

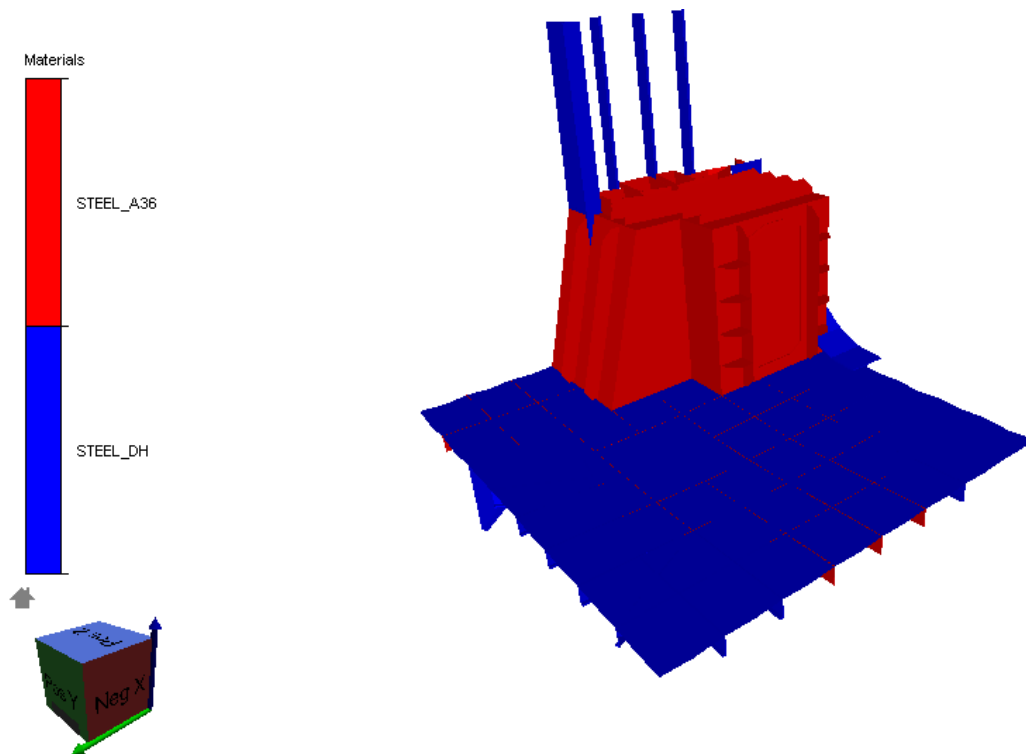


Figura 31. Tipo de acero en tambucho y placa de cubierta.

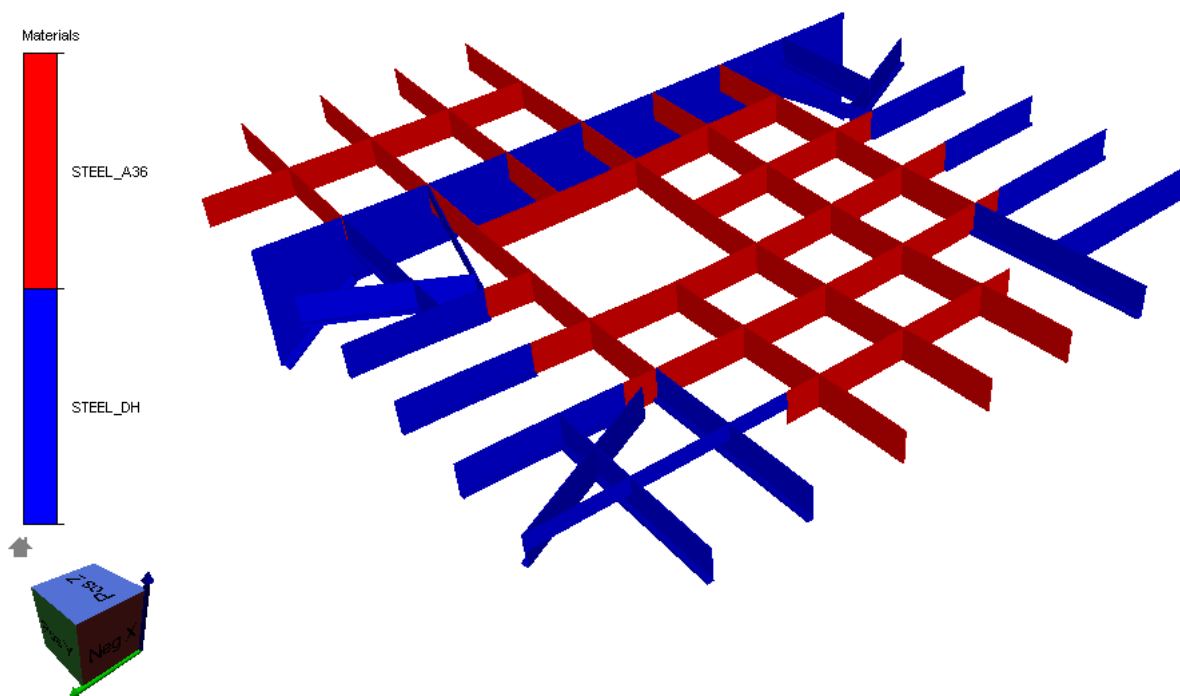


Figura 32. Tipo de acero de refuerzos debajo de la cubierta.

Los espesores del acero son de 22 mm (7/8"), 16 mm (5/8"), 12 mm (1/2") y 9.525 mm (3/8"). En las siguientes imágenes en 3 dimensiones se indican los espesores.

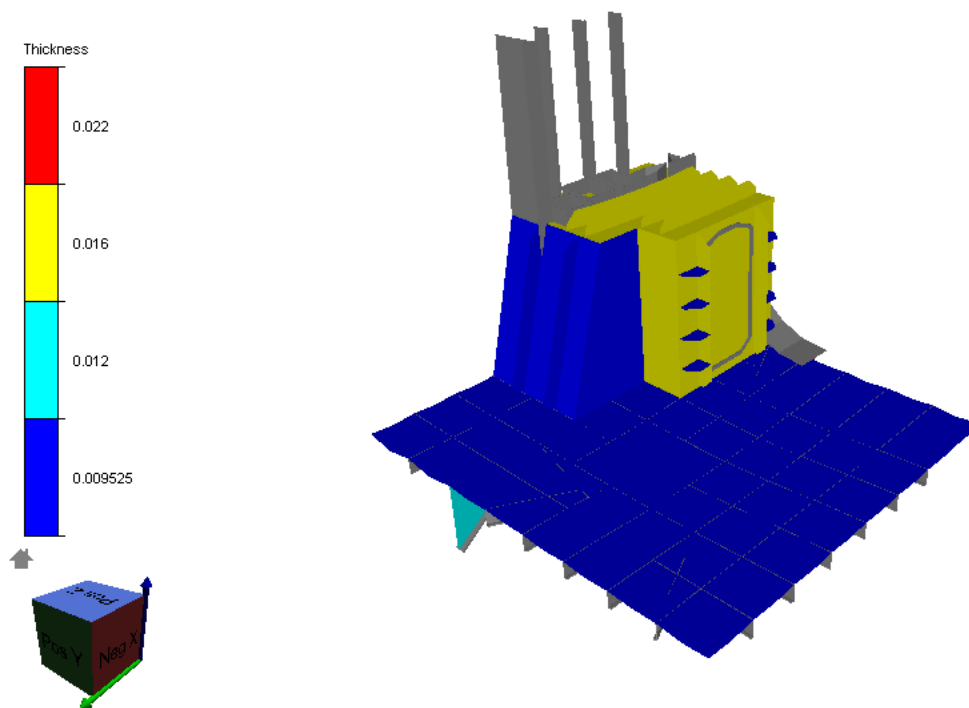


Figura 33. Espesores de placas de cubierta y tambucho.

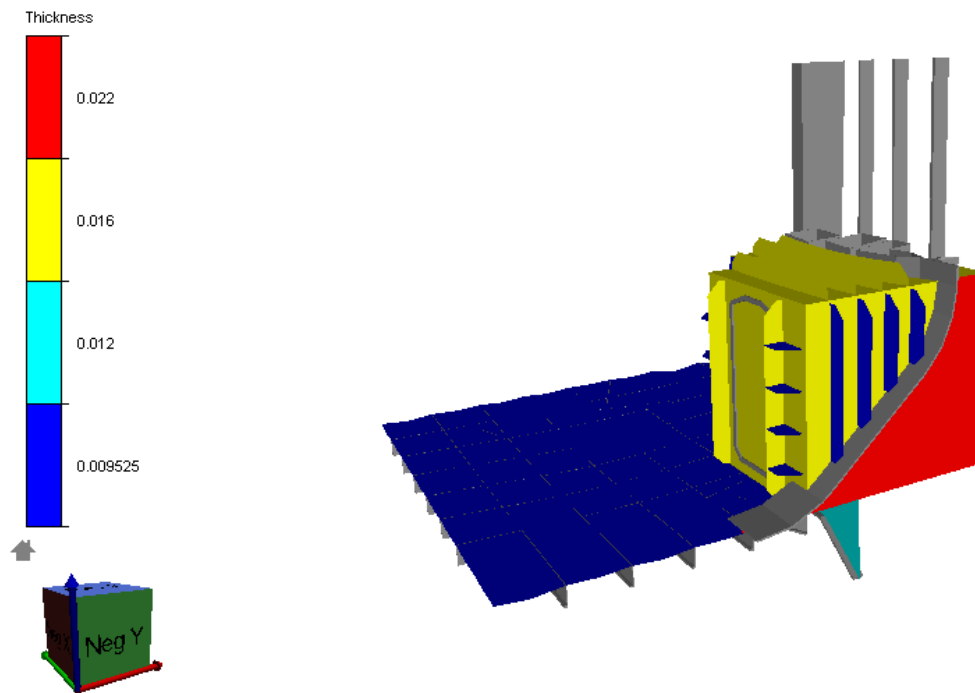


Figura 34. Espesores de placa de cubierta y tambucho.

7.4.4. Factor de seguridad

El factor de seguridad considerado en el análisis estructural es el factor de resistencia $\phi = 0.87$.

Aplicando el factor de resistencia en la ecuación (1) indicado en la sección 7.3 Normas Internacionales, según el tipo de material, la resistencia de diseño estructural de cada tipo de material se indica en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resistencia de diseño estructural

Tipo de acero	Límite de Fluencia (R_k)	Factor de resistencia (ϕ)	Resistencia de diseño $R_d = \phi R_k$
Acero A-36	355 MPa	0.87	309 MPa
Acero DH	315 MPa	0.87	274 MPa

R_d es el esfuerzo permisible del material.

7.4.5. Programa informático de elemento finito

Los programas utilizados son los siguientes:

- Genie: para generar la Fase de Pre-Procesamiento.
- Sestra: para generar la Fase de Solución.
- Xtract: para generar la Fase de Post-Procesamiento.

7.4.6. Modelado para análisis por elementos finitos

Para modelar la cubierta para ser estanca, se consideraron un total aproximado de 48 elementos vigas (soleras transversales y longitudinales, refuerzos y vigas) y 10 elementos placas (placa de cubierta, refuerzos, escotilla). En las siguientes imágenes se muestran los tipos de elementos utilizados.

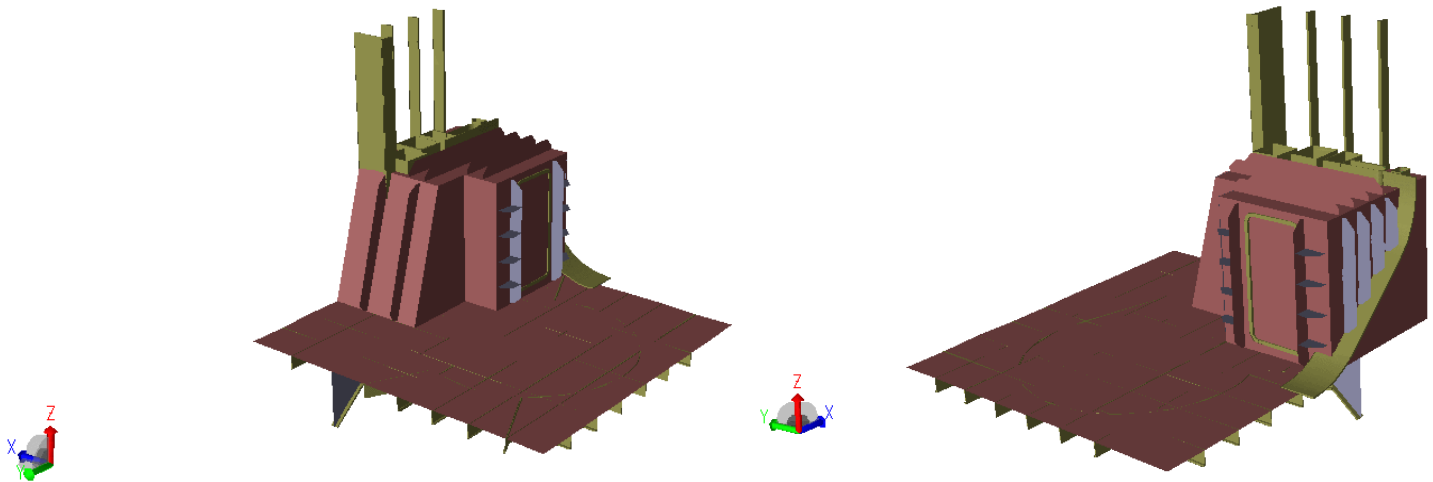


Figura 35. Modelado de elementos placas.

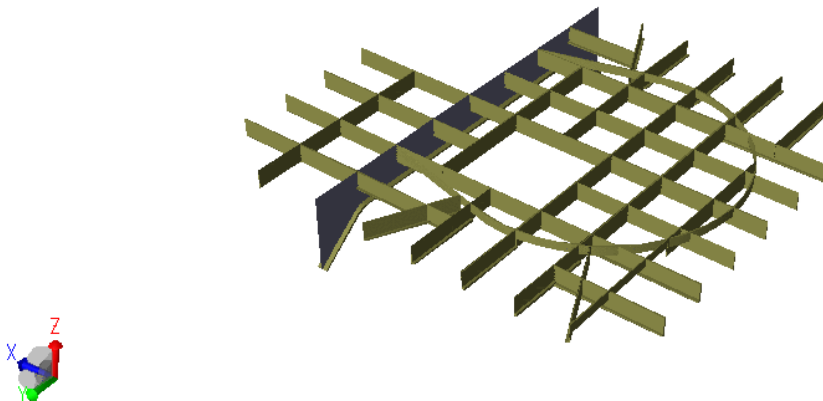


Figura 36. Modelado de elementos vigas.

7.4.7. Mallado de elementos finitos

Se generó un mallado adecuado para realizar el análisis estructural por el método de elementos finitos. En la siguiente imagen se muestra el mallado del modelo.

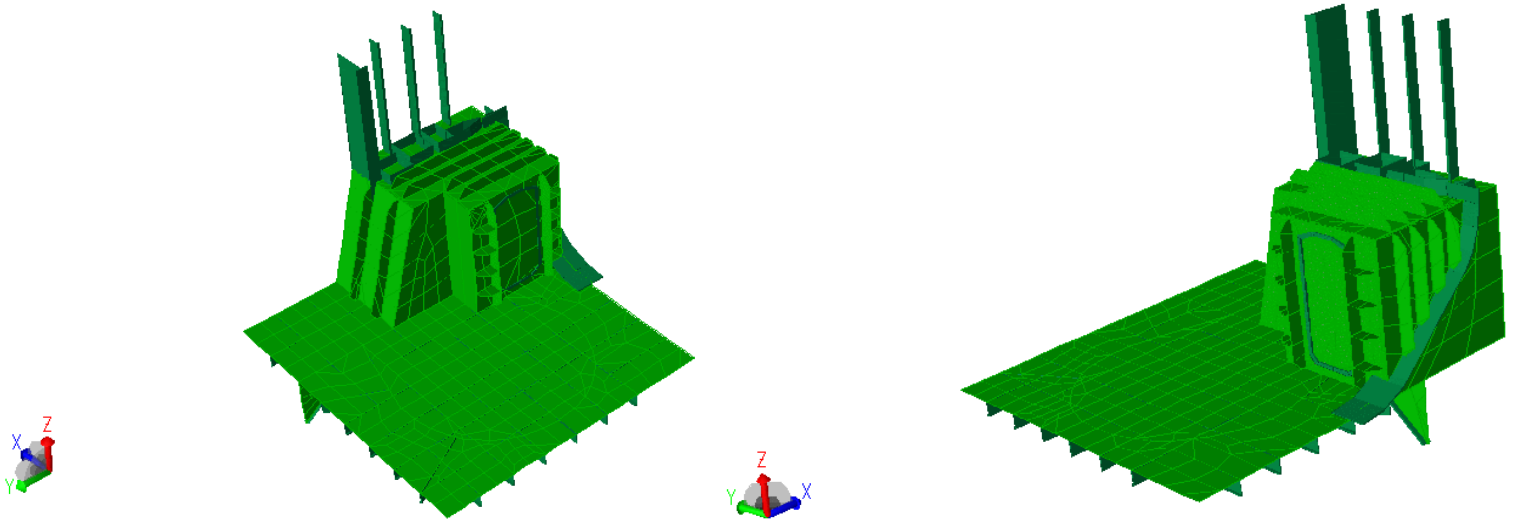


Figura 37. Mallado de cubierta.

7.4.8. Aplicación de carga

La carga considerada para el análisis estructural de la cubierta se evaluó 2 posibles condiciones, se indican a continuación:

1. Considerando la presión generada del volumen de agua que pueda contener el cuarto de bombas considerando la altura desde la cubierta de pontones hasta la parte superior del tanque de fondo.
2. Considerando la presión generada del volumen agua en la columna de la altura desde la cubierta de pontones hasta el fondo de la plataforma.

BRACNG TUBE DECK SUPPORT ONLY (NB'D)

EULK BYRITES STORAGE SILO

PUMP

SEA CHESTS (INB'D)

SEA CHESTS (OUTB'D)

FORATED INWAY OF WING TANKS

6.90 m

2300 TRANSVERSE SPACING

SECTION AT TRANSVERSE 21 1/2

33

En las siguientes imágenes se muestran dimensiones de la condición 2.

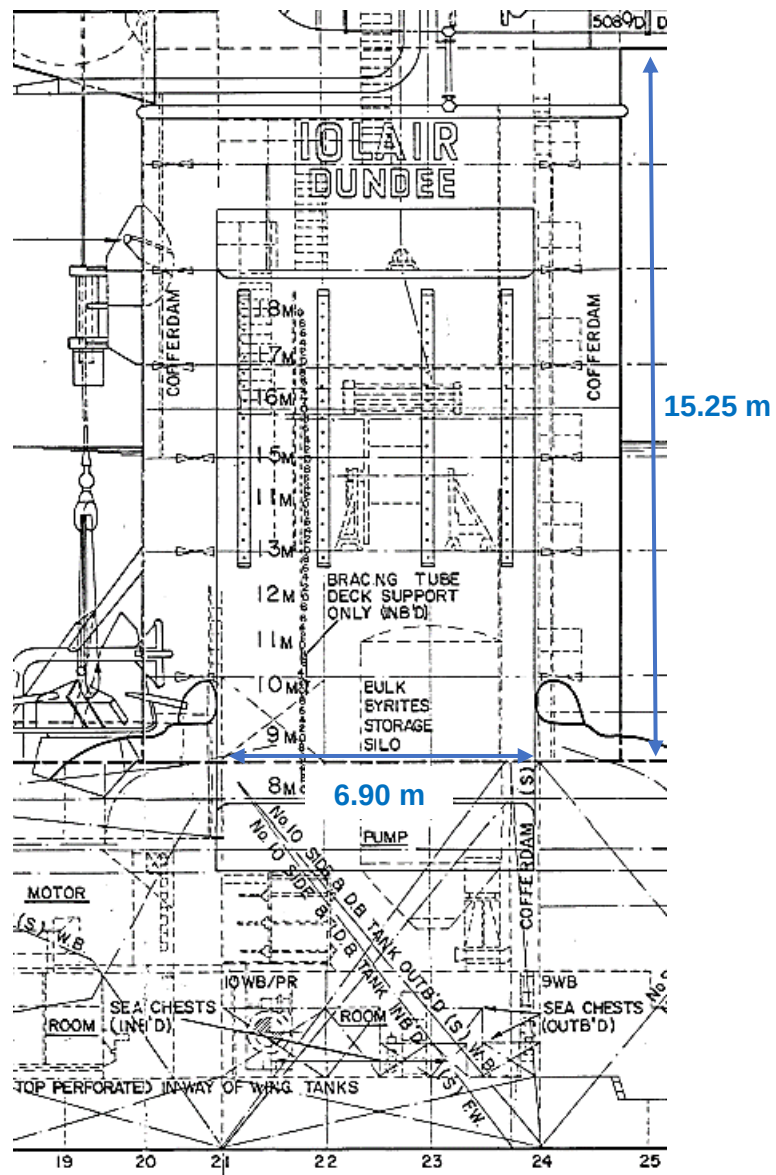


Figura 40. Eslora y puntal condición 2.

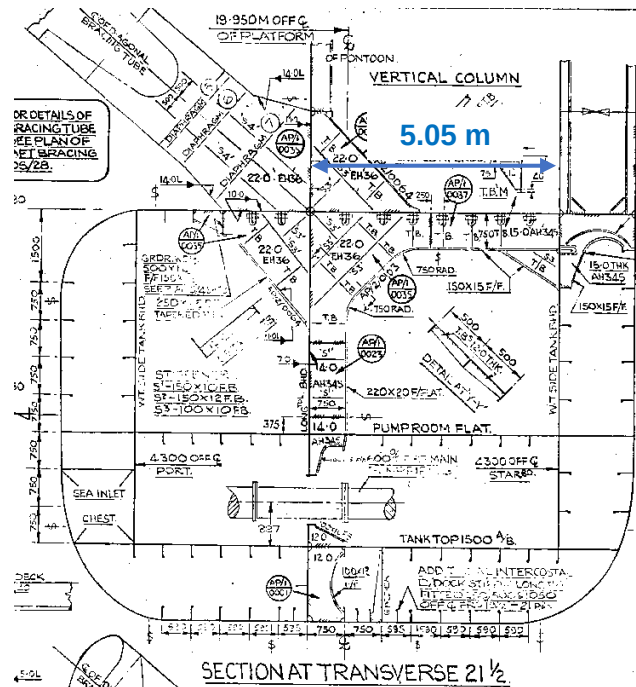


Figura 41. Manga condición 2.

En la siguiente tabla se comparan los volúmenes generados en las 2 condiciones.

Tabla 4. Tabla de volúmenes

Condición	Eslora (m)	Manga (m)	Puntal (m)	Volumen de agua (m ³)
Condición 1	6.90	8.60	6.75	400.54
Condición 2	6.90	5.05	15.25	531.39

De acuerdo a la tabla el volumen mayor es la condición 2. Generando una presión hidrostática y considerando agua de mar en la entrada de la columna es de:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = (1025 \text{ kg/m}^3) (9.81 \text{ m/s}^2) (15.25 \text{ m}) = \mathbf{153,342.56 \text{ Pa} = 1.53 \text{ bares.}}$$

En la siguiente imagen se muestra de forma conceptual en 3 dimensiones la presión hidrostática debido al agua de mar sobre el tambucho, la cubierta del pontón y la escotilla.

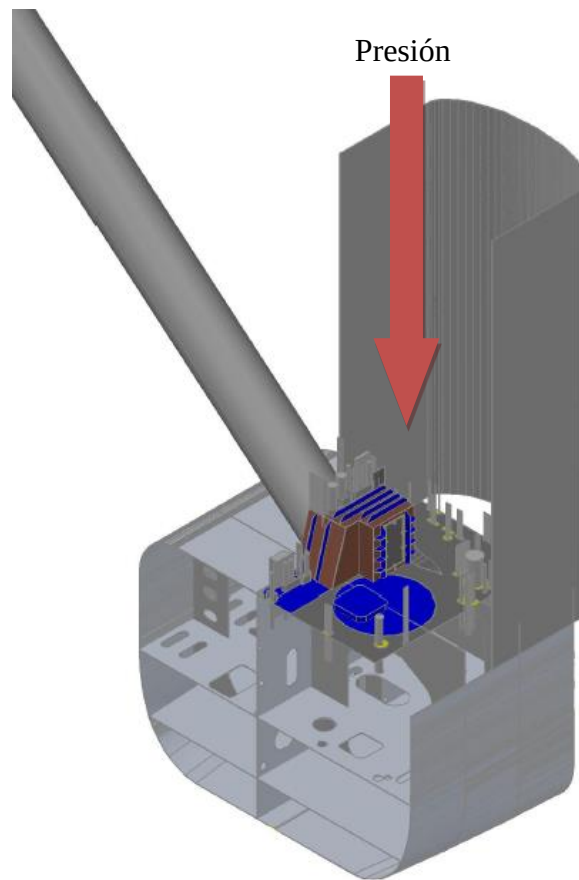


Figura 42. Presión hidrostática sobre tambucho y cubierta.

Aplicando la carga hidrostática sobre el modelo con el programa informático Genie para el análisis estructural se muestra en la siguiente imagen.

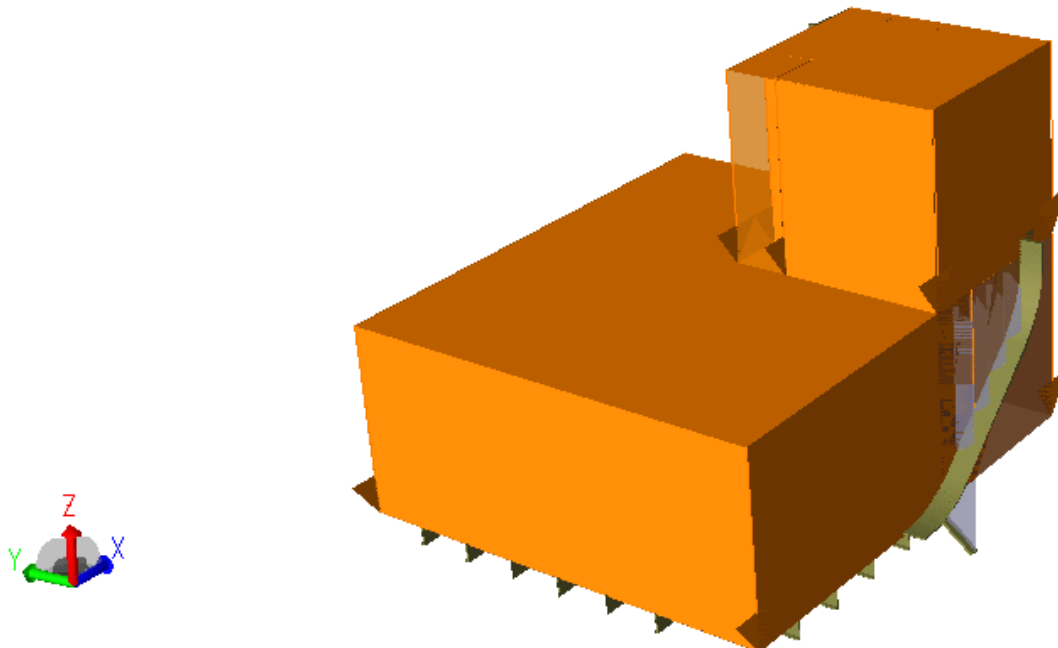


Figura 43. Aplicación de carga hidrostática en Genie.

7.4.9. Resultados de análisis estructural

El esfuerzo máximo Von Mises se presentó en el refuerzo estructural localizado en la parte superior del tambucho. En la siguiente imagen se ilustra el esfuerzo máximo presentado.

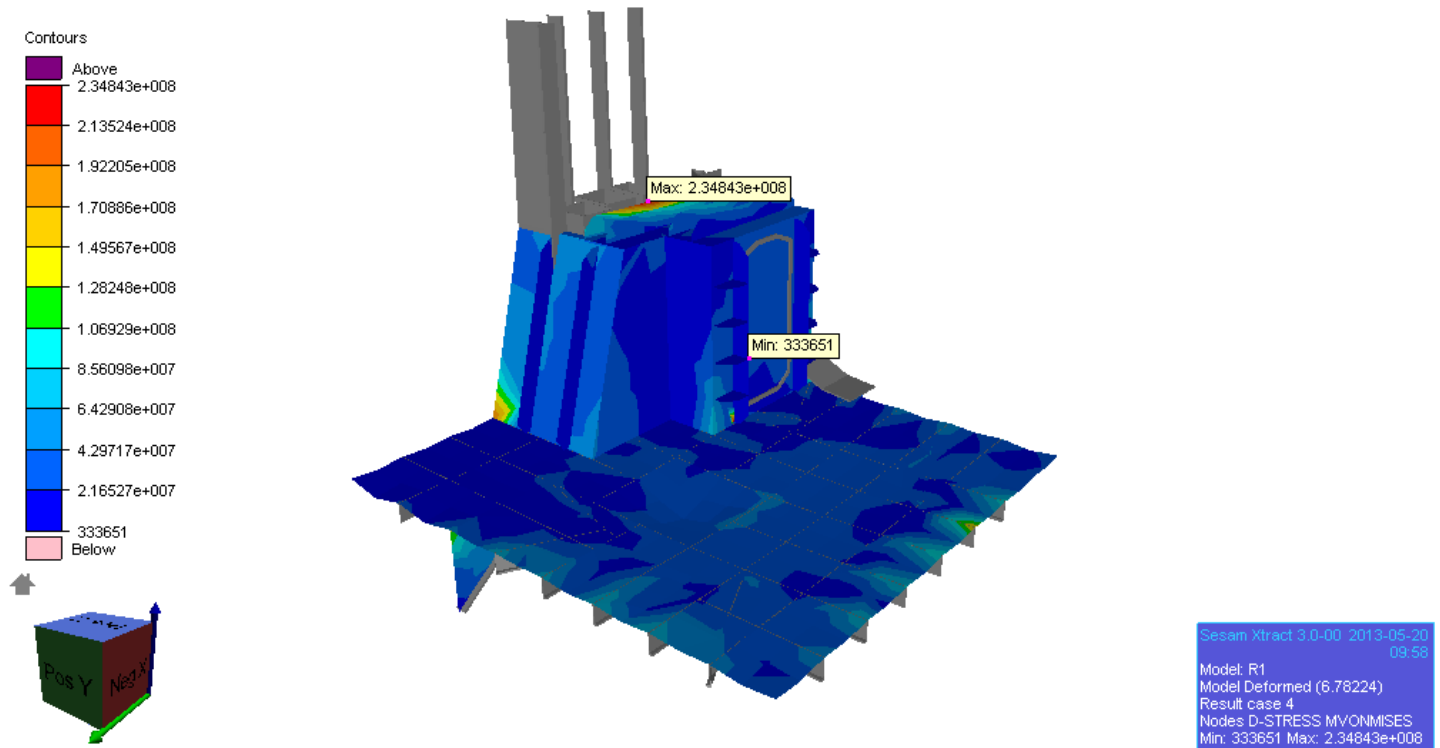


Figura 44. Esfuerzo máximo de Von Mises presentado.

Con el resultado obtenido se comprueba que la estructura diseñada resistirá la presión hidrostática debido a la inundación de la columna de la plataforma. En la siguiente tabla se compara el esfuerzo permisible del acero con el máximo esfuerzo Von Mises presentado.

Tabla 5. Comparativa de esfuerzo permisible y esfuerzo Von Mises.

Tipo de acero	Resistencia de diseño (Esfuerzo Permisible)	Esfuerzo Von Mises	Estatus
Acero A-36	309 MPa	234.84 MPa	Cumple

En las siguientes figuras se muestran las áreas específicas en donde se presentó el máximo esfuerzo Von Mises.

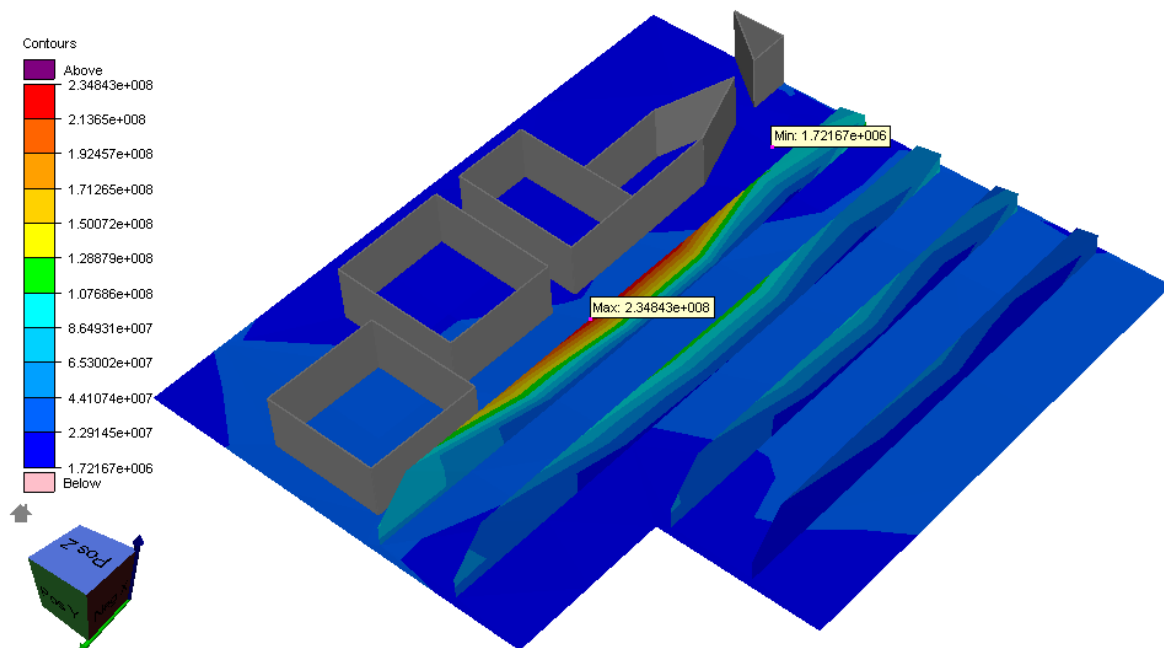


Figura 45. Elemento estructural con máximo esfuerzo Von Mises.

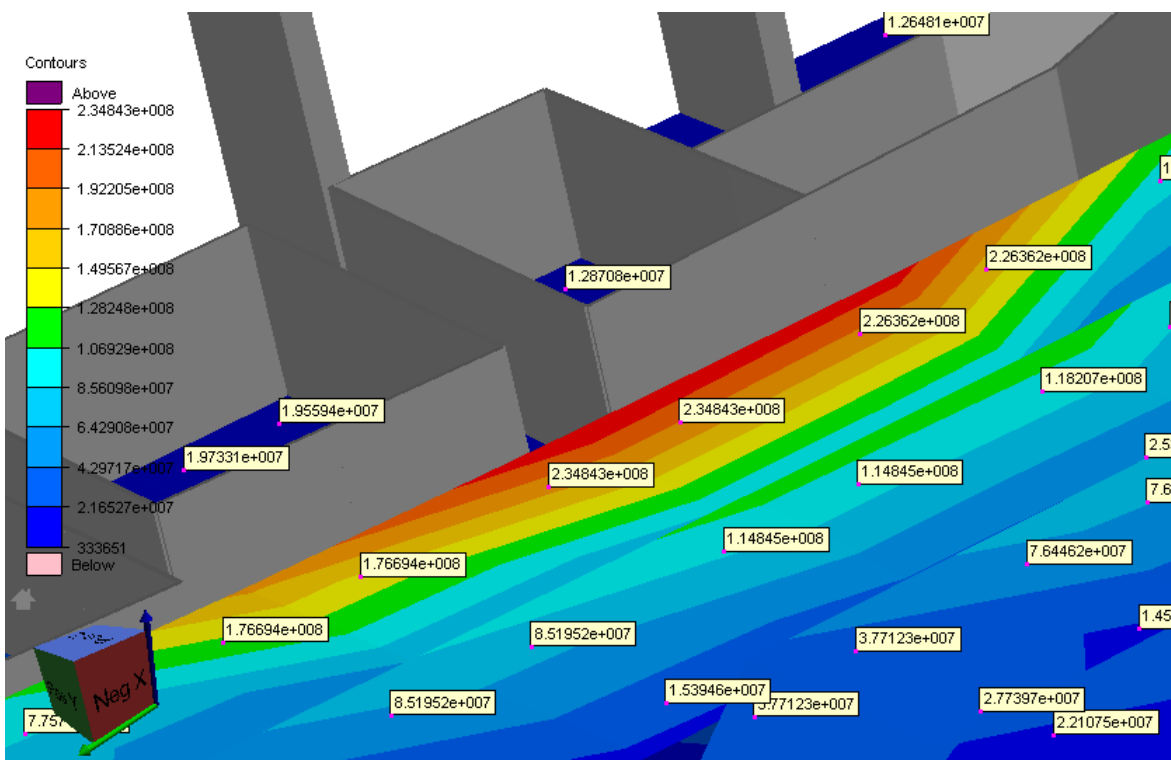


Figura 46. Valores de esfuerzos Von Mises en el área superior del tambucho.

Las deformaciones presentadas debido a la presión hidrostática se muestran en las siguientes figuras.

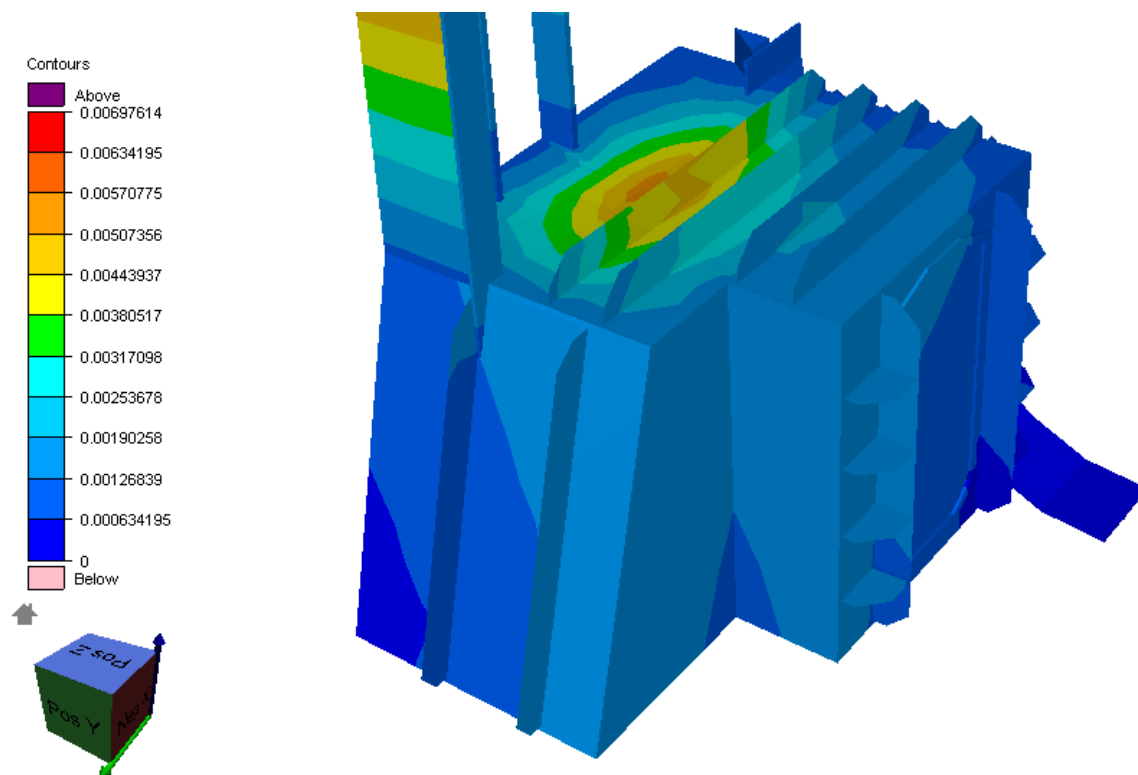


Figura 47. Deformación máxima presentada en la parte superior del tambucho.

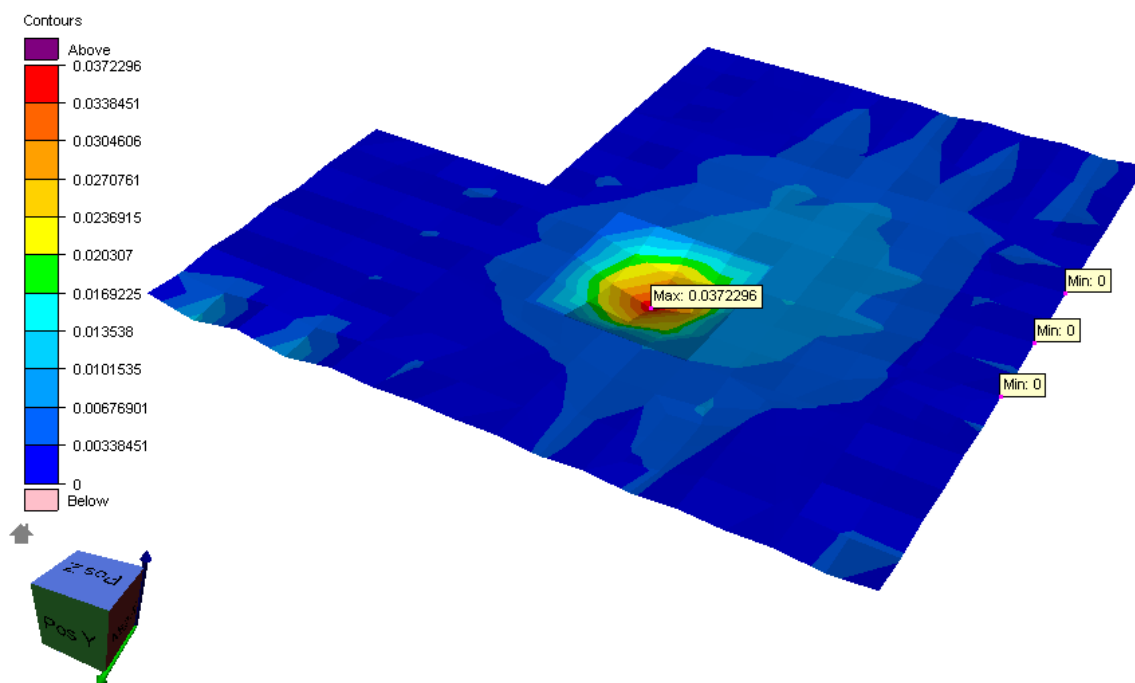


Figura 48. Deformación máxima presentada en la placa de cubierta.

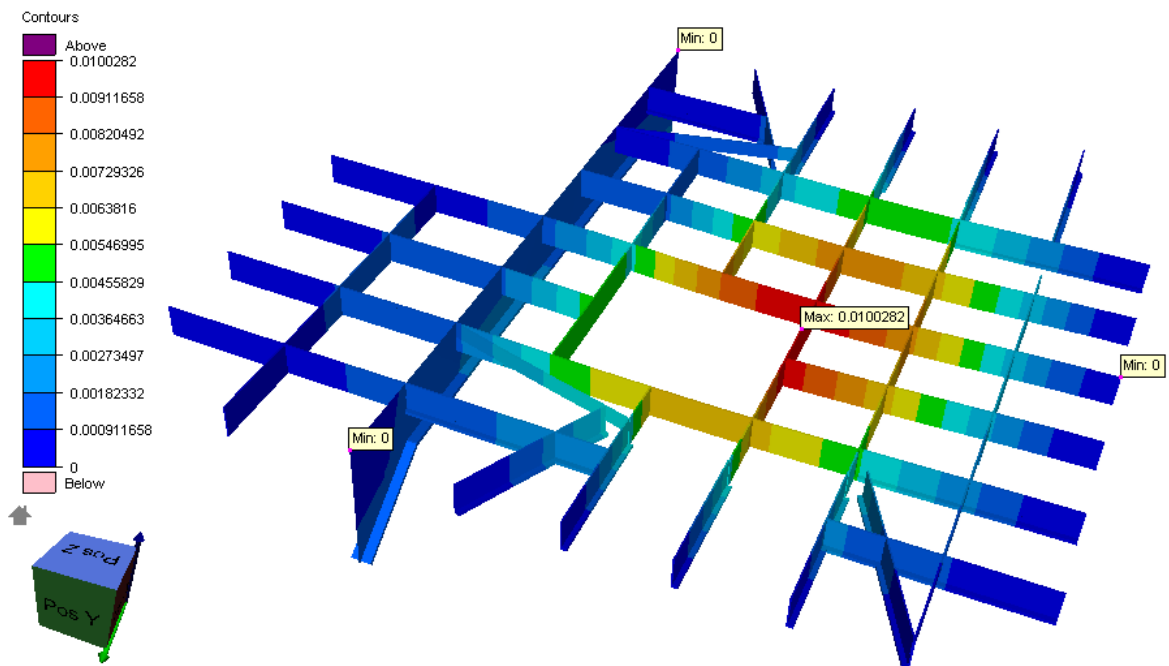


Figura 49. Deformación máxima presentada en los refuerzos de la cubierta.

8. CONCLUSIONES

Con el análisis estructural realizado por el método de elementos finitos se establecen las siguientes conclusiones:

1. Con la simulación numérica se logró predecir el comportamiento estructural del diseño de la cubierta estanca de la Plataforma Semisumergible tipo Flotel.
2. Al presentarse un esfuerzo máximo Von Mises de 234.84 MPa por debajo de la Resistencia de diseño (esfuerzo permisible) de 309 MPa, el diseño estructural de la cubierta estanca es factible, pues cumple con los criterios indicados en las normas DNVGL-OS-C301 Stability and watertight integrity, edición Julio 2020 y DNVGL-OS-C101 Design of offshore steel structures, edición Julio 2018.
3. De la deformación máxima presentada de 0.037 m (37 mm) en la tapa escotilla se puede considerar dentro de un rango normal por la carga aplicada.
4. Con este estudio se profundizó en el tema del estudio del método de elementos finitos de elementos estructurales navales y la efectividad de predecir el comportamiento en un análisis estructural.
5. Este proyecto nos permitió conocer el programa informático que utiliza el método de elementos finitos para aplicarlos a proyectos estructurales navales. Estos programas son herramientas que nos ayudan a reducir tiempo en estudios y análisis complejos, reduciendo también costos en la optimización de materiales y generando resultados eficientes y confiables.

9. RECOMENDACIONES

Para validar el diseño de la cubierta estanca, se recomienda algunos aspectos para trabajos futuros.

1. Realizar el análisis estructural con otro programa informático que utilice el método de elementos finitos para comparar los resultados.
2. Realizar el diseño de la puerta estanca del tambucho y la tapa escotilla cumpliendo con los requerimientos estructurales indicados en este estudio para que se tenga el diseño completo y detallado de la cubierta estanca.
3. Realizar un estudio de costos de consumibles y materiales para determinar el costo final para realizar estanca la cubierta de la Plataforma Semisumergible.

10. REFERENCIAS

- Avilés, R. (2015). *Métodos de Cálculo de Fatiga para Ingeniería*. Obtenido de https://books.google.com.mx/books?id=8BGyBgAAQBAJ&pg=PA100&lpg=PA100&dq=por+tanto+se+denomina+fatiga+al+compartimiento+resistente&source=bl&ots=mn0SW18CLa&sig=23tJjyH1J1UkGz6F02ecO-w1j2Q&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjYrffV4Y_LAhUBTSYKHUSBD3oQ6AEITAB#v=onepa
- Cicilia, F. B. (2012). *Sistemas Flotantes para la Producción de Petróleo en Aguas Profundas Mexicanas*.
- Commerce, E. &. (s.f.). *10 campos con mayor producción en México*. Obtenido de <https://energyandcommerce.com.mx/10-campos-con-mayor-produccion-en-mexico/>
- DNV.GL. (2016). *Sesam user manual, Vol 1 - Concept design and analysis of offshore structures*. DNV GL AS.
- DNVGL. (7 de 2018). *DNVGL-OS-C101 Design of offshore steel structures*. Obtenido de <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/OS/2018-07/DNVGL-OS-C101.pdf>
- DNVGL. (7 de 2020). *DNVGL-OS-C301 Stability and watertight integrity*. Obtenido de <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/OS/2020-07/DNVGL-OS-C301.pdf>
- Executive, T. M. (9 de Abril de 2019). *Watch: Wreck Removal of the SSV Jupiter 1*. Obtenido de <https://www.maritime-executive.com/article/watch-wreck-removal-of-the-ssv-jupiter-1>
- Genie, D. S. (8 de 9 de 2011). *A quick introduction to punching shear, member and plate code checking*.
- GL, D. (12 de 3 de 2019). *FEATURE DESCRIPTION SESAM*.
- Hidrocarburos, C. N. (s.f.). *Centro Nacional de Información de Hidrocarburos Estadística*. Obtenido de <https://hidrocarburos.gob.mx/estadisticas/>
- Industry, A. O. (s.f.). *NOIA America's Offshore Energy Industry*. Obtenido de <https://www.noia.org/basics-offshore-oil-gas/>

Offshore, M. S. (s.f.). *Mammoet Salvage - Wreck removal of the SSV Jupiter 1*.
 Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=VK72_QAqPKE&t=6s

PEMEX. (2011). *Hundimiento parcial de la plataforma Flotel Júpiter*. Pemex.
 Proceso. (12 de Abril de 2011). *Admite Pemex hundimiento de la plataforma "Flotel Júpiter"*. Obtenido de
<https://www.proceso.com.mx/nacional/2011/4/12/admite-pemex-hundimiento-de-la-plataforma-flotel-jupiter-85964.html>

SIMSCALE. (2 de 9 de 2021). *What is von Mises Stress?* Obtenido de
<https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>

Traffic, M. (2007). *Marine Traffic Fotos*. Obtenido de
<https://www.marinetraffic.com/es/ais/details/ships/shipid:711935/mmsi:538002446/imo:7816070/vessel:IOLAIR>

Ventura, F. J. (2016). Aprendiendo Von Mises. *Simposio de ingeniería Naval 2016*.

Whamond, J. R. (2019). *PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE PLATAFORMAS PETROLERAS MODIFICADAS COMO CENTROS DE CONTROL Y BASE DE APOYO LOGÍSTICO*. República Argentina: Boletín del Centro Naval.

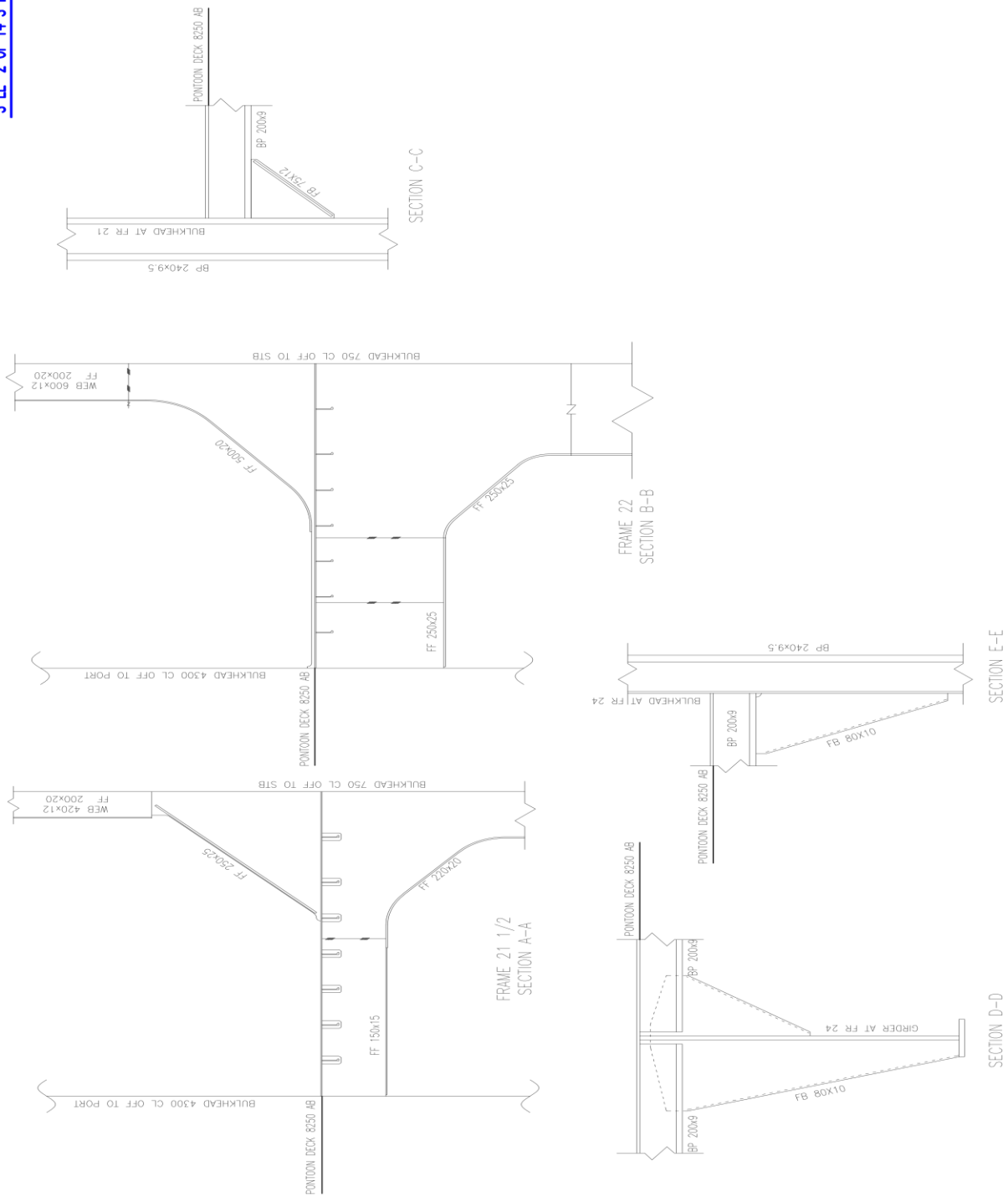
WIKIPEDIA. (5 de Abril de 2021). *Iolair*. Obtenido de
<https://en.wikipedia.org/wiki/Iolair>

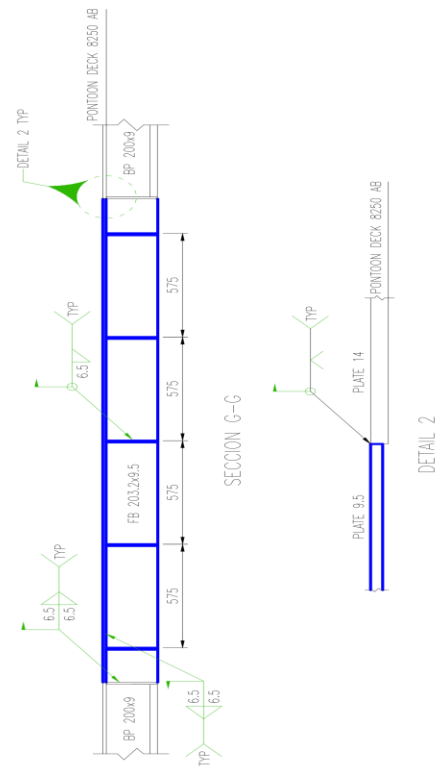
11.1 Planos de plataforma Semisumergible tipo flotel.

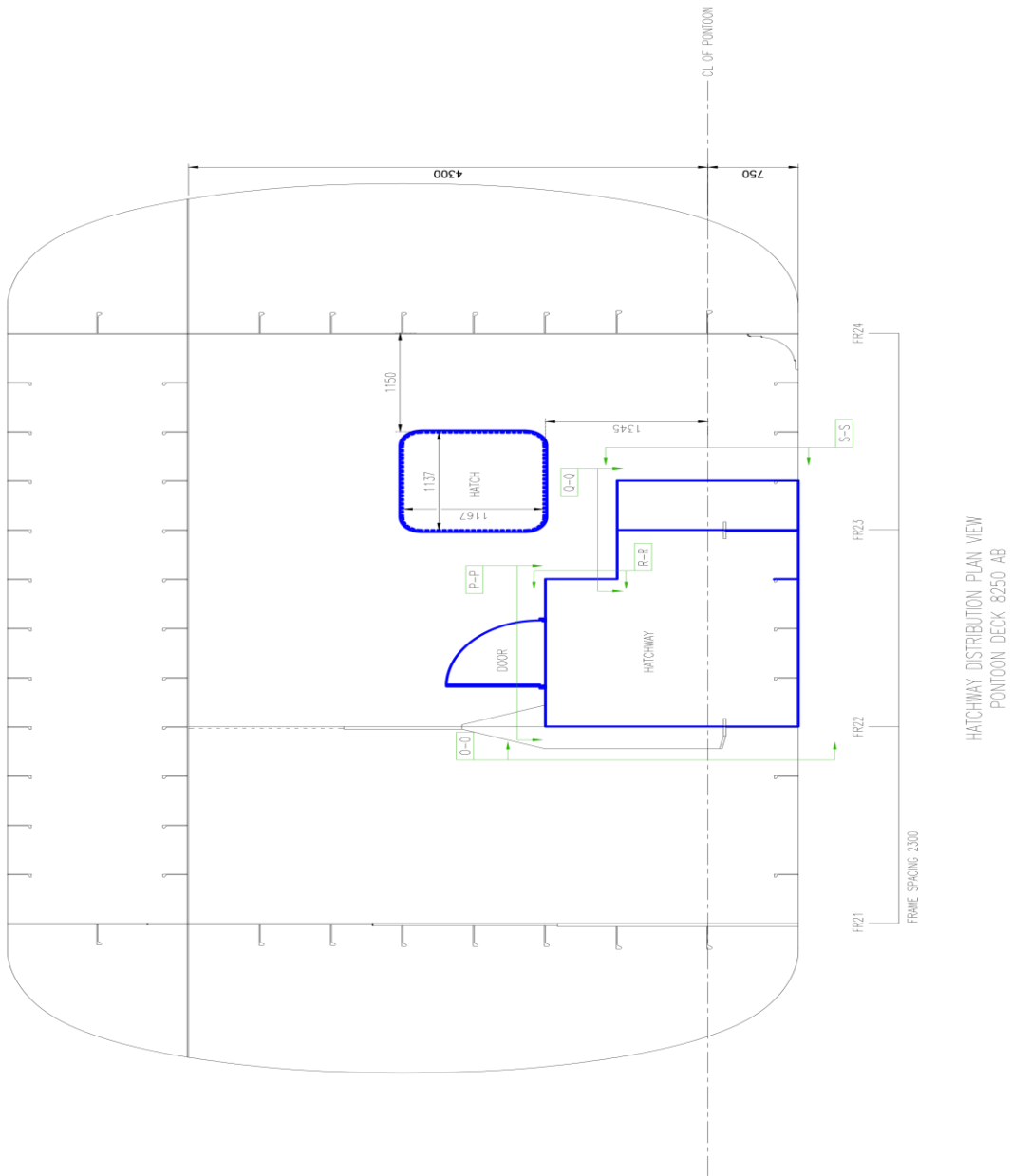


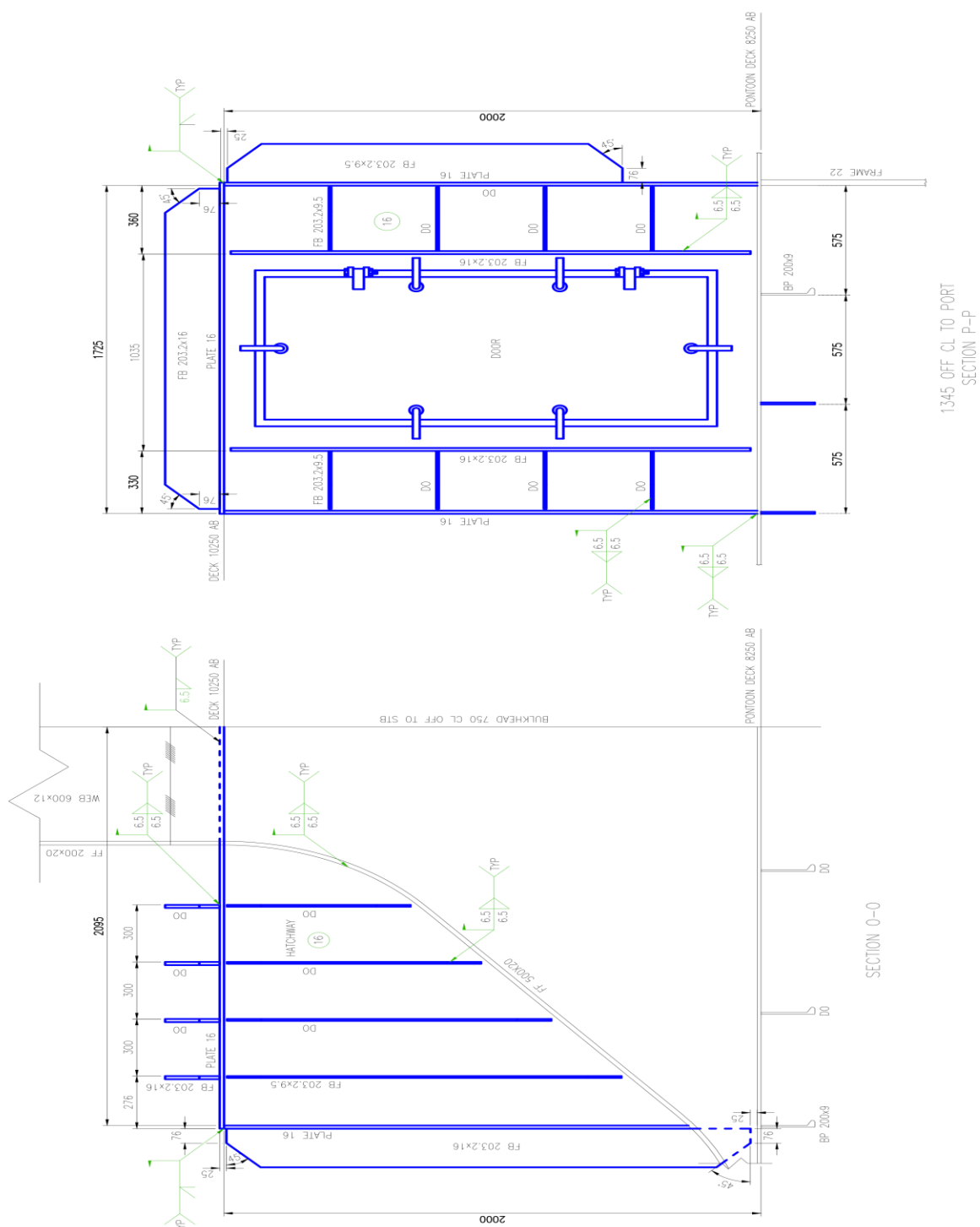
S-EE 1 OF 14 S-FLS



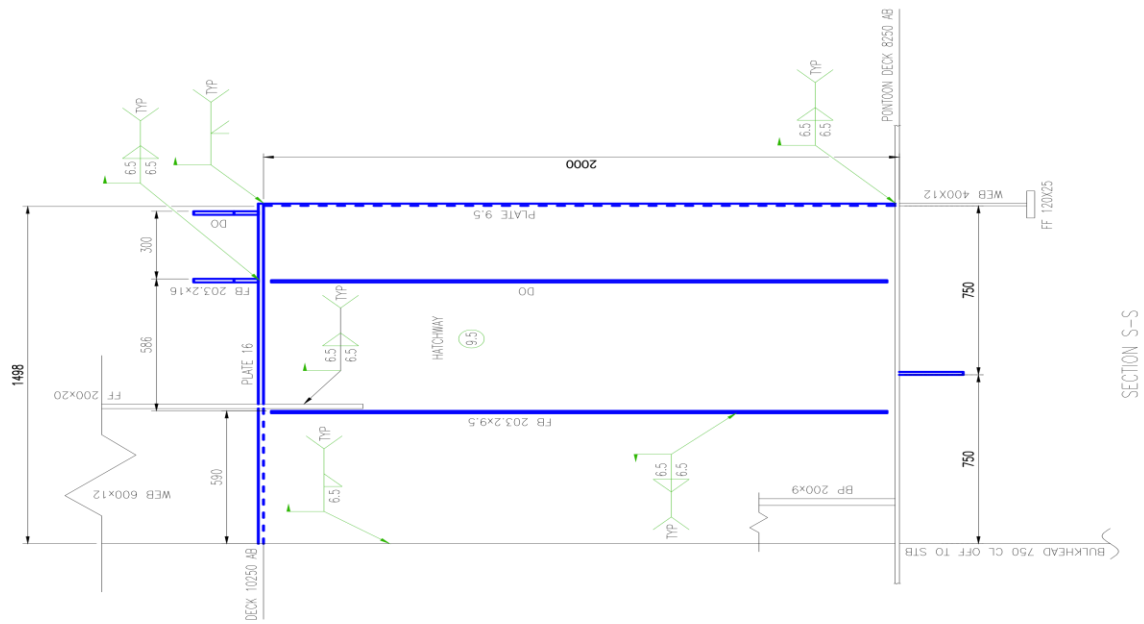








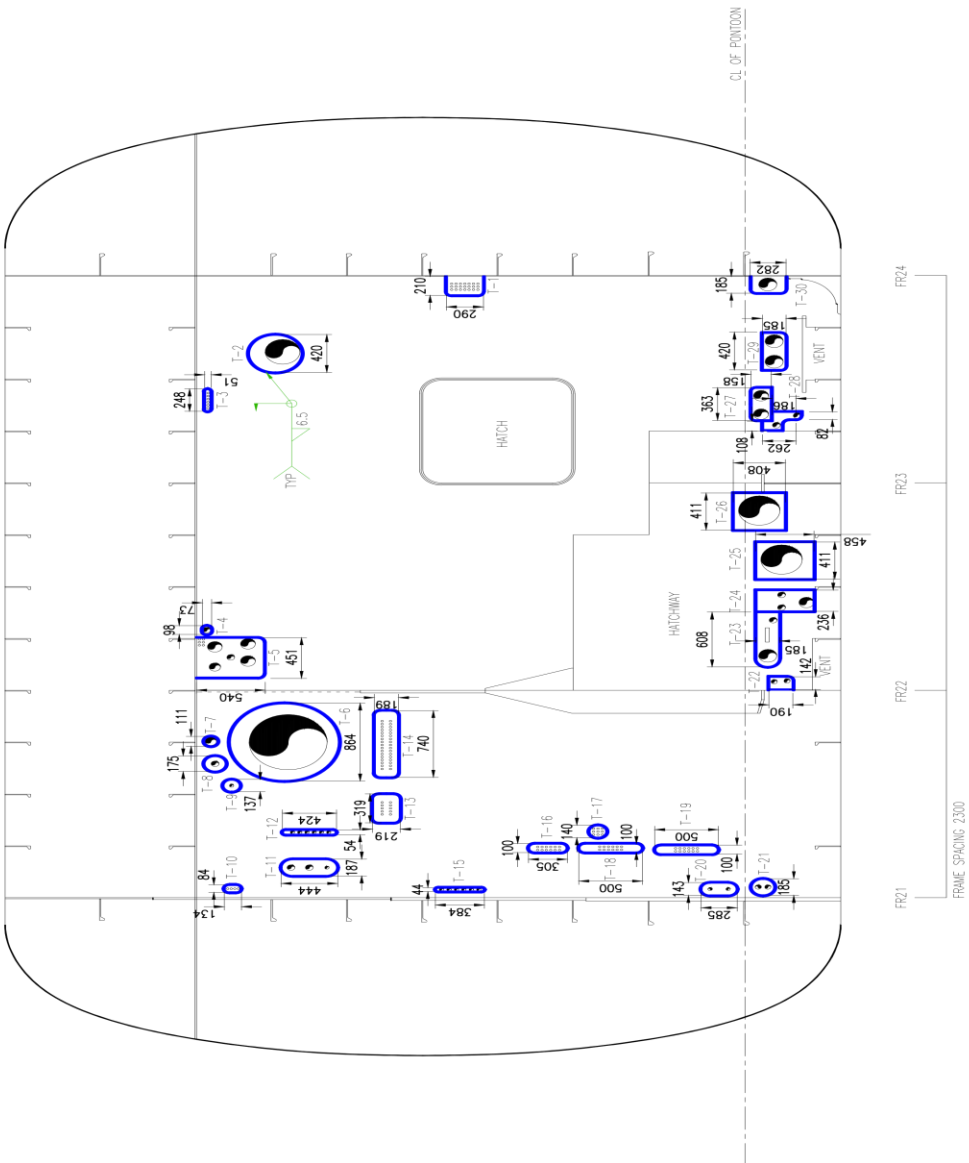




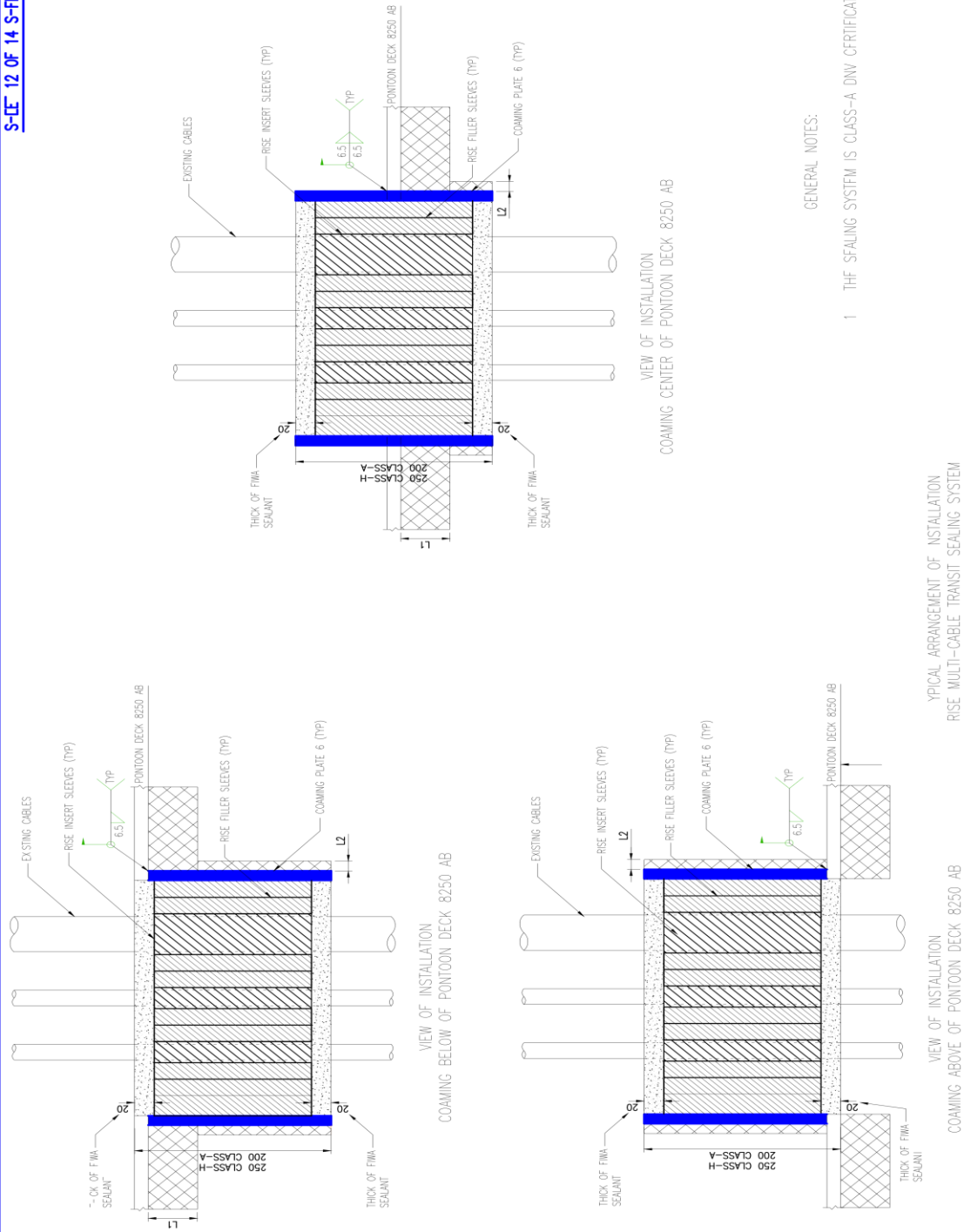
PLATES DISTRIBUTION PLAN VIEW
PONTON DECK 8250 AB

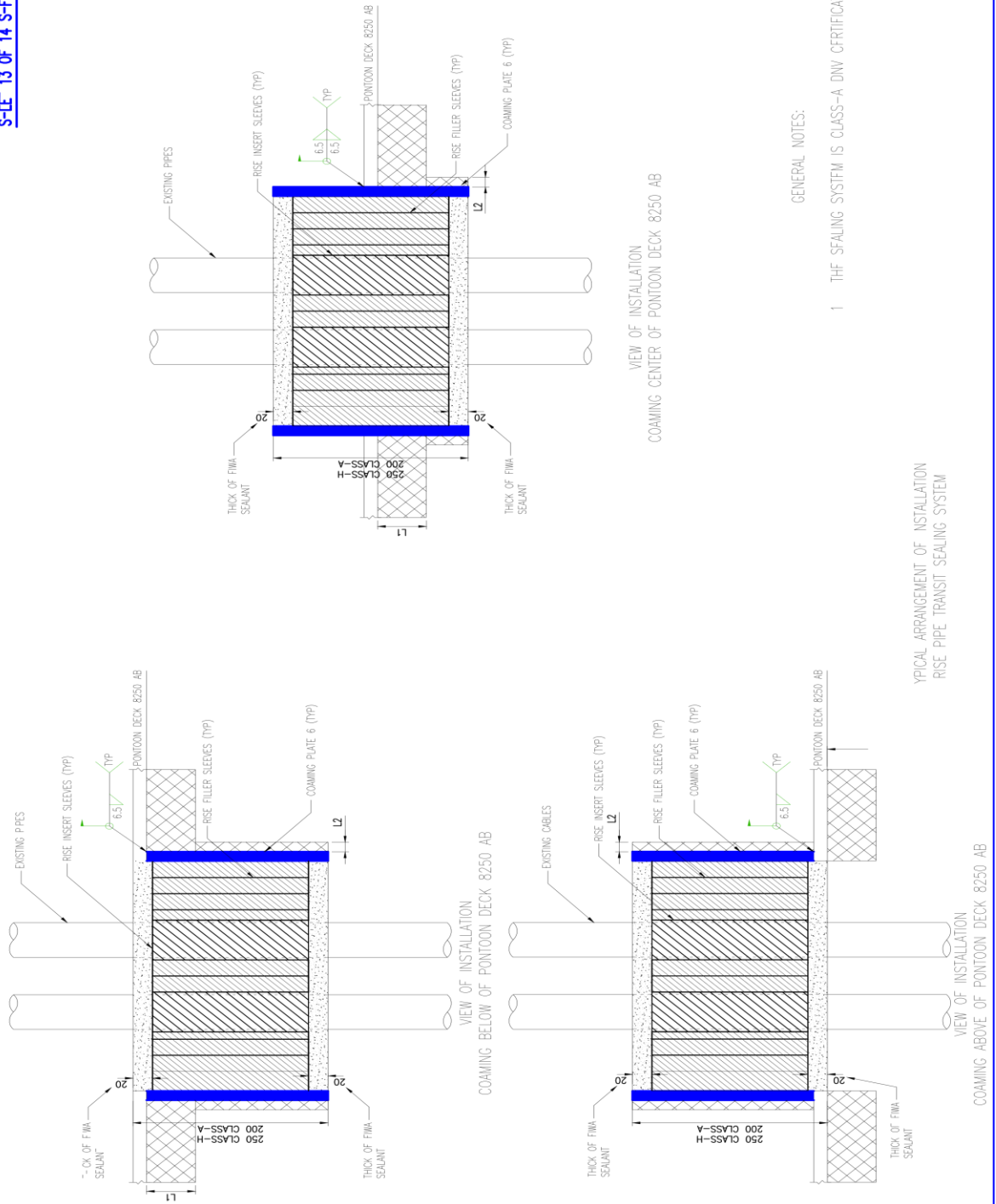
1. MATERIAL TO BE PLATE IS $\frac{1}{2}$ " ASTM A-36.
2. VERIFY IN FIFD THE PLATE DIMENSION TO INSIALL.

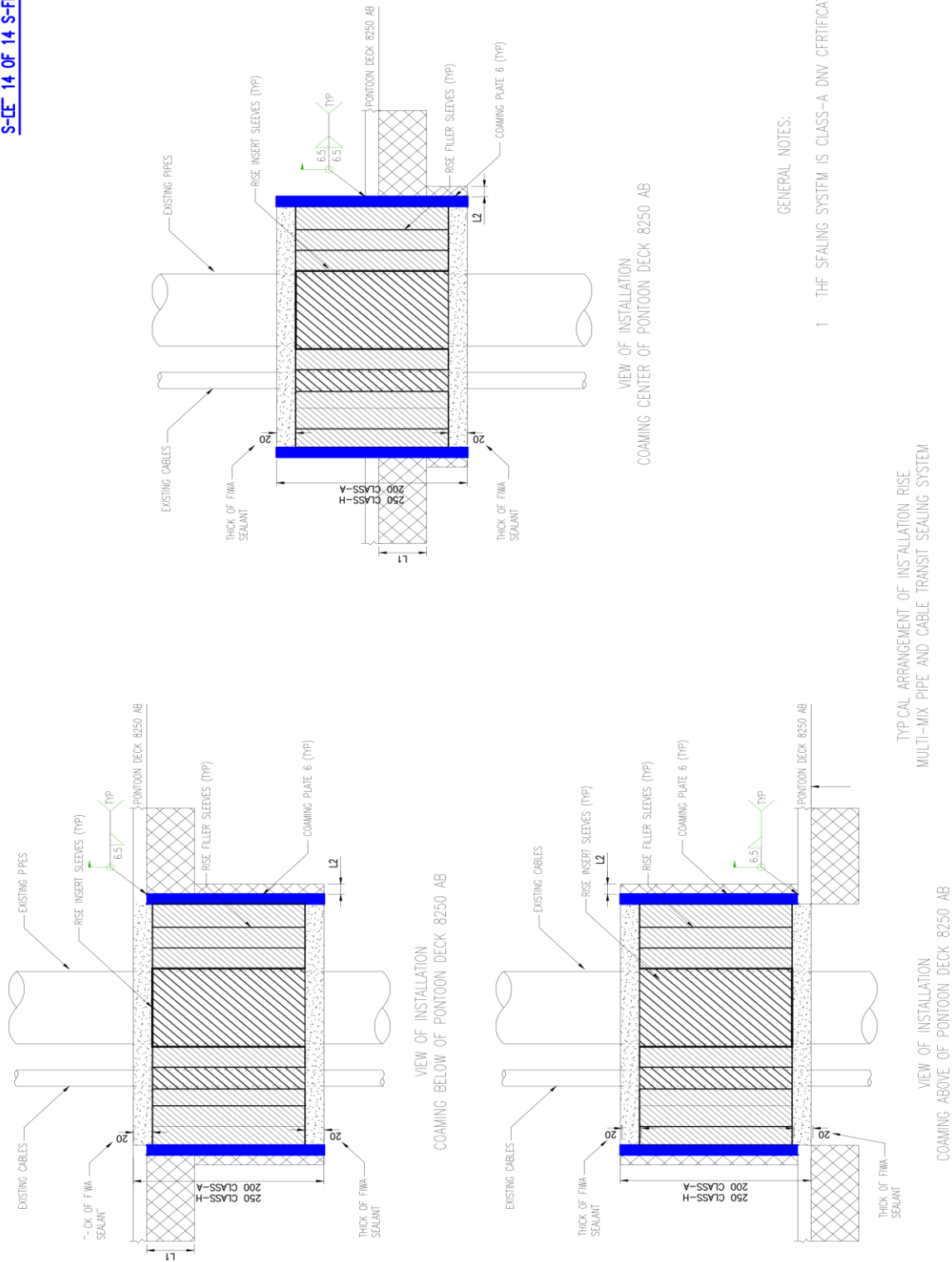
CHARACTERISTICS OF TRANSIT		
TRANSIT	AREA(CM ²)	CLASS
T-1	609	A0/A60
T-2	1385.44	A0/A60
T-3	126.46	A0/A60
T-4	71.54	A0/A60
T-5	2435.4	H0/H120
T-6	5862.96	H60
T-7	96.77	A0/A60
T-8	240.52	A0/A60
T-9	147.41	A0/A60
T-10	112.56	A0/A60
T-11	830.28	A0/A60
T-12	22.89	A0/A60
T-13	698.91	A0/A60
T-14	1386.6	A0/A60
T-15	168.96	A0/A60
T-16	305	A0/A60
T-17	153.93	A0/A60
T-18	500	A0/A60
T-19	500	A0/A60
T-20	407.55	A0/A60
T-21	268.8	A0/A60
T-22	269.8	A0/A60
T-23	1124.8	A0/A60
T-24	1080.88	A0/A60
T-25	1882.38	H0/H120
T-26	1676.88	A0/A60
T-27	573.54	A0/A60
T-28	265.04	A0/A60
T-29	777	A0/A60
T-30	521.7	A0/A60



TRANSIT DISTRIBUTION PLAN VIEW
PONTON DECK 8250 AB







Sellador tipo Rise / nofirno.

RESISTENTE
A LA INTERPRETACIÓN

✉ latam@beele.cl
☎ + 56 9 92891784
🌐 www.beele.cl
BEELE LATAM LTDA.
Calle Colo 222 - Oficina 312
Concepción - CHILE CP 48701642





DET NORSKE VERITAS TYPE APPROVAL CERTIFICATE

471.78 262.1-002403-10

Det Norske Veritas TYPE APPROVAL CERTIFICATE

CERTIFICATE NO. F-19524

This is to certify that the

Class H Penetration

with type designation(s)

RISE AND RISE/NOFIRNO PIPE PENETRATION H-0 / H-120

Manufactured by

BEELE Engineering bv/CSD International bv
AALTEN, Netherlands

is found to comply with

Det Norske Veritas' Offshore Standards

Application

Approved for use as a pipe penetration in bulkheads and decks of class H-0 / H-120.

Havik, 2010-09-24

for Det Norske Veritas AS

Petter Langnes

This Certificate is valid until

2014-12-31

Patrick Aubert

DNV local office:



DET NORSKE VERITAS

TYPE APPROVAL CERTIFICATE

CERTIFICATE NO. F-20229

This is to certify that the
Class A and B Penetration

with type designation(s)
RISE - MULTI CABLE and MULTI-TUBE PENETRATIONS

Manufactured by
BEELE Engineering bv/CSD International bv
AALTEN, Netherlands

is found to comply with
Det Norske Veritas' interpretation of SOLAS 1974 Convention as Amended
Det Norske Veritas' Rules for Classification of Ships
Det Norske Veritas' Offshore Standards

Application
Approved for use as a cable and multi-tube penetration in bulkheads and decks of class A-0 / A-80

This certificate is recognized by Transport Canada

Havik, 2013-03-01
for Det Norske Veritas AS

This Certificate is valid until
2017-06-30

Petter Langnes
Head of Section

DNV local office:
Rotterdam

Patrick Aubert
Surveyor

This Certificate is subject to terms and conditions attached. Any significant change in design or construction may render this Certificate invalid.
The validity date relates to the Type Approval Certificate and not to the approval of equipment systems installed.
If any person suffers loss or damage which is proved to have been caused by any negligent act or omission of Det Norske Veritas, then Det Norske Veritas shall pay compensation to such person for his proved direct loss or damage. However, the compensation shall not exceed an amount equal to two times the fee charged for the service in question, provided that the maximum compensation shall never exceed USD 2 million. In this provision "Det Norske Veritas" shall mean the Foundation Det Norske Veritas as well as all its subsidiaries, directors, officers, employees, agents and any other acting on behalf of Det Norske Veritas.

Det Norske Veritas AS, Veritasveien 1, NO-1322 Havik, Norway. Tel.: +47 67 57 89 00, Fax: +47 67 57 99 11, Org. No. NO 945 748 101 MØK. www.dnv.com
Form No.: TA 1411a Issue: October 2009

Page 1 of 2

Certificate No.: F-20229
File No.: 471.19
Job Id.: 262.1-002403-11

Product description

"RISE - Multi Cable and Multi-tube Penetrations"

composed of a steel/aluminium sleeve (length 200 mm) welded to steel/aluminium bulkhead or deck, RISE Insert Sleeves and FR/VEHF sheets wrapped around the cables/multi-tubes and filling the remaining space between sleeves and cables/multi-tubes with RISE filler sleeves.

The penetration is sealed on both sides with a layer of 20 mm FFWA Sealing Putty.

Application/limitation

Approved for watertight penetrations up to a design pressure of 1.66 bar.

Approved for airtight penetrations up to a design pressure of 1.0 bar.

The penetration system is generally not to be used for penetrating boundaries of tanks.

When requested to be used in watertight bulkheads on passenger ships and Special Purpose Ships (SPS), pipe penetration system has to comply with the requirements given in SOLAS Ch. II-1 Reg. 13.2.3 (2009 issue).

Penetrations passing through watertight bulkheads are subject for separate examination and approval by actual flag administration.

Maximum size of penetration: 600 mm x 300 mm (or 1800 cm²).

The installation of the penetration is to be in accordance with the following enclosed approved drawings:

Bulkheads: Drawings Nos. R0053E rev.1, R0088E rev. 1, R0096E, R0115E and R0133E.

Decks: Drawings Nos. R0056E rev. 1, R0069E rev.1, R0070E rev.1, R0116E, R0117E, R0134E and R0135E.

Configuration drawing No. R0062E dated 29.09.98.

Each product is to be supplied with installation manual, use and maintenance.

Type Approval documentation

Certification in accordance with Certification Note 1.2, Type Approval, December 1996.

Test report WARRES No. 104226 dated 13 October 1996, WARRES No. 104226 dated 19 October 1996, WARRES No. 114525/A Issue 2 dated 21 September 2000 and WARRES No. 114524 Issue 2 dated 26 September 2000, all from Warrington Fire Research Centre Ltd, UK.

Test reports Nos. 2002-CvB-R06449 and 2002-CvB-R06450 dated November 2002 from TNO, Delft, Netherlands.

Fire test report No. 0007-B029 (A-0) dated 4 July 2000 and pressure test reports No.9809-d009 dated 10 September 1998 and No. 9909-d011 dated 1 September 1999 from the manufacturer.

Tests carried out

Tested according to IMO FTPC Part 3 (IMO Resolution A.754 (18)) and in compliance with IMO 2010 FTP Code Ch. 8.

Marking of product

The product or packing is to be marked with name of manufacturer, type designation and fire-technical rating.

Transport Canada Approval

Based on the procedures laid down in the Transport Canada Publication entitled "Approval Procedures for, Life Saving Equipment and Structural Fire Protection Products (TP 14812)", Det Norske Veritas confirms that the product/s listed in this certificate is/are in accordance with Transport Canada's requirements.

Certificate retention survey

Det Norske Veritas' surveyor is to be given permission to perform certificate retention surveys at any time during the validity period of this certificate and at least every second year. The arrangement is to be in accordance with the procedure described in item 4.3, Certification Note No. 1.2.