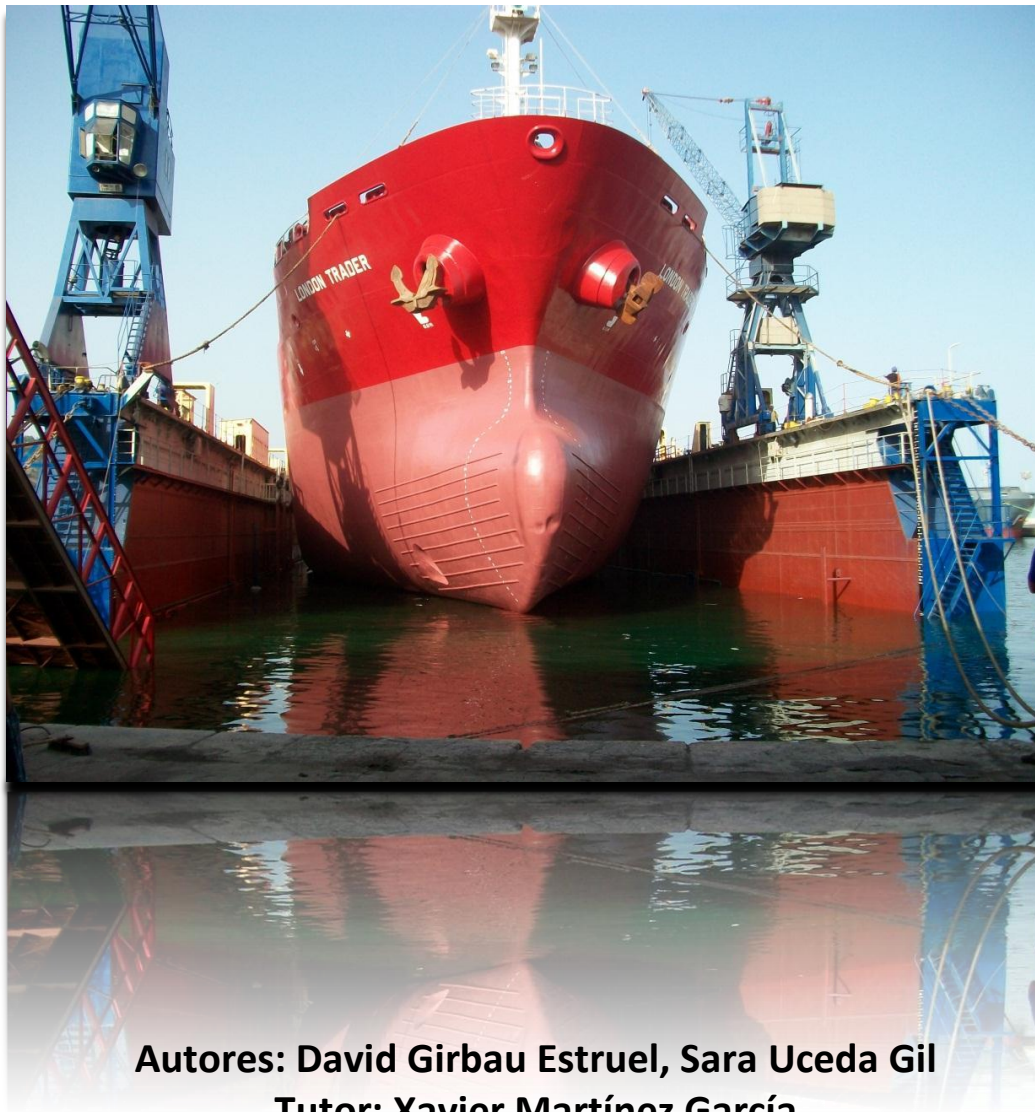


Diseño de un dique flotante de 7.000 toneladas de fuerza ascensional: estudio de la estructura y de los servicios.



Autores: David Girbau Estruel, Sara Uceda Gil

Tutor: Xavier Martínez García

Facultad de Náutica de Barcelona

Septiembre 2012



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Propósito del proyecto	5
1.2. Introducción a los astilleros de reparaciones.....	6
1.3. Medios de varada	6
1.3.1. Sistema de mareas	7
1.3.2. Carro-varadero	7
1.3.3. Dique seco.....	9
1.3.4. Medios de varada por transferencia	10
1.3.5. Dique flotante	13
2. ASPECTOS CARACTERÍSTICOS DEL DIQUE FLOTANTE	22
2.1. Situación del dique flotante.....	23
2.1.1. Criterios para la ubicación de un dique flotante	23
2.1.2. Puertos posibles.....	24
2.1.3. Puerto escogido y ubicación del dique.....	27
2.2. Buques a varar	30
2.3. Pre-dimensionamiento	33
2.3.1. Empuje y peso del dique vacío	34
2.3.2. Poder ascensional del dique.....	34
2.3.3. Tipo de dique escogido	35
3. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL DIQUE FLOTANTE	36
3.1. Metodología	37
3.2. Descripción general	39
3.2.1. Sección crítica	39
3.2.2. Elementos que se alojan	41
3.3. Estudio de los picaderos	44
3.3.1. Descripción general.....	44
3.3.2. Descripción del modelo de cálculo.....	45
3.3.3. Geometría	45
3.3.4. Cargas aplicadas.....	46



3.3.5. Materiales	48
3.3.6. Condiciones de contorno	49
3.3.7. Resultados.....	50
3.3.8. Análisis de los resultados	51
3.4. Estudio del dique flotante en 3D	52
3.4.1. Cargas aplicadas.....	52
3.4.2. Condiciones de contorno	57
3.4.3. Perfiles de los refuerzos	58
3.4.4. Diseño preliminar.....	58
3.4.4.1. Estructura 1	59
3.4.4.2. Estructura 2	63
3.4.4.3. Estructura 3	65
3.4.5. Re-dimensionamiento.....	67
3.4.5.1. Tipos de cuadernas.....	67
3.4.5.2. Perfiles de los refuerzos	72
3.4.5.3. Láminas	73
3.4.5.4. Resultados de las barras	74
3.4.5.5. Análisis de las barras	79
3.4.5.6. Resultados de las láminas.....	81
3.4.5.7. Análisis de las láminas	83
3.4.6. Cálculo del dique sumergido	84
3.4.6.1. Comprobación de resistencia	85
3.4.6.2. Análisis de los resultados.....	87
3.4.6.3. Modificaciones	88
3.4.6.4. Resultados finales.....	89
3.4.6.5. Análisis de los resultados.....	90
3.4.7. Cálculo del peso total y del agua de lastre	91
4. SERVICIOS Y SISTEMAS DEL DIQUE	95
4.1. Generalidades.....	96
4.2. Servicios del dique	97
4.2.1. Agua dulce.....	97
4.2.1.1. Servicio al dique	97
4.2.1.2. Servicio al buque	99



4.2.2.	Agua salada	99
4.2.2.1.	Circuito agua salada	99
4.2.2.2.	Servicios	101
4.2.3.	Aire comprimido	105
4.2.3.1.	Elementos y circuito del servicio	105
4.2.3.2.	Servicio al dique	107
4.2.3.3.	Servicio al buque	107
4.2.4.	Electricidad.....	110
4.2.4.1.	Elementos en puerto	110
4.2.4.2.	Servicio al dique	113
4.2.4.3.	Servicio al buque	114
4.3.	Sistemas del dique	115
4.3.1.	Lastre	115
4.3.1.1.	Equipos y espacios.....	115
4.3.1.2.	Maniobra de lastre	117
4.3.2.	Deslastre/Achique.....	119
4.3.2.1.	Equipos y espacios.....	119
4.3.2.2.	Cálculo de la potencia de la bomba	119
4.3.2.3.	Maniobra de deslastre.....	124
5.	PRESUPUESTO	125
6.	CONCLUSIONES	130
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	131
8.	ANEXOS	132
8.1.	Anexo 1: Resultados estructura 1.....	133
8.2.	Anexo 2: Resultados estructura 2.....	149
8.3.	Anexo 3: Resultados estructura 3.....	164
8.4.	Anexo 4: Propiedades de los perfiles de los refuerzos	176
9.	PLANOS.....	181

I. INTRODUCCIÓN



1.1. PROPÓSITO DEL PROYECTO

La operación de sacar un buque del agua por cualquier medio con el propósito de efectuar algún trabajo en su casco ha existido desde la aparición de la navegación. A lo largo de toda su historia se han utilizado muchos medios de varada distintos. En el proyecto en cuestión, se analizarán los diferentes medios existentes para luego centrarse en uno de ellos; el dique flotante.

Al respecto, el dique flotante significó la innovación más radical en el campo de varar naves. La versatilidad y movilidad de estos artefactos navales abrió un abanico de posibilidades en la operación de fuerzas navales y por cierto, puede considerarse el núcleo de la base naval móvil.

Un dique flotante es básicamente una estructura capaz de sumergirse inundando algunos o todos sus tanques, introducir una nave y apoyarla sobre una disposición de bloques de varada previamente dispuestos y subir la estructura junto a la nave varada, achicando el agua de los tanques inundados.

De esta forma se tiene acceso a la obra viva de la nave para ejecutar trabajos de mantenimiento del casco, ejes, hélices, válvulas de fondo y fittings asociados.

Los objetivos principales de este trabajo son, por una parte, diseñar la estructura de un dique flotante, y por otro lado, estudiar y analizar los sistemas y servicios que incorpora el mismo que permiten la realización de todas estas actividades.

Para llevar a cabo el diseño estructural, se efectuarán los distintos avances de la espiral de diseño hasta alcanzar la estructura óptima. El cálculo de los diseños estructurales se realizará mediante un software basado en el método de los elementos finitos, RamSeries 12.0.0.



1.2. INTRODUCCIÓN A LOS ASTILLEROS DE REPARACIONES

Históricamente los astilleros disponían de dos áreas bien diferenciadas, normalmente por una muralla, una destinada a nuevas construcciones y la otra a reparaciones. En función de la demanda del mercado, el personal e instalaciones se dedicaban a una actividad u otra. Posteriormente, con la alta productividad en el mercado, se optó por la especialización de los negocios, por lo tanto, se trató de separar la gestión de ambas actividades y cada astillero se dedicó a su actividad más rentable. A partir de esas fechas, los nuevos astilleros nacieron con una orientación bien definida.

La diferencia inmediata entre los astilleros de nuevas construcciones y los de reparaciones es que lo fundamental de los últimos son sus medios de varada. De esta manera, un astillero de reparaciones se concentra alrededor de los medios de varada con la menos extensión posible, por ello no disponen de grandes zonas de almacenamiento de materiales ni talleres.

1.3. MEDIOS DE VARADA

Los medios de varada son el elemento fundamental en el mantenimiento y reparación de las carenas de los barcos. Es la instalación más cara de los astilleros alrededor de la cual están situadas las otras instalaciones. Los medios de varada de los astilleros, es decir, el tipo de medio y el tamaño son las principales variables a considerar a la hora escoger el astillero donde varar.

La construcción de estas instalaciones es de gran coste, es por ello que se debe amortizar a través del precio de la reparación de los barcos. A causa de estos altos precios, la gran parte de reparaciones se intentan realizar a flote o si fuera posible navegando.

Para poder competir con la competencia es importante facilitar la entrada y salida del buque y sobretodo reducir al máximo el tiempo de varada. Es por esta razón que el astillero debe estar situado en las proximidades de las grandes rutas de navegación

Los medios de varada deben cumplir las siguientes características:

1. Seguridad.
2. Rapidez
3. Alimentación de energía y fluidos
4. Fácil maniobra



5. Estabilidad del buque
6. Buen acceso al buque desde tierra

Los sistemas de varada más comunes durante la historia han sido los siguientes:

1.3.1. SISTEMA DE MAREAS

La primera respuesta a la necesidad de varar una embarcación fue aprovechar un fenómeno natural como es la variación de marea. Este sistema consistía en llevar la embarcación a zona con poco calado y esperar a que bajara la marea para conseguir que la embarcación quedara en seco. Se trata de un sistema muy rudimentario y que tiene muchas desventajas; el proceso de dejar en seco la embarcación es muy lento, el tiempo de trabajo es reducido ya que depende de la marea y por último, el casco de la embarcación se somete a grandes tensiones a la vez que el soporte es deficiente. En la actualidad este método no se utiliza con normalidad, excepto en alguna embarcaciones de tamaño reducido.

1.3.2. CARRO-VARADERO

Es un medio de varada que normalmente se utiliza para pesqueros de madera o de acero de tamaño reducido.

Este medio de varada suele trabajar en un rango entre 100 y 6.000 toneladas de desplazamiento. Se podría construir carro-varaderos de mayor tamaño pero las otras alternativas saldrían más económicas.

El varadero está formado por los siguientes elementos: una rampa la cual esta sumergida para poder recibir el barco flotando, una vías de raíl situadas en dicha rampa y unos carros cuya función es sujetar el barco y desplazarlo a través de los railes hasta que quede en seco. En la cabecera de la línea de varada se dispone de maquinillas o cabrestantes que actúan sobre unos cables que trabajan a tracción con el conjunto carro-buque y ejerce la fuerza necesaria para transportarlo a la zona de reparación.

Estas maquinillas se encuentran en el interior de una caseta para protegerlas de la intemperie.

Una vez el barco es arrastrado hasta la zona de trabajo se fija con calzos o retenidas y así los cables dejan de trabajar y de someterse a tracción.



Imagen 1: Carro-varadero

Para la maniobra de puesta a flote se realizan las mismas acciones de manera inversa.

Para la ubicación de este medio de varada hay que tener en cuenta dos factores:

1. El lugar de las mareas ya que el nivel de las aguas condiciona el punto de encuentro entre el carro y el barco y por tanto la longitud de los rieles. Por esta razón para varar el barco el nivel de agua debe ser el óptimo.
2. La estabilidad del barco sobre los carros tanto en el momento de transferencia, utilizando puntales, como en su posición definitiva para la reparación mediante escoras situadas en la rampa, fuera de las vías.

Ventajas

- Bajo coste de construcción.
- Rapidez de operación.
- La pendiente de la rampa puede adaptarse a la pendiente natural de la costa en muchos casos así se reduce o incluso elimina el dragado.

Inconvenientes

- La rampa es una estructura fija que no se puede mover fácilmente.
- Consta de un sistema mecánico que requiere un periódico mantenimiento y remplazamiento de varias partes móviles.
- Requiere un mantenimiento bajo el agua.



1.3.3. DIQUE SECO

Es el sistema tradicional de varada para buques de tamaño mediano y grande. Este sistema consiste en una dársena artificial en la cual entra el buque flotando. Para la puesta en seco, se cierra la dársena y se vacía toda el agua de su interior. El fondo del dique consta de una cama de varada formada por un conjunto de picaderos sobre los cuales se apoya el barco.

Caracterizan a un dique seco su tipo de construcción, su cierre y su achique.



Imagen 2: Dique seco

Tipo de construcción:

La estructura de los diques suele ser de hormigón armado fijados al suelo con pilotes y tirantes.

El dique se encuentra bajo el nivel del mar, por lo tanto está sometido a una presión hidrostática que tiende a elevar el dique. Esta presión se puede contrarrestar de varias maneras:

- Dique de gravedad: Mediante el propio peso del dique.
- Dique de solera o de subpresión controlada. Manteniendo los esfuerzos verticales por debajo de unos límites asumibles por su estructura. Esto se consigue mediante un sistema que achica automáticamente agua bajo la solera.

Los diques de gravedad suelen utilizarse para un tamaño inferior ya que en caso contrario se necesitaría un excesivo peso de hormigón. En cambio, los otros, al disponer del sistema automático de achique, no es necesario tanto hormigón.



Para realizar la puesta en seco, la dársena debe estar estanca. Por lo tanto, el dique debe disponer de un sistema de cierre. El sistema de cierre más común es el de compuertas: consiste en unas puertas fijadas al dique que giran alrededor de charnelas. Por lo tanto, se abren y permiten la entrada del buque y cuando se cierran mantienen estanco el interior del dique con la ayuda de unas frisas de goma en el contorno. Hay dos tipos de compuertas: de eje vertical utilizadas en dique pequeño y compuerta horizontal para diques grandes.

1.3.4. MEDIOS DE VARADA POR TRANSFERENCIA

Los medios de varada por transferencia se diferencian de los otros sistemas en que una vez varado el barco y puesto en seco se traslada a otra zona para realizar las operaciones de mantenimiento y reparación. Los sistemas más comunes son el syncrolift y travelift.

SYNCROLIFT

Este sistema consiste en una plataforma que es capaz de sumergirse y emerger gracias a unos cables accionados por unas maquinillas situadas en tierra. Esta plataforma esta formada por vigas transversales sobre las que se apoyan vigas longitudinales que sirven para sostener los railes de un carro similar al de un varadero.



Imagen 3: Syncrolift

Para permitir la entrada del buque flotando, la plataforma se sumerge por gravedad. Una vez se encuentra el buque en la situación adecuada se accionan las maquinillas



eléctricas hasta que la plataforma toque con el fondo del barco y continua hasta que la plataforma quede alineada con la zona de transferencia. El mecanismo de elevación consiste en una serie de máquinas eléctricas conectadas a un panel de control central. Todas las máquinas trabajan a velocidad constante independientemente del peso que cada una esté cargando. Gracias a esto la carga de barco se reparte uniformemente sobre la plataforma.

Para desplazar el barco hacia la zona de reparación se dispone de cualquier sistema de tracción y un carro de transferencia que permite el movimiento perpendicular para situar el barco en el aparcamiento escogido. De esta manera, se pueden reparar varios barcos a la vez y queda libre la plataforma de elevación para otras posibles entradas.

Por otro lado, para poder realizar movimientos horizontales en la zona de reparación la superficie debe estar despejada de elementos fijos como maquinaria, alumbrado, grúas, etc. que deberán situarse de manera estratégica o utilizar instalaciones móviles.

El rango de trabajo de este medio de varada es entre 100-25.000 toneladas de desplazamiento.

Ventajas

- Alta rapidez de operación
- Facilidad de transferencia
- Posibilidad de reparar varios barcos simultáneamente

Inconvenientes

- Alto coste de construcción
- Alto coste de mantenimiento
- Requiere maquinaria de alta tecnología
- Estructura fija
- Dificultad de dragado bajo la plataforma



TRAVELIFT

Es una variante del sistema anterior normalmente utilizado en puertos deportivos donde trabajan con pequeñas embarcaciones de recreo.

Para realizar la varada del barco se dispone generalmente de una grúa de doble pórtico. El barco es soportado por unas correas de nylon. Para llevar a cabo la varada, cuando el barco se encuentra a flote en la piscina, se sumergen las eslingas y se centra el barco. A continuación se eleva la embarcación y se traslada, mediante las ruedas de la grúa, a su lugar de reparación.



Imagen 4: Travelift

Este medio de varada trabaja en un rango entre 7 a 1000 toneladas.

Ventajas

- Funcionamiento rápido.
- Muchos muelles pueden utilizar un mismo elevador.
- Los cables no entran en contacto con el agua.
- Las correas de nylon pueden utilizarse en superficies relativamente rugosas.
- El medio de elevación puede ser trasladado fácilmente ya que no consta de pilares de soporte.
- Fácil dragado por debajo.
- La maquinaria puede ser trasladada a una nave de almacén lejos de los demás elementos.



Inconvenientes

- Alto coste inicial de construcción.
- Alto coste de mantenimiento.
- Baja capacidad de elevación.

1.3.5. DIQUE FLOTANTE

Los diques flotantes son estructuras marinas con la suficiente envergadura, resistencia, desplazamiento y estabilidad capaces de varar un buque del agua. Generalmente están formados por dos elementos principales, la pontona y los costados o paredes.



Imagen 5: Dique flotante

La pontona es el elemento básico de soporte, el cual debe desplazar el peso del buque y del propio dique. Además tiene otras funciones como resistir la flexión transversal producida por el peso del buque y por la presión hidrostática que actúa por la parte inferior.



El objetivo principal de los costados es dar estabilidad al conjunto del dique flotante mientras la pontona está sumergida. Al mismo tiempo, proporciona espacio para los servicios que pueda haber en la cubierta del costado, como grúas, o en su interior, como bombas y válvulas. Parte de su estructura es utilizada para agua de lastre, necesaria para controlar el calado sumergido del dique, y ayuda a mantener la rigidez longitudinal ya que hace la función de viga.

HISTORIA

El primer dique flotante utilizado en la historia se remonta alrededor del año 1700 en el Mar Báltico. Con el objetivo de reparar un barco, su capitán adquirió el casco de un buque llamado “Camel” del cual eliminó las cubiertas, los mamparos y cortó la parte de popa. Entonces, atracó su barco dentro del casco y selló la parte de popa. Posteriormente achicó el agua interior y el “Camel” emergió flotando con su barco dentro y con el casco seco y accesible para poder hacer las reparaciones.

Años más tarde, los diques flotantes fueron diseñados con la forma de los cascos de buque, pero gradualmente se hicieron con forma de *U* o rectangulares a finales del siglo XVIII. Al principio solamente la madera era válida para su construcción, pero con la introducción del hierro y del acero como materiales de construcción, se mejoraron las prestaciones y aumentaron los tamaños de los diques flotantes.

Los buques eran cada vez más grandes y pesados, por lo que los diques aumentaban y había de muchos diseños. Las grandes potencias navales, como Inglaterra y Alemania, tenían distribuidas sus flotas por todo el planeta y necesitaban la movilidad de sus diques para las reparaciones y demás. Estos dos factores contribuyeron al desarrollo de varios tipos de diques durante los años posteriores.

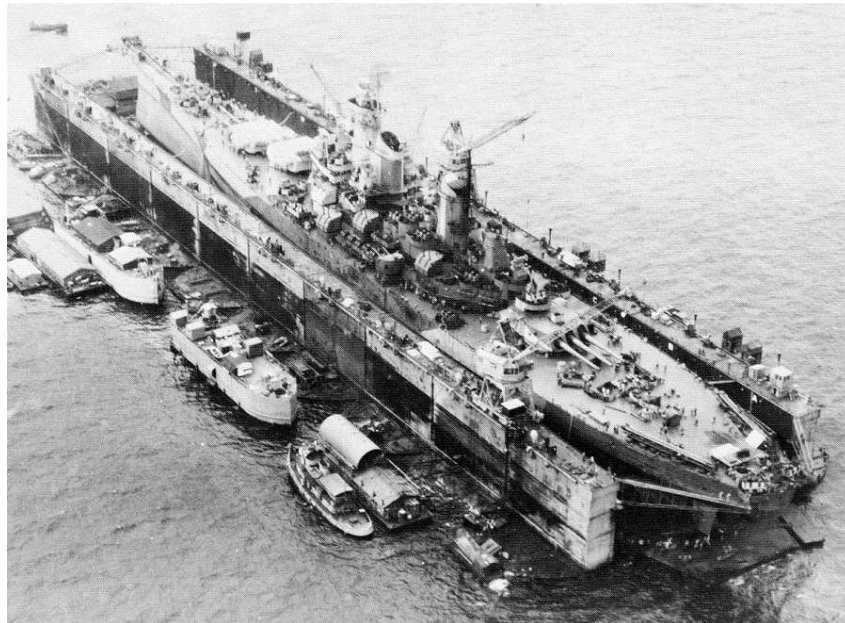


Imagen 6: Dique flotante antiguo

Actualmente, los diques flotantes son el tipo de instalaciones de reparación más flexibles disponibles; en ellos pueden varar buques de todas las dimensiones y condiciones. Son artefactos flotantes que pueden ser fácilmente trasladados donde se necesite de su operación y que pueden ser amarrados detrás de las líneas valiosas de muelles o puertos.

TIPOS DE DIQUES FLOTANTES

Los diques flotantes se pueden clasificar en 3 principales grupos:

Dique Rennie.

Este primer tipo de dique flotante se caracteriza por tener los costados continuos y las pontonas seccionadas. Éstas pueden ser auto-carenales desacoplándose de los costados. Este tipo de diques son más débiles longitudinalmente que los diques cajón ya que solo tienen los costados como refuerzos longitudinales. Además su estructura es generalmente más pesada debido a los dobles mamparos que unen las secciones de la pontona y al mayor dimensionamiento de los costados para resistir los esfuerzos longitudinales. Su poca resistencia longitudinal le impide ser remolcado en océanos.



Dique cajón o de una sola pieza.

Este dique es construido de una sola pieza, es decir, tiene los costados y la pontona continuos. Este tipo suele ser más ligero y resistente que los otros ya que tiene una estructura continua que le permite resistir mejor a los esfuerzos. La capacidad para remolcar un dique cajón es mayor aunque no todos puedan ser remolcados en mar abierto. Al contrario de los dique Rennie, estos tipos de dique no son auto-carenales y se construyen en tierra para luego ser botados como si fuesen un buque.

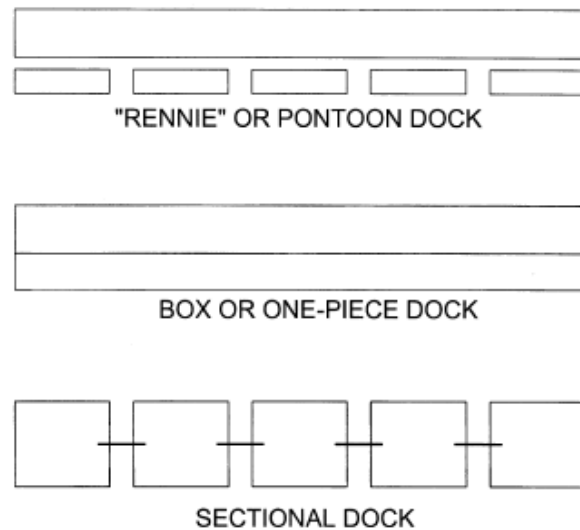


Imagen 7: Tipos de diques flotantes

Dique seccionado.

Este último tipo de diques no tienen continuidad estructural longitudinal ya que están unidos por varias secciones transversales. Las uniones entre secciones pueden permitir el desplazamiento suficiente para perder la alineación o padecer rotaciones indeseadas. Para evitar esas situaciones las uniones deben ser lo más rígidas posibles y resistentes a los esfuerzos. Durante el proceso de lastrado o achique las secciones pueden entrar en una fase crítica a la flexión. Por último, este tipo de diques son habitualmente auto-carenales.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Un dique flotante se basa en el principio de Arquímedes, desplazando un volumen de agua igual en peso que su propio peso más el peso del buque a varar y el peso de agua de lastre que pueda haber en el interior. Las dimensiones y disposición de la estructura, y la presencia de los sistemas de lastre y achique, permiten variar el peso del dique de manera que la cubierta de la pontona pueda sumergirse para varar o poner a flote el buque.



El dique flotante incorpora un sistema de válvulas que permiten la entrada de agua por gravedad a los tanques de agua para sumergir el dique. A medida que el dique se sumerge, se puede controlar la escora, el asiento y la flexión del dique variando el caudal que entra a cada tanque de lastre.

El sistema de control del caudal depende del tipo de sistema de lastre que incorpore el dique. Existen dos sistemas de lastre en diques flotantes:

- Sistema controlado por válvulas.
Consiste en un colector de tuberías y válvulas que variando su apertura permiten aumentar o disminuir el caudal que llega a cada tanque de lastre y con ello controlar su inundación.
- Sistema controlado por bombas.
Consiste en una bomba y una válvula por cada compartimento de lastre. El caudal es controlado mediante la potencia de la bomba y la apertura de la válvula. Con esta combinación se puede graduar el nivel de agua de los tanques.

Habitualmente el sistema de lastre y achique está controlado desde un cuadro central situado en uno de los costados del dique. Desde esta sala de control se pueden activar las válvulas, bombas y regular el nivel de lastre.

El agua es introducida en los tanques de lastre, hundiendo el dique hasta el calado deseado y superior al del buque a varar. Seguidamente el buque es remolcado hacia el interior del dique por alguno de los frentes. Posteriormente, el agua es evacuada de los tanques de lastre mediante las bombas de achique. El dique sufre un empuje capaz de elevar su peso primero y después el conjunto dique-buque. La operación concluye en el momento en que la cubierta de la pontona está por encima de la línea de flotación, quedando fijado el buque al dique por efecto de su peso sobre los picaderos.

Todos los diques flotantes deben tener indicadores o sensores de nivel que sean capaces de informar del nivel de agua de lastre y del calado del dique en seis regiones del dique: a proa, al medio y a popa en ambos lados de estribor i babor. Sin una sala de control es muy difícil saber si ocurre alguna incidencia, como una válvula defectuosa o una bomba clavada. Además, sin el seguimiento del proceso de lastre puede ocurrir alguna catástrofe.

Aquellos diques con más eslora también deben incorporar un sistema de medición de la flexión de los costados. La flexión longitudinal del costado es un indicador directo del esfuerzo longitudinal que sufre el costado.



La capacidad de un dique flotante está limitada por su flotabilidad, su estabilidad y la resistencia de su estructura. Generalmente la flotabilidad será condición límite porque la estabilidad y la resistencia serán calculadas a partir de ella, aunque haya alguna excepción.

MATERIALES

A lo largo de la historia los diques flotantes han sido construidos de madera, hierro, acero y hormigón.

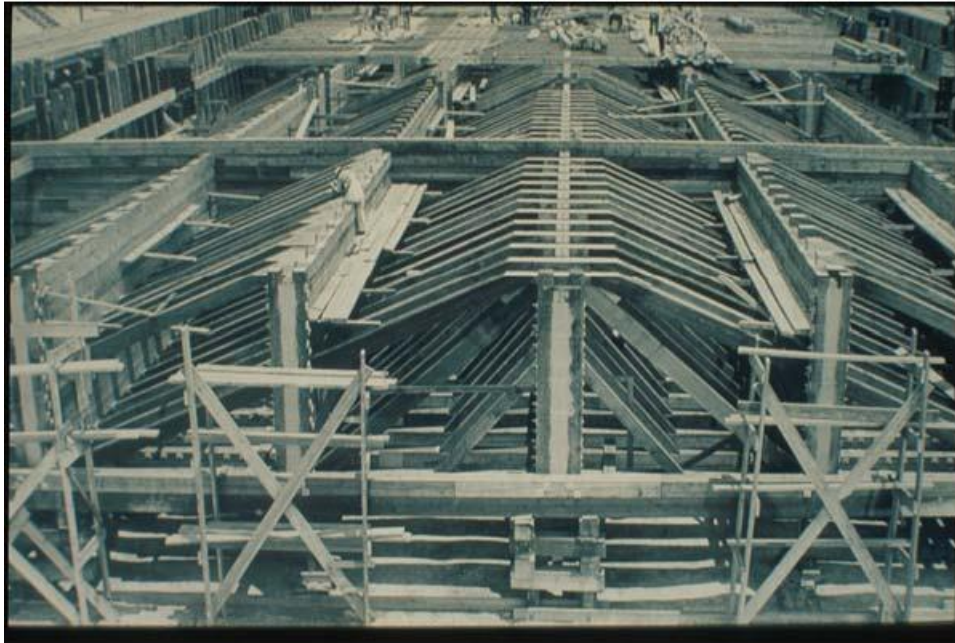


Imagen 8: Pontona de un dique flotante de madera

La madera fue muy utilizada desde los años cercanos a 1800 hasta la Segunda Guerra Mundial. Con el tiempo, la madera de los costados del dique se deterioró mientras que la madera de la pontona mantuvo sus propiedades gracias al agua salina. Los propietarios de los diques optaron por eliminar los costados de madera y sustituirlos por costados continuos de acero. Por lo tanto los diques pasaban a ser del tipo Rennie y así alargaban su vida. Aún resta algún dique de madera en funcionamiento.

Tras la Segunda Guerra Mundial la madera fue remplazada por el acero como material de construcción de diques. En la actualidad la mayoría de diques flotantes son construidos de acero.

El hormigón también ha sido utilizado en la construcción de diques pero su principal inconveniente es su peso. Debido a esto, la pontona tiene que aumentar su calado para levantar la misma carga, se gasta más energía para achicar un volumen de agua superior y aumentan los costes de producción, por lo que no es rentable.



ESTABILIDAD

A diferencia de otros medios de varada, los diques flotantes no solamente tienen en cuenta las dimensiones y la resistencia para varar un buque, sino que también deben de ser estables en las operaciones de varar y poner a flote.

Para asegurar la estabilidad, la combinación dique-buque debe mantener un mínimo de GM a lo largo de la evolución, donde GM es la altura metacéntrica y medida de la estabilidad. Este mínimo GM varía según el tamaño del dique flotante y del buque a varar.

Con una altura metacéntrica positiva el conjunto dique-buque será estable y el GM mínimo es necesario para mantener la estabilidad en caso que aparezcan factores desconocidos. Habitualmente la estabilidad es estudiada en cinco fases de operación.

- Dique flotante completamente sumergido
- Conjunto dique-buque parcialmente sumergido
- Conjunto dique-buque con la línea de flotación en la parte superior de los picaderos.
- Conjunto dique-buque con la línea de flotación justo por encima de la cubierta de la pontona
- Conjunto dique-buque en su estado de reparación

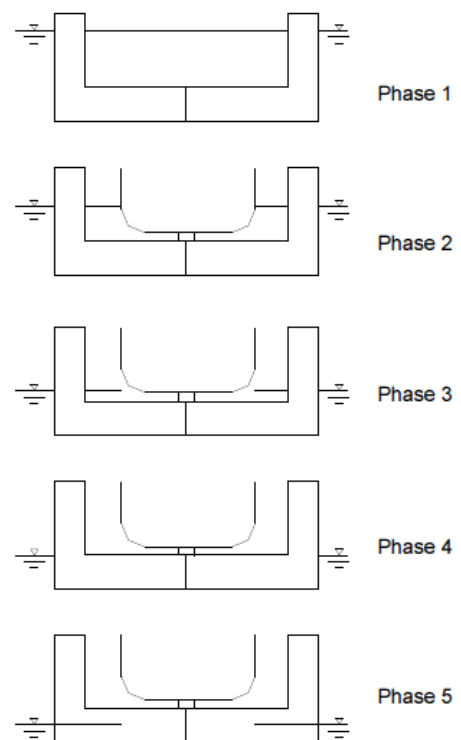


Imagen 9: Fases de estabilidad de un dique flotante

La situación de estabilidad mínima coincide con la fase 3 o 4.



La estabilidad de un dique flotante es función de la superficie de agua cortada por el propio dique. En la fase más crítica solamente los costados intersectan con la superficie del agua y son los únicos que aportan la fuerza de equilibrio. Cuanto más separados estén los costados mayor estabilidad tendrá el dique.

La siguiente ecuación calcula la altura metacéntrica:

$$GM = KB + BM - KG$$

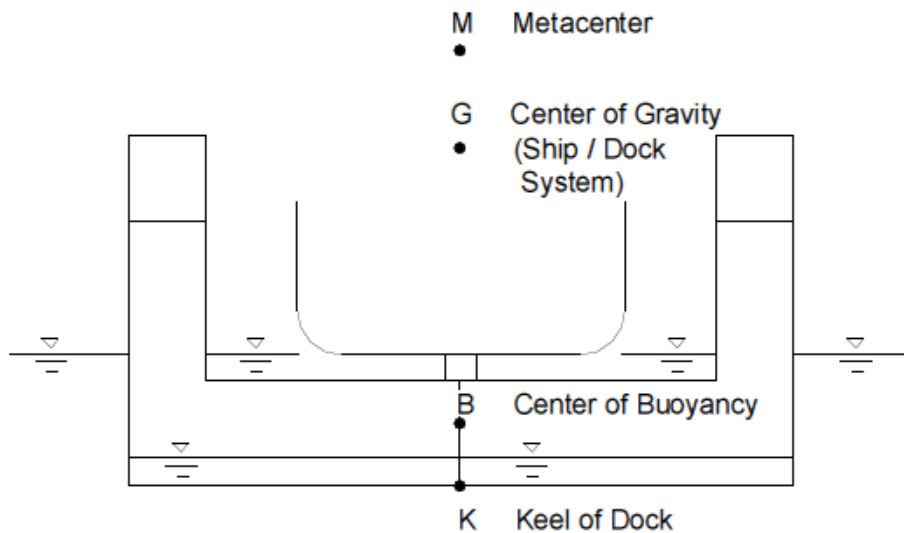


Imagen 10: Variables de la estabilidad transversal

Donde:

KB = altura del centro de flotación del volumen sumergido del dique tomada desde la quilla del dique flotante.

BM = altura del metacentro transversal tomada desde el centro de flotación.

KG = altura del centro de gravedad del conjunto dique-buque tomada desde la quilla del dique flotante.



COMPARACIÓN DIQUE SECO-DIQUE FLOTANTE

Ventajas del dique flotante

- No requiere espacios valiosos o de primera línea en puertos o muelles.
- Puede ser construido en astilleros económicos y posteriormente ser remolcado a la situación deseada; se reducen costes de construcción.
- Puede ser vendido en todo el mundo.
- Los buques pueden ser transferidos hasta el muelle con relativa facilidad.
- El dique puede adoptar asientos o escoras deseados para facilitar la entrada del buque y así reducir las cargas de impacto y eliminar los problemas de estabilidad.
- Los diques son capaces de operar con buques de esloras superiores a la suya.
- El dique puede desplazarse para facilitar las maniobras de dragado.
- El dique puede aumentar su eslora con relativa facilidad.

Desventajas del dique flotante

- Los diques flotantes requieren un gran mantenimiento en bombas, válvulas y estructuras de acero.
- La circulación de personal o material se limita a las pasarelas y/o grúas.
- Las grandes variaciones de mareas pueden complicar las operaciones de servicio.

II. ASPECTOS CARACTERÍSTICOS DEL DIQUE FLOTANTE



2.1. SITUACIÓN DEL DIQUE FLOTANTE

2.1.1. CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE UN DIQUE FLOTANTE

La ubicación de un astillero de reparaciones es muy importante debido a diferentes factores que hacen de él un astillero más atractivo para el armador. Los factores a tener en cuenta para situarlo son los siguientes:

1. Debe encontrarse cerca de *las grandes rutas de navegación* para que los buques no pierdan mucho tiempo en llegar al astillero. Suelen entrar a reparar en el viaje de vuelta, cuando el buque se encuentra en lastre.
2. Próximo a una *actividad marítima intensa*.
3. *Al abrigo* de inclemencias del tiempo, proporcionando seguridad a las instalaciones y buques incluso en temporales.
4. En lugares con un *calado adecuado* para los buques a los que va destinado. En caso contrario se debería dragar continuamente y aumentaría considerablemente el coste de mantenimiento.
5. En un lugar donde el suministro de materiales y mano de obra sea rápido. Por lo tanto conviene que sean zona con *buena comunicación* y de *gran desarrollo industrial*.
6. *Zona climatológicamente adecuada* y favorable a actividades como son la soldadura, chorreado, pintura etc. que exigen ciertas condiciones de humedad.



2.1.2. PUERTOS POSIBLES

Una vez conocidos todos estos criterios se han estudiado los puertos españoles con más tráfico marítimo: A Coruña, Algeciras, Barcelona, Bilbao, Las Palmas y Valencia.

A CORUÑA

La media diaria de barcos que entra en el puerto de A Coruña es aproximadamente 25, como se observa en la *Imagen 11*. Debido a la gran actividad pesquera, predominan los barcos pescantes. Como ya se ha estudiado, el medio de varada más común para este tipo de embarcaciones es el carro-varadero y por lo tanto se excluye este puerto.

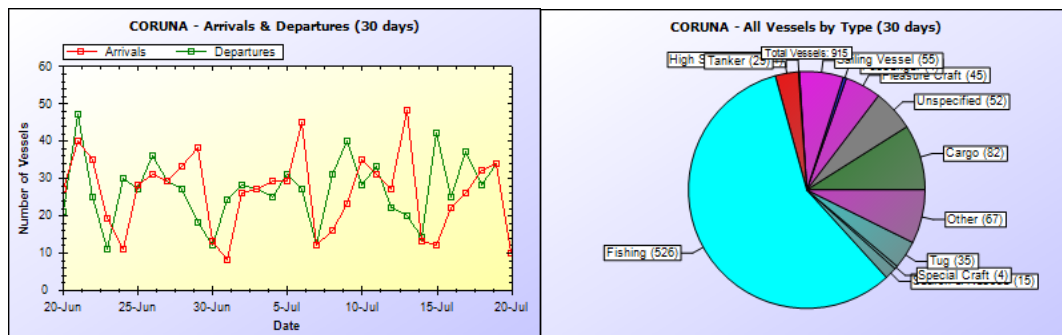


Imagen 11: Tráfico marítimo del puerto de A Coruña

ALGECIRAS

El puerto de Algeciras es uno de los que tiene más tráfico marítimo ya que se encuentra muy próximo al estrecho de Gibraltar, con una media de 60 buques al día. Además, tiene buena comunicación ferroviaria y aérea. Sin embargo, ya se disponen de varios medios de varadas para grandes buques por dicha zona, por ejemplo en el astillero Cernaival (San Roque) y en el astillero Navantia (San Fernando). Tal y como se aprecia en la *Imagen 12*, predominan los buques de pasaje. Por estas razones se ha descartado la opción de ubicar el dique flotante en este puerto.

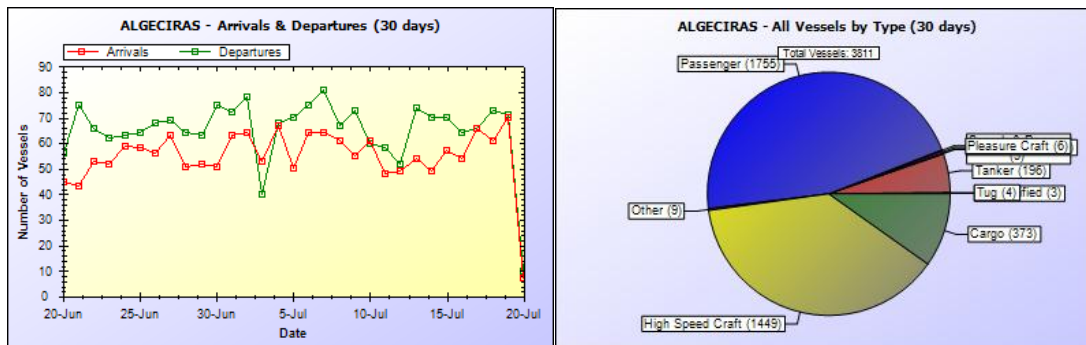


Imagen 12: Tráfico marítimo del puerto de Algeciras

BARCELONA

El puerto de Barcelona es un gran referente en el mar mediterráneo y su media de buques al día es similar al puerto de A Coruña. Otro punto a tener en cuenta es su inmejorable comunicación y perfecta, si finalmente se establece el corredor mediterráneo. Por otro lado, el tipo de buque que más frecuenta en el puerto son los cruceros o buques de pasaje (*Imagen 13*). Los buques de carga no se quedan cortos ya que siguen de cerca al primer grupo. La empresa Marina Barcelona 92 tenía un dique flotante hace pocos años pero actualmente ya no lo tiene a su disposición. Finalmente debido a que el puerto de Barcelona tiene un gran volumen turístico y predominan los barcos de pasaje se ha desestimado la opción de construir el dique flotante.

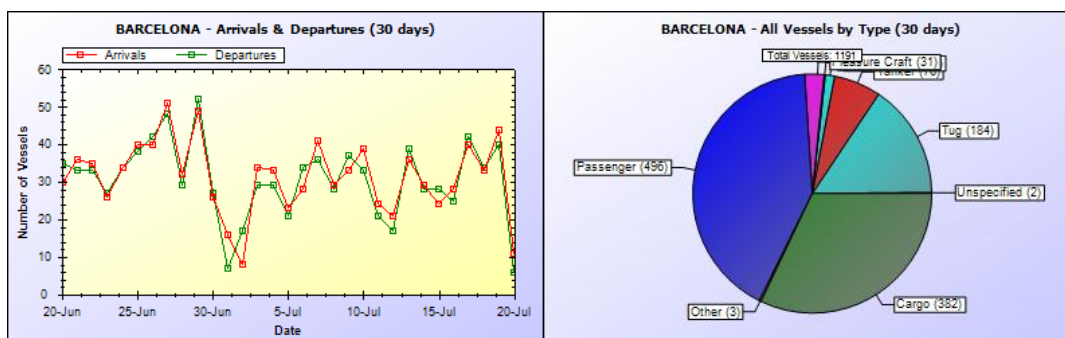


Imagen 13: Tráfico marítimo del puerto de Barcelona

BILBAO

El puerto de Bilbao es el que tiene menor media diaria entre los puertos estudiados; su media se aproxima a 20 buques por día (*Imagen 14*). A pesar de esto, el puerto tiene las comunicaciones viarias, ferroviarias y aéreas, y además dispone de salidas a los puertos secos de Azuqueca de Henares, Coslada y Villafría. También resalta que el tipo predominante en este puerto es precisamente el buque de carga. Todo y tener unas buenas condiciones de logística también es importante saber que hay mucha variación de mareas y que no hay suficiente movimiento de embarcaciones como para construir un dique flotante.

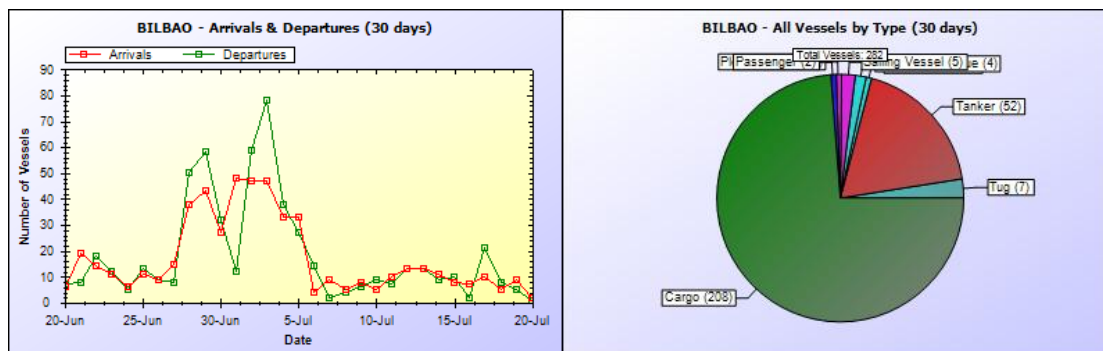


Imagen 14: Tráfico marítimo del puerto de Bilbao

LAS PALMAS

Las Palmas tiene un puerto con una media bastante alta de buques al día, en concreto unos 45 buques diarios (Imagen 15). Dispone de muchos servicios para reparaciones como varaderos preparados para 3000 Tn, travelift para yates hasta 60 Tn y syncrolift de 30000 Tn. Su comunicación marítima y aérea es destacable, además de tener una buena climatología prácticamente durante todo el año. Sería una buena ubicación para un dique flotante sino fuera porque los buques de carga son minoritarios y el puerto ha evolucionado mucho en los últimos años, lo que supone que ya dispone de servicios de varada suficientes.

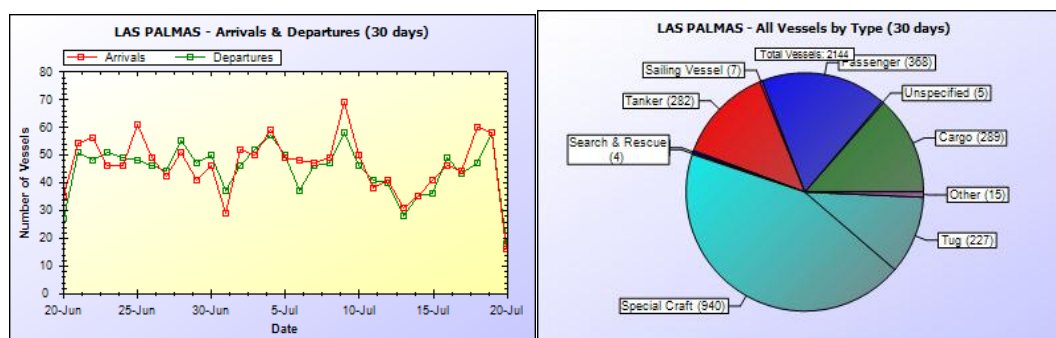


Imagen 15: Tráfico marítimo del puerto de Las Palmas

VALENCIA

El puerto de Valencia parece el ideal para la ubicación del dique por los siguientes motivos. La situación es perfecta ya que padece de buena climatología y tiene muy buena comunicación marítima. Al norte tiene el puerto de Barcelona, al este el archipiélago Balear y por el sur hay la entrada/salida de buques del Mediterráneo. Por lo que hace referencia al medio terrestre, existe una buena comunicación viaria y



ferroviaria, además la ciudad dispone de un aeropuerto. Como se ve en la gráfica (*Imagen 16*), la media de buques al día es 28. Lo más destacable es que los buques de carga son los predominantes y su volumen en un mes se eleva hasta los 508. Este puerto ha ido evolucionando hasta tal punto que dispone de unas infraestructuras de grandes dimensiones y aún tiene proyectos de amplificación en un futuro. Por estos factores se ha creído adecuado instalar el dique flotante en el puerto de Valencia.

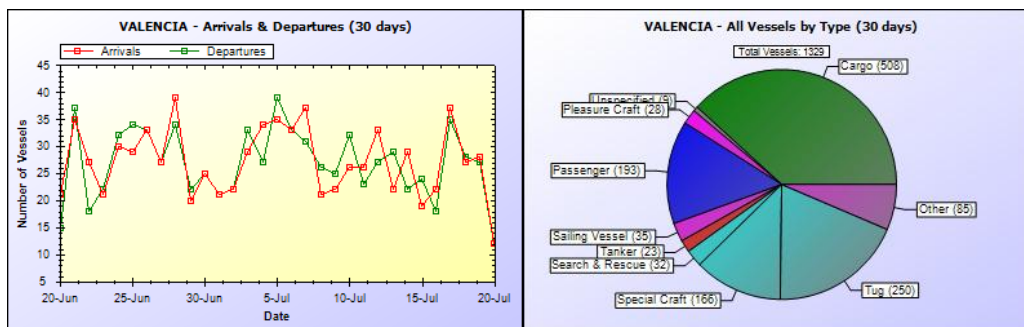


Imagen 16: Tráfico marítimo del puerto de Valencia

2.1.3. PUERTO ESCOGIDO Y UBICACIÓN DEL DIQUE

Para ubicar el dique en el puerto de Valencia es importante familiarizarse con la distribución del puerto para conocer sus dimensiones, características y servicios. En la *Imagen 17* se representa la zona portuaria.



Imagen 17: Vista satélite de la zona portuaria de Valencia

Una vez conocido el puerto de Valencia, el siguiente paso es encontrarle el espacio óptimo dentro de la zona portuaria. La zona escogida debe cumplir los requisitos:

- Debe de estar abrigado y cerca del muelle.
- Debe de haber suficiente profundidad para permitir sumergir el dique.
- Debe de situarse en una zona próxima a medios de reparación cómo pueden ser los astilleros.
- Debe permitir la entrada y salida de los buques a reparar.
- Debe situarse en una zona secundaria o de segunda línea para evitar ocupar zonas de primera línea o de privilegio para no interferir en los ingresos económicos.
- Debe de poder alojar el sistema de fijación del dique.



El espacio que cumple con todos los requisitos se representa con un círculo amarillo en la *Imagen 18* juntamente con el dique flotante (rectángulo rojo).



Imagen 18: Esquema de las instalaciones portuarias del puerto de Valencia



2.2. BUQUES A VARAR

La operación de varada es voluntaria y premeditada, por lo que se debe calcular detalladamente y controlar en el momento de entrada.

Tal y como ya se ha explicado, el buque descansa sobre la cama de varada que está formada por un conjunto de picaderos, unos situados en la quilla y otros en la zona de pantoque.

El buque no debe entrar al dique cargado aunque su máximo desplazamiento sea inferior a la fuerza ascensional del dique ya que al tocar con los picaderos se podrían formar abolladuras en las planchas del buque o sobre los picaderos. Por lo tanto, el buque debe entrar con un calado medio.

Por otro lado, el buque debe entrar con un asiento apopante a razón de 2 a 4 pies por cada 100 metros de eslora del barco. De esta manera, el primer contacto se produce en el codaste cuando el dique comienza a emerger. El asiento de entrada del buque debe estudiarse minuciosamente ya que si entra con poco asiento toca rápidamente con la cama de picaderos y puede quedar mal centrado por el poco tiempo del que se dispone. En caso contrario, si el buque entra con demasiado asiento pueden producirse tensiones excesivas en el codaste y provocar deformaciones.

Al ir ascendiendo el dique la reacción en el codaste va aumentando hasta apoyar toda la quilla, es el momento de mínima estabilidad.

Los planos que debe poner el capitán del buque a disposición del jefe del dique son:

- *Plano de formas*: Va a servir para situar los picaderos laterales, es decir, los picaderos situados en la zona de pantoque del buque que proporcionan estabilidad e impiden que el barco vuelque. Para encontrar el lugar óptimo de ubicación de estos picaderos se divide la manga del buque en 3 partes y se colocan los picaderos en los puntos c y d tal y como se observa en la *Imagen 19*.

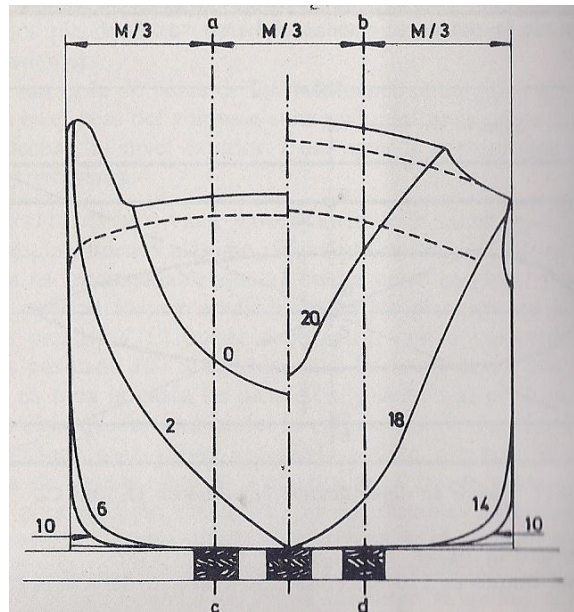
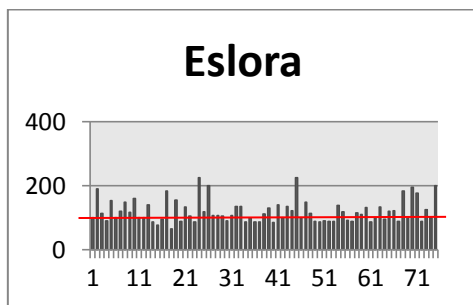


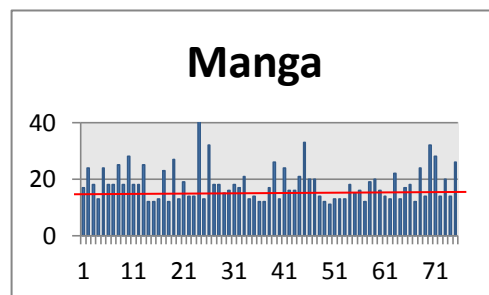
Imagen 19: Colocación de los picaderos

- *Plano de las curvas hidrostáticas:* A través de este plano se deducirán los datos precisos para situar el buque de tal modo que, una vez situado el buque en los picaderos, la vertical del centro de carena del dique coincida con la vertical del centro de gravedad del barco.

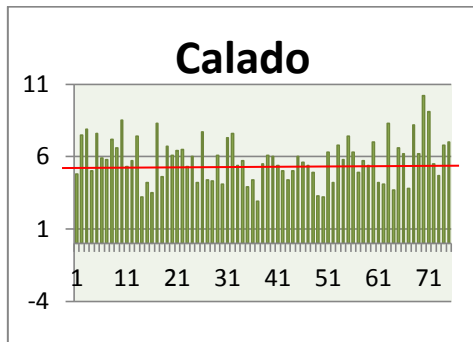
Para dimensionar el dique flotante que se desea diseñar se parte de una recopilación de 75 buques de carga, escogidos al azar, que han estado navegando por España recientemente. A partir de los datos obtenidos se ha hecho un promedio de las características principales para escoger las dimensiones generales de un buque modelo.



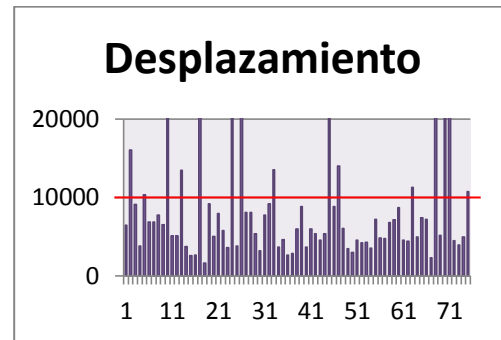
La eslora media es de 120 m.



La manga media es 18.45 m.



El calado medio cuando el buque se encuentra navegando es de 5.8 m



El desplazamiento medio en carga es de 10070 toneladas.

Por lo tanto el perfil de buque a varar es el siguiente:

Eslora (L)= 120 m

Manga (B)= 19 m

Calado (D)= 5 m

Desplazamiento ∇ =7.000 toneladas



2.3. PRE-DIMENSIONAMIENTO

El dique flotante parece un cajón flotando en el agua. Para asegurarse que es flotante, su geometría debe cumplir con la ley de Arquímedes, es decir, desplazar el volumen de agua suficiente para que el empuje contrarreste el propio peso del dique.

Las dimensiones principales de un dique son las siguientes (*Imagen 20*):

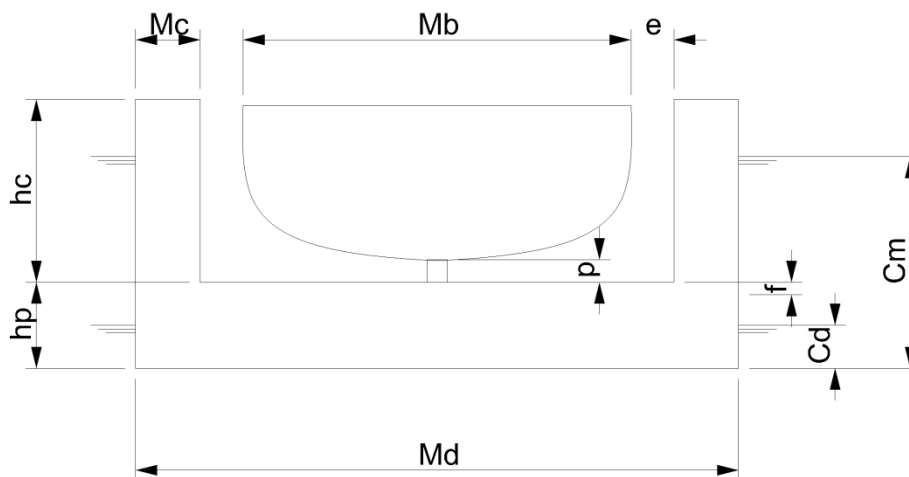


Imagen 20: Dimensiones principales de un dique flotante

Md: Manga del dique, distancia máxima entre la cara exterior de las planchas de los costados.

Mc: Manga de los costados. Distancia entre la cara exterior de las planchas de un costado.

Mi: Manga interior. Distancia entre los costados del dique.

e: Espacio mínimo entre el buque y el costado del dique.

hp: Altura de la pontona.

hc: Altura de los costados.

p: Altura de los picaderos.

f: Francobordo mínimo.



Cd: Calado del dique sin el buque.

Cm: Calado máximo en el momento de inmersión del dique para la entrada del buque.

Una vez conocidas las dimensiones de los buques con intención de varar en el dique se pueden estimar unas primeras dimensiones del dique.

Las variables que se deben estimar son:

Eslora (L)	Manga total (Md)	Manga interior (Mi)	Calado (Cd)	Calado máximo (Cm)	Puntal	Francobordo (f)	Altura picaderos (p)
120 m	28 m	22m	1.5 m	10 m	4 m	0.3 m	1.15 m

2.3.1. EMPUJE Y PESO DEL DIQUE VACÍO

Una vez estimadas las dimensiones principales del dique se puede calcular, mediante el teorema de Arquímedes, el peso del dique cuando se encuentra sin buque y sin agua en sus tanques. Este peso será el mismo valor que el empuje que sufrirá el dique, para mantener el equilibrio de fuerzas verticales.

$$Pd = L * B * Cd * \rho_{agua} = 120 * 28 * 1,5 * 1,025 = 5166 \text{ ton}$$

Estas 5166 toneladas son la suma del peso estructural del dique y toda la maquinaria instalada en el dique, por ejemplo, grúas, bombas, molinetes, tuberías etc. Por lo tanto, se debe comprobar que una vez diseñado el dique no supere este peso ya que si no la fuerza ascensional será inferior a la deseada.

2.3.2. PODER ASCENSIONAL DEL DIQUE

El francobordo mínimo cuando el buque se encuentra sobre el dique preparado para trabajar en él, según la sociedad de clasificación ABS, no debe ser inferior a 300mm, por lo tanto se ha estimado un francobordo de 300mm.

$$Pdique + Pbuque(\text{fuerza ascensional}) = P \text{ volumen sumergido}$$

$$\begin{aligned} F_{ascensional} &= (L * B * (P - f) * \rho_{agua}) - Pbuque \\ &= (120 * 28 * (4 - 0,3) * 1.025) - 5166 = 7576,8 \text{ ton} \end{aligned}$$



2.3.3. TIPO DE DIQUE ESCOGIDO

Se ha escogido un dique tipo Rennie tal y como se puede observar en el **Plano 1**. Estos tipos de dique están contruidos con la pontona seccionada y esto permite que el dique sea autocarenable. Las secciones de la pontona se unen con los costados por medios de unos pernos, por lo tanto, en caso de avería de alguna sección, se extrae la sección y se repara sobre el mismo dique. En caso contrario, la reparación debería hacerse en otro medio de varada y con la necesidad de transportar todo el dique.

III. DISEÑO ESTRUCTURAL



3.1. METODOLOGÍA

El propósito de este proyecto, como ya se ha dicho, es el diseño de un dique flotante, llevando a cabo el cálculo estructural de sus elementos esenciales.

Para simplificar el estudio del dique se aplican una serie de hipótesis de resistencia de materiales, que si bien no se cumplen exactamente, nos facilitan en gran manera la resolución de los problemas y nos llevan a unos resultados muy aproximados.

1. *Homogeneidad isotropía y continuidad del material.*

Se dice que un material es isotrópico cuando sus propiedades físicas no dependen de la dirección en la que se ha realizado la medida de estas propiedades en dicho cuerpo.

Suponer que un cuerpo es homogéneo significa que cualquier parte arbitraria posee la misma composición y características que otra cualquiera.

Por último, la continuidad del material supone que no existen vacíos ni oquedades entre partículas.

2. *Linealidad del material.* Se supone válida la ley de Hooke generalizada, como relación entre tensiones y deformaciones. Esto equivale a suponer que el material es elástico lineal.

3. *Equilibrio.* Tanto la estructura globalmente como cada parte de la misma, y en particular cada nodo y barra de la misma están en equilibrio estático bajo la acción de las fuerzas exteriores y de los esfuerzos internos.

4. *Las acciones se aplicaran estáticamente,* es decir, la suficiente lentitud para que no se produzcan vibraciones o que éstas sean despreciables.

5. *Principio de rigidez o hipótesis de los pequeños desplazamientos.* “Las ecuaciones de equilibrio se pueden formular sobre la geometría indeformada, es decir, sin considerar los movimientos provocados por el sistema de cargas” Esta hipótesis implica que los movimientos de la estructura debido al sistema de cargas sean muy pequeños, comparados con las dimensiones de la estructura.



6. Principio de superposición de efectos. Si se cumple la Ley de Hooke y es válida la hipótesis de pequeños desplazamientos, entonces “los efectos que un sistema de fuerzas origina sobre una estructura son iguales a la suma de los efectos que originan cada una de las fuerzas del sistema actuando por separado”. Una consecuencia inmediata del citado principio es que el estado final (tensional y deformacional) de una estructura sometida a un sistema de fuerzas no depende del orden de aplicación.

7. Principio de saint Venant. En una viga, las tensiones que actúan sobre una sección recta alejada de los puntos de aplicación de un sistema de carga sólo dependen de la resultante y del momento resultante de las fuerzas situadas a un lado de la sección considerada.” Esta hipótesis implica que los efectos locales sólo afectan a una zona localizada a uno y otro lado de las secciones en que se producen en una longitud aproximadamente igual al canto de la pieza.

8. Hipótesis de Navier Bernouilli. “Las secciones planas y perpendiculares al eje de la viga antes de la deformación, siguen siendo planas y perpendiculares al eje de la viga después de la deformación”

Los estudios estructurales se llevarán a cabo con el software *Ramseries 12.0*. Este programa está basado en el método de los elementos finitos. Los cálculos se pueden realizar con varios modelos distintos; modelo de vigas, cables, láminas, membranas y sólidos.



3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

3.2.1. SECCIÓN TRANSVERSAL CRÍTICA

Todas las secciones son iguales en dimensiones y estructura. Esta característica simplifica mucho el estudio estructural de la pontona ya que es suficiente estudiando una de ellas, la sección más crítica.

Como ya se sabe, la mayor carga a la que está sometido un dique flotante es a la carga del buque y los pesos del buque no son uniformes a lo largo de su eslora. De este modo, la sección crítica depende de la distribución de pesos de los buques que van a varar. Cada tipo de buque tiene una distribución distinta en función de la ubicación de las máquinas y otros elementos. Conociendo las dimensiones, el desplazamiento y el tipo de buques a varar en el dique se puede obtener la curva de distribución de pesos de un buque modelo.

Para estudiar la curva de distribución del buque modelo se utilizará el método de los trapecios. La curva resultante de la distribución de pesos por medio de los trapecios se aprecia en el **Plano 2**.

Dado que la longitud de cada sección de pontona es de 15 metros, se han calculado todos los tramos comprendidos en este rango para determinar cual es el que tiene que soportar más peso. Es decir, se calcula el área comprendida entre los 0 y 15 metros de eslora, entre el 1 y 16, 2 y 17... y así sucesivamente hasta el último tramo que comprende los 105 y 120 metros. El área del trapecio se calcula mediante la fórmula:

$$A = y_m \cdot b + (y_M - y_m) \cdot \frac{b}{2}$$



SECCIÓN INICIAL	SECCIÓN FINAL	PESO (Toneladas)
0	15	518,029
1	16	556,451
2	17	578,864
3	18	597,865
4	19	607,575
5	20	619,652
6	21	636,670
7	22	653,862
8	23	660,962
9	24	685,358
10	25	714,279
11	26	736,482
12	27	766,725
13	28	787,781
14	29	799,927
15	30	811,620
16	31	854,287
17	32	927,476
18	33	1011,036
19	34	1097,485
20	35	1176,590
21	36	1249,152
22	37	1311,970
23	38	1369,741
24	39	1430,645
25	40	1453,301
26	41	1488,034
27	42	1515,876
28	43	1521,966
29	44	1529,657
30	45	1530,632
31	46	1525,237
32	47	1493,637
33	48	1448,464
34	49	1397,166
35	50	1347,155
36	51	1299,963
37	52	1259,280
38	53	1229,385
39	54	1194,896
40	55	1202,448
41	56	1186,926
42	57	1185,812
43	58	1201,021

44	59	1222,320
45	60	1245,602
46	61	1273,026
47	62	1306,158
48	63	1338,802
49	64	1358,918
50	65	1373,048
51	66	1381,922
52	67	1396,852
53	68	1407,571
54	69	1411,887
55	70	1414,358
56	71	1415,785
57	72	1402,629
58	73	1406,771
59	74	1407,502
60	75	1409,938
61	76	1390,449
62	77	1357,839
63	78	1317,852
64	79	1274,558
65	80	1241,809
66	81	1209,721
67	82	1171,439
68	83	1124,700
69	84	1077,752
70	85	1030,665
71	86	983,508
72	87	935,376
73	88	871,480
74	89	811,063
75	90	749,498
76	91	694,372
77	92	649,477
78	93	612,865
79	94	593,063
80	95	573,017
81	96	559,653
82	97	552,658
83	98	549,038
84	99	546,532
85	100	545,384



86	101	541,904
87	102	537,901
88	103	529,340
89	104	513,122
90	105	502,299
91	106	508,215
92	107	511,626
93	108	502,055
94	109	484,759
95	110	471,951
96	111	453,715
97	112	425,665
98	113	396,292
99	114	367,232
100	115	338,485
101	116	312,801
102	117	286,943
103	118	260,563
104	119	241,631
105	120	217,061

Tabla 1: Cálculo de la sección crítica

Una vez hecha la *Tabla 1* con los resultados, se puede afirmar que la sección crítica del dique se produce entre los 30 y 45 metros de eslora, desde popa.

El peso crítico que tiene que resistir la pontona es igual a 1530,6 toneladas.

3.2.2. ELEMENTOS QUE SE ALOJAN

Para poder realizar un estudio exhaustivo de la estructura se debe especificar los elementos de los que consta el dique.

El buque no descansa directamente sobre la pontona sino que consta de unos elementos de enlace sobre los cuales se apoya el buque. Este elemento se llama picadero y todo el conjunto forma la cama de varada. Debido a la importancia que tienen estos elementos se va a realizar el estudio estructural de un picadero y la distribución de todo el conjunto sobre el dique.

El dique está formado por un conjunto de secciones que componen la pontona y por los costados. Sobre cada costado se dispone de una grúa de 60 toneladas de peso.



Cada grúa es capaz de levantar 8 toneladas a una altura de 14 metros y 4 toneladas a 24 metros.



Imagen 21: Grúa pluma

El interior de los costados del dique está formado por espacio para lastre y por una zona intermedia entre los tanques de lastre y la cubierta. En este espacio va montado el conjunto de la maquinaria y sus elementos correspondientes como pueden ser bancadas de motores, válvulas, cuadros eléctricos, piezas de repuesto, etc. Además, también hay unas zonas destinadas a almacenar los pañosles. La distribución de esta franja de costado se muestra en la *Imagen 22*.

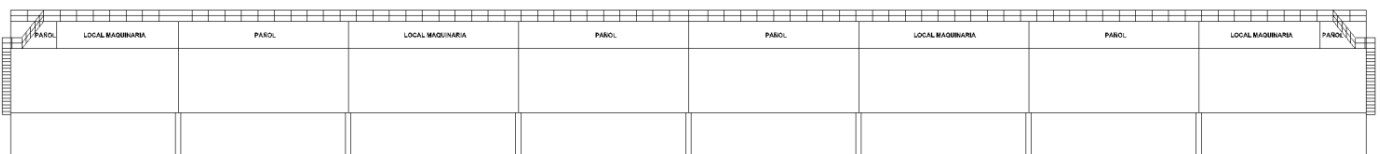


Imagen 22: Distribución de la zona de la entrecubierta



Encima del costado de estribor hay una pequeña caseta, dentro de la cual se encuentra la sala de control. En ella, hay todos los equipos y aparatos electrónicos necesarios para el gobierno y control de todos los servicios y sistemas del dique flotante.



3.3. ESTUDIO DE LOS PICADEROS

3.3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Los picaderos, como ya se ha dicho anteriormente, son un elemento muy importante en los diques ya que son los encargados de recibir el peso del buque y distribuirlo en la pontona.

Por lo tanto, se inicia el estudio estructural por estos elementos para poder conocer el peso que suponen en la pontona.

La cama de varada está formada por tres filas de picaderos, una fila central sobre la cual se apoya la quilla del buque y dos filas situadas en la línea de pantoque que proporcionan la estabilidad del buque.

Si la cama de varada fuese completamente rígida, se producirían fuertes concentraciones de reacción bajo los elementos resistentes del casco: especialmente durante el proceso de giro o pivotamiento del buque sobre uno de los apoyos extremos (generalmente el de popa) cuando el nivel de agua en el interior del dique alcanza un valor adecuado para que se equilibren los momentos del peso y del empuje respecto al centro de dicho apoyo. Por ello, a fin de suavizar la distribución de presiones sobre los picaderos que constituyen la cama de varada en un dique, los apoyos se disponen con una cierta elasticidad. Esto se consigue colocando un material apropiado en su parte superior, de manera que dicho elemento elástico quede interpuesto entre la base rígida del picadero y el fondo del buque

Base rígida: esta parte no entra en contacto con el buque. Puede ser fija o regulable. Los materiales utilizados suelen ser acero u hormigón.

Parte elástica: es la parte que se encuentra en contacto con el buque. Los materiales utilizados suelen ser madera o caucho.

La resistencia global de la estructura del buque no se pone en riesgo durante la varada ya que son operaciones más bien estáticas y muy controladas. Además esta operación se lleva a cabo en zonas con ausencia de olas y el buque se encuentra soportado por una gran parte de su eslora, zona en contacto con los picaderos. A pesar de que el buque quede soportado por muchos picaderos, estos deben estar bien situados, bajo elementos rígidos del fondo del buque. En caso contrario se podrían producir deformaciones locales en la estructura local de fondo.



En los astilleros de reparaciones, la cama de varada se diseña con el fin de tener que realizar las mínimas modificaciones de los picaderos, es decir, que puedan varar muchos buques con la misma disposición de picaderos. No obstante, antes de la entrada de cada buque se evita al máximo que la zona en contacto con el buque pueda coincidir con tapones del fondo u otras zonas de acceso situadas en el fondo.

En definitiva, la cama de varada debe ser estándar y funcionar para la mayoría de casos de varada. Todo y eso, existen algunos casos en los que se ve la necesidad de adaptarla al buque en particular:

El buque a varar tiene concentración de pesos en alguno de los extremos.

Se teme que se produzcan pequeñas deformaciones en la estructura de fondo del buque.

La zona a reparar del buque coincide con el área de apoyo en el dique.

En este proyecto se ha diseñado la cama de varada (**Plano 3**) considerando que las dimensiones del buque a varar son las extremas, es decir, que tiene una eslora de 120 m, una manga de 22 m y un desplazamiento de 7.000 toneladas.

3.3.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO

Para realizar el estudio de los picaderos se utiliza el programa RamSeries 12. Se ha optado por un estudio de sólido en 3D ya que es el más próximo a la realidad y el diseño no es excesivamente complicado.

3.3.3. GEOMETRÍA

Los picaderos que componen la cama de varada pueden ser de distintas geometrías. Habitualmente los picaderos se distribuyen en 3 hileras a lo largo de la eslora del dique. Los picaderos de la hilera central tienen una geometría bastante fija, mientras que los picaderos laterales suelen disponer de una geometría basculante para adaptarse a las formas del buque.

Una de las geometrías utilizadas en los picaderos laterales es la que se muestra en la *Imagen 23*.

Consta de dos elementos deslizantes que permiten adaptar la altura del picadero. No obstante, este tipo de geometría se ha desestimado porque las cuñas son de

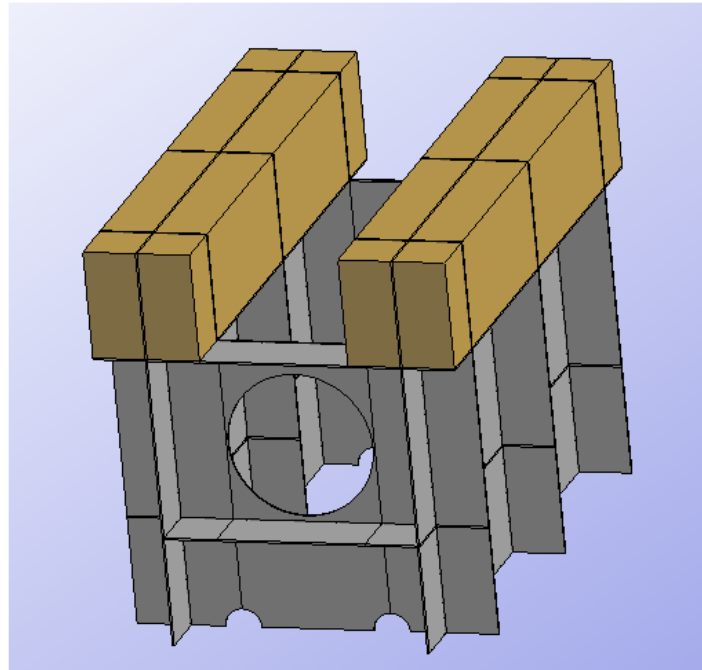


Imagen 23: Picadero regulable



hormigón y se montan en los diques secos. Además, el dique flotante que se visitó, *Andalucía*, disponía de la misma geometría en todos los picaderos y se decidió diseñarlos de esta forma.

El picadero diseñado está compuesto por una parte elástica que está formada por madera de pino y la base rígida, de acero A-37. Se trata de un picadero fijo. A pesar de ser fijo, cuando se prepara la cama de varada, se disponen las maderas con el tamaño necesario respetando las formas del buque.



El picadero consta de unos aligeramientos con la finalidad de disminuir el peso y a su vez permiten el desalojo del agua existente en el interior una vez se ha elevado el dique. A parte de las chapas verticales de acero, también se diseñan dos tipos de chapas horizontales. Las transversales sirven para distribuir los esfuerzos de la parte elástica a la parte rígida. Las chapas longitudinales sirven para reforzar la chapa aligerada y para evitar que se produzcan abolladuras.

Para realizar un primer cálculo se estima que el espesor de las planchas de acero es de 5 mm y que la altura de la zona elástica es de 30cm.

3.3.4. CARGAS APLICADAS

Teniendo en cuenta que la geometría es la misma para todos los picaderos, se estudia un picadero de la hilera central ya que éstos son los que reciben más peso del buque.

Para calcular la fuerza que ejerce el buque sobre un picadero central se deben conocer los siguientes datos:



Se estima que la hilera central de picaderos soporta $\frac{1}{3}$ del peso total del buque y, por consiguiente, cada hilera de la zona de pantoque soporta también $\frac{1}{3}$ del peso. Esta estimación es aceptable ya que se trabaja con buques mercantes, los cuáles se caracterizan por tener el casco en forma de "U".

El peso crítico que ejerce el buque en un tramo de 15 metros es de 1530,6 toneladas.

La distancia entre picaderos es de 0.9 metros así que en cada sección de 15 metros hay 8 picaderos.

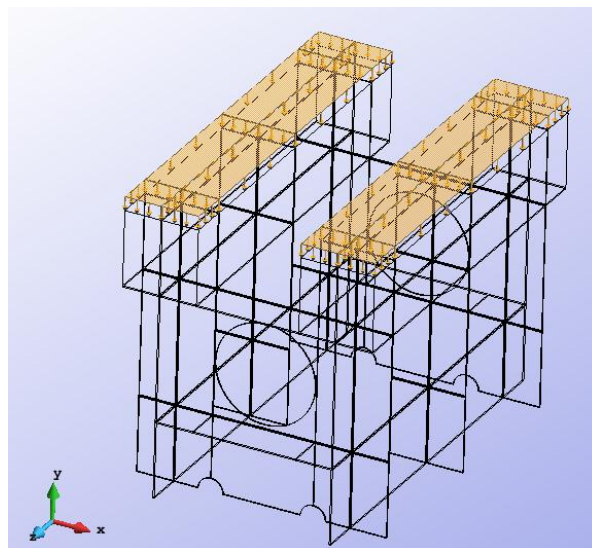
El buque se apoya sobre las superficies superiores de la madera, cuya área es de 0.4365 m^2 .

De esta manera la fuerza que ejerce el buque en la hilera de picaderos de crujía es:

$$P = \frac{1530,6 \text{ ton} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2}{3} = 5005062 \text{ N}$$

Si dividimos esta presión entre los 8 picaderos podemos conocer los Newtons que se aplican a cada uno de ellos. Sin embargo, la fuerza se ejerce en todo el área de los bloques de madera.

$$P = \frac{5005062 \text{ N}}{8 \cdot 0.88 \text{ m}^2} = 710946.30 \text{ Pa}$$





3.3.5. MATERIALES

Tradicionalmente el elemento más utilizado como parte elástica de los picaderos era la madera ya que la otra alternativa, el caucho, no se consideraba un material adecuado por varias razones: debido a las fuertes presiones que se ejercían sobre estos elementos, la agresividad ambiente de un dique causada por agentes disolventes, pinturas etc. y el mayor coste. Con el paso del tiempo, se solucionaron estos problemas y el caucho pasó a ser una buena opción como elemento elástico.

En muchos astilleros de reparaciones se emplean maderas duras como Ukola u Okume dispuestas al hilo, es decir, con las fibras horizontales. El problema de estas espías es que no se encuentran fácilmente en nuestra región. Por lo tanto, se utiliza Iroko o Elondo.

En este proyecto se ha decidido utilizar los picaderos cuya parte elástica sea madera por la siguiente razón:

Como ya se ha explicado, a veces, no se puede evitar que la superficie de los picaderos en contacto con el buque cubra elementos del fondo, como pueden ser tapones. Cuando esto ocurre con picaderos contruidos con madera, se hace un orificio en ésta y se soluciona el problema.

Existe otra alternativa para evitar este problema y poder utilizar caucho. Se trata de un bloque de caucho cuyo interior esta relleno de arena. Este bloque dispone de un orificio que permite, en caso necesario, destaparlo y vaciar la arena, disminuyendo así la altura y dejando libre el tapón del buque. Este método también es efectivo pero se ha descartado por el mayor coste que supone.

Finalmente se ha escogido **madera pino amarillo del Sur**, dispuesta al hilo. Esta madera procede del sureste de Estados Unidos. Se puede decir que es una madera relativamente dura ya que tiene una buena resistencia a los golpes y abolladuras. Estas propiedades son debidas al tratamiento de secado realizado en hornos, hecho que incrementa sus propiedades mecánicas. Sus especificaciones técnicas son las siguientes:

Denominación científica: Pinus taeda L

Descripción de la madera

Albura: Blanco amarillenta

Duramen: Marrón rojizo

Fibra: Derecha

Grano: Medio



Propiedades mecánicas:

Modulo de Young (E)	1.6 GPa
Módulo elástico transversal (G)	1.2GPa
Coefficiente de Poisson (ν)	0.375
Peso específico	4905 N/m^3
Tensión máxima	85 N/m^2

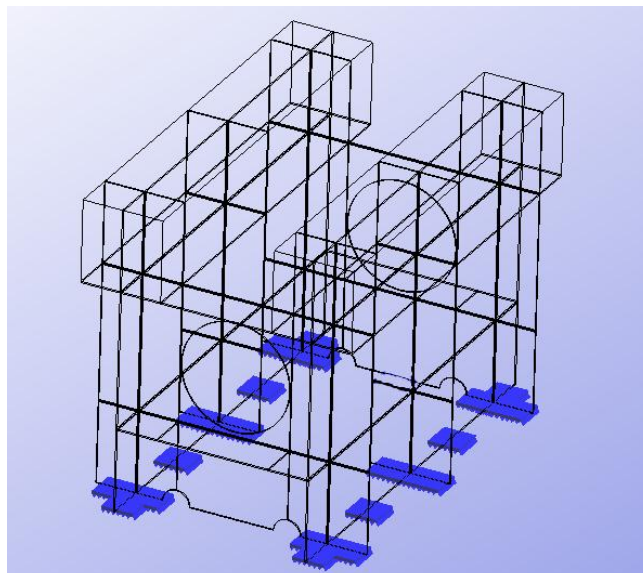
El material escogido para la parte rígida es **acero A42** cuyas propiedades mecánicas son las siguientes:

Modulo de Young (E)	2.1e11 N/m^2
Módulo elástico transversal (G)	8.1e10 N/m^2
Coefficiente de Poisson (ν)	0.3
Peso específico	76900 N/m^3
Tensión máxima	254.83e6 N/m^2

3.3.6. CONDICIONES DE CONTORNO

Los picaderos se fijan sobre la pontona por medio de unas chapas de acero A42. La parte inferior del picadero va soldada a una lámina, y ésta va anclada a la superficie de la pontona. El objetivo de su montaje es distribuir las reacciones del picadero uniformemente sobre la cubierta de la pontona.

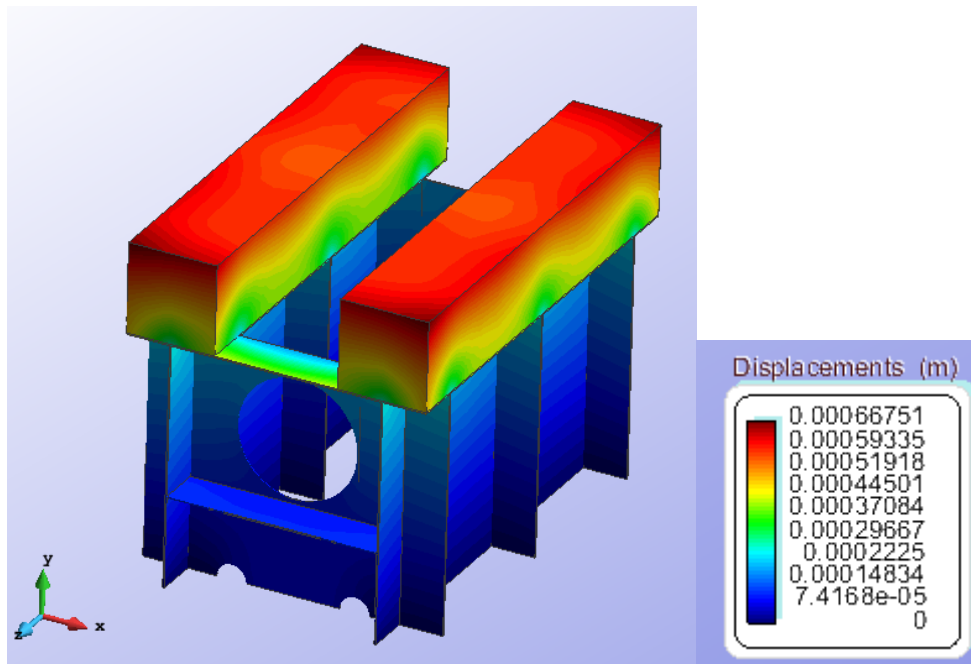
Por lo tanto se restringen los desplazamientos y giros en todos los ejes en las superficies de fondo.



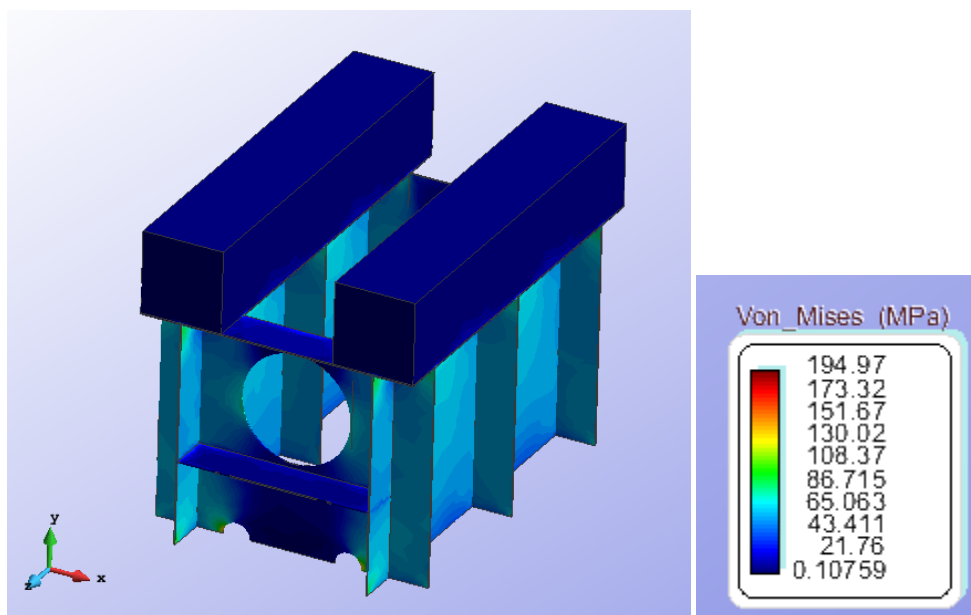


3.3.7. RESULTADOS

DESPLAZAMIENTOS



TENSIONES DE VON MISES





3.3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los desplazamientos máximos se dan en los bloques de madera ya que son lo que están en contacto con el peso del buque. A pesar del gran peso que deben soportar, las deformaciones son de 0.66mm, es decir, insignificantes y no se aprecian ni a simple vista.

En cambio, las tensiones máximas se producen en la estructura de acero debido al poco espesor. A pesar de eso, las tensiones son admisibles ya que no superan el límite del material.

De esta manera, el diseño preliminar de los picaderos se considera válido.



3.4. ESTUDIO DEL DIQUE FLOTANTE EN 3D

Para conocer si un buque puede ser varado en un dique flotante se deben comprobar varios aspectos fundamentales:

1. Las dimensiones del buque respecto las del dique, es decir que permita la entrada del buque.
2. La capacidad de ascensión del dique debe ser igual o superior al desplazamiento del buque en el momento de varada.
3. La resistencia de la estructura del dique debe soportar los esfuerzos del buque.

Por lo tanto, para realizar el diseño del dique se partirá de la condición crítica a la que es sometido el dique; el momento que se encuentra el buque sobre la cama de varada y puesto en seco, preparado para realizar las reparaciones necesarias. A partir de esta condición, se diseña toda la estructura optimizándola al máximo.

No obstante, una vez diseñado, se deberá corroborar que el dique soporte las presiones hidrostáticas a las que se encuentra sometido con su máximo calado.

El modelo de cálculo que se va a utilizar es el modelo de barras y láminas en 3D. A pesar de haber podido estudiar una sección en 2D y que permitiera una rápida modificación de los perfiles, se ha preferido aumentar la complejidad del cálculo para aproximarse más a la realidad ya que para poder analizar los cálculos en 2D requería aplicar unas restricciones que distorsionaban los resultados.

El estudio estructural del dique se va a centrar en el diseño de una sección de 15m, formada por la pontona y el costado. Se estudiará el costado y la pontona como si formasen un dique del tipo "Sectional Dock" para poder hacer el cálculo del modelo conjunto y no tener que dividir el problema en 2 partes. Dado que el dique es simétrico respecto el eje de crujía se puede simplificar el problema al estudio de media sección aplicando una serie de restricciones.

3.4.1. CARGAS APLICADAS

En este primer estudio la carga primordial es la del buque. Ya que el estudio se realiza para varar un buque con el mismo desplazamiento que la fuerza ascensional del dique se considera que los tanques de agua están vacíos. Esto no es totalmente cierto, ya que siempre queda agua residual en los tanques, no obstante la carga se considera insignificante y se puede despreciar.



También se tienen que tener en cuenta las cargas de las grúas que pueda haber, del peso de la misma estructura y de las presiones hidrostáticas. A todas las cargas se les aplicará un factor de seguridad de 1,5 que viene determinado por la sociedad de clasificación ABS.

PESO DEL BUQUE

El peso en la sección crítica es de 1530,6 toneladas. Por lo tanto la fuerza que ejerce en toda la sección será:

$$Fuerza = 1530,6 \text{ ton} \cdot 1.000 \frac{\text{kg}}{1 \text{ ton}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 15.015.186 \text{ N}$$

Esta fuerza se distribuye sobre las 3 hileras de picaderos. Cada hilera está formada por 8 picaderos con una separación longitudinal de 0.9 m. La separación entre cada hilera es de 4 metros, coincidiendo con los mamparos. Cada picadero se apoya en dos cuadernas del dique.

La carga se aplicará como una carga repartida aplicada conociendo que las dimensiones del picadero son de 1.465x1m.

$$\begin{aligned} \text{Picadero central} &= \frac{15.015.186 \text{ N}}{8 \text{ picaderos}} = 1.876.898,25 \Rightarrow \frac{1.876.898,25 \text{ N}}{3 \cdot 1,465 \cdot 1 \text{ m}^2} \\ &= 42.7053,07 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Por otro lado se debe tener en cuenta el peso de los picaderos.

$$\text{Peso picaderos} = \frac{350 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1,465 \cdot 1 \text{ m}^2} = 2.343,68 \text{ Pa}$$

PESO DE LA GRÚA

La grúa de la cual dispone el dique pesa 60 toneladas y es capaz de elevar 8 toneladas. La longitud de la grúa es de 7,5 metros. La grúa se encuentra apoyada sobre unas guías que permiten su desplazamiento a lo largo de la eslora del dique, por ello se considera como una carga repartida sobre una barra.

$$Fuerza \text{ grúa} = \frac{(60+8) \text{ ton} \cdot 1.000 \frac{\text{kg}}{1 \text{ ton}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{7,5 \text{ m} \cdot 2} = 4.4472 \text{ N/m}$$



PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN EL FONDO

El calado del dique cuando se encuentra el buque varado es de 3,7 m. Por lo tanto el fondo del dique está sometido a una presión hidrostática:

$$\begin{aligned} \text{Presión hidrostática del fondo} &= \rho \cdot g \cdot h = 1.025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3,7 \text{ m} \\ &= 37.204,425 \text{ Pa} \end{aligned}$$

PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN EL COSTADO

La presión hidrostática actúa perpendicularmente a la superficie del sólido, que en este caso es el costado exterior del dique. Por lo tanto las presiones se aplicarán en el eje X.

El calado del dique sigue siendo de 3,7 m y la distribución de las presiones es triangular, es decir, la presión a 3,7 metros será 0 Pa y la presión en el extremo inferior será igual a la presión del fondo, 37204,425 Pa.

PRESIÓN SOBRE CUBIERTA

Sobre la cubierta del costado de estribor del dique se encuentra la caseta de control, cuya longitud es de 9,5 metros. Tal y como ya se ha dicho anteriormente, al realizar el estudio de una única sección se debe suponer que actúen simultáneamente todas las posibles cargas.

Para tener en cuenta esta sala de control se ha estimado que el peso total de todos los elementos que se alojan en su interior suma 2.500 kg.

Además a la maquinaria existente se suma el personal que se encuentre trabajando sobre la cubierta o en la caseta de control. Considerando que el peso medio de una persona es de 90kg y que pueden encontrarse 6 personas sobre una sección de 15 metros el peso es de:

$$\text{Peso del personal} = 6 \text{ personas} \cdot 90 \text{ kg} = 540 \text{ kg}$$

De esta manera la carga de presión aplicada a la superficie de cubierta será:

$$\text{Presión cubierta} = \frac{(540 + 2.500) \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{15 \cdot 3 \text{ m}^2} = 662,72 \text{ Pa}$$



PRESIÓN EN LA ENTRECUBIERTA

A parte de las fuerzas que actúan sobre el exterior del dique, también existen unas internas producidas por los propios elementos que se alojan en su interior. En el espacio bajo la cubierta del costado, se dispone maquinaria como válvulas, cuadros eléctricos entre otros. Estos elementos van apoyados en las planchas de la entrecubierta y producen una presión que se debe tener en cuenta.

Analizando la maquinaria básica e imprescindible que se aloja en la entrecubierta se ha estimado que en una sección de 15 metros hay una carga equivalente a 1.000 Kg. De esta manera la carga de presión aplicada a la superficie de cubierta será:

$$Presión\ entrecubierta = \frac{1.000\ kg \cdot 9,81\ m/s^2}{15 \cdot 3\ m^2} = 218\ Pa$$

PRESIÓN BOMBA CENTRÍFUGA

Otra carga interna a tener en cuenta es la bomba centrífuga de achique junto a su colector principal. Como se explicará en el apartado de servicios, se dispone de un colector principal que discurre por la parte más inferior del costado y que ocupa casi toda la sección de 15 metros. A un extremo de este conducto, va instalada la bomba centrífuga.

Teniendo en cuenta el tipo de bomba y el dimensionamiento del colector principal se puede aproximar su peso, y por tanto, conocer la presión que ejerce sobre los refuerzos de fondo. El conjunto bomba-colector puede llegar a pesar 1 tonelada y se aplica sobre una superficie de 1,5 metros por los 15 metros de sección del dique.

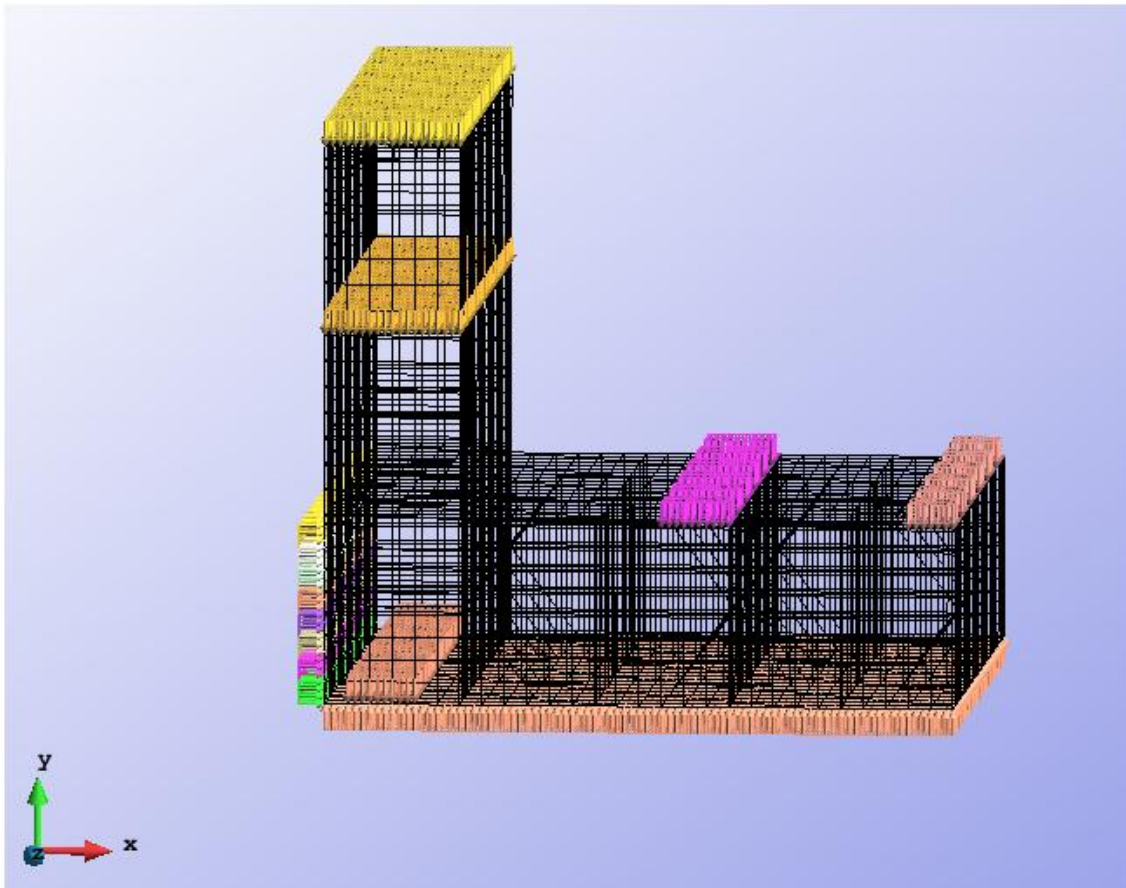
$$Presión\ bomba = \frac{1.000\ kg \cdot 9,81\ m/s^2}{15 \cdot 1,5\ m^2} = 436\ Pa$$

PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA

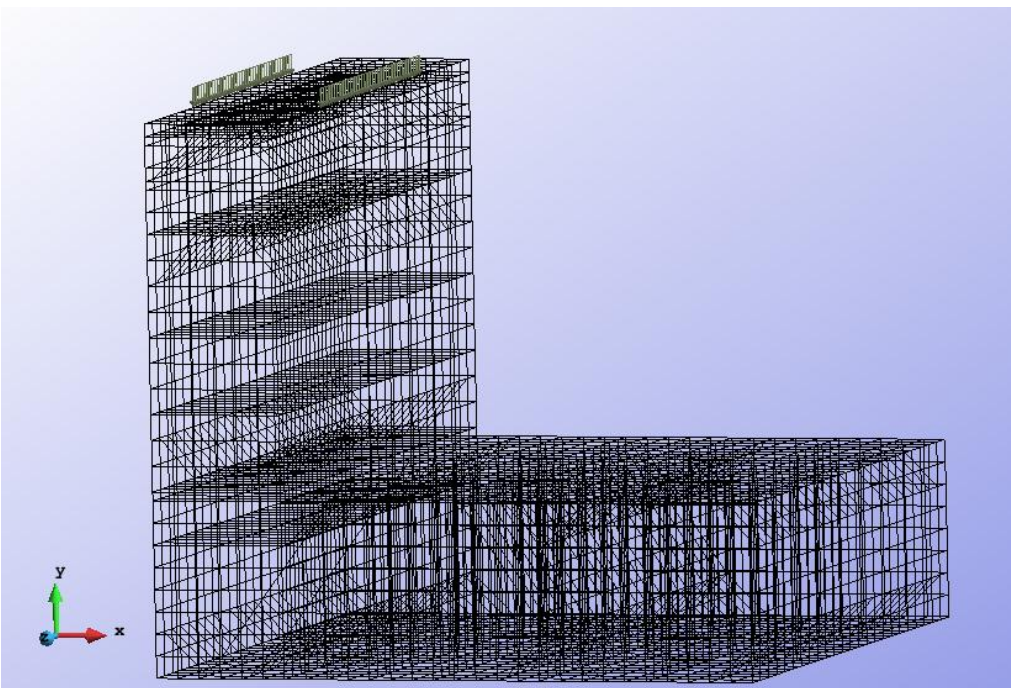
Por último, se debe considerar el peso propio de todos los refuerzos y planchas.



PRESIONES



FUERZAS





3.4.2. CONDICIONES DE CONTORNO

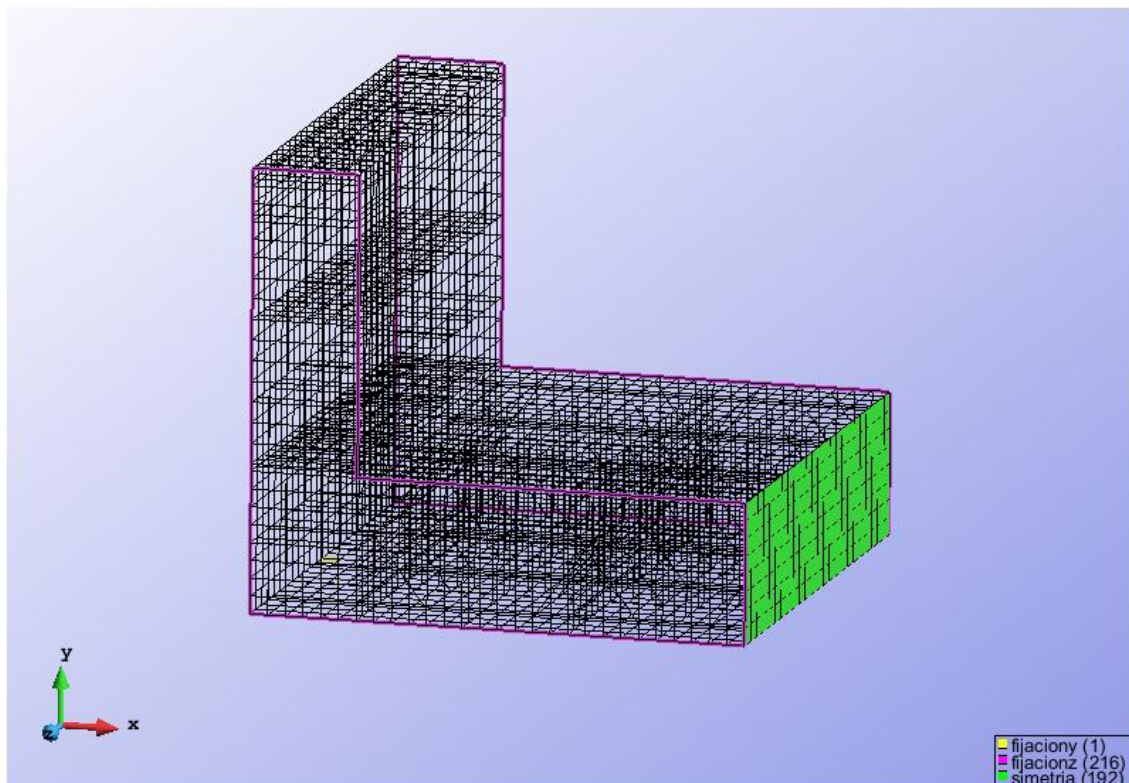
Para aplicar las restricciones en el modelo se deben tener en cuenta sus ejes de referencia globales. Tal y como se observa en la imagen, el eje Z se dispone en la dirección de la eslora, coincidiendo el plano YZ con el de crujía, mientras que el XY es el plano de fondo.

Para poder realizar el cálculo de media sección se debe aplicar restricción de simetría en toda la superficie de crujía. Esto implica restringir el desplazamiento en los ejes X y Z y el giro en el eje Y.

Se estudia una única sección de 15 metros, la sección crítica. Tal y como se ha calculado anteriormente, esta sección se encuentra unida a otras dos secciones, por lo tanto se debe restringir el movimiento en el eje z alrededor de todo el perímetro de los extremos de estos 15 metros, es decir, el perímetro de las dos secciones exteriores.

Finalmente, para obtener unos resultados coherentes, se aplica una restricción en una pequeña línea del fondo que impide el desplazamiento en el eje y. Esta condición de contorno es necesaria para restringir el movimiento del conjunto del dique y permitir poder calcular el modelo con el software *RamSeries*.

FIJACIONES





3.4.3. PERFILES DE LOS REFUERZOS

El predimensionamiento de vigas es el procedimiento previo al cálculo de dimensionado que es necesario llevar a cabo en estructuras hiperestáticas antes de poder calcular con precisión los esfuerzos sobre las mismas. Con el predimensionado se establecen unas dimensiones orientativas de las secciones transversales de vigas que sirven de base para un cálculo de comprobación y reajuste de las dimensiones definitivas de las secciones.

La teoría de vigas es una parte de la resistencia de materiales que permite el cálculo de esfuerzos y deformaciones en vigas. Si bien las vigas reales son sólidos deformables, en teoría de vigas se hacen ciertas simplificaciones gracias a las que se pueden calcular aproximadamente las tensiones, desplazamientos y esfuerzos en las vigas como si fueran elementos unidimensionales. Los supuestos básicos de la teoría de vigas para la flexión simple de una viga que flexe en el plano XY son:

- 1. Hipótesis de comportamiento elástico.** El material de la viga es elástico lineal, con módulo de Young E y coeficiente de Poisson despreciable.
- 2. Hipótesis de Bernoulli.** Las secciones planas inicialmente perpendiculares al eje de la viga, siguen siendo perpendiculares al eje de la viga una vez curvado.

El acero posee una resistencia tal que responde en forma similar en los dos ejes, tanto longitudinal como transversal. Cuanto mayor sea su momento de inercia, mayor será el momento flector que absorban, requiriendo una menor cantidad de acero para soportar eficazmente los esfuerzos.

El material utilizado en los perfiles es el acero A-42 y las propiedades técnicas de los perfiles utilizados se muestran en el **Anexo 4**.

3.4.4. DISEÑO PRELIMINAR

Para poder a empezar a hacer el estudio de la estructura, se ha de estimar un dimensionamiento inicial de ésta. Luego, en base a los resultados, se irán modificando diferentes aspectos como pueden ser la geometría, las secciones, los perfiles de los refuerzos y los espesores de las chapas.



3.4.4.1. Estructura 1

La geometría es el aspecto más crítico en el diseño de cualquier estructura. A partir de ella se dimensionan los perfiles y los espesores. Antes de pensar la disposición de la geometría se tienen que conocer las fuerzas aplicadas y sus puntos de aplicación.

Para escoger la geometría preliminar se ha tenido en cuenta que la pontona será la zona más crítica y que en la zona de la quilla haya un mamparo estanco y reforzado. También se ha dispuesto de 2 mamparos longitudinales, uno en la prolongación del costado sobre la pontona y el otro en la separación del tanque central y lateral, también reforzados.

Al ser del tipo Rennie, se tiene que reforzar también la zona de unión entre el costado y la pontona. En la zona de unión se disponen de unas pletinas que van soldadas a los refuerzos de las estructura. Estos elementos de acero tienen forma de escuadra y recorren toda la eslora del dique. En su geometría están diseñados unos orificios por los cuáles se permite el paso de pernos, los elementos de unión. En la *Imagen 24* se puede apreciar su disposición.

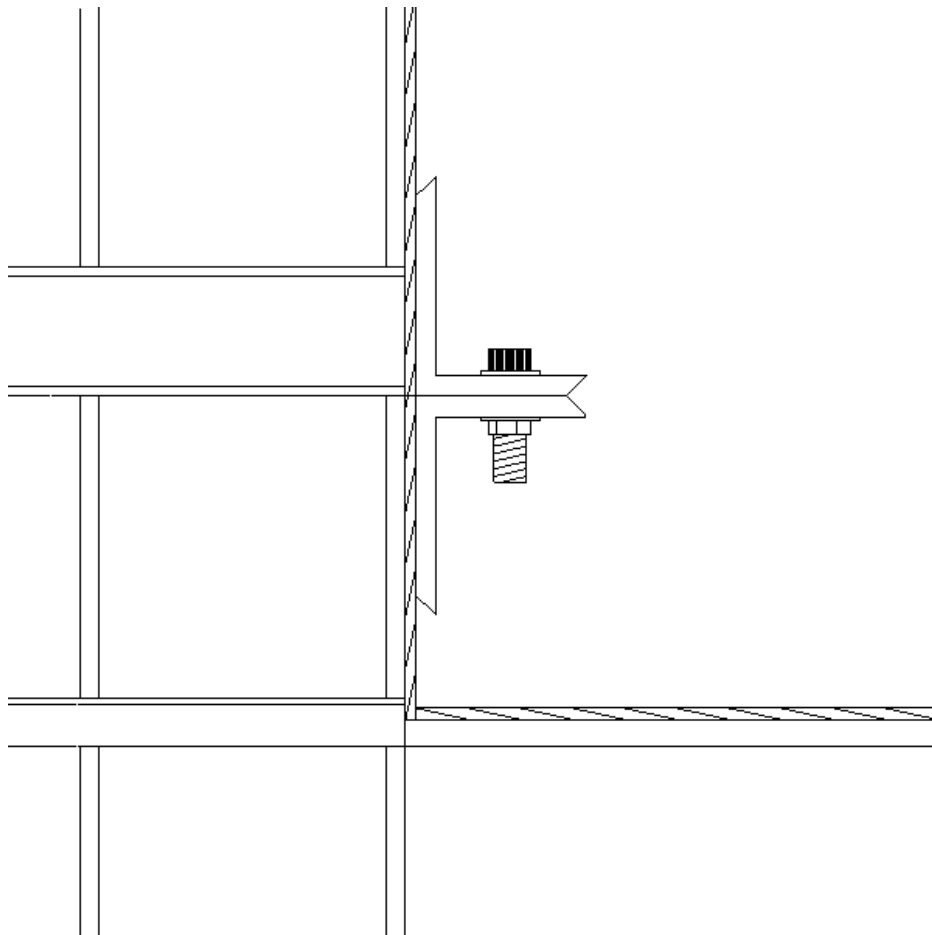


Imagen 24: Esquema de la unión pontona-costado

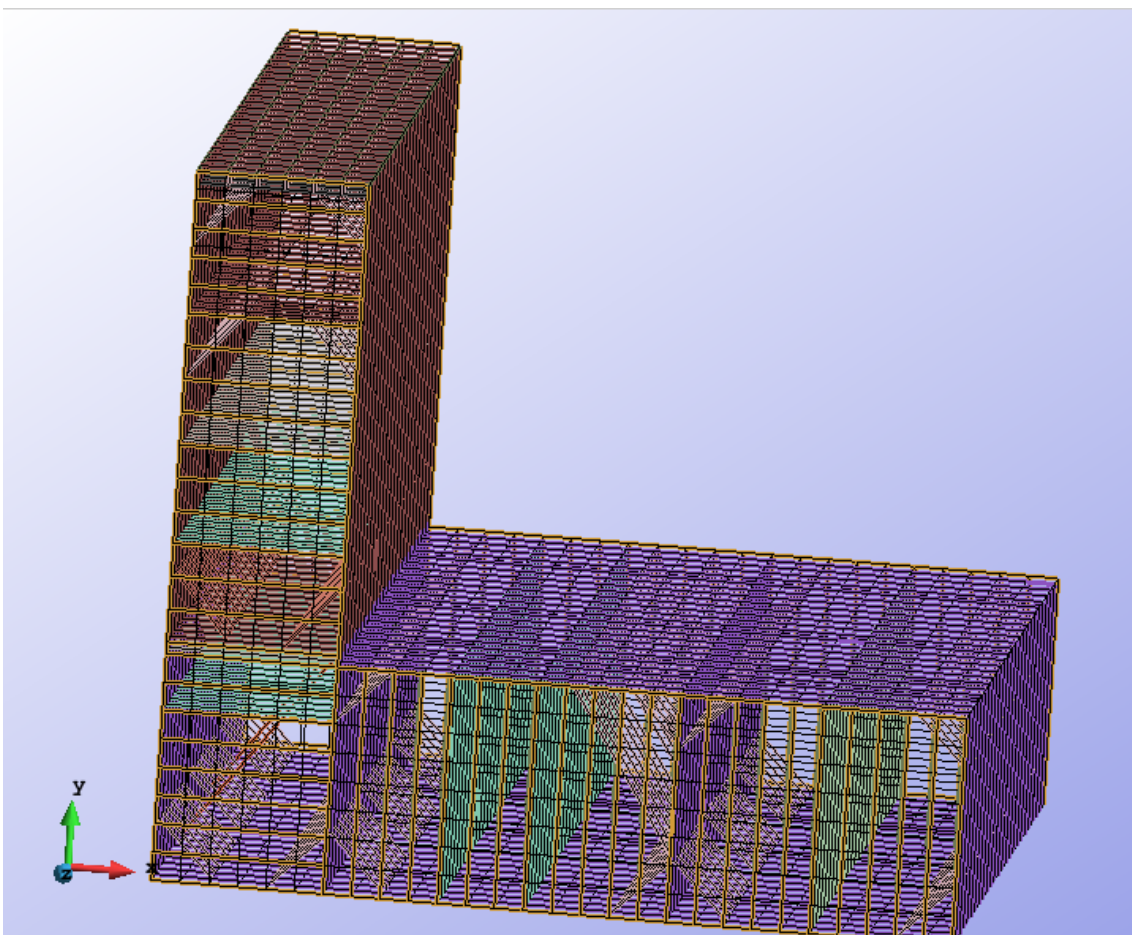


El peso del buque se transmite a los picaderos y estos tienen un margen de colocación dependiendo de las formas y tipo de buque, por lo tanto, se habrá que reforzar estas zonas. Lo ideal es hacer coincidir los mamparos longitudinales con la situación de los picaderos, pero como su situación varia, se ha creído conveniente reforzar las zonas adyacentes a los mamparos mediante diagonales.

Se estima que la acción de la carga aplicada a una sección de dique produzca una deformación en la cual la parte alta de los costados se inclinen hacia dentro y la parte central de la pontona tenga mucha flexión. Debido a esto se ha escogido diseñar una estructura transversal y que la distancia entre cuadernas sea de 0,625 metros.

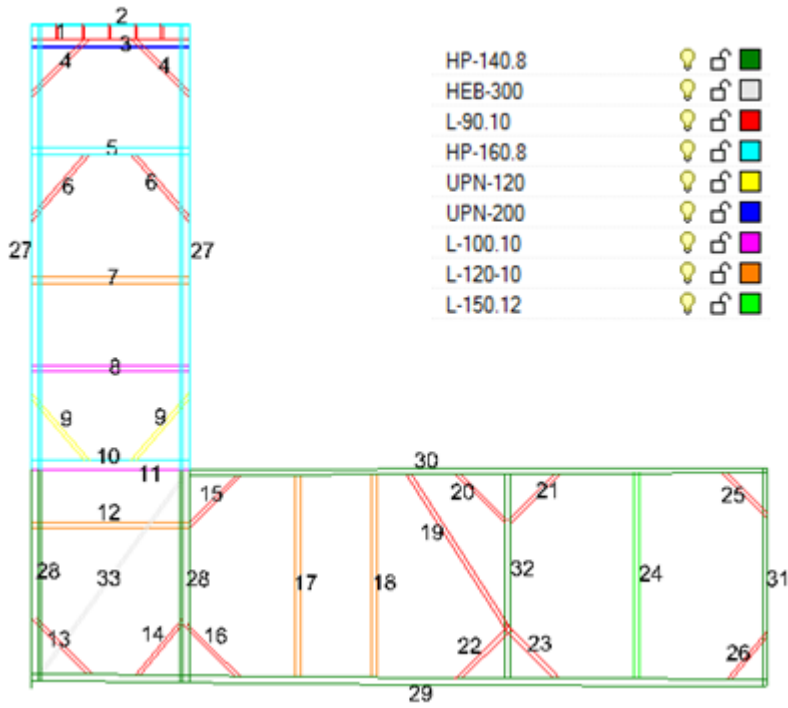
A continuación se puede apreciar el diseño preliminar.

SECCIÓN 3D

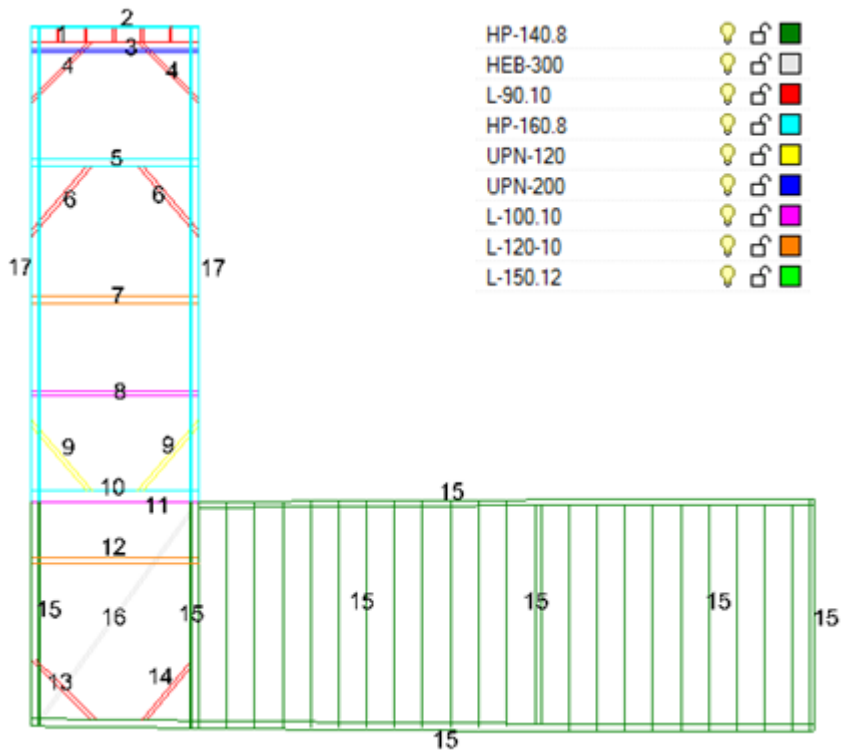




SECCIÓN A

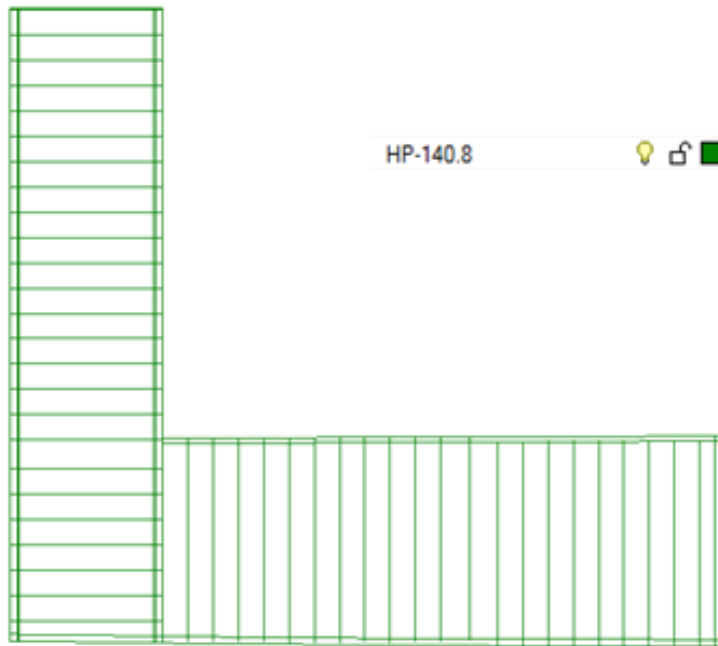


SECCIÓN B





SECCIÓN C



INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Una vez diseñada la primera estructura del diseño preliminar, es momento de analizar su comportamiento frente a las cargas aplicadas.

Como era de esperar en un cálculo preliminar, los resultados indican que la estructura no es resistente y además, está lejos de soportar las tensiones permitidas del acero.

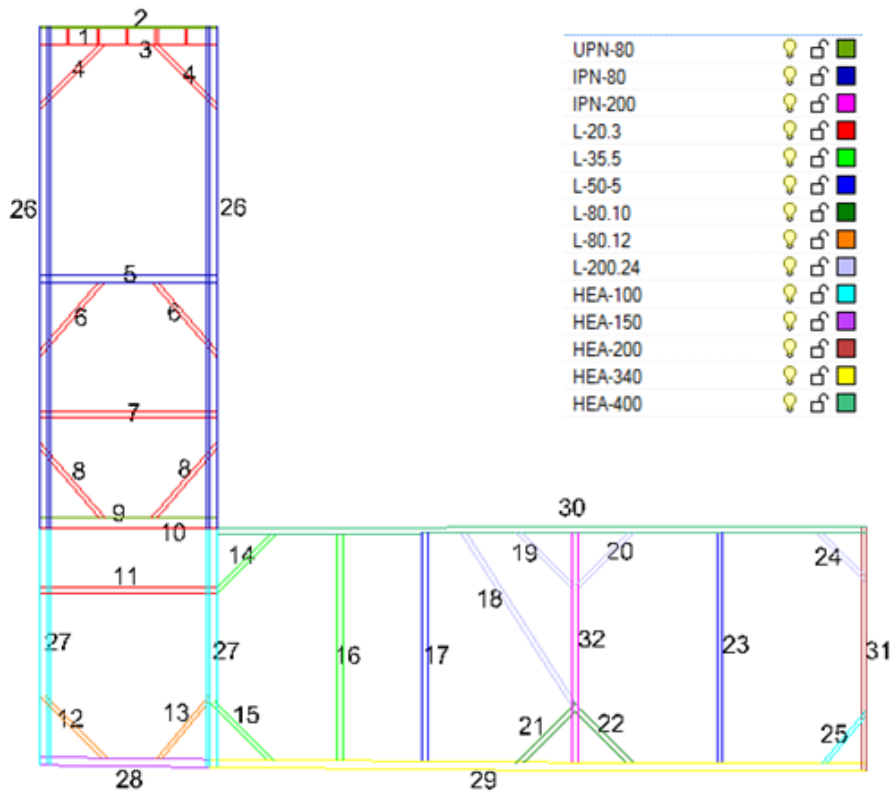
Llegados a este punto, el objetivo es ir avanzando en la espiral de diseño para conseguir obtener una estructura resistente. En el proceso de mejora se deberán modificar, prescindir o añadir refuerzos y hacer cambios en la geometría. Los resultados, análisis y modificaciones del diseño preliminar se citan con más detalle en el **Anexo 1**.

Seguidamente se expone la estructura mejorada del diseño preliminar a la cuál se ha llegado corrigiendo errores y evolucionando en la espiral de diseño.

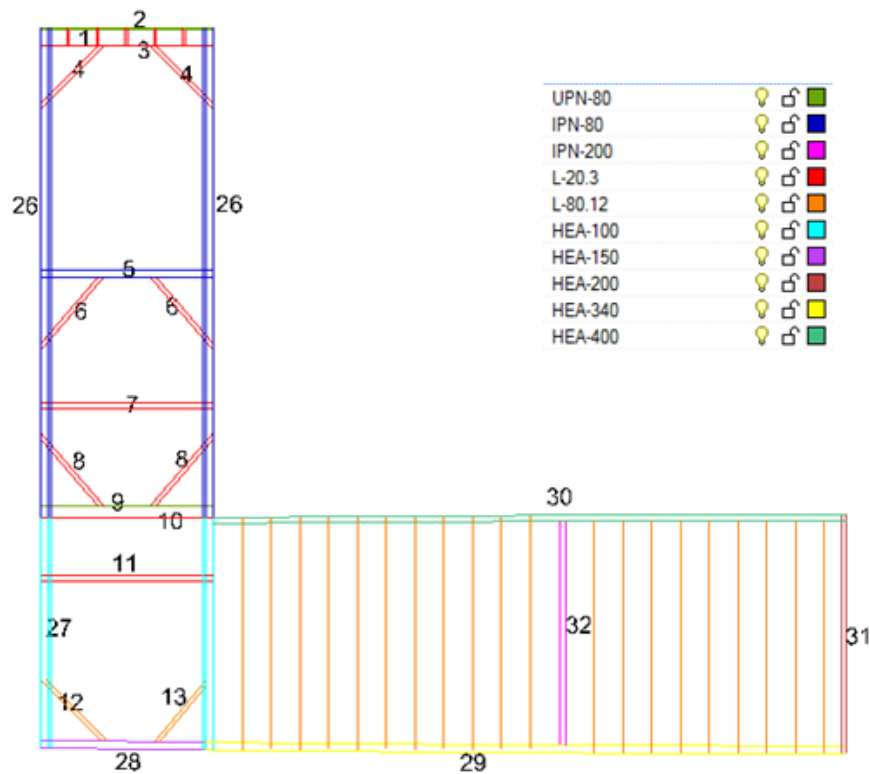


3.4.4.2. Estructura 2

SECCIÓN A

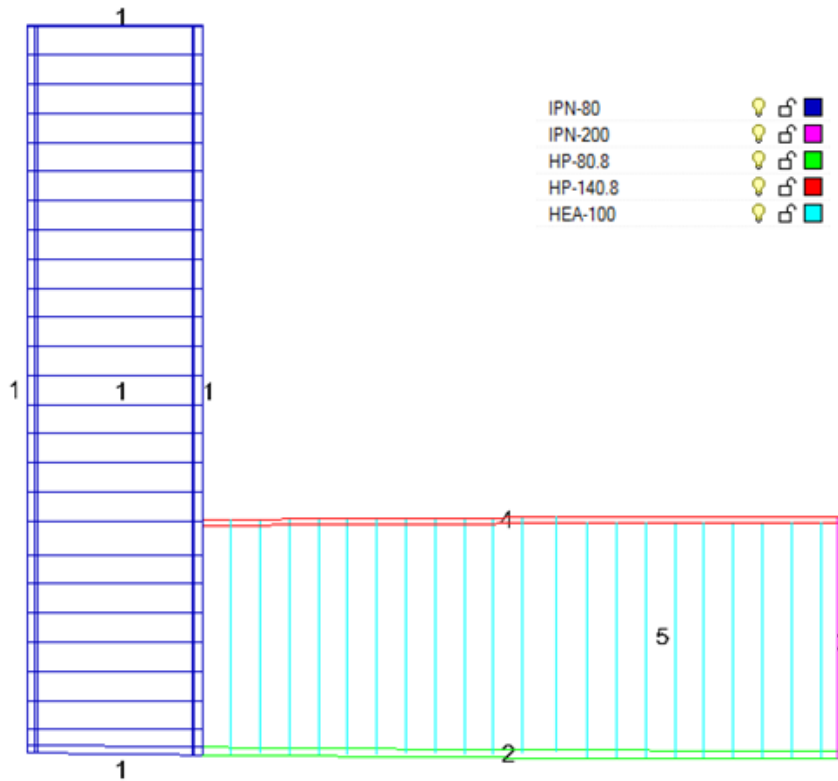


SECCIÓN B





SECCIÓN C



INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de esta segunda estructura son más optimistas y válidos que los anteriores. El gran avance es que el diseño preliminar modificado ya es capaz de resistir las cargas del buque, de la maquinaria y los distintos elementos alojados.

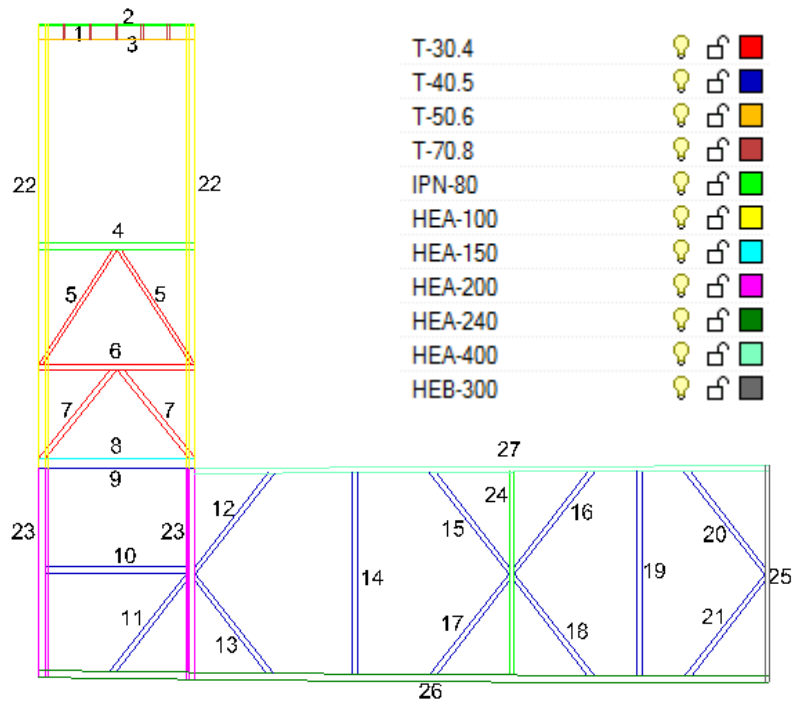
El estudio detallado de este modelo se realiza en el **Anexo 2**. En él, se justifica que hay un sobredimensionamiento general de los refuerzos y que la geometría de los refuerzos no es la adecuada porque producen tensiones puntuales en las planchas.

Por lo tanto, el siguiente proceso iterativo es hacer una modificación de la estructura teniendo en cuenta que los extremos de los refuerzos coincidan en un mismo nodo y así evitar la abolladura de las planchas. Además, se podrá prescindir de algunos refuerzos diagonales para optimizar el peso de la estructura.

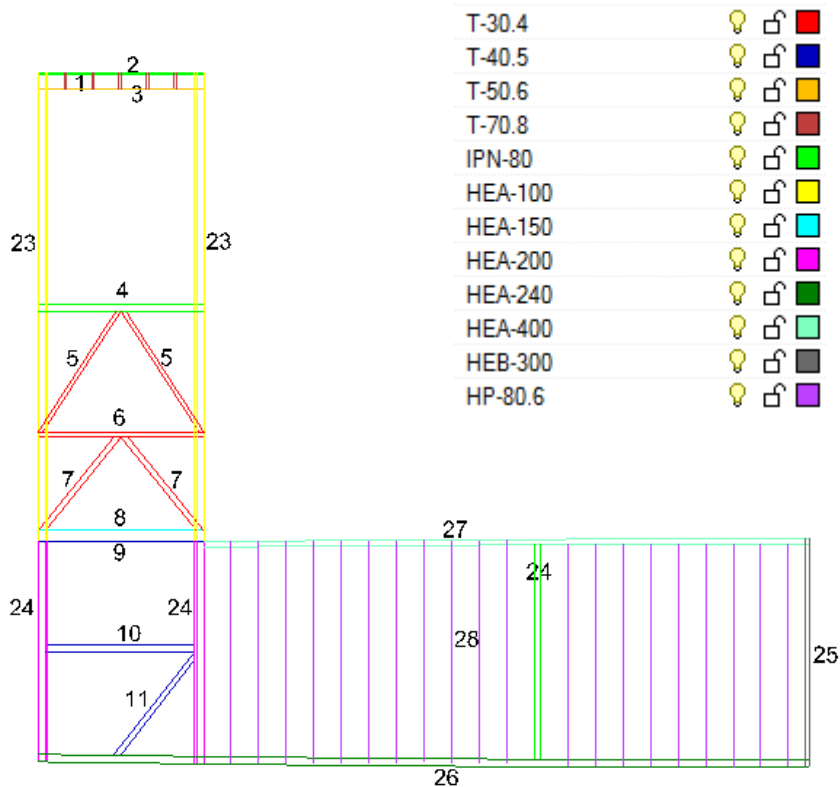


3.4.4.3. Estructura 3

SECCIÓN A

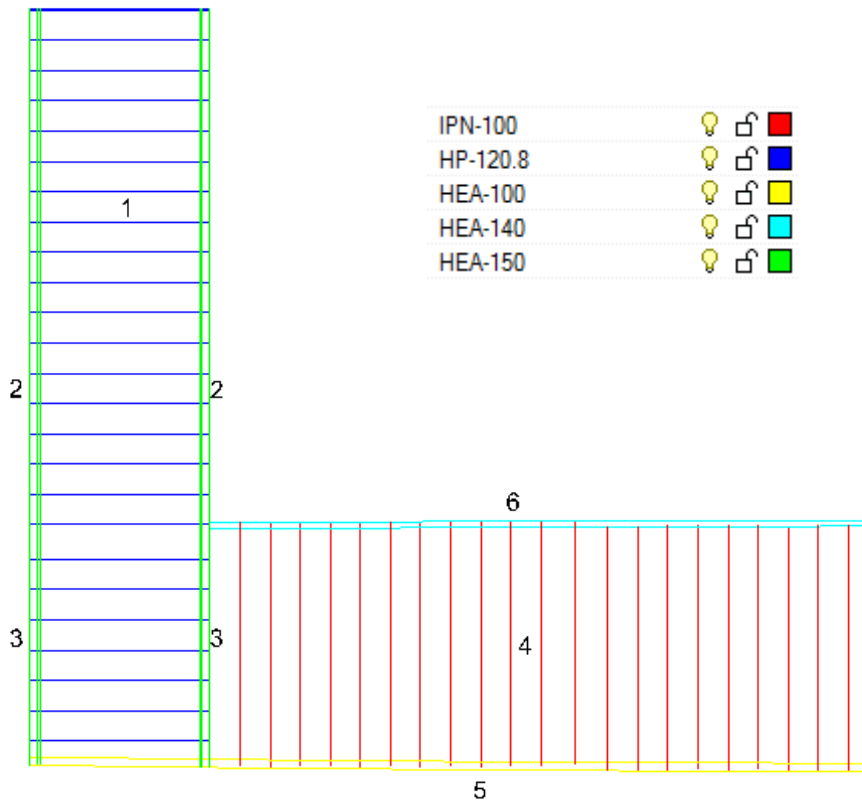


SECCIÓN B





SECCIÓN C



INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Llegado a este punto de la iteración, los resultados obtenidos son válidos ya que todo el conjunto de la estructura soporta las cargas aplicadas. A pesar de ello, es necesario optimizar la estructura. En caso contrario, la estructura dispondría de refuerzos sin ninguna función estructural que proporcionarían un peso y un coste innecesario al dique.

Los resultados obtenidos con esta geometría se pueden observar en el **Anexo 3**.

Por lo tanto, el siguiente proceso ya es el redimensionamiento de la estructura en el cual se realizan las últimas correcciones que consisten en eliminar los refuerzos sin funcionalidad estructural y modificar los perfiles.



3.4.5. RE-DIMENSIONAMIENTO

A partir de la estructura anterior se hacen algunas modificaciones para obtener el diseño final. Se ha podido observar que la estructura trabaja adecuadamente, sin embargo se pueden retocar los siguientes aspectos:

- a) Las barras con disposición inclinada que forman parte de la estructura del costado AB5, AB7 no tienen suficiente carga y su funcionalidad es nula. Por esta razón se ha decidido suprimirlas.
- b) Las barras inclinadas ubicadas en la pontona no trabajan todo lo esperado. No obstante, no se puede prescindir de ellas ya que la función de estas barras depende de la ubicación de la cama de varada para cada buque. Por lo cual, en lugar de suprimirlas todas, se han mantenido cada 1,25 metros, es decir, cada dos cuadernas.

3.4.5.1. TIPOS DE CUADERNAS

Al realizar esta nueva modificación aparece otro tipo de cuaderna. A continuación se explican las 4 secciones de la geometría definitiva.

SECCIÓN A1

Estas secciones tienen una separación de 1,25 metros. En la siguiente imagen se pueden observar la disposición de los refuerzos con sus respectivos perfiles.

Las cuadernas genéricas se diseñan con la geometría descrita anteriormente. Empezando por la quilla, se diseñan 2 diagonales que ayudan a disipar los esfuerzos hacia el mamparo central. Luego se añaden unos puntales en la zona media entre mamparos para mejorar el reparto de peso y evitar que los refuerzos de cubierta sufran pandeo.

Si se sigue avanzando hacia el costado, se aprecia un mamparo longitudinal en la prolongación de la cara interior del costado. Este mamparo está aligerado por dos motivos; para reducir peso y para evitar la estanqueidad ya que no puede dividir el tanque lateral.

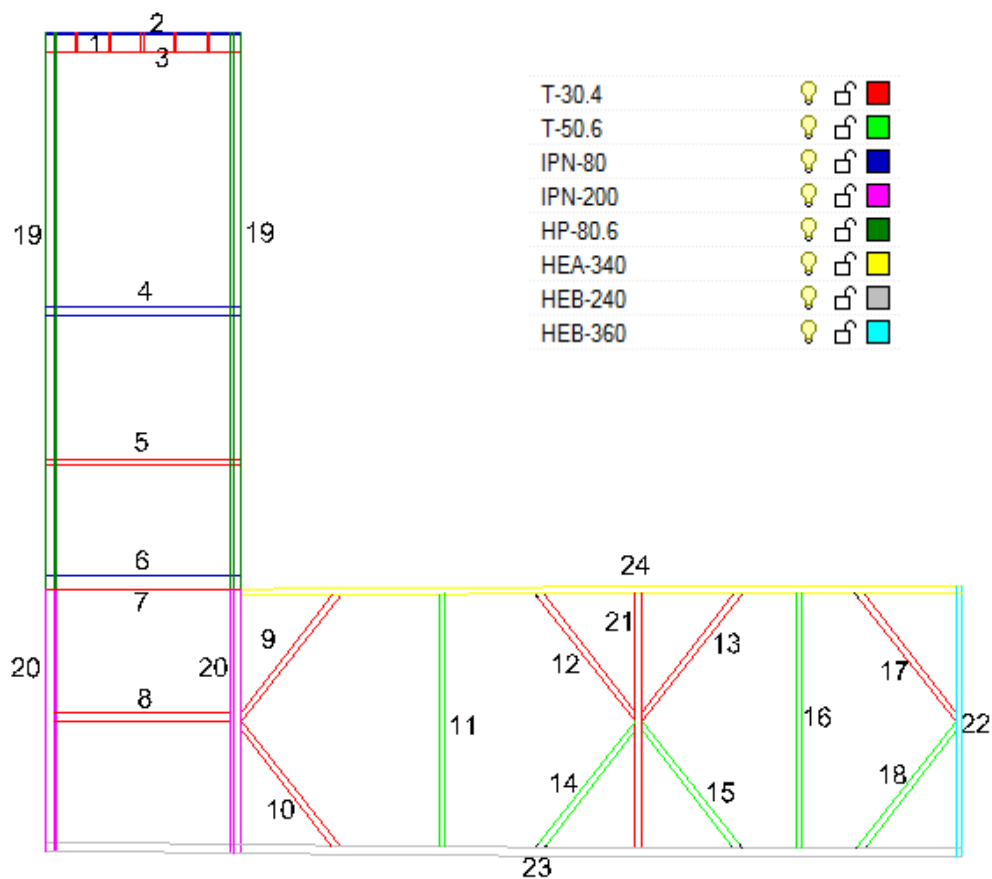
La zona de unión entre la pontona y el costado se refuerza con un refuerzo horizontal y un mamparo para resistir los momentos que se generen entre los dos elementos. Además, este mamparo dispone de una válvula que permite el paso del lastre hacia el costado.



Por lo que hace referencia al costado, el espacio para el lastre no está diseñado con diagonales ya que la presión interna del agua no es demasiado elevada y no se requieren estos refuerzos. Sin embargo si son necesarios los puntales horizontales.

En la parte donde termina el tanque, empieza el espacio de la entrecubierta donde se monta toda la maquinaria de servicios y donde hay los pañoses. Para soportar estas cargas se refuerza la plancha de la entrecubierta con unos refuerzos de mayor módulo resistente.

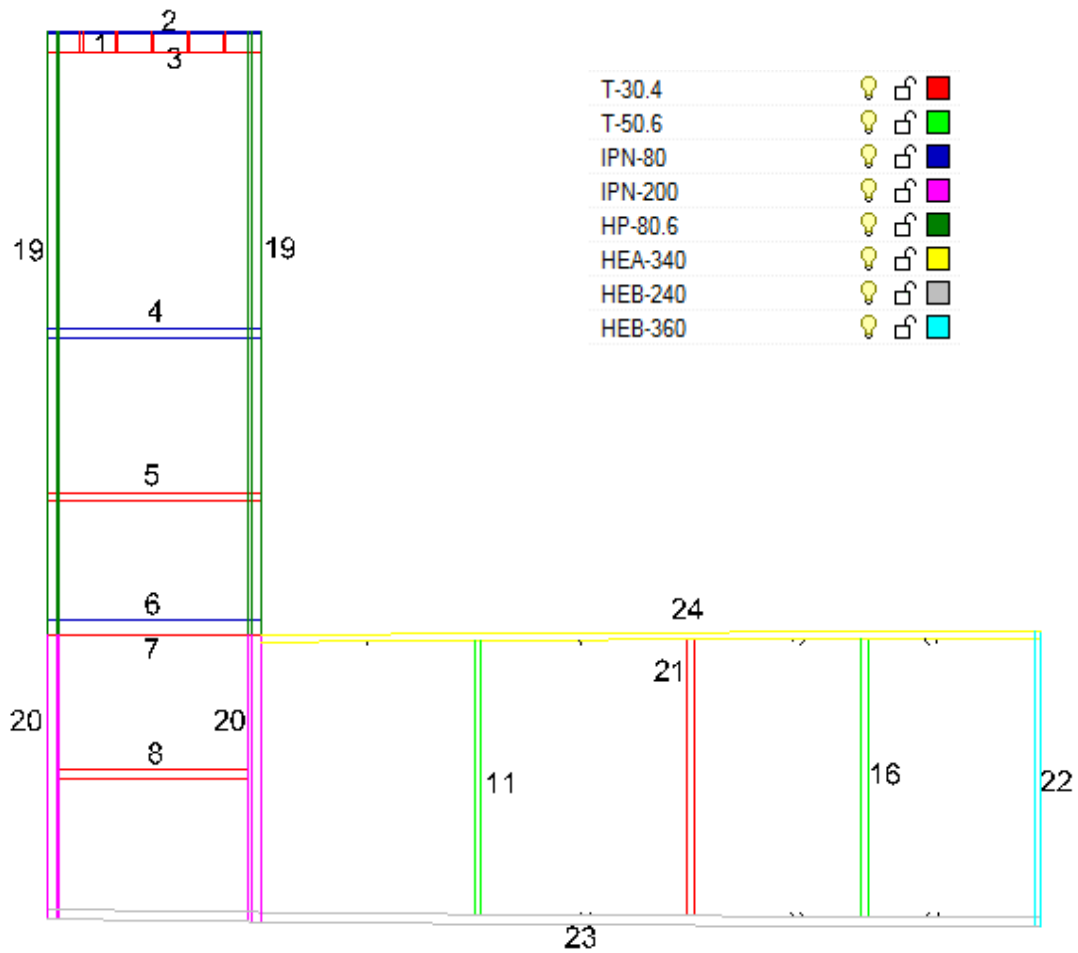
Finalmente en la parte superior del costado hay un entramado de refuerzos con la finalidad de resistir todo el peso que pueda haber en la cubierta del costado, el peso y movimiento de la grúa, la carga producida por la caseta de control y todos los equipos alojados en su interior y por último, también se ha diseñado teniendo en cuenta la posibilidad de montar una pasarela en una posible futura remodelación.





SECCIÓN A2

Este tipo de secciones están espaciadas 1,25 metros y van intercaladas con la sección A1. Tal y como se ve en la imagen esta sección consta de los mismos refuerzos que la sección A1 con la diferencia que se han eliminado algunos. Los perfiles utilizados para cada barra son idénticos que los de la sección A1.

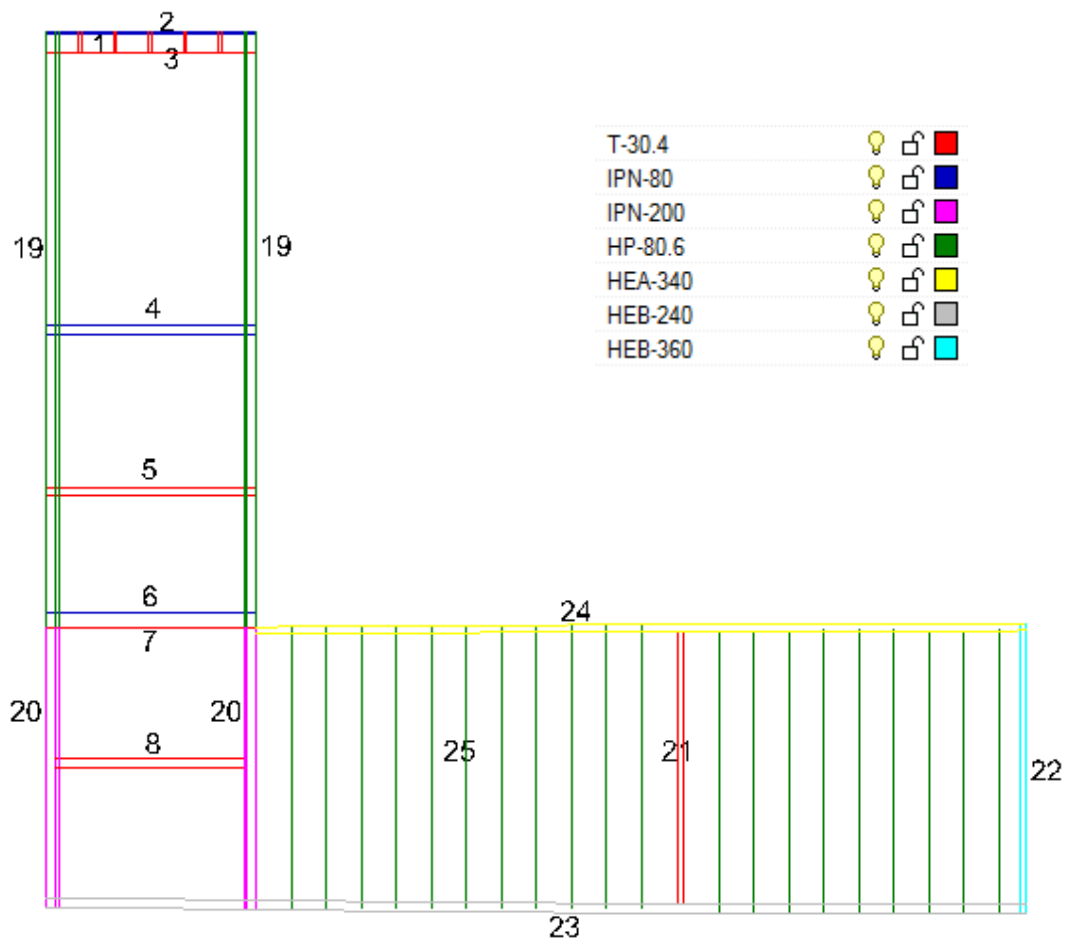




SECCIÓN B

Estas cuadernas tienen un espaciado de 5 metros entre ellas. Por lo tanto, únicamente se dispone de 2 cuadernas de este tipo en una sección de 15 metros de manera que dan más rigidez al conjunto de la pontona.

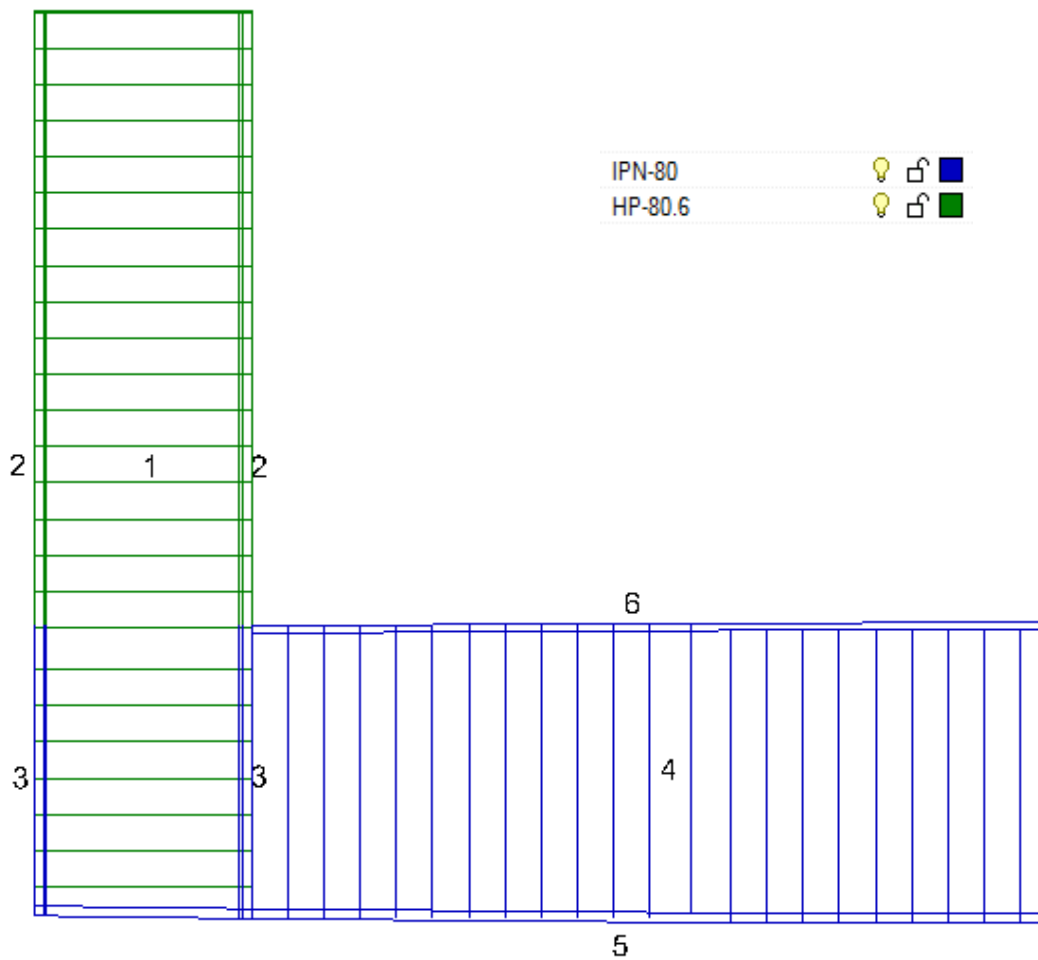
Esta sección, al igual que en la geometría anterior, consta de un mamparo transversal aligerado. El motivo de estos orificios es permitir la comunicación de agua en los tanques de lastre. Para más detalles se puede observar en el **Plano 11**. Este mamparo trabajará a compresión recibiendo por un lado, la presión del buque sobre la pontona y por el otro, la presión hidrostática del agua. Dado que recibirá una gran compresión éste dispone a lo largo de toda la superficie de rigidizadores. Este hecho reduce mucho la probabilidad de pandeo en la plancha.





SECCIÓN C

Por último, la sección C es el cierre de cada tramo de 15 metros. Por ello, todo el conjunto está formado por chapas con sus respectivos refuerzos utilizados para evitar la flexión de la chapa.





3.4.5.2. PERFILES DE LOS REFUERZOS

Cuando se tiene la geometría planteada con sus respectivos refuerzos y perfiles, se hace un primer cálculo. Éste sirve para saber si la estructura es aceptable o no. Si los resultados son coherentes, el siguiente paso es optimizar el diseño.

La optimización de la estructura una vez fijada la geometría, es simplemente ir evolucionando los perfiles y en algún caso cambiar alguno. De esta forma se profundiza en la espiral de diseño y el resultado será más viable.

Para describir qué perfiles se han modificado, se ha hecho una tabla analizando el diseño actual y sus tensiones de Von Mises correspondientes. Luego se han cambiado ciertos perfiles y se han vuelto a valorar las tensiones. Por último, se han comparado los resultados del diseño anterior con el diseño optimizado.

BARRA E3	PERFIL	TENSIÓN VON MISES (Mpa)	BARRA E4	Perfil optimizado	Tensión Von Mises (MPa)
AB1	T-70.8	36,81	AB1	T-30.4	172,79
AB2	IPN-80	15,59	AB2	IPN-80	74,99
AB3	T-50.6	30,21	AB3	T-30.4	126,31
AB4	IPN-80	24,6	AB4	IPN-80	74,4
AB5	T-30.4	18,04			
AB6	T-30.4	12,36	AB5	T-30.4	33,06
AB7	T-30.4	15,34			
AB8	HEA-150	52,79	AB6	IPN-80	98,51
AB9	T-40.5	28,53	AB7	T-30.4	85,12
AB10	T-40.5	63,66	AB8	T-30.4	163,48
AB11	T-40.5	43,36			
AB12	T-40.5	50,88	AB9	T-30.4	99,85
AB13	T-40.5	63,99	AB10	T-30.4	92,04
AB14	T-40.5	136,15	AB11	T-50.6	170,39
AB15	T-40.5	68,18	AB12	T-30.4	86,98
AB16	T-40.5	35,55	AB13	T-30.4	28,56
AB17	T-40.5	106,02	AB14	T-50.6	108,24
AB18	T-40.5	126,84	AB15	T-50.6	131,53
AB19	T-40.5	113,48	AB16	T-50.6	136,75
AB20	T-40.5	18,24	AB17	T-30.4	19,26
AB21	T-40.5	122,59	AB18	T-50.6	125,1
AB22	HEA-100	40,7	AB19	HP-80.6	67,09
AB23	HEA-200	78,89	AB20	IPN-200	249,99
AB24	IPN-80	82,45	AB21	T-30.4	136,56
AB25	HEB 300	223,56	AB22	HEB-360	208,69
AB26	HEA-240	205,01	AB23	HEB-240	227,84
AB27	HEA-400	115,66	AB24	HEA-340	178,51



B28	HP-80.6	39,45	B25	HP-80.6	46,76
C1	HP-120.8	45,09	C1	HP-80.6	39,35
C2	HEA-150	14,1	C2	HP-80.6	27,15
C3	HEA-150	28,87	C3	IPN-80	181,02
C4	IPN-100	88,46	C4	IPN-80	135,85
C5	HEA-100	27,07	C5	IPN-80	28,36
C6	HEA-140	70,59	C6	IPN-80	49,81
L1	IPN-80	26,69	L1	T-30.4	37,79
L2	T-40.5	90,44	L2	T-30.4	153,67
L3	T-30.4	9,53		HEA-200	
L4	HEA-240	107,9	L3	HEA-120	148,92
L5	HEA-100	121,97	L4		141,39

3.4.5.3. LÁMINAS

Tal y como se puede observar en el **Anexo 3**, las laminas exteriores tienen un espesor de 10 mm y las láminas de los mamparos, tanto longitudinales como transversales, son de 7 mm.

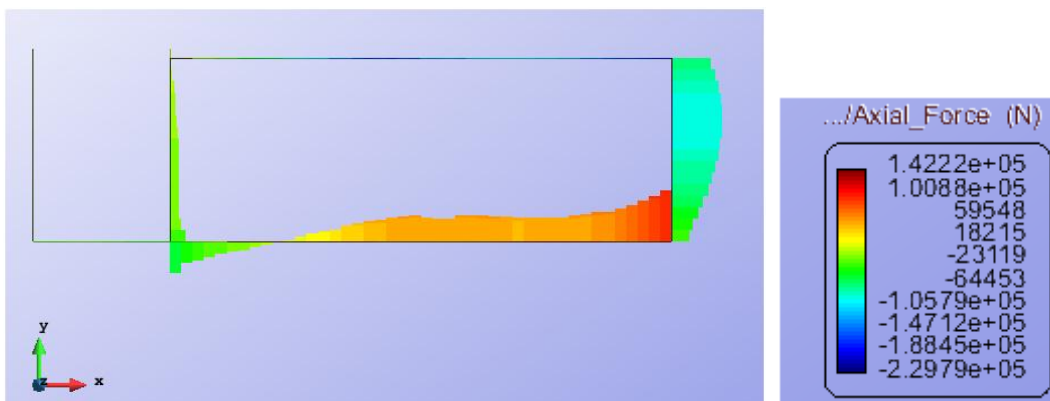
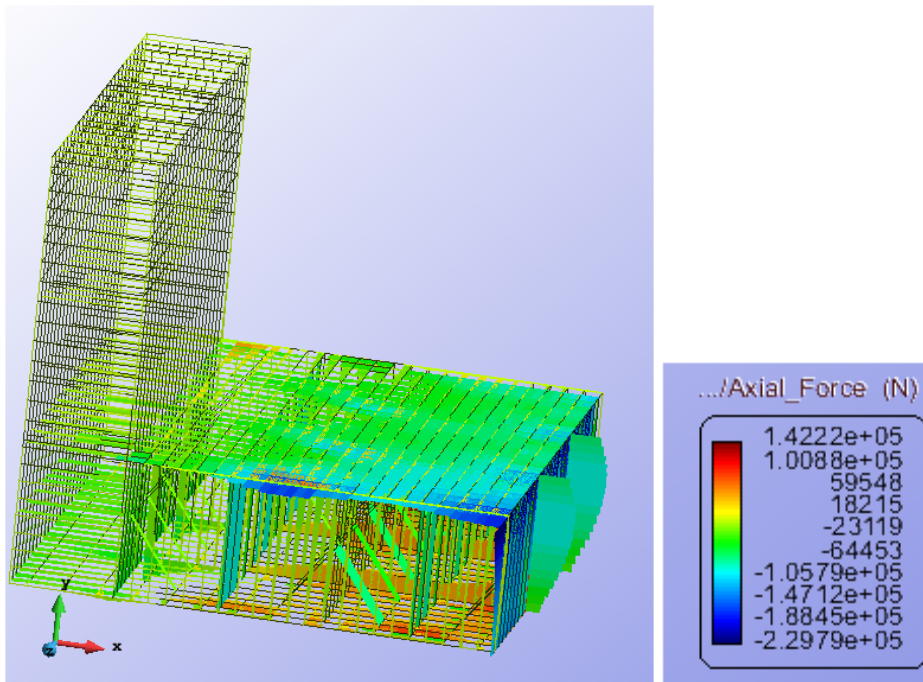
Analizando el estudio realizado con estos espesores, las láminas están sobredimensionadas ya que las tensiones que aparecen son muy bajas siendo la máxima 65 MPa. Por lo tanto se va a disminuir el espesor de estas láminas hasta el límite permitido por la sociedad de clasificación ABS.

De esta manera, las planchas exteriores pasan a tener un espesor de 7mm, los mamparos se mantienen con el mismo espesor que anteriormente, 7mm, y por último, la plancha de la pontona y la del fondo, que están sometidas a mayores cargas, se mantienen con 10 mm.



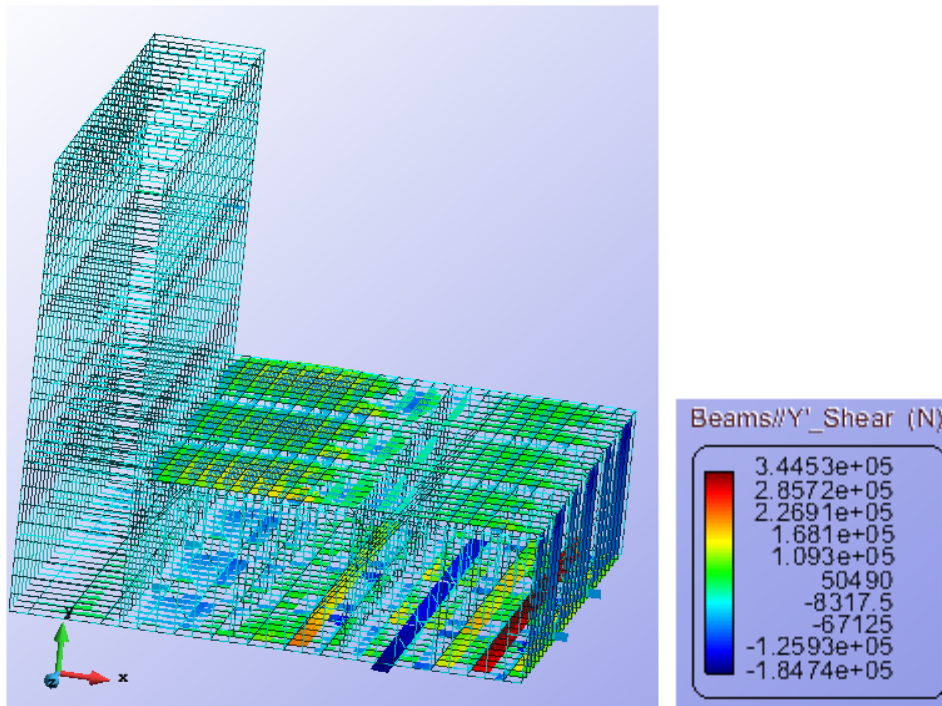
3.4.5.4. RESULTADOS DE LAS BARRAS

AXILES

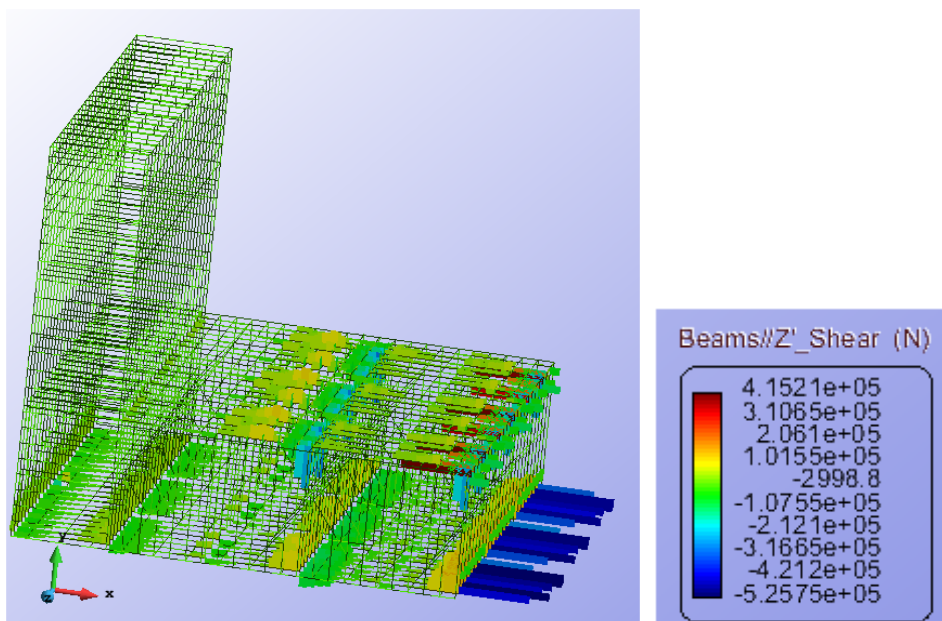


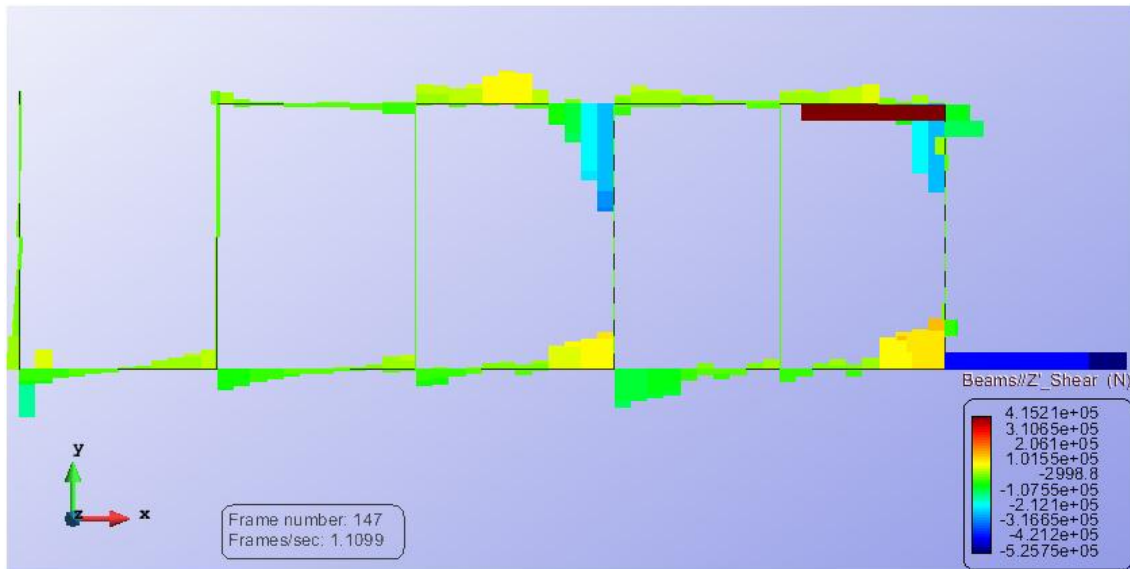


CORTANTE EN Y

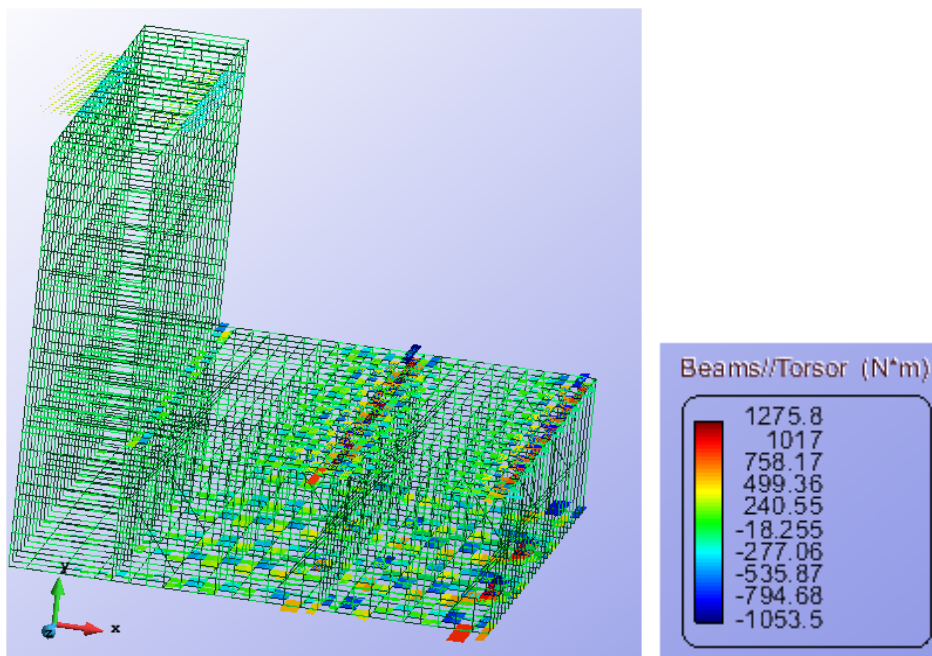


CORTANTE EN Z



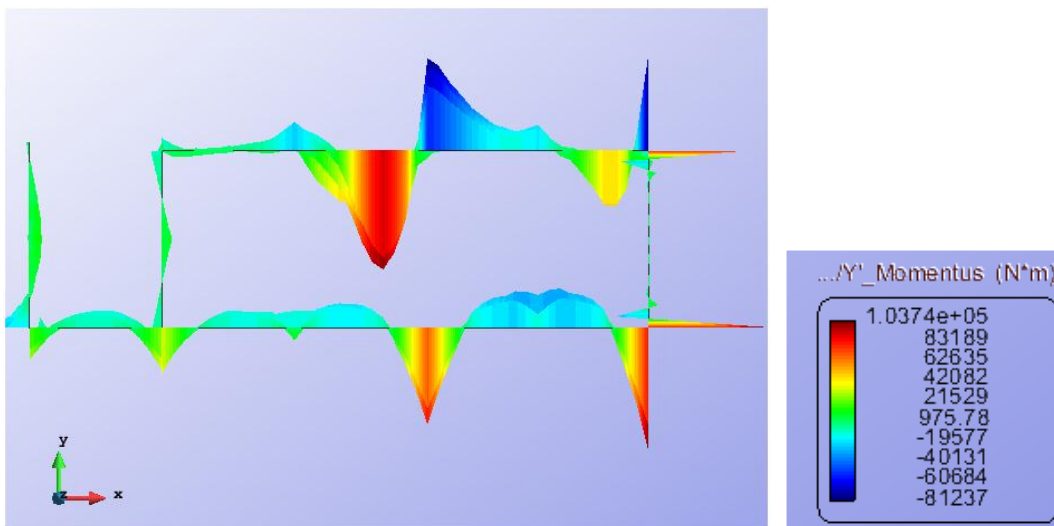
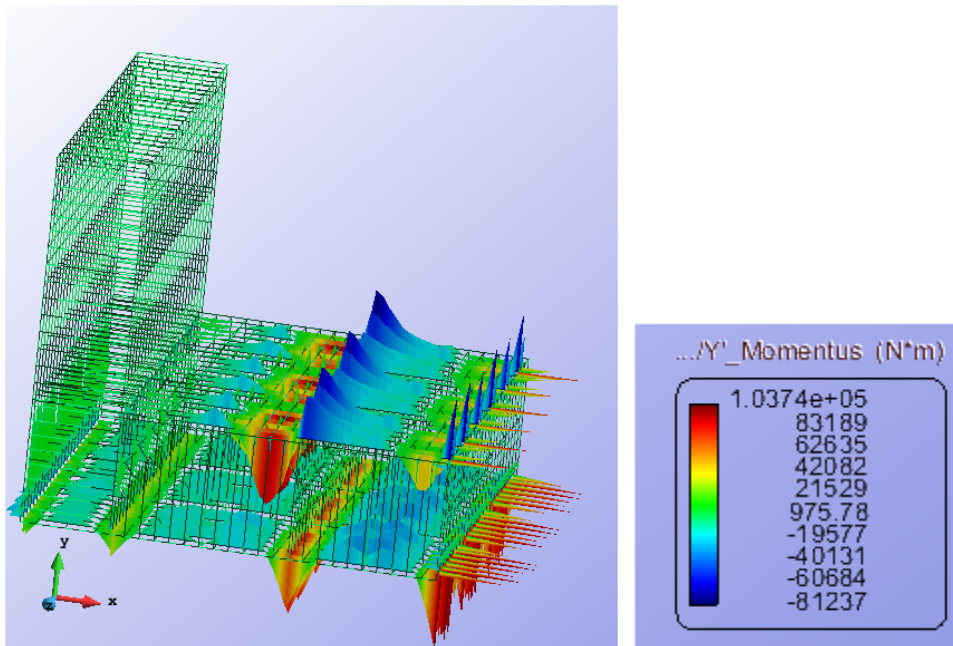


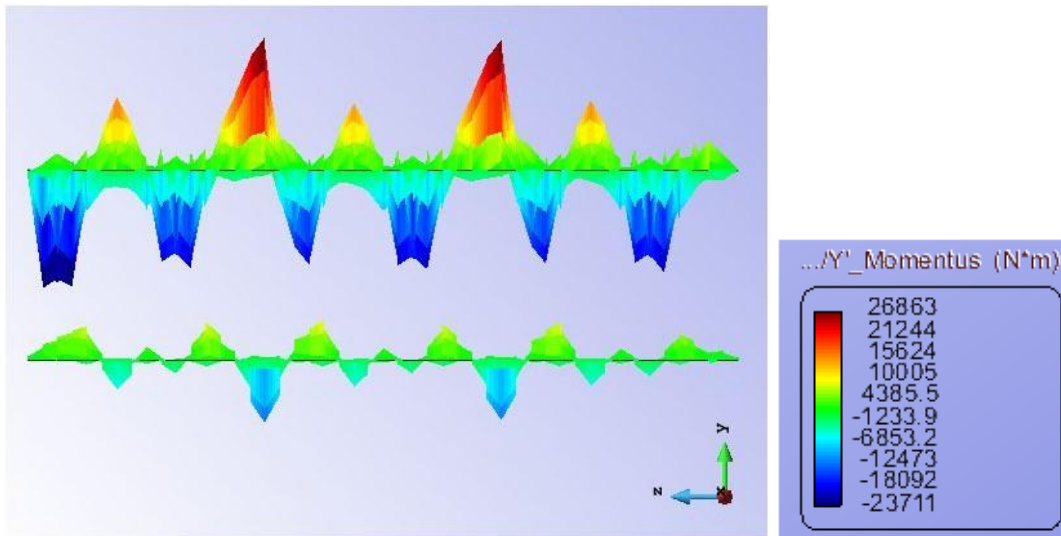
MOMENTO TORSOR



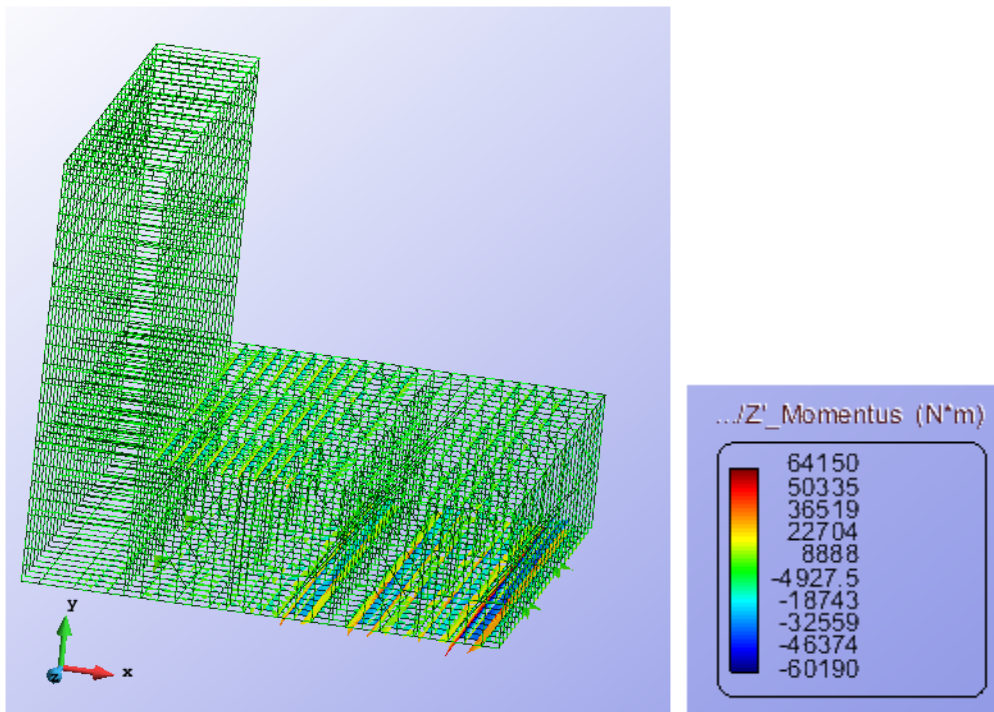


MOMENTO EN Y



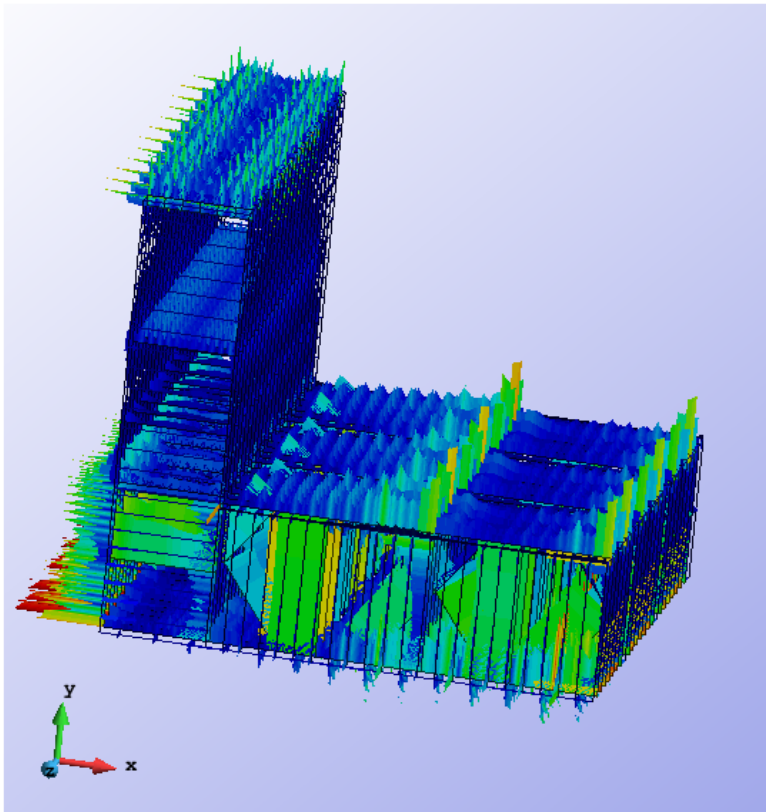


MOMENTO EN Z





TENSION VON MISES



3.4.5.5. ANÁLISIS DE LAS BARRAS

El diseño final de barras es el adecuado ya que tiene unos resultados lógicos y las tensiones se reparten por toda la estructura.

Mediante las gráficas de los resultados obtenidos se aprecia visualmente las zonas extremas en los cálculos de esfuerzos axiales, cortantes, momentos flectores, torsores y tensiones de Von Mises. Si se analiza la tensión de Von Mises máxima, 243.76 Mpa, se ve que no supera la tensión máxima del material A-42, 254.83 Mpa; por lo tanto la estructura resiste y de manera bastante optimizada.

Para poder estudiar los esfuerzos y tensiones de cada barra, se ha hecho una tabla dónde se pueden ver los valores numéricos.

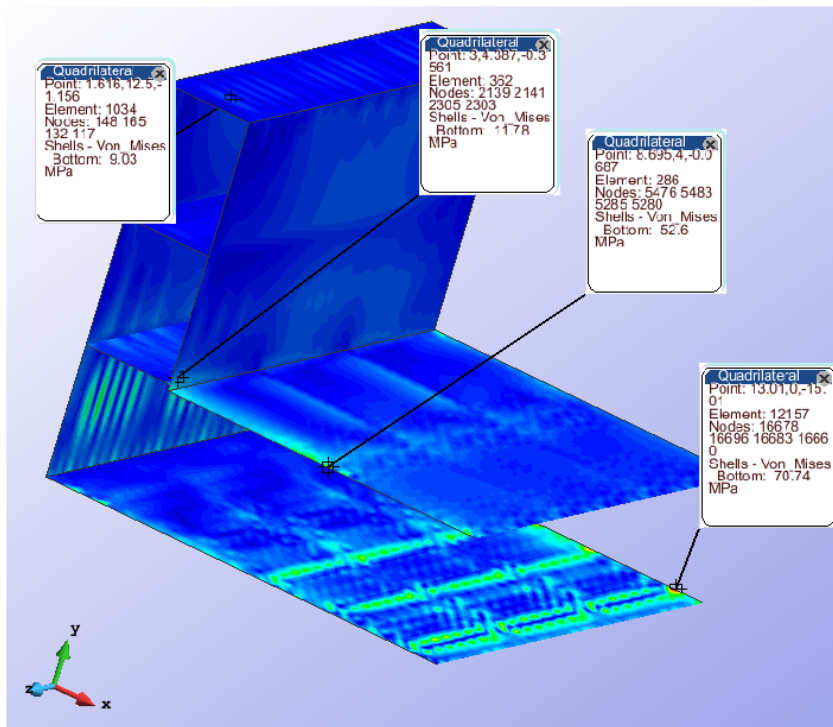
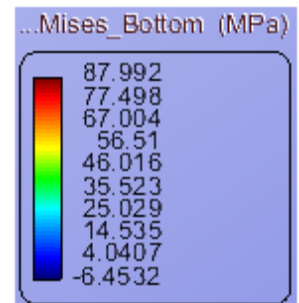
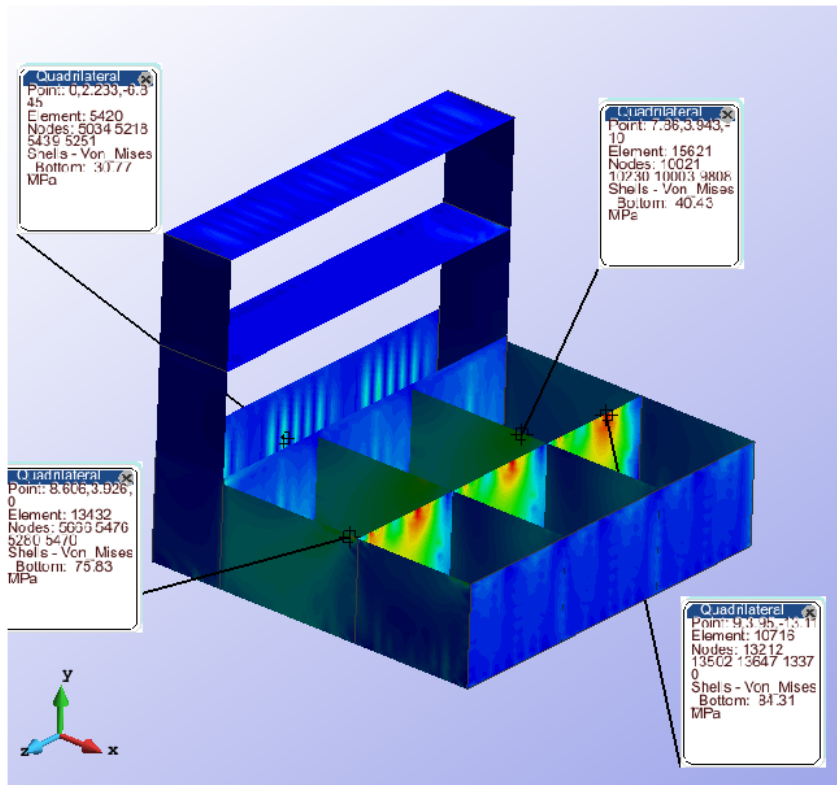


BARRAS	PERFILES	TENSIÓN VON MISES (Mpa)	AXIAL (N)	CORTANTE Y (N)	CORTANTE Z (N)	MOMENTO Y (N·m)	MOMENTO Z (N·m)	TORSOR (N·m)
AB1	T-30.4	172,79	-208,04	27,96	2097	476,35	7,04	0,5
AB2	IPN-80	74,99	-1215,3	1622,1	755,41	658,05	220	3,08
AB3	T-30.4	126,31	7611,9	34,87	327,05	82,93	13,77	0,35
AB4	IPN-80	74,4	-1384,2	1568,7	445,4	592,67	210,75	13,4
AB5	T-30.4	33,06	995,78	8,81	33,57	20,51	4,44	0,004
AB6	IPN-80	98,51	-5478,1	634,39	589,56	1611,9	88,18	4,42
AB7	T-30.4	85,12	-10323	8,61	38,61	31,37	4,78	0,028
AB8	T-30.4	163,48	-27900	15,59	33,78	21,12	18,83	0,004
AB9	T-30.4	99,85	-19611	5,06	18,21	10,29	2,63	0,04
AB10	T-30.4	92,04	-17922	6,47	18,07	10,11	4,24	0,05
AB11	T-50.6	170,39	-91682	20,58	8,55	21,2	12,86	0,02
AB12	T-30.4	86,98	-16389	5,39	19,43	11,57	2,92	0,03
AB13	T-30.4	28,56	-4010,4	4,15	17,75	8,92	1,51	0,007
AB14	T-50.6	108,24	-57533	27,3	43,41	21,18	30,52	0,23
AB15	T-50.6	131,53	-70501	31,49	43,28	21,74	37,84	0,32
AB16	T-50.6	136,75	-75005	30,15	5,32	11,98	36,94	0,005
AB17	T-30.4	19,26	1896,4	3,92	17,33	8,34	1,19	0,003
AB18	T-50.6	125,1	-66544	31,4	47,44	23,15	37,19	0,29
AB19	HP-80.6	67,09	-5620,2	96,79	410,79	671,41	17,09	4,92
AB20	IPN-200	249,99	-52693	16688	35676	26474	2127,3	50,17
AB21	T-30.4	136,56	-20070	140,12	31	52,29	19,72	2,3
AB22	HEB-360	208,69	-229790	153220	525750	103740	19909	0
AB23	HEB-240	227,84	142220	344530	148650	103590	64150	1053,5
AB24	HEA-340	178,51	-172480	185100	309995	99569	33711	1275,8
B25	HP-80.6	46,76	-20921	64,03	195,36	106,49	7,82	5,06
C1	HP-80.6	39,35	-8312,9	21,77	157,67	445,08	2,48	9,8
C2	HP-80.6	27,15	-366709	11,71	264,62	63,61	2	2,35
C3	IPN-80	181,02	4711,2	50,14	1354,3	240,58	11,81	10,21
C4	IPN-80	135,85	-24384	391,08	3230,6	2468,3	55,67	15,83
C5	IPN-80	28,36	9061,1	48,39	1840,9	442,33	15,2	16,12
C6	IPN-80	49,81	-15994	224,07	2578,5	426,91	50,39	29,63
L1	T-30.4	37,79	-696,88	4,78	132,63	24,52	9,16	0,34
L2	T-30.4	153,67	924,72	10429	20,57	19,94	3,55	543,32
L3	HEA-200	148,92	-70804	62950	67506	26863	10203	407,21
L4	HEA-120	141,39	72476	17543	18355	8201,6	2944,4	52,1



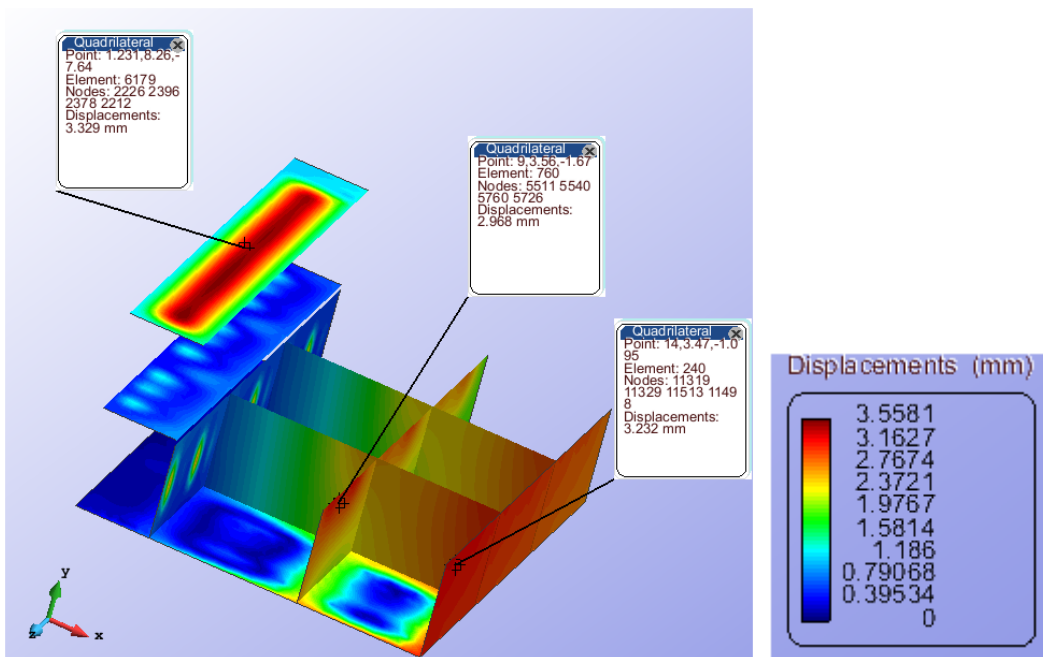
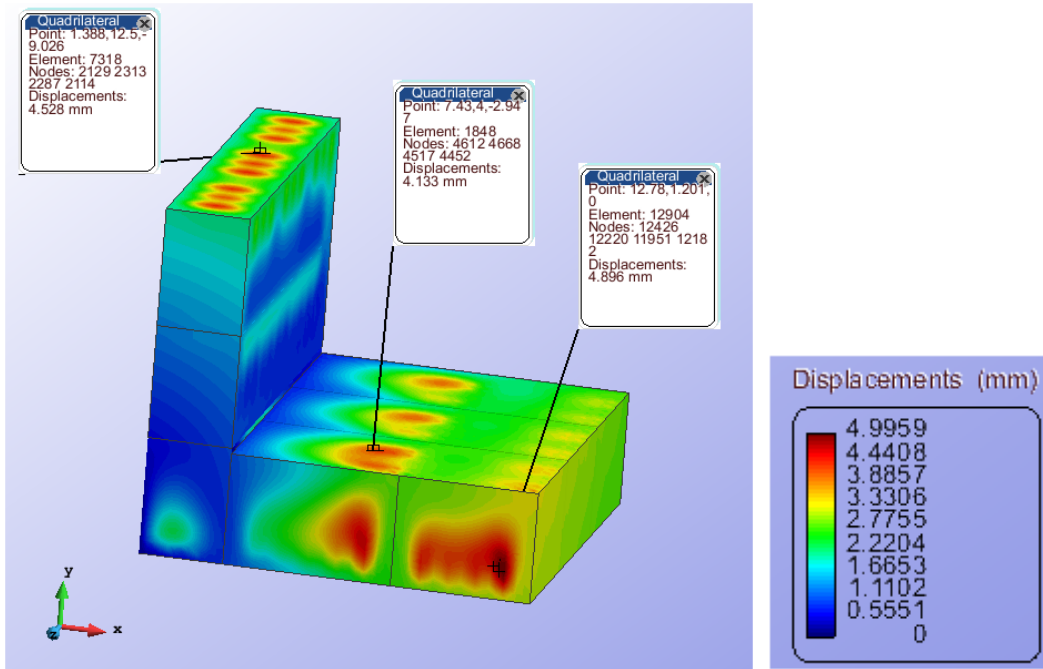
3.4.5.6. RESULTADOS DE LAS LÁMINAS

TENSIONES DE VON MISES





DESPLAZAMIENTOS





3.4.5.7. ANÁLISIS DE LAS LÁMINAS

Como era de esperar, modificando los refuerzos y los espesores de las chapas, las láminas sufren una tensión admisible y lógica.

La zona dónde se acumulan más tensiones es en el mamparo longitudinal colocado a 5 metros de la línea de crujía, estos esfuerzos están dentro del umbral permitido. El pico de tensión equivale a 87,92 Mpa y el límite está en 254,83 Mpa.

Por otro lado, las deformaciones máximas aparecen en el costado de la pontona. Estas deformaciones son debidas a la presión hidrostática del agua que está aplicada en una superficie de 3,7 metros de altura. No obstante, las deformaciones máximas en esta zona son de 5 mm.

También se aprecia que la cubierta de la pontona sufre una pequeña deformación, claramente razonable debido a la carga de los picaderos y del buque varado.



3.4.6. CÁLCULO DEL DIQUE SUMERGIDO

La hipótesis de la situación más crítica del dique, estructuralmente, era en la posición de servicio, es decir, con el buque varado.

Una vez calculada la estructura para ése caso, es fundamental analizar la misma estructura cuando se encuentra sumergida. Teóricamente, si la hipótesis fuera correcta, la estructura debería resistir a la presión hidrostática. Para calcular las presiones del agua sobre la estructura se tienen en cuenta dos aspectos:

- La presión es perpendicular sobre la superficie.
- $P_h = \rho \cdot g \cdot h$

La distribución de fuerzas aplicadas se representa en la *Imagen 25*.

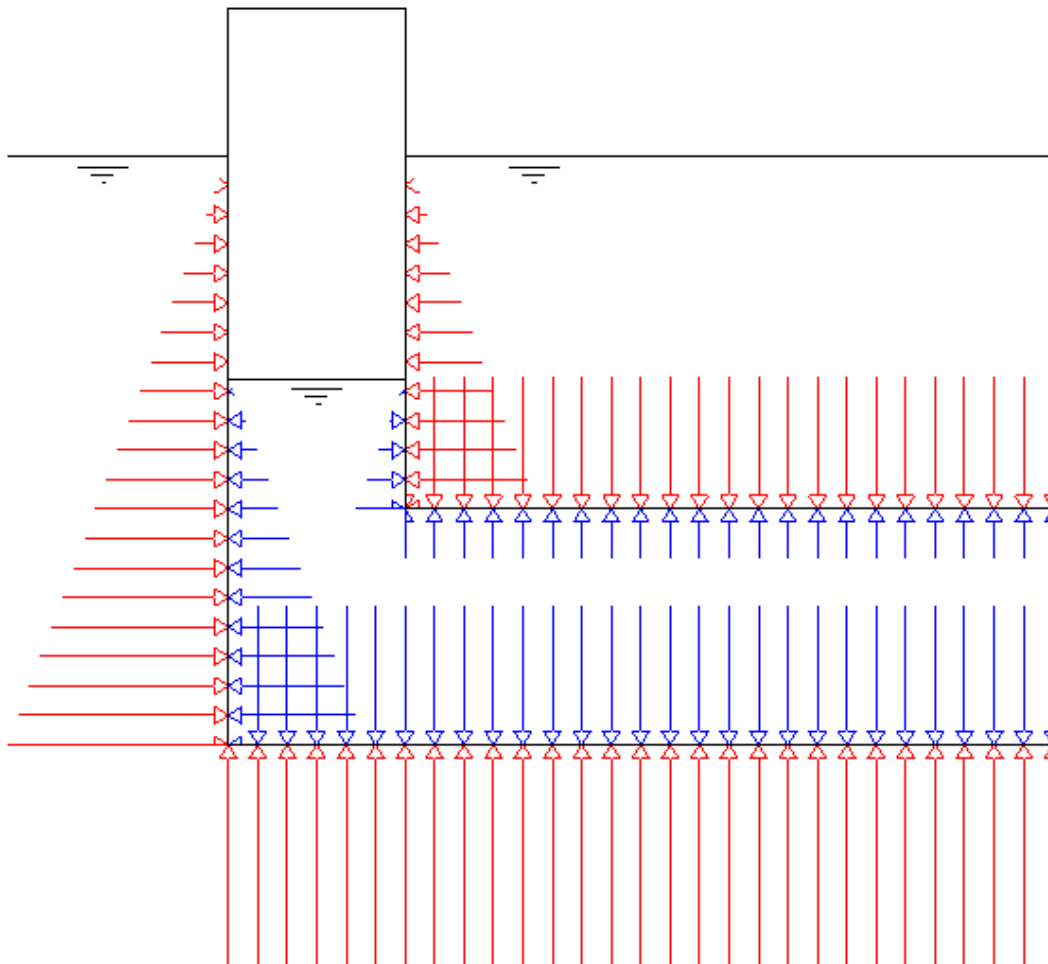


Imagen 235: Presión hidrostática del dique sumergido



Como se observa en la imagen, el agua de lastre hace presión hacia el exterior y el agua de mar hacia el interior de la estructura, por lo tanto, las fuerzas resultantes se pueden simplificar restando las presiones de sentido contrario.

CARGAS RESULTANTES

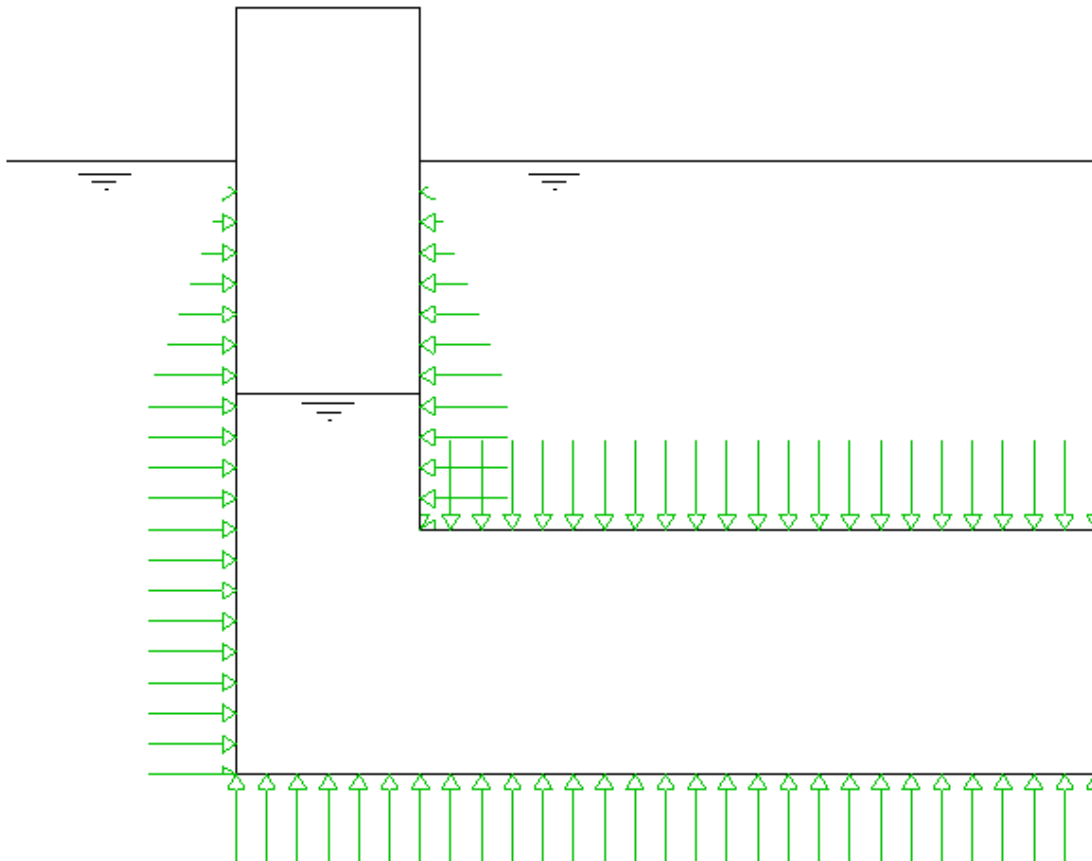


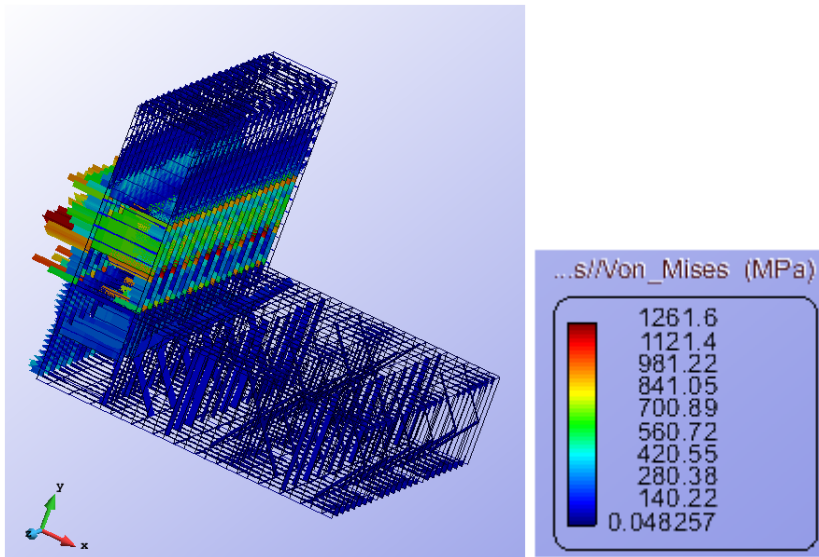
Imagen 26: Presión hidrostática resultantes

3.4.6.1. COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA

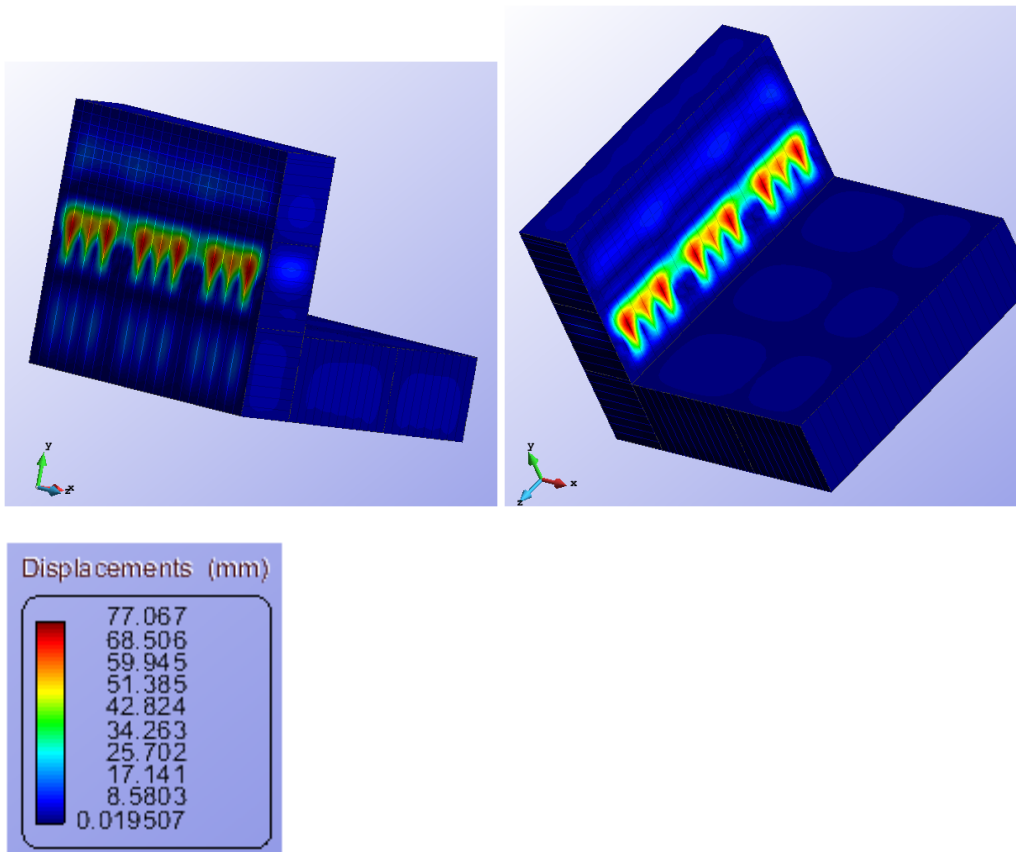
Ahora que ya está el dique en condiciones de sumergido, es momento de calcular los esfuerzos y tensiones para corroborar si el dique flotante resiste o se tienen que volver a redimensionar algunos refuerzos y chapas.



TENSIONES DE VON MISES DE LAS BARRAS

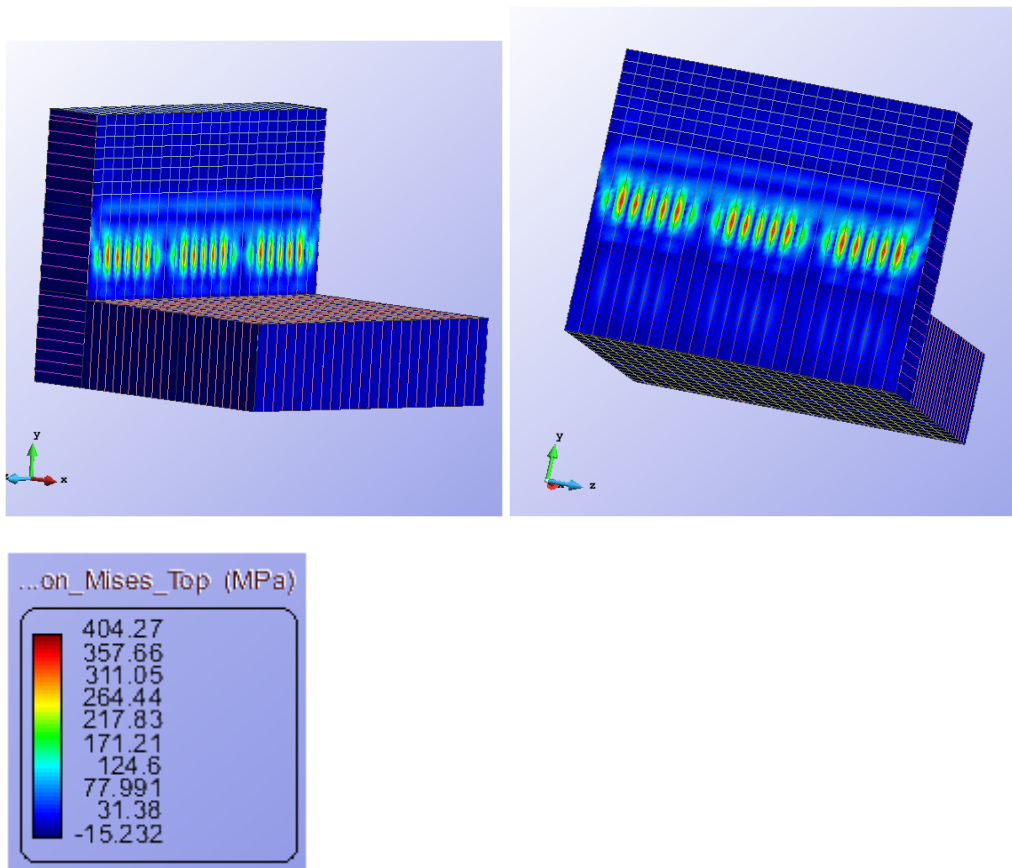


DESPLAZAMIENTOS DE LAS LÁMINAS





TENSIONES DE VON MISES DE LAS LÁMINAS



3.4.6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados se extrae una conclusión principal. La estructura no resiste en posición sumergida, por lo que la hipótesis, de que la situación crítica del dique era con el buque varado, no es totalmente cierta. La pontona resiste perfectamente la presión hidrostática ya que está dimensionada con perfiles de mayor tamaño para soportar la carga del buque. En cambio, el costado, que en la condición anterior no sufría una gran carga, estaba dimensionado con unos perfiles que no han soportado la carga de presión. Por lo tanto se debe redimensionar esta zona.

Las deformaciones máximas son muy elevadas, 77 milímetros junto con las tensiones que sufren los refuerzos que también sobrepasan la tensión máxima del acero. En la zona del costado se producen esas tensiones hasta llegar a un máximo de 1261,6 Mpa en las barras y 404,27 en las chapas.

Por lo tanto, los resultados indican que los refuerzos del costado deben ser redimensionados. Sin embargo, no se cree necesario aumentar el espesor de las chapas ya que la tensión producida disminuirá al modificar esos refuerzos.



3.4.6.3. MODIFICACIONES

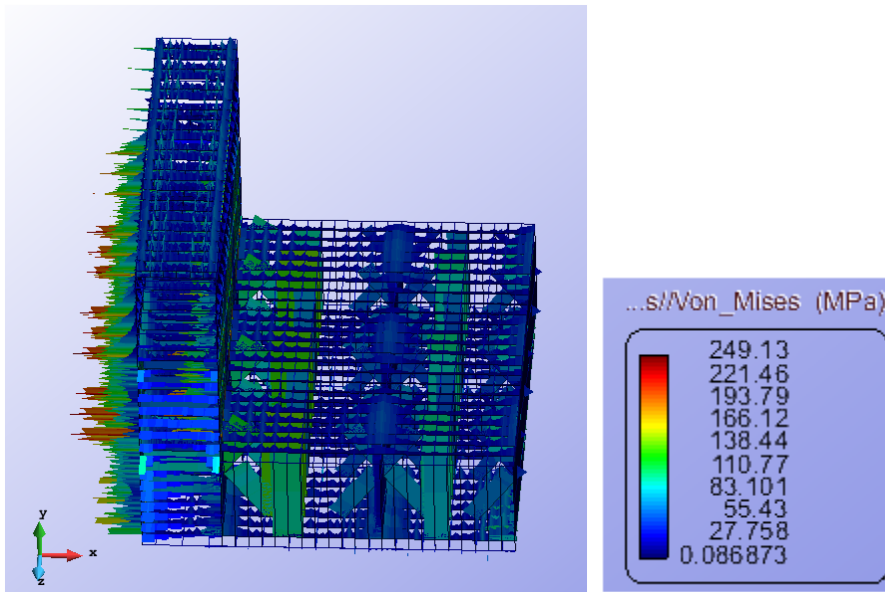
El refuerzo AB19 y AB5 sobrepasan extremadamente la tensión límite del acero, por lo tanto se cambiará el perfil del refuerzo a IPN. En cambio, las otras barras se modificarán aumentando el tamaño del perfil anteriormente escogido ya que las tensiones máximas no se alejan demasiado a la admitida por el material.

Barras	Perfil inicial	Tensión de Von Mises (MPa)	Perfil modificado
AB5	T 30.4	701,4	IPN 120
AB8	T 30.4	309	T 50.6
AB19	HP 80.6	1261,6	IPN 200
AB20	IPN 160	464	IPN 220
L1	T 30.4	362,33	T 50.6

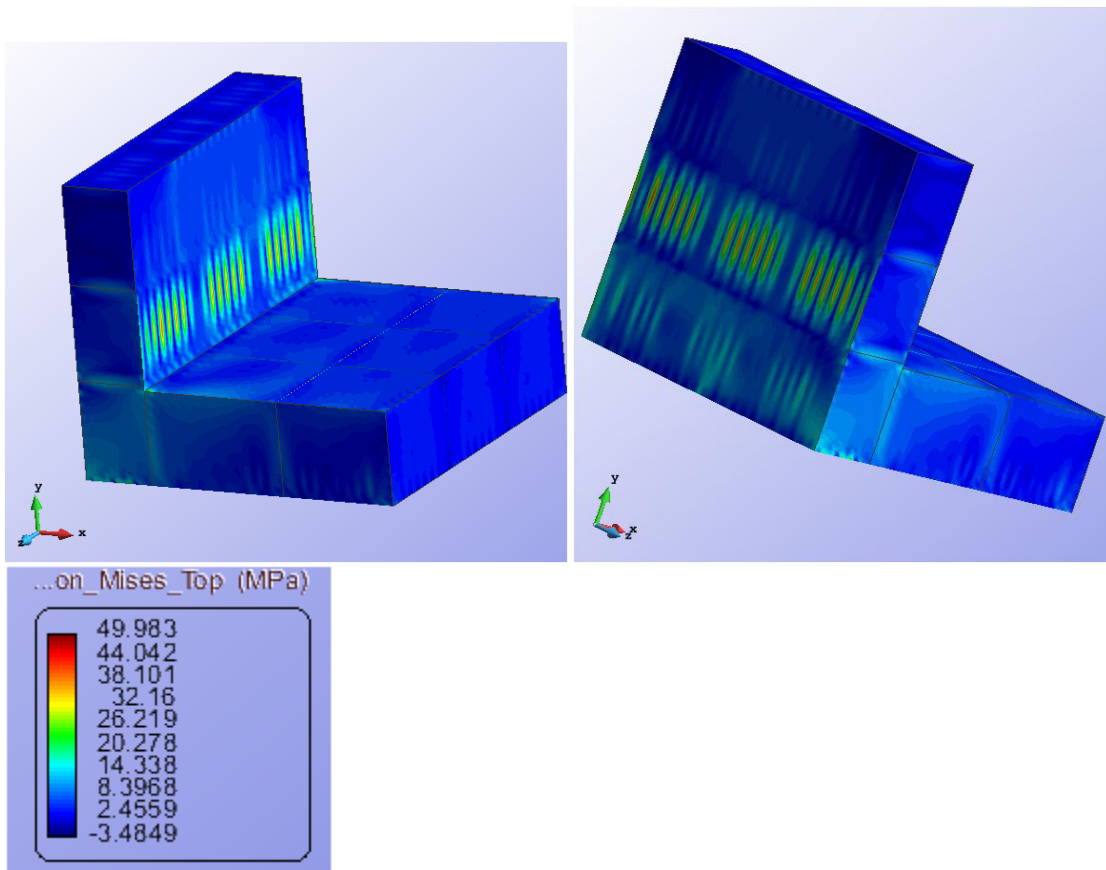


3.4.6.4. RESULTADOS FINALES

TENSIONES DE VON MISES DE LAS BARRAS

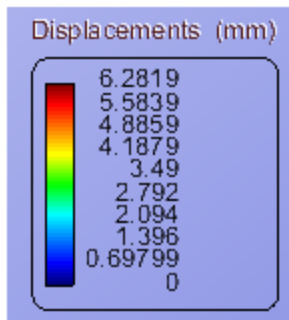
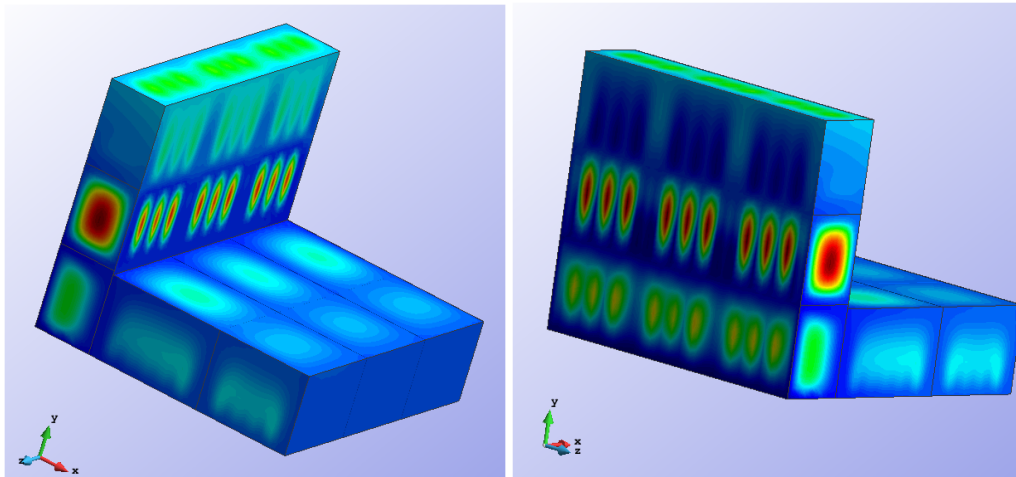


TENSIONES DE VON MISES DE LAS LÁMINAS





DESPLAZAMIENTOS DE LAS LÁMINAS



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS FINALES

Al redimensionar los 5 perfiles, se obtiene una estructura resistente al peso del buque y a la vez a la presión hidrostática en posición sumergida.

Las láminas de 10 milímetros de espesor soportan bien la presión en todos los espacios y los refuerzos modificados sufren una tensión máxima de 249,13Mpa, inferior a la tensión máxima del acero A-42 que tiene el valor 254 Mpa.

Finalmente, el diseño estructural se da por válido.



CÁLCULO DEL PESO TOTAL Y DEL AGUA DE LASTRE

Concluida la parte del diseño estructural, es el momento de calcular el peso final del dique flotante. Una vez se obtenga el desplazamiento total de la estructura, se podrá saber si el dique es capaz de varar un buque de 7000 toneladas. También se determinará el volumen de agua de lastre necesaria para sumergir el dique hasta su calado máximo (10 metros). Al conocer el desplazamiento de agua se calculará la altura de la columna de agua en los costados. A continuación se muestran las tablas de cálculo de peso:

SECCIÓN A

BARRA	PERFIL	ÁREA (cm ²)	LONGITUD (m)	DENSIDAD (N/m ³)	PESO (N)	PESO (Kg)	Nº	PESO TOTAL (Kg)
AB1	T-30.4	2,26	0,30	76900	5,21	0,53	5	2,657
AB2	IPN-80	7,58	3,00	76900	174,87	17,83	1	17,826
AB3	T-30.4	2,26	3,00	76900	52,14	5,31	1	5,315
AB4	IPN-80	7,58	3,00	76900	174,87	17,83	1	17,826
AB5	IPN-120	14,20	3,00	76900	327,59	33,39	1	33,394
AB6	IPN-80	7,58	3,00	76900	174,87	17,83	1	17,826
AB7	T-30.4	2,26	3,00	76900	52,14	5,31	1	5,315
AB8	T-50.6	5,66	3,00	76900	130,58	13,31	1	13,311
A9	T-30.4	2,26	2,50	76900	43,45	4,43	1	4,429
A10	T-30.4	2,26	2,50	76900	43,45	4,43	1	4,429
A11	T-50.6	5,66	4,00	76900	174,10	17,75	1	17,747
A12	T-30.4	2,26	2,50	76900	43,45	4,43	1	4,429
A13	T-30.4	2,26	2,50	76900	43,45	4,43	1	4,429
A14	T-50.6	5,66	2,50	76900	108,81	11,09	1	11,092
A15	T-50.6	5,66	2,50	76900	108,81	11,09	1	11,092
A16	T-50.6	5,66	4,00	76900	174,10	17,75	1	17,747
A17	T-30.4	2,26	2,50	76900	43,45	4,43	1	4,429
A18	T-50.6	5,66	2,50	76900	108,81	11,09	1	11,092
AB19	IPN-200	33,50	8,30	76900	2138,20	217,96	2	435,923
AB20	IPN-220	39,60	4,20	76900	1279,00	130,38	2	260,754
AB21	T-30.4	2,26	4,00	76900	69,52	7,09	1	7,086
AB22	HEB-360	180,60	4,00	76900	5555,26	566,29	1	566,285
AB23	HEB-240	106,00	14,00	76900	11411,96	1163,30	1	1163,299
AB24	HEA-340	133,50	11,00	76900	11292,77	1151,15	1	1151,148



SECCIÓN B

BARRA	PERFIL	ÁREA (cm ²)	LONGITUD (m)	DENSIDAD (N/m ³)	PESO (N)	PESO (Kg)	Nº	PESO TOTAL (Kg)
AB1	T-30.4	2,26	0,30	76900	5,21	0,53	5	2,657
AB2	IPN-80	7,58	3,00	76900	174,87	17,83	1	17,826
AB3	T-30.4	2,26	3,00	76900	52,14	5,31	1	5,315
AB4	IPN-80	7,58	3,00	76900	174,87	17,83	1	17,826
AB5	IPN-120	14,20	3,00	76900	327,59	33,39	1	33,394
AB6	IPN-80	7,58	3,00	76900	174,87	17,83	1	17,826
AB7	T-30.4	2,26	3,00	76900	52,14	5,31	1	5,315
AB8	T-50.6	5,66	3,00	76900	130,58	13,31	1	13,311
AB19	IPN-200	33,50	6,20	76900	1597,21	162,81	2	325,630
AB20	IPN-220	39,60	33,50	76900	10201,55	1039,91	2	2079,828
AB21	T-30.4	2,26	2,26	76900	39,28	4,00	1	4,004
AB22	HEB-360	180,60	180,60	76900	250819,81	25567,77	1	25567,768
AB23	HEB-240	106,00	106,00	76900	86404,84	8807,83	1	8807,833
AB24	HEA-340	133,50	133,50	76900	137053,10	13970,75	1	13970,755
B25	HP-80.6	6,20	4,00	76900	190,71	19,44	20	388,811

SECCIÓN C

BARRA	PERFIL	ÁREA (cm ²)	LONGITUD (m)	DENSIDAD (N/m ³)	PESO (N)	PESO (Kg)	Nº	PESO TOTAL (Kg)
C1	HP-80.6	6,20	3,00	76900	143,03	14,58	25	364,511
C2	HP-80.6	6,20	8,30	76900	395,73	40,34	2	80,678
C3	IPN-80	7,58	4,20	76900	244,82	24,96	2	49,912
C4	IPN-80	7,58	4,00	76900	233,16	23,77	22	522,889
C5	IPN-80	7,58	14,00	76900	816,06	83,19	1	83,187
C6	IPN-80	7,58	11,00	76900	641,19	65,36	1	65,361

LONGITUDINALES

BARRA	PERFIL	ÁREA (cm ²)	LONGITUD (m)	DENSIDAD (N/m ³)	PESO (N)	PESO (Kg)	Nº	PESO TOTAL (Kg)
L1	T-50.6	5,66	15,00	76900	652,88	66,55	7	465,868
L2	T-30.4	2,26	15,00	76900	260,69	26,57	2	53,148
L3	HEA-200	53,8	15,00	76900	6205,83	632,60	22	13917,254
L4	HEA-120	25,3	15,00	76900	2918,36	297,49	14	4164,829



LÁMINAS

LÁMINAS	DENSIDAD (N/m ³)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	ESPESOR (mm)	PESO (Kg)	Nº	PESO TOTAL (Kg)
CUBIERTA I	76900	15,00	3,00	7	2469,27	1	2469,266
CUBIERTA II	76900	15,00	3,00	7	2469,27	1	2469,266
LATERAL	76900	15,00	12,50	7	10288,61	1	10288,609
INTERIOR	76900	15,00	8,50	7	6996,25	1	6996,254
FONDO	76900	15,00	14,00	10	16461,77	1	16461,774
PONTONA	76900	15,00	11,00	10	12934,25	1	12934,251
MAMPAROS	76900	15,00	4,00	7	3292,35	3	9877,064
VARENGAS	76900	11,00	4,00	7	2414,39	2	4828,787
COSTADO I	76900	3,00	8,50	7	1399,25	2	2798,502
COSTADO II	76900	14,00	4,00	7	3072,86	2	6145,729
UNIÓN	76900	15,00	3,00	7	2469,27	1	2469,266

GRUPOS	PESO (Kg)
SECCIÓN A	1105718
SECCIÓN B	1620361
SECCIÓN C	37329
LONGITUDINALES	293140
LÁMINAS	1243820
TOTAL	4300368

Después del proceso de cálculo se llega a la conclusión de que el conjunto del dique vacío pesa 4300 toneladas. Un resultado aceptable ya está por debajo del valor estimado al inicio del diseño preliminar (5166 toneladas).

Estos resultados suponen que hay suficiente empuje del agua para varar el buque de 7000 toneladas. El cálculo para llegar a esta conclusión es el siguiente.

$$\text{Empuje inicial} = 4300 \text{ Ton}$$

$$\text{Empuje final} = 12742,8 \text{ Ton}$$

$$\text{Fuerza ascensional} = \text{Empuje final} - \text{Empuje inicial} = 8442,8 \text{ Ton}$$

Este resultado es engañoso porque no quiere decir que el dique pueda levantar un buque de 8400 toneladas. El resultado solamente confirma que el dique puede varar



7000 toneladas, ya que si se quisiera varar un buque mas pesado, la carga aumentaría y la estructura optimizada del dique no resistiría.

El siguiente paso es calcular hasta qué altura se llenan los tanques de lastre del costado. Para saber qué volumen de lastre se necesita para sumergir el dique se tiene que calcular el empuje que ejerce el agua al dique sumergido y restarle el desplazamiento del dique. El resultado será el peso total de agua de lastre. Si se quiere conseguir encontrar la altura de agua en los costados simplemente se tiene que restar el peso del agua almacenada en toda la zona de la pontona. Una vez obtenido el peso de agua de los costados se encuentra la altura con las operaciones:

$$\text{Peso agua costados} = 130 \text{ Ton}$$

$$H = \frac{\text{Peso agua costados}}{2 \cdot L \cdot B \cdot \rho} = \frac{130}{2 \cdot 120 \cdot 3 \cdot 1,025} = 0,18 \text{ m}$$

IV. SERVICIOS Y SISTEMAS DEL DIQUE



4.1. GENERALIDADES DE LOS SERVICIOS

Los diques flotantes necesitan para tener en todo momento de una estabilidad y asiento adecuado; de unos tanques repartidos por su pontona y costados en sentido longitudinal y transversal. Estos tanques que van duplicados a babor y estribor y son estancos al agua de mar se llaman tanques de lastre. Además de disponer de tanques para el agua, se necesitan bombas, válvulas, grifos, pianos de válvulas, red de tuberías, etc. que constituyen los servicios y equipos de un dique. A continuación se estudiarán los distintos servicios con independencia para después coordinarlos entre ellos.

MATERIALES DE LAS TUBERÍAS

Los materiales usados en las tuberías de agua dulce son de acero y acero galvanizado. En los de agua salada se usaba el acero, pero modernamente se usan las aleaciones de latón-aluminio y las de cobre-níquel.

UNIONES DE TUBERÍAS

Las uniones de los tramos se hacen mediante “bridas”, que para su estanqueidad irán dotadas de frisa de goma u otro material conveniente. Las bridas se unen entre si por varios pernos roscados. A veces se necesita independizar un tramo de tubería, y se hace mediante una “brida ciega”, con lo que el líquido no puede pasar a través de ella una vez puesta.

PRUEBAS DE TUBERÍAS

Se hará con 1,5 veces su presión de cálculo. Las tuberías de achique y lastre se probarán con la presión máxima de servicio.

PROTECCIÓN DE LAS TUBERÍAS

En las tuberías del servicio de agua salada de acero galvanizado, la velocidad de circulación no será superior a 3 m/s y las de cobre a 2m/s. El trazado y tendido de las tuberías se hace de forma que no haya cambios bruscos en la sección ni haya estancamientos. La superficie interior de las tuberías es muy lisa, para evitar pérdidas de carga, especialmente en las juntas.



VÁLVULAS Y GRIFOS

Irán colocados en lugares visibles y accesibles para su maniobra, control y observación. Las válvulas y grifos se cierran mediante volantes u otro sistema, rotando en el sentido de las agujas del reloj. Tanto el circuito como las válvulas llevarán rótulos que indiquen los aparatos y circuitos al que pertenecen.

TOMAS DE MAR

Van fijadas directamente al forro, tanto para aspiración como para descarga. Esas fijaciones se hacen sobre cajas de acero adosadas al forro. Las tomas de mar llevan rejillas de aspiración. El área de paso a través de ella no será inferior al doble de la sección total de todos los tubos de aspiración conectados a dicha toma de mar. Los tornillos de fijación llevarán dispositivos de frenado y anticorrosión.

4.2. SERVICIOS DEL DIQUE

4.2.1. AGUA DULCE

El servicio de agua dulce es muy importante en un dique flotante. Por un lado da servicio al buque que se está reparando y por otro lado ayuda al funcionamiento y mantenimiento del propio dique. El circuito de agua dulce es identificado con el color verde.

4.2.1.1. *SERVICIO AL DIQUE*

El agua dulce que llega al dique proviene de la red de distribución de agua sanitaria del puerto. Por lo tanto en el circuito de agua dulce habrá la presión de agua que haya en la red.

El elemento crítico de la instalación de agua dulce es la conexión de tierra al dique. Esta unión debe permitir el movimiento vertical, transversal y longitudinal para permitir el desplazamiento del dique flotante en sus condiciones de operación.

La tubería de agua dulce llega al muelle del astillero y mediante un tramo vertical se sumerge en el agua. Al finalizar el tramo de tubería rígida hay una unión con una tubería flexible, que termina a la conexión que hay en la pontona del dique. El esquema se representa en la *Imagen 27*.

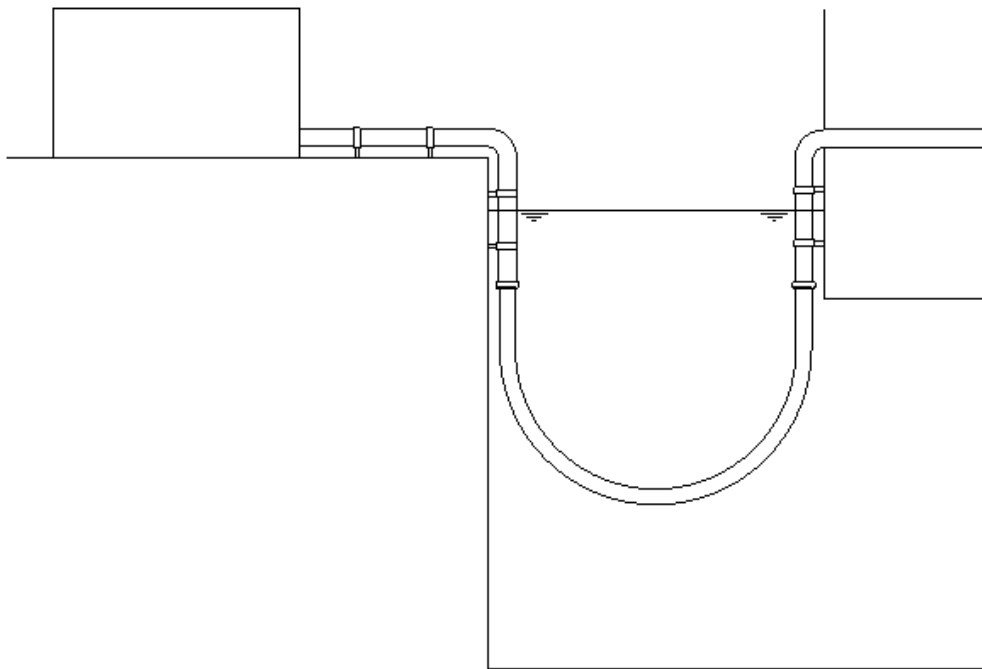


Imagen 247: Tubería flexible

Una vez el dique está conectado a puerto, el circuito de agua dulce se dispone de forma anular, de tal manera que de una tubería salen bifurcaciones que dan servicio al resto de secciones del dique y a los dos costados. La comunicación de un costado con el otro se hace mediante tramos de tubería que pasan por el espaciado entre las secciones de las pontonas. Por motivos de seguridad y mantenimiento, se hacen 3 comunicaciones entre los costados.

Es importante diseñar el entrelazado de tuberías con varias válvulas de tal forma que faciliten la fabricación y reparación de las tuberías. Además, deben de disponerse de tal forma que permitan el cierre o paso del agua a las zonas deseadas.

Otro punto a tener en cuenta son las tomas de agua dulce que darán servicio al dique. Tiene que haber tomas de agua en los costados para dar servicio a las distintas secciones de pontona y también tiene que haber conexiones en la parte superior interior de los costados. El servicio que proporciona el agua dulce al dique es el de baldeo o limpieza de elementos o piezas que deban ser protegidos de la corrosión que les pueda causar el agua de mar.

La disposición del circuito de agua dulce se adjunta en el **Plano 4**.



4.2.1.2. SERVICIO AL BUQUE

El agua dulce da servicio a otro gran consumidor, el buque. Gracias a las 2 bocas de agua dulce que hay por cada sección de pontona y mediante mangueras se puede abastecer los distintos consumidores y espacios del buque. Los espacios y elementos que se alimentan de agua dulce son:

- Tanques de agua dulce.
- Tanques de aprovisionamiento de agua de alimentación.
- Tanques de presión para separadoras.
- Tanques de expansión para refrigeración de motores, chumaceras, etc.
- Puntos de consumo del buque.
- Servicio de refrigeración de los distintos elementos.
- Servicio agua fría dulce sanitaria.
- Servicio de vapor.

Así pues, el buque puede realizar maniobras y operaciones con el agua dulce al mismo tiempo que tiene parada toda la planta.

4.2.2. AGUA SALADA

En el conjunto dique-buque hay numerosos servicios alimentados por agua salada que están interconectados entre sí. A continuación se procederá a una minuciosa descripción de ellos.

4.2.2.1. CIRCUITO AGUA SALADA

El inicio del circuito empieza en un par de tuberías situadas por debajo de la superficie del agua. Estos conductos son rígidos y se dirigen a un recinto del muelle dónde hay la instalación de bombas con sus elementos de medición y su cuadro eléctrico.



Imagen28: Sistema de agua salada

Hay 2 bombas de presión y 2 bombas de caudal.

Siempre tiene que haber una bomba de respeto de cada tipo por normativa en caso de hubiera imprevistos en alguna de las bombas. Gracias al cuadro eléctrico se puede accionar todas las bombas de forma independiente y combinarlas para casos puntuales. En régimen normal de trabajo las bombas mantienen el sistema de agua presurizado a 10 kg/cm^2 .

Después de las bombas hay las tuberías de descarga que se identifican con el color rojo. Estas tuberías conectan con el dique de la misma forma que lo hacen los conductos de agua dulce, es decir, mediante conexiones flexibles que permitan

el movimiento.



Imagen 25: Bombas de presión y caudal del sistema de agua salada.



Una vez el circuito ha llegado al dique flotante, tiene que hacerse un diseño de tuberías que permita abastecer de agua salada el interior de los costados y todos los espacios de las distintas secciones de pontona. Para ello se disponen de las tomas de agua salada cada 15 metros en la parte inferior y superior de los costados. En el **Plano 4** se aprecia su disposición.

4.2.2.2. SERVICIOS

CONTRAINCENDIOS

Actualmente se le presta al contraincendio una gran atención, y sus instalaciones así como su mantenimiento son vitales para la seguridad del conjunto dique-buque.

El Convenio de la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SEVIMAR) y Safety of Life At Sea (SOLAS) ponen al día estas instalaciones. Los Reglamentos de las Sociedades de Clasificación, igualmente aumentan sus exigencias, de acuerdo con las “recomendaciones” de la IMCO (Intergubernamental Maritime Consultive Organization), que periódicamente expiden normas y consejos.

Existen variados procedimientos para sofocar los incendios, teniendo en cuenta el lugar donde se produce y el tipo del mismo; pero lo común en su efectividad es la prontitud de actuar sobre los mismos. Para que un incendio tenga lugar y posteriormente se desarrolle, se tienen que unir imprescindiblemente tres elementos que son:

- a) El Combustible.
- b) El Oxígeno.
- c) La Temperatura o fuente de ignición.



Si se representan los elementos por lados de una figura, no habrá fuego, como no habrá triángulo, hasta que no se unan los tres lados o los tres elementos, por eso se le llama el triángulo del fuego. Igual que separando un lado cualquiera ya no hay triángulo, si se elimina un elemento tampoco hay fuego.

En general el método de extinción está dirigido contra los tres lados o elementos que representan el llamado triángulo de fuego. Uno de ellos, el combustible no es posible eliminarlo aunque si disminuirlo (usando materiales ignífugos). Debido a esto, la extinción hay que efectuarla eliminando los otros dos, mediante los siguientes métodos:

- Enfriamiento (elimina la temperatura de ignición).
- Sofocación (elimina el oxígeno).



El enfriamiento usa agua como elemento básico y la sofocación usa otros elementos como el CO₂, vapor de agua, gases inertes, espuma, polvo seco y arena. En el caso del dique flotante es preferible utilizar el método de enfriamiento debido a la abundancia de agua que puede ser usada de las siguientes formas:

- a) Por inundación.
- b) Chorro con manguera.
- c) Niebla de alta velocidad. Un repartidor metálico en la boca de la manguera, que según la posición produce chorro o agua pulverizada, conocida como niebla de alta velocidad.
- d) Niebla de baja velocidad. Consiste en lluvia de agua por medio de rociadores o lanzaderas.

La presión exigida en los circuitos de agua es como mínimo de 7 Kg/cm² para obtener estas nieblas. A veces se necesita agua dulce en el circuito de contraincendios para producir “niebla espuma” (mezcla de agua y líquido espumógeno). El método escogido y que más se ajusta a las características y facultades del dique es el enfriamiento por inundación.

Una vez el buque esté varado en el dique, también se dispone del método por sofocación ya que los buques montan estos sistemas en su servicio contraincendios. Por lo tanto, si hubiera un incendio en el dique se podría actuar con varios sistemas.

BALDEO

Otra función que se le puede dar al circuito de agua salada es el de baldeo. Mediante mangueras y lanzaderas conectadas a las bocas de descarga del circuito, se puede hacer la limpieza de cadenas, anclas, picaderos y otros. Las operaciones de baldeo ayudan considerablemente al mantenimiento de los elementos alargando su vida útil.

Normalmente la presión en la tubería de contraincendio durante la operación de baldeo, es de 2 a 3 Kg/cm², pero se puede elevar en caso necesario.

ACHIQUE DE SENTINAS

Este servicio está perfectamente reglamentado por el SOLAS y en España por las normas de aplicación de SEVIMAR. Aunque el Reglamento está referido a buques, se puede extrapolar algunos términos a los diques flotantes.



El dique flotante que se está estudiando no dispone ni de instalaciones sanitarias, ni de tanques de fluidos como combustible o aceite, ni de líquidos contaminantes que no se puedan verter al mar. A pesar de eso, se ha considerado oportuno diseñar unos pocetes a lo largo del pasillo interior de los costados para recolectar algún posible fluido que se vierta. El método para achicar los fluidos de los pocetes es mediante unos eyectores (*Imagen 30*).

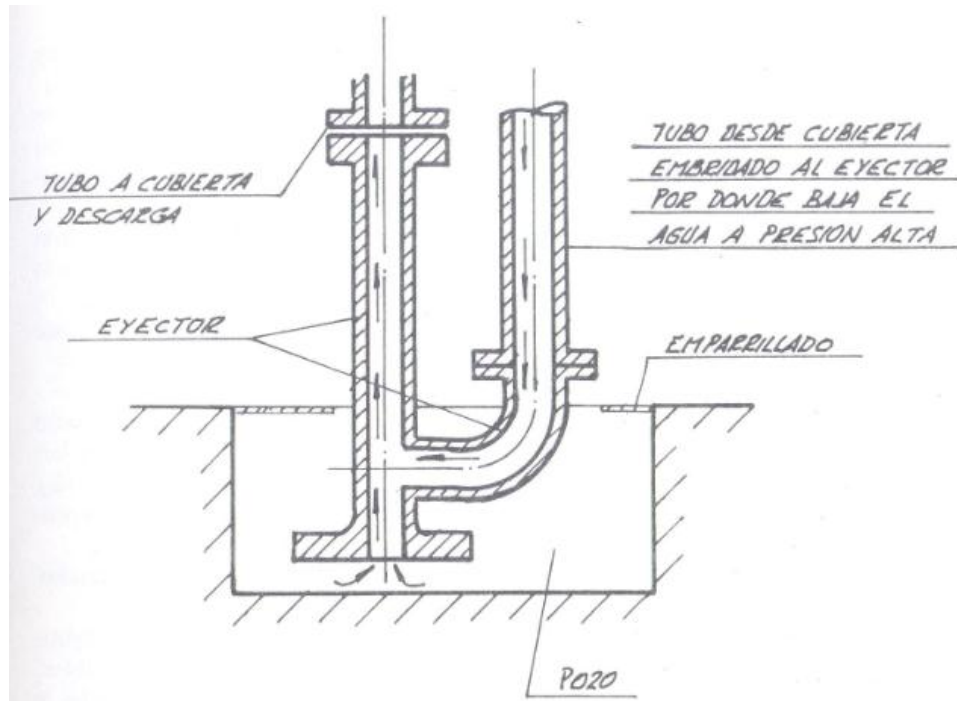


Imagen 30: Eyectores

El eyector es un tramo de tubería con 3 orificios: el de llegada, el que actúa en el pocete y el orificio de descarga. El agua baja a alta presión por la tubería que conecta con la entrada del eyector. Una vez el agua a presión pasa por el orificio del pocete genera una succión al fluido que pueda haber ya que debido a su velocidad genera una depresión. El fluido de sentinas va siendo aspirado y mezclado con el circuito de agua que posteriormente se dirige a la descarga.

La tubería de descarga se dirige directamente a la mar si no hay demasiado porcentaje de contaminantes en el agua, no obstante si es suficiente contaminante, se dirige a una separadora de sentinas montada en tierra. Como no hay un circuito independiente de sentinas, los eyectores aspiran del circuito principal de agua salada. Estos eyectores montan unas válvulas que se pueden accionar manualmente pero habitualmente se accionan desde la sala de control.



Si hubiera algún vertido en otros espacios como las cubiertas de costado o de la caseta de control, existen unos imbornales con sus rejillas de filtraje que desaguan al pocete de sentinas más próximo hacia donde resbalará el líquido por gravedad.

TANQUES AGUA SALADA DEL BUQUE

La llegada de agua al buque es fundamental para sus operaciones y para su estabilidad y asiento. Una vez el buque está varado en el dique flotante no dispone de medios propios para abastecerse de agua. Gracias a las conexiones con el sistema de agua salada del dique se puede introducir este fluido en el buque.



Imagen 261: Sistema de tubería del dique flotante

En un barco hay muchos espacios y medios que necesitan agua. Una vez conectada la línea del dique al buque, se podrán lastrar los tanques de ala, los tanques de pique de proa y popa, los tanques inferiores, los tanques de fondo e incluso los tanques y bodegas de combustible. De esta manera, el buque será capaz de realizar ciertas operaciones mientras es reparado.

Además, lastrando y deslastrando los distintos tanques del buque se puede evitar que el dique sufra momento de arrufo o quebranto. Es decir, si solamente se lastran los tanques de proa y de popa del buque, el dique sufrirá unas fuerzas en sus extremos y padecerá un momento quebranto. Si por el contrario el buque deslastra los tanques más externos y lastra los del medio de su eslora, el dique tenderá a sumergirse por la parte central ya que trabajará en arrufo.



4.2.3. AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido se refiere a una tecnología o aplicación técnica que hace uso de aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor. En la mayoría de aplicaciones, el aire no sólo se comprime sino que también se deshumifica y se filtra. El uso del aire comprimido es muy común en la industria, su uso tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido, aunque es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no permite fuerzas grandes.

4.2.3.1. ELEMENTOS Y CIRCUITO DEL SERVICIO

En el sistema de aire comprimido instalado en el dique flotante hay distintos elementos montados que a continuación se citarán.

Se dispone de un compresor principal de 75 cv que comprime el aire. Este compresor tiene su propio recinto dentro del astillero y va acompañado del compresor secundario, de 55 cv. La función del secundario, además de permitir seguir comprimiendo aire si el principal fallara, es complementar el principal. Es decir, si hay casos en los que se requiere un consumo superior al que puede ofrecer el compresor principal, el secundario se pone en marcha para ayudar a dar el servicio deseado.



Imagen 272: Compresor principal



El espacio de los compresores está aislado y bien ventilado para evitar riesgos. Además, en el almacén del astillero siempre habrá como mínimo un compresor portable más por si fuera necesario. Puede ocurrir que algún sistema del buque varado necesite mucha presión de aire comprimido y se tenga que utilizar el compresor portable, juntamente con el principal y secundario, para ayudar a conseguir el pico de presión requerido.



Imagen 28: Depósito de aire comprimido

El siguiente dispositivo instalado es el depósito de aire comprimido. Este elemento se monta a continuación de la tubería de descarga del compresor principal y secundario. Su función es almacenar el aire comprimido a la presión de descarga, para luego dar servicio a los distintos puntos del circuito. El depósito lleva un presostato que actúa sobre el compresor, parándolo o activándolo. Si la presión baja debido a que hay consumo de aire comprimido, el presostato envía una señal al compresor para que se ponga en marcha y siga alimentando el depósito. Una vez la presión del depósito llegue a la presión deseada, el presostato hace parar el compresor. Para que la presión del depósito no actúe sobre el compresor, en la tubería intermedia, se monta un dispositivo que permite el paso del aire comprimido hacia el depósito y que a la vez lo impide en sentido contrario. También es necesario instalar purgadores en el depósito y líneas de presión ya que durante la compresión del aire se condensa la humedad.



La presión máxima de diseño es de 15 Kg/cm^2 y la geometría es fundamental para soportarla. Las formas que resisten mejor la presión interna son las simétricas y secciones circulares, es decir, la esfera y el cilindro. La esfera no se utiliza en instalaciones de aire comprimido. La geometría utilizada es el cilindro porque resiste muy bien la presión y puede alargarse dependiendo de las necesidades. Además, las tapas del cilindro son esféricas ya que las formas curvas resisten mejor. En caso de no poder montar tapas esféricas, se instalan tapas planas con unos tirantes, unas varillas pasante que refuerzan las tapas.

Por lo que hace referencia a la distribución de tuberías hacia el dique, es importante saber que la conexión puerto-dique es flexible para permitir los desplazamientos y que las tuberías se diferencian por el color azul. Una vez el aire comprimido llega al dique, las tuberías discurren por la parte inferior de los costados dando servicio a distintos puntos de la pontona. Cada 15 metros hay una toma de aire comprimido. En el **Plano 4** se puede ver su esquema.

La función principal del sistema de aire comprimido es dar servicio al dique y permitir las reparaciones del buque. Además, se puede servir directamente a los sistemas del buque mediante tuberías flexibles.

4.2.3.2. SERVICIO AL DIQUE

Mediante los equipos mencionados anteriormente se da servicio a los distintos consumidores de aire comprimido. Básicamente hay dos grupos que se alimentan de este servicio: equipos de reparación y equipos de control.

Dentro de los equipos de reparación hay las pistolas neumáticas, que sirven para limpiar, pintar y cortar. También se utiliza este servicio en los talleres.

Por otra parte, existen todos los equipos de control accionados neumáticamente como son automatismos neumáticos y controladores. También puede haber alguna válvula accionada con aire comprimido pero lo habitual es mediante energía eléctrica.

4.2.3.3. SERVICIO AL BUQUE

El buque es alimentado de aire comprimido gracias a las tuberías flexibles exteriores que lo conectan al dique. Estas tuberías deben tener el espesor suficiente para resistir la presión que ejerce el fluido interior.

Las funciones, entre otras, del aire comprimido en el buque son:



- Arrancar el motor principal y los motores auxiliares.
- Arrancar el motor eléctrico.
- Arrancar el motocompresor, motobomba, etc.
- Parar inercia del motor al cambiar de adelante a atrás o inversa en motores reversibles.
- Limpieza.
- Talleres.
- Tanques hidróforos.
- Alarmas.
- Automatismos neumáticos y controladores.
- Local servomotor.
- Escalas reales
- Botes salvavidas.

A continuación se muestra la *Imagen 34* de un esquema general de la distribución del sistema de aire comprimido en un buque.

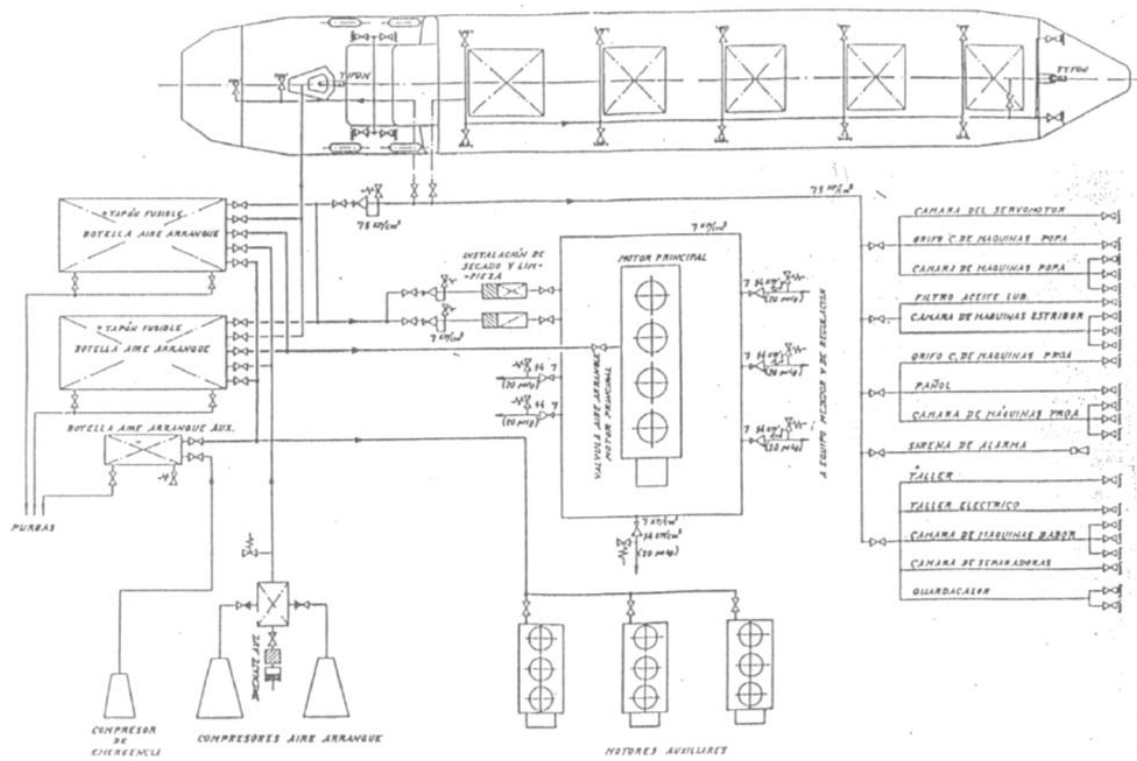


Imagen 294: Distribución sistema de aire comprimido



4.2.4. ELECTRICIDAD

La electricidad es otro parámetro indispensable en cualquier actividad tecnológica o industrial. La instalación eléctrica del conjunto astillero-dique-buque, que se estudiará a continuación detalladamente, debe cumplir dos condiciones:

- Ser una instalación segura
- Bajo ninguna circunstancia, la carga de los receptores pueda llegar a superar la energía generada.

En cualquier instalación eléctrica hay tres elementos que la integran:

- a) Elementos encargados de generar la energía para que la instalación sea operativa. Si la instalación no es autónoma, los elementos encargados de generar la energía no estarán presentes.
- b) Elementos encargados de distribuir la energía.
- c) Elementos receptores o consumidores de dicha energía.

Seguidamente se estudiarán los equipos que forman la instalación eléctrica y los servicios que dan al dique y al buque.

4.2.4.1. ELEMENTOS EN PUERTO

La electricidad que consumirá el conjunto dique-buque proviene de la red eléctrica, pero antes de llegar a los consumidores tiene que ser tratada.

El primer equipo que recibe la electricidad es el transformador. Su función es convertir la energía eléctrica que llega de alto voltaje a un voltaje de baja para poder distribuirlo. En concreto, el transformador instalado convertirá la electricidad que le llega a un voltaje de 380 V, una frecuencia de 50 Hz y una intensidad de hasta 600 A. El transformador se monta en la parte exterior del astillero para evitar daños mayores si ocurre un incidente.

Una vez se tiene la electricidad deseada, el transformador conecta con el cuadro eléctrico principal. Este cuadro principal gobierna toda la energía eléctrica del conjunto astillero-dique-buque. Es el encargado de distribuir la energía y tiene las siguientes finalidades:

- Repartir adecuadamente entre cada uno de ellos la carga existente en un momento determinado en la instalación.
- Distribuir a los diferentes receptores la energía.
- Transformar y rectificar la corriente en los casos necesarios.



- Conectar/desconectar los diferentes receptores en los casos necesarios.
- Controlar la instalación.



Imagen 35: Cuadro eléctrico principal

Otro elemento que incorpora la instalación es un generador de corriente a 60 Hz (Imagen 36).



Imagen 36: Generador de corriente a 60 Hz.



No todos los buques trabajan a 50 Hz, especialmente los americanos y japoneses usan la frecuencia de 60 Hz y es por eso que se necesita este generador. Este equipo genera energía eléctrica a través de un motor de combustión interna, por lo que se convierte en un grupo electrógeno.

El siguiente elemento a estudiar es la conexión eléctrica muelle-dique. Como ya se ha visto, el dique tiene un desplazamiento que impide instalar conexiones rígidas. En el caso de la energía eléctrica se utilizan cables de cobre recubiertos de material aislante para transmitir la electricidad. Una de las formas más simples, pero a la vez efectivas, de hacer esta conexión es mediante una torre y un cable resistente con un peso en su extremo. Este cable conecta el dique con la torreta y permite variar su longitud manteniéndose siempre tensado gracias al contrapeso situado en el interior de la torre.

Una vez montado este sistema, solo queda colgar el cableado eléctrico al cable resistente mediante unas poleas. Estas poleas, juntamente con el sistema del contrapeso, permitirán la elongación o contracción de la red eléctrica.

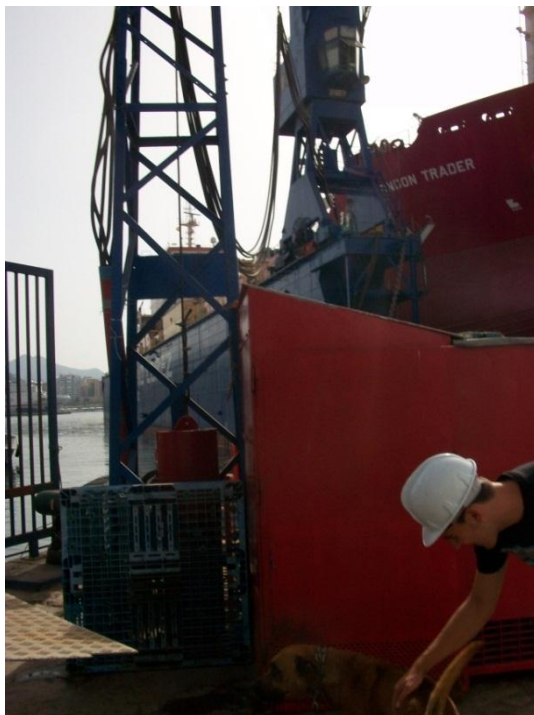


Imagen 30



Imagen 38: Conexión eléctrica puerto-dique



4.2.4.2. SERVICIO AL DIQUE

Ahora que el dique ya dispone de energía eléctrica se tiene que diseñar su red y distribución. En primer lugar el cableado eléctrico se dirige, por el interior del costado, hacia el cuadro eléctrico principal del dique. Este cuadro eléctrico tiene las mismas funciones que el cuadro principal de tierra, pero solamente gobernará sobre el conjunto dique-buque.

Una vez situado el cuadro principal del dique, se diseña una red con forma de ramal que abastece todos los espacios del dique. El objetivo es montar un cuadro eléctrico secundario en cada sección de pontona, y en ambos costados.



Imagen 319: Cuadro eléctrico de un módulo

La distribución se representa en el **Plano 5**.

Los consumidores o receptores de energía eléctrica se distribuyen en:

- a) Elementos de fuerza: transforman energía eléctrica en mecánica.
 - Servicios de bombas: funcionamiento bombas centrífugas.
 - Servicios de cubierta: grúas, cabrestantes, etc.
- b) Elementos de alumbrado: iluminan zonas interiores y exteriores, utilizan 220 V.



- c) Servicios especiales: todo lo que hay en la sala de control, aparatos de cálculo y comunicación. Utilizan 12 V.



Imagen 32: Dispositivo de control



Imagen 41: Control de lastre

4.2.4.3. SERVICIO AL BUQUE

El buque no dispone de su planta mientras esta siendo reparado ya que sus grupos electrógenos y otros generadores de energía eléctrica están parados. Entonces, el servicio de energía eléctrica es básico para las distintas actividades que se realizan. La conexión eléctrica entre el dique y el buque también se hace mediante una conexión elástica.

Una vez el cableado está en el buque, se dirige al cuadro eléctrico principal. Allí ya da servicio a todos los consumidores y receptores de buque, que también se clasifican en elementos de fuerza, elementos de alumbrado y servicios especiales.



4.3. SISTEMAS DEL DIQUE

Una vez estudiados los servicios del dique es importante conocer qué sistemas monta el dique y cuáles son sus elementos. Los principales sistemas instalados en el dique flotante son el sistema de lastre y el sistema de deslastre o achique. A continuación se estudiarán detalladamente.

4.3.1. LASTRE

El lastre es un sistema que se desplaza en el plano vertical u horizontal, aumenta o disminuye, el valor de masa del centro de gravedad de un cuerpo frente a un medio.

4.3.1.1. EQUIPOS Y ESPACIOS

El primer elemento a estudiar son los tanques de lastre. Los tanques de lastre son los espacios cerrados destinados a almacenar el agua de lastre. Estos, se distribuyen en el interior de la pontona y los costados como se muestra en el **Plano 6**.

Como se observa en el plan del dique flotante, hay un total de 32 tanques de lastre, es decir, 4 tanques por sección: 2 tanques centrales, a babor y a estribor, y 2 tanques laterales. Los tanques centrales se sitúan en la pontona y adyacentes a crujía. En cambio, los tanques laterales están compuestos por la pontona y el costado, formando una figura de “L” vistos de perfil.

Cada tanque es independiente de los demás para poder controlar correctamente el asiento y la escora del dique. El tanque lateral también está dividido por el mamparo que separa la pontona del costado, pero a la vez, dispone de una válvula que permite su conexión. Se puede ver en la *Imagen 42*.

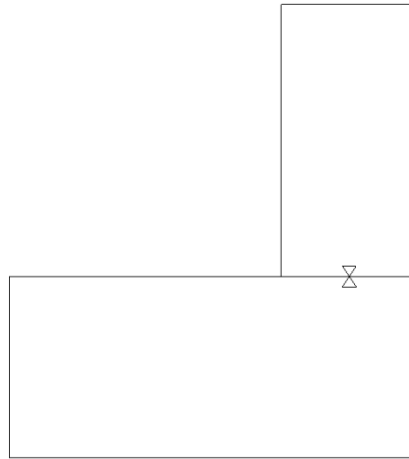


Imagen 332: Válvula de paso

Otro elemento imprescindible para el sistema de lastre es la instalación de venteo (**Plano 7**). Para poder introducir el lastre en los tanques es necesario que haya un orificio para que el aire interior pueda ser evacuado. Para ello se instalan unos conductos en la parte superior del tanque que comunican al exterior saliendo por la cubierta del costado y con la forma de “cuello de cisne”.

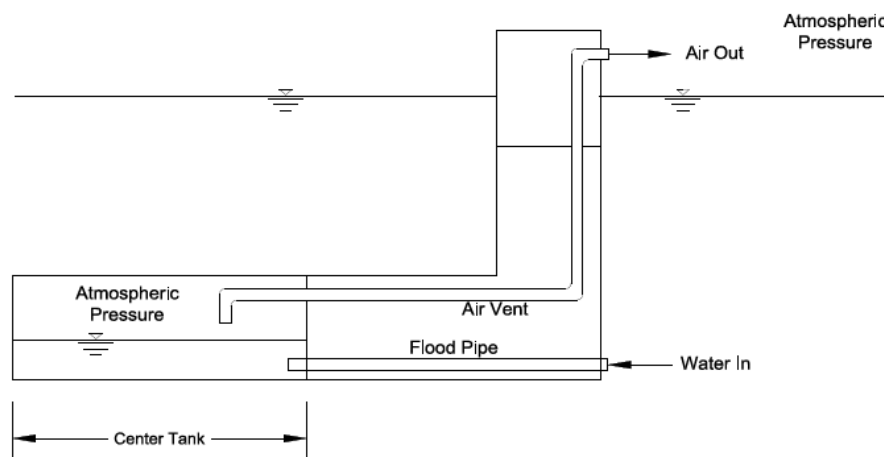


Imagen 43: Esquema de venteo

El siguiente elemento a estudiar es el colector principal. Su función es recibir el agua de lastre y distribuirla a los distintos espacios. Este ramal de tuberías incorpora válvulas de paso y tomas de mar. Su esquema se representa en el **Plano 8**.

Hay 4 válvulas que permiten el paso del fluido a los 4 tanques y cada una está gobernada eléctricamente y montada en el piano de válvulas, como se muestra en la **Imagen 44**.



Imagen 44: Piano de válvulas

Las válvulas también llevan un sistema de accionamiento manual para poder operarlas en casos especiales o de emergencia.

4.3.1.2. MANIOBRA DE LASTRE

La operación de lastre empieza en la toma de mar que hay en la parte inferior del costado. Esta caja de mar dispone de un filtro para evitar que sólidos puedan entrar en las tuberías y provoquen daños. A continuación de la toma de mar se abre la válvula de aspiración, también accionada eléctricamente.



Imagen 45: Válvula de aspiración

Una vez abierta, el agua llega al colector principal dónde se encuentra con las válvulas de distribución a los tanques. Dependiendo de que válvulas se abran, se lastrarán los tanques correspondientes. Las tuberías de distribución cruzan los mamparos de forma estanca para mantener la estanqueidad de los tanques.

La inundación de los tanques se realiza por gravedad, es decir, por diferencia de presión. En el tanque de lastre hay la presión atmosférica y en la toma de mar hay la presión atmosférica más la presión hidrostática que ejerce la columna de agua por encima de la toma de mar.

En cada sección del dique se instala su propio sistema de lastre y se va alternando su disposición a lo largo del dique. Es decir, en la primera sección, el colector principal se sitúa a un costado, y en la siguiente sección se monta en el otro costado. Con esta técnica se consigue una mejor distribución de pesos a lo largo de la eslora del dique.



4.3.2. DESLASTRE/ACHIQUE

Deslastar o achicar consiste en extraer un fluido de un espacio cerrado. En el caso del dique flotante, el objetivo es retirar el agua de lastre de los tanques para reducir el peso del dique y empezar a subir el artefacto flotante.

4.3.2.1. EQUIPOS Y ESPACIOS

El sistema de deslastre utiliza la misma instalación que el sistema de lastre, con la única diferencia que incorpora una bomba centrífuga y una válvula de descarga.

La válvula de descarga se monta justo después de la bomba y conduce el fluido hacia el exterior del dique por una abertura lateral. Esta electroválvula también permite ser accionada manualmente en casos puntuales.

El colector principal que conecta con las válvulas de distribución a los tanques, también conecta a la bomba centrífuga.

4.3.2.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

Las bombas de desagüe más ideales para este fin son generalmente del tipo axial de flujo mixto o una hélice, que operan a altas velocidades específicas donde la velocidad específica se define como la velocidad en revoluciones por minuto. La función de las bombas es evacuar grandes cantidades de agua, lo mayor rápido posible, bajo unas condiciones variables. A continuación se calcula la potencia máxima de la bomba autocebante de eje vertical.



Imagen 34: Bomba centrífuga



Imagen 47: Diseño de la bomba

Cada bomba tiene que ser capaz de deslastrar 4 tanques. Para empezar a dimensionar las tuberías y calcular los caudales se fija la variable del tiempo de deslastre. Los tanques centrales no suponen ningún problema de cálculo ya que son rectangulares; en cambio, los tanques laterales tienen la geometría de "L". Para simplificar el cálculo, primero se estudiará el lastre del costado que hay por encima la línea de la pontona, y luego el resto, para finalmente sumarlos.

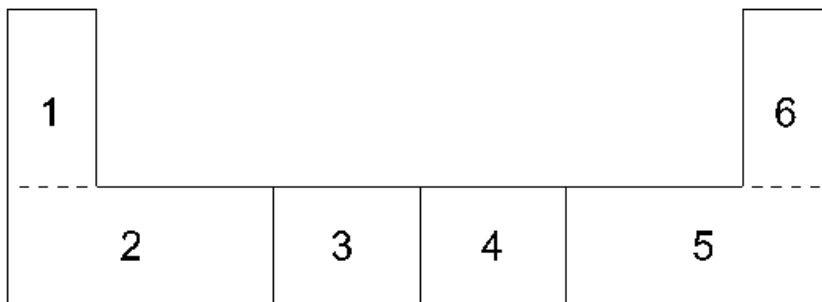


Imagen 35

En base al dique visitado, se ha establecido que el tiempo para deslastrar la zona 2 sea 1 hora (3600 segundos). Para mantener la estabilidad, el asiento y el trimado del dique en la maniobra de varada, las zonas 3, 4 y 5 también deben vaciarse en 1 hora. Como los tanques 2 y 3 no son geoméricamente iguales y tienen que vaciarse en el mismo tiempo, se dimensionarán sus tuberías de forma independiente.



La ecuación que determina el tiempo de achique es:

$$T = \frac{2 \cdot A_{wp} \cdot \sqrt{H}}{C_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}}$$

Dónde:

A_{wp} : Área de la superficie del agua que hay en los tanques rectangulares.

H: Diferencia de altura entre el nivel máximo y mínimo de agua.

C_o : Constante, que para secciones circulares equivale a 0,6.

A_o : Área de la sección circular de paso.

g: Gravedad, 9,81 m/s².

Una vez fijado el tiempo, se puede dimensionar la tubería de la zona 2 sabiendo que:

$$A_o = \pi \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot A_{wp} \cdot \sqrt{H}}{C_o \cdot \pi \cdot T \cdot \sqrt{2 \cdot g}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9 \cdot 15 \cdot \sqrt{4}}{0,6 \cdot \pi \cdot 3600 \sqrt{2 \cdot 9,81}}} = 0,134 \text{ m}$$

Como los tanques intermedios tardan el mismo tiempo, se calcula el radio de la tubería instalada con la misma ecuación, variando el A_{wp} y da 0,1 metros.

La zona 2 está en el mismo tanque que la zona 1 por lo que utilizan la misma sección de tubería. Sabiendo eso, se puede calcular cuanto tiempo tarda la zona 1 en vaciarse. Conocemos que el agua de lastre llega a una altura de 0,18 metros sobre el costado en régimen normal. Puede ocurrir, en casos puntuales, que por alguna razón los tanques centrales no se pudieran inundar completamente y se tuvieran que utilizar los tanques de ala. En este caso, se estima que el agua de lastre pudiera llegar a 3 metros sobre el costado.

$$T = \frac{2 \cdot A_{wp} \cdot \sqrt{H}}{C_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 15 \cdot \sqrt{3}}{0,6 \cdot \pi \cdot 0,134^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} = 1039,78 \text{ seg} = 17,3 \text{ min}$$

Sumando el tiempo de la zona 1 y 2 se obtiene el tiempo total de achique, es decir, 1 hora y 17 minutos.



Al tener dimensionadas las tuberías de los 4 tanques, ya se puede calcular el caudal máximo que pueden aportar al colector general. A continuación se hace el cálculo del caudal de un tanque central (el otro tiene el mismo caudal).

$$Q = C_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = 0,6 \cdot \pi \cdot 0,1^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4} = 0,167 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal se expresará en pies cúbicos por segundo, es decir, 5,897 ft³/s. Este caudal supone una velocidad máxima de 17,44 pies por segundo (fps), la cual es razonable ya que es inferior a 25 fps.

Si se hace la misma operación con los tanques laterales, el resultado es 9,17 ft³/s y una velocidad de 15,1 fps.

Ahora que ya se dispone de los 4 caudales máximos se puede calcular el caudal máximo de la bomba utilizando la teoría de mecánica de fluidos.

En el colector hay 4 entradas y una salida, por lo tanto:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 = \dot{m}_b$$

Como $m_1=m_2$ y $m_3=m_4$:

$$2 \cdot \dot{m}_1 + 2 \cdot \dot{m}_3 = \dot{m}_b$$

$$2 \cdot \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 + 2 \cdot \rho_3 \cdot A_3 \cdot v_3 = \rho_b \cdot A_b \cdot v_b$$

La densidad es la misma para todos los casos, por lo que la ecuación se simplifica a:

$$2 \cdot Q_1 + 2 \cdot Q_3 = Q_b$$

$$Q_b = 2 \cdot [5,897 + 9,17] = 30,134 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Una vez obtenido el caudal máximo de la bomba en pies cúbicos por segundo se hace la conversión a galones por minuto.

$$Q_b = 30,134 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{3,2808^3 \text{ ft}^3} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ galón}}{3,7854 \text{ L}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 13525,6 \text{ GPM}$$

La ecuación que determina la potencia de la bomba es:

$$P_b = \frac{\text{GPM} \cdot H_D \cdot \text{sg}}{3960 \cdot \text{Eff}}$$



Donde:

GPM: Caudal máximo en galones por minuto.

H_D : Altura de la columna de agua por encima de la bomba, en pies.

sg: Densidad específica del fluido, en este caso, de agua de mar en condiciones normales.

Eff: Rendimiento de la bomba; en este tipo de bombas centrífugas suele ser de 0,7.

Resolviendo.

$$P_{max} = \frac{13525,6 \cdot 23 \cdot 1,025}{3960 \cdot 0,7} = 115,03 \text{ HP}$$

Esta potencia tiene las unidades de "Horse Power", es decir, caballos de vapor (cv) y se hace la conversión a quilovatios (KW).

$$P_{max} = 115,03 \text{ HP} \cdot \frac{745,7 \text{ W}}{1 \text{ HP}} \cdot \frac{1 \text{ KW}}{1000 \text{ W}} = 85,78 \text{ KW}$$

Finalmente se obtiene la potencia máxima de diseño de la bomba.

El accionamiento mecánico de la bomba lo produce un motor eléctrico que se sitúa en su vertical. Si el motor se dispone cerca de la bomba, tiene que diseñarse un espacio estanco al agua. En cambio, si no hay la posibilidad de diseñar este espacio, el motor se instala encima de los tanques de lastre del costado y comunica con la bomba mediante una transmisión vertical.

El motor dispone de unas lámparas disipadoras de calor, que mantienen la temperatura ideal de trabajo. Además, el espacio de trabajo es húmedo y puede haber condensación en el motor i provocar problemas. Estas lámparas, si hubiera condensación, tienen la capacidad de evaporar el agua.

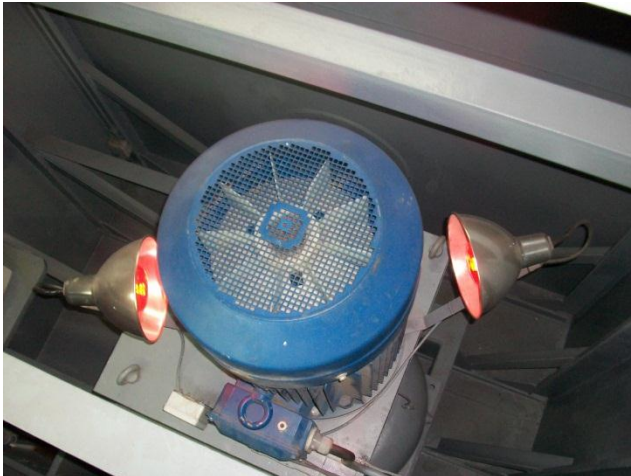


Imagen 49: Lámparas disipadoras de calor



Imagen 50: Motor eléctrico

4.3.2.3. MANIOBRA DE DESLASTRE

Una vez se quiere ascender el dique empieza la maniobra de deslastre o achique. El primer paso es asegurarse que la válvula de aspiración está cerrada. Luego se abren las válvulas correspondientes a los tanques que se quieran deslastar y en ese momento se arranca el motor que actúa sobre la bomba centrífuga. La bomba genera una depresión en el colector principal que permite la succión del agua de lastre de los tanques deseados.

Mediante unas sondas de nivel, se controla el nivel de los tanques. Una vez el nivel de agua es inferior al nivel de las campanas de aspiración, las válvulas de distribución se cierran. El agua residual del colector principal también es aspirada por la bomba. Es importante saber que el diseño de la bomba permite la entrada de aire, cosa que no provoca ningún problema.

En la salida de la bomba se genera una presión de descarga que permite la evacuación del fluido al exterior. Una vez ya no hay agua para achicar, la bomba centrífuga se detiene y se cierra la válvula de descarga para evitar que el agua del mar entre al circuito.

Con este sistema siempre quedará un poco de agua residual en los tanques de lastre pero es el sistema más utilizado.

V. PRESUPUESTO



Presupuesto

Al finalizar el diseño de la estructura y de los servicios del dique es importante estimar un presupuesto para obtener una orientación económica del proyecto elaborado.

El presupuesto que se calculará se divide en tres partes:

- Estructura.
- Picaderos.
- Elementos de los servicios.

La suma del presupuesto de la parte estructural y de los picaderos se divide en:

- Coste del acero A-42b.
Este apartado del presupuesto tiene por objetivo calcular el precio del material, en este caso acero A-42b, dispuesto por toda la estructura del dique. Teniendo en cuenta los precios existentes en el ámbito industrial se obtiene un precio medio de 1,25 €/Kg.
- Coste de preparación del material y montaje.
Dejando a un lado la materia prima, también requiere un coste la elaboración y preparación del material junto con su montaje. Estos factores se conocen comúnmente como la mano de obra. Analizando sus costes, se obtiene una media de 0,5 €/Kg.
- Coste de tratamiento del acero.
El acero siempre tiene que ser tratado dependiendo de qué uso se le dé y a qué condiciones esté expuesto. En el caso del dique hay que proteger el acero de agentes externos como la corrosión y la incrustación. Para evitar estos riesgos se usa un tratamiento que consiste en aplicar una capa de pintura al acero. El pintado específico del acero está en 0,15 €/Kg.

En la parte económica de los equipos de servicio se tendrá en cuenta el coste por unidad de cada elemento instalado. En este caso no se sumará la parte económica que representa el tratamiento porque los equipos están aislados de los factores externos ya sea por su diseño o por protecciones adaptadas, tipo casetas.



El presupuesto del dique flotante pretende representar el coste total de sus materiales y sus equipos, solamente. Para poder hacer este cálculo se debe especificar qué aspectos o factores no se tienen en cuenta en el presupuesto del proyecto, porque son variables dependiendo del lugar y método de construcción. Se prescindirá de los siguientes factores:

- a) Desplazamiento de material.
- b) Vigilancia.
- c) Coste de almacenamiento.
- d) Grúas y caseta de control.

Finalmente, se adjunta una tabla con el estudio del presupuesto detallado, para poder diferenciar los costes de cada ítem.



Presupuesto dique flotante

Estructura

- Secciones	Peso	€/kg	€
A	1105718,00	1,25	1382147,50
B	1620361,00	1,25	2025451,25
C	37329,00	1,25	46661,25
Total secciones			3454260,00 €

- Longitudinales	Peso	€/kg	€
Pontona	222676,06	1,25	278345,08
Fondo	66637,26	1,25	83296,58
Cubierta	850,37	1,25	1062,96
Costado	7453,89	1,25	9317,36
Total longitudinales			372021,98 €

- Planchas	Peso	€/kg	€
Vagras	158033,0256	1,25	197541,28
Varengas	77260,59	1,25	96575,74
Pontona	206948,00	1,25	258685,00
Fondo	263388,32	1,25	329235,40
Cubierta	39508,32	1,25	49385,4
Entrecubierta	39508,32	1,25	49385,4
Cubierta unión	39508,32	1,25	49385,4
Extremos	143107,70	1,25	178884,62
Costados	276557,81	1,25	345697,26
Total planchas			1554775,5 €

Presupuesto materiales	5381057,48 €
Presupuesto preparación y montaje	2152422,99 €
Presupuesto pintado específico	645726,90 €
TOTAL	8179207,37 €



Picaderos

	m	€/m -9,5x4,5 cm-	€
- Parte elástica (madera)	59216,84	3,61	213772,80
- Parte rígida(Acero)	57998,11	1,25	72497,64
Total picaderos			286270,44

Presupuesto materiales	286270,44 €
Presupuesto preparación y montaje	28999,05 €
Presupuesto pintado específico	8699,72 €
TOTAL	323969,21 €

Servicios

	Precio unidad	Unidades	Precio total
- Bomba centrífuga 100 HP	19126	8	153008
- Compresor principal 75 CV	23944	1	23944
- Compresor auxiliar 55 CV	15150	1	15150
- Bombas de caudal y presión	3410	4	13640
- Generador eléctrico 60 HZ	117000	1	117000
Total servicios			322742 €

Presupuesto materiales	322742,00 €
TOTAL	322742,00 €

TOTAL PRESUPUESTO 8825918,58 €



VI. Conclusiones Finales

Una vez realizado este proyecto, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Se ha cumplido el objetivo de hacer un diseño estructural de un dique flotante resistente a la varada de un buque de 7.000 toneladas de peso.

Este primer estudio estructural se ha centrado en la resistencia a la rotura del material escogido, Acero A42. Para continuar con el estudio estructural del dique, sería necesario comprobar el pandeo de los refuerzos y las láminas, pero este proceso queda excluido del proyecto.

Por otro lado, el peso final de la estructura es inferior al estimado en el inicio del estudio, consiguiendo así, que la fuerza ascensional obtenida sea superior a la deseada, 8443 toneladas.

Por lo tanto, el dique diseñado cumple todos los requisitos para varar buques de 7.000 toneladas siempre y cuando las dimensiones del buque lo permitan.

Con el fin de aprovechar al máximo la fuerza ascensional obtenida y ampliar el rango de trabajo del dique flotante, se debería comprobar si la estructura es resistente a un buque cuyo desplazamiento sea igual a la fuerza ascensional.

Se ha trabajado en la espiral de diseño para conseguir optimizar el modelo. Este avance ha permitido reducir el peso y el coste del conjunto.

Se ha confirmado que el diseño de los tanques de lastre es correcto, ya que hay suficiente espacio de lastre para realizar todas las operaciones de varada del dique flotante.

La estructura del dique flotante ha sido diseñada para trabajar en condiciones de abrigo. Por este motivo, los servicios necesarios para las actividades de reparación y mantenimiento del conjunto dique-buque, han sido montados en tierra ya que es más rentable, a pesar de impedir que el dique sea autónomo.

Finalmente, gracias a este trabajo de fin de carrera, se ha podido visitar un dique flotante realizando las maniobras de varada. Por todo ello, esta experiencia ha sido muy gratificante y útil académicamente.



VII. Bibliografía

Libros consultados:

- C.Díaz Fernández, *Teoría del buque*, Barcelona, 1972
- Carlos Otero Rivera, *Cálculo de estructuras marinas*, (A Coruña : J. B. Castro Ambroa y Copybelén, Servicio de Reprografía de la Universidad de A Coruña), DL 2000
- Jorge Mijangos Linaza, *Diques flotantes: diseño, novedades tecnológicas y funcionales*, Madrid: IIR Written Course, cop. 2008
- Joan Olivella Puig, *Teoría del buque: estabilidad, varada e inundación*, Barcelona: Edicions UPC, 1996
- Gaythwait, John W, *Design of marine facilities : for the berthing, mooring, and repairs*, New York : Van Nostrand Reinhold, cop. 1990
- Miguel Angel de la Huerga Mendoza, *Reparaciones y transformaciones navales*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2005
- J.M. Gere, "Timoshenko. Resistencia de Materiales", 5a ed. Ed. Paraninfo – Thomson. Madrid 2006
- M. Vazquez, "Resistencia de materiales", 4a ed. Ed. Noela, Madrid 1999

Página web

- www.hegerdrydock.com/dockmaster_training_manual.pdf
- www.marinetraffic.com/ais/es/default.aspx

VIII. ANEXOS

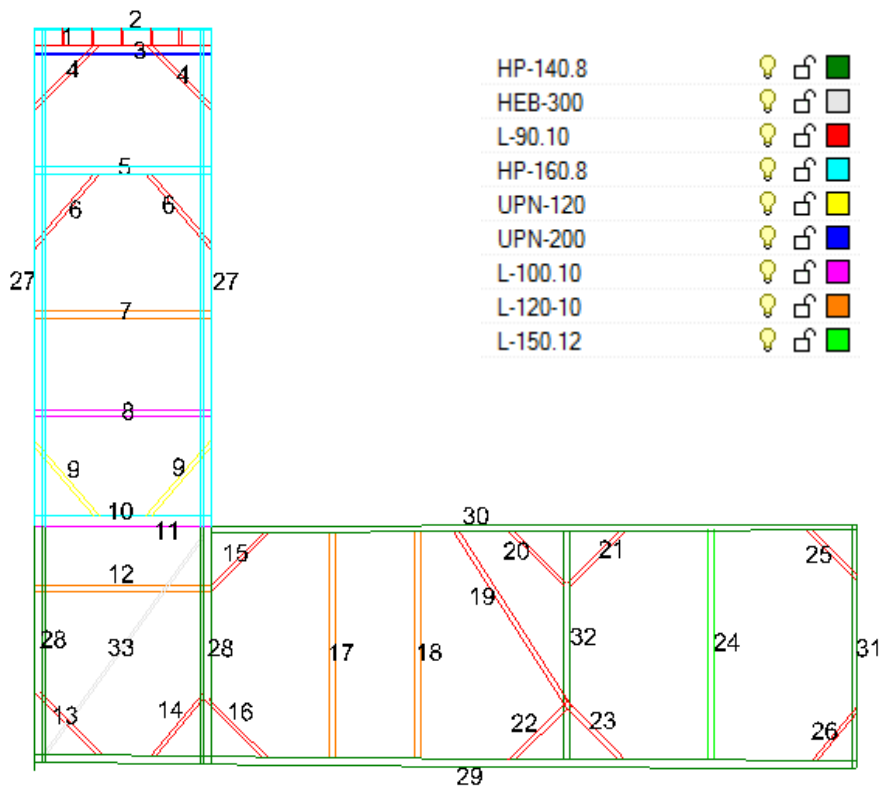


ANEXO 1

TIPOS DE CUADERNAS

SECCIÓN A

En una sección de dique (15 m), se cree conveniente diseñar varios tipos de cuadernas para resistir mejor los esfuerzos.



Las cuadernas genéricas se diseñan con la geometría descrita anteriormente. Empezando por la quilla, se diseñan 2 diagonales que ayudan a disipar los esfuerzos hacia el mamparo central. Luego se instalan unos puntales en la zona media entre mamparos para mejorar el reparto de peso y evitar que los refuerzos de cubierta sufran pandeo. A parte de las diagonales de los mamparos se diseña una diagonal de mayor longitud que tiene por objetivo reforzar la zona del picadero lateral y distribuir su energía. Si se sigue avanzando hacia el costado, se aprecia un mamparo longitudinal en la prolongación de la cara interior del costado. Este mamparo está aligerado por dos motivos, para reducir peso y para evitar la estanqueidad ya que no puede dividir el tanque lateral. La zona de unión entre la pontona y el costado se refuerza con un



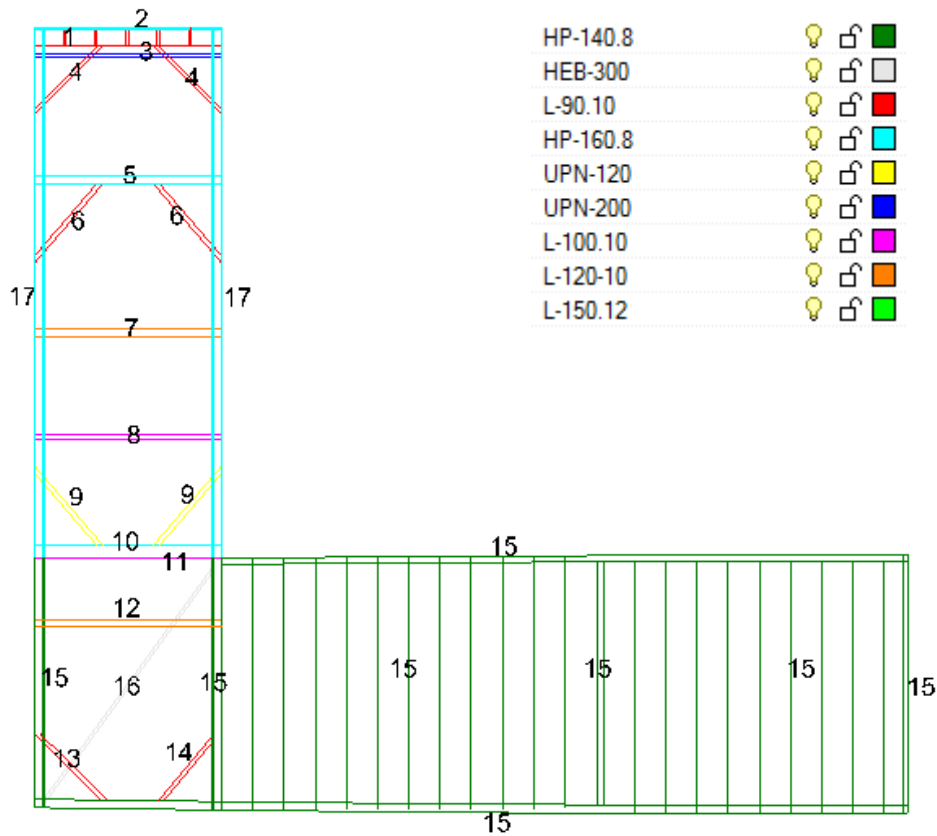
refuerzo horizontal y un mamparo para resistir los momentos que se generen entre los dos elementos. Además, este mamparo dispone de una válvula que permite el paso del lastre hacia el costado.

Por lo que hace referencia al costado, el espacio para el lastre se diseña con diagonales en las cuatro esquinas y unos puntales horizontales para resistir la presión interna del agua. En la parte donde termina el tanque, empieza el espacio entrecubierto donde se monta toda la maquinaria de servicios y donde hay los paños. Para soportar estos elementos y otros puntales se sobredimensiona los refuerzos que soportan el mamparo. Finalmente en la parte superior del costado hay un entramado de refuerzos con la finalidad de resistir todo el peso que pueda haber en la cubierta del costado, el peso y movimiento de la grúa y también se ha diseñado pensando en poder tener la opción de montar una pasarela en una posible futura remodelación.



SECCIÓN B

Esta cuaderna tiene la parte del costado y su prolongación en la pontona igual que la sección A. La diferencia es que bajo la cubierta de la pontona se dispone de una varenga aligerada y con perfiles verticales de refuerzo. Es necesario que haya aligeramientos para permitir el paso del agua de lastre y los refuerzos verticales se distribuyen cada 0,5 metros para dar consistencia a la varenga e impedir que esta sufra pandeo.



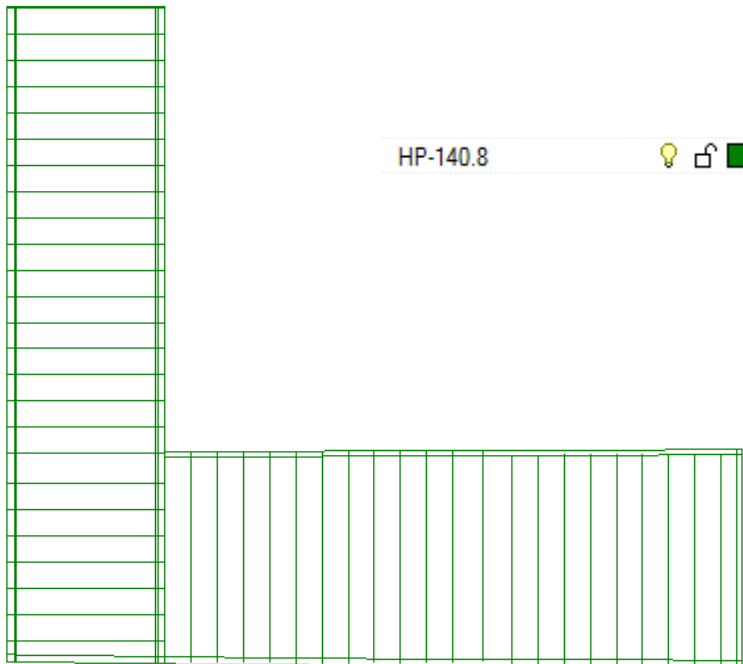
En total hay 2 cuadernas de este tipo y se colocan a 5 metros de los extremos de la sección de 15 metros del dique. Estas cuadernas dan más rigidez al conjunto de la pontona.



SECCIÓN C

Este último tipo de cuaderna está formado completamente por chapas y sus correspondientes refuerzos. Desde la parte superior del costado se sitúa un mamparo vertical que llega hasta el fondo. Este mamparo dispone de refuerzos horizontales perpendiculares a la chapa que sirven para evitar que tenga flexión.

Por otro lado, la pontona tiene otro mamparo con sus correspondientes refuerzos verticales para el mismo fin.



Hay 2 cuadernas de este tipo y se sitúan en los extremos de la sección. Su finalidad es cerrar la sección de 15 metros con estanqueidad, permitiendo que cada sección sea un bloque independiente convirtiendo el dique en autocarenable. También, juntamente con las cuadernas de sección B, proporcionan consistencia a la totalidad del bloque.



ESPEORES DE LAS CHAPAS

Las láminas sufren acciones en las direcciones de su plano y también acciones perpendiculares a ellas. Para resistir las distintas tensiones, se tiene que hacer un predimensionamiento del espesor de cada chapa.

En el prediseño del dique flotante se tomarán 2 grupos de espesores para las láminas:

a) 10 mm.

Con este espesor se diseñan el forro del fondo, el forro de la cubierta, las chapas del costado y las láminas exteriores de cada sección.

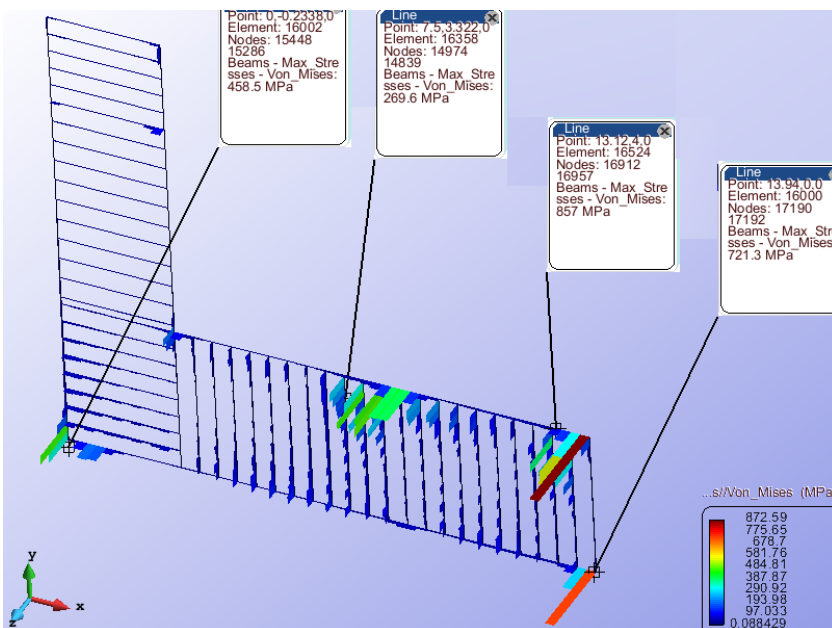
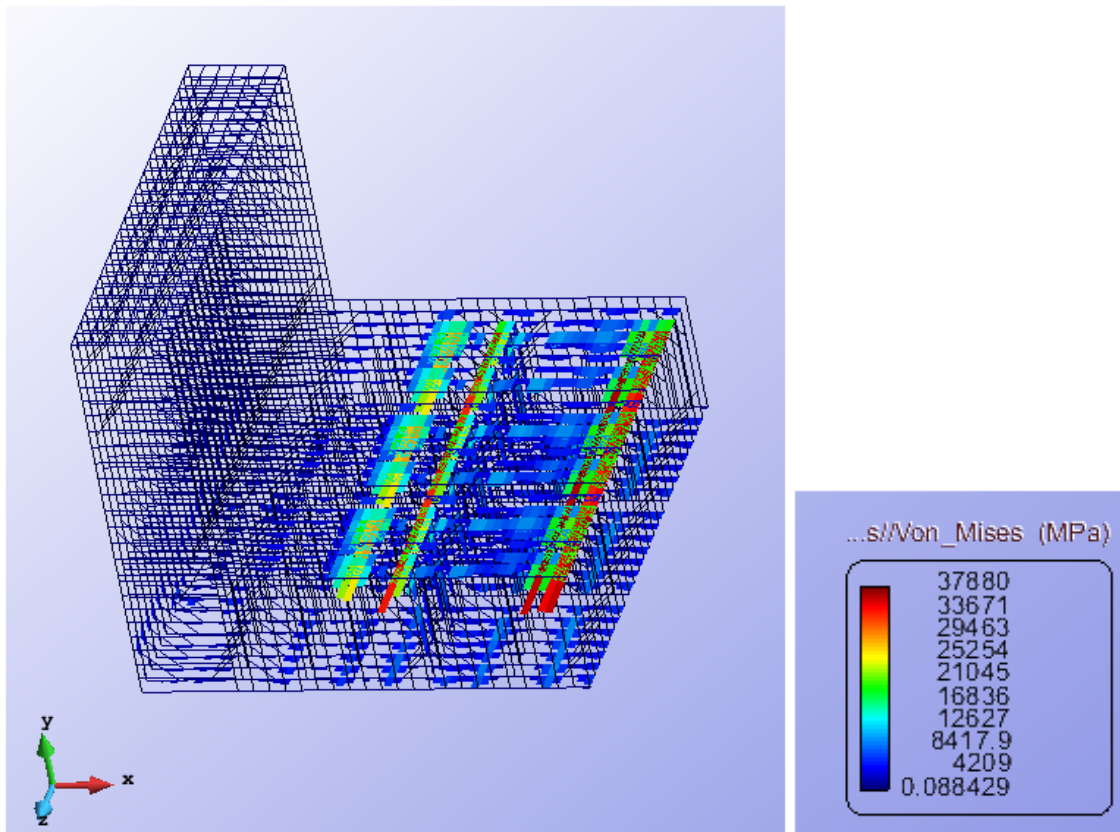
b) 7 mm.

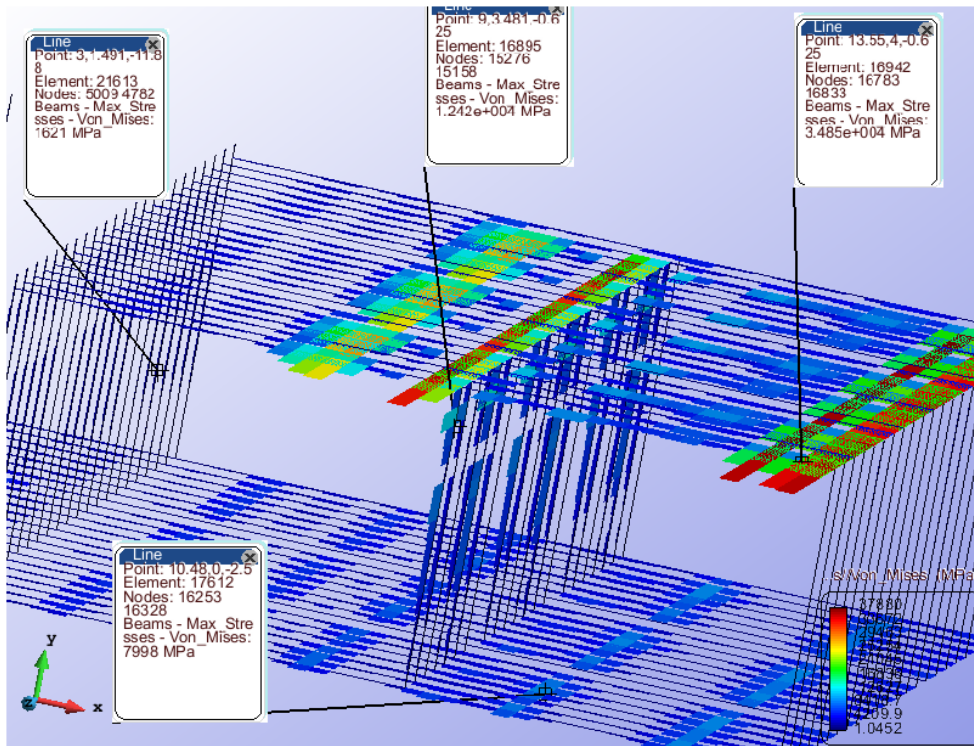
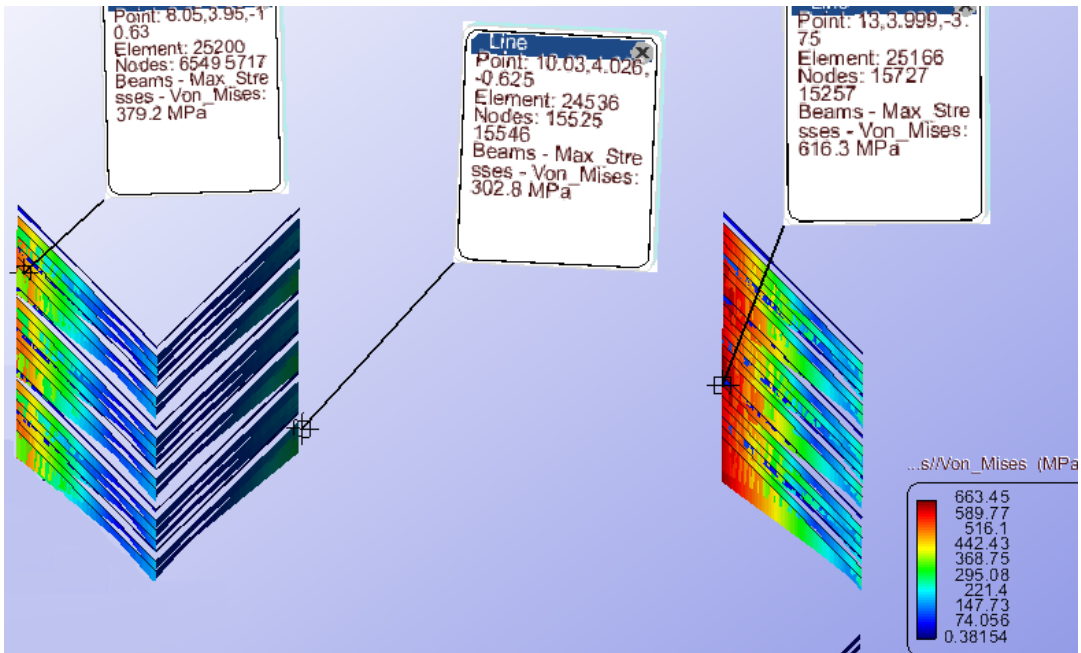
Este espesor se utiliza en las láminas que forman los mamparos transversales (varengas) y los mamparos longitudinales (vagrás).

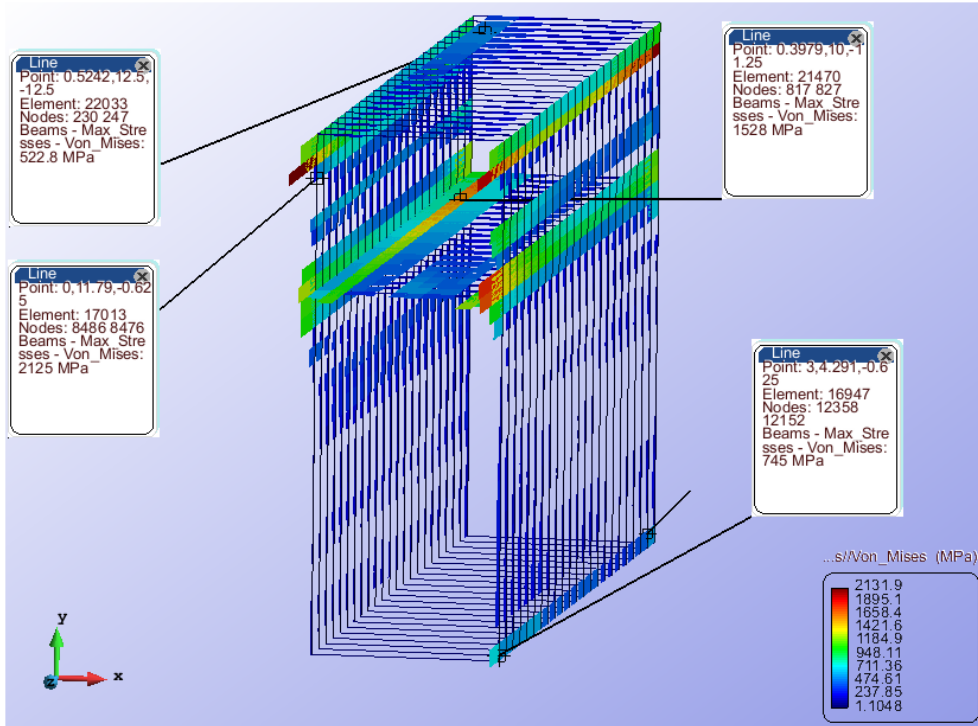


OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS BARRAS

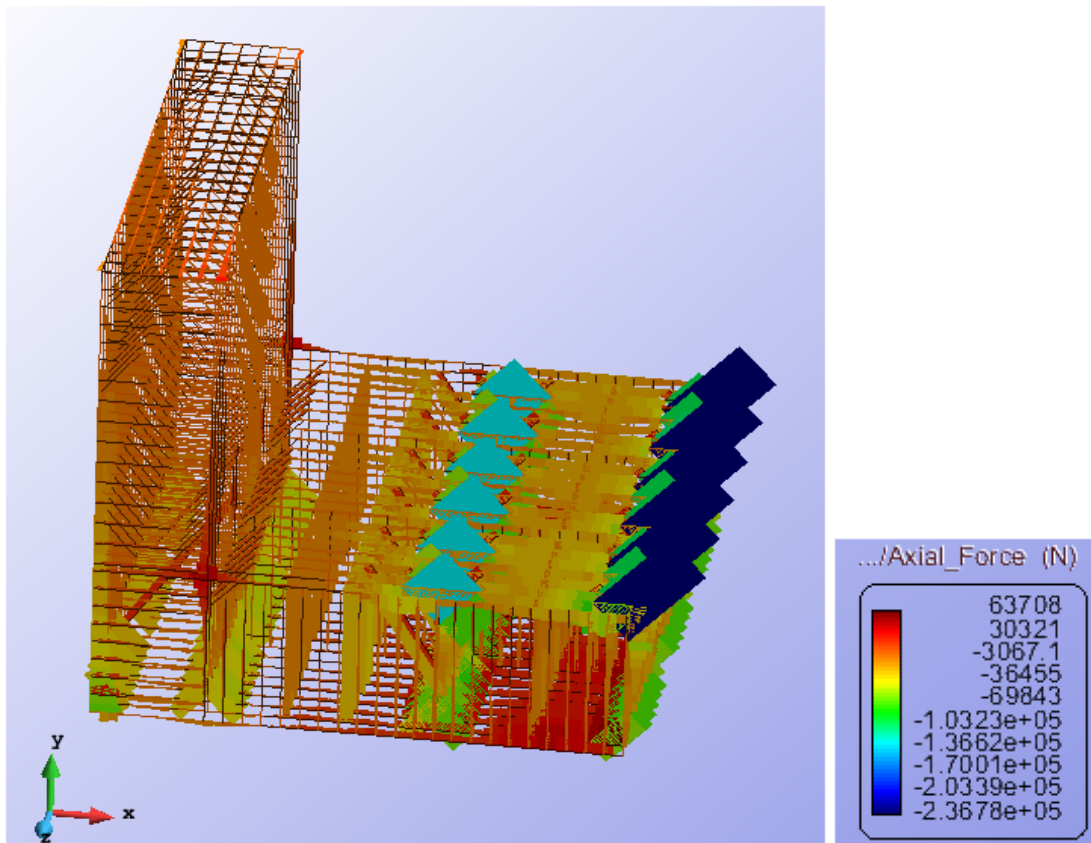
TENSIONES DE VON MISES





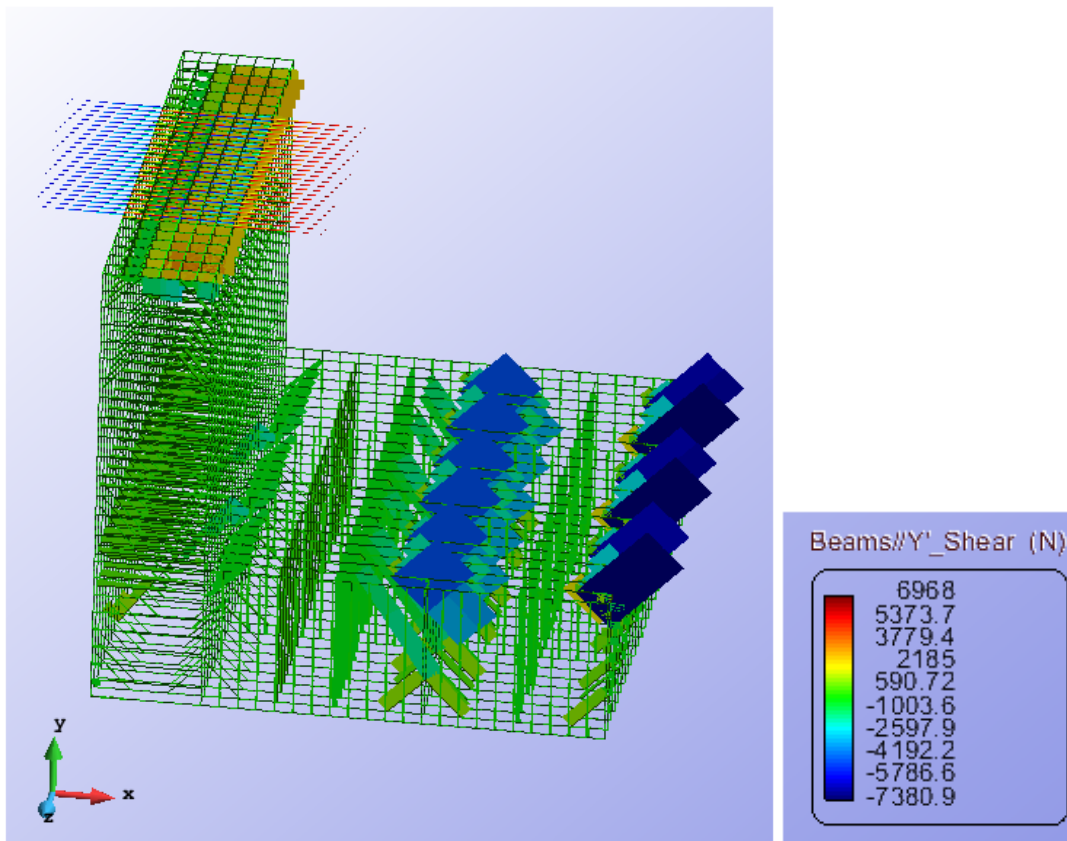


AXILES

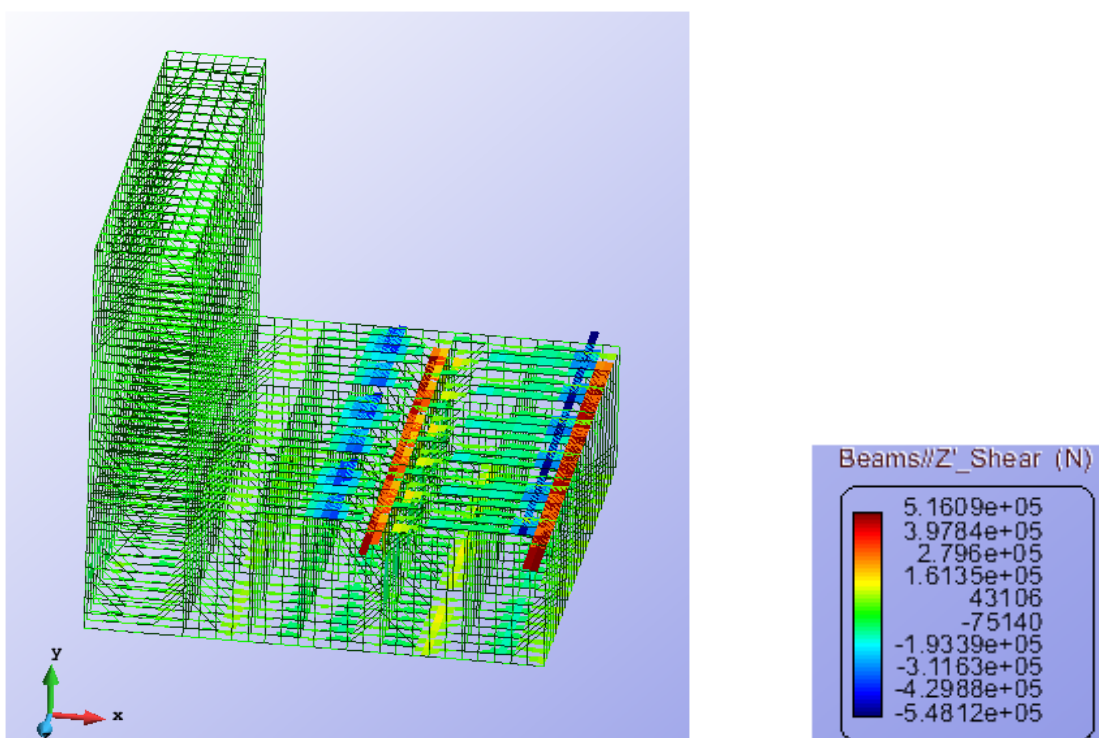




CORTANTES EN Y

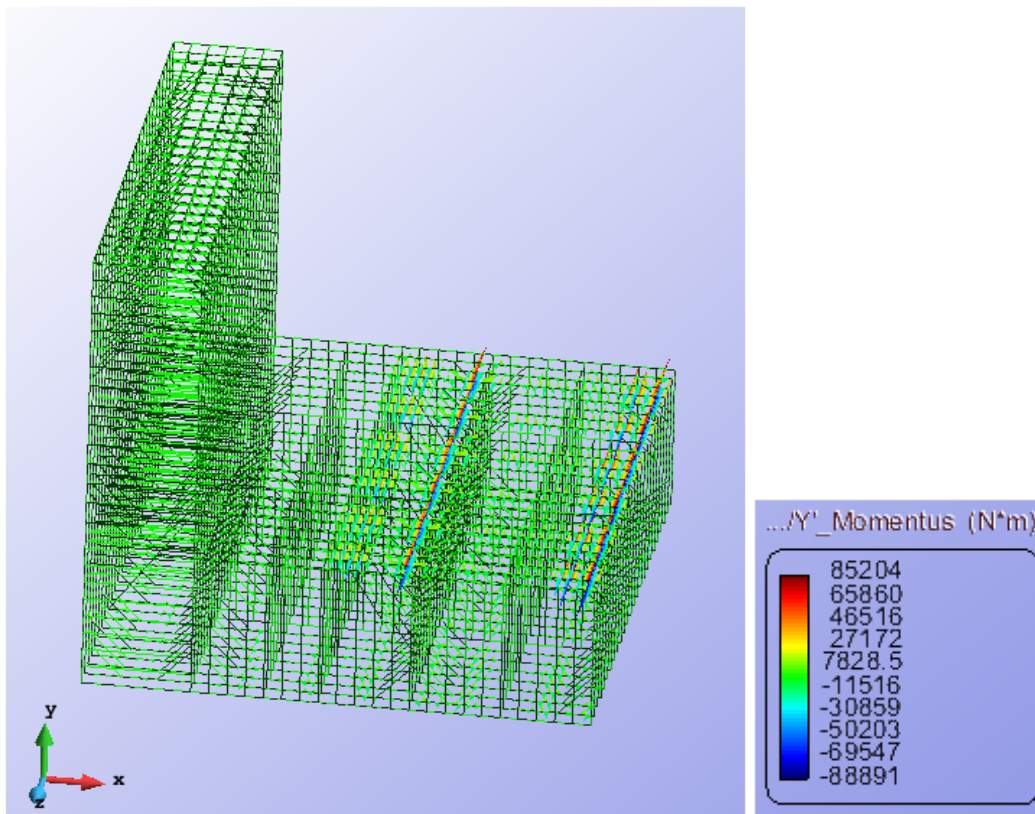


CORTANTES EN Z

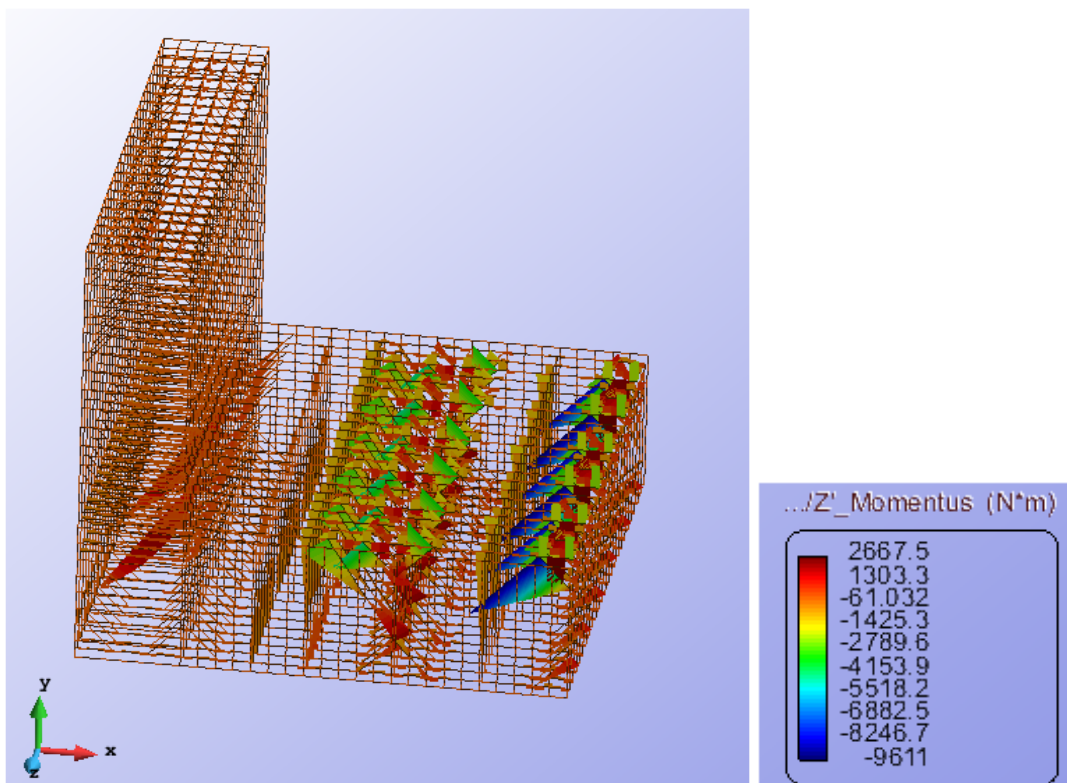




MOMENTOS EN Y

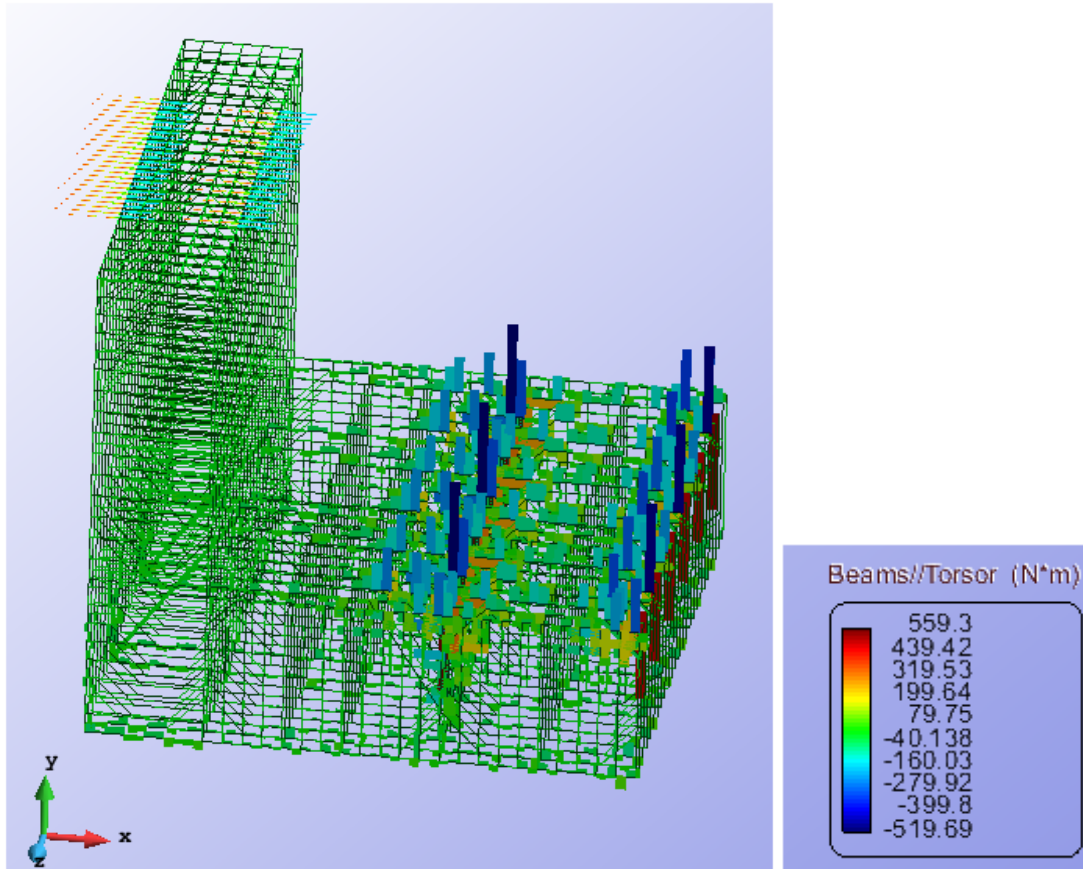


MOMENTOS EN Z





TORSORES





ANÁLISIS DE LAS BARRAS

Tal y como se puede observar en la imagen, las tensiones máximas que se obtienen con el diseño preliminar son de 37880 MPa y el límite del material escogido, acero A42, está en 254 MPa. De esta manera, analizando los resultados, es necesario realizar otro dimensionado cambiando los perfiles de las vigas y modificando alguna zona crítica de la geometría.

Como era de esperar, la zona de la pontona es la que más sufre. Los transversales de cubierta junto con los refuerzos de la zona de picaderos no soportan la carga del buque. En la siguiente tabla se puede observar las tensiones producidas en las barras que no aguantan.

BARRA	TIPO DE PERFIL	TENSIÓN VON MISES(MPA)
AB2	HP 160.8	522,8
AB5	HP 160.8	1528
AB20	L 90.10	379,2
AB21	L 90.10	302,8
AB25	L 90.10	616,3
AB27	HP 160.8	2125
AB28	HP 160.8	1621
AB29	HP 140.8	7990
AB30	HP 140.8	37880
AB32	HP 140.8	12420
C	HP 140.8	872,59

Sin duda, los refuerzos transversales bajo la pontona (A30) tienen una tensión excesivamente elevada, es decir que el perfil HP no es adecuado para estos refuerzos ya que en el caso de utilizar el perfil HP de mayor tamaño la tensión producida seguiría siendo superior a la permitida. Por lo tanto, se debe buscar un perfil con mayor módulo resistente ya que:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}$$



La tensión producida en las barras diagonales situadas en las zonas de picaderos (A20, A21, A25) supera la del acero. En este caso, se ha optado en mantener el perfil L aumentando la sección ya que la tensión no se aleja demasiado a la admitida por el material y este perfil es económico.

En el estudio realizado, se ha ubicado la hilera de picaderos de zona de pantoque sobre los refuerzos A20, A21 y A32. En este caso el refuerzo A19 no sufre grandes tensiones. Sin embargo, en caso de modificar la ubicación de estos picaderos hacia el costado, la barra A19 sí que sufriría. Por este motivo todos estos refuerzos diagonales deben tener el mismo perfil.

Los puntales A32, cuyo perfil es HP140.8 se modifican a otro perfil con mayor módulo resistente ya que muchas tensiones de la pontona y de la zona de picadero se transmiten a esta viga.

Las barras A27 y A28, situadas en el costado, no resisten las tensiones permitidas, igual que los refuerzos A29 y A30. El valor de estas tensiones es muy superior al permitido y por este motivo se opta por cambiar de perfil estos refuerzos.

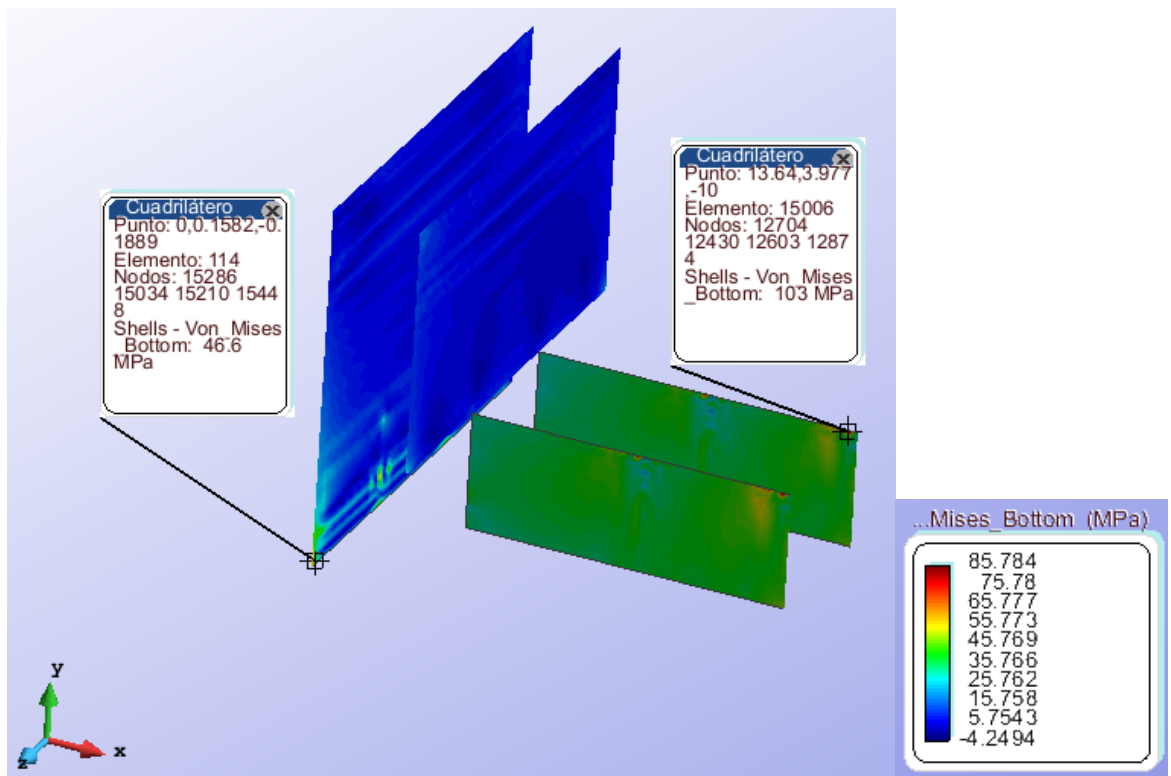
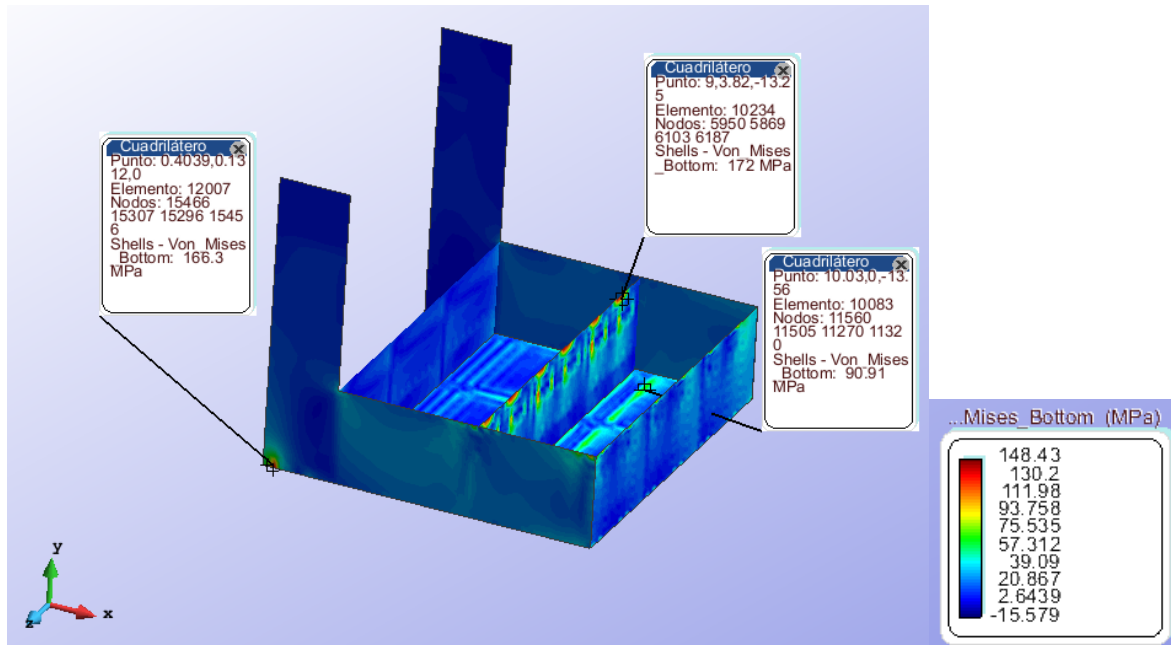
Por otro lado, los demás perfiles de los refuerzos del costado están sobredimensionados. De esta manera, para reducir el peso de la estructura se redimensionaran utilizando los mismos perfiles pero disminuyendo el tamaño.

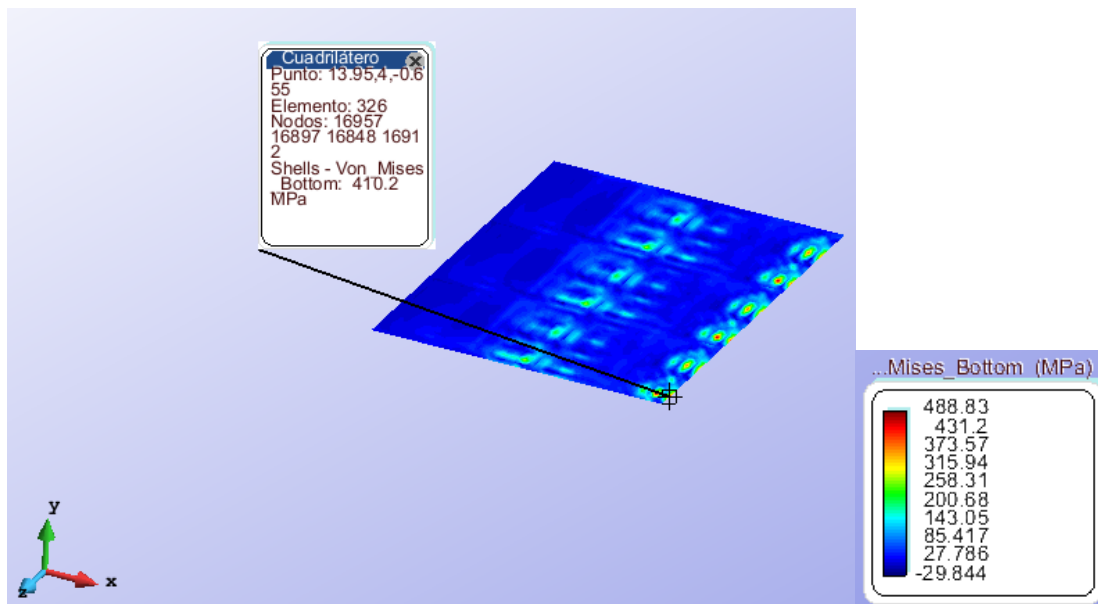
Finalmente se observa que los refuerzos de la sección C tampoco son adecuados ya que padecen mucho esfuerzo. La solución será escoger el perfil óptimo para que todo el conjunto de la sección C resista.



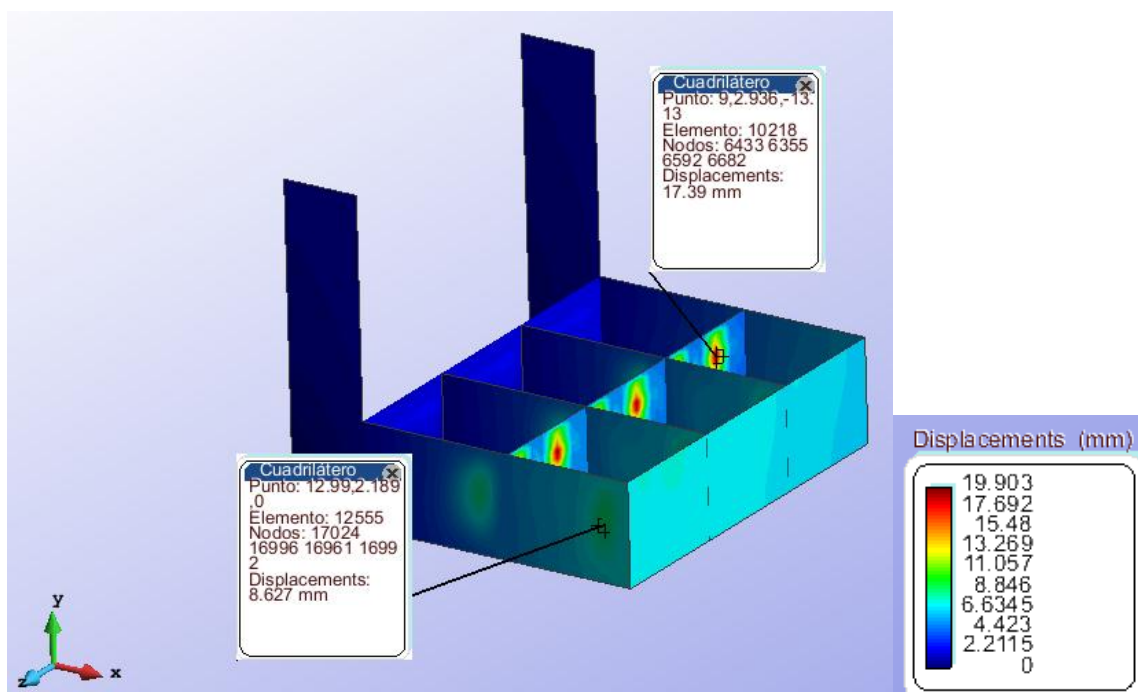
OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS LÁMINAS

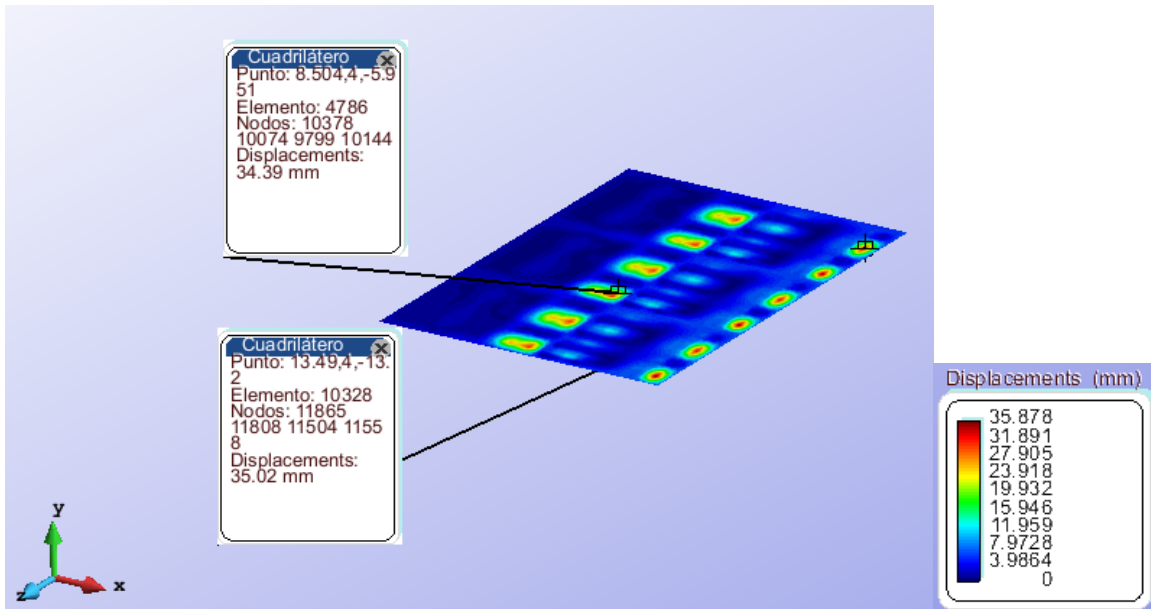
TENSIONES DE VON MISES





DESPLAZAMIENTOS





ANÁLISIS DE LAS LÁMINAS

Analizando los resultados de las planchas se llega a la misma conclusión que con los resultados de las vigas. Las máximas tensiones se producen en la zona de los picaderos y en el fondo de la pontona. Las deformaciones máximas pueden llegar a los 36 milímetros y son puntuales, lo cuál supone un exagerado efecto de abolladura.

Debido a estas tensiones y abolladuras se llega a la conclusión de que la estructura transversal no es lo suficientemente resistente. Las chapas de fondo y de pontona se deben reforzar con otros elementos. La solución por la que se opta es añadir refuerzos longitudinales cada 0.5 metros en la pontona y refuerzos longitudinales de fondo cada 1m.

El espesor de las planchas no es necesario aumentarlo ya que la tensión sobre ellas disminuye al modificar los perfiles y añadir nuevos refuerzos longitudinales.



ANEXO 2

A partir de los resultados obtenidos con el diseño preliminar se pueden analizar los resultados y con ellos decidir si hay que hacer modificaciones en el modelo y cuáles. De este modo el nuevo modelo dimensionado se aproximará más a los resultados deseados.

GEOMETRÍA

La nueva geometría del dique ha sufrido 4 grandes cambios respecto al diseño preliminar.

a) Supresión de algunos refuerzos.

Después de analizar los resultados de las barras, se ha comprobado que algunas no resistían los esfuerzos y que otras estaban sobredimensionadas. Bien pues, la barra número 33 no contribuía nada en la función estructural. Por este motivo se ha decidido prescindir de ella.

b) Ampliación zona entrecubierta.

El diseño preliminar también sirve para hacerse una idea del peso de la estructura. Aunque la estructura no sea resistente y los perfiles de los refuerzos no sean los óptimos, se calcula el peso de la estructura para tener un valor orientativo. Con este valor se puede hacer un estudio de flotabilidad del dique, es decir, se comprueba que haya suficiente espacio de lastre para sus maniobras. Para ello, con el peso del dique flotante se puede calcular el desplazamiento necesario de agua de lastre para mantener el dique sumergido. Conociendo las dimensiones de la pontona y de los costados, se ha calculado la altura necesaria de agua de lastre. Esta altura es la mitad de la altura de los tanques de ala diseñados. Luego, se está dedicando un espacio al lastre innecesario que podría aprovecharse para maquinaria, pañoles, etc. Por este motivo, los tanques de lastre del costado han reducido su altura, a la vez que la entrecubierta ha ganado espacio.

c) Modificación de los perfiles de los refuerzos.

Como ya se ha estudiado en el anexo 1, la estructura del diseño preliminar disponía de unos refuerzos sobredimensionados y otros que no resistían las tensiones máximas permitidas. Por este motivo, se ha disminuido el tamaño de los perfiles de los refuerzos sobredimensionados, y se han cambiado el tipo de



perfiles de los refuerzos que flaqueaban. El procedimiento de modificación de los refuerzos ha seguido un proceso iterativo.

d) Diseño de refuerzos longitudinales.

Visto que el diseño preliminar estaba muy lejos de resistir el esfuerzo máximo del acero, se ha pensado en variar la geometría diseñando unos refuerzos longitudinales en varias zonas. Las zonas más importantes a reforzar son la cubierta de la pontona, sobretodo en los picaderos, y en el fondo del dique. También se han colocado refuerzos en el entrepuente y en la cubierta de los costados.

Además, como la grúa se desplaza sobre unos carriles instalados en los extremos de los costados, se ha decidido diseñar unos refuerzos debajo de estas vías. A continuación se pueden apreciar los nuevos refuerzos longitudinales añadidos en la siguiente *Imagen 23*.

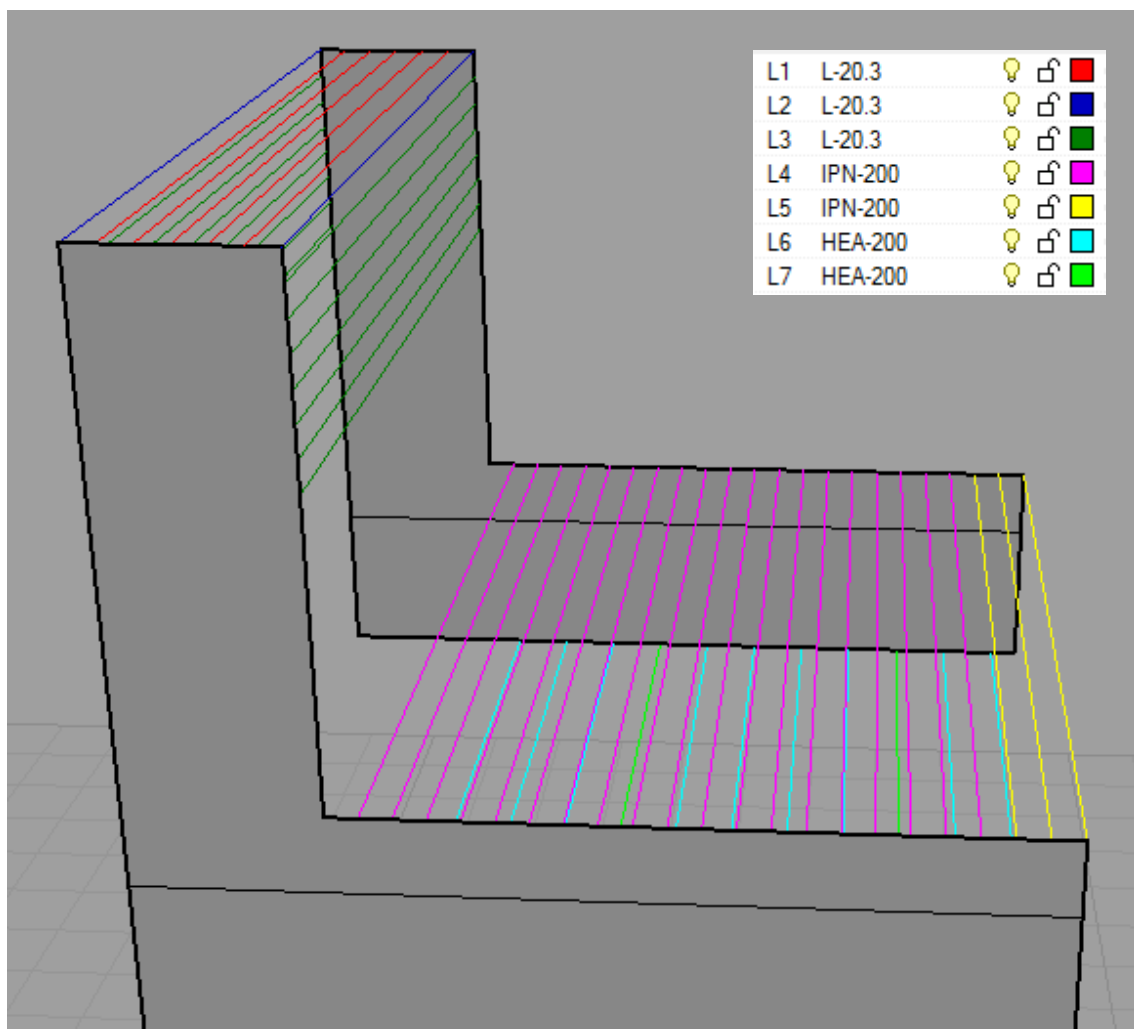


Imagen 36

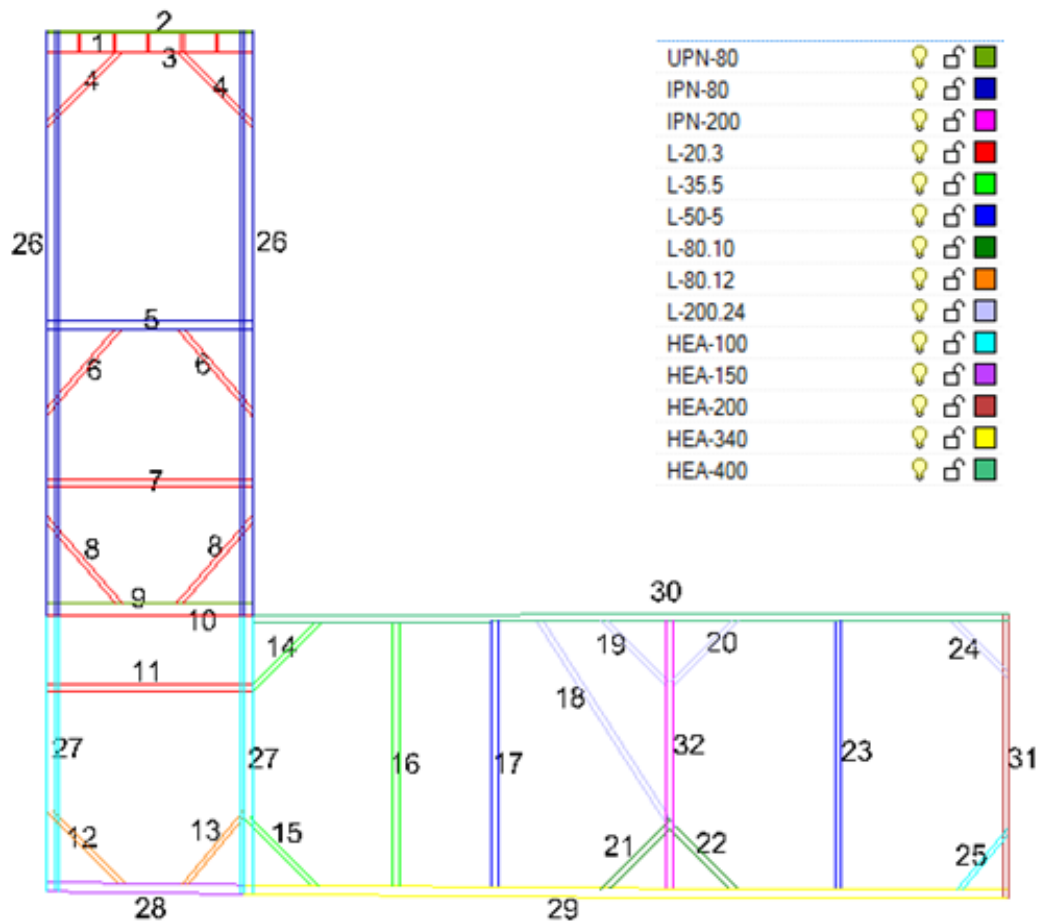


TIPOS DE CUADERNAS

El nuevo diseño mantiene similitud por lo que hace referencia a los tipos de cuadernas. A continuación se explican las distintas secciones.

SECCIÓN A

La geometría de la sección A varía en el costado, como se ha comentado anteriormente, y los nuevos perfiles de refuerzos se representan en el siguiente esquema.

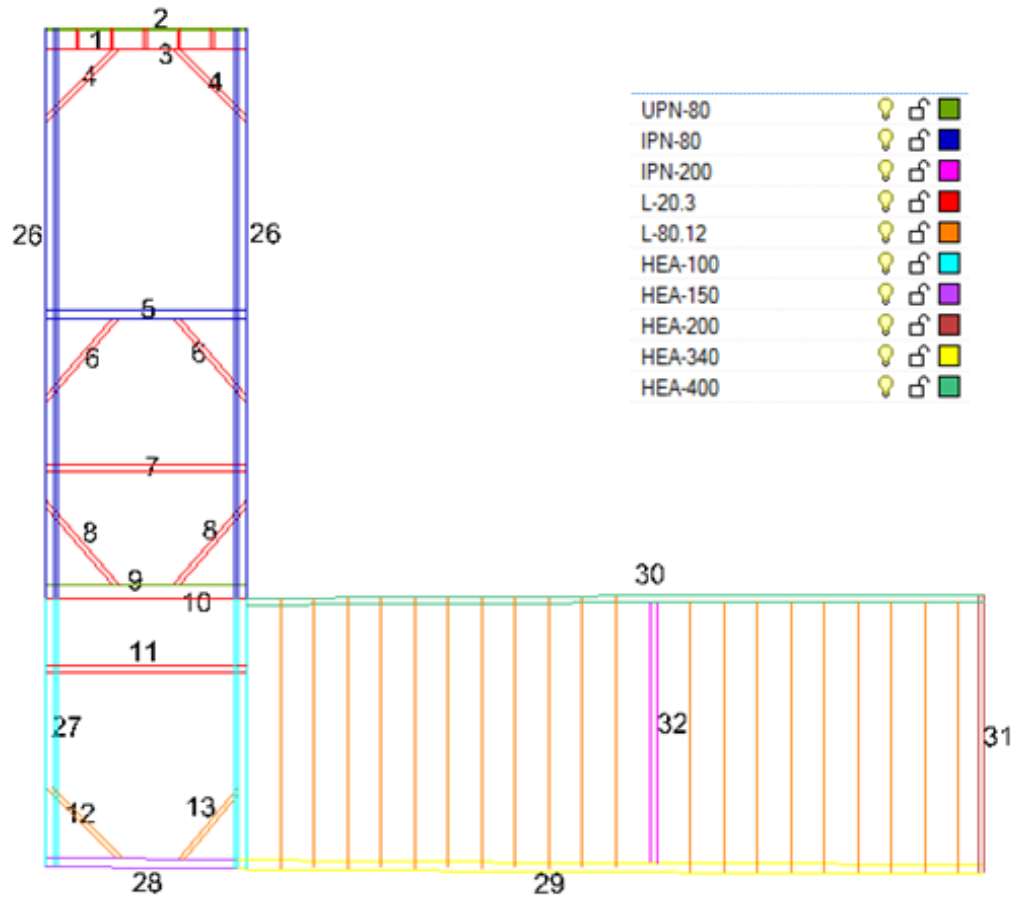


SECCIÓN B

La sección B tiene la misma disposición del costado que la sección A. La zona de la pontona tiene el mismo diseño que la sección B del diseño preliminar con la única



diferencia que los refuerzos verticales eran HP-140.8 y se han cambiado a L-120.15, que trabajan mejor.

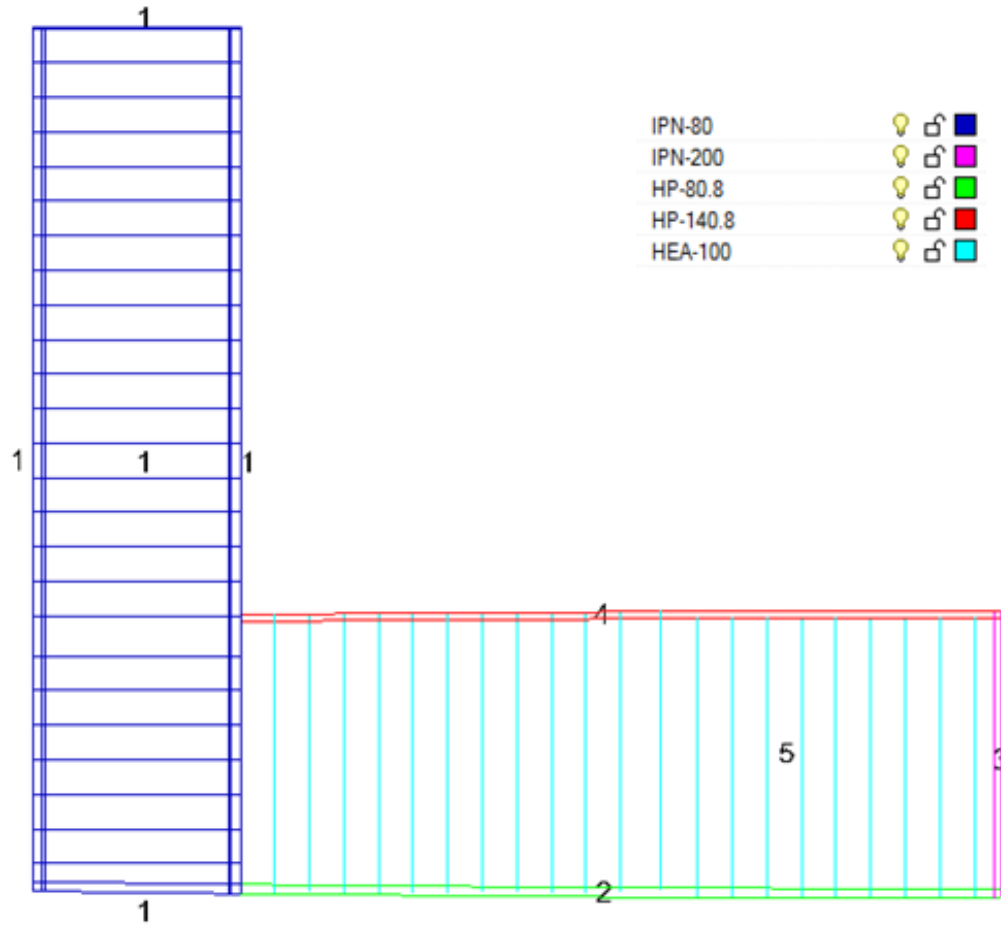


SECCIÓN C

Después de estudiar esta sección en el diseño preliminar se ha visto que hay 2 grupos de esfuerzos claramente diferenciados:

- Esfuerzos del costado
- Esfuerzos de la pontona

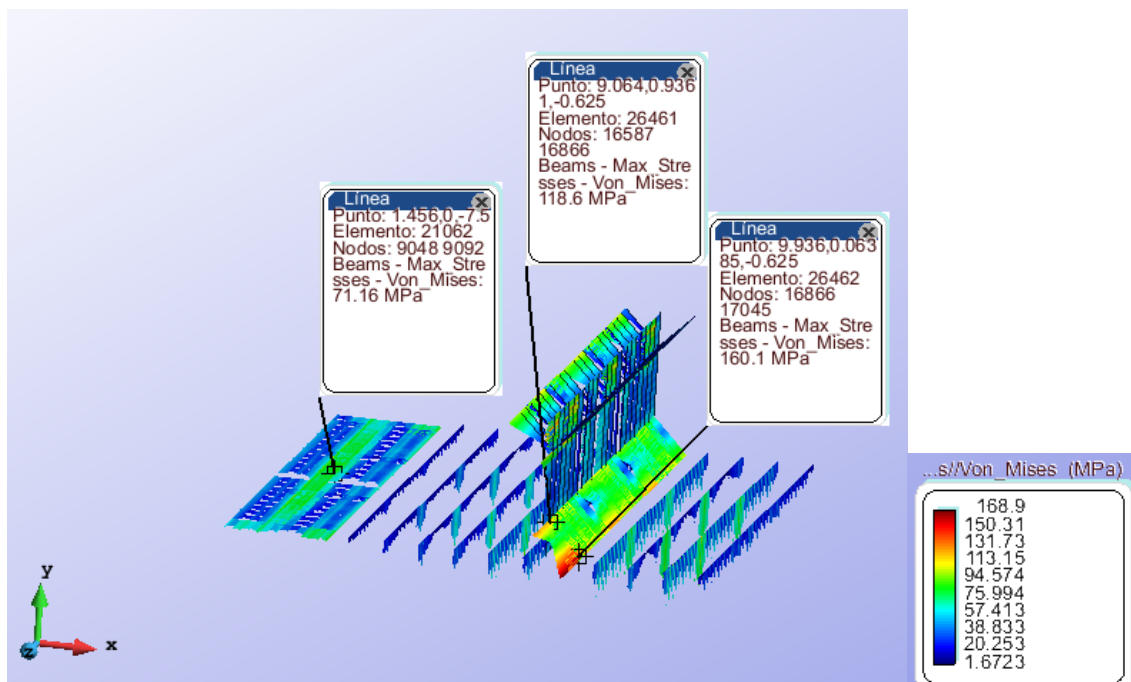
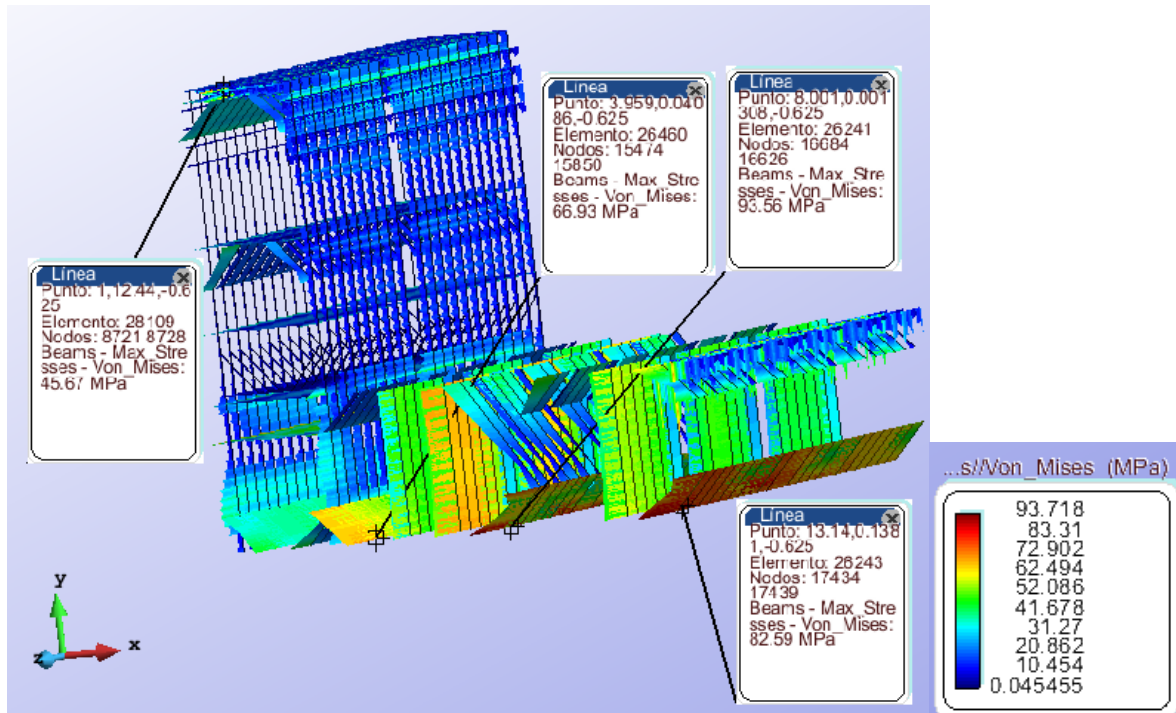
Debido a esta diferencia, era ilógico diseñar un mismo perfil de refuerzo para toda la sección. La solución adoptada ha sido dividir los perfiles en los refuerzos de la pontona y refuerzos del costado. Además para optimizar más el diseño, se ha decidido diseñar por separado el refuerzo transversal de la pontona de los verticales de la misma.

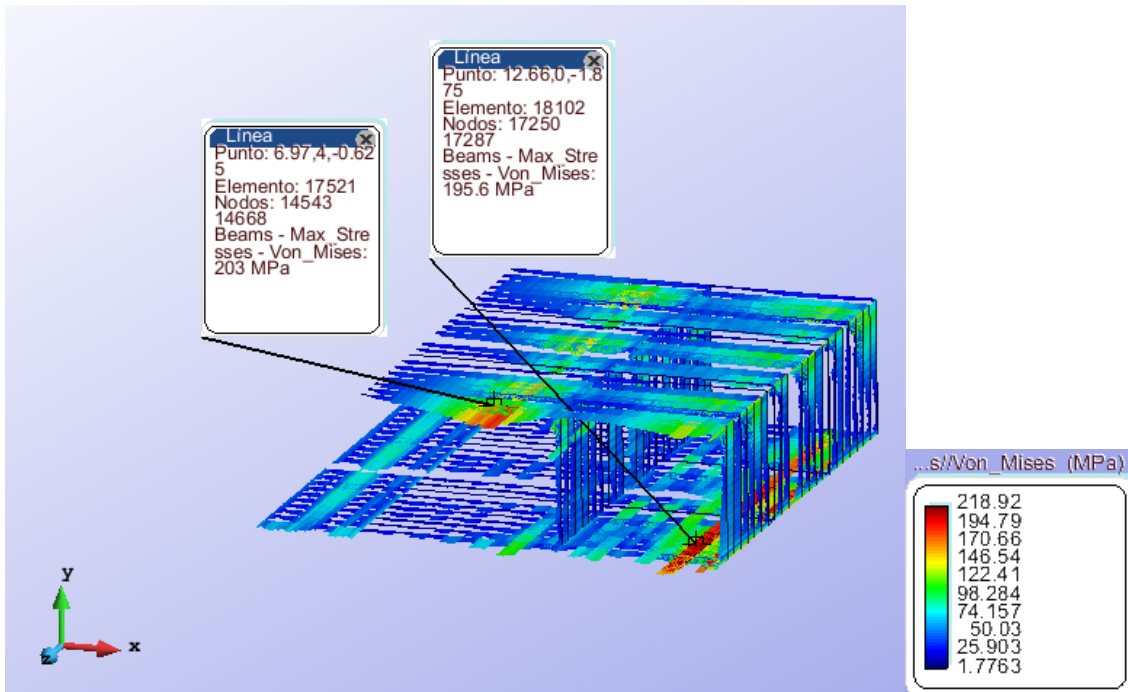




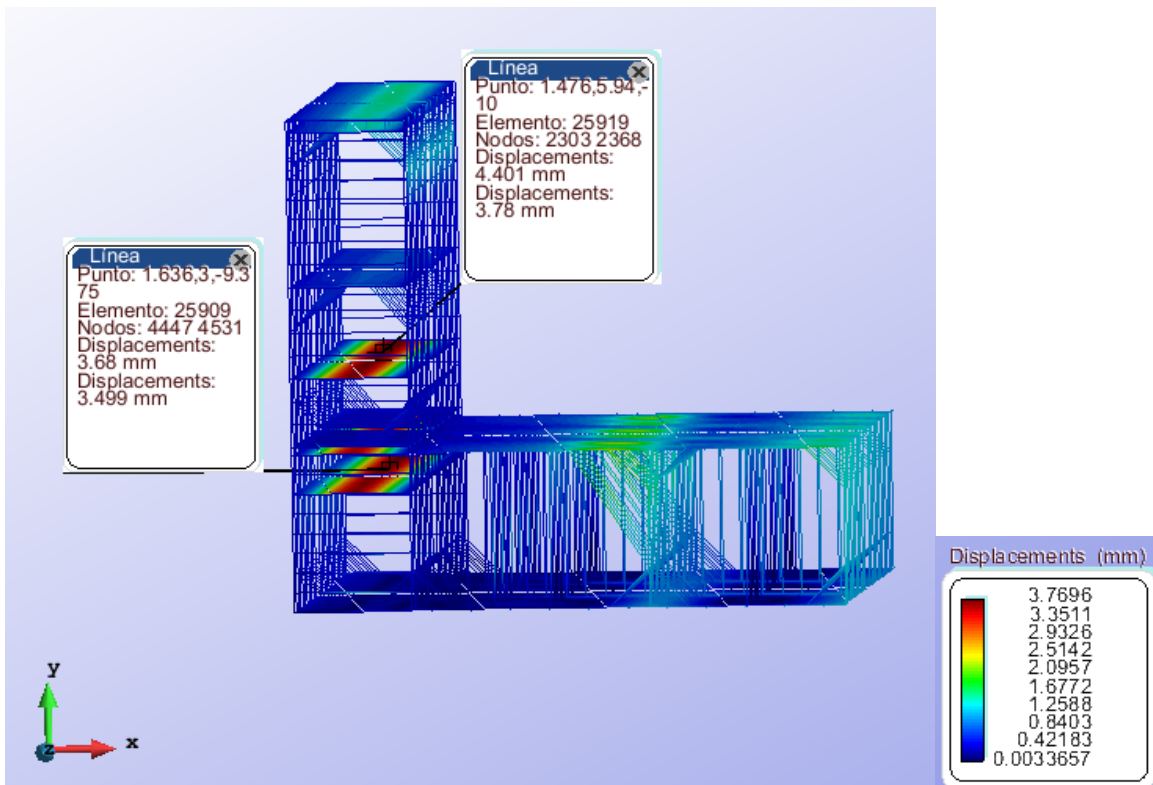
OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS BARRAS

TENSIONES DE VON MISES

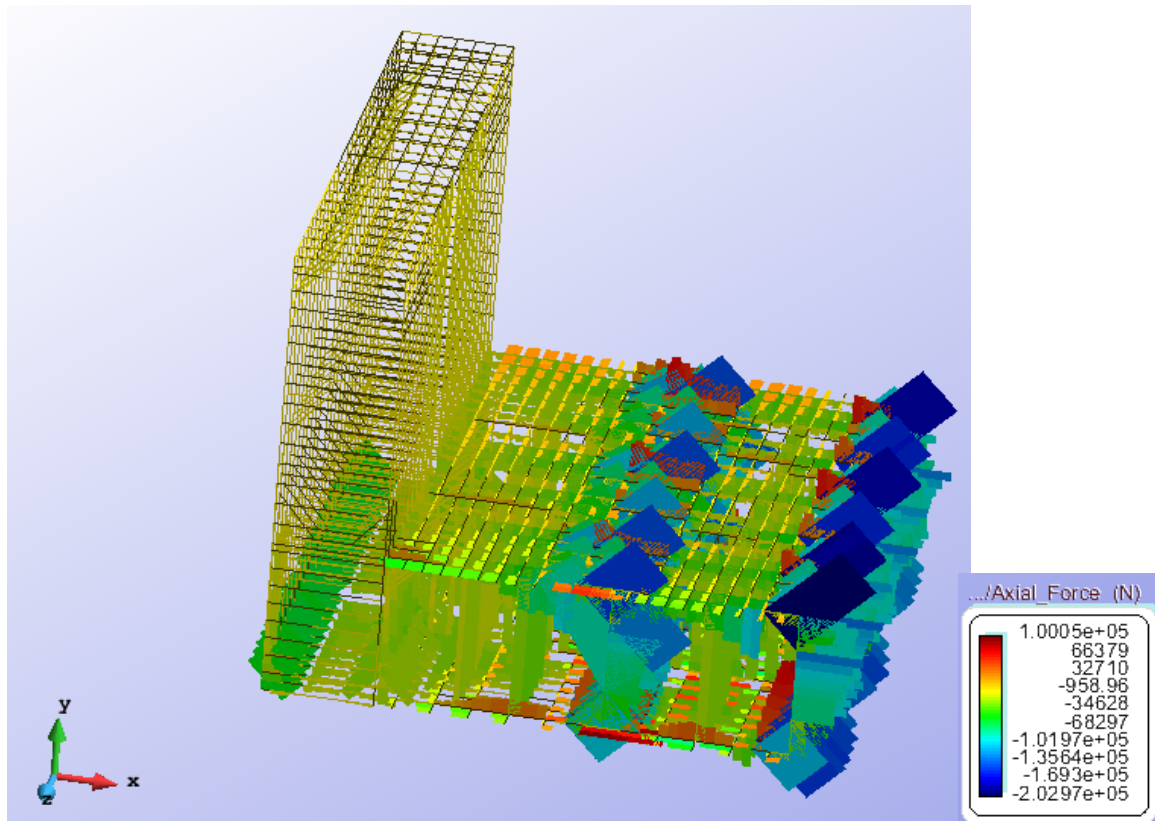




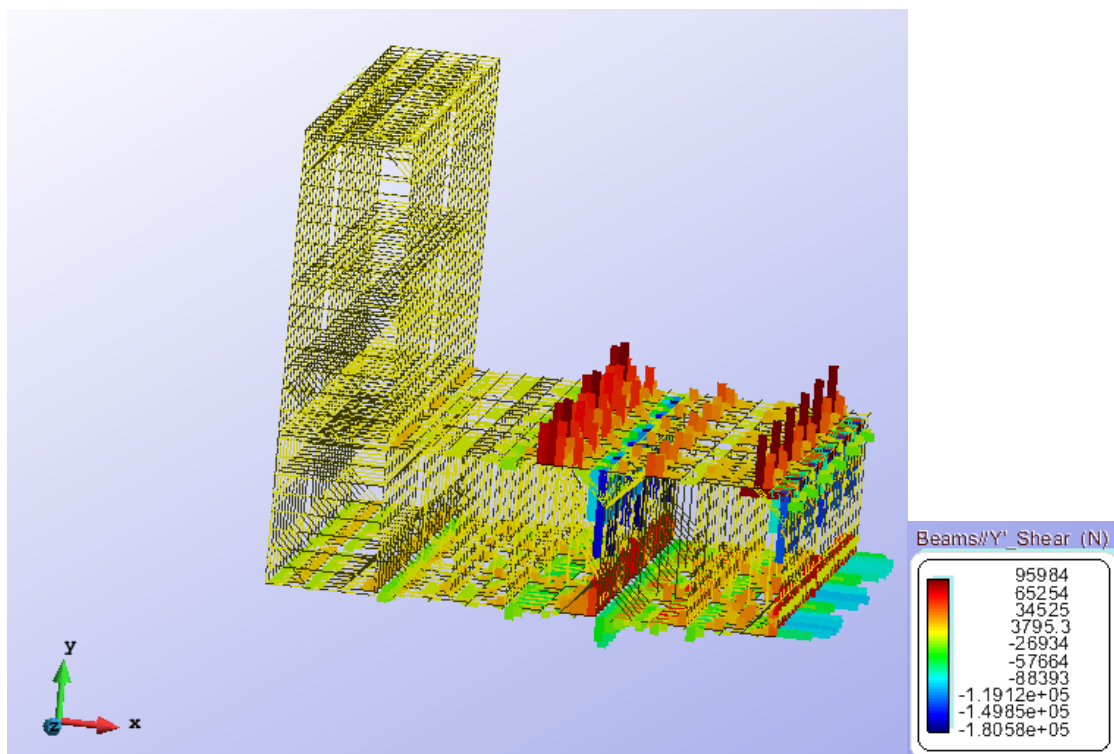
DESPLAZAMIENTOS



AXILES

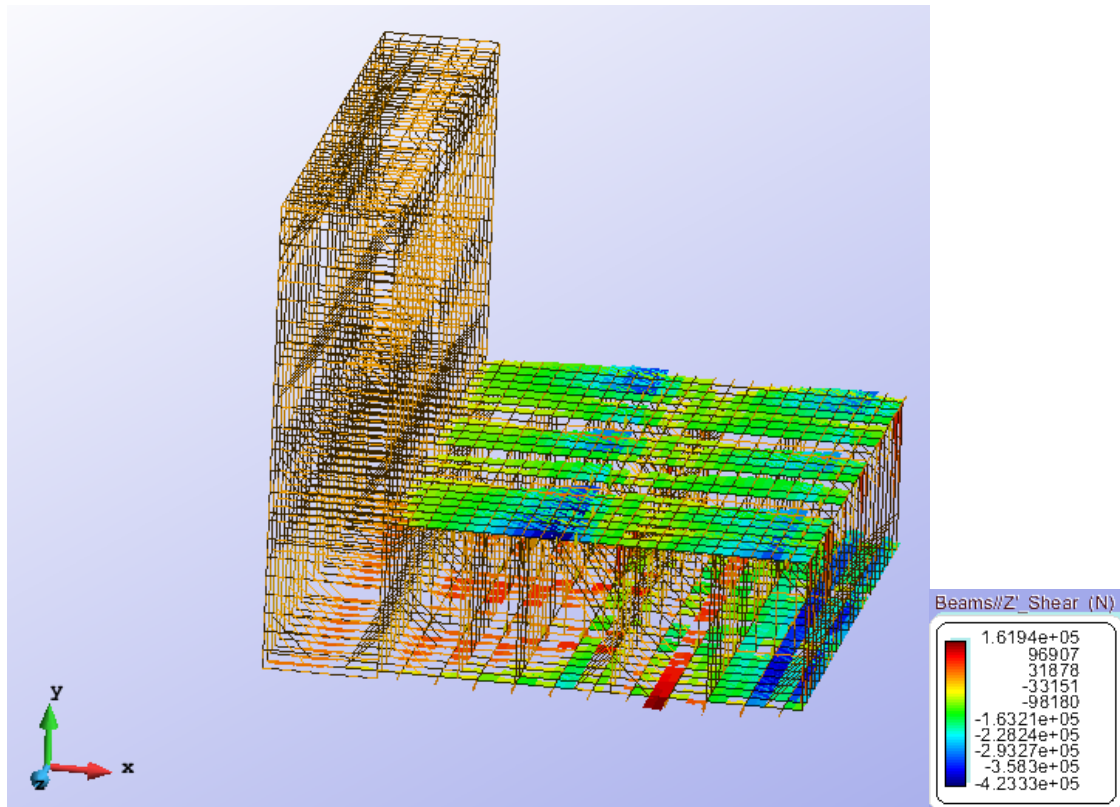


CORTANTES EN Y

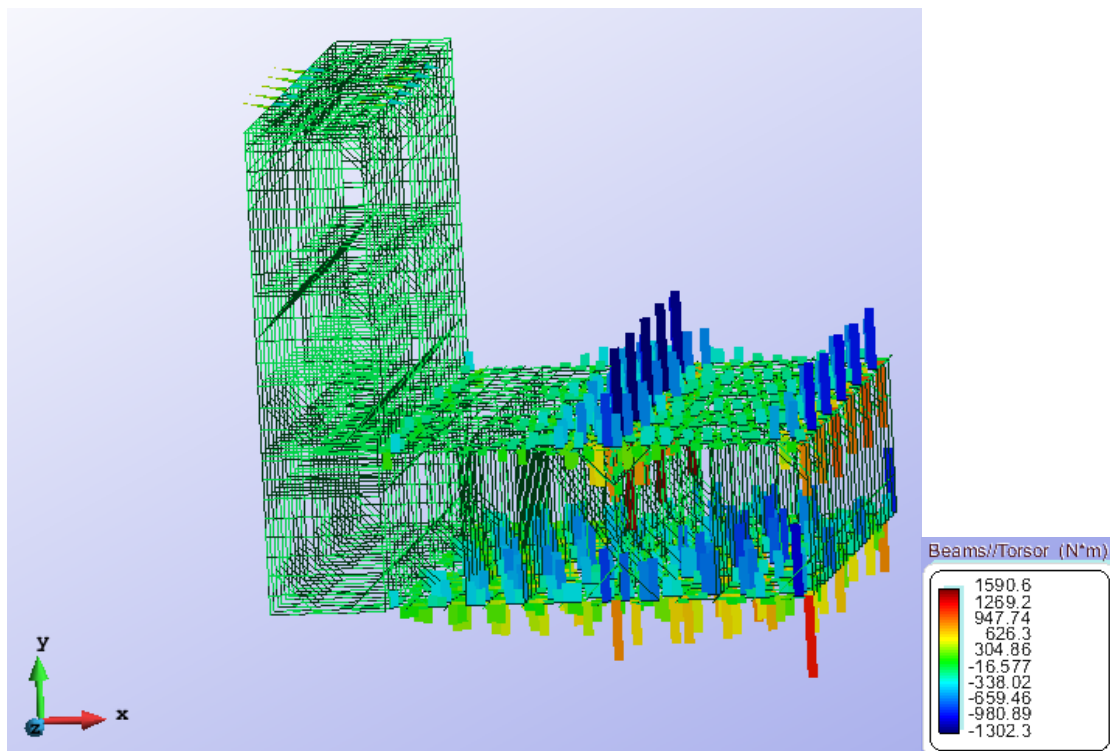




CORTANTES EN Z

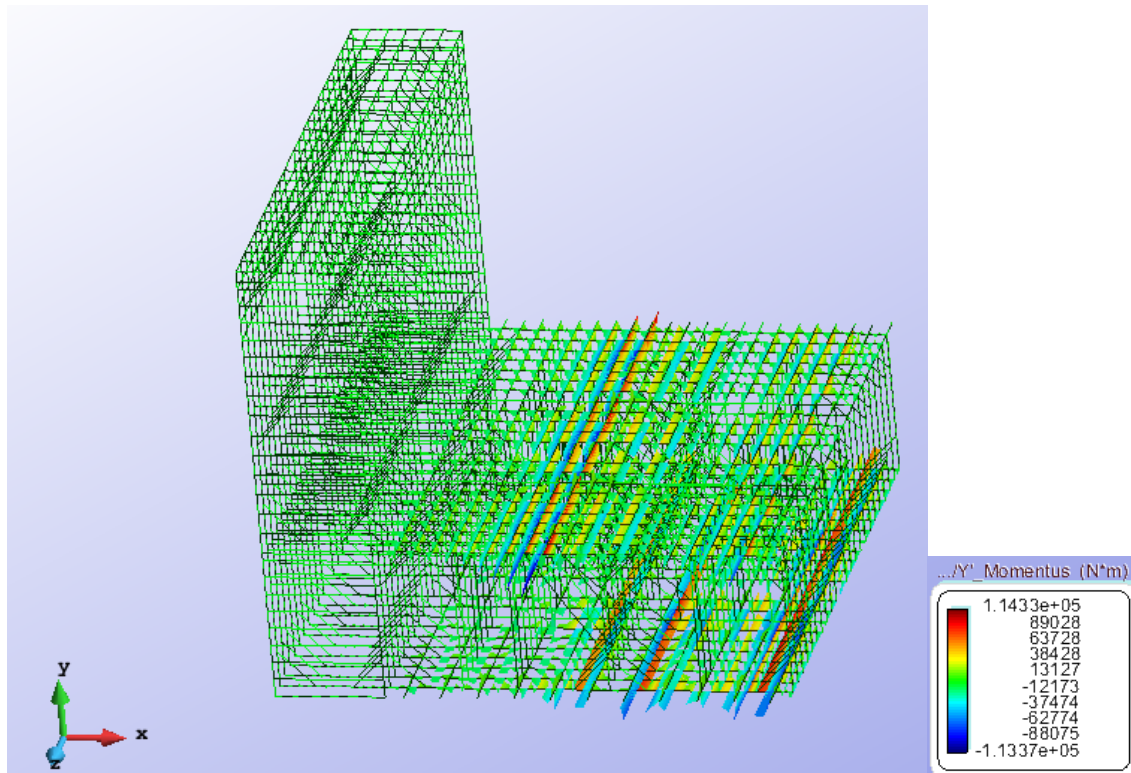


TORSORES

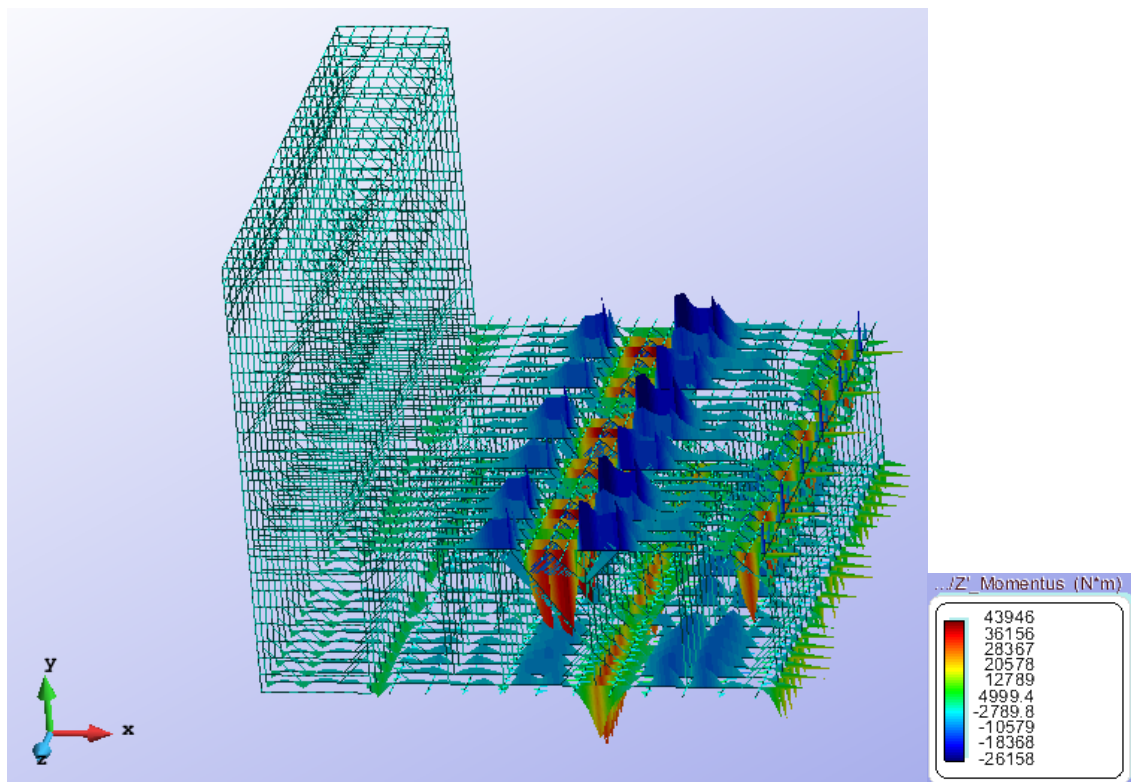




MOMENTOS EN Y



MOMENTOS EN Z





ANÁLISIS DE LAS BARRAS

Una vez obtenidos los resultados de los refuerzos se puede confirmar que la estructura mejorada del diseño preliminar es resistente. Esto implica una gran mejora en la espiral de diseño ya que el estudio del dique flotante es cada vez más aceptable.

Como se puede apreciar en los resultados de las tensiones de Von Mises, la tensión máxima producida en los refuerzos equivale a 218 Mpa. Las tensiones mayores siguen produciéndose en la zona de la pontona, mientras que el costado no sufre tanto.

En la siguiente tabla se hace el estudio de las tensiones de las barras para determinar que en general hay un sobredimensionamiento.

BARRA	PERFIL	TENSIÓN VON MISES (Mpa)
A1	L-20.3	75,74
A2	UPN-80	50,51
A3	L-20.3	56,03
A4	L-20.3	39,08
A5	IPN-80	54,07
A6	L-20.3	42,18
A7	L-20.3	40,9
A8	L-20.3	10,15
A9	UPN-80	23,45
A10	L-20.3	46,8
A11	L-20.3	68,36
A12	L-80.12	45,43
A13	L-80.12	44,97
A14	L-35.5	26,4
A15	L-35.5	70,43
A16	L-35.5	56,81
A17	L-50.5	69,59
A18	L-200.24	45,55
A19	L-200.24	100,65
A20	L-200.24	51,55
A21	L-80.10	93,72
A22	L-80.10	168,9
A23	L-50.5	58,79
A24	L-200.24	66,55
A25	HEA-100	90,74
A26	IPN-80	51,31
A27	HEA-100	58,53
A28	HEA-150	99,3



A29	HEA-340	218,92
A30	HEA-400	192,26
A31	HEA-200	168
A32	IPN-200	136,89
B1	L-80.12	77,27
C1	IPN-80	99,75
L1	L-20.3	17,33
L2	L-20.3	19,56
L3	L-35.5	103,39
L4	IPN-200	146,23
L5	HEA-220	99,19
C2	HP-80.8	53,05
C3	IPN-200	30,73
C4	HP-140.8	165,95
C5	HEA-100	60,91

Efectivamente, después de analizar los perfiles, se pueden extraer dos conclusiones.

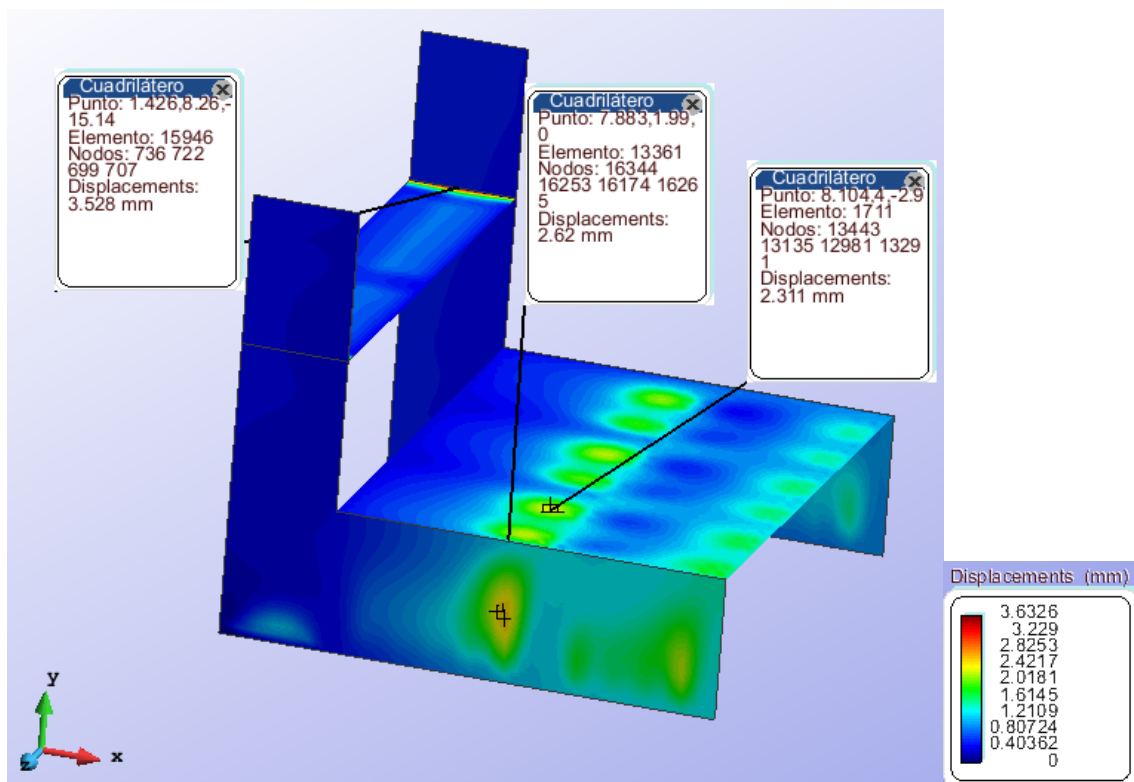
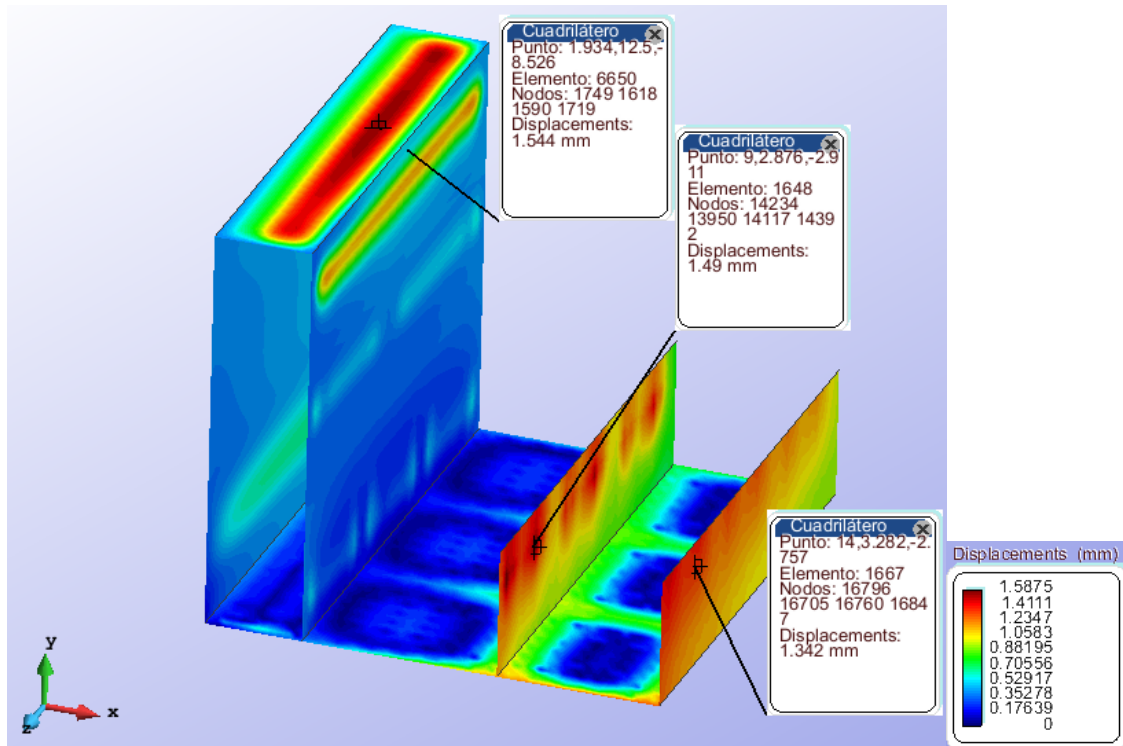
Hay refuerzos demasiado grandes que se podrían reducir para disminuir el peso del conjunto. Pero sin embargo, también hay perfiles como el L-20.3 que son demasiado pequeños pero que resisten las tensiones. Estos datos nos indican que algo está fallando.

Lo que realmente ocurre es que se podrían suprimir estos pequeños refuerzos que no intervienen en la resistencia estructural. La solución adoptada es hacer una modificación general de la geometría en la que se mantenga una disposición similar de la zona de la pontona y a la vez se optimice más la zona del costado.



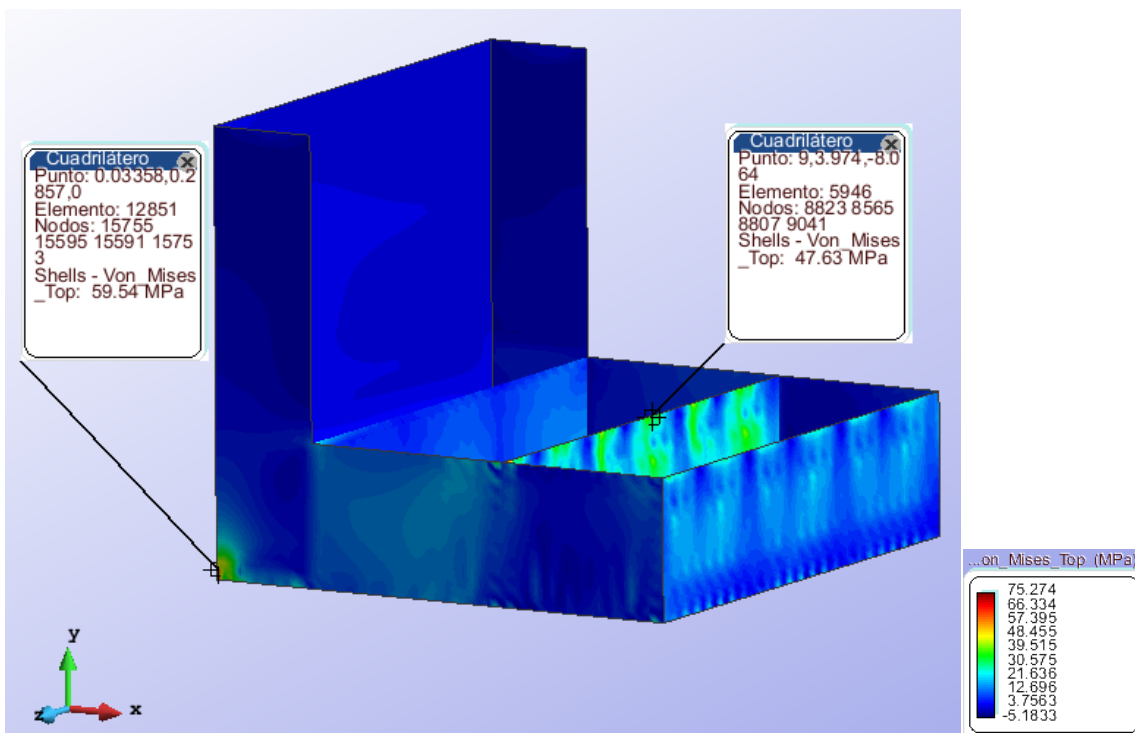
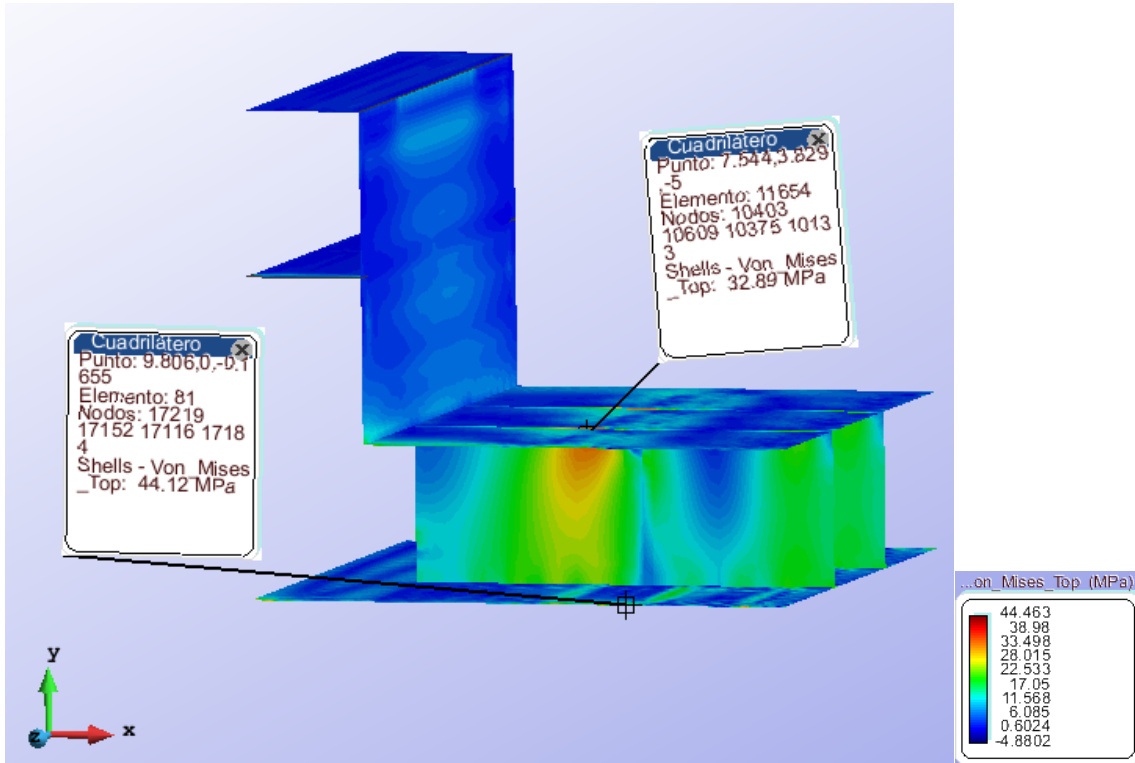
OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS LÁMINAS

DESPLAZAMIENTOS





TENSIONES DE VON MISES





ANÁLISIS DE LAS LÁMINAS

Las chapas de acero presentan unos resultados optimistas y razonables. Como en los refuerzos, se diferencian los esfuerzos de la pontona de los esfuerzos del costado. En la zona de varada del buque aparecen las mayores tensiones y deformaciones, como era de esperar.

Todas las láminas se han diseñado con un espesor de 10 milímetros, a excepción de los mamparos transversales y las varengas, que son de 7 milímetros. Estos espesores son aceptados por la sociedad de clasificación ABS, que fijan el espesor mínimo en 6,5 milímetros.

Trabajando en la espiral de diseño y conociendo que se va a cambiar la geometría estructural, también se ha creído conveniente rebajar los espesores de algunas planchas.

Las razones de esta decisión se resumen en los 2 puntos citados:

a) Intervención de los refuerzos.

La geometría estructural actual dispone de una serie de refuerzos, sobretodo los diagonales, que no finalizan en ningún nodo común. Es decir, su unión se produce en la mitad de otro refuerzo y esto produce un efecto de abolladura sobre las planchas de esa zona. En la nueva geometría se evitará este efecto situando las uniones en los extremos de los refuerzos.

b) Optimización del espesor.

El análisis de las tensiones que sufren las chapas nos indica que resisten muy bien. Para el próximo diseño es importante disminuir el espesor de algunas planchas para optimizar el diseño y rebajar el peso de toda la estructura.



ANEXO 3

ESTRUCTURA 3

En este punto de la iteración ya se podría dar por válida la estructura diseñada ya que todo el conjunto resiste las cargas principales a las que se somete el dique. No obstante, la estructura obtenida no está muy optimizada y se pueden mejorar ciertos aspectos, el más crítico es la geometría.

Se han llevado a cabo 2 correcciones principales:

1. Reubicación de los refuerzos inclinados.

La estructura dispone de varios refuerzos con una mala ubicación, contribuyendo de esta manera, a la abolladura de las planchas transmitiéndoles un esfuerzo cortante. Para evitar este fenómeno es conveniente hacer coincidir los extremos de estos refuerzos con otros. Con esta nueva modificación se ve afectado tanto los costados del dique como la pontona.

Costado: Las barras dispuestas de manera errónea son: AB6, y AB7. Las tensiones producidas en éstas eran bajas, no obstante, en la nueva geometría se disponen de ellas con una buena ubicación por varias razones: la razón principal es distribuir los esfuerzos producidos en la entrecubierta (AB6), zona en la cual se encuentra el piano de válvulas y otros equipos. La otra razón, de menor importancia, es disminuir la probabilidad de pandeo de los refuerzos del costado.

Pontona: Los refuerzos A12, A13, A14, A15, A19, A20, A21, A22, A24 y A25 producían problemas en los mamparos longitudinales. Para corregirlo, los extremos de las barras acaban en el mismo nudo.

2. Supresión de algunos refuerzos:

Se han suprimido las siguientes barras: AB4; A15, A12.

Para mantener la integridad del costado de la estructura se dispone de una serie de barras que reparten las cargas producidas en la cubierta. La barra AB4 es una de ellas. Dado la poca tensión que recibe y los problemas que produce a las planchas del costado la mejor opción es eliminarlas.



Por último, el puntal situado en la pontona A16, se elimina ya que con la nueva geometría de las barras el espacio restante entre las barras A14 y A20 ha disminuido siendo suficiente la utilización de un único puntal.

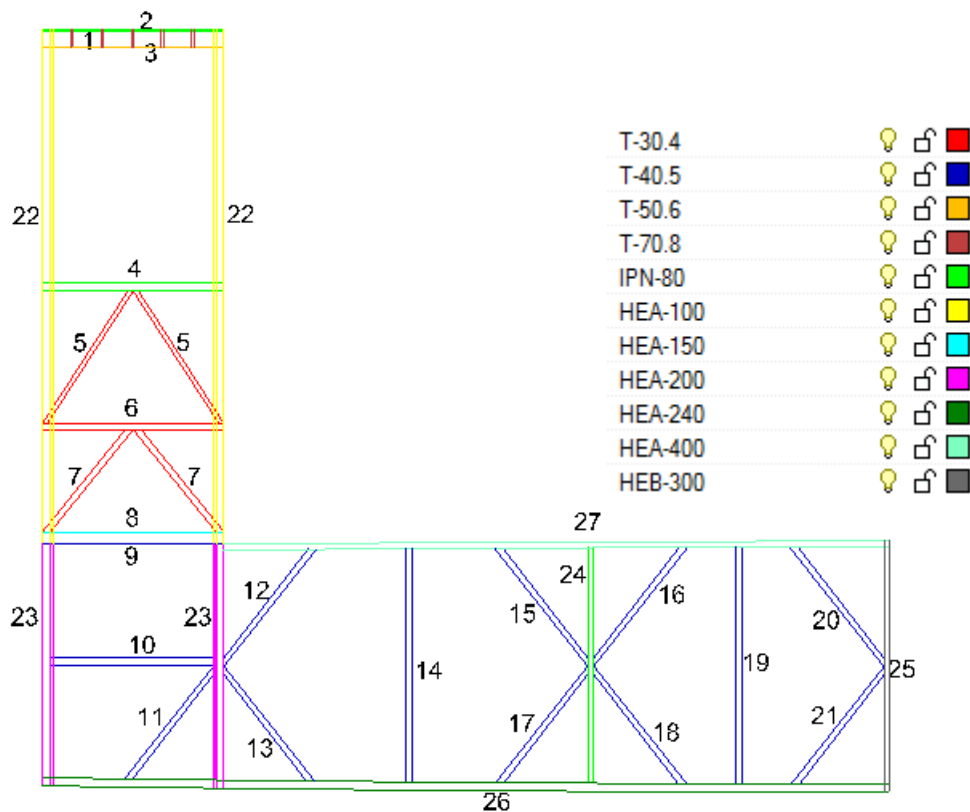
3. Supresión de perfiles en L

Los perfiles en L no trabajan muy bien ya que no son simétricos. Así que se debe buscar otros perfiles convenientes como por ejemplo perfiles en T, IPN etc. Por el contrario, esto implica mayor peso de la estructura.

TIPO DE CUADERNAS

SECCIÓN A

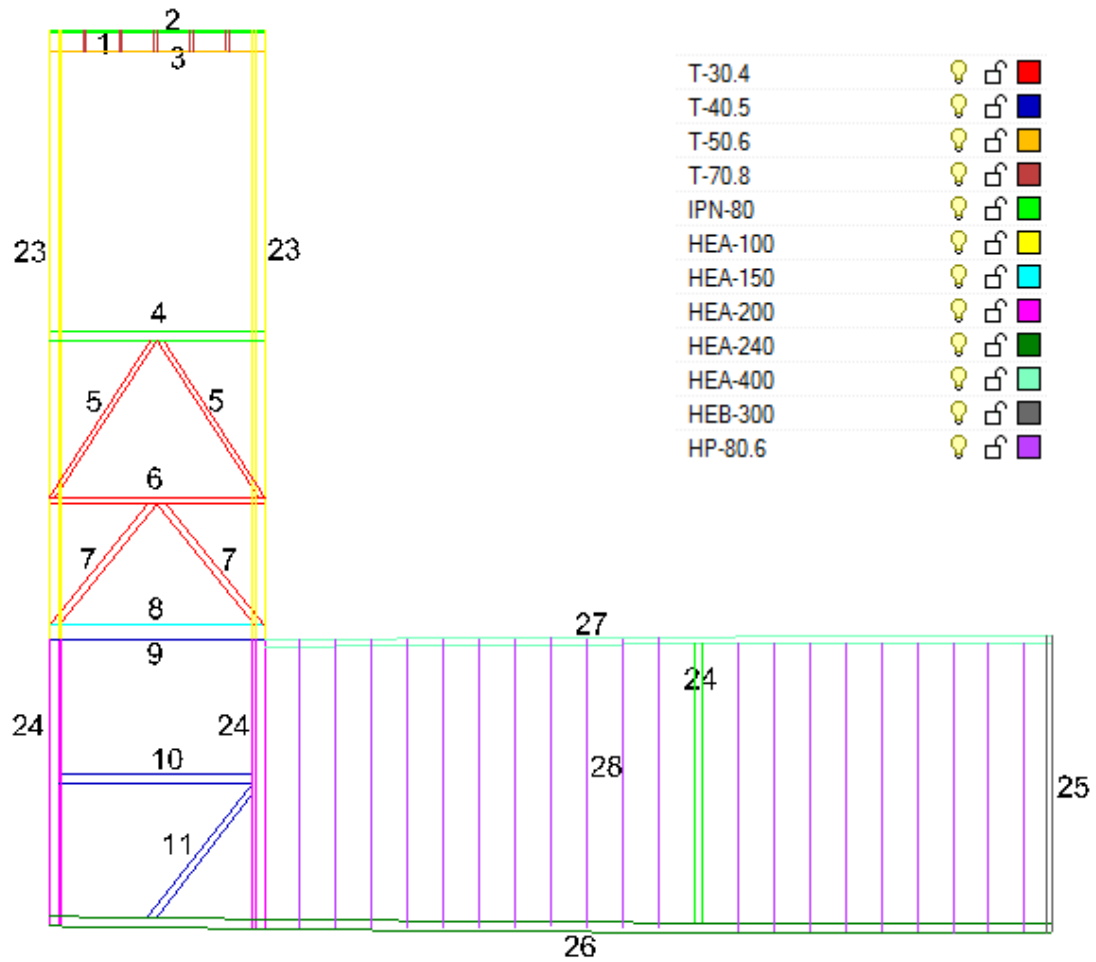
El espaciado entre las cuadernas tipo A se mantiene en 0.625 metros. En la siguiente imagen se pueden observar la nueva geometría con sus respectivos refuerzos.





SECCIÓN B

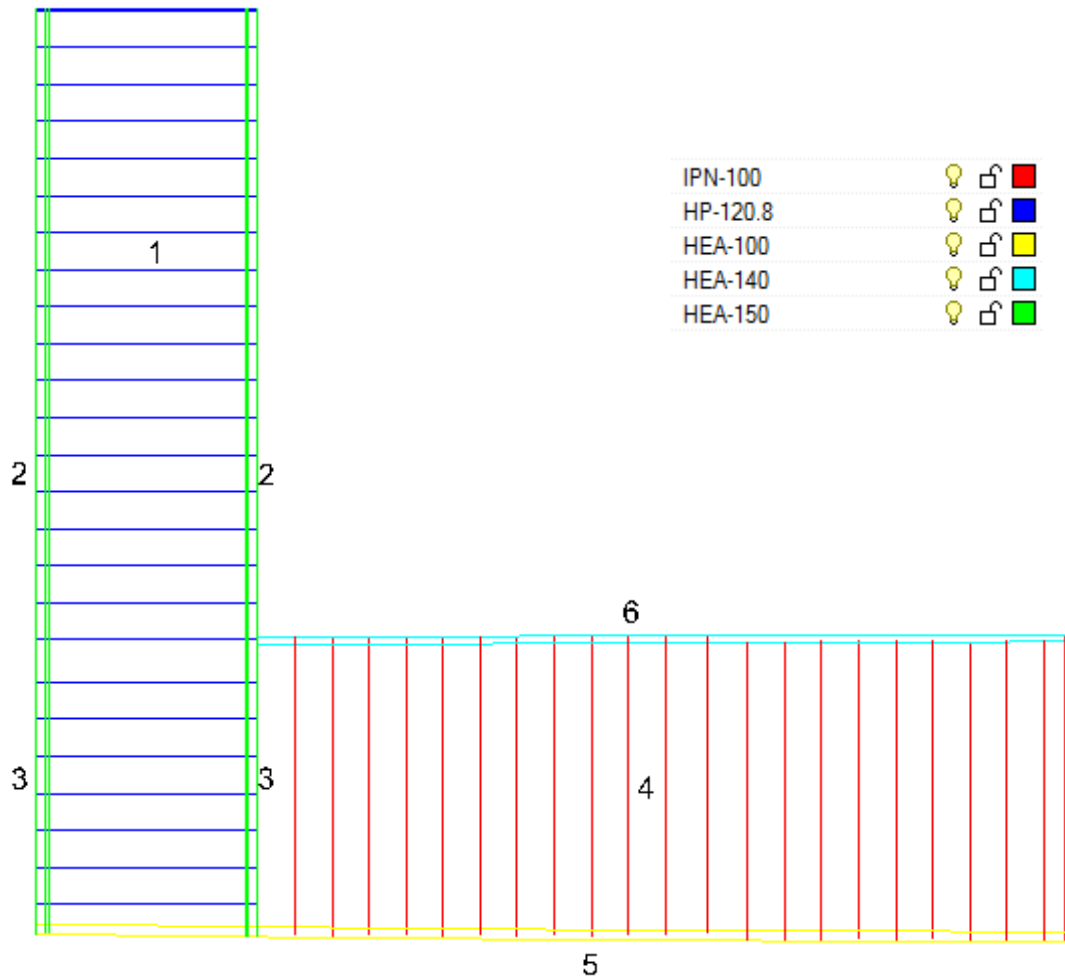
Las cuadernas B tienen una separación de 5 metros. De igual manera que en la geometría antigua, éstas constan de mamparos transversales reforzados.





SECCIÓN C

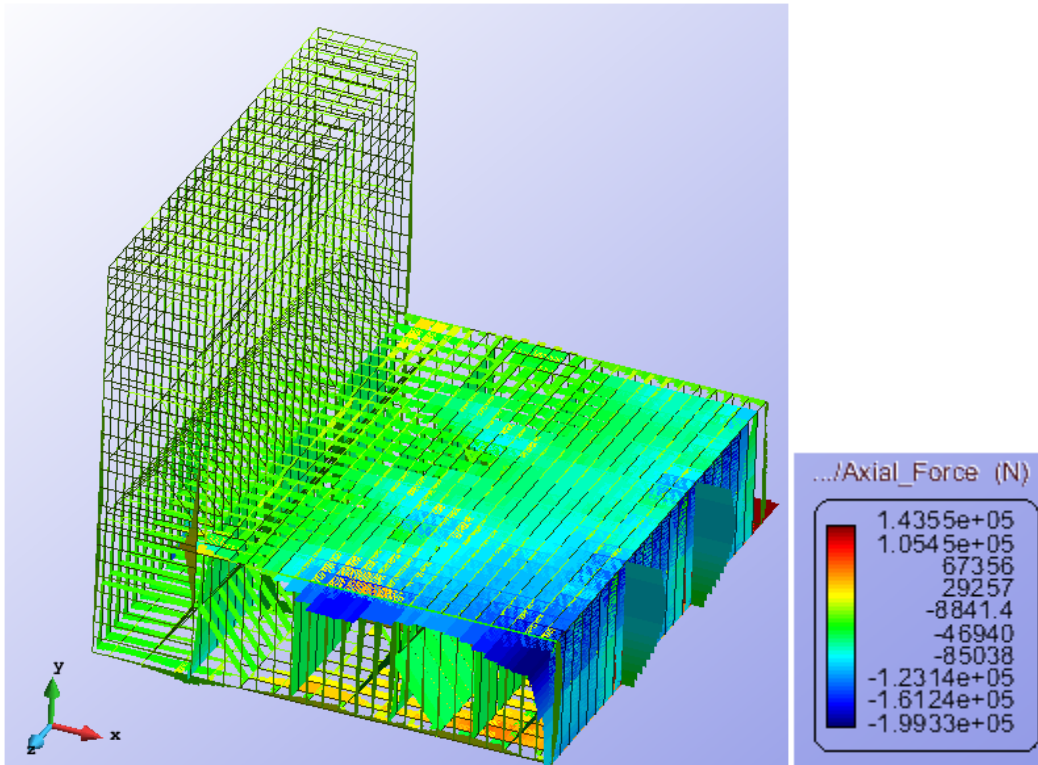
El estudio de la sección C se mantiene como en la estructura 2, estudiando por separado el costado de los refuerzos de la pontona. La pontona se divide en varios refuerzos que trabajen en condiciones similares.



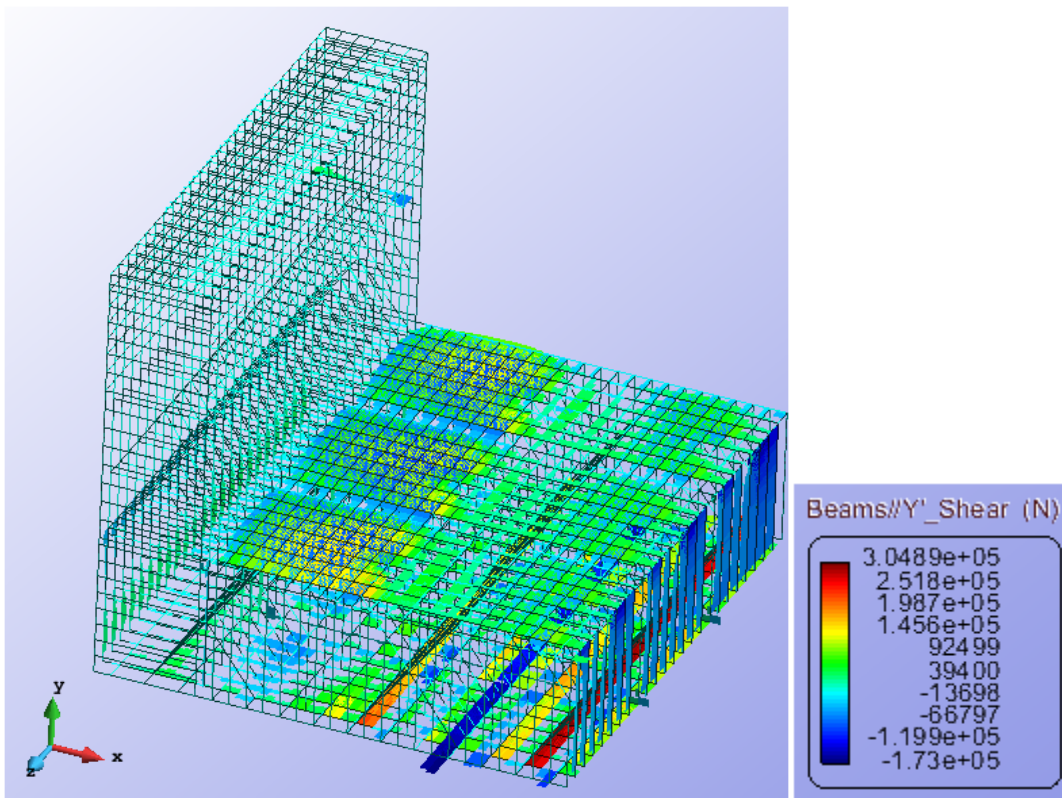


RESULTADOS BARRAS

AXILES

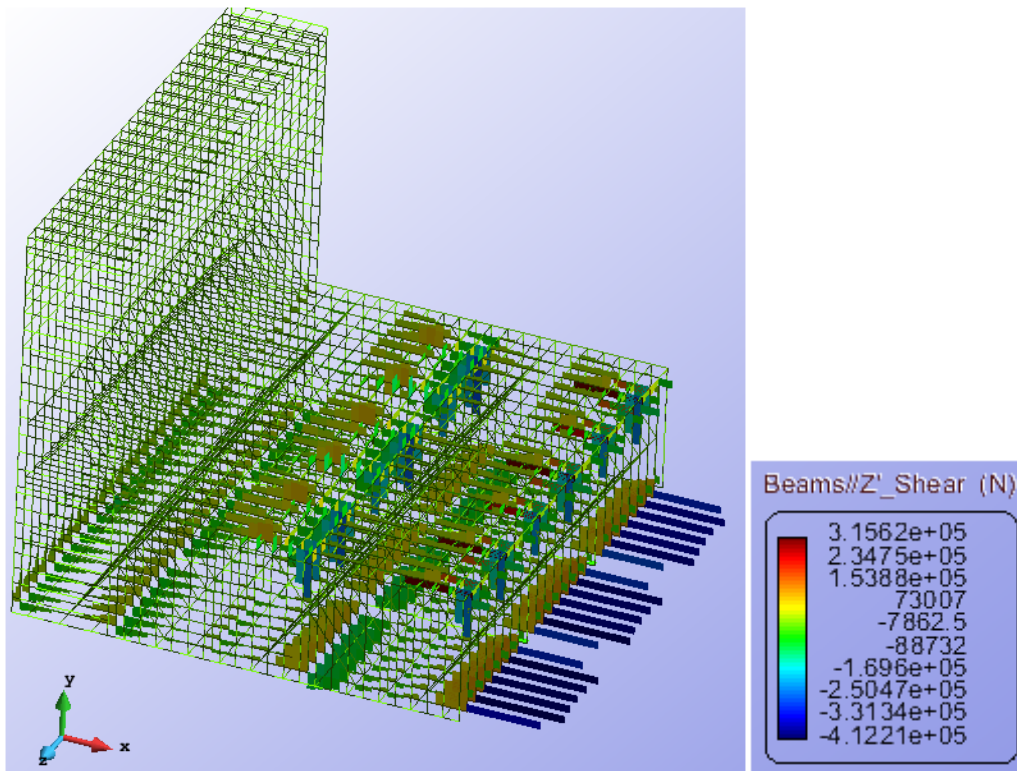


CORTANTES EN Y

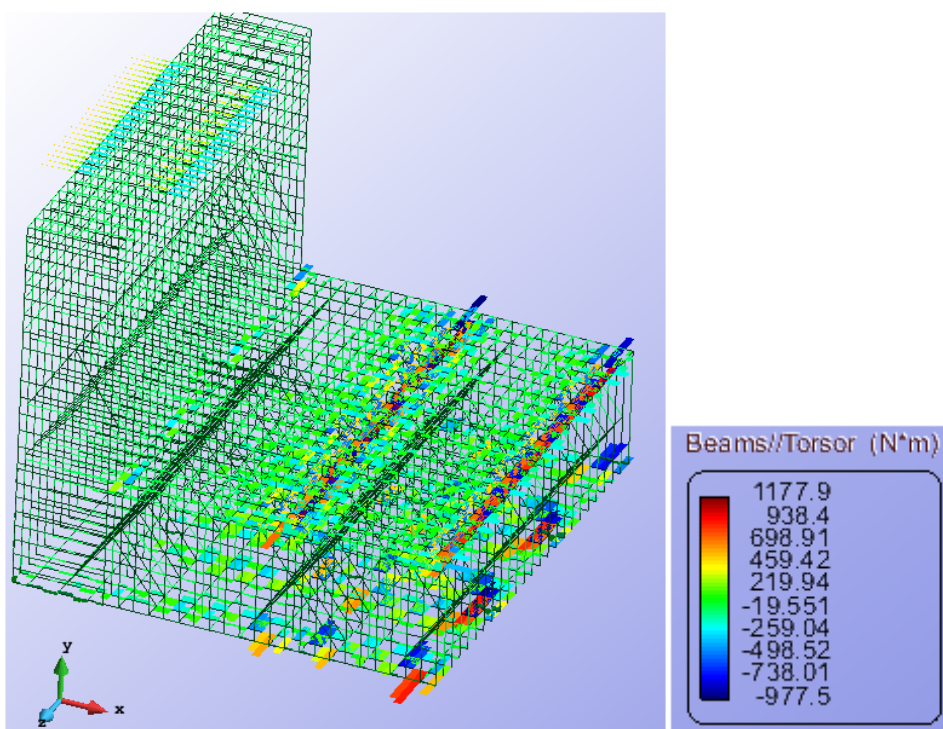




CORTANTES EN Z

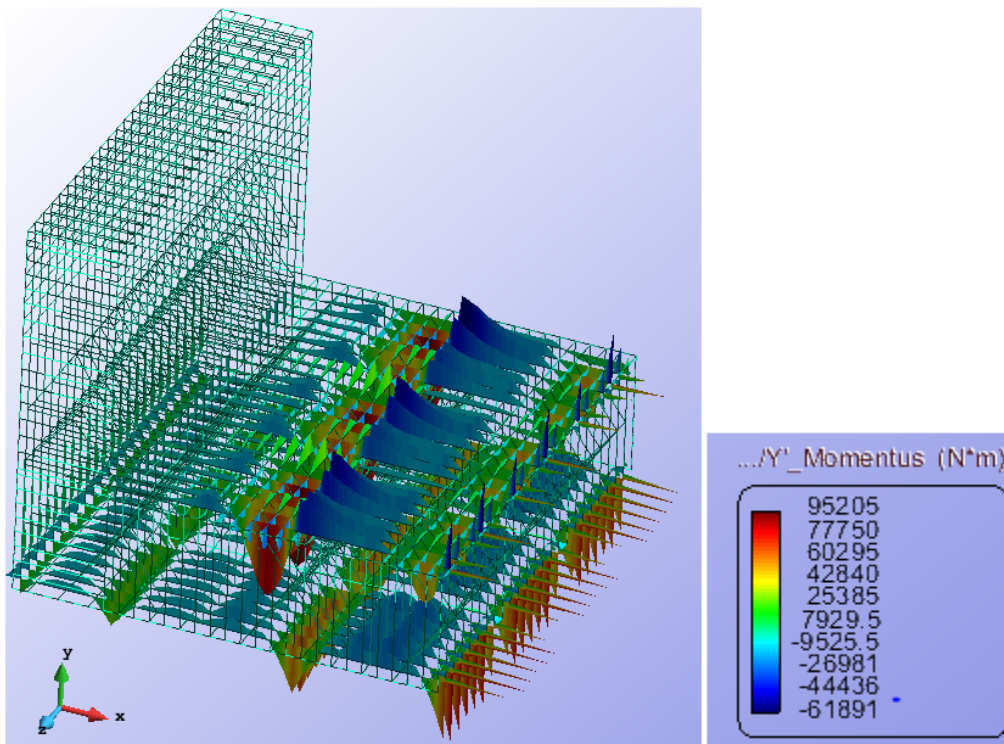


TORSORES

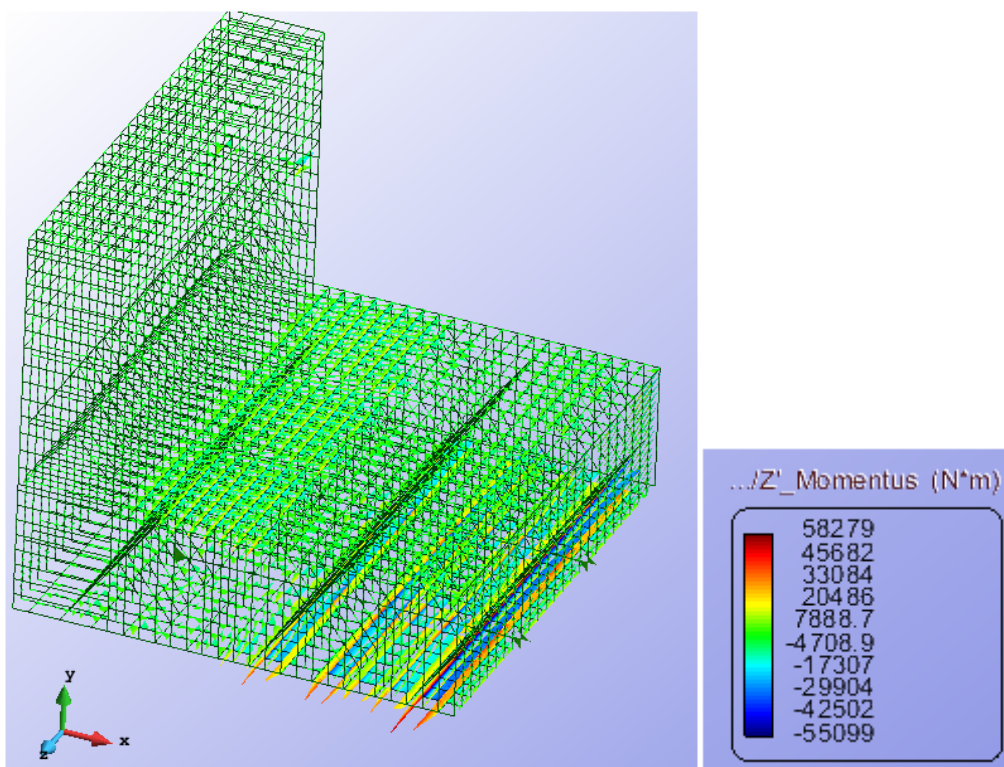




MOMENTOS EN Y

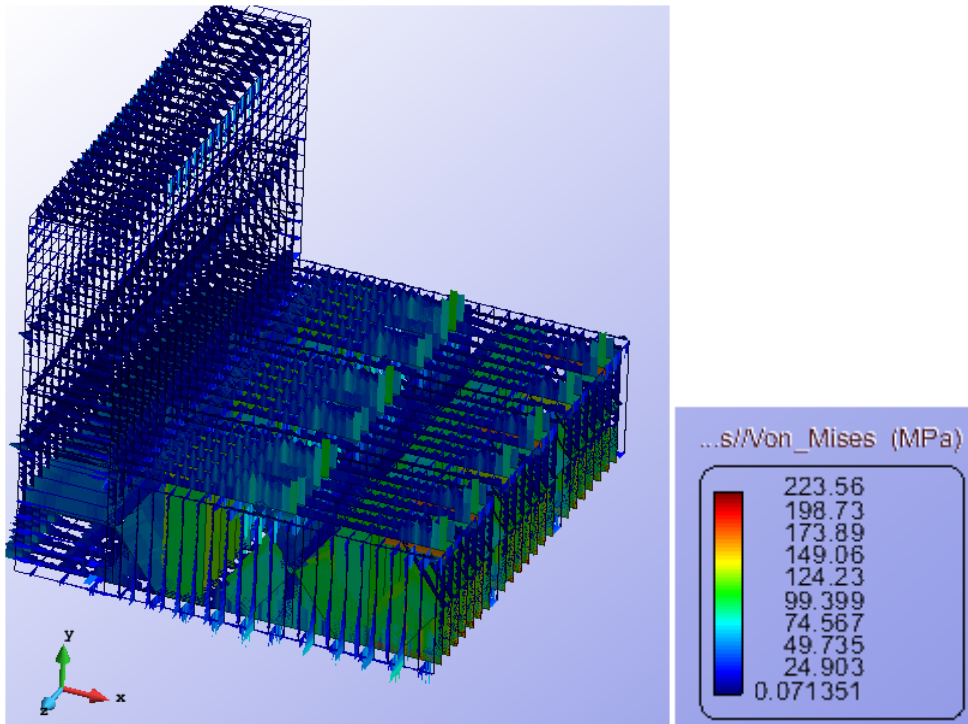


MOMENTOS EN Z





TENSIONES DE VON MISES





ANÁLISIS DE LAS BARRAS

Analizando los resultados obtenidos se observa que la nueva geometría está sobredimensionada debido a la poca tensión que sufren algunas barras.

De la misma manera que la geometría anterior, las mayores tensiones se producen en los refuerzos de la pontona.

Por otro lado, se observa claramente que el cambio de los perfiles L a perfiles T es adecuado. Sin embargo, se puede reducir más el tamaño de estos perfiles para lograr una estructura menos pesada.

Existen barras que su comportamiento es nulo antes estas cargas y que la mejor solución es suprimirlas.

En la siguiente tabla se observan los perfiles actuales de la estructura y las tensiones que aparecen en cada barra. A partir de estos resultados se efectuarán las modificaciones necesarias para optimizar el diseño estructural.

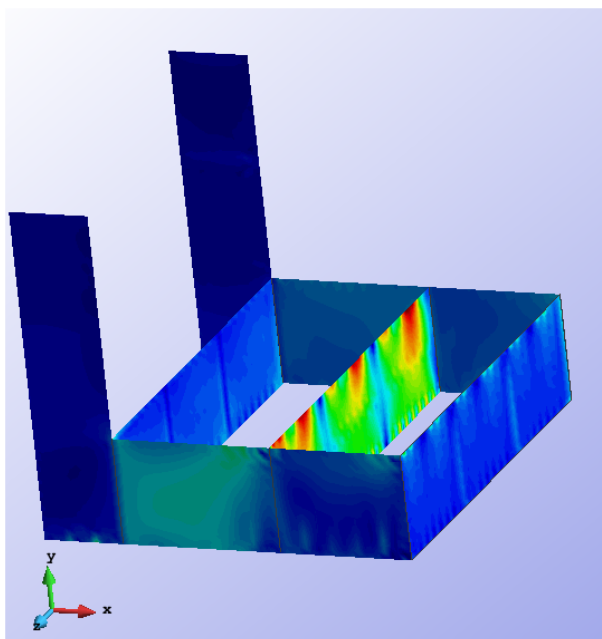
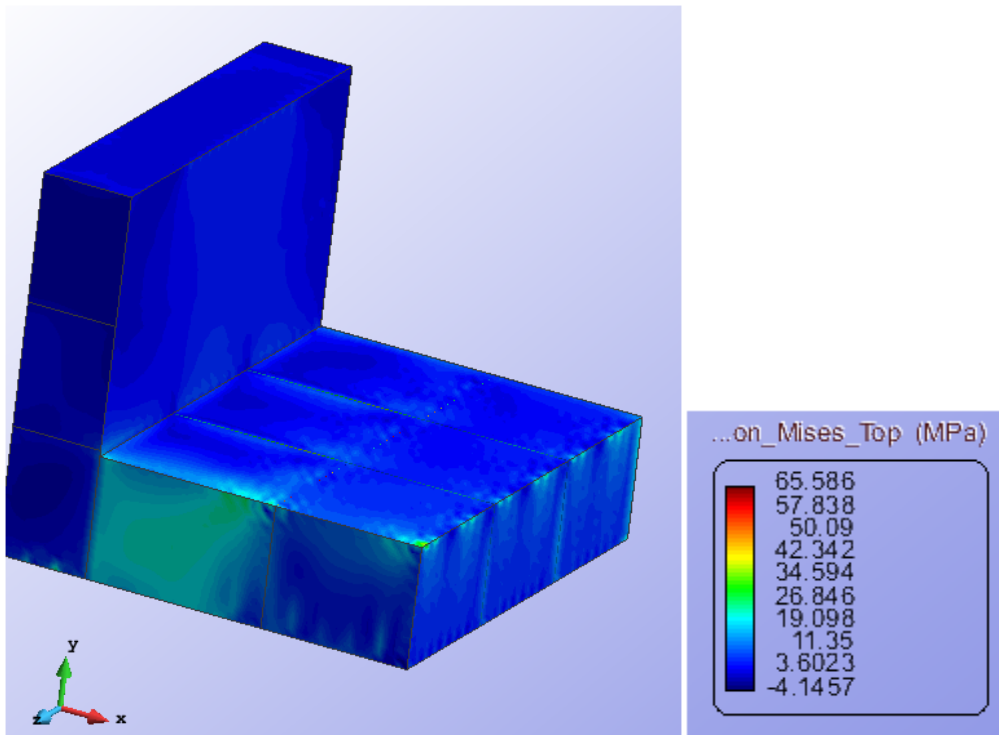
BARRA E3	PERFIL	TENSIÓN VON MISES (Mpa)
AB1	T-70.6	36,81
AB2	IPN-80	15,59
AB3	T-50.6	30,21
AB4	IPN-80	24,6
AB5	T-30.4	18,04
AB6	T-30.4	12,36
AB7	T-30.4	15,34
AB8	HEA-150	52,79
AB9	T-40.5	28,53
AB10	T-40.5	63,66
AB11	T-40.5	43,36
AB12	T-40.5	50,88
AB13	T-40.5	63,99
AB14	T-40.5	136,15
AB15	T-40.5	68,18
AB16	T-40.5	35,55
AB17	T-40.5	106,02
AB18	T-40.5	126,84
AB19	T-40.5	113,48
AB20	T-40.5	18,24
AB21	T-40.5	122,59
AB22	HEA-100	40,7
AB23	HEA-200	78,89



AB24	IPN-80	82,45
AB25	HEB 300	223,56
AB26	HEA-240	205,01
AB27	HEA-400	115,66
B28	HP-80.6	39,45
C1	HP-120.8	45,09
C2	HEA-150	14,1
C3	HEA-150	28,87
C4	IPN-100	88,46
C5	HEA-100	27,07
C6	HEA-140	70,59
L1	IPN-80	26,69
L2	T-40.5	90,44
L3	T-30.4	9,53
L4	HEA-240	107,9
L5	HEA-100	121,97

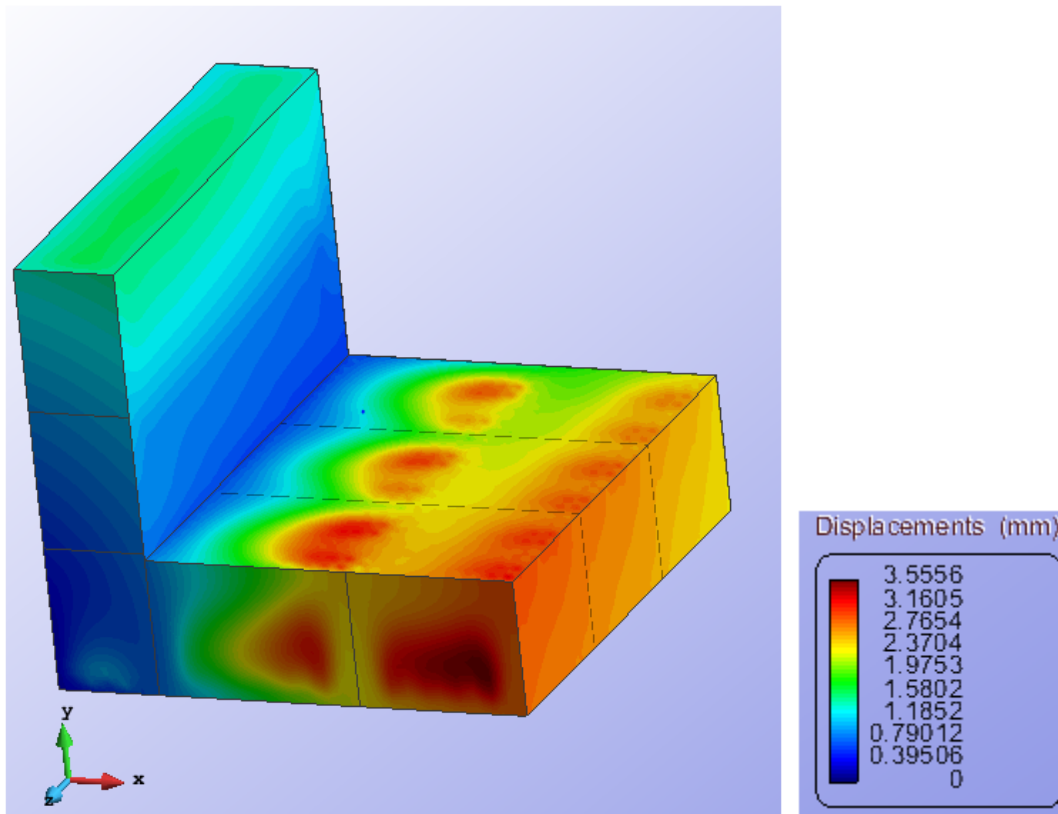


RESULTADOS DE LAS LÁMINAS





DESPLAZAMIENTOS



ANÁLISIS DE LAS LÁMINAS

Como indican los resultados, las tensiones máximas de las planchas se producen en el mamparo longitudinal situado a 5 metros de la línea de crujía. Los picos de tensión se encuentran en la zona de los picaderos de pantoque con un máximo de 65MPa, por lo tanto, están sobredimensionadas ya que la tensión límite del acero es de 254,83 MPa.

Los desplazamientos máximos de las láminas, de manera lógica y coherente, se producen en la zona de picaderos. El desplazamiento máximo tiene un valor de 3,55mm.

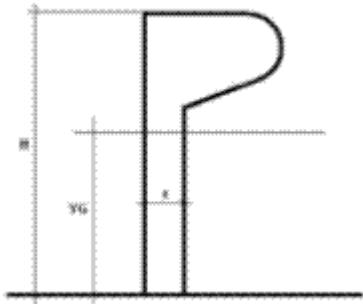
En resumen, para mejorar el diseño, se disminuirá el espesor de estas planchas hasta el límite permitido por la sociedad de clasificación ABS.



ANEXO 4

Las propiedades de los perfiles utilizados en todas las iteraciones se pueden observar en estas tablas.

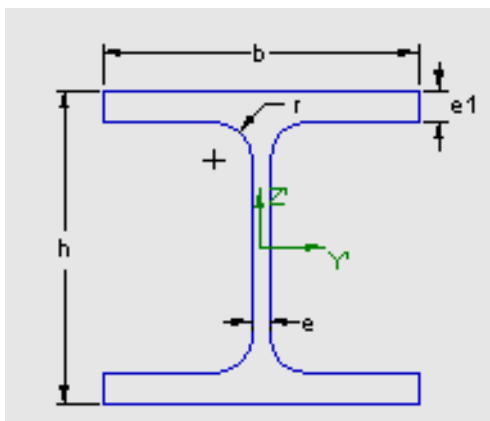
PERFIL HP



H=altura total o nominal
e= espesor del alma y del ala
 Y_g = distancia al centro de masa en el eje Y
I=momento de inercia
W=módulo resistente
A=área de la sección recta transversal

Perfiles	Medidas (mm)			Área (cm ²)	Módulo resistente (cm ³)		Momentos de inercia (cm ⁴)		
	H	e	Y_g		w_y	w_z	I_y	I_z	I_{yz}
HP-80.6	80	6	9,59	6,2	12	0,773	38,7	0,7413	13,9
HP-120.8	120	8	12,63	12,1	34,7	1,889	171	2,386	56,33
HP-140.8	140	8	13,32	14,1	47,8	2,255	273	3,003	82,28
HP-160.8	160	8	13,99	16,2	63,3	2,658	411	3,719	114,4

PERFIL HEB

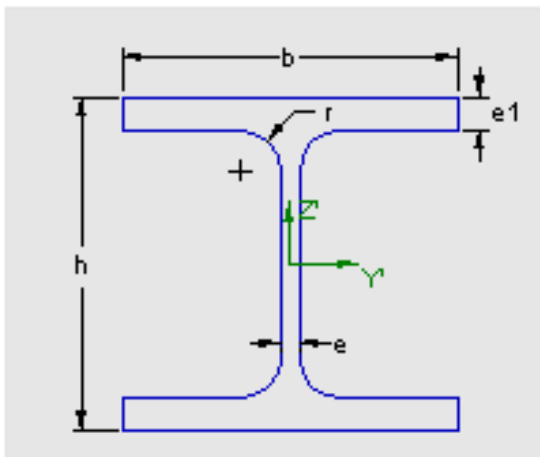


h=altura total o nominal
b= anchura de las alas
e= espesor del alma
e1= espesor del ala
r=radio de acuerdo entre el alma y el ala
I=momento de inercia
W=módulo resistente
A=área de la sección recta transversal



Perfiles	Medidas (mm)					Área (cm ²)	Módulo resistente (cm ³)		Momentos de inercia (cm ⁴)		
	b	h	e	e ₁	r		w _Y	w _Z	I _Y	I _Z	I _{YZ}
HEB-240	240	240	10	17	21	106	938	327	11260	3920	1
HEB-300	300	300	11	19	27	149,1	1680	571	25170	8560	1
HEB-360	300	360	12,5	22,5	27	180,6	2400	676	43190	10140	1

PERFIL HEA



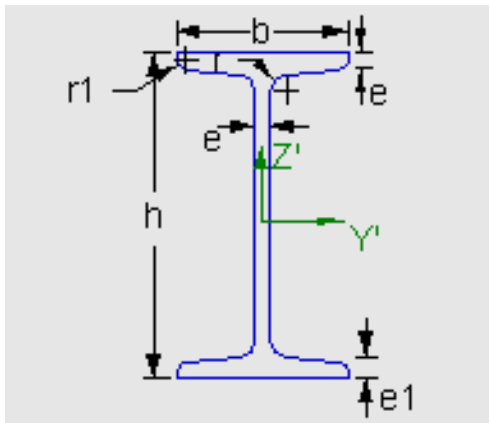
h=altura total o nominal
 b= anchura de las alas
 e= espesor del alma
 e1= espesor del ala
 r=radio de acuerdo entre el alma y el ala
 I=momento de inercia
 W=módulo resistente
 A=área de la sección recta transversal

Perfiles	Medidas (mm)					Área (cm ²)	Módulo resistente (cm ³)		Momentos de inercia (cm ⁴)		
	b	h	e	e ₁	r		w _Y	w _Z	I _Y	I _Z	I _{YZ}
HEA-100	100	96	5	8	12	21,2	73	27	349	134	1
HEA-120	120	114	5	8	12	25,3	106	38	606	231	1
HEA-140	140	133	5,5	8,5	12	31,4	155	56	1030	389	1
HEA-150	160	152	6	9	15	38,8	220	77	1670	616	1
HEA-200	200	190	6,5	10	18	53,8	389	134	3690	1340	1



HEA-240	240	230	7,5	12	21	76,8	675	231	7760	2770	1
HEA-260	260	250	7,5	12,5	24	86,6	836	282	10460	3670	1
HEA-340	300	330	9,5	16,5	27	133,5	1680	496	27690	7440	1
HEA-400	300	390	11	19	27	159	2310	571	45070	8560	1

PERFIL IPN

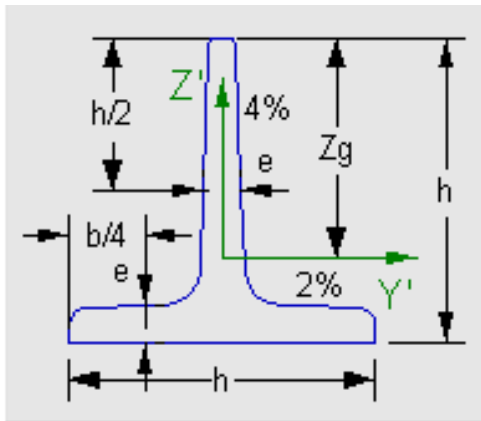


h=altura total o nominal
 h_1 =longitud de la parte recta del alma
 b= anchura de las alas
 e= espesor del alma
 e_1 = espesor del ala
 r=radio de acuerdo entre el alma y el ala
 r_1 = radio redondeado de las aristas
 I=momento de inercia
 W=módulo resistente
 A=área de la sección recta transversal

Perfiles	Medidas (mm)						Área (cm ²)	Módulo resistente (cm ³)		Momentos de inercia (cm ⁴)		
	b	h	e=r	e_1	r_1	h_1		w_Y	w_Z	I_Y	I_Z	I_{YZ}
IPN-80	42	80	3,9	5,9	2,3	59	7,58	19,5	3	77,8	6,29	1
IPN-200	90	200	7,5	11,3	4,5	159	33,5	214	26	2140	117	1
IPN 220	98	220	8,1	12,2	4,9	175	39.6	278	33,1	3060	162	1



PERFIL T



h =altura total o nominal

b = anchura de las alas

e = espesor del alma y del ala

Z_g = distancia al centro de masa en el eje Z

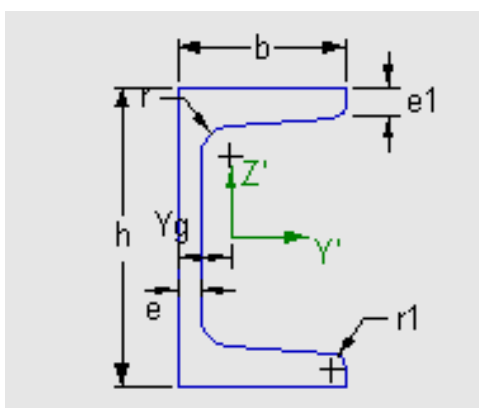
I =momento de inercia

W =módulo resistente

A =área de la sección recta transversal

Perfiles	Medidas (mm)				Área (cm ²)	Módulo resistente (cm ³)		Momentos de inercia (cm ⁴)		
	b	h	e	Z_g		w_Y	w_Z	I_Y	I_Z	I_{YZ}
T-30.4	30	30	4	2,15	2,26	0,8	0,58	1,72	0,87	1
T-40.5	40	40	5	2,5	3,77	1,84	1,29	5,28	2,58	1
T-50.6	50	50	6	3,61	5,66	3,36	2,42	12,1	6,06	1
T-70.8	70	70	8	4	10,6	8,79	6,32	44,5	22,1	1

PERFIL UPN



h =altura total nominal

h_1 =longitud de la parte recta del alma

b =anchura de las alas

e =espesor del alma

e_1 =espesor del ala

r =radio de acuerdo entre el alma y el ala

r_1 = radio del redondeado del ala

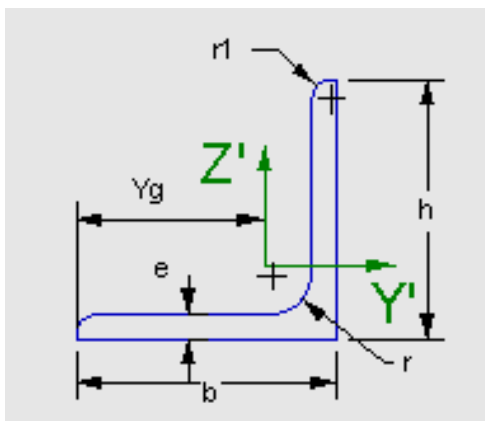
I =momento de inercia

W =Módulo resistente



Perfiles	Medidas (mm)						Área (cm ²)	Módulo resistente (cm ³)		Momentos de inercia (cm ⁴)		
	b	h	e=r	e ₁	r ₁	h ₁		w _Y	w _Z	I _Y	I _Z	I _{YZ}
UPN-80	45	80	6	8	4	46	11	26,5	6,36	106	19,4	1
UPN-120	55	120	7	9	4,5	82	17	60,7	11,1	364	43,2	1
UPN-200	75	200	8,5	11,5	6	151	32,2	191	27	1910	148	1

PERFIL L



b=longitud de ala
h= altura de ala
e=espesor ala
r= radio de acuerdo de las alas
r1= radio redondeado de las aristas
I=momento de inercia
W=módulo resistente
A=área de la sección recta transversal

Perfiles	Medidas (mm)					Área (cm ²)	Módulo resistente (cm ³)		Momentos de inercia (cm ⁴)		
	b	h	e	r	r1		w _Y	w _Z	I _Y	I _Z	I _{YZ}
L-20.3	20	20	3			1,13	0,279	0,279	0,39	0,39	1
L-35.5	35	35	5	5	2,5	3,28	1,45	1,45	3,56	3,56	1
L-50.5	50	50	5	7	3,5	4,8	3,05	3,05	11	11	1
L-80.12	80	80	12	10	5	17,9	18,2	18,2	102	102	1
L-90.10	90	90	10	11	5,5	17,1	19,8	19,8	127	127	1
L-100.10	100	100	10	12	6	19,2	24,6	24,6	177	177	1
L-150.12	150	150	12	16	8	34,8	67,7	67,7	737	737	1
L-200.24	200	200	24	18	9	90,6	235	235	3330	3330	1

IX. PLANOS