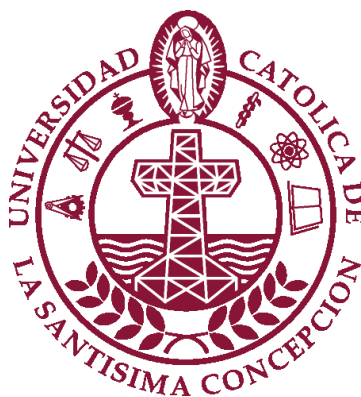


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil



ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE REFUERZO PARA LA
RECUPERACIÓN DEL REMOLCADOR DE ALTAMAR “PODEROSO”

HUGO ENRIQUE ESPINOZA MUÑOZ

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

Profesor Guía: Dr. Claudio Oyarzo Vera.

Profesor Informante: Prof. Guillermo Bustamante Laissle.

Concepción, Agosto 2017

Dedicado a mi familia.

Resumen

El remolcador de altamar Poderoso fue construido en 1911 en los astilleros H & C Grayson Shipbuilders & Engineers Ltd. en Liverpool, Inglaterra, para prestar servicios a una compañía británica que operaba en Valparaíso, llegando a Chile en ese mismo año.

Durante varios años brinda sus servicios como remolcador en el puerto de Valparaíso y llega a ser el principal remolcador del mar de Chile.

En 1988 deja de prestar servicios y a partir de 1990 es declarado Monumento Histórico por el Gobierno de Chile.

Tras varios intentos fallidos de convertirlo en museo en Valparaíso, finalmente en 1994, el Poderoso zarpa hacia Talcahuano donde en poco tiempo se crea la Corporación Monumento al Trabajo Marítimo RAM Poderoso, que se dedica a preservar el patrimonio de la historia marítima que constituye el remolcador de alta mar Poderoso. Bajo el alero de esta Corporación el barco se convierte en un museo flotante y biblioteca, transformándose en un hito referencial del puerto de Talcahuano.

En la madrugada del 27 de febrero de 2010, el Poderoso fue sorprendido por el terremoto y tsunami que llegó a las costas de Chile el 27 de febrero de 2010, sismo que desplazó al barco de su sitio, volcándolo de costado sobre la bahía, lugar donde aún permanece abandonado.

El proyecto que aquí se presenta, muestra el análisis y diseño de la estructura de refuerzo que protegerá el casco de la embarcación para su deslizamiento.

Se analizó la alternativa para su extracción del lugar para así dejarlo en un lugar seguro para su restauración.

También el análisis de la estructura se realizó para distintas ubicaciones del volcamiento y etapas de construcción de esta, por ende será un análisis para distintos estados de cargas que se aplicarán en cada etapa.

Por último se realizará el análisis del montaje, mediante soldaduras de distintos tamaños para los distintos perfiles más solicitados que se generarán por cada movimiento de este

proceso. Se menciona, además, como será el proceso de retiro del lugar del RAM Poderoso, hasta el lugar apto para que pueda ser trasladado, donde se restaurará y puedan seguir mostrando la historia de este gran remolcador.

Abstract

The offshore tug boat “Poderoso” was built in 1911 in the docks of H & C Grayson Shipbuilders & Engineers Ltd. in Liverpool, England in order to give services to a British company that operated in Valparaiso, arriving to Chile the same year.

During many years of service as a tugboat in Valparaiso’s port, it became the main tugboat of Chilean sea.

It limited its service in 1988 and in 1990 it was declared a Historical Monument by the Chilean government.

After many failed attempts to transform it into a museum in Valparaiso, finally in 1994, “El Poderoso” set sail to Talcahuano where, in a short time, the “Corporación Monumento al Trabajo Marítimo RAM Poderoso” was created, an association that is dedicated to preserving maritime historical heritage. Under the wing of this corporation, the ship became a floating museum and library, becoming a referential milestone of Talcahuano’s port.

Early morning, February the 27th, 2010, “El Poderoso” was surprised by the earthquake and tsunami that arrived on the Chilean coasts that day, the catastrophic event displaced the ship from its former place, knocking it sideways over the bay, to the place where it still remains abandoned.

The project presented here, shows the analysis and design of the reinforcement structure that will protect the hull of the ship for its slip.

It was analyzed as the best option for its extraction from that place in order to keep it in a safe place for its restoration.

Also, the structure analysis was done for different locations of the repositioning and stages of the construction of the structure, thus, it will be an analysis for different states of loads that will be applied in each stage.

Finally, an analysis of the mounting was done, that will be through welding of different sizes for different profiles in demand that will be generated for each movement of this process. It was said, besides, as the process will be the extraction from the place of RAM

Poderoso to a suitable place so that it can be moved where it can be restored and can keep showing the history of this great tugboat.

Índice de Contenidos

Resumen	ii
Abstract	iv
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas	xi
Capítulo 1 : Introducción.....	1
1.1 Historia de RAM Poderoso.....	1
1.2 Condición posterior del RAM Poderoso al 27F.....	3
1.3 Protección del RAM para su extracción	3
1.3.1 Estructura para proteger el casco.....	4
1.3.2 Riel para su deslizamiento al momento de la extracción.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
Capítulo 2 : Estructura de protección del casco	6
2.1 Volumen de suelo a remover	6
2.2 Procedimiento de volteo	8
2.2.1 Etapas del volteo	8
2.2.2 Estructura de reforzamiento	11
2.3 Máquinas a utilizar	14
2.4 Materiales	19
2.4.1 Acero.....	19
2.5 Cargas de diseño	20
2.5.1 Carga muerta (D).....	20
2.5.2 Sobrecarga (Lr).....	30
2.5.3 Distribución de cargas por movimientos de la combinación analizada.....	40
2.6 Combinaciones de carga.....	43
2.7 Análisis estructural.....	43

2.7.2 Resistencia de flexión miembros compactos de sección H	45
2.7.3 Deformaciones	48
2.8 Resultados.....	49
Capítulo 3 : Instalación de la estructura de protección	60
3.1 Soldaduras.....	60
3.1.1 Descripción	60
3.1.2 Usos	60
3.1.3 Normas de diseño	61
3.1.4 Materiales.....	62
3.1.5 Análisis de diseño.....	63
3.1.6 Resultados	68
3.2 : Riel para su deslizamiento	73
Capítulo 4 Estimación de costos.....	74
Capítulo 5 : Conclusiones	80
Referencias y Bibliografía.....	81
Anexos.....	82
5.1 Anexo A: Razón ancho espesor	82
5.2 Anexo B: Elemento de máxima sollicitación.....	83
5.3 Anexo C: Perfiles	85
5.3.1 Reforzamiento longitudinal de anclajes de winches en posición original	85
5.3.2 Reforzamiento longitudinal con segundo movimiento.....	88
5.3.3 Reforzamiento transversal lado interior del barco con segundo movimiento.....	91
5.3.4 Reforzamiento transversal lado exterior del barco con segundo movimiento ...	94
5.3.5 Reforzamiento transversal abajo del barco con tercer movimiento	97
5.4 Anexo D: Tamaño de Soldadura de Filete.....	100
5.4.1 Reforzamiento longitudinal de anclajes de winches con primer movimiento ..	100
5.4.2 Reforzamiento longitudinal con segundo movimiento.....	100
5.4.3 Reforzamiento transversal lado interior del barco con segundo movimiento...	101
5.4.4 Reforzamiento transversal lado exterior del barco con segundo movimiento ..	101
5.4.5 Reforzamiento transversal abajo del barco con tercer movimiento	102

Índice de Figuras

Figura 1.1: Construcción del RAM Poderoso	1
Figura 1.2: RAM Poderoso trabajando en Puerto de Valparaiso.	2
Figura 1.3: RAM Poderoso antes del 27F.....	2
Figura 1.4: RAM Poderoso en estado y posición actual.	3
Figura 2.1: Plano en 3D del terreno junto al RAM Poderoso.	6
Figura 2.2: Área de corte para el volteo del RAM Poderoso.....	7
Figura 2.3: Posición original de la embarcación con primera etapa de la estructura.	8
Figura 2.4: Primer movimiento de la embarcación con primera etapa de la estructura.	9
Figura 2.5: Segundo movimiento de la embarcación con primera etapa de la estructura. ...	9
Figura 2.6: Tercer movimiento de la embarcación con estructura completa.	10
Figura 2.7: Vista transversal RAM Poderoso con la mitad de la estructura.	11
Figura 2.8: Vista de estructura de RAM Poderoso completo.....	12
Figura 2.9: Primera etapa de instalación de la protección.	12
Figura 2.10: Viga donde se aplican todas las fuerzas.....	13
Figura 2.11: Cargas puntuales donde irán las conexiones de los winches.....	14
Figura 2.12: Winche Prowinch PWY400.	15
Figura 2.13: Polea Prowinch PWPF500	16
Figura 2.14: Distribución de winches y poleas.	18
Figura 2.15: Cable de acero.	19
Figura 2.16: Aplicación de carga muerta en posición original.	20
Figura 2.17: Distribución del peso del barco en cada punto de anclaje.	22
Figura 2.18: Aplicación de carga muerta en primer movimiento.....	23
Figura 2.19: Aplicación de la carga muerta en un corte transversal en segundo movimiento.....	25
Figura 2.20: Aplicación de carga muerta en segundo movimiento.	26
Figura 2.21: Aplicación de carga muerta en tercer movimiento.	28
Figura 2.22: Aplicación de carga muerta en posición final.	29
Figura 2.23: Aplicación de sobre carga en posición original.....	30
Figura 2.24: Aplicación de sobrecarga en posición original.....	32
Figura 2.25: Aplicación de sobre carga en primer movimiento.....	33

Figura 2.26: Aplicación de sobre carga en segundo movimiento.	35
Figura 2.27: Aplicación de sobre carga en segundo movimiento.	36
Figura 2.28: Aplicación de sobre carga en tercer movimiento.	38
Figura 2.29: Aplicación de sobre carga en posición final.	39
Figura 2.30: Aplicación de carga muerta en posición original.	40
Figura 2.31: Aplicación de carga muerta en posición original.	41
Figura 2.32: Aplicación de carga muerta en posición original.	41
Figura 2.33: Aplicación de carga muerta en posición original.	42
Figura 2.34: Aplicación de carga muerta en posición original.	42
Figura 2.35: Elemento más solicitado en posición actual.	49
Figura 2.36: Relación de esfuerzos de cada elemento en posición actual.	50
Figura 2.37: Elemento más solicitado en primer movimiento.	51
Figura 2.38: Elementos más solicitados en Segundo movimiento.	52
Figura 2.39: Elementos más solicitados en tercer movimiento.	53
Figura 2.40: Elementos más solicitados en tercer movimiento.	54
Figura 2.41: Diagonales de la estructura de protección.	55
Figura 2.42: Reforzamiento longitudinal de anclajes de la estructura de protección.	56
Figura 2.43: Reforzamiento longitudinal de los lados de la estructura de protección.	56
Figura 2.44: Reforzamiento longitudinal de abajo de la estructura de protección.	57
Figura 2.45: Reforzamiento transversal de la parte exterior de la estructura de protección.	58
Figura 2.46: Reforzamiento transversal de la parte interior de la estructura de protección.	58
Figura 2.47: Reforzamientos transversales de la estructura de protección.	59
Figura 3.1: Soldadura entre dos secciones.	63
Figura 3.2: Soldadura entre 3 secciones.	64
Figura 3.3: Área efectiva de soldadura de Filete.	65
Figura 3.4: Corte en el metal base de la conexión.	66
Figura 3.5: Tracción o compresión paralela al eje del cordón.	67
Figura 3.6: Reforzamiento longitudinal de anclajes soldado.	69
Figura 3.7: Reforzamientos longitudinales soldado.	70
Figura 3.8: Reforzamiento longitudinal de una parte soldada.	70

Figura 3.9: Reforzamiento longitudinal de una parte soldada.	71
Figura 3.10: Unión de soldadura entre dos perfiles.....	71
Figura 3.11: Reforzamiento transversal soldado.....	72
Figura 0.1: Elementos de máxima sollicitación con primer movimiento.	83
Figura 0.2: Elementos de máxima sollicitación con segundo movimiento.....	83
Figura 0.3: Elementos de máxima sollicitación con tercer movimiento.....	84
Figura 0.4: Dimensiones perfil tipo utilizado.	85
Figura 0.5: Diagramas de esfuerzos de reforzamiento longitudinal de anclajes.	87
Figura 0.6: Diagrama de esfuerzos de reforzamiento longitudinal.	90
Figura 0.7: Diagrama de esfuerzos de reforzamiento transversal lado interior del barco ..	93
Figura 0.8: Diagrama de esfuerzos de reforzamiento transversal lado exterior del barco..	96
Figura 0.9: Diagrama de esfuerzos reforzamiento transversal abajo del barco.	99

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Volumen a eliminar.	7
Tabla 2.2: Carga total del RAM Poderoso.	15
Tabla 2.3: Deformaciones admisibles.	48
Tabla 2.4: Posición más desfavorable para cada tipo de perfil utilizado.	55
Tabla 3.1: Procesos de soldaduras eléctricas.	61
Tabla 3.2: Nomenclatura de las siglas de la soldadura a ocupar.	62
Tabla 3.3: Tamaño mínimo de Filetes según área efectiva de soldadura.	65
Tabla 3.4: Resistencia al corte de Filetes.	67
Tabla 3.5: Tamaño de la soldadura de Filete por análisis en cada movimiento.	68
Tabla 4.1: Winches para Ram Poderoso.	74
Tabla 4.2: Precio unitario del hormigón.	74
Tabla 4.3: Precio unitario moldajes de bloques de hormigón.	75
Tabla 4.4: Precio unitario para remover suelo.	75
Tabla 4.5: Precio unitario para la instalación de la soldadura de 16 mm.	76
Tabla 4.6: Precio unitario para la instalación de la soldadura de 8 mm.	76
Tabla 4.7: Precio unitario para la instalación de la soldadura de 3 mm.	76
Tabla 4.8: Precio unitario de los perfiles tipo H.	77
Tabla 4.9: Precio unitario de los tubos.	77
Tabla 4.10: Precio unitario para el retiro de la arena del interior del barco.	78
Tabla 4.11: Partidas y costos de cada una.	78
Tabla 4.12: Costo total poleas.	79
Tabla 4.13: Costo total cable de acero.	79
Tabla 4.14: Costo total para la recuperación del RAM Poderoso.	79
Tabla 0.1: Razones ancho espesor.	82
Tabla 0.2: Verificaciones de reforzamiento longitudinal de anclajes.	85
Tabla 0.3: Verificaciones de reforzamiento longitudinal.	88
Tabla 0.4: Verificaciones de reforzamiento transversal lado interior del barco.	91
Tabla 0.5: Verificaciones de reforzamiento transversal lado exterior del barco.	94

Tabla 0.6: Verificaciones de reforzamiento transversal abajo del barco.	97
Tabla 0.7: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento longitudinal de anclajes.	100
Tabla 0.8: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento longitudinal.	100
Tabla 0.9: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento transversal lado interior del barco.	101
Tabla 0.10: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento transversal lado exterior del barco.	101
Tabla 0.11: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento transversal abajo del barco.....	102

Capítulo 1 : Introducción

1.1 Historia de RAM Poderoso

El Poderoso fue construido en 1911 en los astilleros H & C Grayson Shipbuilders & Engineers Ltd. en Liverpool, Inglaterra, para prestar servicios a una compañía británica que operaba en Valparaíso, llegando al país en ese mismo año.



Figura 1.1: Construcción del RAM Poderoso

Fuente: Assistant Curator del Museo Nacional de Liverpool, Mr. John Winrow

Durante varios años brinda sus servicios como remolcador en el puerto de Valparaíso y llega a ser el principal remolcador del mar de Chile. En tal condición, participa en las labores de desvaramiento del Cabo Tamar en Lenga, así como también en el anclaje del dique Valparaíso.

En la Figura 1.2 se ve trabajando al RAM Poderoso en el puerto de Valparaíso.



Figura 1.2: RAM Poderoso trabajando en Puerto de Valparaíso.

Fuente: Foro de Base Naval de Talcahuano.

En 1988 deja de prestar servicios y a partir de 1990 es declarado Monumento Histórico por el Gobierno de Chile. Tras varios intentos fallidos de convertirlo en museo en Valparaíso, finalmente en 1994 el Poderoso zarpa hacia Talcahuano donde, en poco tiempo, se crea la Corporación Monumento al Trabajo Marítimo RAM Poderoso, que se dedica a preservar el patrimonio de la historia marítima que constituye el remolcador de alta mar Poderoso. Bajo el alero de esta Corporación el barco se convierte en un museo flotante y biblioteca, transformándose en un hito referencial del puerto de Talcahuano. Sin embargo, con el transcurso de los años el remolcador sufre un paulatino deterioro que pone en riesgo su integridad por lo cual la Corporación RAM Poderoso, realiza un llamado a la comunidad alertándola sobre el futuro del barco museo y la necesidad de someterlo a urgentes reparaciones en dique seco.



Figura 1.3: RAM Poderoso antes del 27F.

Fuente: Foro de Base Naval de Talcahuano.

1.2 Condición posterior del RAM Poderoso al 27F

En la madrugada del 27 de febrero de 2010, el *Poderoso* fue sorprendido por el terremoto y tsunami que asoló las costas de Chile, sismo que desplazó al barco de su sitio, volcándolo de costado sobre la bahía, lugar donde aún permanece abandonado hasta la fecha.

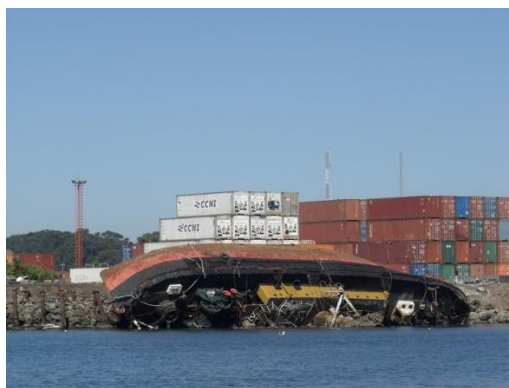


Figura 1.4: RAM Poderoso en estado y posición actual.

Fuente: Foro Base Naval de Talcahuano.

Al ser nombrado monumento histórico, es necesario recuperarlo y repararlo ya que la ley 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas nos indica que debemos preservar nuestro patrimonio, siendo una actitud cultural hacia nuestro pasado de respeto y reconocimiento colectivo, que permitirá dejar a las futuras generaciones tal legado.

1.3 Protección del RAM para su extracción

Para lograr la recuperación del RAM Poderoso será necesario proteger esta embarcación. La principal problemática es su posición actual (desde 2010 que se encuentra así), como se muestra en la Figura 1.4.

Durante todos estos años el barco ha sufrido un daño debido al agua de mar, la arena que se encuentra en su interior debido al oleaje y la diferencia de marea que ocurre diariamente.

Para proteger la integridad de la embarcación, se necesitará una grúa que sea capaz de moverlo, por lo que habrá que proteger el casco de tal manera que este no sufra daños al momento de voltearlo como al momento de sacarlo a tierra.

1.3.1 Estructura para proteger el casco

La embarcación será necesario reforzarla para proteger la integridad completa de ésta, para que toda fuerza ejercida se transmita a la estructura de protección y así no sufra daños. Esta estructura deberá resistir el peso del remolcador y solo un poco de arena que se encuentra en su interior (se sacará el máximo de arena posible).

La estructura se instalará por partes debido a la ubicación actual en la que se encuentra el remolcador, por lo que tendrá que tener vigas de acero especiales en puntos específicos que logren soportar todo el peso al momento que comience el volteo.

1.3.2 Riel para su deslizamiento al momento de la extracción

Cuando el barco se encuentre volteado hay que tener un riel instalado, para que se deslice hasta la plataforma que trasladará a un lugar en tierra donde se realicen las reparaciones necesarias para que vuelva a convertirse en un museo, pero esta vez en un museo ubicado en tierra. Este punto no se analizará detalladamente, pero si se dará una idea para esta labor.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

El objetivo general de este proyecto es analizar y diseñar la estructura de reforzamiento del casco de la embarcación para que al momento de voltearlo no sufra daños y se pueda extraer a un lugar apto para su reparación.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estimar la cantidad de suelo a remover para que, al momento de voltear el RAM Poderoso, éste pueda estar en una posición que corresponda.
- Establecer una estrategia de volteo utilizando la maquinaria necesaria que sea capaz de mover el peso requerido.
- Analizar y optimizar un modelo de la estructura de refuerzo que sea capaz de resistir las cargas, tensiones y esfuerzos que se generarán al momento de comenzar el volteo de la embarcación.
- Ver la forma de instalar la estructura de protección de la embarcación.
- Analizar de manera simple la extracción de la embarcación una vez volteado a un lugar seguro.

Capítulo 2 : Estructura de protección del casco

2.1 Volumen de suelo a remover

Para que la embarcación se pueda voltear y quede en una posición óptima para su posterior deslizamiento por el riel, será necesario remover una cantidad de suelo. El proyecto contempla realizar una acomodación junto a la embarcación que permita su volteo.

Para este cálculo se utilizó la topografía realizada por el Sr. Felipe González y el Sr. Diego Vargas, en el marco de la tesis de este último.

En la Figura 2.1 se muestra la medición topográfica en un plano de coordenadas X, Y y Z, con la cual se calcula el volumen de suelo necesario que hay que remover, para que al momento del volteo la embarcación quede en una posición óptima.

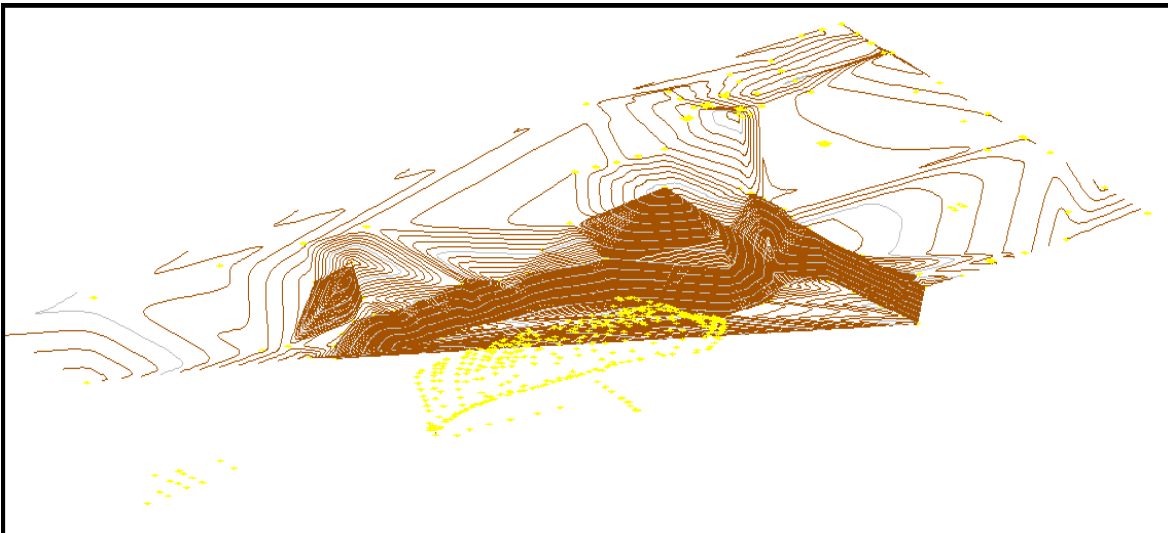


Figura 2.1: Plano en 3D del terreno junto al RAM Poderoso.

Fuente: Proyecto de Titulo de Diego Vargas.

En la Figura 2.2 se delimita el volumen de suelo que será removida.

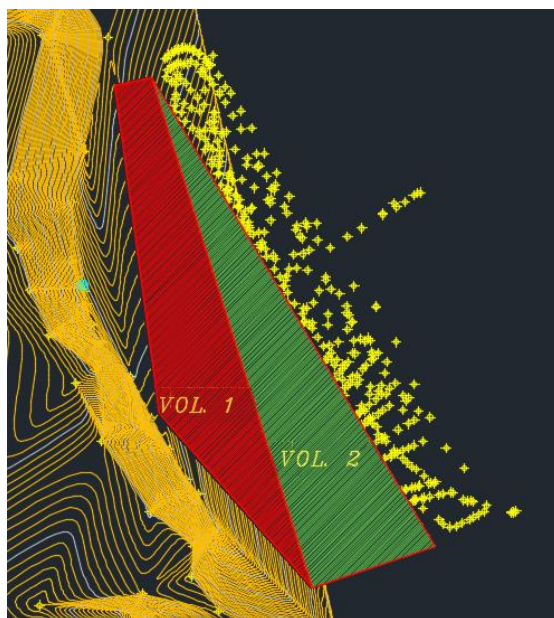


Figura 2.2: Área de corte para el volteo del RAM Poderoso.

Fuente: Topografía elaborada por Felipe González y Diego Vargas.

El volumen 1 que será removido del lugar es un talud formado naturalmente en el lugar y a partir del volumen 2 es un lugar relativamente plano por lo que la profundidad es constante.

De la Figura 2.2 se obtuvieron los volúmenes que se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Volumen a eliminar.

Volumen a eliminar		
	Volumen	Unidad
Volumen 1	996,34	m ³
Volumen 2	375,62	m ³
Total	1.371,96	m ³

De lo calculado en la Tabla 2.1 el volumen necesario que se retirará es de 1.372 m³ aproximadamente.

2.2 Procedimiento de volteo

Para que la embarcación RAM Poderoso pueda ser retirada del lugar necesariamente hay que voltearla. Al momento de realizar esta operación, hay que enganchar huinches (una vez que la estructura este instalada) en lugares estratégicos, ya que en esta operación solo una parte de la estructura tendrá que resistir todo el peso que se ejercerá. En este lugar de enganches irá una estructura metálica de refuerzo de dimensiones notoriamente mayores al resto de la estructura.

Estando el RAM Poderoso en su posición original se terminará de construir el lado faltante de la estructura de protección para que esté apto para el retiro de la embarcación a tierra.

2.2.1 Etapas del volteo

En las Figura 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 se ven las etapas del volteo de la embarcación.

2.2.1.1 Posición original.

a)

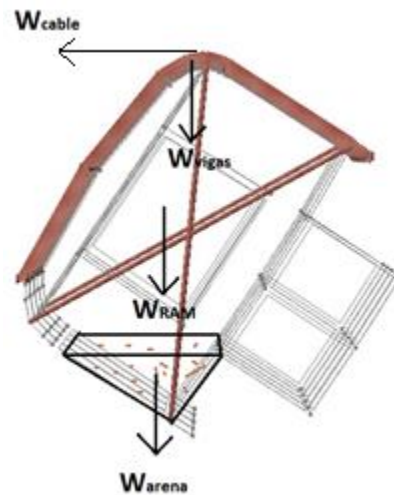


Figura 2.3: Posición original de la embarcación con primera etapa de la estructura.

Fuente: Proyecto de título de Diego Vargas.

2.2.1.2 Primer movimiento

b)

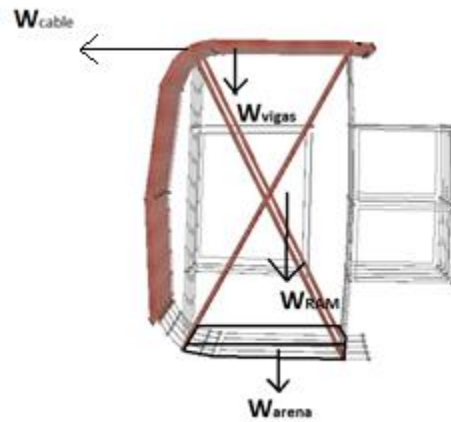


Figura 2.4: Primer movimiento de la embarcación con primera etapa de la estructura.

Fuente: Proyecto de título de Diego Vargas.

2.2.1.3 Segundo Movimiento

c)

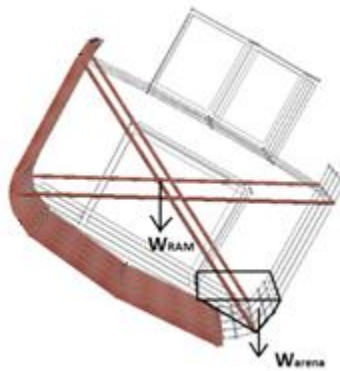


Figura 2.5: Segundo movimiento de la embarcación con primera etapa de la estructura.

Fuente: Proyecto de título de Diego Vargas.

2.2.1.4 Tercer movimiento y posición final

d)

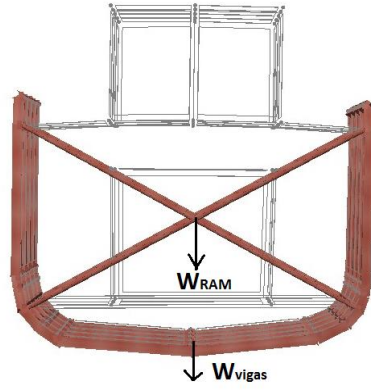


Figura 2.6: Tercer movimiento de la embarcación con estructura completa.

Fuente: Proyecto de título de Diego Vargas.

2.2.2 Estructura de reforzamiento

Para poder instalar el reforzamiento del casco de la embarcación será necesario hacerlo por partes, debido a la ubicación en que se encuentra.

Primero se instalará la mitad de la parte superior de la estructura, como se ve en la Figura 2.7 y 2.8.

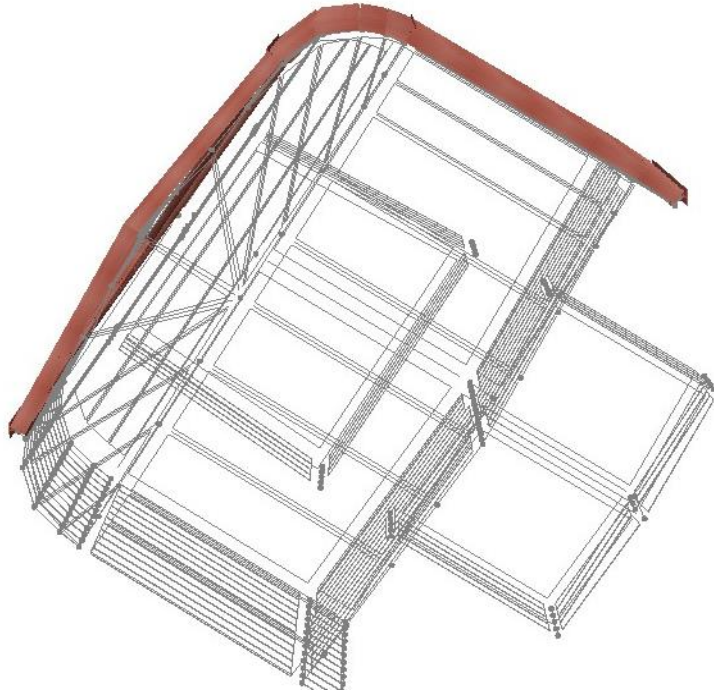


Figura 2.7: Vista transversal RAM Poderoso con la mitad de la estructura.

Fuente: Proyecto de título de Diego Vargas.

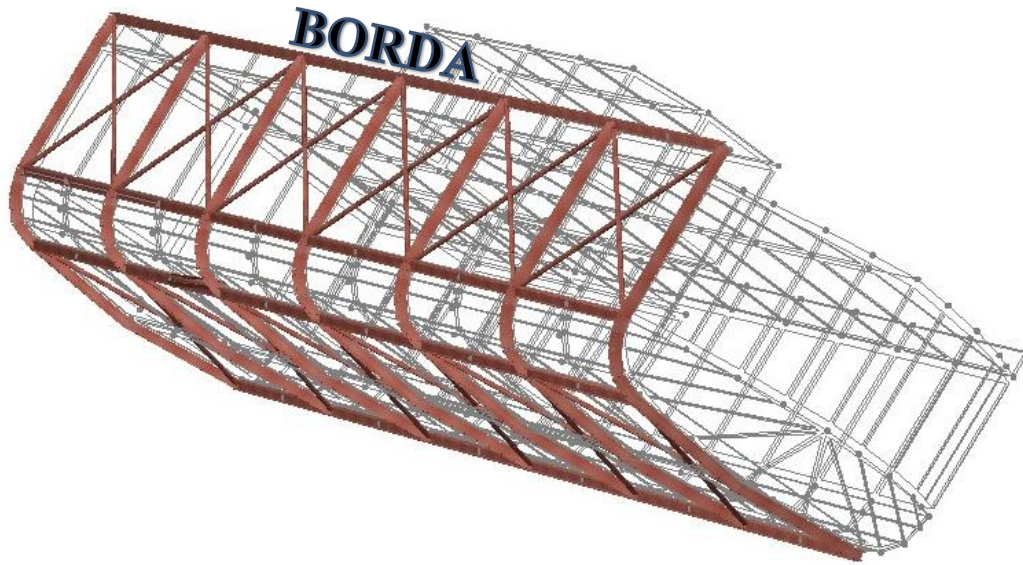


Figura 2.8: Vista de estructura de RAM Poderoso completo.

Fuente: Proyecto de título de Diego Vargas.

Se comienza con esta etapa de construcción, porque toda esta parte es la que se encuentra fuera del agua y se puede comenzar a trabajar en la posición en la que se encuentra.

La estructura se comenzará a armar desde la borda (Figura 2.8), para luego continuar por el costado y terminar la primera parte de la instalación por debajo del barco. En la Figura 2.9 se aprecia la forma como quedará esta primera construcción.

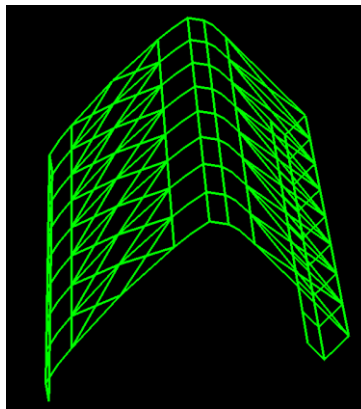


Figura 2.9: Primera etapa de instalación de la protección.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En la Figura 2.9 se aprecia cómo quedará la estructura, señalando que en la borda será la parte donde se aplicará toda la fuerza cuando se comiencen a realizar los movimientos.

En los movimientos a) y b) (Figura 2.3 y 2.4) a la estructura en general no se le aplicarán fuerzas, ya que la embarcación está tocando el fondo. Debido a esto en la Figura 2.10 se aprecia la viga que se le aplicará toda la fuerza en estos dos primeros movimientos.

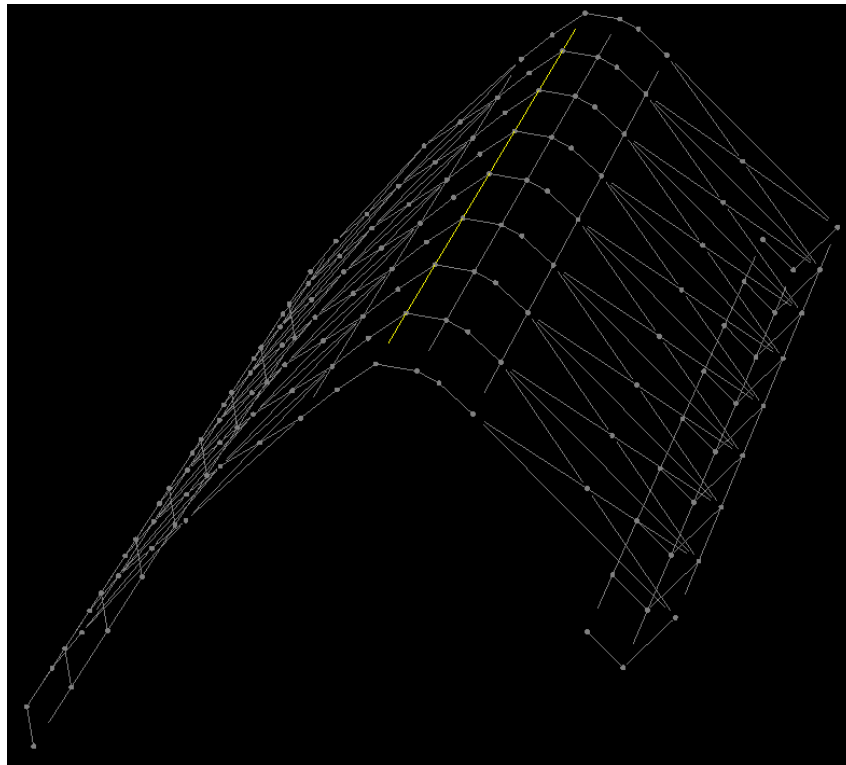


Figura 2.10: Viga donde se aplican todas las fuerzas.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En la Figura 2.10 se ve la viga a la que se le aplicarán todas las fuerzas, por lo que ésta tendrá un tamaño mayor a las demás (será la viga donde se conecten los winches).

Esta viga será la más importante, ya que se conectarán 9 winches para tratar de distribuir todas las fuerzas. En la Figura 2.11 se aprecia dónde irán conectados los winches, que es la misma ubicación donde se aplican las cargas puntuales del peso del barco y arena.

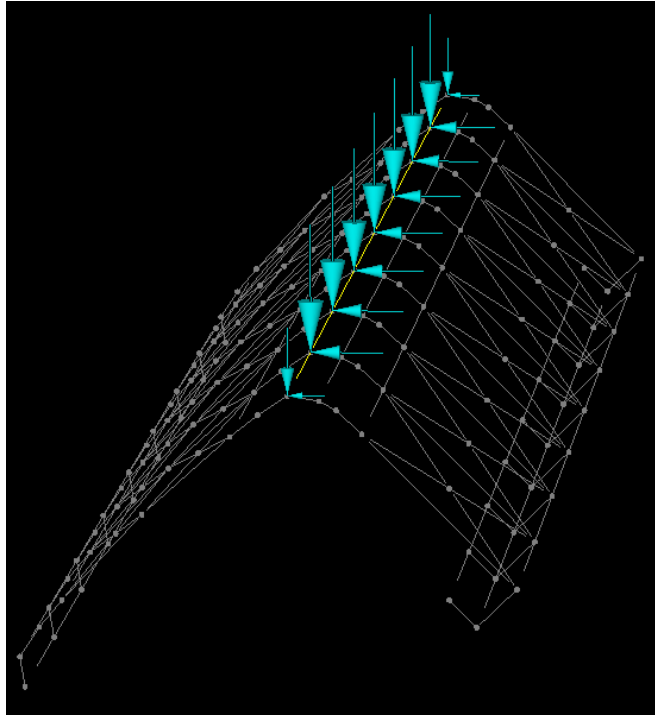


Figura 2.11: Cargas puntuales donde irán las conexiones de los winches.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

Estas conexiones irán cada 4.5 metros.

2.3 Máquinas a utilizar

Para poder realizar esta operación, será necesario tener los winches que resistirán el peso.

En la Tabla 2.2 se indican los pesos totales del proyecto y así poder definir los winches necesarios para poder realizar el volteo. La arena será removida del interior, por lo que el peso será reducido al 90% dejando solo el 10% que puede quedar en lugares inaccesibles.

Tabla 2.2: Carga total del RAM Poderoso.

Cargas total de RAM Poderoso		
Cargas	Peso	Unidad
Peso propio	320	Ton
Peso estructura	23	Ton
Peso Arena	110	Ton
Peso Arena reducido	11	Ton
Total	354	Ton

En la Tabla 2.2 vemos que el peso total es de 354 toneladas, por lo que se pondrán 2 winches con una capacidad de 40 toneladas cada uno.

Se utilizará un winche de marca Prowinch, modelo PWY400, que se aprecia en la Figura 2.12.



Figura 2.12: Winche Prowinch PWY400.

Fuente: Pagina web comercial de Prowinch.

Para que el winche pueda funcionar correctamente, será necesario ponerlo sobre un bloque de hormigón que tenga el peso necesario para que no ocurra el efecto de deslizamiento y/o volcamiento una vez que se empieza a jalar la embarcación.

Se utilizarán poleas para poder disminuir la cantidad de winches a utilizar. Estas tendrán una capacidad de 40 toneladas cada una y se utilizarán un total de 17.

La marca será Prowinch, modelo PWPF500, que se aprecia en la Figura 2.13

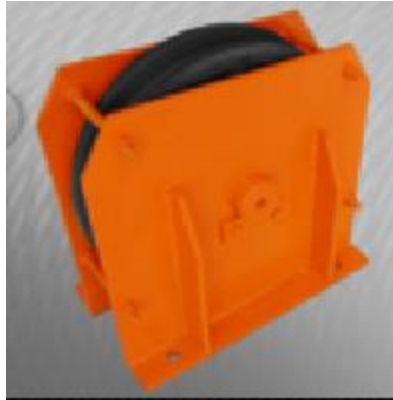
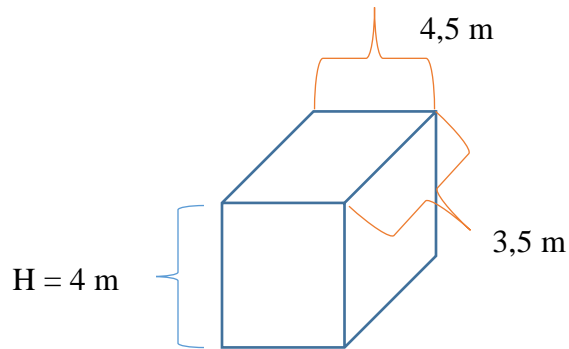


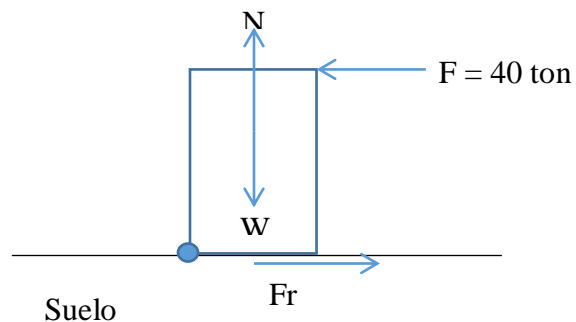
Figura 2.13: Polea Prowinch PWPF500

Fuente: Pagina web comercial de Prowinch.

El bloque será de la siguiente manera



El diagrama de la figura queda de la siguiente manera:



La fricción en los suelos de Talcahuano varía entre 0.3 a 0.5 por ser principalmente arcilla. Se utilizará una fricción $\mu = 0.4$.

Peso específico del hormigón:

$$\gamma: 2.400 \text{ kg/m}^3$$

Volumen del bloque:

$$V: 4 \times 4,5 \times 3,5 \text{ m}^3: 63 \text{ m}^3.$$

Peso del bloque de hormigón:

$$W: 2.400 \text{ kg/m}^3 \times 63 \text{ m}^3$$

$$W: 151 \text{ ton.}$$

Se realiza equilibrio de fuerzas para verificar que el bloque no deslice.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_r = F = 40 \text{ ton}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$W = N$$

$$F_{r_{\max}} = N * \mu = W * 0.4 = 151 \text{ ton} * 0,4 = 60,5 \text{ ton}$$

Factor de seguridad:

$$FS = 1,5$$

$$\frac{F_{r_{\max}}}{FS} = \frac{60,5 \text{ ton}}{1,5} = 40,33 \text{ ton}$$

$F_r < F_{r_{\max}}$ entonces no desliza.

$$40 \text{ ton} < 40,33 \text{ ton}$$

Por lo tanto no desliza.

Se realiza equilibrio de momento para que el bloque no vuelque.

$$\Sigma M_{\bullet} = 0$$

$$F * H - W * \frac{b}{2} = 0$$

$$40 \text{ ton} * H - 151 \text{ ton} * \frac{4,5 \text{ m}}{2} = 0$$

$$H = \frac{339,8 \text{ ton} \cdot \text{m}}{40 \text{ ton}} = 8,5 \text{ m}$$

Factor de seguridad:

FS: 2

$$\frac{H}{FS} = \frac{8,5 \text{ m}}{2} = 4,25 \text{ m}$$

$H < H/FS$ entonces no vuelca.

$$4 \text{ m} < 4,25 \text{ m}$$

Por lo tanto no vuelca.

Como la separación entre bloques será de 50 cm se hará un bloque continuo de 36 metros.

La forma en que irán puestos los winches y poleas se ve en la siguiente Figura 2.14

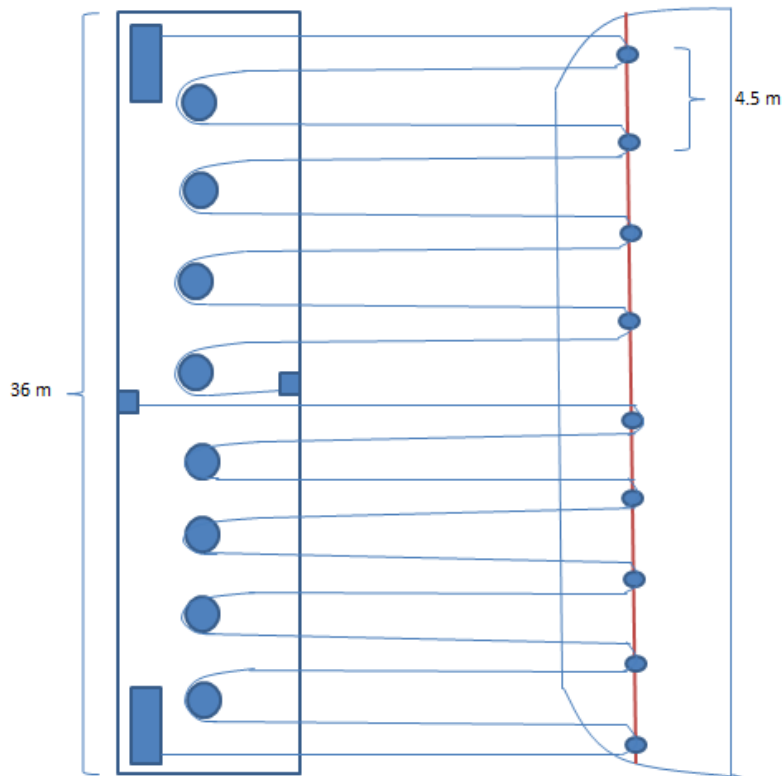


Figura 2.14: Distribución de winches y poleas.

En los extremos irán los winches de capacidad de 40 toneladas cada uno y cada polea tendrá una resistencia de 40 toneladas (recomendado) con un máximo de 45 ton. Así el peso del barco se puede distribuir hasta este tonelaje y reducir los costos considerablemente.

El peso del barco queda dividido en 17 poleas.

$$W_{\text{barco por polea}} = \frac{354 \text{ ton}}{8} = 44 \text{ ton}$$

El cable para esta operación será de acero para una capacidad de 40.000 lb por metro. Se necesitarán 360 metros de este. Este cable viene con el gancho incorporado.

El cable es como el que se ve en la Figura 2.15.



Figura 2.15: Cable de acero.

Fuente: Página web tienda Prowinch.

2.4 Materiales

2.4.1 Acero

Se usa Acero calidad A36 para los perfiles soldados y plegados de la estructura, los cuales presentan las siguientes propiedades:

- Tensión de fluencia: $F_y = 2.500 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la tracción $F_u = 4000 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad: $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

2.5 Cargas de diseño

2.5.1 Carga muerta (D)

La carga muerta corresponde al peso del RAM Poderoso.

D: 320 toneladas.

Aplicación de carga muerta por movimientos

- Posición original

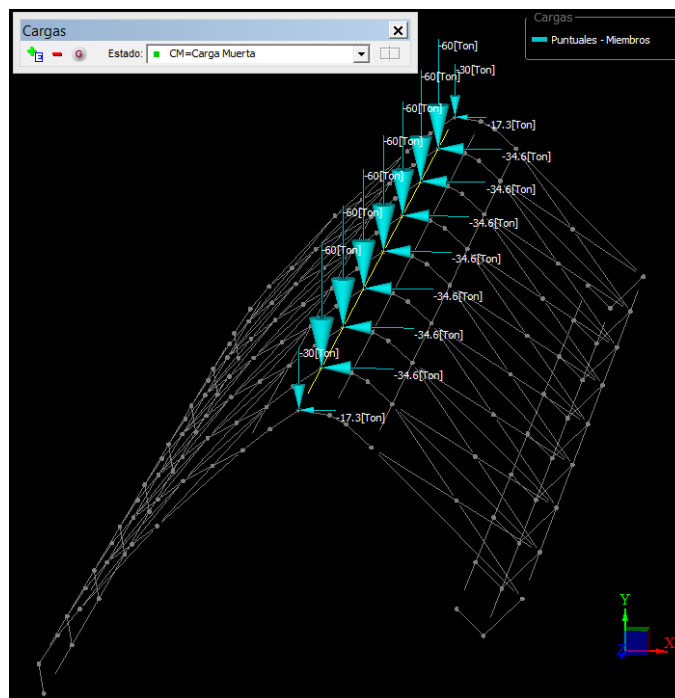
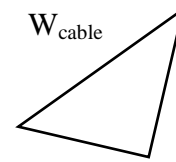
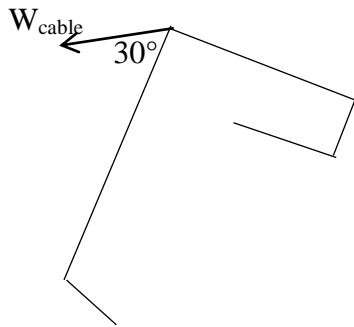


Figura 2.16: Aplicación de carga muerta en posición original.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En esta posición el cálculo se realiza con un ángulo de 30° para el cable.



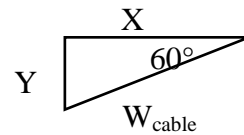
$$W = \frac{320 \text{ ton}}{\text{tg}(30)} = 554.5 \text{ ton}$$

El peso se dividirá en 8 partes para luego distribuir cada mitad para cada punto de anclaje.

Obteniendo las fuerzas en dirección X e Y se tiene lo siguiente:

$$X: 554.256 * \text{Cos}(60) = 277 \text{ ton}$$

$$Y: 554.256 * \text{Sen}(60) = 480 \text{ ton}$$



$$\text{Peso por parte en Y: } \frac{480 \text{ ton}}{8} = 60 \text{ ton}$$

$$\text{Peso por parte en X: } \frac{277 \text{ ton}}{8} = 35 \text{ ton}$$

Para cada puntos de anclajes se le aplica la mitad del peso de cada parte.

En la Figura 2.17 se muestra la forma gráfica de la distribución de fuerzas en la dirección Y.

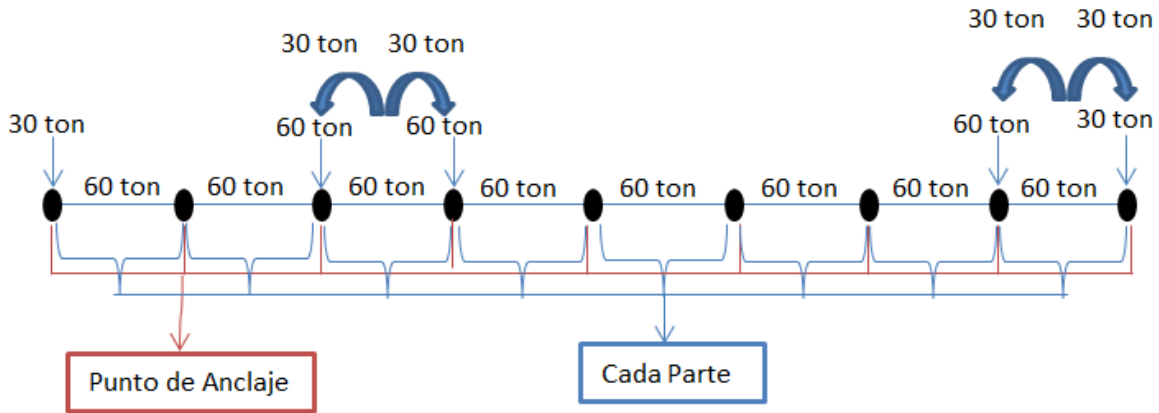


Figura 2.17: Distribución del peso del barco en cada punto de anclaje.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección X: 17.5 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección X: 35 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 30 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 60 toneladas.

➤ Primer movimiento

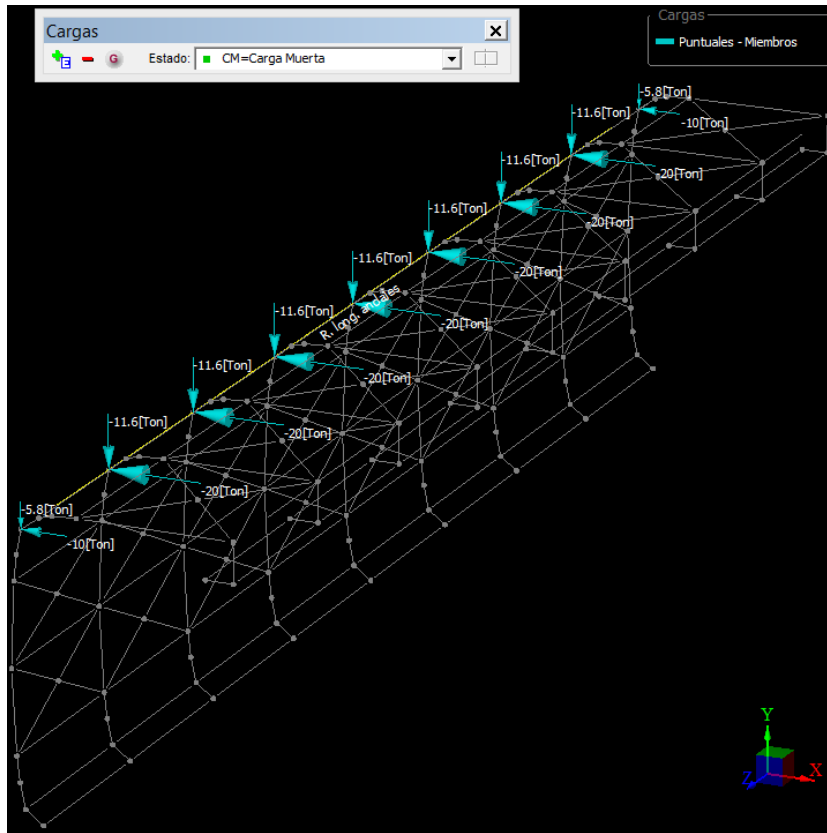
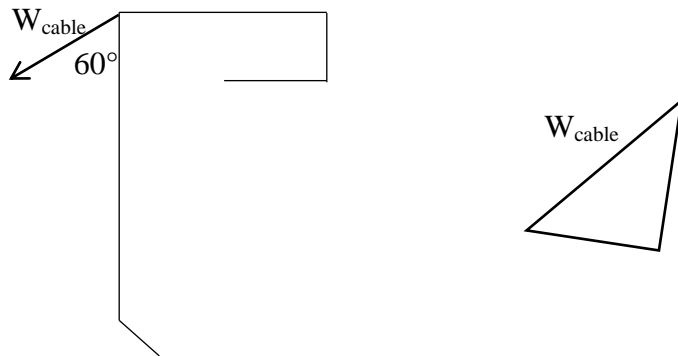


Figura 2.18: Aplicación de carga muerta en primer movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

Este primer movimiento el cálculo se realiza con un ángulo de 30° para el cable.



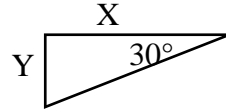
$$W = \frac{320 \text{ ton}}{\text{tg}(60)} = 185 \text{ ton}$$

El peso se dividirá en 8 partes para luego distribuir cada mitad para cada punto de anclaje.

Obteniendo las fuerzas en dirección X e Y se tiene lo siguiente:

$$X: 185 * \cos(30) = 160 \text{ ton}$$

$$Y: 185 * \sin(30) \approx 92.5 \text{ ton}$$



$$\text{Peso por parte en X: } \frac{160 \text{ ton}}{8} = 20 \text{ ton}$$

$$\text{Peso por parte en Y: } \frac{92.5 \text{ ton}}{8} \approx 11.6 \text{ ton}$$

Para cada puntos de anclajes se le aplica la mitad del peso de cada parte.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección X: 10 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección X: 20 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 5.8 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 11.6 toneladas.

➤ Segundo movimiento

En la Figura 2.19 la distribución de fuerzas cambia, ya que la estructura de protección de la embarcación completa es la que resiste el peso del barco, por lo que el peso se distribuyó a lo largo de los perfiles transversales.

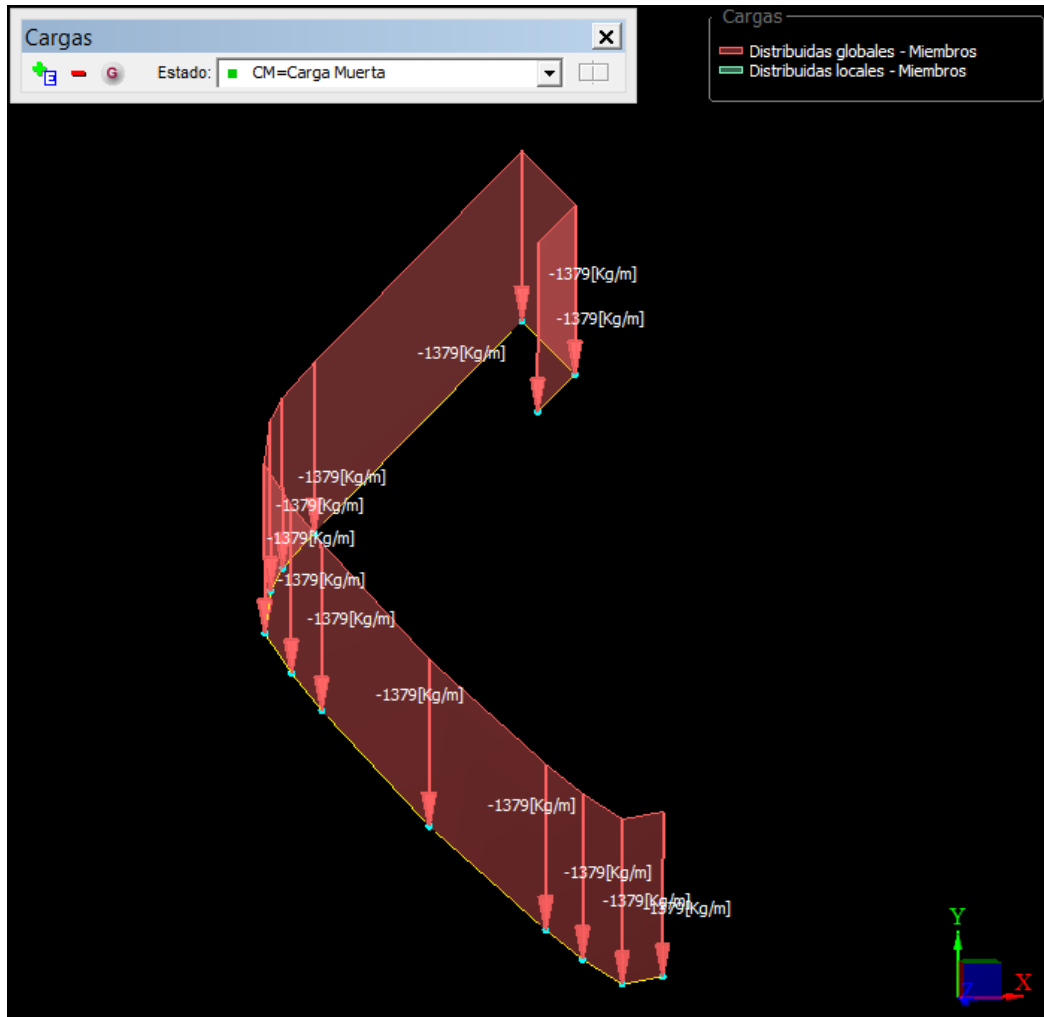


Figura 2.19: Aplicación de la carga muerta en un corte transversal en segundo movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En este movimiento la estructura ya resiste el peso del barco, por lo que el peso de éste se divide en 8 partes y para cada estructura transversal se distribuye en todo su largo

- Esta primera etapa de construcción la longitud transversal es de 14.5 metros de estructura.

- Peso por parte: $\frac{320 \text{ ton}}{8} = 40 \text{ ton}$
- Carga distribuida en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 1.4 ton/m.
- Carga distribuida en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 2.8 ton/m.

En esta posición además de que la estructura es lo que resiste el peso del barco, también se aplica el peso al elemento donde van enganchados los winches, como se muestra en la Figura 2.20.

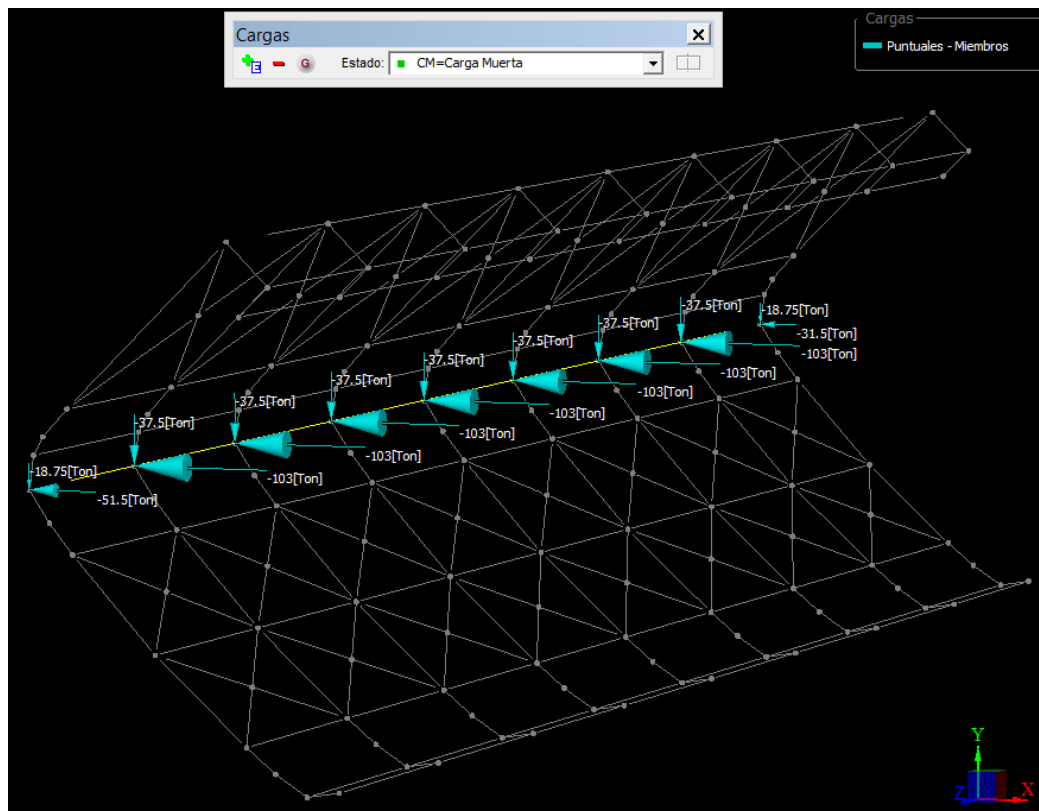
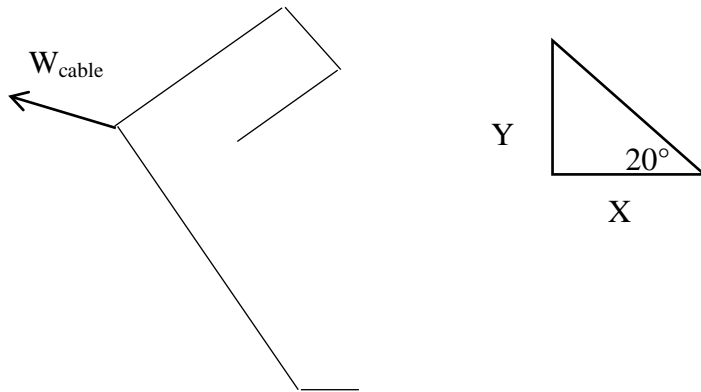


Figura 2.20: Aplicación de carga muerta en segundo movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

Este segundo movimiento el cálculo se realiza con un ángulo de 60° para el cable.



$$W = \frac{320 \text{ ton}}{\text{tg}(20)} = 879.2 \text{ ton}$$

El peso se dividirá en 8 partes para luego distribuir cada mitad para cada punto de anclaje.

Obteniendo las fuerzas en dirección X e Y se tiene lo siguiente:

$$X: 879.2 * \text{Cos}(20) = 826 \text{ ton}$$

$$Y: 879.2 * \text{Sen}(20) = 300 \text{ ton}$$

$$\text{Peso por parte en X: } \frac{826 \text{ ton}}{8} = 103 \text{ ton}$$

$$\text{Peso por parte en Y: } \frac{300 \text{ ton}}{8} = 37.5 \text{ ton}$$

Para cada puntos de anclajes se le aplica la mitad del peso de cada parte.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección X: 51.5 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección X: 103 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 18.75 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 37.5 toneladas.

➤ Tercer movimiento

En la Figura 2.21 se aplica la distribución de fuerza en el área transversal y en la primera etapa de construcción de la estructura.

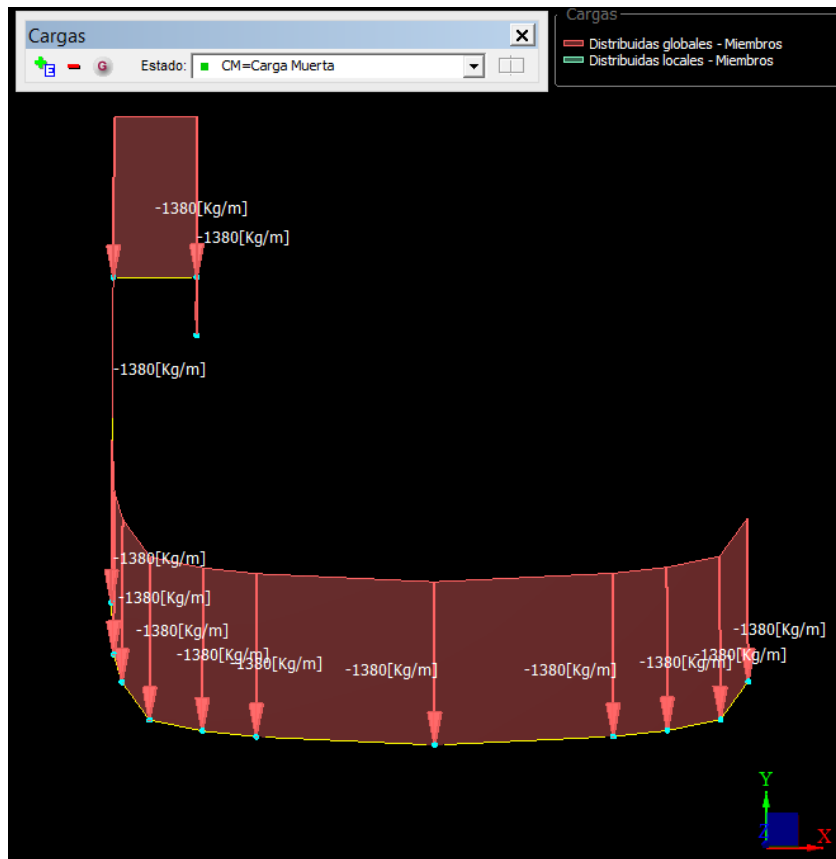


Figura 2.21: Aplicación de carga muerta en tercer movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En este movimiento ya solo se aplica la fuerza distribuida a lo largo de la estructura en cada parte transversal (primera etapa de construcción).

- Carga distribuida en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 1.379 ton/m.
- Carga distribuida en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 2.758 ton/m.

En la Figura 2.22 se aplica la distribución de fuerzas en el área transversal, pero en la construcción completa de la estructura.

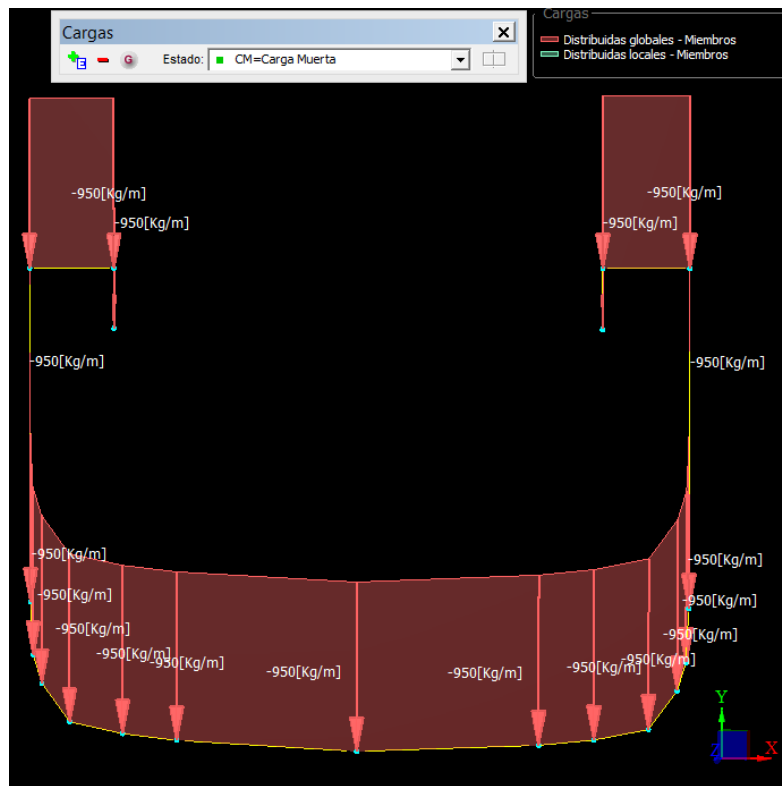


Figura 2.22: Aplicación de carga muerta en posición final.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

Con toda la construcción terminada se aplica el peso de la misma manera pero será en 21 metros.

- Carga distribuida en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 0.952 ton/m.
- Carga distribuida en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 1.905 ton/m.

2.5.2 Sobrecarga (Lr)

La sobrecarga corresponde al peso de la arena que se encuentra en el interior del RAM Poderoso.

Lr: 11 toneladas.

Aplicación de carga muerta por movimientos

- Posición original

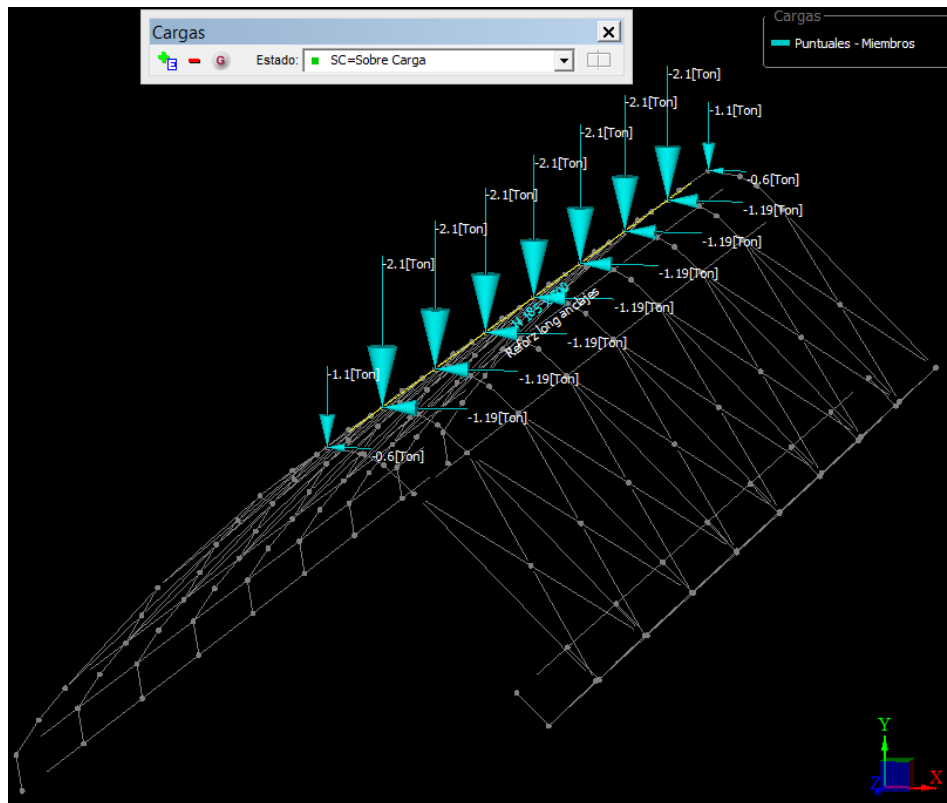
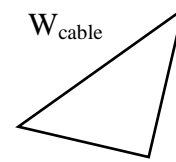
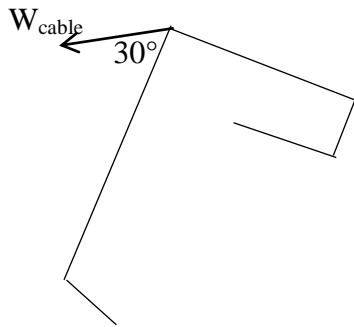


Figura 2.23: Aplicación de sobre carga en posición original.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En esta posición el cálculo se realiza con un ángulo de 30° para el cable.



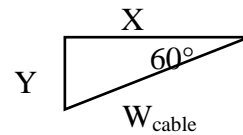
$$W = \frac{11 \text{ ton}}{\text{tg}(30)} = 19.1 \text{ ton}$$

El peso se dividirá en 8 partes para luego distribuir cada mitad para cada punto de anclaje.

Obteniendo las fuerzas en dirección X e Y se tiene lo siguiente:

$$X: 19.1 * \text{Cos}(60) = 9.6 \text{ ton}$$

$$Y: 19.1 * \text{Sen}(60) = 16.5 \text{ ton}$$



$$\text{Peso por parte en Y: } \frac{16.5 \text{ ton}}{8} = 2.1 \text{ ton}$$

$$\text{Peso por parte en X: } \frac{9.55 \text{ ton}}{8} = 1.2 \text{ ton}$$

Para cada puntos de anclajes se le aplica la mitad del peso de cada parte.

En la Figura 2.24 se muestra la forma gráfica de la distribución de fuerzas en la dirección Y.

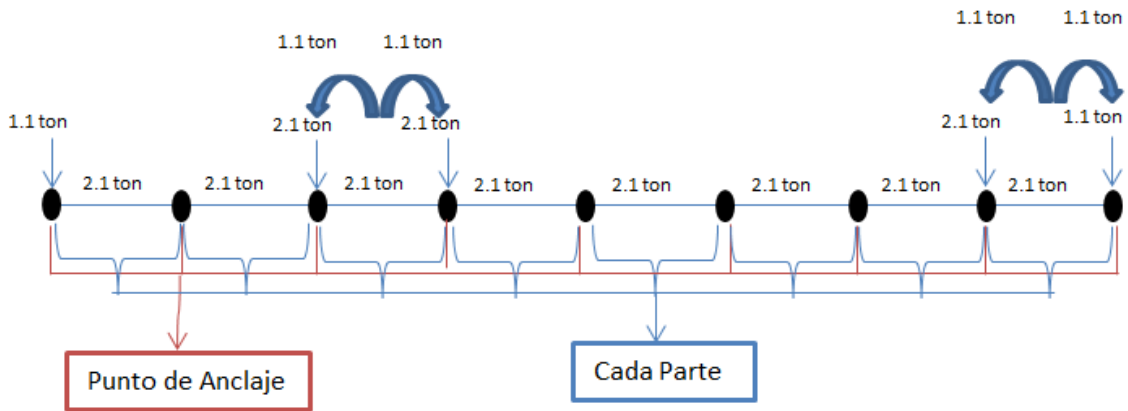


Figura 2.24: Aplicación de sobrecarga en posición original.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección X: 0.6 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección X: 1.19 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 1.1 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 2.1 toneladas.

➤ Primer movimiento

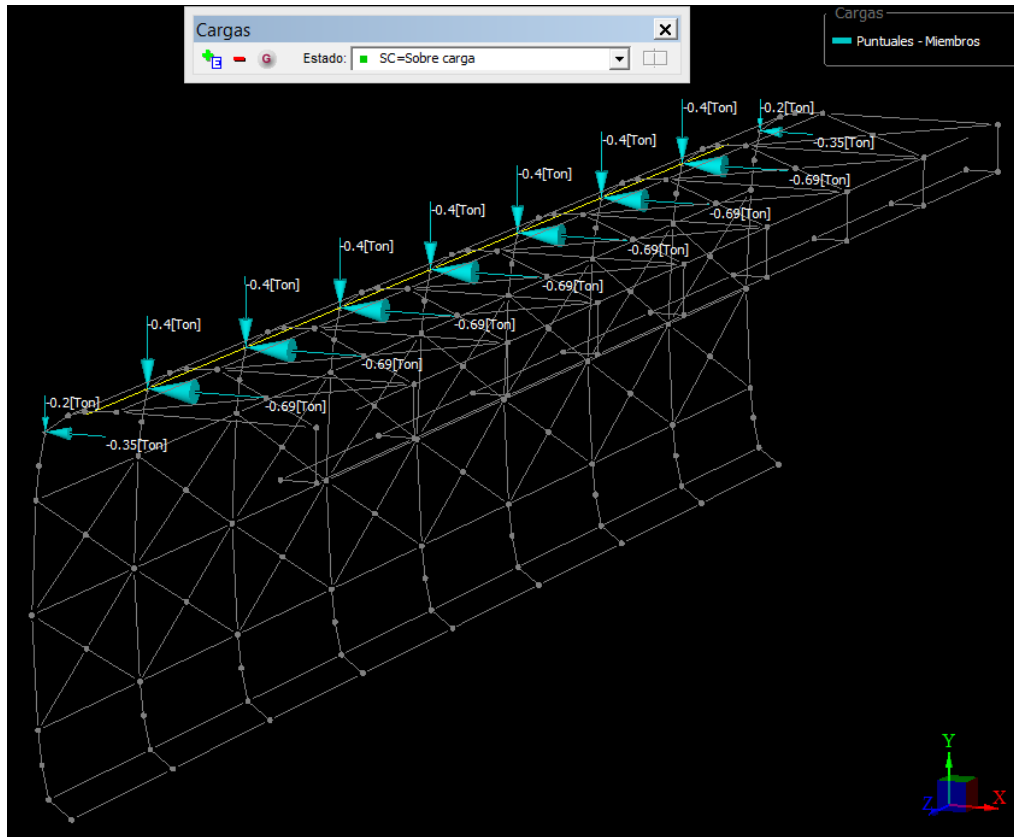
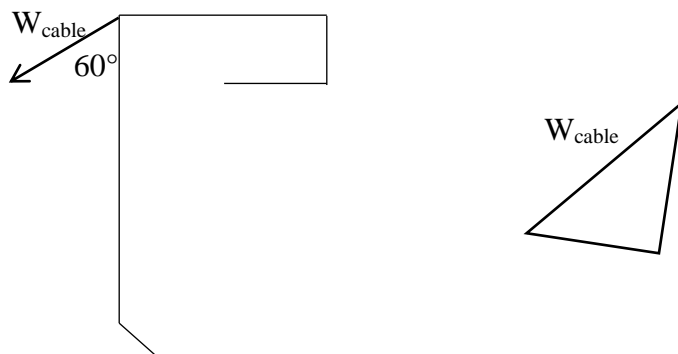


Figura 2.25: Aplicación de sobre carga en primer movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

Este primer movimiento el cálculo se realiza con un ángulo de 30° para el cable.



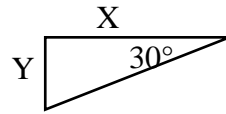
$$W = \frac{11 \text{ ton}}{\text{tg}(60)} = 6.35 \text{ ton}$$

El peso se dividirá en 8 partes para luego distribuir cada mitad para cada punto de anclaje.

Obteniendo las fuerzas en dirección X e Y se tiene lo siguiente:

$$X: 6.35 * \text{Cos}(30) = 5.5 \text{ ton}$$

$$Y: 6.35 * \text{Sen}(30) \approx 3.2 \text{ ton}$$



$$\text{Peso por parte en X: } \frac{5.5 \text{ ton}}{8} = 0.7 \text{ ton}$$

$$\text{Peso por parte en Y: } \frac{3.2 \text{ ton}}{8} \approx 0.4 \text{ ton}$$

Para cada puntos de anclajes se le aplica la mitad del peso de cada parte.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección X: 0.35 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección X: 0.7 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 0.2 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 0.4 toneladas.

➤ Segundo movimiento

En la Figura 2.26 la distribución de fuerzas cambia, ya que la estructura de protección de la embarcación completa es la que resiste el peso del barco, por lo que el peso se distribuyó a lo largo de los perfiles transversales.

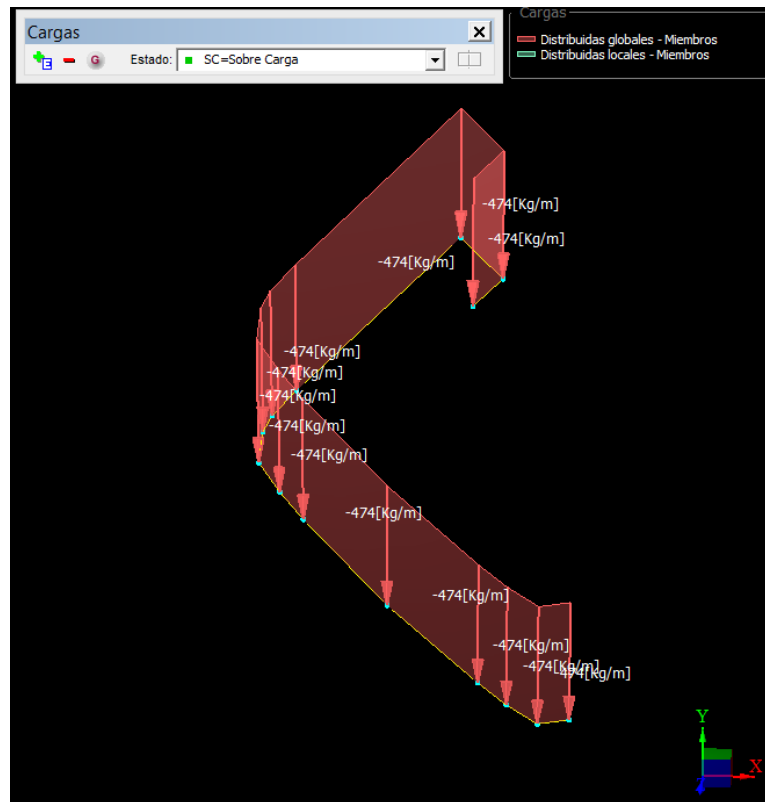


Figura 2.26: Aplicación de sobre carga en segundo movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En este movimiento la estructura ya resiste el peso del barco, por lo que el peso de este se divide en 8 partes y para cada estructura transversal se distribuye en todo su largo

- Esta primera etapa de construcción la longitud transversal es de 14.501 metros de estructura.
- Peso por parte: $\frac{110 \text{ ton}}{8} = 13.75 \text{ ton}$
- Carga distribuida en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 0.474 ton/m.
- Carga distribuida en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 0.948 ton/m.

En esta posición además de que la estructura completa es la que resiste el peso del barco, también se aplica el peso al elemento donde van enganchados los winches, como se muestra en la Figura 2.27.

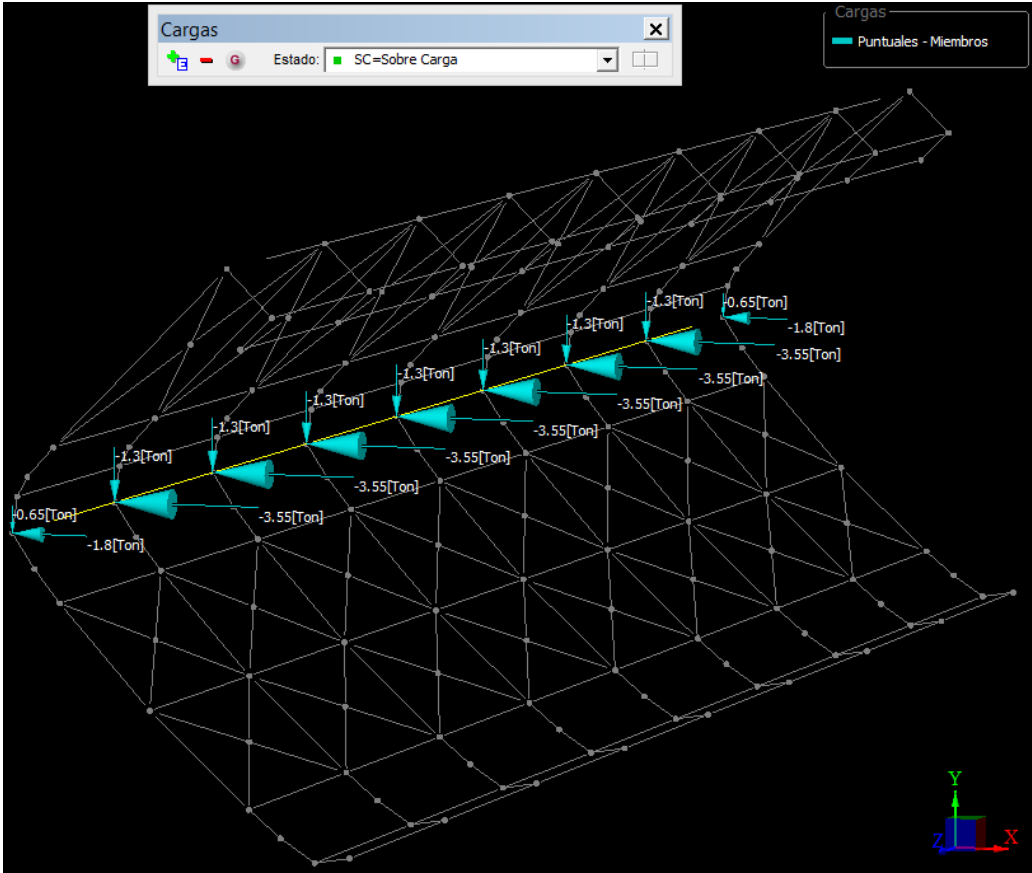
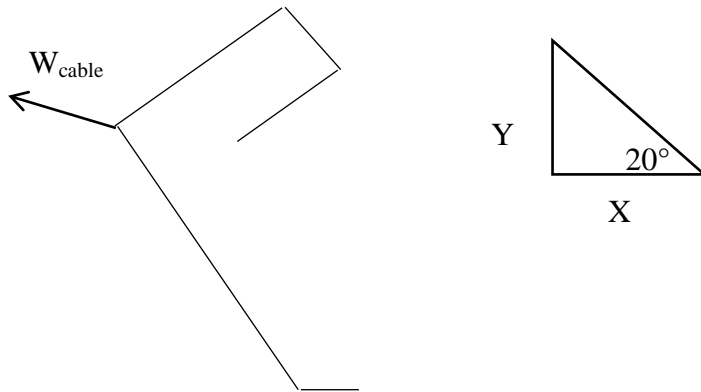


Figura 2.27: Aplicación de sobre carga en segundo movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

Este segundo movimiento el cálculo se realiza con un ángulo de 60° para el cable.



$$W = \frac{11 \text{ ton}}{\text{tg}(20)} = 30.2 \text{ ton}$$

El peso se dividirá en 8 partes para luego distribuir cada mitad para cada punto de anclaje.

Obteniendo las fuerzas en dirección X e Y se tiene lo siguiente:

$$X: 30.2 * \text{Cos}(20) = 28.4 \text{ ton}$$

$$Y: 30.2 * \text{Sen}(20) = 10.3 \text{ ton}$$

$$\text{Peso por parte en X: } \frac{28.4 \text{ ton}}{8} = 3.6 \text{ ton}$$

$$\text{Peso por parte en Y: } \frac{10.3 \text{ ton}}{8} = 1.3 \text{ ton}$$

Para cada puntos de anclajes se le aplica la mitad del peso de cada parte.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección X: 1.8 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección X: 3.6 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 0.65 toneladas.

Carga en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 1.3 toneladas.

➤ Tercer movimiento

En la Figura 2.28 se aplica la distribución de fuerza en el área transversal y en la primera etapa de construcción de la estructura.

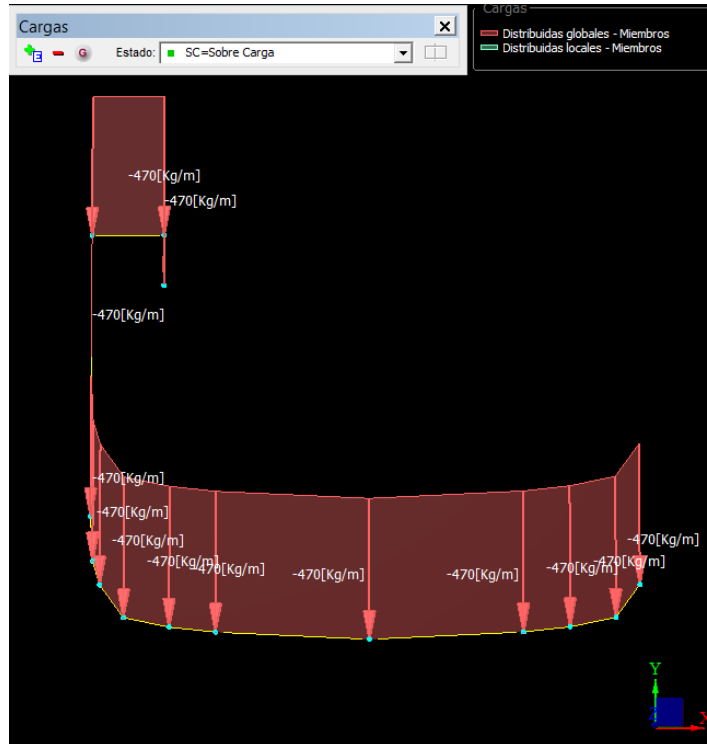


Figura 2.28: Aplicación de sobre carga en tercer movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En este movimiento ya solo se aplica la fuerza distribuida a lo largo de la estructura en cada parte transversal (primera etapa de construcción).

- Carga distribuida en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 1.379 ton/m.
- Carga distribuida en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 2.758 ton/m.

En la Figura 2.29 se aplica la distribución de fuerzas en el área transversal, pero en la construcción completa de la estructura.

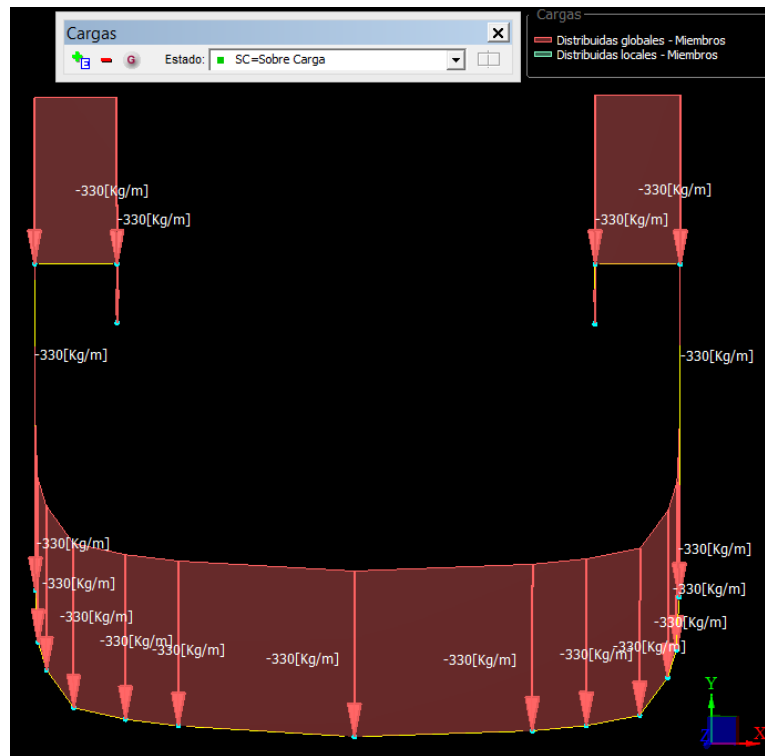


Figura 2.29: Aplicación de sobre carga en posición final.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

Con toda la construcción terminada se aplica el peso de la misma manera pero será en 21 metros.

- Carga distribuida en puntos de los anclajes exteriores en dirección Y: 0.327 ton/m.
- Carga distribuida en puntos de los anclajes interiores en dirección Y: 0.655 ton/m.

2.5.3 Distribución de cargas por movimientos de la combinación analizada

C1: 1,2D + 1,6Lr

Este análisis se realiza de la misma manera explicada en los puntos 2.5.1 Carga muerta (D) y 2.5.2 Sobrecarga (Lr), pero después de ingresadas las cargas se le aplican los factores de la combinación 1 utilizada para hacer el diseño.

➤ Posición original

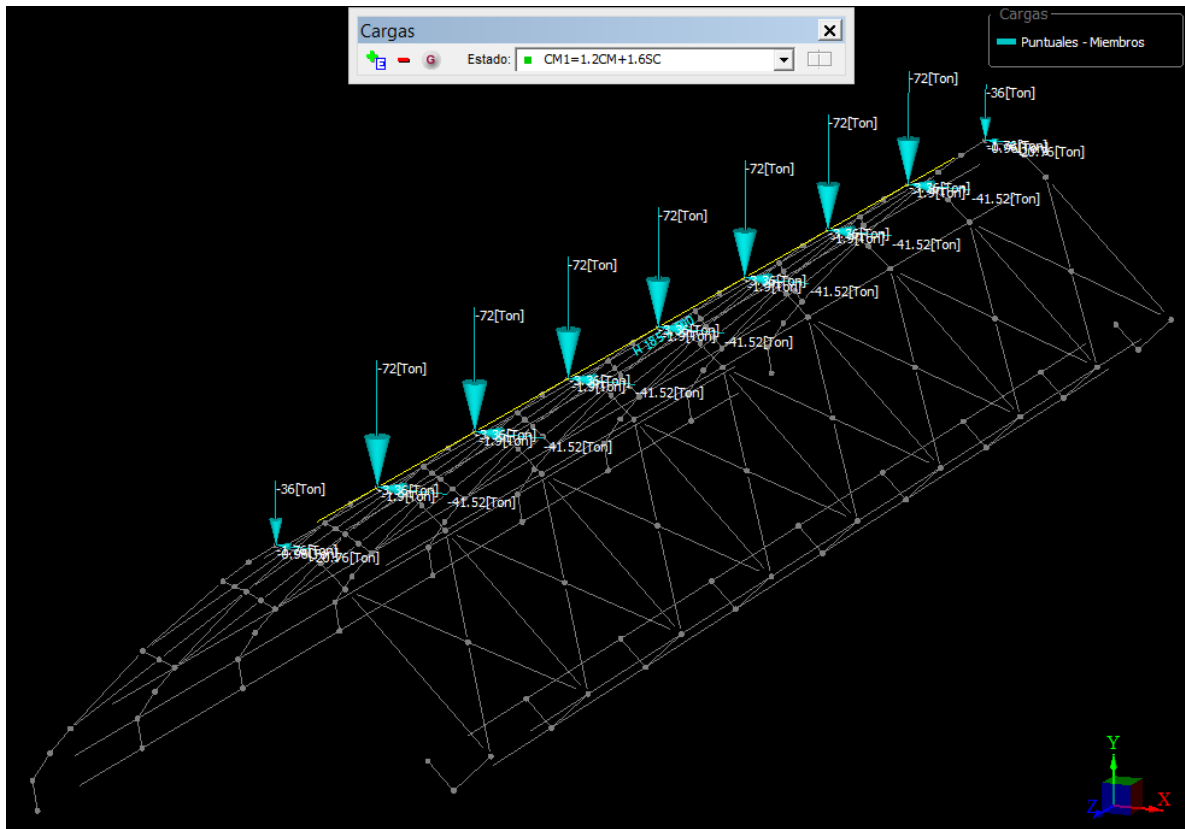


Figura 2.30: Aplicación de carga muerta en posición original.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

➤ Primer movimiento

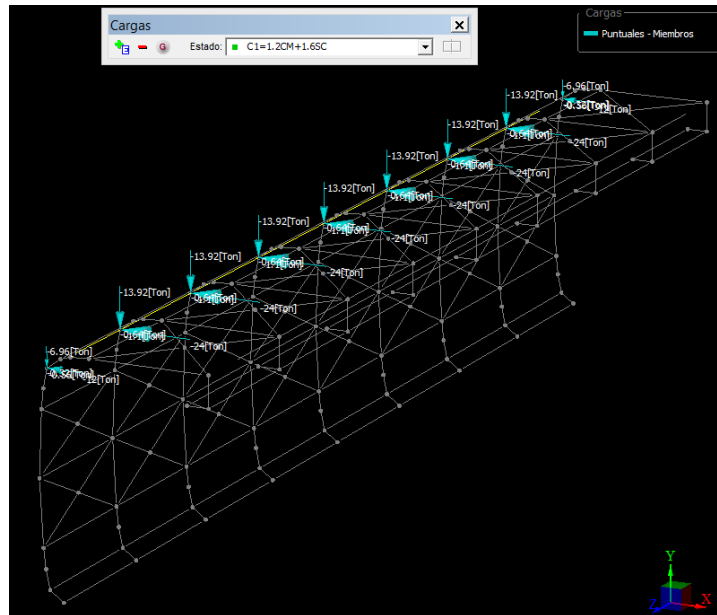


Figura 2.31: Aplicación de carga muerta en posición original.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

➤ Segundo movimiento

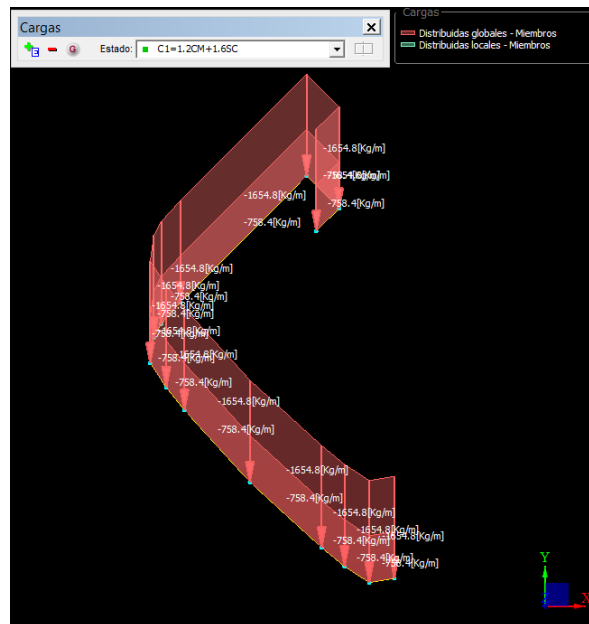


Figura 2.32: Aplicación de carga muerta en posición original.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

➤ Tercer movimiento

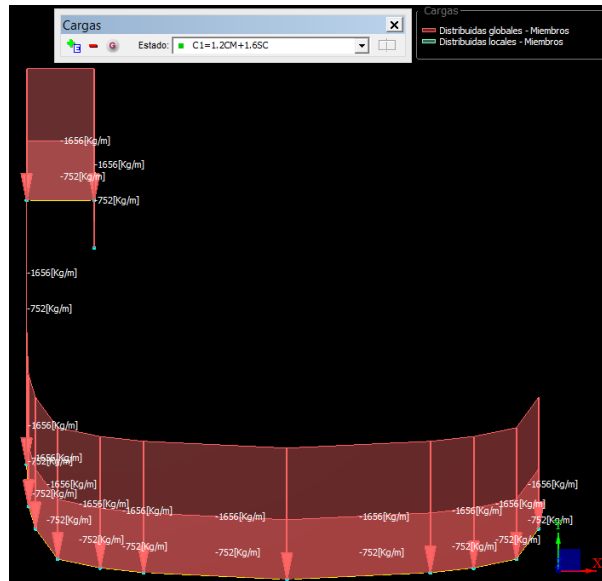


Figura 2.33: Aplicación de carga muerta en posición original.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En la Figura 2.34 se muestra la estructura completa analizada.

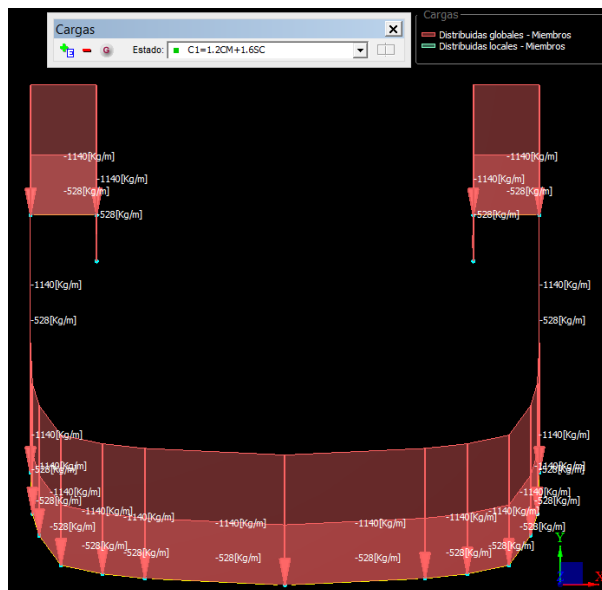


Figura 2.34: Aplicación de carga muerta en posición original.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

2.6 Combinaciones de carga

Para el análisis de la estructura se consideran los siguientes estados de carga:

- Carga muerta (D).
- Sobre carga (Lr).

Las combinaciones de carga nominales según la norma NCh 3171, para el método de diseño por tensiones admisibles (ASD), son las siguientes:

$$C1: 1.2D + 1.6Lr$$

En Anexo C, se ven las figuras de las distribuciones de fuerzas por movimiento que se aplicaron con la combinación de carga anterior.

2.7 Análisis estructural

El diseño se realizará de acuerdo a las disposiciones del método de Diseño en base a Tensiones Admisibles (ASD) del AISC.

Se satisfacen las especificaciones del código, cuando las tensiones admisibles de cada componente estructural son mayores o iguales a la resistencia admisible de cada componente, de acuerdo a la combinación de carga ya mencionada.

El diseño se realiza de acuerdo con la ecuación:

$$R_a \leq R_n / \Omega$$

Donde:

R_a = resistencia requerida (ASD);

R_n = resistencia nominal;

Ω = factor de seguridad;

R_n / Ω = resistencia admisible;

$$\Omega_{Corte} = 1,5 \text{ (ASD)}$$

$$\Omega_{Flexión} = 1,67 \text{ (ASD)}$$

Se realizará el diseño en el software RAM Advanse, este analizará el modelo por el método (ASD).

El software entrega los miembros más solicitados y estados de carga, con el que se presenta la sollicitación, para luego realizar una verificación de las resistencias y deformaciones de estos miembros.

2.7.1.1 Resistencia al corte

Para no requerir atiesadores por corte, es necesario que la relación:

$$\frac{h}{t} \leq 260$$

La resistencia al corte nominal V_n , de almas no atiesadas o atiesadas de acuerdo al estado límite de fluencia en corte y pandeo. En corte es:

$$\text{Para } \frac{h}{t} \leq 2,45 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w$$

$$\text{Para } 2,45 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3,07 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * \left[\frac{2,45 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{h/t} \right]$$

$$\text{Para } \frac{h}{t} > 3,07 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$V_n = A_w * \left[\frac{4,52 * E}{(h/t)^2} \right]$$

Donde

h : Altura del alma

t : Espesor del alma

A_w : Área del alma

E : Módulo de elasticidad del acero

F_y : Tensión de fluencia

2.7.2 Resistencia de flexión miembros compactos de sección H

Para flexión, las secciones se clasifican como compactas, no compactas y esbeltas si:

- $\lambda_{Ancho-Espesor} < \lambda_p$ (*Compacto*)
- $\lambda_p < \lambda_{Ancho-Espesor} \leq \lambda_p$ (*No Compacto*)
- $\lambda_{Ancho-Espesor} < \lambda_p$ (*Esbelta*)

En *Anexo D*, se encuentra la Razón Ancho-Espesor de las secciones y Razón Ancho-Espesor Límite, para elementos en compresión de miembros en flexión.

La resistencia nominal de flexión M_n , debe ser el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia (momento plástico) y pandeo lateral-torsional.

- Fluencia Perfil

$$M_n = M_p = F_y * Z_x$$

Donde:

M_p : Momento de flexión plástico

Z_x : Módulo de sección plástico en torno al eje x, [cm³]

➤ Pandeo Lateral-Torsional

Para miembros con estas características, se sigue la siguiente metodología:

Cuando $L_b \leq L_p$ el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica

Cuando $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 * F_y * S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Cuando $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} * S_x \leq M_p$$

Donde:

L_b : Distancia entre arriostramientos

L_r : Longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de pandeo flexo-torsional inelástico

L_p : Longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de fluencia

C_b : Factor de modificación del pandeo lateral torsional ($C_b = 1$)

S_x : Módulo elástico de la sección tomado en torno al eje x

F_{cr} : Tensión crítica

$$F_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E}{\left(\frac{L_b}{r_{st}} \right)^2}$$

Las longitudes límites L_p y L_r se determinan a continuación:

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1,95 * r_{ts} * \frac{E}{0,7 * F_y} * \sqrt{\frac{J * c}{S_x * h_o} + \sqrt{\left(\frac{J * c}{S_x * h_o}\right)^2 + 6,76 * \left(\frac{0,7 * F_y}{E}\right)^2}}$$

Donde:

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{I_y * C_w}}{S_x}}$$

El coeficiente c se determina como sigue a continuación:

Para secciones I con simetría doble: $c = 1$

Para canales: $c = \frac{h_o}{2} * \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

Donde:

r_{ts} : Radio de giro efectivo

C_w : Constante de deformación del perfil

h_o : Distancia entre los centroides de las alas

J : Constante torsional del perfil

r_y : Radio de giro en torno al eje y

2.7.3 Deformaciones

Las deformaciones máximas recomendadas son las siguientes:

Tabla 2.3: Deformaciones admisibles.

N°	Elemento	Def/Luz	Notas
<u>VERTICALES</u>			
1	Planchas onduladas de techo.	1/120	Carga total. Sobrecarga únicamente.
2	Planchas onduladas de techo.	1/240	
3	Costaneras.	1/200	
4	Vigas corrientes de piso.	1/300	
5	Vigas que soportan cielos estucados.	1/350	
6	Portagrúas soldadas o laminadas.	1/450	
7	Id. remachadas o apernadas.	1/600	
8	Vigas portagrúas de acero.	1/1000	Efecto de la sobrecarga.
9	Cerchas, vigas enrejadas.	1/700	
10	Vigas de equipo vibratorio. (*)	1/800	Salvo indicación del fabricante
11	Vigas de piso colaborante.	1/180	Con hormigón fresco.
<u>HORIZONTALES</u>			
12	Planchas onduladas de muro.	1/100	
13	Costaneras de muro.	1/100	
14	Columnas de viento.	1/200	
15	Vigas portagrúa.	1/500	

Fuente: Perfiles ICHA 2010.

Para este análisis solo fue utilizada la información N° 6: Porta grúas soldadas o laminadas.

2.8 Resultados

2.8.1.1 Relación de esfuerzos por etapas de volteo (movimientos)

➤ Posición actual.

En la Figura 2.35 se muestra los elementos con mayores esfuerzos.

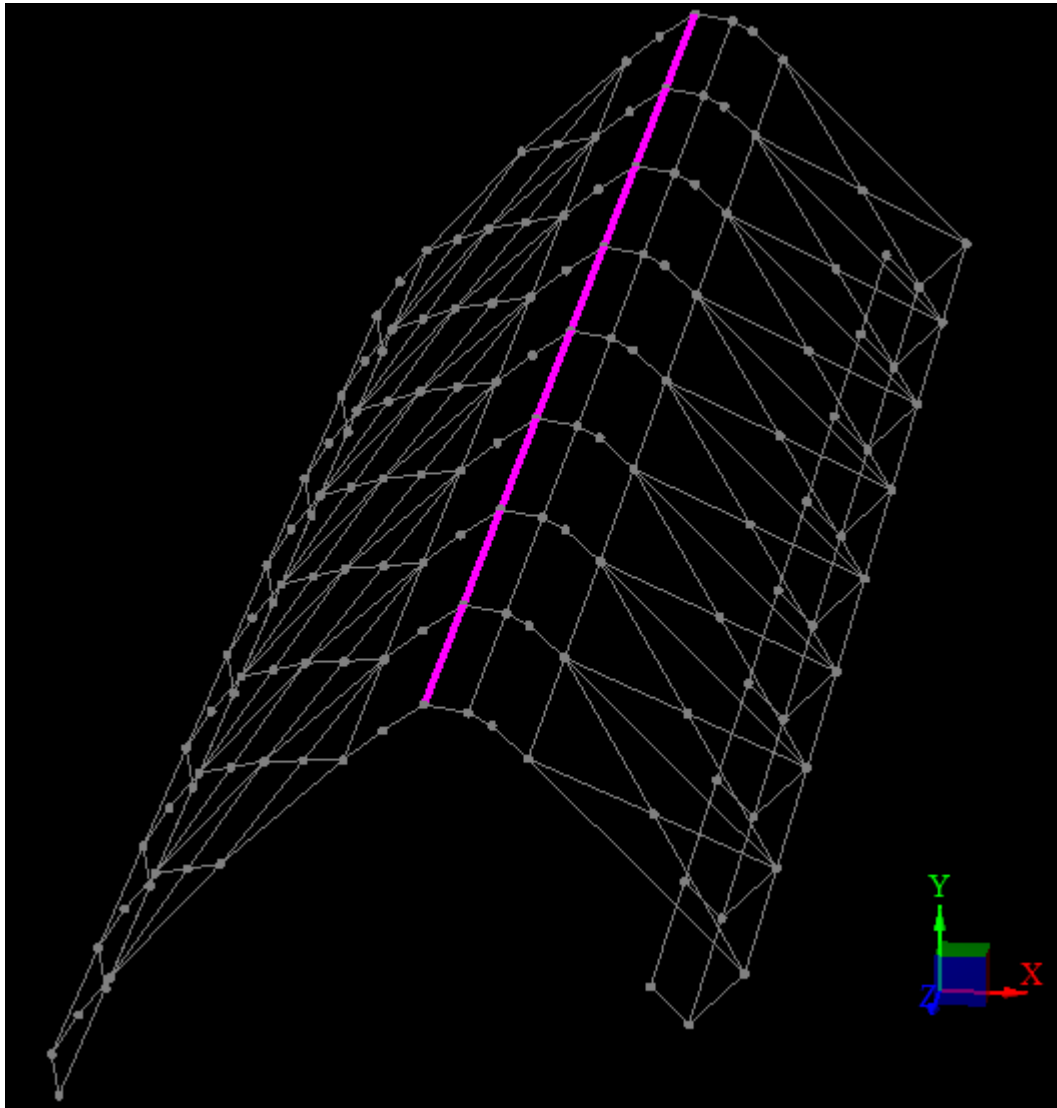


Figura 2.35: Elemento más solicitado en posición actual.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En la Figura 2.32 el elemento más solicitado, es el que lleva enganchado los winches.

A continuación, en la Figura 2.36, se muestra la relación de esfuerzos de cada elemento según el programa RAM Advanse.

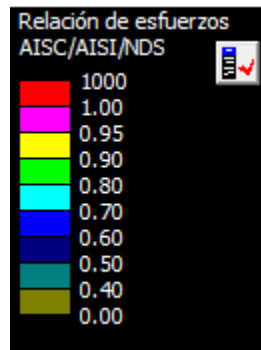


Figura 2.36: Relación de esfuerzos de cada elemento en posición actual.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

Donde la relación de esfuerzos es:

$$S_i \frac{R_a}{R_n}$$

Ra: Resistencia requerida (por método ASD)

Rn: Resistencia nominal

Por lo tanto,

$$\text{Si } \frac{R_a}{R_n} < 1 \text{ entonces,}$$

no se excede la capacidad de servicio de los perfiles.

➤ Primer movimiento

En la Figura 2.37 se muestra los elementos con mayores esfuerzos.

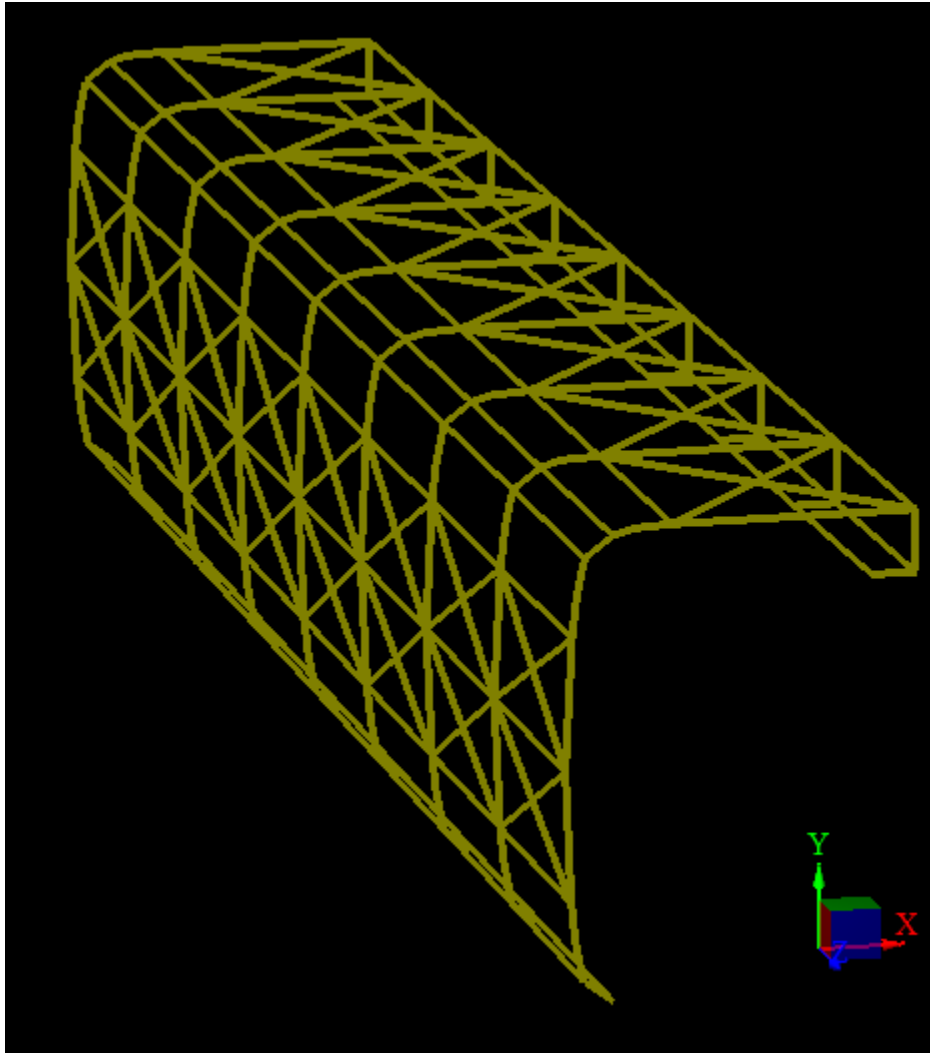


Figura 2.37: Elemento mas solicitado en primer movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En la Figura 2.37 el elemento más solicitado es el que lleva enganchado los winches.

➤ Segundo movimiento

En la Figura 2.38 se muestra los elementos con mayores esfuerzos.

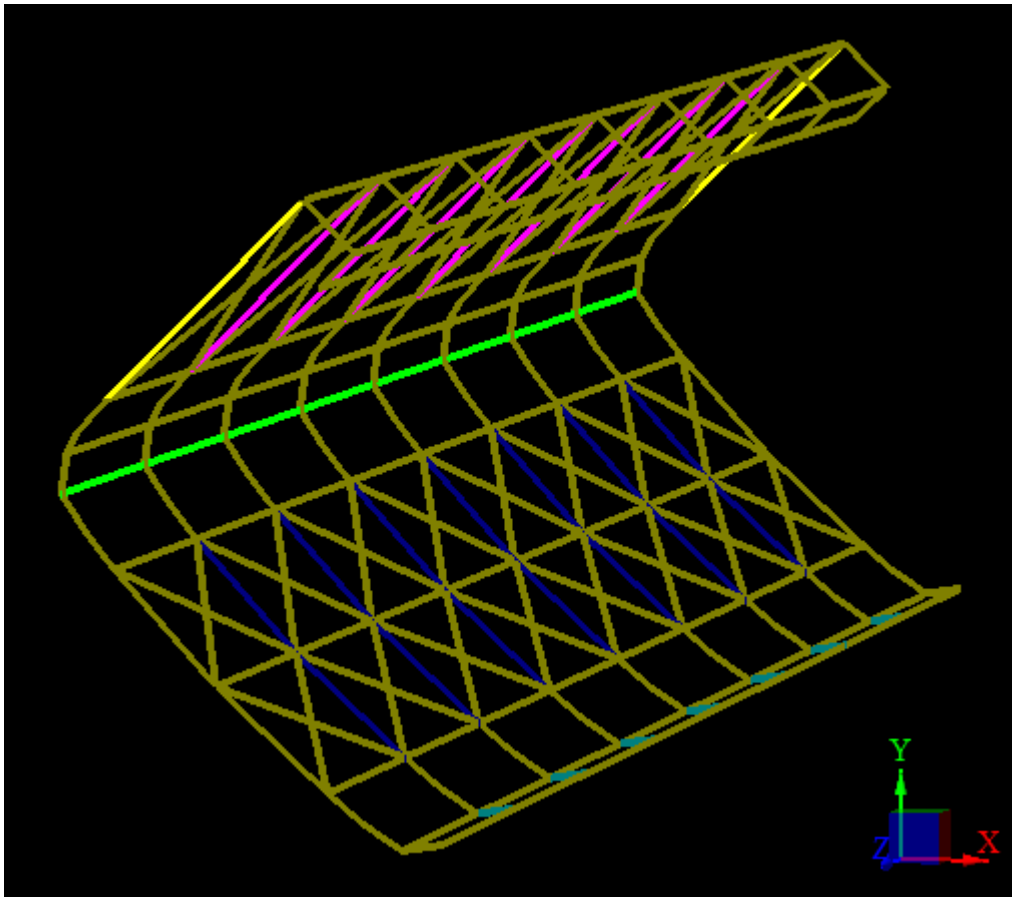


Figura 2.38: Elementos más solicitados en Segundo movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En la Figura 2.38 los elementos más solicitados, no son los que llevan enganchado los winches, ya que en esta posición el barco influye en toda la estructura. Los elementos más solicitados en este movimiento, son los perfiles transversales del costado del barco, como también los de abajo del barco.

➤ Tercer movimiento

En la Figura 2.39 se muestra los elementos con mayores esfuerzos.

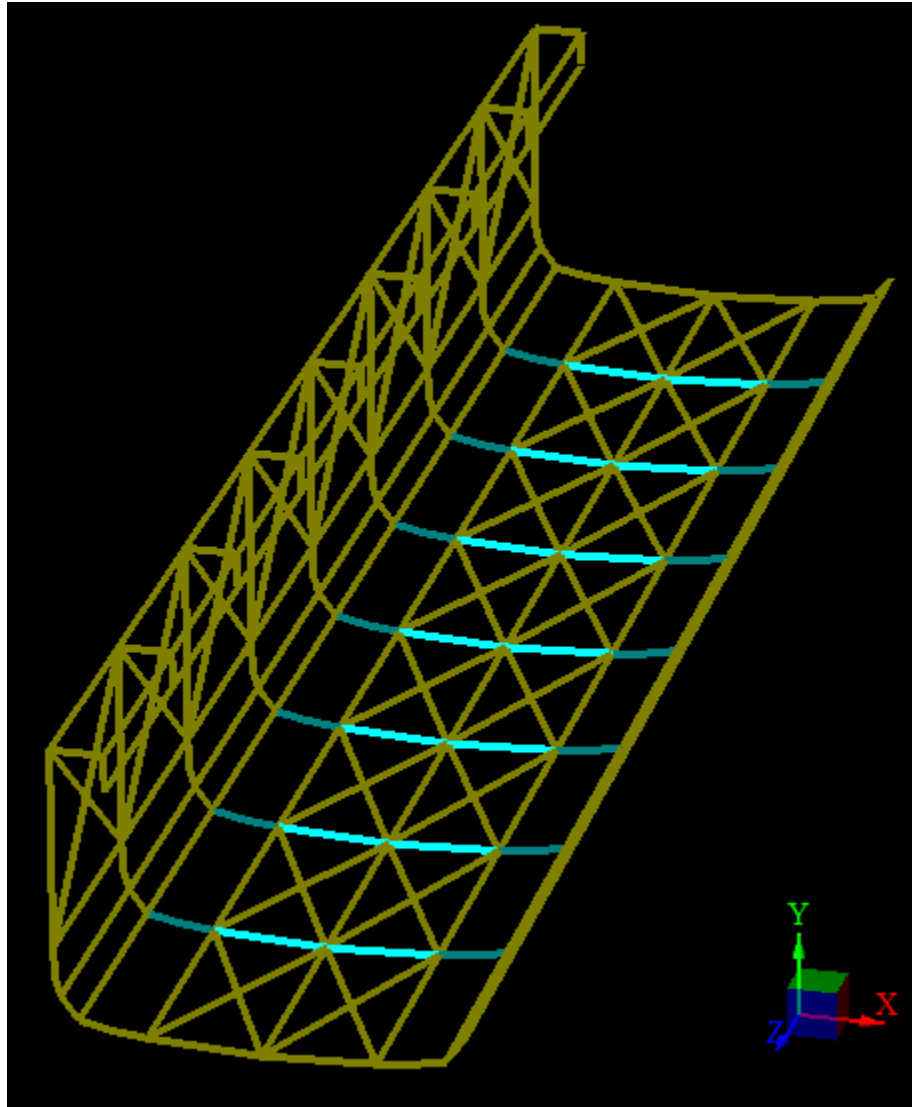


Figura 2.39: Elementos más solicitados en tercer movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En la Figura 2.39 los elementos más solicitados, no son los que llevan enganchado los winches, ya que en esta posición el barco influye en toda la estructura. Los elementos más solicitados en este movimiento, son los perfiles transversales de abajo del barco.

➤ Tercer movimiento con estructura completa.

En la Figura 2.40 se muestra los elementos con mayores esfuerzos.

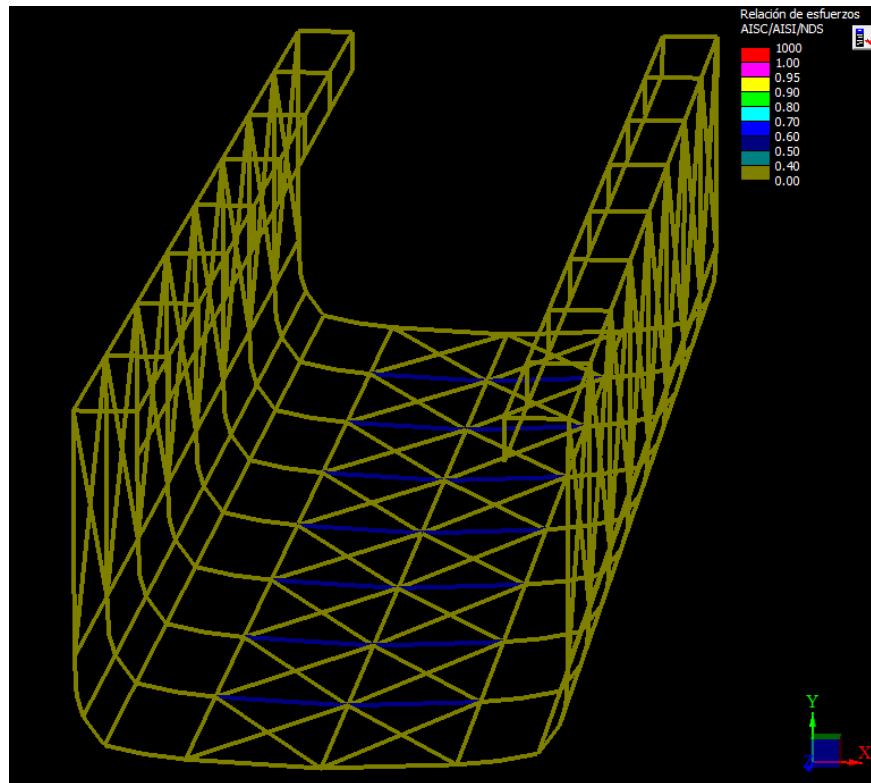


Figura 2.40: Elementos mas solicitados en tercer movimiento.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

En la Figura 2.40 los elementos más solicitados, no son los que llevan enganchado los winches, ya que en esta posición el barco influye en toda la estructura. Los elementos más solicitados en este movimiento, son los perfiles transversales de abajo del barco.

Para hacer el cálculo de las verificaciones de resistencia y deformaciones admisibles, se ocupó el caso más desfavorable para el elemento más solicitado.

Tabla 2.4: Posición más desfavorable para cada tipo de perfil utilizado.

Nombre del perfil	Tipo de perfil	Posición más desfavorable
Reforzamiento longitudinal de anclajes de winches	H 185 x 320	Posición original del barco
Reforzamiento longitudinal	H 140 x 133	Segundo movimiento del barco
Reforzamiento transversal abajo del barco	H 140 x 133	Tercer movimiento del barco
Reforzamiento transversal lado interior costado del barco	H 180 x 171	Segundo movimiento del barco
Reforzamiento transversal lado exterior costado del barco	H 140 x 133	Segundo movimiento del barco

Los elementos con máxima sollicitación entregados por software, se encuentran en el *Anexo B*, los cálculos y verificaciones de cada uno de estos se encuentran en el *Anexo C*.

Elección de perfiles

Luego de verificar la resistencia y deformaciones admisibles de los perfiles se obtuvo como resultado:

- Diagonales, perfil circular: A500 3" 1,5

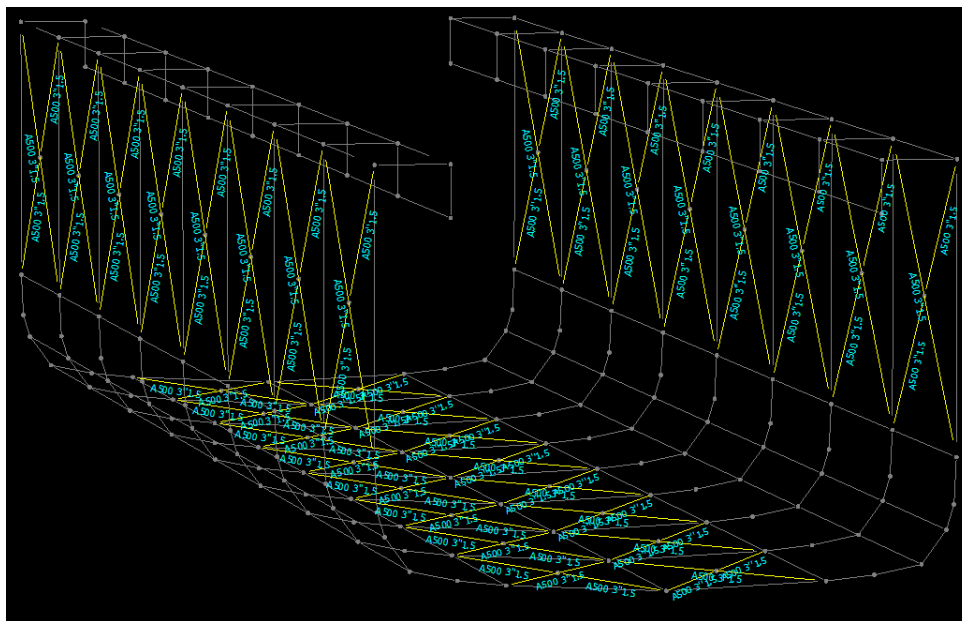


Figura 2.41: Diagonales de la estructura de protección.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

- Reforzamiento longitudinal de anclajes de winches: H 185 x 500

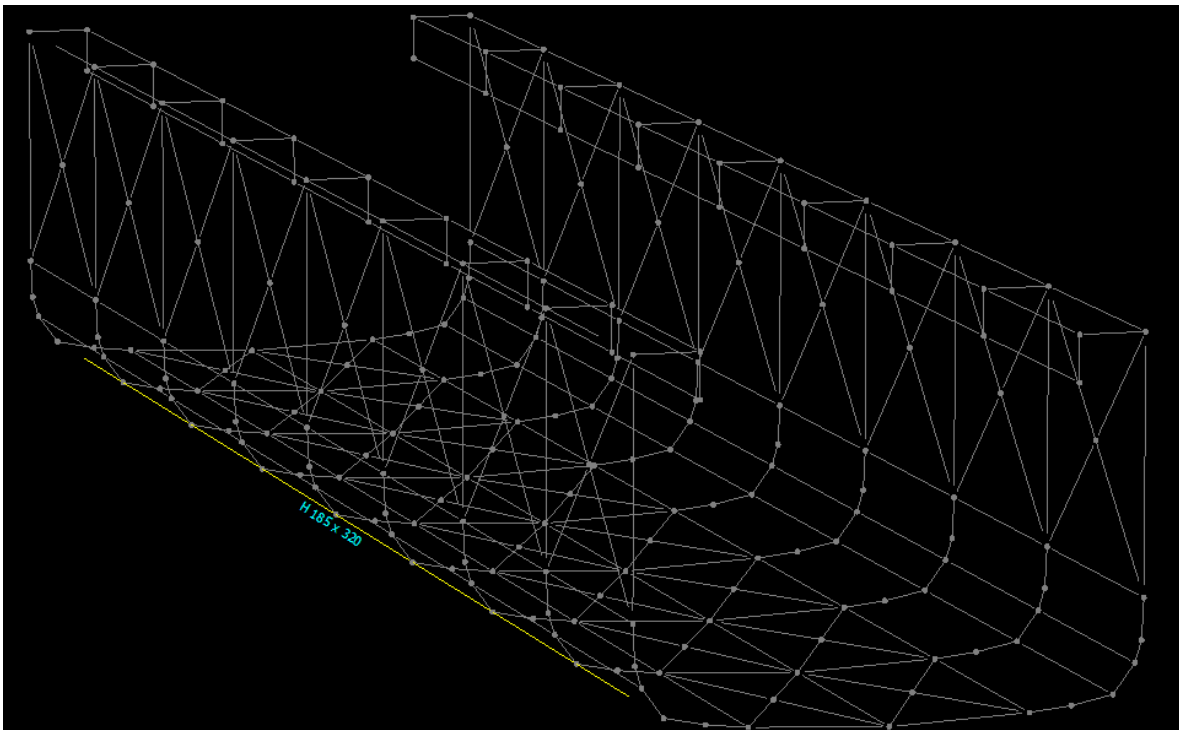


Figura 2.42: Reforzamiento longitudinal de anclajes de la estructura de protección.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

- Reforzamiento longitudinal: H 140 x 133

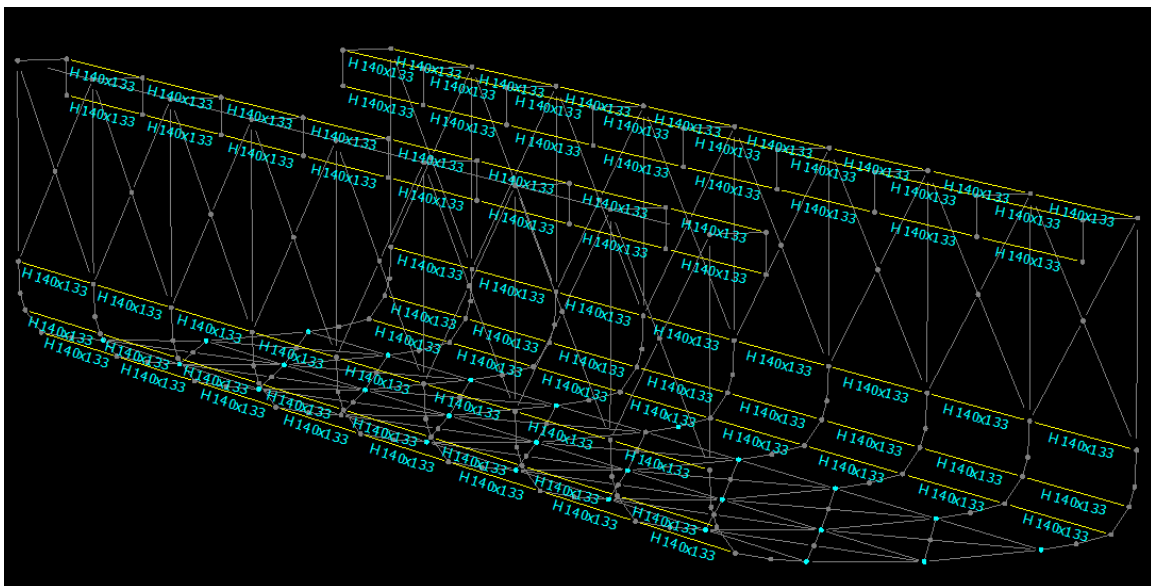


Figura 2.43: Reforzamiento longitudinal de los lados de la estructura de protección.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

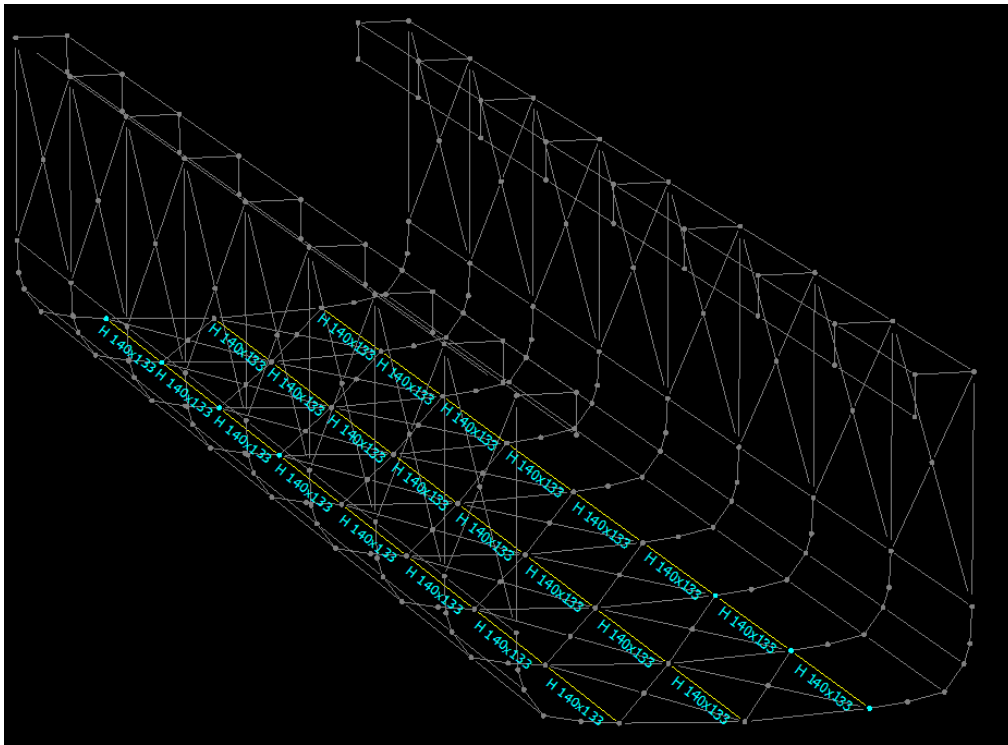


Figura 2.44: Reforzamiento longitudinal de abajo de la estructura de protección.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

- Reforzamiento transversal abajo del barco: H 140 x 133
- Reforzamiento transversal lado interior costado del barco: H 180 x 171
- Reforzamiento transversal lado exterior costado del barco: H 140 x 133

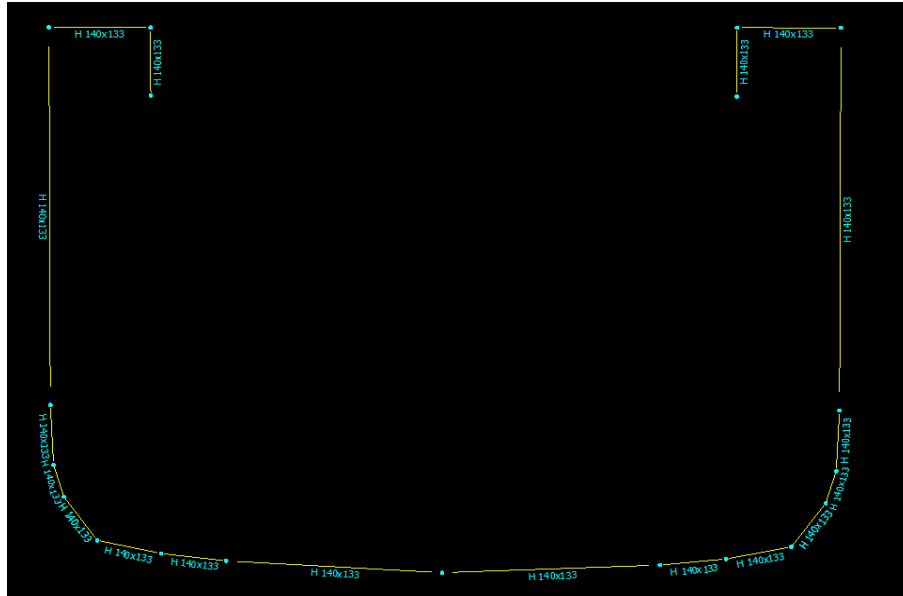


Figura 2.45: Reforzamiento transversal de la parte exterior de la estructura de protección.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

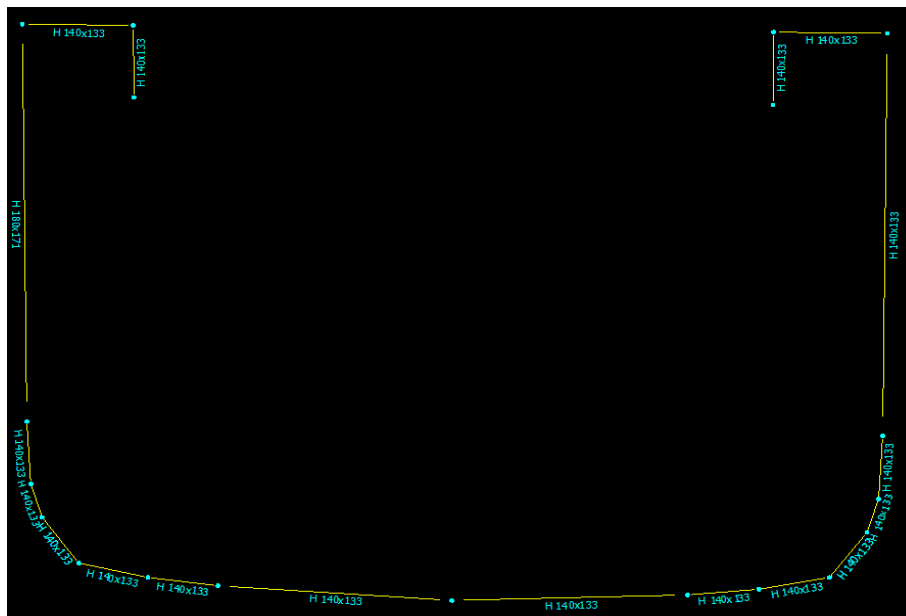


Figura 2.46: Reforzamiento transversal de la parte interior de la estructura de protección.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

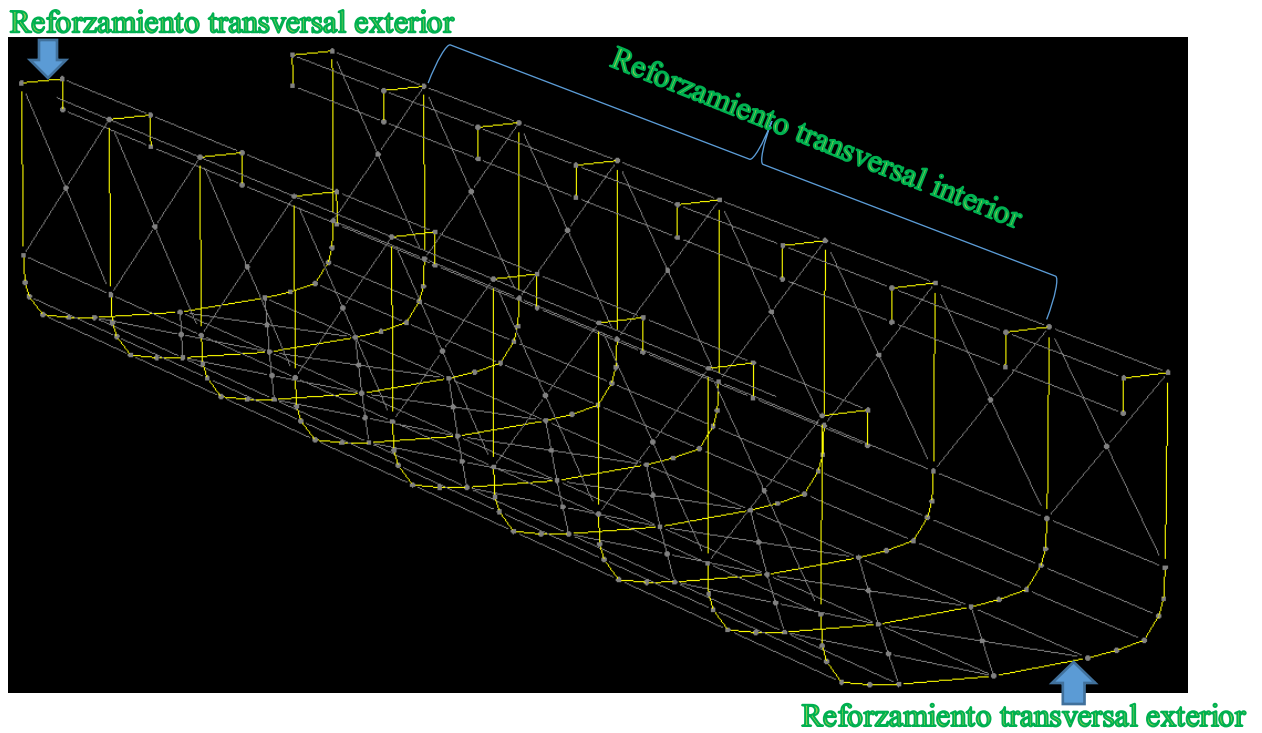


Figura 2.47: Reforzamientos transversales de la estructura de protección.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza en RAM Advanse.

El reforzamiento transversal exterior corresponde a los señalados en la Figura 2.45 y los reforzamientos transversales interiores corresponden a los señalados en la Figura 2.46.

Capítulo 3 : Instalación de la estructura de protección

3.1 Soldaduras

Para poder realizar la construcción de la estructura en el RAM Poderoso, será necesario soldar los perfiles a la embarcación, ya que es la forma más segura para esta obra por las condiciones estructurales en las que se encuentra la embarcación.

3.1.1 Descripción

Electrodo de bajo contenido de hidrógeno. Se caracteriza por depósitos de calidad radiográfica, arco fácil de establecer, excelentes características operativas, fácil desprendimiento de escoria y excelente presentación.

3.1.2 Usos

Se recomienda para trabajos, donde se requiera una alta calidad radiográfica.

Aplicaciones típicas

- Construcción
- Reparación de buques
- Plataformas petroleras
- Cañerías

Los tipos de soldaduras se muestran en la siguiente Tabla 3.1

Tabla 3.1: Procesos de soldaduras eléctricas

Procesos de soldadura eléctrica (aplicación estructural)			
Denominación		Tipo	Atmosfera protectora
SMAW	Arco protegido	Manual	Gas del recubrimiento del electrodo
SAW	Arco sumergido	Automático	Fundente
GMAW	Arco protegido	Automático	Gas (Ar, CO ₂ , He)
FCAW	Fundente interior	Automático	Fundente

Fuente: Libro de diseño para estructuras de acero ICHA.

Para el trabajo que se realizará, se ocupará la soldadura SMAW, ya que esta cumple con las características de uso nombradas anteriormente. Los otros procesos de soldadura no se pueden ocupar, ya que se necesita maquinaria no portable para realizar esas soldaduras.

3.1.3 Normas de diseño

AWS: A5.1/A5.1M-2004. Especificaciones para los electrodos de carbono de acero para soldadura de arco metálico blindado.

Esta norma clasifica la soldadura según la aplicación que se le va a dar y el tipo de soldadura que se utilizará.

3.1.4 Materiales

El tipo de soldadura a utilizar se clasifica como: E7018

Modelo: Indura 7018-A1

Tabla 3.2: Nomenclatura de las siglas de la soldadura a ocupar.

Clasificación electrodos SMAW				
E	70	1	8	A1
Electrodo	Resistencia mínima a tracción, Ksi	Código de posición	Características del recubrimiento	Composición química del metal

Fuente: Libro de diseño para estructuras de acero ICHA.

La composición química es la siguiente:

Carbono (C): 0.09%

Manganeso (Mn): 1.05%

Silicio (Si): 0.55%

Fosforo (P): 0.020%

Azufre (S): 0.015%

Características típicas del metal depositado:

Resistencia a la tracción: 572 MPa.

Límite de fluencia (Fy): 475 MPa.

Alargamiento en 50 mm: 31%.

3.1.5 Análisis de diseño

El diseño se realizará de acuerdo a las especificaciones del método de Diseño por factores de carga y resistencia del manual ICHA.

La Resistencia de diseño de conexiones soldadas viene dada por:

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} \phi * F_{bm} * A_{bm} \\ \phi * F_w * A_w \end{array} \right.$$

Donde:

F_{bm}: Resistencia nominal del metal base.

A_{bm}: Área de la sección transversal del metal base.

F_w: Resistencia nominal del metal de aporte (electrodo).

A_w: Área efectiva del cordón de soldadura.

ϕ: Factor de resistencia.

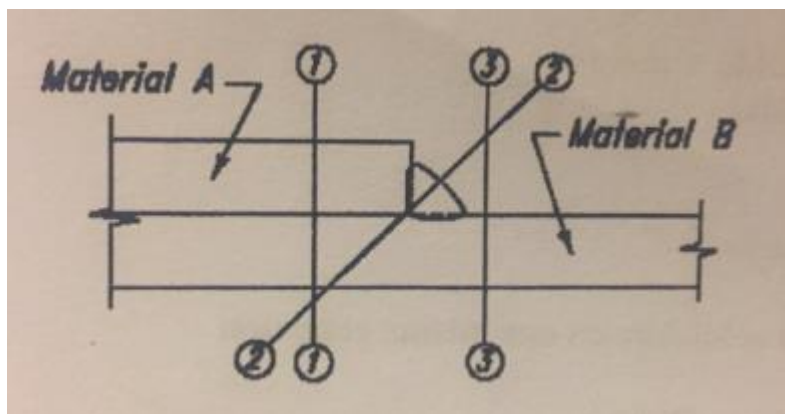


Figura 3.1: Soldadura entre dos secciones.

Fuente: Manual de Diseño para estructuras de acero ICHA.

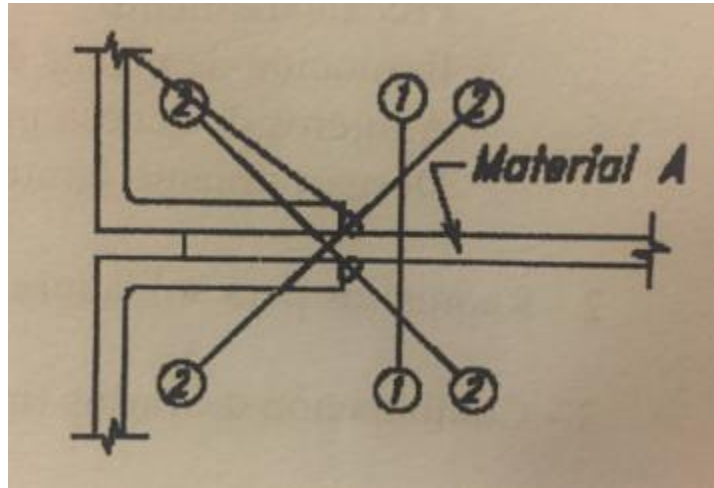


Figura 3.2: Soldadura entre 3 secciones.

Fuente: Manual de Diseño para estructuras de acero ICHA.

Existen 2 tipos de soldaduras, que son las siguientes:

- Soldadura Biesel.
- Soldadura de Filete.

Para el análisis se ocupará la soldadura de Filete.

Áreas efectivas en soldaduras de Filete.

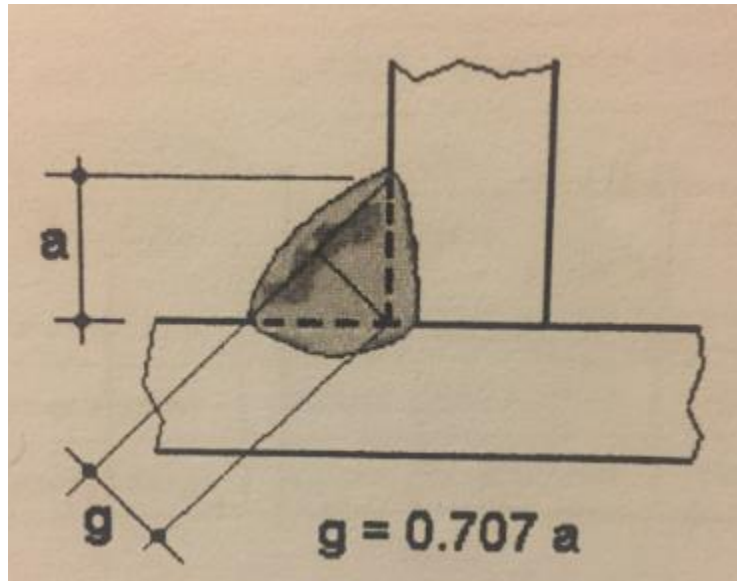


Figura 3.3: Área efectiva de soldadura de Filete.

Fuente: Manual de Diseño para estructuras de acero ICHA.

En la siguiente Tabla 3.3 se muestra el tamaño mínimo de la soldadura de Filete según el espesor.

Tabla 3.3: Tamaño mínimo de Filetes según área efectiva de soldadura.

Tamaño mínimo de Filetes (mm)	
Espesor de la parte más gruesa conectada (mm)	Tamaño del Filete
hasta 6	3
más de 6 menos de 13	5
más de 13 menos de 19	8
más de 19	8

Fuente: Manual de Diseño para estructuras de acero ICHA.

3.1.5.1 Resistencia de soldaduras (Filete)

Corte en el área efectiva del filete

$$\phi F_w: 0.75 * 0.60 * F_{exx}$$

Donde:

F_{exx} : corte en el metal base según configuración de la conexión.

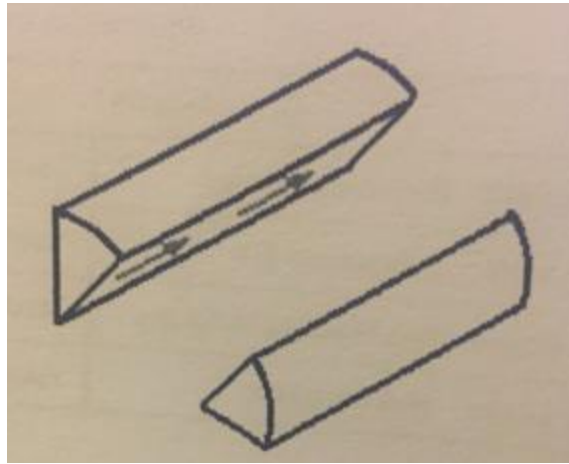


Figura 3.4: Corte en el metal base de la conexión.

Fuente: Manual de Diseño para estructuras de acero ICHA.

Tracción o compresión paralela al eje del cordón de soldadura

$$\phi F_b m: 0.9 * F_y$$

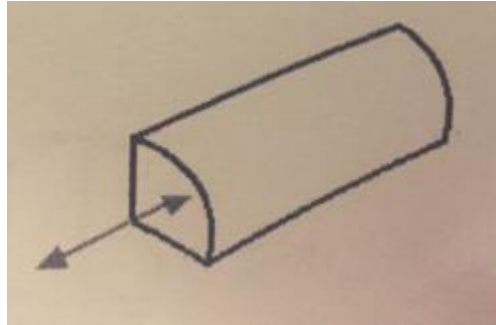


Figura 3.5: Tracción o compresión paralela al eje del cordón.

Fuente: Manual de Diseño para estructuras de acero ICHA.

3.1.5.2 Método clásico de análisis

Para este método se obtiene el tamaño de la soldadura de filete mediante la siguiente Tabla 3.4

Tabla 3.4: Resistencia al corte de Filetes

Resistencia al corte de Filetes (Ton/cm)		
Tamaño del Filete (mm)	ϕR_n	
	Electrodo (AWS)	
	E60XX	E70XX
3	0,402	0,469
5	0,67	0,782
6	0,804	0,938
8	1,072	1,251
10	1,34	1,563
12	1,608	1,876
16	2,144	2,501

Fuente: Manual de Diseño para estructuras de acero ICHA.

Para obtener el ϕ Rn de diseño se ocupa la siguiente ecuación:

$$f_{\text{diseño}} = \sqrt{(fvx + fm)^2 + (fvy)^2}$$

Donde

$fvx: \frac{Px}{L}$, Px es la fuerza aplicada en eje X y L es la longitud del cordón de soldadura.

$fvy: \frac{Py}{L}$, Py es la fuerza aplicada en eje Y y L es la longitud del cordón de soldadura.

$fm: \frac{M*L/2}{I}$, M es el momento en eje X e Y e I es la inercia en eje X e Y.

M: $Px*dx + Py*dy$

d: distancia del centroide.

Si el valor de la resistencia al corte de diseño se encuentra fuera de los datos entregados en la Tabla 3.2, hay que extrapolar para obtener el tamaño del filete de diseño.

3.1.6 Resultados

Se realizó el análisis para el perfil más solicitado según cada movimiento. En la siguiente Tabla 3.5 se muestran los resultados:

Tabla 3.5: Tamaño de la soldadura de Filete por análisis en cada movimiento

Nombre	Movimiento de analisis	Tamaño del Filete (mm)
Reforzamiento longitudinal anclajes	Posición original	16
Reforzamiento longitudinal	Segundo movimiento	3
Reforzamiento transversal lado interior barco	Segundo movimiento	3
Reforzamiento transversal lado exterior barco	Segundo movimiento	3
Reforzamiento transversal abajo barco	Tercer movimiento	8

En Anexo D se encuentran tablas de análisis para cada perfil.

- Reforzamiento longitudinal anclajes.

En la Figura 3.6 se aprecia la línea amarilla que es la parte del perfil soldada.

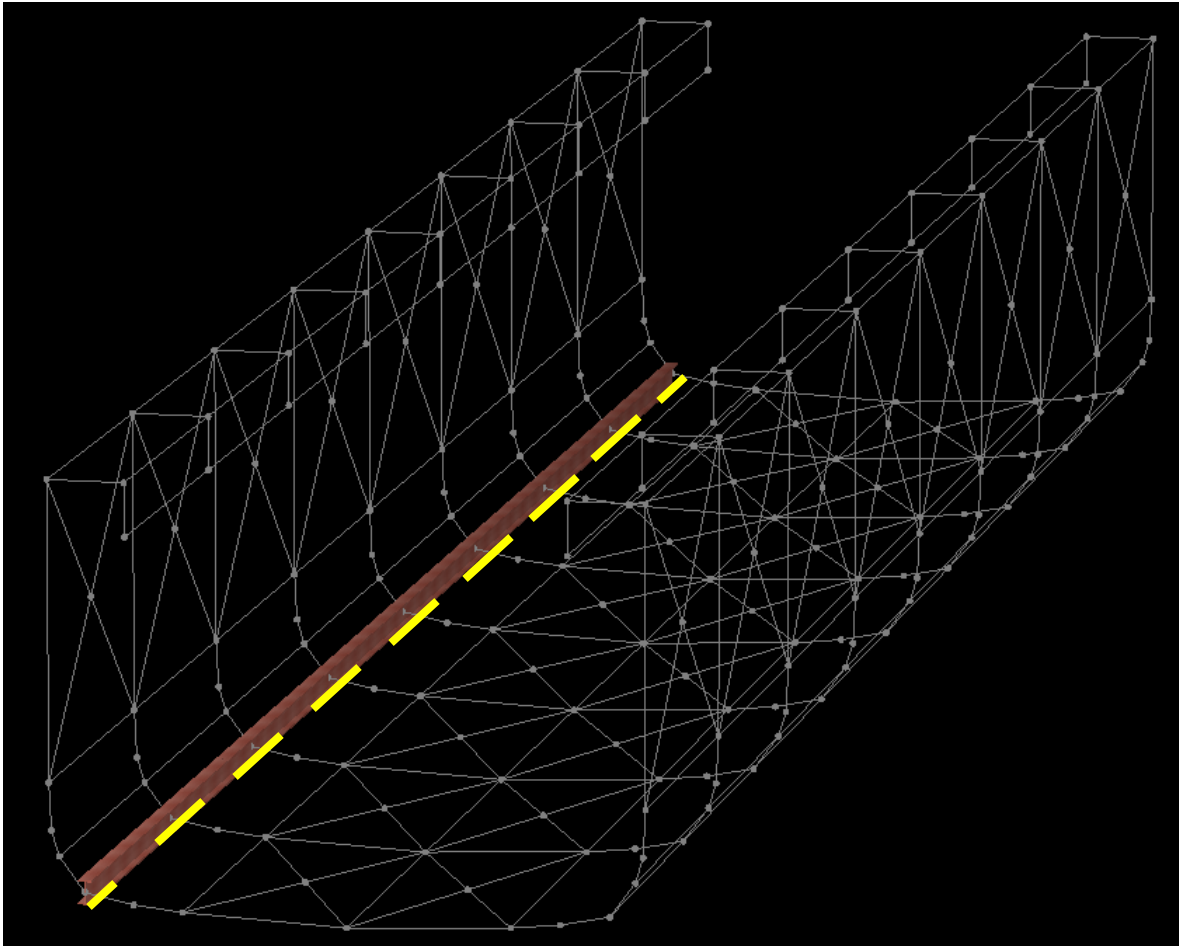


Figura 3.6: Reforzamiento longitudinal de anclajes soldado.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza.

Los extremos de la zona amarilla tienen una longitud de soldadura de 20 cm mientras que las del interior son de 40 cm y el tamaño del filete es de 16 mm.

- Reforzamiento longitudinal

En la Figura 3.7 se ven todos los perfiles longitudinales y se especificará uno (el del rectángulo) ya que todos se soldarán de la misma manera.

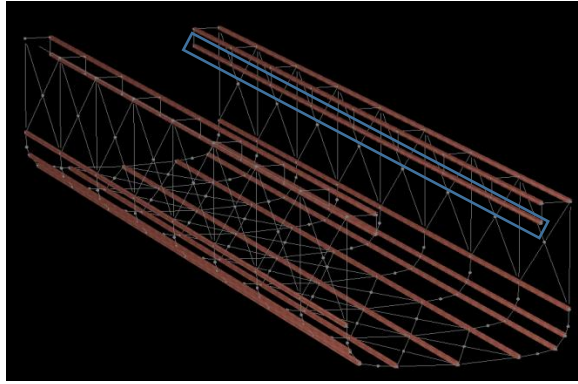


Figura 3.7: Reforzamientos longitudinales soldado.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza.

En la Figura 3.8 se aprecia la soldadura (líneas azules) de estos perfiles



Figura 3.8: Reforzamiento longitudinal de una parte soldada.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza.

En los extremos se soldará una longitud de 15 cm y el tamaño del filete es de 3 mm.

Como la viga no es una sola hay que ir uniéndola cada sección de los perfiles longitudinales. En la Figura 3.9 se aprecia cómo será la unión de cada parte de los perfiles longitudinales, que seguirán

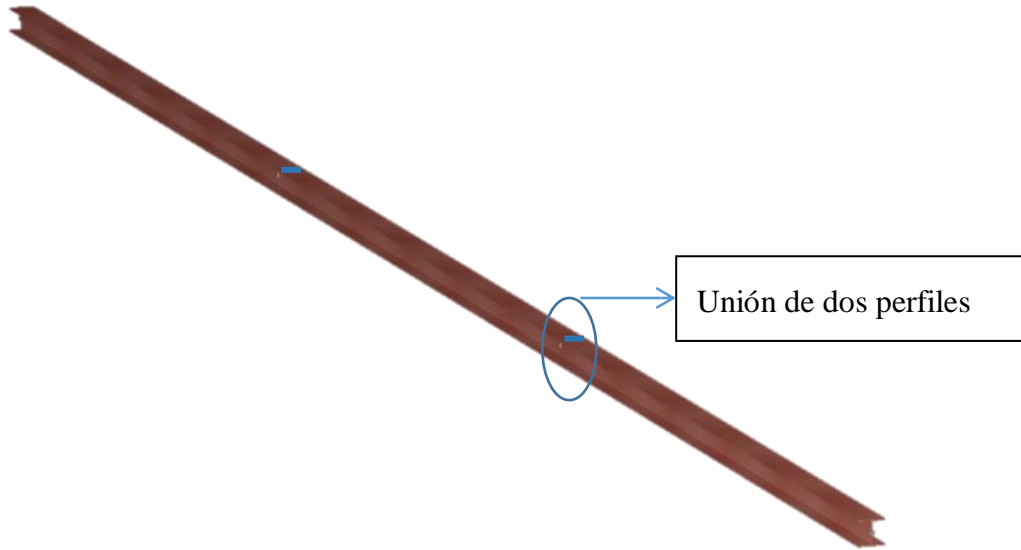


Figura 3.9: Reforzamiento longitudinal de una parte soldada.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza.

En la Figura 3.10 se especifica la unión de la soldadura entre dos perfiles.



Figura 3.10: Unión de soldadura entre dos perfiles.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza.

La longitud de esta soldadura es de 14 cm y el tamaño del filete es de 3 mm.

- Reforzamiento transversal

En la Figura 3.11 se aprecia las líneas amarillas que es la parte que se soldará por abajo del barco y las líneas azules es la parte que se soldará por los lados del barco. En la Tabla 3.5 están los tamaños de las soldaduras correspondientes a este reforzamiento

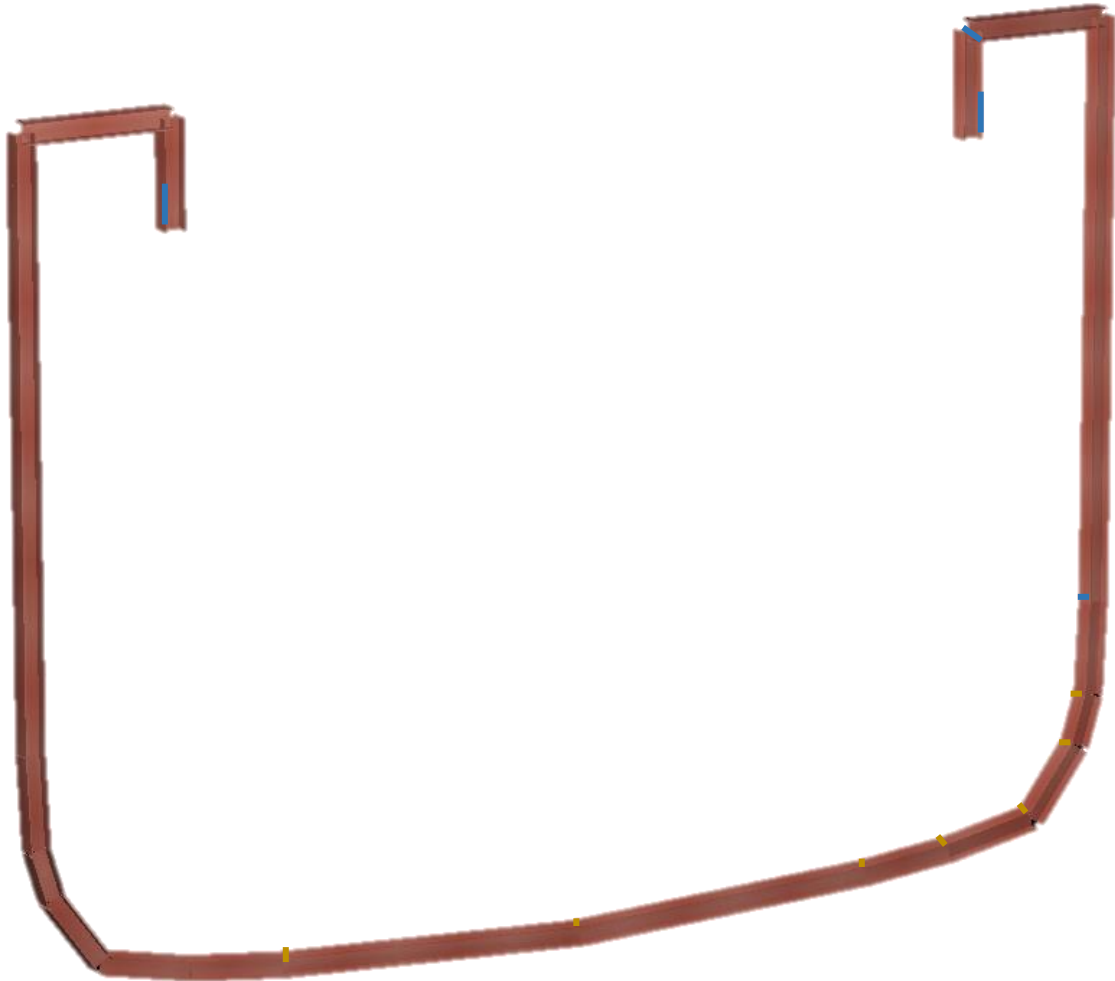


Figura 3.11: Reforzamiento transversal soldado.

Fuente: Elaborado por Hugo Espinoza.

3.2 : Riel para su deslizamiento

Para poder retirar el RAM Poderoso del actual lugar donde se encuentra, será necesaria la construcción de una plataforma donde repose la embarcación, una vez que esta se encuentre en su posición natural.

Para esta operación, antes de comenzar la construcción de la estructura que protegerá al buque, será necesario hacer un relleno alrededor de este, para que el agua no interfiera en la operación y se pueda trabajar en todo el remolcador. Una vez realizado este relleno habrá que sacar el material del fondo marino explicado en el capítulo 2, en el punto 2.1, para que el buque pueda quedar en una posición apta para seguir la construcción de la estructura. Una vez sacado el material del fondo marino y extraída el agua, habrá que comenzar con la construcción del riel y la plataforma, paralelo al comienzo de la construcción de la estructura de reforzamiento del RAM Poderoso.

La plataforma será donde reposará el barco una vez volteado, pero esta plataforma deberá ir puesta en el riel por donde se deslizará todo esto. Este riel deberá terminar en un lugar donde se pueda reposar la plataforma en un carro adaptado, para poder mover finalmente el RAM Poderoso a la ubicación donde se realizarán todas sus reparaciones para que vuelva a convertirse en el museo que fue, pero esta vez en museo terrestre.

Capítulo 4 Estimación de costos

En este capítulo se muestra el análisis de costos del proyecto. Sólo se consideran los valores asociados a la obra gruesa del proyecto y el equipo necesario para su funcionamiento.

Los costos involucrados para el análisis económico son los siguientes:

En la Tabla 4.1 se muestran los valores totales de compra de los winches para jalar el RAM Poderoso.

Tabla 4.1: Winches para Ram Poderoso.

Empresa	Tipo	Modelo	Detalle	Cantidad	Tonelaje	Precio unitario	Precio total
PROWINCH	Winche hidráulico	PWY400	Compra unidad	2	40	\$ 20.000.000	\$ 40.000.000

En la Tabla 4.2 se muestran el valor del precio unitario para la construcción del bloque de hormigón donde irán los winches.

Tabla 4.2: Precio unitario del hormigón.

Actividad	Hormigón H20						
Unidad	\$/m ³						
	Unidad	1/Rendimiento		Precio Unitario		Precio Total	
Materiales							
Hormigón H20	m ³	1	m ³ /m ³	\$ 79.980	\$/m3	\$ 79.980	\$/m ³
Maquinaria							
Sonda Vibradora	día	0,07	día/m ³	\$ 7.000	\$/día	\$ 490	\$/m ³
Mano de Obra							
Cuadrilla 2 Maestros	h	0,64	h/m ³	\$ 6.200	\$/h	\$ 3.968	\$/m ³
Cuadrilla 6 Jornaleros	h	0,64	h/m ³	\$ 11.700	\$/h	\$ 7.488	\$/m ³
Leyes Sociales (32%)						\$ 3.666	\$/m ³
Perdidas (3%)						\$ 2.399	\$/m ³
Precio Unitario						\$ 97.991	\$/m ³

El valor del precio unitario para los moldajes de los bloques de hormigón se encuentra en la Tabla 4.3

Tabla 4.3: Precio unitario moldajes de bloques de hormigón.

Actividad	Moldaje						
Unidad	\$/m ²						
	Unidad	1/Rendimiento		Precio Unitario		Precio Total	
Sub - Contrato							
Suministro, Fabricación y Colocación Moldaje	m ²	1	m ² /m ²	\$ 6.200	\$/m ²	\$ 6.200	\$/m ²
Mano de Obra							
Cuadrilla 2 Maestros	h	0,07	h/m ²	\$ 6.200	\$/h	\$ 434	\$/m ²
Cuadrilla 4 Jornaes	h	0,07	h/m ²	\$ 7.800	\$/h	\$ 546	\$/m ²
Leyes Sociales (32%)						\$ 314	\$/m ²
Perdidas (3%)							
Precio Unitario						\$ 7.494	\$/m ²

El valor de precio unitario para remover el suelo necesario se encuentra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Precio unitario para remover suelo.

Actividad	Excavación						
Unidad	\$/m ³						
	Unidad	1/Rendimiento		Precio Unitario		Precio Total	
Maquinaria							
Retroexcavadora	h	0,14	h/m ³	\$ 30.000	\$/h	\$ 4.200	\$/m ³
Mano de Obra							
Jornal	h	0,14	h/m ³	\$ 1.950	\$/h	\$ 273	\$/m ³
Leyes Sociales (32%)						\$ 87	\$/m ³
Perdidas (3%)							\$/m ³
Precio Unitario						\$ 4.560	\$/m ³

El valor de precio unitario para cada soldadura de se muestra en la siguiente Tabla 4.5, 4.6 y 4.7 donde la empresa solicitada, Kezver Chile, pone los materiales con su personal calificado.

Tabla 4.5: Precio unitario para la instalación de la soldadura de 16 mm.

Actividad	Soldadura						
Unidad	\$/Kg						
	Unidad	1/Rendimiento	Precio Unitario		Precio Total		
Materiales							
Soldadura E7018 16 mm	Kg	3,5	m/Kg	\$ 9.929	\$/m	\$ 34.752	\$/Kg
Mano de Obra							
Subcontrato	día	1	día/día	\$ 65.000	\$/día	\$ 65.000	\$/Kg
Leyes Sociales (32%)							\$/Kg
Perdidas (3%)						\$ 1.043	\$/Kg
Precio Unitario						\$ 100.794	\$/Kg

Tabla 4.6: Precio unitario para la instalación de la soldadura de 8 mm.

Actividad	Soldadura						
Unidad	\$/Kg						
	Unidad	1/Rendimiento	Precio Unitario		Precio Total		
Materiales							
Soldadura E7018 8 mm	Kg	5	m/Kg	\$ 4.875	\$/m	\$ 24.375	\$/Kg
Mano de Obra							
Subcontrato	día	1	día/día	\$ 65.000	\$/día	\$ 65.000	\$/Kg
Leyes Sociales (32%)							\$/Kg
Perdidas (3%)						\$ 731	\$/Kg
Precio Unitario						\$ 90.106	\$/Kg

Tabla 4.7: Precio unitario para la instalación de la soldadura de 3 mm.

Actividad	Soldadura						
Unidad	\$/Kg						
	Unidad	1/Rendimiento	Precio Unitario		Precio Total		
Materiales							
Soldadura E7018 3 mm	Kg	6,2	m/Kg	\$ 1.765	\$/m	\$ 10.943	\$/Kg
Mano de Obra							
Subcontrato	día	1	día/día	\$ 65.000	\$/día	\$ 65.000	\$/Kg
Leyes Sociales (32%)							\$/Kg
Perdidas (3%)						\$ 328	\$/Kg
Precio Unitario						\$ 76.271	\$/Kg

En las siguientes Tablas 4.8 y 4.9 están los precios unitarios de los perfiles utilizados para el reforzamiento de la embarcación

Tabla 4.8: Precio unitario de los perfiles tipo H.

Actividad	Estructura Metálica							
Unidad	\$/Kg							
	Unidad	1/Rendimiento		Precio Unitario		Precio Total		
Materiales								
Perfiles A-36	Kg	1	Kg/Kg	\$ 3.680	\$/Kg	\$ 3.680	\$/Kg	
Sub - Contrato								
Montaje Estructura Metálica	Kg	1	Kg/Kg	\$ 1.020	\$/Kg	\$ 1.020	\$/Kg	
Leyes Sociales (32%)								
Perdidas (3%)							\$ 110	\$/Kg
Precio Unitario							\$ 4.810	\$/Kg

Tabla 4.9: Precio unitario de los tubos.

Actividad	Estructura Metálica							
Unidad	\$/Kg							
	Unidad	1/Rendimiento		Precio Unitario		Precio Total		
Materiales								
Tubo A-36	Kg	1	Kg/Kg	\$ 3.700	\$/Kg	\$ 3.700	\$/Kg	
Sub - Contrato								
Montaje Estructura Metálica	Kg	1	Kg/Kg	\$ 1.020	\$/Kg	\$ 1.020	\$/Kg	
Leyes Sociales (32%)								
Perdidas (3%)							\$ 111	\$/Kg
Precio Unitario							\$ 4.831	\$/Kg

En la Tabla 4.10 se muestra el valor de precio unitario para poder remover el máximo de arena del interior de la embarcación.

Tabla 4.10: Precio unitario para el retiro de la arena del interior del barco.

Actividad	Retiro de arena interior barco						
Unidad	\$/m ³						
	Unidad	1/Rendimiento		Precio Unitario		Precio Total	
Materiales							
Tubo flexible	m	3	m/m ³	\$ 13.762	\$/m	\$ 41.286	\$/m ³
Maquinaria							
Bomba φ35 mm	día	0,04	día/m ³	\$ 200.000	\$/día	\$ 8.000	\$/m ³
Mano de Obra							
Jornal	h	0,04	h/m ³	\$ 1.950	\$/h	\$ 78	\$/m ³
Leyes Sociales (32%)						\$ 25	\$/m ³
Perdidas (3%)						\$ 1.239	\$/m ³
Precio Unitario						\$ 50.628	\$/m ³

En la Tabla 4.11 se muestra un resumen de las partidas con el costo total de cada una.

Tabla 4.11: Partidas y costos de cada una.

Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Excavación	m ³	1.372	\$ 4.560	\$ 6.256.320
Estructura acero				
Perfiles A-36	Kg	9.324	\$ 4.810	\$ 44.848.440
Tubos A-36	Kg	976	\$ 4.831	\$ 4.715.056
Bloque hormigón	m ³	648	\$ 97.991	\$ 63.498.168
Soldadura				
Soldadura E7018 16 mm	Kg	17,472	\$ 100.794	\$ 1.761.073
Soldadura E7018 8 mm	Kg	17,55	\$ 90.106	\$ 1.581.360
Soldadura E7018 3 mm	Kg	24,624	\$ 76.271	\$ 1.878.097
Moldaje	m ²	324	\$ 7.494	\$ 2.428.056
Retiro arena interior barco	m ³	62,5	\$ 50.628	\$ 3.164.250

En la Tabla 4.12 se encuentra el costo de las poleas.

Tabla 4.12: Costo total poleas.

Empresa	Tipo	Modelo	Detalle	Cantidad	Tonelaje	Precio unitario	Precio total
PROWINCH	Polea	PWPF500	Compra unidad	8	40	\$ 795.900	\$ 6.367.200

En la Tabla 4.13 se encuentra el costo total del cable de acero.

Tabla 4.13: Costo total cable de acero.

Empresa	Tipo	Modelo	Detalle	Cantidad (m)	Capacidad por metro	Precio unitario por metro	Precio total
PROWINCH	Cable acero con gancho	PWLD20000	Compra por metro	360	20	\$ 126.300	\$ 45.468.000

En la siguiente Tabla 4.14 se encuentra el costo total para la recuperación del RAM Poderoso.

Tabla 4.14: Costo total para la recuperación del RAM Poderoso.

Costo Total	
Costos	Cantidad, \$
Winche	\$ 40.000.000
Poleas	\$ 6.367.200
Cable de acero	\$ 45.468.000
Excavación	\$ 6.256.320
Estructura metálica	\$ 49.563.496
Bloque hormigón	\$ 63.498.168
Moldaje	\$ 2.847.053
Soldadura	\$ 5.220.530
Retiro arena interior barco	\$ 3.164.250
Total Neto	\$ 222.385.017
Gastos Generales (15%)	\$ 33.357.753
Utilidades (10%)	\$ 25.574.277
IVA (19%)	\$ 53.450.239
Total	\$ 334.767.285

Capítulo 5 : Conclusiones

Este proyecto realizado para el análisis y diseño de la estructura de reforzamiento para la recuperación del RAM Poderoso, se concluyó lo siguiente:

- 1- Para la realización de este proyecto de recuperación del Remolcador de Alta Mar Poderoso, se utilizó la alternativa de la recuperación de la nave completa, la que consiste en recuperar el RAM Poderoso mediante maquinas que puedan voltear hasta su posición natural, luego de tener la primera etapa de construcción terminada.
- 2- Para poder voltear el RAM Poderoso de la forma más segura y cuidando su integridad, es necesario extraer un volumen importante de suelo, para que así cuando la embarcación este volteada pueda estar en un terreno plano, donde este puesta la plataforma y el riel. Este mismo material sacado servirá para el relleno que se hará para poder bordear a la embarcación.
- 3- Para este proyecto se utilizaron winches hidráulicos de la empresa Prowinch, para jalar el RAM Poderoso completo.
- 4- Los 9 winches deben ser distribuidos por toda la viga de acero, ya que si se aplica la fuerza de las cargas en un solo punto, no existe perfil de acero en el mercado que cumpla con las verificaciones de diseño.
- 5- Por cada movimiento fueron cambiando las relaciones de esfuerzo de cada perfil, por lo que para el análisis se ocupó el movimiento más desfavorable, que tenga la relación de esfuerzo al límite, para optimizar los perfiles.
- 6- Para calcular el tamaño y tipo de soldadura se utilizaron los perfiles más desfavorables analizados en el Capítulo 2, Tabla 2.4. y también para cada perfil de estos se buscó el miembro más solicitado.


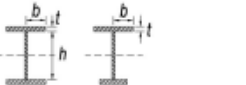



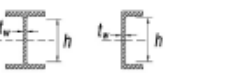


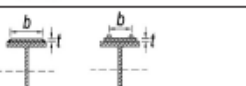

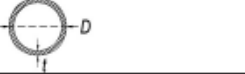
Referencias y Bibliografía.

- Vargas, Diego (2016). Proyecto de título “MODELAMIENTO Y PRESUPUESTO PARA LA RECUPERACION DEL REMOLCADOR DE ALTAMAR PODEROSO”.
- AUTOR (2010), Corporación Monumento Al Trabajo Marítimo RAM Poderoso, <http://www.corpoderoso.cl/>.
- Base Naval (2010) Museo al Trabajo Marítimo RAM Poderoso, <http://base.mforos.com/1613175/9253339-museo-al-trabajo-maritimo-ram-poderoso/>
- NCh 1537 Of86 (1986) Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso.
- NCh 2369 Of2003 (2003) Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
- CINTAC (2014) Catálogo General de Productos y Sistemas y Vigas Laminadas.
- Prowinch (2016) Huinches, Tecles, Polipastos y Poleas, <http://prowinch.cl/>
- ASTM A36 (2005) Standard Specification for Carbon Structural Steel.
- ICHA Instituto Chileno del Acero (2001) Libro de Diseño para Estructuras de Acero. Método por factores de carga y Resistencia.
- Manual de sistemas y materiales de soldadura de empresa INDURA.
- AWS: A5.1/A5.1M (2004). Specification for carbon Steel electrodes for shielded metal arcwelding.

Anexos

5.1 Anexo A: Razón ancho espesor

Tabla 0.1: Razones ancho espesor.

TABLA B4.1b Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión de miembros en flexión						
Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razones Ancho-Espesor Límite		Ejemplos	
			λ_p (compacta-no compacta)	λ_r (esbelto-no esbelto)		
Elementos No-Atiesados	10	Flexión en alas de perfiles laminados, canales y tes.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Alas de secciones I soldadas con doble y simple simetría.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a] [b]	
	12	Alas de ángulos simples	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Alas de toda doble T y canal en torno a su eje más débil.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Almas de tes	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos Atiesados	15	Almas de doble T simétricas y canales.	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Almas de secciones doble T con un solo eje de simetría.	h/t_w	$\frac{h_w \sqrt{E}}{h_y \sqrt{F_y}} \leq \lambda_p$ [c]	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Alas de secciones tubulares y secciones cajón de espesor uniforme.	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Alas de sobre planchas y planchas diafragma entre líneas de conectores y soldadura.	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Almas de tubos rectangulares y secciones cajón.	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
20	Tubos redondos.	D/t	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$		

Fuente: AISC – 2005

5.2 Anexo B: Elemento de máxima solicitación

Reforzamiento longitudinal de anclajes de winches en posición original.


						
Fecha Actual: 05-07-2017 18:30 Sistema de unidades: Métrico Nombre del archivo: C:\Program Files (x86)\Bentley\Engineering\RAM Advanse Español\Data\ram_posicion_original_4.5_P140final.adv\						
Diseño de Acero						
Reporte: Resumen - Máximo por descripción						
Estados de carga considerados : CM1=1.2CM+1.6SC						
Descripción	Sección	Miembro	Ec. ctrl	Ratio	Estatus	Referencia
Diagonales	H 185 x 320	72	CM1 en 0.00%	0.02	Bien	(H1-1b)
Reforz long anclajes		283	CM1 en 100.00%	0.95	Bien	(Ec. 4.9) DG 9
Reforzamiento long		282	CM1 en 87.50%	0.07	Bien	(H1-1b)
reforzamiento trans		11	CM1 en 0.00%	0.02	Bien	(H1-1b)

Figura 0.1: Elementos de máxima solicitación con primer movimiento.

Reforzamiento longitudinal con segundo movimiento.

Reforzamiento transversal lado interior del barco con segundo movimiento.

Reforzamiento transversal lado exterior del barco con segundo movimiento.



						
Fecha Actual: 05-07-2017 18:45 Sistema de unidades: Métrico Nombre del archivo: C:\Program Files (x86)\Bentley\Engineering\RAM Advanse Español\Data\ram_2do_mov_4.5.adv\						
Diseño de Acero						
Reporte: Resumen - Máximo por descripción						
Estados de carga considerados : C1=1.2CM+1.6SC						
Descripción	Sección	Miembro	Ec. ctrl	Ratio	Estatus	Referencia
Diagonales	A500 3"1.5	104	C1 en 100.00%	0.08	Bien	(H1-1b)
R. long. anclajes	H 185 x 320	279	C1 en 100.00%	0.90	Bien	(Ec. 4.9) DG 9
R. trans.	H 140x133	17	C1 en 0.00%	0.57	Bien	(H1-1b)
R. trans. lado	H 180x171	24	C1 en 0.00%	0.99	Bien	(H1-1b)
R. trans.ext.	H 140x133	11	C1 en 0.00%	0.92	Bien	(H1-1b)
Reforzamiento long		278	C1 en 37.50%	0.13	Bien	(Sec. F)

Figura 0.2: Elementos de máxima solicitación con segundo movimiento.

Reforzamiento transversal abajo del barco con tercer movimiento.



Fecha Actual: 05-07-2017 18:45
 Sistema de unidades: Métrico
 Nombre del archivo: C:\Program Files (x86)\Bentley\Engineering\RAM Advanse Español\Data\ram_3er_mov_pos_final_4.5.adv\

Diseño de Acero

Reporte: Resumen - Máximo por descripción

Estados de carga considerados :
 C1=1.2CM+1.6SC

Descripción	Sección	Miembro	Ec. ctrl	Ratio	Estatus	Referencia
<u>Diagonales</u>	A500 3"1.5	109	C1 en 100.00%	0.06	Bien	(H1-1b)
<u>R. long. anclajes</u>	H 185 x 320	279	C1 en 100.00%	0.04	Bien	(Sec. F)
<u>R. trans.</u>	H 140x133	17	C1 en 0.00%	0.74	Bien	(Sec. F)
<u>R. trans. ext.</u>		4	C1 en 0.00%	0.37	Bien	(H1-1b)
<u>R. trans. lado</u>	H 180x171	24	C1 en 0.00%	0.21	Bien	(H3-6)
<u>Reforzamiento long</u>	H 140x133	278	C1 en 37.50%	0.13	Bien	(Sec. F)

Figura 0.3: Elementos de máxima sollicitación con tercer movimiento.

5.3 Anexo C: Perfiles

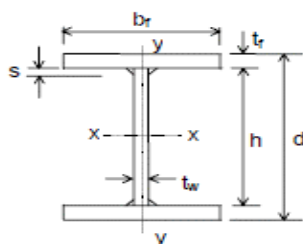


Figura 0.4: Dimensiones perfil tipo utilizado.

Fuente: Catálogo CINTAC.

5.3.1 Reforzamiento longitudinal de anclajes de winches en posición original

Tabla 0.2: Verificaciones de reforzamiento longitudinal de anclajes.

Perfil	H 185 x 320	
Tipo	Ref. long. Anclajes	
Miembro	278	
Combinación	C1	
E	2100000	[kg/cm ²]
Fy	2700	[kg/cm ²]
Dimensiones Perfil		
d	32	[cm]
bf	18,5	[cm]
h	44,6	[cm]
Peso	141	[kg/m]
tf	2,7	[cm]
tw	1,8	[cm]
Iy	2872	[cm ⁴]
Zy	462	[cm ³]
ry	20,09	[cm]
Sy	310,5	[cm ³]
Zx	3369	[cm ³]
Sx	2872	[cm ³]
J	334,7	[cm ⁴]
Cw	1594000	[cm ⁶]

Resistencia al Corte			Resistencia a la Flexión		
h/t	24,78		Compacto- No Compacto- Esbelto.		
Condición h/t < 260		<i>Cumple</i>	Ala		
2,45*raiz(E/Fy)	68,33		b	9,25	[cm]
Condición h/t < 2,45*raiz(E/Fy)		<i>Cumple</i>	λAla	3,42592593	
Vn	130053,6	[kg]	λp	10,60	
Deformación Admisible			Condición λAla<λp		<i>Compacto</i>
L	450	[cm]	Alma		
X	450		λb/t	24,77777778	
Dadm	1		λp	104,86139	
			λAlma<λp		<i>Compacto</i>
Longitudes Limites					
Lb	450	[cm]			
Lp	986,10	[cm]			
Lr	805,2	[cm]			
rts	4,8537	[cm]			
c	1,0	[cm]			
ho	47,3	[cm]			
Fluencia					
Mpx	9096300	[kg-cm]			
Mpy	1247400	[kg-cm]			
Pandeo Lateral-Torsional					
Cb	1	-			
Mnx	-10895232,7	[kg-cm]			
Mny	-709749,749	[kg-cm]			

Modelo		
Corte		
Vux	52499,4	[kg]
Vuy	30704,3	[kg]
F.S.	1,5	
Flexión		
Mux	178420	[kg-cm]
Muy	283590	[kg-cm]
F.S.	1,67	
Deformación Máxima		
D	0,0016	[cm]

Verificación		
Corte	0,95964702	<i>Cumple</i>
Flexión	0,63992295	<i>Cumple</i>
Deformación	0,0016	<i>Cumple</i>

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

Estados considerados:

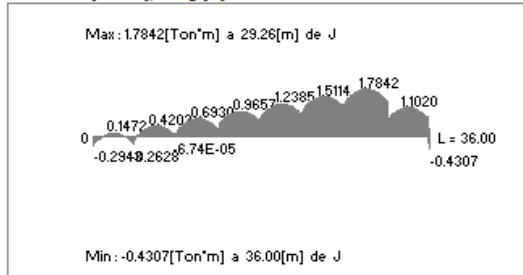
C1=1.2CM+1.6SC

MIEMBRO	: 278	Largo	: 36.000 [m]	Nudo J	: 146
Material	: A36	Sección	: H 185 x 500	Nudo K	: 13

Envolventes :

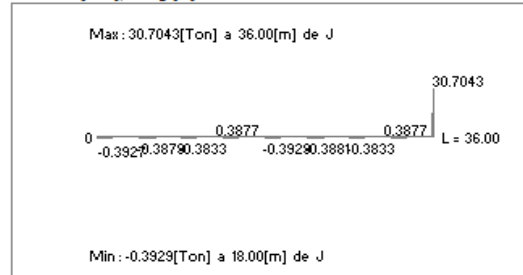
Momentos flectores M33:

Momentos [Ton*m], Long [m]



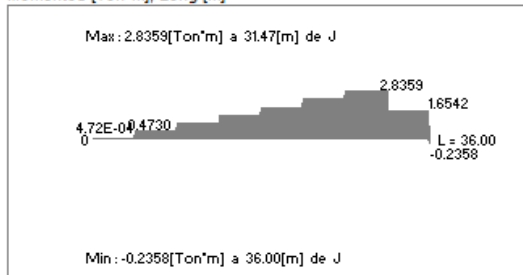
Esfuerzos cortantes V2:

Fuerzas [Ton], Long [m]



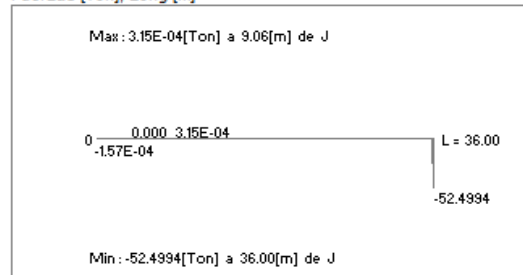
Momentos flectores M22:

Momentos [Ton*m], Long [m]



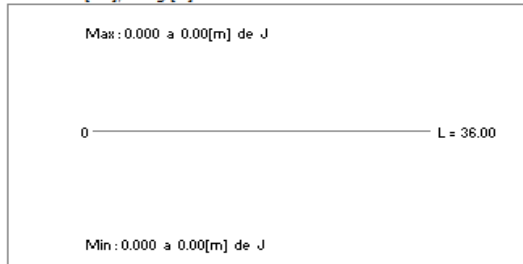
Esfuerzos cortantes V3:

Fuerzas [Ton], Long [m]



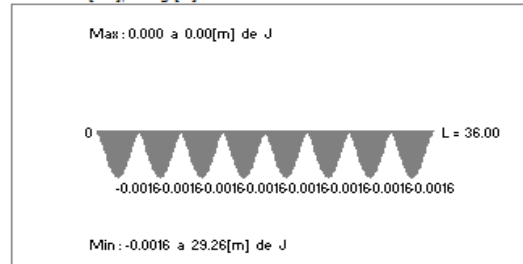
Traslación en 1

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 2

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 3

Deflexión [cm], Long [m]

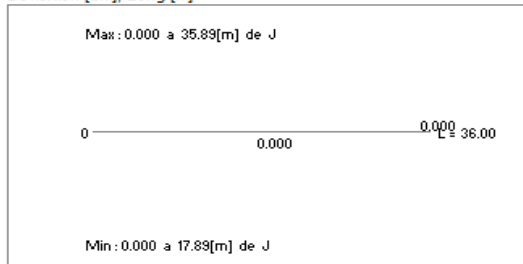


Figura 0.5: Diagramas de esfuerzos de reforzamiento longitudinal de anclajes.

5.3.2 Reforzamiento longitudinal con segundo movimiento

Tabla 0.3: Verificaciones de reforzamiento longitudinal.

Perfil	H 140 x 133	
Tipo	Refor long	
Miembro	262	
Combinación	C1	
E	2100000	[kg/cm ²]
Fy	2700	[kg/cm ²]
Dimensiones Perfil		
d	13,3	[cm]
bf	14	[cm]
h	11,6	[cm]
Peso	24,1	[kg/m]
tf	0,85	[cm]
tw	0,55	[cm]
Iy	388,9	[cm ⁴]
Zy	83,3	[cm ³]
ry	6,761	[cm]
Sy	55,56	[cm ³]
Zx	169,5	[cm ³]
Sx	152,2	[cm ³]
J	6,422	[cm ⁴]
Cw	15060	[cm ⁶]

Resistencia al Corte			Resistencia a la Flexión		
h/t	21,09		Compacto- No Compacto- Esbelto.		
Condición h/t < 260		<i>Cumple</i>	Ala		
2,45*raiz(E/Fy)	68,33		b	7	[cm]
Condición h/t < 2,45*raiz(E/Fy)		<i>Cumple</i>	λAla	8,23529412	
Vn	10335,6	[kg]	λp	10,60	
Deformación Admisible			Condición λAla<λp		<i>Compacto</i>
L	450	[cm]	Alma		
X	450		λb/t	21,0909091	
Dadm	1		λp	104,86139	
			λAlma<λp		<i>Compacto</i>
			Longitudes Limites		
Lb	450	[cm]			
Lp	331,86	[cm]			
Lr	748,6	[cm]			
rts	3,9876	[cm]			
c	1,0	[cm]			
ho	12,5	[cm]			
			Fluencia		
Mpx	457650	[kg-cm]			
Mpy	224910	[kg-cm]			
			Pandeo Lateral-Torsional		
Cb	1	-			
Mnx	593016,436	[kg-cm]			
Mny	190919,071	[kg-cm]			

Modelo		
Corte		
Vux	1,9	[kg]
Vuy	69,7	[kg]
F.S.	1,5	
Flexión		
Mux	5460	[kg-cm]
Muy	670	[kg-cm]
F.S.	1,67	
Deformación Máxima		
D	0,0243	[cm]

Verificación		
Corte	0,01039127	<i>Cumple</i>
Flexión	0,00951537	<i>Cumple</i>
Deformación	0,0243	<i>Cumple</i>

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

Estados considerados:

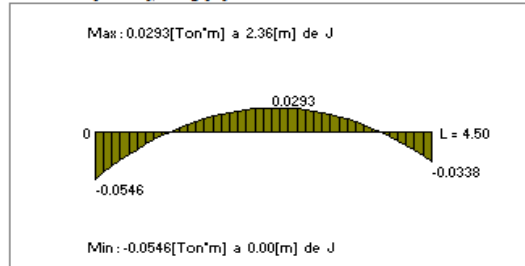
C1=1.2CM+1.6SC

MIEMBRO	: 262	Largo	: 4.500 [m]	Nudo J	: 126
Material	: A36	Sección	: H 140x133	Nudo K	: 143

Envolventes :

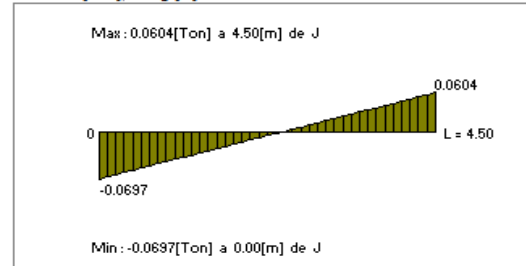
Momentos flectores M33:

Momentos [Ton*m], Long [m]



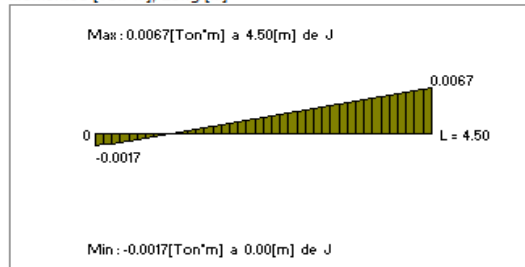
Esfuerzos cortantes V2:

Fuerzas [Ton], Long [m]



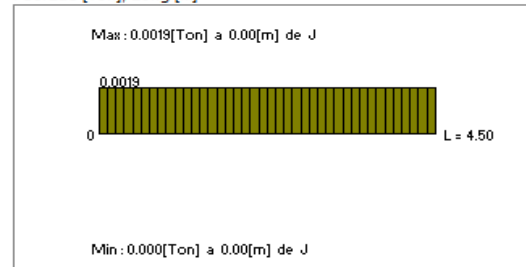
Momentos flectores M22:

Momentos [Ton*m], Long [m]



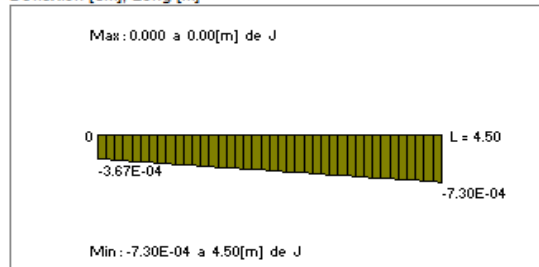
Esfuerzos cortantes V3:

Fuerzas [Ton], Long [m]



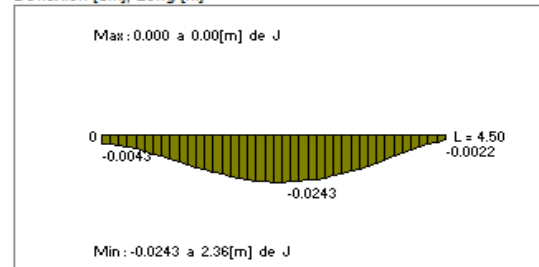
Traslación en 1

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 2

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 3

Deflexión [cm], Long [m]

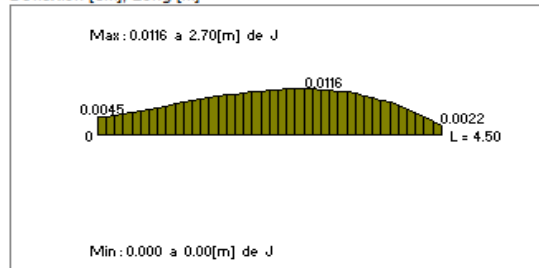


Figura 0.6: Diagrama de esfuerzos de reforzamiento longitudinal.

5.3.3 Reforzamiento transversal lado interior del barco con segundo movimiento

Tabla 0.4: Verificaciones de reforzamiento transversal lado interior del barco.

Perfil	H 180 x 171	
Tipo	Refor. Trans. lado	
Miembro	24	
Combinación	C1	
E	2100000	[kg/cm ²]
Fy	2700	[kg/cm ²]
Dimensiones Perfil		
d	17,1	[cm]
bf	18	[cm]
h	15,2	[cm]
Peso	34,5	[kg/m]
tf	0,95	[cm]
tw	0,6	[cm]
Iy	923,7	[cm ⁴]
Zy	153,9	[cm ³]
ry	8,759	[cm]
Sy	102,6	[cm ³]
Zx	315,3	[cm ³]
Sx	285,8	[cm ³]
J	11,45	[cm ⁴]
Cw	60210	[cm ⁶]

Resistencia al Corte			Resistencia a la Flexión		
h/t	25,33		Compacto- No Compacto- Esbelto.		
Condición h/t < 260		<i>Cumple</i>	Ala		
2,45*raiz(E/Fy)	68,33		b	9	[cm]
Condición h/t < 2,45*raiz(E/Fy)		<i>Cumple</i>	λAla	9,47368421	
Vn	14774,4	[kg]	λp	10,60	
Deformación Admisible			Condición λAla<λp		<i>Compacto</i>
L	450	[cm]	Alma		
X	450		λb/t	25,33333333	
Dadm	1		λp	104,86139	
			λAlma<λp		<i>Compacto</i>
Longitudes Limites					
Lb	450				[cm]
Lp	429,93				[cm]
Lr	849,5				[cm]
rts	5,1082				[cm]
c	1,0				[cm]
ho	16,2				[cm]
Fluencia					
Mpx	851310				[kg-cm]
Mpy	415530				[kg-cm]
Pandeo Lateral-Torsional					
Cb	1				-
Mnx	1170155,89				[kg-cm]
Mny	404927,04				[kg-cm]

Modelo		
Corte		
Vux	0	[kg]
Vuy	6719,2	[kg]
F.S.	1,5	
Flexión		
Mux	437110	[kg-cm]
Muy	0	[kg-cm]
F.S.	1,67	
Deformación Máxima		
D	0,4399	[cm]

Verificación		
Corte	0,68217999	<i>Cumple</i>
Flexión	0,62382603	<i>Cumple</i>
Deformación	0,4399	<i>Cumple</i>

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

Estados considerados:

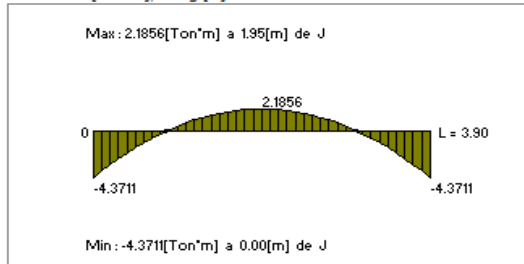
C1=1.2CM+1.6SC

MIEMBRO	: 24	Largo	: 3.903 [m]	Nudo J	: 26
Material	: A36	Sección	: H 180x171	Nudo K	: 27

Envolventes :

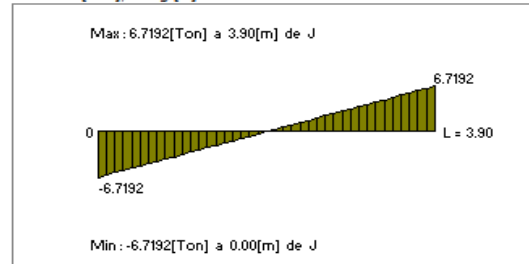
Momentos flectores M33:

Momentos [Ton*m], Long [m]



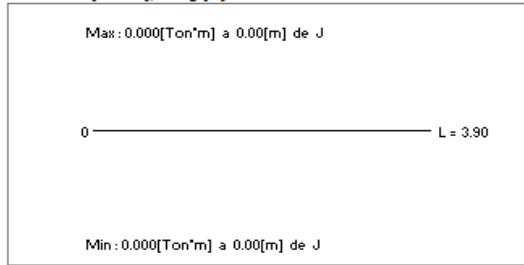
Esfuerzos cortantes V2:

Fuerzas [Ton], Long [m]



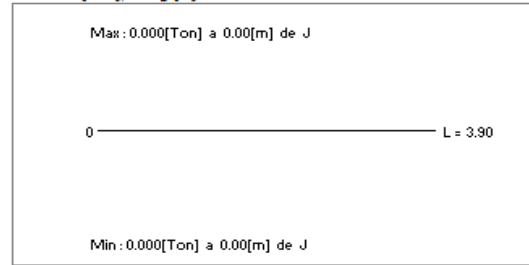
Momentos flectores M22:

Momentos [Ton*m], Long [m]



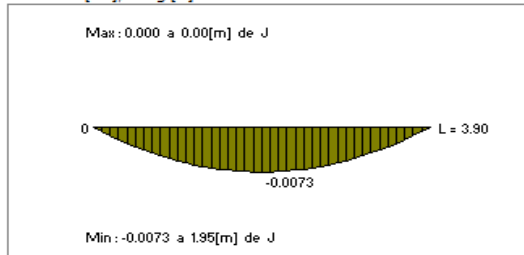
Esfuerzos cortantes V3:

Fuerzas [Ton], Long [m]



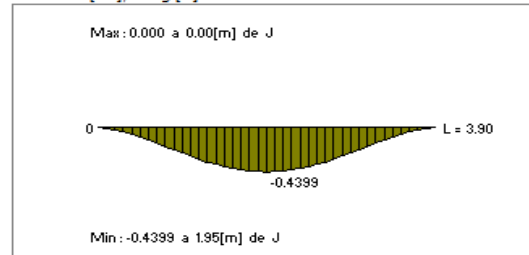
Traslación en 1

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 2

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 3

Deflexión [cm], Long [m]

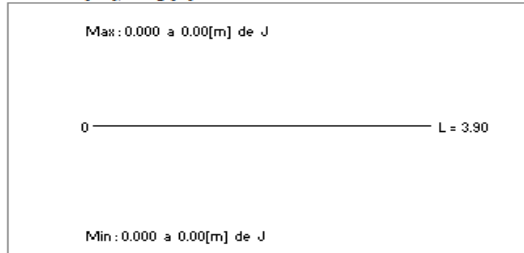


Figura 0.7: Diagrama de esfuerzos de reforzamiento transversal lado interior del barco

5.3.4 Reforzamiento transversal lado exterior del barco con segundo movimiento

Tabla 0.5: Verificaciones de reforzamiento transversal lado exterior del barco.

Perfil	H 140 x 133	
Tipo	Refor trans ext	
Miembro	11	
Combinación	C1	
E	2100000	[kg/cm ²]
Fy	2700	[kg/cm ²]
Dimensiones Perfil		
d	13,3	[cm]
bf	14	[cm]
h	11,6	[cm]
Peso	24,1	[kg/m]
tf	0,85	[cm]
tw	0,55	[cm]
Iy	388,9	[cm ⁴]
Zy	83,3	[cm ³]
ry	6,761	[cm]
Sy	55,56	[cm ³]
Zx	169,5	[cm ³]
Sx	152,2	[cm ³]
J	6,422	[cm ⁴]
Cw	15060	[cm ⁶]

Resistencia al Corte			Resistencia a la Flexión		
h/t	21,09		Compacto- No Compacto- Esbelto.		
Condición h/t < 260		<i>Cumple</i>	Ala		
2,45*raiz(E/Fy)	68,33		b	7	[cm]
Condición h/t < 2,45*raiz(E/Fy)		<i>Cumple</i>	λAla	8,23529412	
Vn	10335,6	[kg]	λp	10,60	
Deformación Admisible			Condición λAla<λp		<i>Compacto</i>
L	450	[cm]	Alma		
X	450		λb/t	21,0909091	
Dadm	1		λp	104,86139	
			λAlma<λp		<i>Compacto</i>
Longitudes Limites					
Lb	450	[cm]			
Lp	331,86	[cm]			
Lr	748,6	[cm]			
rts	3,9876	[cm]			
c	1,0	[cm]			
ho	12,5	[cm]			
Fluencia					
Mpx	457650	[kg-cm]			
Mpy	224910	[kg-cm]			
Pandeo Lateral-Torsional					
Cb	1	-			
Mnx	593016,436	[kg-cm]			
Mny	190919,071	[kg-cm]			

Modelo		
Corte		
Vux	0	[kg]
Vuy	3370,1	[kg]
F.S.	1,5	
Flexión		
Mux	219240	[kg-cm]
Muy	0	[kg-cm]
F.S.	1,67	
Deformación Máxima		
D	0,5217	[cm]

Verificación		
Corte	0,48910078	<i>Cumple</i>
Flexión	0,61740414	<i>Cumple</i>
Deformación	0,5217	<i>Cumple</i>

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

Estados considerados:

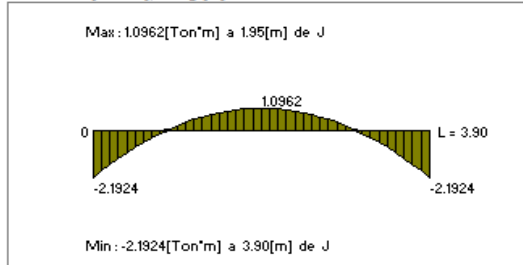
C1=1.2CM+1.6SC

MIEMBRO	: 11	Largo	: 3.903 [m]	Nudo J	: 12
Material	: A36	Sección	: H 140x133	Nudo K	: 13

Envoltentes :

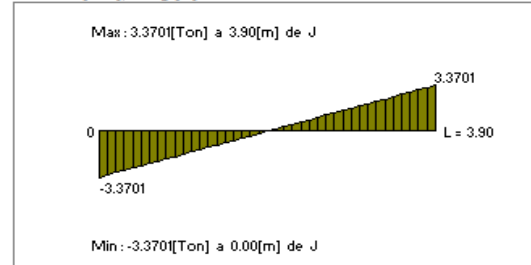
Momentos flectores M33:

Momentos [Ton*m], Long [m]



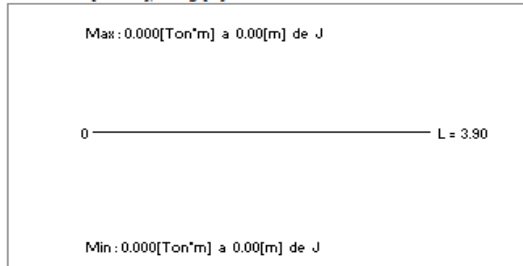
Esfuerzos cortantes V2:

Fuerzas [Ton], Long [m]



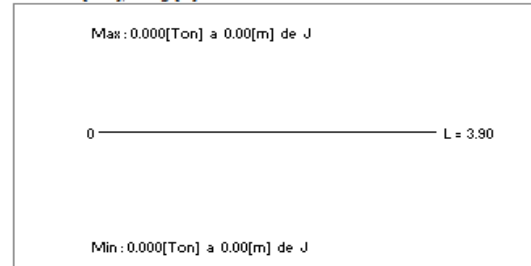
Momentos flectores M22:

Momentos [Ton*m], Long [m]



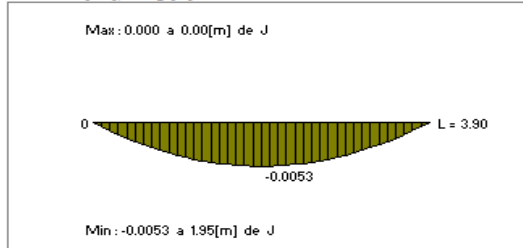
Esfuerzos cortantes V3:

Fuerzas [Ton], Long [m]



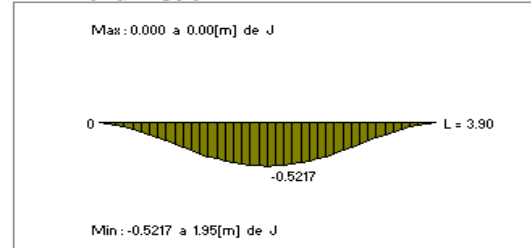
Traslación en 1

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 2

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 3

Deflexión [cm], Long [m]

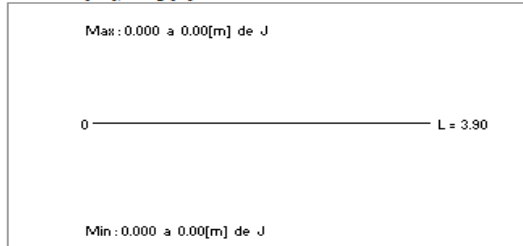


Figura 0.8: Diagrama de esfuerzos de reforzamiento transversal lado exterior del barco

5.3.5 Reforzamiento transversal abajo del barco con tercer movimiento

Tabla 0.6: Verificaciones de reforzamiento transversal abajo del barco.

Perfil	H 140 x 133	
Tipo	Refor trans	
Miembro	17	
Combinación	C1	
E	2100000	[kg/cm ²]
Fy	2700	[kg/cm ²]
Dimensiones Perfil		
d	13,3	[cm]
bf	14	[cm]
h	11,6	[cm]
Peso	24,1	[kg/m]
tf	0,85	[cm]
tw	0,55	[cm]
Iy	388,9	[cm ⁴]
Zy	83,3	[cm ³]
ry	6,761	[cm]
Sy	55,56	[cm ³]
Zx	169,5	[cm ³]
Sx	152,2	[cm ³]
J	6,422	[cm ⁴]
Cw	15060	[cm ⁶]

Resistencia al Corte			Resistencia a la Flexión		
h/t	21,09		Compacto- No Compacto- Esbelto.		
Condición h/t < 260		<i>Cumple</i>	Ala		
2,45*raiz(E/Fy)	68,33		b	7	[cm]
Condición h/t < 2,45*raiz(E/Fy)		<i>Cumple</i>	λAla	8,23529412	
Vn	10335,6	[kg]	λp	10,60	
Deformación Admisible			Condición λAla<λp		<i>Compacto</i>
L	450	[cm]	Alma		
X	450		λb/t	21,0909091	
Dadm	1		λp	104,86139	
			λAlma<λp		<i>Compacto</i>
Longitudes Limites					
Lb	450	[cm]			
Lp	331,86	[cm]			
Lr	748,6	[cm]			
rts	3,9876	[cm]			
c	1,0	[cm]			
ho	12,5	[cm]			
Fluencia					
Mpx	457650	[kg-cm]			
Mpy	224910	[kg-cm]			
Pandeo Lateral-Torsional					
Cb	1	-			
Mnx	593016,436	[kg-cm]			
Mny	190919,071	[kg-cm]			

Modelo		
Corte		
Vux	0	[kg]
Vuy	5152,6	[kg]
F.S.	1,5	
Flexión		
Mux	182260	[kg-cm]
Muy	0	[kg-cm]
F.S.	1,67	
Deformación Máxima		
D	0,1375	[cm]

Verificación		
Corte	0,74779403	<i>Cumple</i>
Flexión	0,51326436	<i>Cumple</i>
Deformación	0,1375	<i>Cumple</i>

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

Estados considerados:

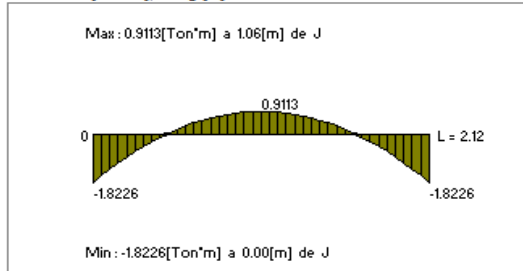
C1=1.2CM+1.6SC

MIEMBRO	: 17	Largo	: 2.122 [m]	Nudo J	: 19
Material	: A36	Sección	: H 140x133	Nudo K	: 20

Envolventes :

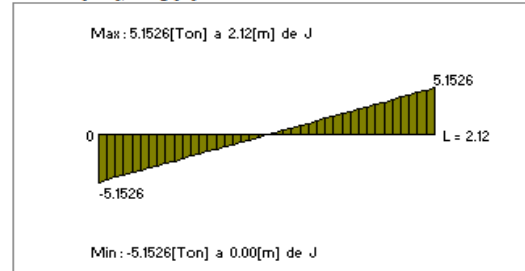
Momentos flectores M33:

Momentos [Ton*m], Long [m]



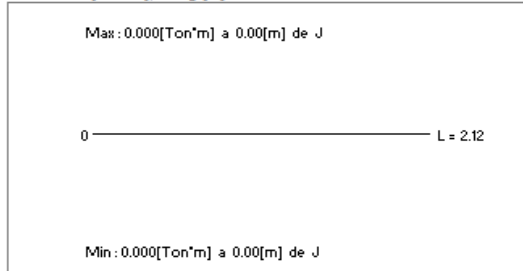
Esfuerzos cortantes V2:

Fuerzas [Ton], Long [m]



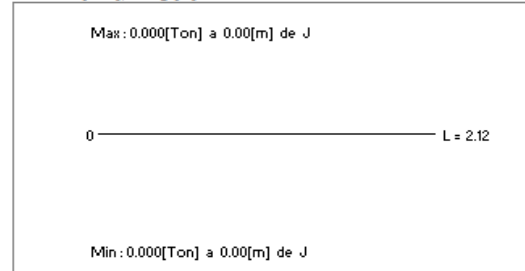
Momentos flectores M22:

Momentos [Ton*m], Long [m]



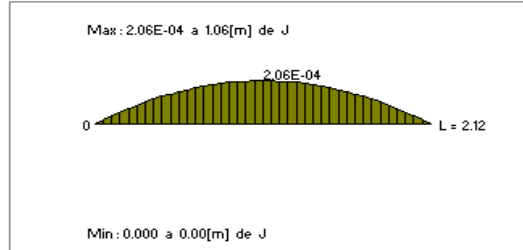
Esfuerzos cortantes V3:

Fuerzas [Ton], Long [m]



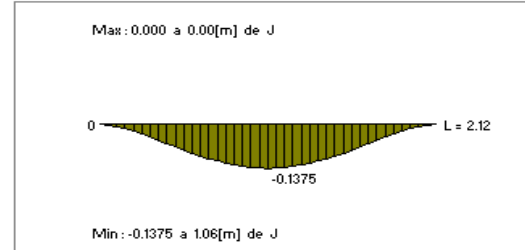
Traslación en 1

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 2

Deflexión [cm], Long [m]



Traslación en 3

Deflexión [cm], Long [m]

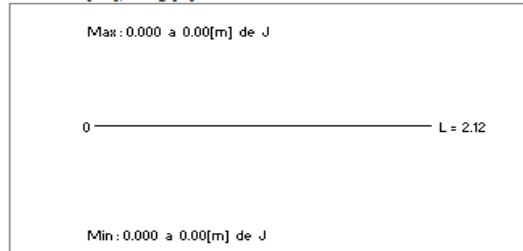


Figura 0.9: Diagrama de esfuerzos reforzamiento transversal abajo del barco.

5.4 Anexo D: Tamaño de Soldadura de Filete

5.4.1 Reforzamiento longitudinal de anclajes de winches con primer movimiento

Tabla 0.7: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento longitudinal de anclajes.

Perfil	R. long. Anclajes	
Movimiento	Primer mov.	
Miembro	283	
Px	35	ton
Py	60	ton
L	18,5	cm
fv	1,621621622	t/cm
ft	0,945945946	t/cm
M	1430	t-cm
Ix	25270	cm ⁴
Iy	2863	cm ⁴
I	28133	cm ⁴
fm	0,470177372	t/cm
f diseño	2,152919398	t/cm
Tamaño filete	14	mm
Tamaño Filete aprox	16	mm

5.4.2 Reforzamiento longitudinal con segundo movimiento

Tabla 0.8: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento longitudinal.

Perfil	R. long.	
Movimiento	Segundo mov.	
Miembro	278	
Px	0,0019	ton
Py	0,07	ton
L	14	cm
fv	0,0025	t/cm
ft	6,78571E-05	t/cm
M	0,502635	t-cm
Ix	1012	cm ⁴
Iy	388,9	cm ⁴
I	1400,9	cm ⁴
fm	0,00251156	t/cm
f diseño	0,00359213	t/cm
Tamaño filete	3	mm
Tamaño Filete aprox.	3	mm

5.4.3 Reforzamiento transversal lado interior del barco con segundo movimiento

Tabla 0.9: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento transversal lado interior del barco.

Perfil	R. t. lado int.	
Movimiento	Segundo mov.	
Miembro	24	
Px	0	ton
Py	6,719	ton
L	18	cm
fv	0,186638889	t/cm
ft	0	t/cm
M	60,471	t-cm
Ix	2443	cm ⁴
Iy	923,7	cm ⁴
I	3366,7	cm ⁴
fm	0,161653548	t/cm
f diseño	0,246912828	t/cm
Tamaño filete	3	mm
Tamaño Filete	3	mm

5.4.4 Reforzamiento transversal lado exterior del barco con segundo movimiento

Tabla 0.10: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento transversal lado exterior del barco.

Perfil	R. t. lado ext.	
Movimiento	Segundo mov.	
Miembro	11	
Px	0	ton
Py	3,37	ton
L	14	cm
fv	0,120357143	t/cm
ft	0	t/cm
M	23,59	t-cm
Ix	1012	cm ⁴
Iy	388,9	cm ⁴
I	1400,9	cm ⁴
fm	0,117874224	t/cm
f diseño	0,168464164	t/cm
Tamaño filete	3	mm
Tamaño Filete aprox	3	mm

5.4.5 Reforzamiento transversal abajo del barco con tercer movimiento

Tabla 0.11: Cálculos de tamaño de soldadura para reforzamiento transversal abajo del barco.

Perfil	R. t. abajo	H 140 x 133
Movimiento	Tercer mov.	
Miembro	17	
Px	0	ton
Py	5,153	ton
L	2,5	cm
fv	1,0306	t/cm
ft	0	t/cm
M	36,071	t-cm
Ix	1012	cm ⁴
Iy	388,9	cm ⁴
I	1400,9	cm ⁴
fm	0,032185559	t/cm
f diseño	1,031102454	t/cm
Tamaño filete	7	mm
Tamaño Filete aprox	8	mm