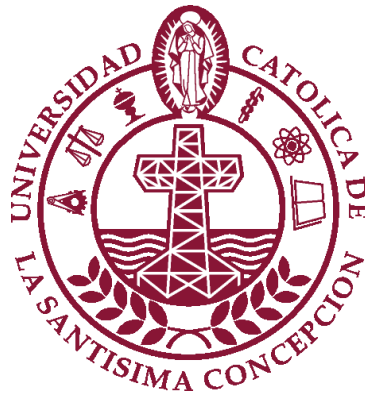


UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil



MODELAMIENTO Y PRESUPUESTO PARA LA RECUPERACION DEL
REMOLCADOR DE ALTAMAR “PODEROSO”

DIEGO IGNACIO VARGAS HERRERA

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

Profesor Guía: Dr. Claudio Oyarzo Vera

Concepción, Mayo 2016

*Dedicado a mis Padres Ana y Nelson,
a mis tíos Ingrid y Miguel y a mi amor Karina.*

Agradecimientos

Este trabajo, el cual se ha dedicado de mucho esfuerzo y dedicación por parte del autor, no hubiese sido posible realizar sin el apoyo y cooperación de todas y cada una de las personas que citaré a continuación.

Primero y antes que todo, dar gracias a mis padres, por entregarme su amor y su apoyo incondicional frente a todas las adversidades, por enseñarme todo lo que sé y educarme. De quienes aprendí lo maravilloso que es la vida y la familia.

Gracias a mis tíos por recibirme en su hogar y hacerme parte de su familia durante todos estos años de estudios, por su apoyo y ayuda brindada cada vez que lo necesité.

Agradecer a mi polola por su apoyo diario e incondicional, por ser mi pilar fundamental y darme las fuerzas para seguir adelante cada vez que lo necesitaba. Quien me ha dado tanto cariño y amor y parte de su felicidad.

Agradecer a mi familia en general y amistades por su preocupación y apoyo.

Dar las gracias al profesor Felipe González M. por su colaboración en esta tesis.

Finalmente, agradecer a mi profesor guía el Dr. Claudio Oyarzo V. por toda la ayuda prestada a lo largo de esta etapa y brindarme sus conocimientos en semestres anteriores durante mi estadía en la universidad.

Resumen

Los Monumentos Históricos son lugares, ruinas, construcciones y objetos de propiedad fiscal, municipal o particular que por su calidad e interés histórico o artístico o por su antigüedad, se han declarados como tales por decreto supremo, dictado a solicitud y previo acuerdo del Consejo.

El Poderoso es un remolcador de alta mar, que actualmente está volcado con serios daños en la bahía de Talcahuano debido al tsunami que afectó a Chile el 27 de febrero del 2010.

El Poderoso es preservado por la Corporación RAM Poderoso, entidad privada que desde 1994 administra este patrimonio cultural en Talcahuano, Región del Bio-Bio.

En 1990 es declarado Monumento Histórico por Decreto Supremo de Educación N° 631. Entre 1992 y 1994 se hicieron innumerables esfuerzos para convertirlo en museo marítimo en Valparaíso, pero debido a su alto costo no se concretó la idea [1].

En 1994 fue trasladado a Talcahuano donde se encuentra a cargo la Corporación RAM Poderoso, el cuál desea convertir al remolcador en un museo, pero desde el tsunami del 2010, el Poderoso se encuentra volcado a un costado de la antigua aduana de Talcahuano. Es por esto que se desea realizar un estudio en terreno para observar los daños y así diseñar un plan que permita determinar las herramientas y/o estrategia a necesitar para el rescate del RAM Poderoso.

El presente proyecto propone una estrategia que aborde diferentes alternativas para el rescate de esta nave, entre ello decidir que materiales, maquinaria utilizar o estructuras a construir.

El proyecto considera salidas a terrenos, recopilación de planos y documentos disponibles y evaluación del daño actual en el remolcador.

Además el proyecto considera un análisis de deformaciones y tensiones internas para distintos tipos de cargas y combinaciones, lo cual permitirá abordar de una mejor manera el proyecto.

Finalmente se realizará una evaluación económica de las opciones posibles.

Abstract

Historical Monuments are places, ruins, buildings and objects of state, municipal or private property that for its historical or artistic value, have been declared as such by supreme decree, issued at the request and with the agreement of the Council.

The “Poderoso” is a seagoing tug, currently dump with serious damage in the Bay of Talcahuano due to the tsunami that struck Chile on February 27, 2010.

The “Poderoso” is preserved by the Corporation RAM Poderoso, private entity that since 1994 manages this cultural heritage in Talcahuano, Bio-Bio Region.

In 1990 he was declared a historical monument by Education Supreme Decree N° 631. Between 1992 and 1994 innumerable efforts were made to make it a maritime museum in Valparaiso, but because of its high cost the idea did not be materialized [1].

In 1994 he was transferred to Talcahuano where he is in charge of the Corporation RAM Poderoso, who want to transform the tug in to a museum, but since the tsunami of 2010, the Poderoso is turned to the side of the old customs of Talcahuano. That is why you want to conduct a field study to observe the damage and then design a plan to determine the tools and / or strategy need to rescue the RAM Poderoso.

This project proposes a strategy to address different alternatives for the rescue of the ship, between it decide to materials, machinery or structures used to build.

The project includes outputs to land, collection of drawings and documents available and evaluation of the current damage to the tug.

In addition, the project includes an analysis of deformations and internal stresses for different types of loads and combinations, which will be addressed in a better way the project.

Finally, an economic evaluation of the possible options will be made.

Índice de Contenidos

Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice de Figuras	viii
Índice de Tablas	x
Capítulo 1 : Introducción	12
1.1. Historia del RAM Poderoso	12
1.2. Terremoto y Tsunami 27F	14
1.3. RAM Poderoso posterior al 27F	16
1.4. Desafío de recuperación y solicitud de ayuda	17
1.5. Objetivos	18
Capítulo 2 : Determinación de geometría y cargas.	19
2.1. Estudios previos.	19
2.2. Volumen de relleno del sector.....	20
2.3. Dimensiones del RAM Poderoso.	22
2.3.1. Volúmenes.	22
2.3.2. Pesos y cargas.	23
2.4. Cargas adicionales.....	23
Capítulo 3 : Recuperación del RAM Poderoso y alternativas.	32
3.1. Primera Alternativa: Proceso de recuperación del RAM Poderoso completo.....	32
3.1.1. Reforzamiento del RAM Poderoso completo.	33
3.1.2. Volteo del remolcador completo.	33
3.1.3. Izaje del RAM Poderoso completo.....	36
3.2. Segunda Alternativa: Proceso de recuperación del RAM Poderoso particionado.	39
3.2.1. Reforzamiento del RAM Poderoso particionado.	39
3.2.2. Volteo del remolcador particionado.....	39
3.2.3. Izaje del remolcador particionado.	40
3.3. Modelo RAM Poderoso primera alternativa en RAM Advanse.	43
3.3.1. Reforzamiento.....	44

3.3.2.	Volteo.....	45
3.3.3.	Izaje.....	47
3.4.	Modelo RAM Poderoso particionado en RAM Advanse.....	48
3.4.1.	Reforzamiento.....	49
3.4.2.	Volteo.....	50
3.4.3.	Izaje.....	52
Capítulo 4 : Estimación de costos.....		54
4.1.	Estimación de costos para primera alternativa.....	54
4.2.	Estimación de costos para segunda alternativa.....	55
4.3.	Estimación de costos de personal y materiales.....	56
4.4.	Costos totales para primera y segunda alternativa.....	57
Capítulo 5 : Conclusiones.....		59
Referencias y Bibliografía.....		61
Anexos.....		62
	ANEXO A.....	62
	ANEXO B.....	77
	ANEXO C.....	92
	ANEXO D.....	93
	ANEXO E.....	95

Índice de Figuras

Figura 1.1: Construcción del RAM Poderoso	13
Figura 1.2: Localización del epicentro de terremoto del 27F del 2010.	15
Figura 1.3: RAM Poderoso antes del 27F.....	16
Figura 1.4: RAM Poderoso en estado y posición actual	16
Figura 1.5: Puerto de Talcahuano, ubicación actual del RAM Poderoso.....	17
Figura 2.1: Plano del terreno junto al RAM Poderoso.	19
Figura 2.2: Plano en 3D del terreno junto al RAM Poderoso.....	20
Figura 2.3: Áreas a rellenar.....	21
Figura 2.4: Vista transversal RAM Poderoso completo más estructura.	25
Figura 2.5: Vista de estructura añadida a RAM Poderoso.....	25
Figura 2.6: Sistema de vigas y arriostramiento a soldar en RAM Poderoso completo.	26
Figura 2.7: Estructura soporte para RAM Poderoso particionado.....	27
Figura 2.8: Perfil HEA del catálogo	28
Figura 3.1: Proceso de volteo y recuperación del RAM Poderoso	34
Figura 3.2: Soporte añadido en la nave completa.....	35
Figura 3.3: Proceso de izaje del remolcador completo.....	37
Figura 3.4: Diagrama de esfuerzo de elementos de RAM Poderoso completo para primera alternativa.....	38
Figura 3.5: Proceso de izaje para remolcador particionado.....	41
Figura 3.6: Diagrama de esfuerzo de elementos de RAM Poderoso particionado para segunda alternativa.....	42
Figura 3.7: Modelo RAM Poderoso completo.....	43
Figura 3.8: Reforzamiento para RAM Poderoso completo.	44
Figura 3.9: Lista de materiales utilizados en el modelo de la nave completa.....	45
Figura 3.10: Fuerza aplicada con grúa para sacar de reposo.	46
Figura 3.11: Resultado de análisis del modelo.	46
Figura 3.12: Esfuerzos para el modelo completo de izaje.	47
Figura 3.13: Modelo del remolcador particionado.	48

Figura 3.14: Lista de materiales del modelo particionado.....	49
Figura 3.15: Estructura para RAM Poderoso particionado.....	50
Figura 3.16: Modelo con carga aplicada a remolcador particionado.....	51
Figura 3.17: Esfuerzos de modelo remolcador particionado.	52
Figura 3.18: Tensiones de cables para izar RAM Poderoso en segunda alternativa.....	53
Figura 3.19: Resultado de esfuerzo del RAM Poderoso en segunda alternativa.	53
Figura 7.1: Diagrama de cuerpo libre de nodo A de la estructura completa.	62
Figura 7.2: Diagrama de cuerpo libre de nodo B de la estructura completa.....	64
Figura 7.3: Diagrama de cuerpo libre para nodo C de la estructura completa.	67
Figura 7.4: Diagrama de cuerpo libre para nodo G de la estructura completa.	70
Figura 7.5: Diagrama de cuerpo libre para nodo H de la estructura completa.	73
Figura 7.6: Diagrama de cuerpo libre de nodo A para remolcador particionado.	77
Figura 7.7: Diagrama de cuerpo libre de nodo B para remolcador particionado.....	79
Figura 7.8: Diagrama de cuerpo libre para nodo C para remolcador particionado.	82
Figura 7.9: Diagrama de cuerpo libre para nodo G para remolcador particionado.	85
Figura 7.10: Diagrama de cuerpo libre para nodo H para remolcador particionado.	88
Figura 7.11: Plano copia de RAM Poderoso.	92
Figura 7.12: Grúa Manitowoc 4100.....	93
Figura 7.13: Dimensiones grúa Manitowoc 4100.....	94
Figura 7.14: Características técnicas de grúa GMK-4100.....	95
Figura 7.15: Dimensiones de grúa GMK-4100.	96

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Cotas del terreno y RAM Poderoso.....	20
Tabla 2.2: Profundidades de cada área.....	21
Tabla 2.3: Volumen total a rellenar.	22
Tabla 2.4: Dimensiones de remolcador de altamar Poderoso.....	22
Tabla 2.5: Volumen Interior.....	23
Tabla 2.6: Tabla de perfiles laminados HEA de acero	28
Tabla 2.7: Perfiles tubulares para usos estructurales e industriales.	29
Tabla 2.8: Perfil para soporte de RAM Poderoso.	30
Tabla 2.9: Perfil para arriostamiento de soporte de RAM Poderoso.....	30
Tabla 2.10: Peso total estructura	30
Tabla 2.11: Soporte RAM Poderoso particionado.	31
Tabla 2.12: Riostras longitudinales de soporte.	31
Tabla 2.13: Riostras transversales de soporte.	31
Tabla 2.14: Peso total de estructura añadida a RAM Poderoso particionado.....	31
Tabla 3.1: Cargas totales	35
Tabla 3.2: Dimensiones y pesos de tubos de acero macizo a utilizar.	37
Tabla 3.3: Fuerzas que ejercen elementos en primera alternativa.	38
Tabla 3.4: Datos de remolcador particionado.	39
Tabla 3.5: Dimensiones barras para izaje de remolcador particionado.	41
Tabla 3.6: Fuerzas que ejercen elementos en segunda alternativa.....	42
Tabla 4.1: Modelos de grúas, tonelaje y costos de arriendo.	54
Tabla 4.2: Tiempo de uso, cantidades de grúas y costo total para primera alternativa.....	54
Tabla 4.3: Tiempo de uso, cantidades de grúas y costo total para segunda alternativa.	55
Tabla 4.4: Hunches para RAM Poderoso completo.....	55
Tabla 4.5: Huinches para RAM Poderoso segmentado.	56
Tabla 4.6: Gastos personal primera alternativa.....	56
Tabla 4.7: Gastos personal segunda alternativa	56
Tabla 4.8: Costos de materiales primera alternativa.	57

Tabla 4.9: Costos de materiales segunda alternativa.	57
Tabla 4.10: Costo total para recuperación RAM Poderoso completo.	57
Tabla 4.11: Costo total segunda alternativa.	58
Tabla 7.1: Resumen de tensiones para nodo A para primera alternativa.	63
Tabla 7.2: Resumen de tensiones para nodo B para primera alternativa.	66
Tabla 7.3: Resumen de tensiones para nodo C para primera alternativa.	69
Tabla 7.4: Resumen de tensiones para nodo G para primera alternativa.	72
Tabla 7.5: Resumen de tensiones para nodo H para primera alternativa.	75
Tabla 7.6: Resumen de tensiones para nodo A para segunda alternativa.	78
Tabla 7.7: Resumen de tensiones para nodo B para segunda alternativa.	81
Tabla 7.8: Resumen de tensiones para nodo C para segunda alternativa.	84
Tabla 7.9: Resumen de tensiones para nodo G para segunda alternativa.	87
Tabla 7.10: Resumen de tensiones para nodo H para segunda alternativa.	90

Capítulo 1 : Introducción

1.1. Historia del RAM Poderoso

Contemporáneo del Titanic, el Remolcador de Alta Mar “Poderoso” en adelante e indistintamente denominado “RAM Poderoso” se terminó de construir en 1911 por la firma H and C Grayson Shipbuilders & Enginners Ltd. en Liverpool Inglaterra, para ser explotado comercialmente atendiendo los buques de la Compañía Pacific Steam Navigation Co. (P.S.N.C.) en Valparaíso.

El RAM Poderoso zarpó desde Liverpool el 21 de Junio de 1911, recalando en Valparaíso el 10 de Septiembre del mismo año.

En 1951 pasa a pertenecer a de Don Guillermo Prochelle B. quien lo adquiere para la sucursal “Carlos Prochelle Grochmer”. Se mantuvo trabajando hasta el año 1957 donde en un juicio seguido por el fisco a dicha sucursal el remolcador es embargado y llevado a remate. En el remate se lo adjudica Guillermo Prochelle G. quien cede el cincuenta por ciento de los derechos a su hermano Luis Prochelle. Tras la muerte de éste y la ausencia de su hermano (quien sale del país definitivamente) el RAM Poderoso queda a cargo de Kenrick & Cia. Ltda. Inmediatamente se inician los trámites de firma para adquirirlos de manera definitiva negociando con los dueños anteriores. Es así como desde el 26 de Junio de 1972 el RAM Poderoso es propiedad de Kenrick & Cia. Ltda. Por muchos años el remolcador fue el principal “Gavietero” del mar de Chile. El gaviete está ubicado en la proa del buque por el cual trabajan las diferentes y gruesas cadenas accionadas por un cabrestante que va sobre la cubierta, lo que le permitía levantar hasta 40 toneladas. La fuerza de esta nave provenía de una máquina recíproca a vapor cuyas calderas consumían carbón.

El RAM Poderoso era requerido para apoyar a los buques, principalmente veleros de la época, en maniobras de entrada a puertos, entregar agua y víveres, recuperación desde el fondo del mar de anclas, cadenas, boyas, tendido de cables, colocación de cañerías submarinas, fondeo de boyas, y manejo de todo elemento pesado. Participó en la colocación de la enorme mono boya del puerto de Quintero, desvaramiento del buque tanque Cabo Tamar en la bahía de Lenga (Región del Bío Bío) y el fondeo de las rejeras que sirven de anclaje al dique ‘Valparaíso III’.

En el año 1988 este símbolo del mar chileno, deja de prestar servicios y en 1990 es declarado Monumento Histórico por Decreto Supremo de Educación N° 631. Entre 1992 y 1994 se hicieron innumerables esfuerzos para convertirlo en museo marítimo en Valparaíso, pero, debido al alto costo del proyecto la idea fue abandonada.

Paralelo a ello la autoridad marítima dispuso que el buque, por lo viejo de su casco, debía ser puesto en tierra, o de lo contrario debía ser hundido en el mar. Ante esta situación CPT

agencia marítima S.A. ofreció traerlo a Talcahuano, para concretar el proyecto que no pudo ser realizado en Valparaíso.

Así el 18 de Junio de 1994 el Poderoso zarpó siendo remolcado por el remolcador “Naguillán” al mando del Capitán Egon Newman. Con su llegada se crea la Corporación Monumento Al Trabajo Marítimo RAM “Poderoso” [2], formada por un grupo de empresarios amigos del mar y de la conservación de éste, realizando su primera reunión constitutiva el 22 de junio de 1994. La Corporación RAM “Poderoso” es una corporación cultural marítima de derecho privado, autónoma y sin fines de lucro, que obtuvo su personalidad jurídica según el decreto N° 226 del Ministerio de Justicia con fecha 20 de Febrero de 1995.



Figura 1.1: Construcción del RAM Poderoso

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

1.2. Terremoto y Tsunami 27F

El terremoto de Chile 2010 se produjo frente a la costa del Maule en Chile el día sábado 27 de febrero de 2010, a las 03:34 hora local, con una magnitud de 8.8 en la escala de magnitud de momento (M_w , 1979), con una intensa agitación que duró casi cuatro minutos con una profundidad de 59.4 km. Provocado por el choque entre la placa de Nazca y la Placa Sudamericana continental. Estas placas están convergiendo a una velocidad de 80 mm/año. El epicentro se situó a sólo 115 kilómetros de Concepción y a 410 kilómetros aproximadamente de Santiago.

El terremoto del 27F se ubica como el sexto terremoto más grande del mundo registrado instrumentalmente. Fue el más poderoso sismo ocurrido en Chile en los últimos 50 años y se sintió con fuerza en seis regiones de Chile (desde Valparaíso en el norte del país hasta la Araucanía en el sur), y en otras regiones con menor intensidad, que en conjunto representan más del 80 por ciento de la población del país. De acuerdo con el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) la intensidad más fuerte del sismo que experimentaron las ciudades fueron de VIII (destrutivo) en la escala de intensidad de Mercalli (MM) que ocurrió en Arauco y Coronel. Según el Servicio Sismológico de Chile la intensidad fue de IX en la escala MM (violento).

El terremoto se sintió en muchas ciudades argentinas, entre ellas Buenos Aires, Córdoba, Mendoza y La Rioja por el Oeste y en Perú se sintió en Ica (aprox. 2.400 kilómetros).

Tras el terremoto se recogió el mar provocando un destructivo tsunami afectando las regiones costeras entre las ciudades de Valparaíso y Valdivia, y con efectos menores en Coquimbo. El tsunami devastó varios pueblos costeros de Tirúa a Pichilemu (que abarca más de 500 Km.), y dañó el puerto de Talcahuano.

En este último se encontraba anclado el RAM Poderoso, el cual fue impactado por los trenes de olas generadas por el terremoto [3].

En la Figura 1.2., se muestra el epicentro del terremoto cercano a la ciudad de Cobquecura, VIII Región.

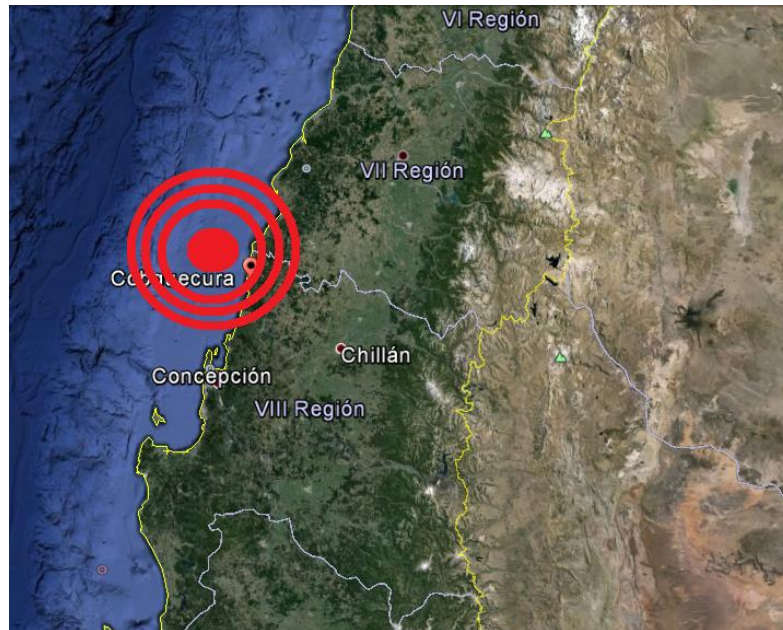


Figura 1.2: Localización del epicentro de terremoto del 27F del 2010.

Fuente: Google Earth.

Antes del terremoto y posterior tsunami del 27F el RAM Poderoso se encontraba anclado cercano a la ubicación donde se encuentra actualmente y en un buen estado como se muestra en la Figura 1.3. Al ser nombrado monumento histórico, es necesario recuperarlo y repararlo ya que la ley 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas [4] 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.



Figura 1.3: RAM Poderoso antes del 27F.

Fuente: Base Naval de Talcahuano.

1.3. RAM Poderoso posterior al 27F

El tsunami del 27 de Febrero del 2010 que afectó a la ciudad de Talcahuano volcó y arrastró al RAM Poderoso hasta un costado del puerto.

En la Figura 1.4 se muestra el RAM Poderoso transcurridos más de 5 años desde el terremoto.



Figura 1.4: RAM Poderoso en estado y posición actual

Fuente: Fotografía tomada por: Diego Vargas Herrera.

En la Figura 1.5 se muestra el puerto de Talcahuano, sector dónde está encallado y volcado el RAM Poderoso desde el 27F del 2010.

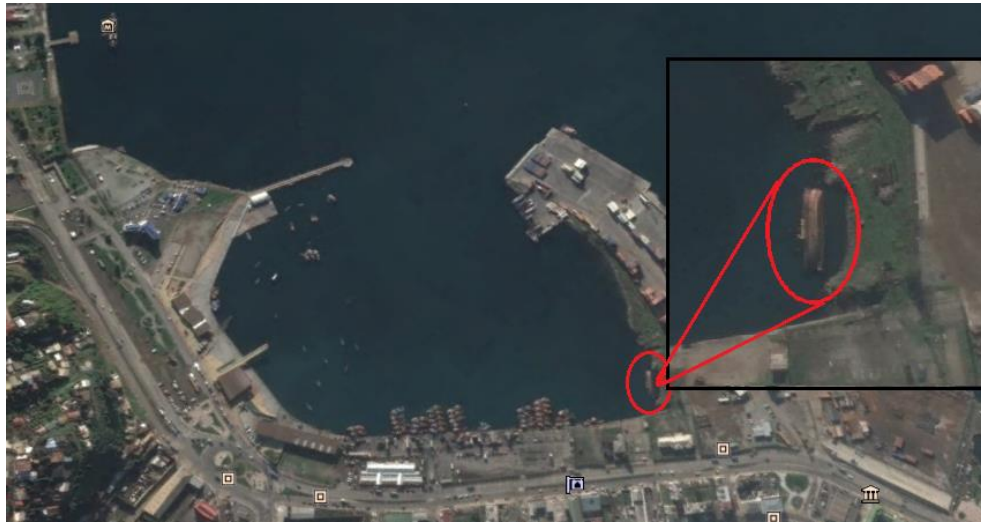


Figura 1.5: Puerto de Talcahuano, ubicación actual del RAM Poderoso.

Fuente: Google Earth.

1.4. Desafío de recuperación y solicitud de ayuda

El desafío propuesto es lograr la recuperación del RAM Poderoso. Una de las problemáticas de esto es la posición en la que se encuentra este. Como se muestra en la Figura 1.4., el estado actual es un problema significativo por lo que abordar la recuperación será de manera diferente a lo habitual.

A lo mencionado anteriormente, se agrega que al estar volcado el RAM Poderoso ha acumulado una gran cantidad de arena debido al oleaje y a las diferencias de marea ocurrida diariamente.

El daño causado por el tiempo, el agua de mar y otros factores afectan la estabilidad del remolcador por lo que utilizar una grúa e izarlo supone un alto riesgo de daño, por lo que se deberá idear una estrategia adecuada para la recuperación.

El RAM Poderoso es considerado uno de los remolcadores más pesados en su categoría por lo que esto conlleva a que su peso sea otro problema a la hora de realizar alguna maniobra con grúa.

Como se mencionó anteriormente, en 1994 se creó la corporación RAM Poderoso, encargada de la conservación de esta nave.

Es esta corporación la que ha pedido ayuda a la UCSC para realizar un plan de rescate para el RAM Poderoso.

1.5. Objetivos

El objetivo general es analizar la factibilidad técnica y económica de rescatar el RAM Poderoso desde su ubicación actual, para ubicarlo en tierra y repararlo.

De acuerdo al desarrollo se abordarán los siguientes objetivos específicos en etapas que pueden presentarse en el rescate:

- Estimar el estado actual del remolcador mediante visita a terreno, para comprobar el daño existente, ubicación, tipo de suelo, analizar el sector y observar el terreno alrededor para verificar si existen pendientes, escombros o el suficiente espacio para operar maquinarias.
- Hacer un levantamiento GPS para determinar el sector más favorable para el funcionamiento de la(s) maquinarias(s).
- Analizar mediante modelos la estabilidad de la estructura para determinar si es necesario construir una estructura que sea capaz de resistir cargas generadas, tensiones y esfuerzos internos para determinar los elementos más desfavorables y tener un control de deformaciones
- Definir estrategia de rescate.
- Estimar costos del proyecto.

Capítulo 2 : Determinación de geometría y cargas.

2.1. Estudios previos.

Un equipo Universidad Católica de la Santísima Concepción, liderado por el profesor Felipe González, fueron los encargados de realizar un levantamiento topográfico mediante GPS (Global Positioning System) en el sector del puerto de Talcahuano, donde se ubica el RAM Poderoso.

Mediante este método de medición se ha podido visualizar el terreno junto al RAM Poderoso, como se muestra en la Figura 2.1.

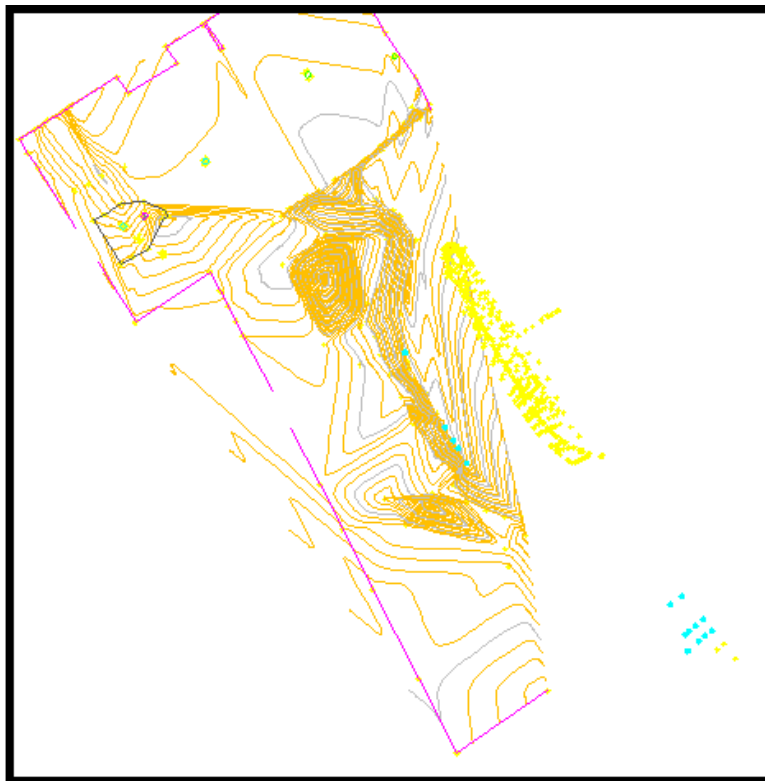


Figura 2.1: Plano del terreno junto al RAM Poderoso.

Fuente: Elaborado por: Felipe González Monsalve y Diego Vargas Herrera.

Las ventajas del GPS es que puede medir coordenadas en 3D lo cual es una ventaja para este proyecto, ya que debemos determinar las profundidades del sector y estimar supuestos necesarios así lo indique durante el avance del proyecto.

En la Figura 2.2., se muestra la misma medición que la anterior pero con coordenadas X, Y y Z.

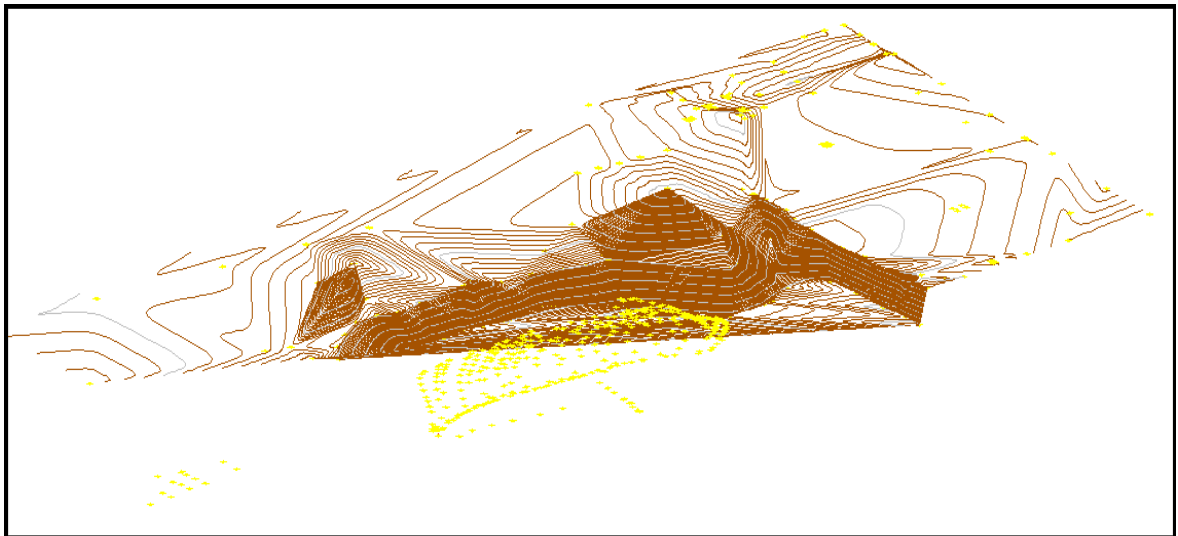


Figura 2.2: Plano en 3D del terreno junto al RAM Poderoso.

Fuente: Elaborado por: Felipe González Monsalve y Diego Vargas Herrera.

De lo anterior, se ha podido corroborar las dimensiones del RAM Poderoso además de las cotas más bajas del terreno y la cota del nivel medio del mar, esto para determinar cuanta arena (en el peor de los casos) hay dentro del RAM Poderoso. La cota cero es considerada como el nivel de terreno.

En la siguiente Tabla se determinan los datos medidos con GPS.

Tabla 2.1: Cotas del terreno y RAM Poderoso.

Dimensiones		
Característica	Cantidad	Unidad
Cota fondo terreno	-3.28	[m]
Cota más baja RAM Poderoso	-2.25	[m]

2.2. Volumen de relleno del sector.

Mediante las salidas a terreno y los datos entregados por el profesor Felipe González se observó que el sector en donde se encuentra el RAM Poderoso no cuenta con un espacio suficiente para el trabajo que realicen las maquinarias y el personal en el sector o las condiciones topográficas no permite realizar las maniobras necesarias, por lo tanto se calculó un volumen de relleno para tener un sector más amplio para realizar el proyecto. En la Figura

2.1 y 2.2 se muestran el sector en donde está ubicado actualmente el RAM Poderoso y de relleno.

De la Figura 2.2 se determinó el sector para el relleno delimitando áreas con una profundidad variable para el cálculo del volumen. En la Figura 2.3 se muestran las áreas delimitadas.

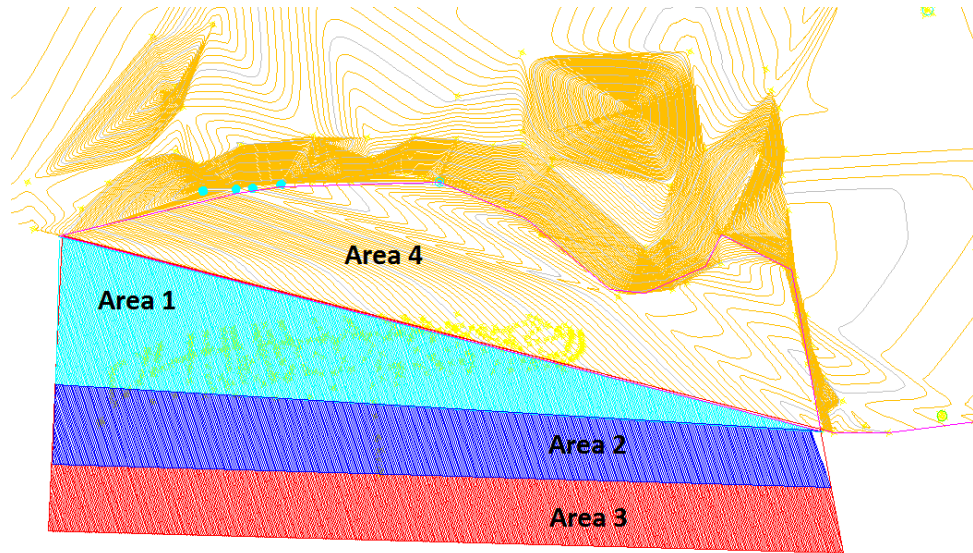


Figura 2.3: Áreas a rellenar.

Fuente: Elaborado por: Felipe González Monsalve y Diego Vargas Herrera.

De la Figura 2.3 se determinaron las cotas más profundas para cada área delimitada y estas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.2: Profundidades de cada área.

Cota del nivel de terreno	1000	Profundidad
Cota área 4	997.55	2.45
Cota área 1	995.84	4.16
Cota área 2	994.13	5.87
Cota área 3	993.44	6.56

Las profundidades mostradas en la Tabla 2.2 se calcularon a partir de la diferencia entre la cota 1,000 que es considerada el nivel de terreno y las cotas más profundas de cada área. De lo anterior se calculó el volumen total del sector y se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Volumen total a rellenar.

Volumen total			
	Área, m2	Profundidad, m	Volumen, m3
Área 4	525.79	2.45	1,288.19
Área 1	371.68	4.16	1,546.19
Área 2	337.55	5.87	1,981.42
Área 3	341.95	6.56	2,243.19
Total			7,058.98

Del resultado de la Tabla 2.3 el volumen necesario para rellenar el sector es de 7,059 m³ aproximadamente.

2.3. Dimensiones del RAM Poderoso.

Las dimensiones del RAM Poderoso están determinadas en la Tabla 2.4., las cuales es información ya conocida.

2.3.1. Volúmenes.

El volumen máximo del RAM Poderoso es todo el interior que sea medible cuyas dimensiones, junto a la geometría externa están en los planos anexados al final de esta memoria, y confirmado por los puntos GPS tomados.

El volumen se determinó para estimar el nivel de la cota de arena que pueda existir dentro del RAM Poderoso cuyo peso se identifica como una sobrecarga.

En la siguiente Tabla se muestra la geometría externa del RAM Poderoso:

Tabla 2.4: Dimensiones de remolcador de altamar Poderoso.

Dimensiones		
Característica	Cantidad	Unidad
Largo	38	[m]
Puntal	4.65	[m]
Manga	7.5	[m]

El volumen del interior es:

Tabla 2.5: Volumen Interior

Volumen Interior	
Carcterística	m3
Interior	702
Caldera	45

Cuyo volumen total viene determinado por la diferencia entre volumen interior y volumen de la caldera y es: $= 702 \text{ m}^3 - 45 \text{ m}^3 = 657 \text{ m}^3$.

2.3.2. Pesos y cargas.

La carga total del RAM Poderoso es considerada como el peso propio cuyo peso es 320 toneladas.

2.4. Cargas adicionales.

Las cargas adicionales consideradas son la estructura que será adosada al RAM Poderoso para facilitar las maniobras necesarias al momento de ejecutar la recuperación. Estas serán vigas de acero soldadas, además se considerará la arena húmeda dentro de la nave.

Se determinó el volumen de la arena y considerando una densidad de $1,800 \text{ kg/m}^3$ [5] para arena húmeda, lo que permitió calcular el peso de la arena.

Para el cálculo del volumen de la arena se tuvo en cuenta la diferencia de cotas entre terreno y el remolcador. Juzgando el caso más desfavorable se tiene que la altura de la arena dentro del RAM Poderoso producto del oleaje es de 1.15 m y el ancho que abarca es de 2.75 m. (Medido en AutoCAD desde los puntos obtenidos en GPS)

El volumen se determinó mediante la multiplicación del área de un triángulo (considerando que el RAM Poderoso está inclinado y por medio de la gravedad, la arena se ha acomodado de tal forma) por el largo. Para este proyecto se consideraron dos alternativas de rescate, el primero considera izar la nave completa, mientras que para la segunda alternativa se consideró la partición de la nave en tres segmentos.

Para caso de la nave completa se tiene,

$$\frac{1.15m * 2.75 m}{2} * 38 m = 50.93 \text{ m}^3$$

Para la segunda alternativa que considera particionar el RAM Poderoso en tres partes de aproximadamente 12 metros cada uno, se tiene:

$$\frac{1.15m * 2.75 m}{2} * 12 m = 16.08 m^3$$

En consecuencia el peso de la arena es.

Para el caso de la nave completa:

$$50.93 m^3 * 1800 kg/m^3 = 91,676.73 kg$$

Aplicando un factor de seguridad (FS) de 1.2 se tiene,

$$91,676.73 kg * 1.2 = 110,012.07 kg = 110 ton$$

Y para el caso de la nave particionada:

$$16.08 m^3 * 1800 kg/m^3 = 28,950.54 kg$$

Con un FS=1.2.

$$34,740.65 kg * 1.2 = 34,740.65 kg = 35 ton$$

Para la segunda alternativa, la sobrecarga de arena se puede eliminar, ya que al dividir el RAM Poderoso en tres partes esta se puede extraer una cantidad significativa de la arena de manera quitar peso al total, aunque de igual manera calculó la sobrecarga para el peor de los casos.

Para el cálculo de la estructura adicional se determinó un tipo de perfil que va soldado o apernado a la estructura más firme de la nave, esto es la estructura que forma el esqueleto que permita que se pueda jalar o izar. La estructura añadida se muestra en las siguientes Figuras.

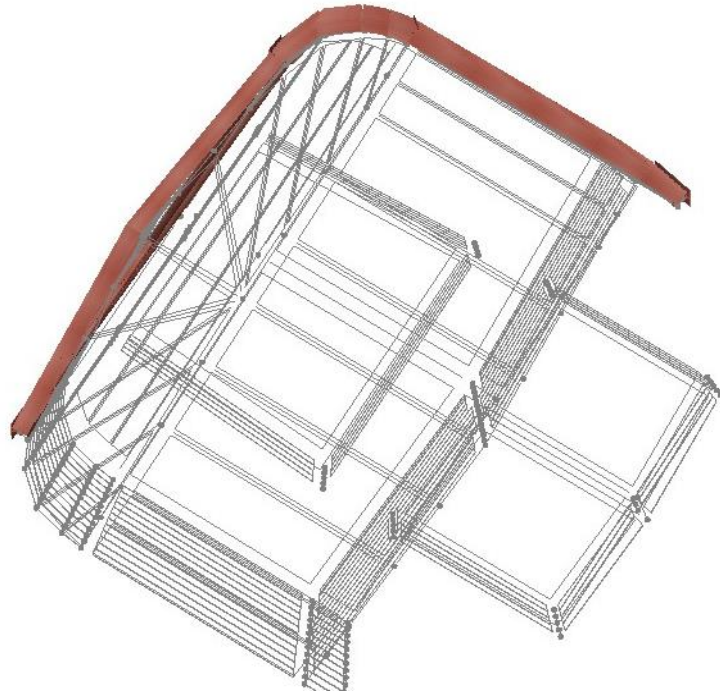


Figura 2.4: Vista transversal RAM Poderoso completo más estructura.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

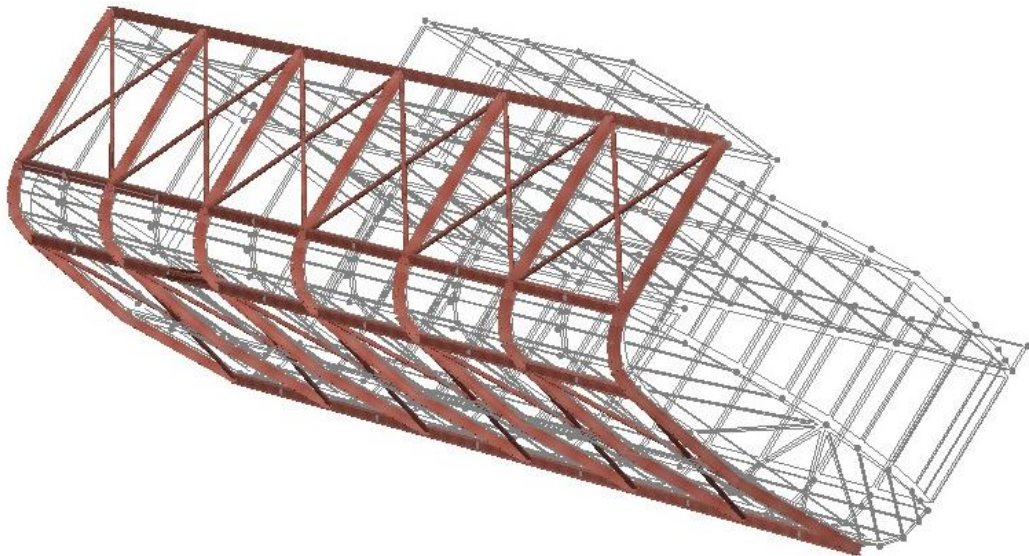


Figura 2.5: Vista de estructura añadida a RAM Poderoso.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

En la siguiente Figura se muestra la distancia que la estructura cubrirá al RAM Poderoso y el tipo de arriostramiento utilizado, cuyo criterio de diseño es recomendado por la NCh 2369 [6], donde menciona que los ángulos de inclinación de las diagonales debe estar entre los 30° y 60° , caso contrario, se desarrollan esfuerzos internos en las riostras o en el pórtico que son desproporcionados y el sistema pierde eficiencia.

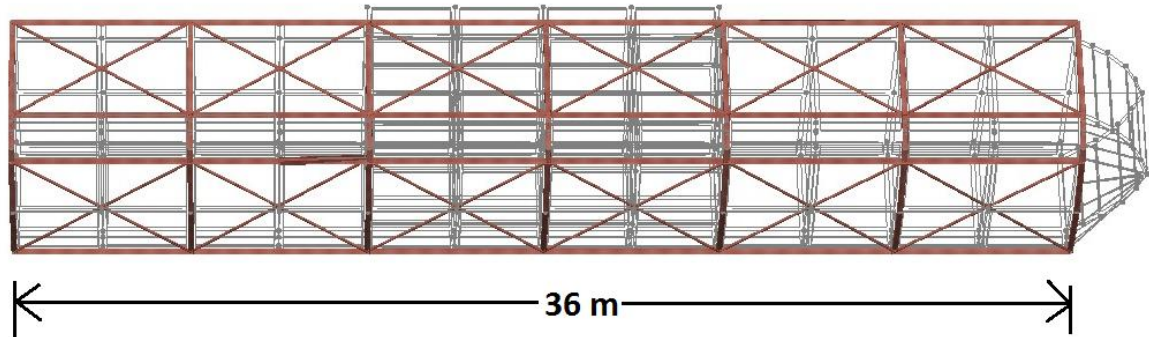


Figura 2.6: Sistema de vigas y arriostramiento a soldar en RAM Poderoso completo.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

Por otra parte, para el caso particionado además de la estructura añadida se agregó otro arriostramiento que se muestra en vista transversal. Al igual que el caso anterior, las riostras deben tener un ángulo que ronda entre los 30° y 60° para evitar que el sistema pierda eficiencia.

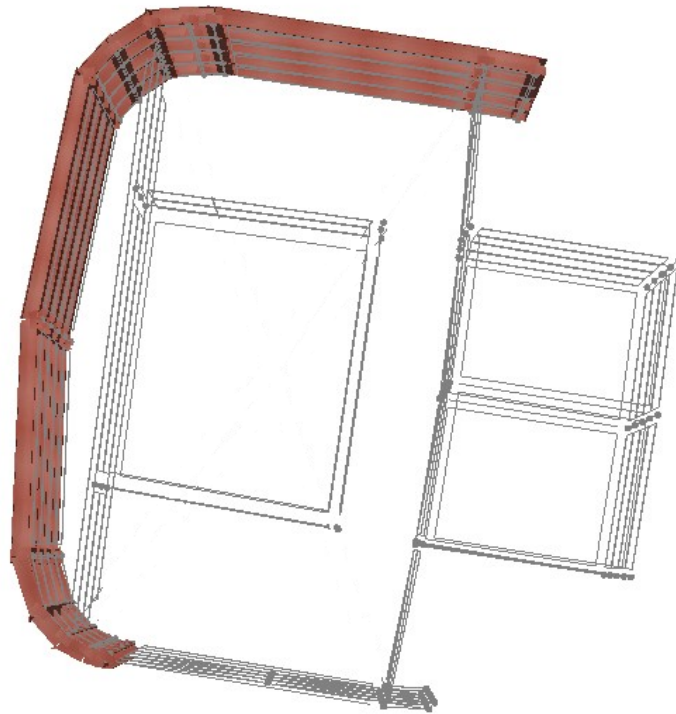


Figura 2.7: Estructura soporte para RAM Poderoso particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

Del catálogo CINTAC [7] se eligió perfiles laminados del tipo HEA de acero estructural para para utilizar como soporte y tubo circular para las riostras. De la siguiente tabla se establecen los diferentes perfiles para utilizar, además se muestra el tipo de perfil utilizado.

Sección Perfiles HEA

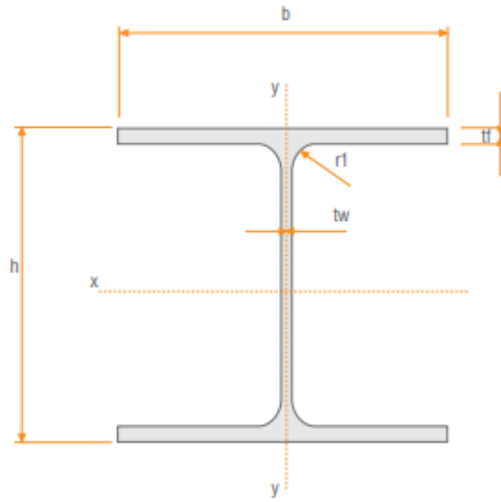


Figura 2.8: Perfil HEA del catálogo

Fuente: Catálogo CINTAC.

Tabla 2.6: Tabla de perfiles laminados HEA de acero

Series vigas laminadas HEA							
Perfil	Dimensiones Nominaes					Peso	Área
						P	A
	h	b	tw	tf	r1	kg/m	cm2
HEA 100	96	100	5.0	8.0	12.0	16.70	21.20
HEA 120	114	120	5.0	8.0	12.0	19.90	25.30
HEA 140	133	140	5.5	8.5	12.0	24.70	31.40
HEA 160	152	160	6.0	9.0	15.0	30.40	38.80
HEA 180	171	180	6.0	9.5	15.0	35.50	45.30
HEA 200	190	200	6.5	10.0	18.0	42.30	53.80
HEA 220	210	220	7.0	11.0	18.0	50.50	64.30
HEA 240	230	240	7.5	12.0	21.0	60.30	76.80
HEA 260	250	260	7.5	12.5	24.0	68.20	86.80
HEA 280	270	280	8.0	13.0	27.0	76.40	97.30
HEA 300	290	300	8.5	14.0	27.0	88.30	112.00
HEA 320	310	300	9.0	15.5	27.0	97.60	124.40
HEA 340	330	300	9.5	16.5	27.0	105.00	133.50
HEA 360	350	300	10.0	17.5	27.0	112.00	142.80
HEA 400	390	300	11.0	19.0	27.0	125.00	159.00
HEA 450	440	300	11.5	21.0	27.0	140.00	178.00
HEA 500	490	300	12.0	23.0	27.0	155.00	197.50

Mientras que para las riostras se utilizaron los siguientes perfiles tubulares.

Tabla 2.7: Perfiles tubulares para usos estructurales e industriales.

Tubos para usos estructurales e industriales			
Designación		Espesor	Peso teórico
Diametro Exterior		e	P
Pulgadas	mm	mm	kg/m
1"	25.4	1.0	0.60
	25.4	1.5	0.88
	25.4	2.0	1.15
1 1/8"	28.6	1.5	1.00
1 1/4"	31.75	1.0	0.75
	31.75	1.2	0.90
	31.75	1.5	1.12
	31.75	2.0	1.47
1 1/2"	38.1	1.0	0.91
	38.1	1.5	1.35
	38.1	2.0	1.78
1 3/4"	44.45	1.5	1.59
	44.45	2.0	2.09
	50.8	1.5	1.82
	50.8	2.0	2.41
	50.8	3.0	3.54
2 1/2"	63.5	1.5	2.29
	63.5	2.0	3.03
	63.5	3.0	4.48
3"	76.2	1.5	2.76
	76.2	2.0	3.66
	76.2	3.0	5.42
	76.2	4.0	7.12
3 1/2"	88.9	2.0	4.29
4"	101.6	2.0	4.91
	101.6	3.0	7.29
	101.6	4.0	9.63
	101.6	5.0	11.90
5"	127	4.0	12.10
	127	5.0	15.00

Utilizando el software RAM Advanse se iteraron los perfiles de la Tabla 2.6 y Tabla 2.7 y los perfiles más óptimos verificando resistencia y estabilidad al pandeo para la alternativa de

recuperar el RAM Poderoso en una pieza y estos fueron: HEA 200 y Tubo 4" de espesor 5.0 mm.

En la Tabla 2.8 y Tabla 2.9, se muestran los perfiles seleccionados mediante iteración y se detalla los largos y cantidades para cada caso:

Tabla 2.8: Perfil para soporte de RAM Poderoso.

	Perfiles HEA 200		
	Largo [m]	Cantidad [UN]	Total [m]
Vigas Longitudinales	36	11	396
Vigas Transversales	16.3	13	211.9
Total		24	608

Para el caso de los arriostramientos, se tiene el siguiente perfil:

Tabla 2.9: Perfil para arriostramiento de soporte de RAM Poderoso.

	Perfil Tubular A500 4"		
	Largo [m]	Cantidad [UN]	Total [m]
Arriostramiento	2.01	48	96.5
	2.05	48	98.4
	2.35	48	112.8
	2.39	48	114.7
Total		192	422.4

En la siguiente Tabla se muestran los perfiles seleccionados y el peso total de la estructura añadida al RAM Poderoso.

Tabla 2.10: Peso total estructura

	Peso total estructura añadida			
	[m]	[kg/m]	[kg]	[ton]
Tubo 4" e5.0 mm	422.40	11.90	5026.56	5.03
HEA 200	608.00	42.30	25718.40	25.72
Total				31

El peso de la estructura añadida mostrado en la Tabla 2.10 corresponde a un 10% aproximadamente del peso original del RAM Poderoso.

Para la alternativa de recuperar el RAM Poderoso particionado se eligieron los siguientes perfiles: HEA 200 para los soportes, Tubo A500 3 1/2" para las riostras longitudinales y Tubo A500 3" de espesor 2.0 mm para las riostras transversales.

En la Tabla 2.11, Tabla 2.12 y Tabla 2.13., se muestran los perfiles seleccionados mediante iteración y se detalla los largos y cantidades para cada caso:

Tabla 2.11: Soporte RAM Poderoso particionado.

	Perfiles HEA 200		
	Largo [m]	Cantidad [UN]	Total [m]
Vigas Longitudinales	12	11	132
Vigas Transversales	16.3	5	81.5
Total		16	214

Para el caso de arriostramiento se definió perfiles para riostras longitudinales y transversales y se detallan en las siguientes Tablas:

Tabla 2.12: Riostras longitudinales de soporte.

	Perfil Tubular A500 3 1/2"		
	Largo [m]	Cantidad [UN]	Total [m]
Arriostramiento Longitudinal	2.38	32	76.2
	1.513	32	48.4
	2.008	32	64.3
Total		96	189

Tabla 2.13: Riostras transversales de soporte.

	Perfil Tubular A500 3" e 2.0 mm		
	Largo [m]	Cantidad [UN]	Total [m]
Arriostramiento Transversal	4	8	32
Total			32.0

De los perfiles seleccionados y sabiendo el peso de cada perfil se calculó el peso total de la estructura añadida al RAM Poderoso particionado y se muestra en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14: Peso total de estructura añadida a RAM Poderoso particionado.

	Peso total estructura añadida			
	[m]	[kg/m]	[kg]	[ton]
Tubo A500 3 1/2"	189.00	4.29	810.81	0.81
Tubo A500 3" e2.0 mm	32.00	3.66	117.12	0.12
HEA 200	214.00	42.30	9052.20	9.05
Total				10

Para la alternativa de particionar en segmentos, el peso de la estructura añadida corresponde a <10% del peso original del RAM Poderoso particionado que contiene la caldera en su interior.

Capítulo 3 : Recuperación del RAM Poderoso y alternativas.

La recuperación del RAM Poderoso se basa esencialmente en costos de proyecto, cosa que como en muchos otros no se estima con recursos necesarios, es ahí cuando nacen alternativas a la ejecución y propuesta original.

Este trabajo considera dos alternativas, ambas están subdivididas en estrategias y realizar un comparativo de mejor propuesta.

3.1. Primera Alternativa: Proceso de recuperación del RAM Poderoso completo.

En este punto se determinó en primer lugar cada alternativa para la recuperación del RAM Poderoso por medio de realización de cálculos, los cuales son:

- a. Izaje de la estructura completa mediante una grúa. Este considera: estructura que se agregará al RAM Poderoso, arena en el interior y el RAM Poderoso.
- b. Voltar mediante grúa o huinches la estructura completa descrita en *a*), para luego instalar unos rieles o plataforma que permita que la estructura se deslice sin mayores problemas por el terreno jalado por la misma grúa.

3.1.1. Reforzamiento del RAM Poderoso completo.

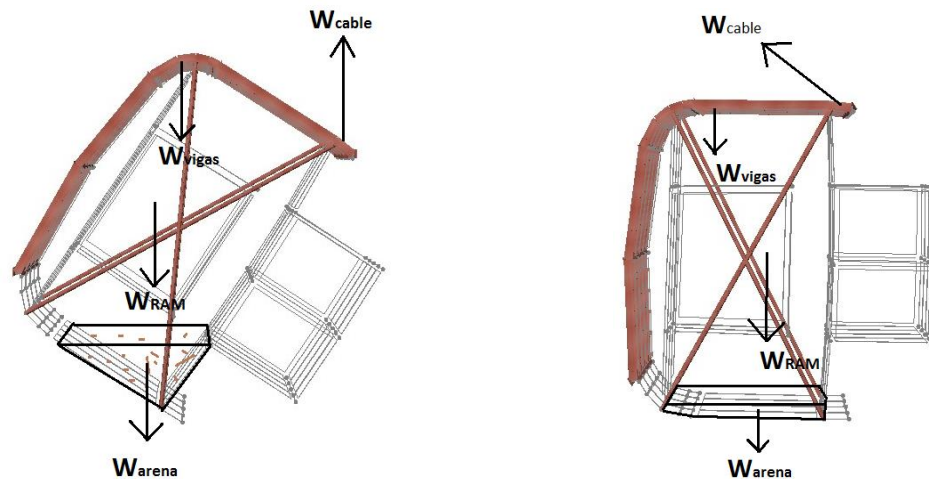
El reforzamiento que será soldado o apernado al RAM Poderoso completo va a servir para transmitir las cargas y resistir el peso del remolcador y la arena que haya adentro, además de la tensión que ejercerá la grúa a utilizar para este proceso.

Como se mencionó anteriormente, los perfiles a utilizar serán vigas de acero del tipo HEA para el reforzamiento, y perfiles tubulares para los arriostramientos.

3.1.2. Volteo del remolcador completo.

Para este caso se consideró tener una grúa que sea capaz de voltear al remolcador hasta que éste quede apoyado en una estructura instalada en el terreno para luego poder jalar todo en conjunto.

De la Figura 3.1., se muestra el proceso de volteo para la recuperación del RAM Poderoso, esta es una de las alternativas que se manejan para la operación y es de la siguiente manera:



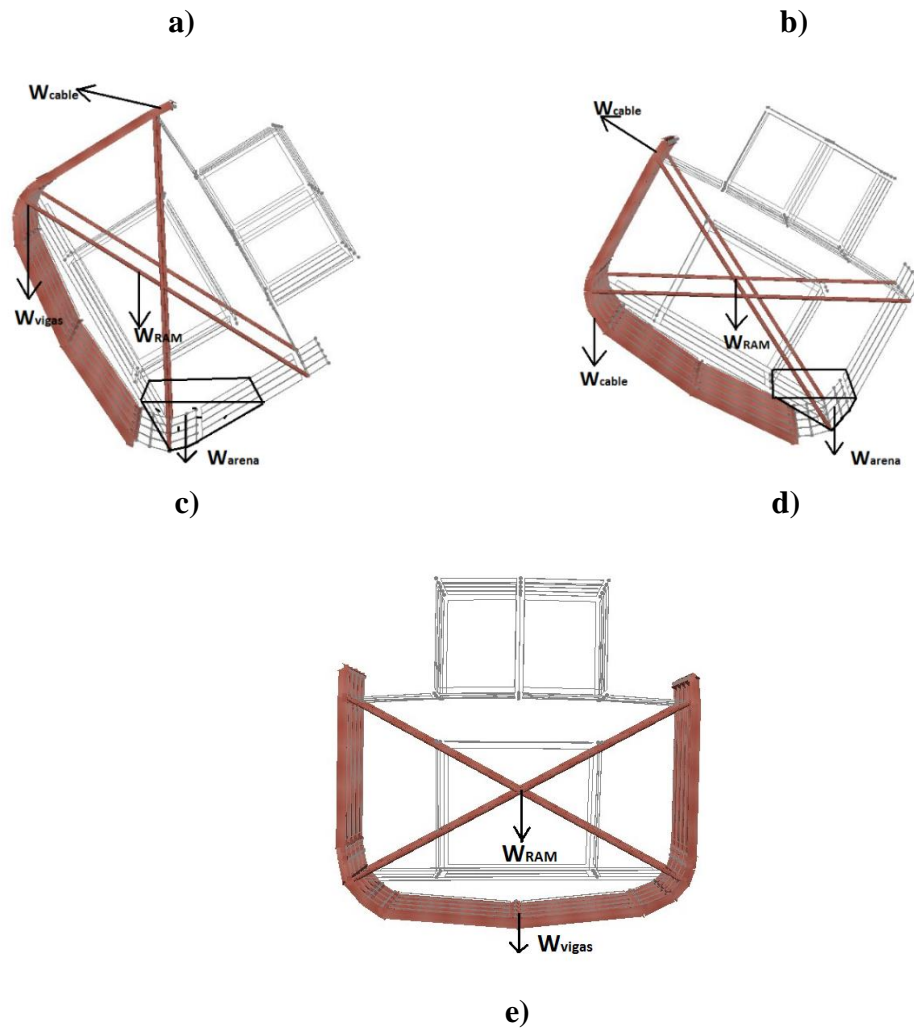


Figura 3.1: Proceso de volteo y recuperación del RAM Poderoso

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Avvanse.

Para poder realizar esta alternativa, así mismo como en la segunda alternativa se maneja dos alternativas para añadir la estructura a la nave, la primera es soldar la estructura, aislando el sector para ejecutar esta maniobra, la segunda es soldar con oxígeno para así evitar riesgos. Los siguientes datos de cargas ejercidas tanto como el peso muerto de la nave, como el peso de la estructura y arena, considerando que el peso de la estructura es una vez volteado y añadida la otra mitad para dar mejor estabilidad como se muestra en la Figura 3.2:

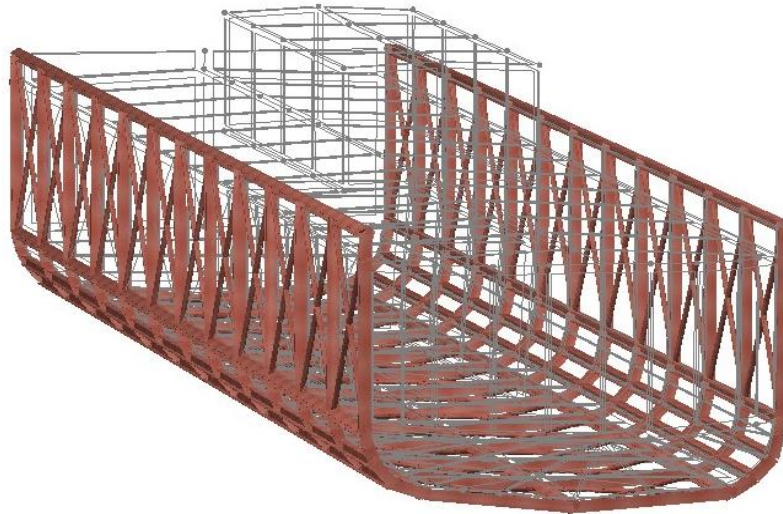


Figura 3.2: Soporte añadido en la nave completa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

En la siguiente tabla se estimaron las cargas de las mencionadas.

Tabla 3.1: Cargas totales

Cargas Totales RAM Poderoso completo	
Cargas	Peso Teórico, Ton
Peso Propio	320
Peso Estructura	32
Peso Arena	110

Para la Figura 3.2 y considerando los datos de la Tabla 3.1, se calculó la tensión del cable que debe resistir mediante sumatoria de fuerzas.

$$\sum F_z > 0: W_{cable} - W_{estructura} - W_{remolcador} - W_{arena} > 0$$

$$\sum F_z > 0: W_{cable} > 320 + 32 + 110 = 462 \text{ ton}$$

$$W_{cable} > 462 \text{ ton}$$

Para quitar al RAM Poderoso del reposo, se aplica una fuerza vertical superior a 462 toneladas, para luego ejercer una fuerza como se muestra en la Figura 3.1. b), c) y d), hasta apoyarlo en una estructura que permita mantener al RAM Poderoso en su forma natural

(Figura 3.1 e)) y ser jalado para luego ser desplazado por rieles instalados en el terreno o un mecanismo que permita su traslado y así evitar que este se entierre.

En los casos b), c) y d) se aplicó una tensión para distintos ángulos ($30^\circ - 60^\circ$) con respecto a la vertical, para tener un manejo de las tensiones máximas que puedan ocurrir.

$$\text{Para } 30^\circ: W_{cable} = \frac{462}{\text{Tan } 30^\circ} = 800 \text{ ton}$$

$$\text{Para } 45^\circ: W_{cable} = \frac{462}{\text{Tan } 45^\circ} = 462 \text{ ton}$$

$$\text{Para } 60^\circ: W_{cable} = \frac{462}{\text{Tan } 60^\circ} = 267 \text{ ton}$$

De los cálculos realizados se determinó un rango de trabajo para tener en cuenta la tensión más desfavorable para la elección del cable a utilizar para la recuperación de la nave.

En la Figura 3.1.e), se muestra la posición final del remolcador junto a la segunda etapa de la estructura añadida que soporta los esfuerzos ejercidos por la grúa. Los arriostramientos transversales son utilizados para el caso particionado, ya que al tener al RAM Poderoso cortado este pierde resistencia.

3.1.3. Izaje del RAM Poderoso completo.

El proceso de izaje es por medio de varios cables conectados a las vigas de acero estructural, que se muestra en la siguiente Figura:

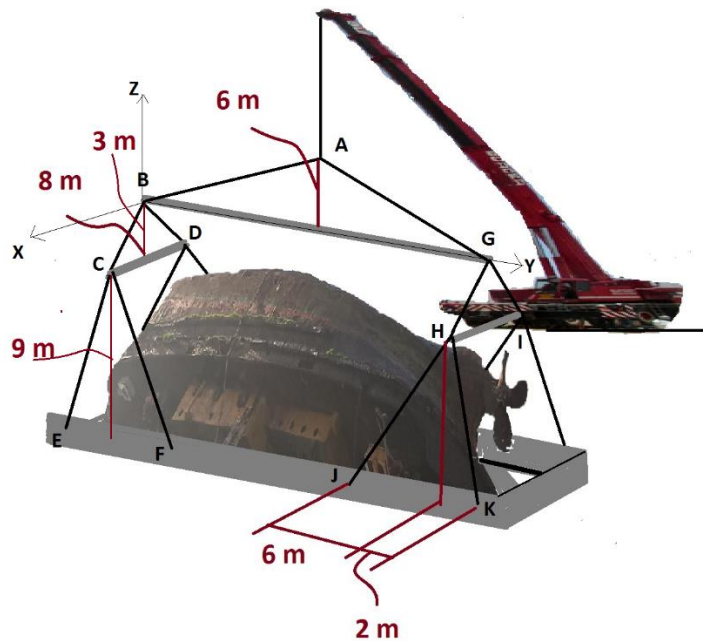


Figura 3.3: Proceso de izaje del remolcador completo

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

En primer lugar, a partir del catálogo CINTAC se eligieron tubos de acero capaces de sostener los cables conectados a la grúa, y que se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 3.2: Dimensiones y pesos de tubos de acero macizo a utilizar.

Dimensiones y Pesos de Tubos				
Elemento	Diametro, mm	Longitud, m	Peso, kg/m	Peso Total, ton
Tubo Transversal	90	8	51.95	0.416
Tubo Longitudinal	120	36	92.33	3.324

De la Tabla 3.2., se determinaron los pesos que ejercen los tubos de acero que sostienen los cables que izarán al RAM Poderoso.

Además, de la Tabla 2.10, se determinó el peso total de la estructura añadido al RAM Poderoso siendo este de 32 toneladas. Mediante el método de las fuerzas en el espacio [8], y sabiendo las cargas ejercidas por la nave, la arena y estructura se tiene el siguiente diagrama con las esfuerzos ejercidos por los cables (detallado en el *Anexo A*).

En la Tabla 3.3 se detallan las tensiones en toneladas de cada elemento y si ejerce esfuerzo de tracción o compresión.

Tabla 3.3: Fuerzas que ejercen elementos en primera alternativa.

Tensiones de cables			
Elemento	Tensión	Unidad	Esfuerzos
T _{AB}	733.642	[ton]	Tracción
T _{AG}	733.642	[ton]	Tracción
T _{BG}	696.227	[ton]	Compresión
T _{BC}	385.866	[ton]	Tracción
T _{BD}	385.866	[ton]	Tracción
T _{DC}	308.693	[ton]	Compresión
T _{CE}	265.712	[ton]	Tracción
T _{CF}	105.222	[ton]	Tracción
T _{GI}	385.866	[ton]	Tracción
T _{GH}	385.866	[ton]	Tracción
T _{IH}	308.693	[ton]	Tracción
T _{HK}	265.712	[ton]	Tracción
T _{HJ}	105.222	[ton]	Tracción
T _{HK'}	265.712	[ton]	Tracción
T _{HJ'}	105.222	[ton]	Tracción

En la Figura 3.4., se muestra el diagrama con las fuerzas en toneladas que ejerce cada elemento.

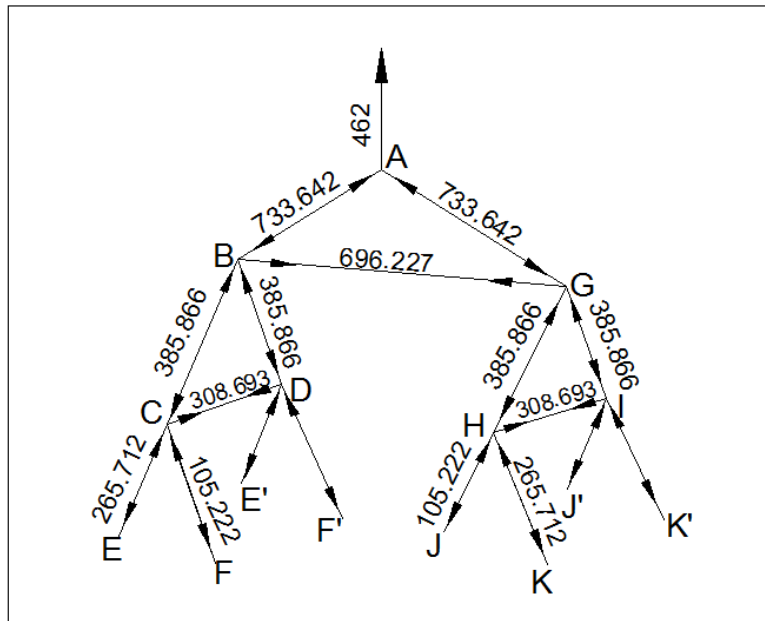


Figura 3.4: Diagrama de esfuerzo de elementos de RAM Poderoso completo para primera alternativa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

3.2. Segunda Alternativa: Proceso de recuperación del RAM Poderoso particionado.

Como segunda alternativa se propuso particionar el RAM Poderoso en tres partes de 12 metros aproximadamente cada parte. Para esta alternativa se calculó las cargas que aplican para este proyecto y la tensión de cable para la grúa.

3.2.1. Reforzamiento del RAM Poderoso particionado.

En la Figura 2.7., se muestra al remolcador particionado. El cual se le soldarán o apernarán perfiles de acero estructural que sirve de soporte para resistir los esfuerzos ejercidos por la interacción con la grúa.

Utilizando los mismos perfiles más un perfil tubular como arriostramiento transversal, la estructura tiene un peso total de 10 toneladas.

3.2.2. Volteo del remolcador particionado.

Para el caso de la nave particionada se considera tener una grúa que sea capaz de voltear al RAM Poderoso hasta que este quede apoyado en una estructura instalada en el terrero y jalar hasta el sector deseado.

El proceso de volteo será el mismo que en el caso del remolcador completo, y esto se muestra en la Figura 3.1.

En la Tabla 3.4., se muestra los datos necesarios para calcular la tensión del cable y la selección de la grúa.

Tabla 3.4: Datos de remolcador particionado.

Cargas Totales RAM Poderoso Particionado	
Cargas	Peso Teórico, Ton
Peso Propio	146
Peso Estructura	10
Peso Arena	35

Se determinó la tensión que aplica el cable para poder sacar al remolcador del reposo como se muestra en la Figura 3.1.a.

$$\sum F_z > 0: W_{cable} - W_{estructura} - W_{remolcador} - W_{arena} > 0$$

$$\sum F_z > 0: W_{cable} > 146 + 10 + 35 = 191 \text{ ton}$$

$$W_{cable} > 191 \text{ ton}$$

Utilizando el procedimiento de la primera alternativa, se aplicó una fuerza vertical superior a 191 toneladas, para luego ejercer una fuerza como se muestra en la Figura 3.1. b), c) y d), hasta apoyarlo en una estructura que permita mantener al RAM Poderoso en su forma natural (figura 3.1 e)). Proceso que partirá con la recuperación de la parte media del RAM Poderoso y luego con las partes donde se encuentra popa y proa, para luego ser desplazado por sobre rieles instalados en el terreno y evitar que se entierre.

Para poder iniciar el proceso de volteo del remolcador particionado se necesitó aplicar una tensión en forma vertical mayor a 191 toneladas.

En los casos de las Figuras b), c) y d) se aplicó una tensión para distintos ángulos con respecto a la vertical para tener en cuenta las tensiones más desfavorables que ocurren.

$$\text{Para } 30^\circ: W_{cable} = \frac{191}{\tan 30^\circ} = 331 \text{ ton}$$

$$\text{Para } 45^\circ: W_{cable} = \frac{191}{\tan 45^\circ} = 191 \text{ ton}$$

$$\text{Para } 60^\circ: W_{cable} = \frac{191}{\tan 60^\circ} = 110 \text{ ton}$$

Esto se realiza de la misma manera que la primera alternativa hasta quedar apoyado en una estructura, para luego ser jalado por medio de un mecanismo instalado en el terreno que permita deslizar a la estructura minimizando el roce o que la nave se entierre.

De los cálculos realizados se determinó que entre más amplio es el ángulo con que la grúa ejerce tensión, se necesita menos fuerza para voltear el remolcador.

Luego de voltear el RAM Poderoso se debe instalar una nueva estructura en el lado contrario para proteger la nave de su deterioro y su posible colapso, esta estructura es utilizando los mismos perfiles que se detallan en la Tabla 2.12.

3.2.3. Izaje del remolcador particionado.

Así como en el punto 3.1.3., en este caso se realizó la operación por medio de una grúa y cables conectados entre sí junto a barras de acero macizo se realiza el izaje del remolcador particionado.

Tabla 3.6: Fuerzas que ejercen elementos en segunda alternativa.

Tensiones de cables			
Elemento	Tensión	Unidad	Esfuerzos
T _{AB}	140.420	[ton]	Tracción
T _{AG}	140.420	[ton]	Tracción
T _{BG}	99.277	[ton]	Compresión
T _{BC}	165.404	[ton]	Tracción
T _{BD}	165.404	[ton]	Tracción
T _{DC}	132.323	[ton]	Compresión
T _{CE}	113.938	[ton]	Tracción
T _{CF}	45.119	[ton]	Tracción
T _{GI}	165.404	[ton]	Tracción
T _{GH}	165.404	[ton]	Tracción
T _{HI}	132.323	[ton]	Tracción
T _{HK}	113.938	[ton]	Tracción
T _{HJ}	45.119	[ton]	Tracción
T _{HK'}	113.938	[ton]	Tracción
T _{HJ'}	45.119	[ton]	Tracción

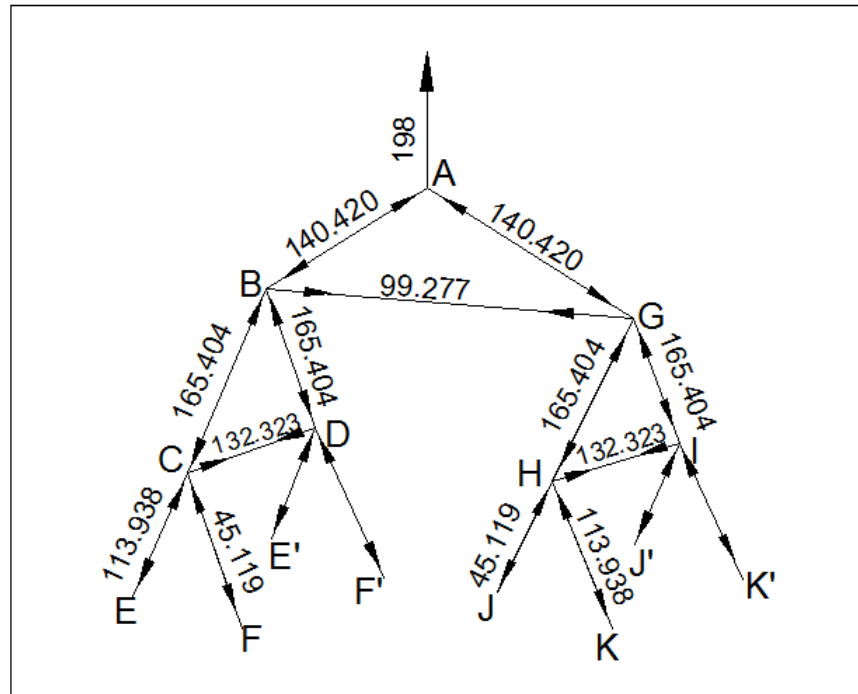


Figura 3.6: Diagrama de esfuerzo de elementos de RAM Poderoso particionado para segunda alternativa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

3.3. Modelo RAM Poderoso primera alternativa en RAM Advanse.

Los materiales utilizados en los barcos de la época solían ser de madera, metal u otros materiales que permitieran al barco flotar. Al no contar con la suficiente información sobre los materiales usados para la construcción, se hizo un supuesto guiado por la historia de los barcos, suponiendo que los materiales del RAM Poderoso son vigas de madera de roble grado N°3 [9] y acero A-36 [10] para las placas y estructura soporte.

Mediante los puntos obtenidos mediante GPS se generó un bosquejo utilizando AutoCAD, el cual permitió unir los puntos generados y así se realizó un modelo en el programa RAM Advanse para determinar las cargas necesarias para quitar del reposo al RAM Poderoso.

Con el software RAM Advanse se verificaron los elementos más desfavorables para sostener un control de las deformaciones que pudiesen ocurrir en terreno. Para tener un control de esto se diseñó una estructura que fue añadida al modelo que sea capaz de resistir todas las cargas que interactúen directamente con el RAM Poderoso.

En la siguiente Figura se muestra el modelo del RAM Poderoso diseñado en RAM Advanse:



Figura 3.7: Modelo RAM Poderoso completo.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

3.3.1. Reforzamiento.

El reforzamiento soldado o apernado es de utilidad para el manejo del proyecto, ya que esto dará estabilidad al momento que se aplicó las fuerzas mediante la grúa que opera.

En la siguiente Figura se muestran las vigas que refuerzan al RAM Poderoso para recibir los esfuerzos generados por la fuerza ejercida por la grúa y tener un control de las deformaciones que pueden ocurrir.

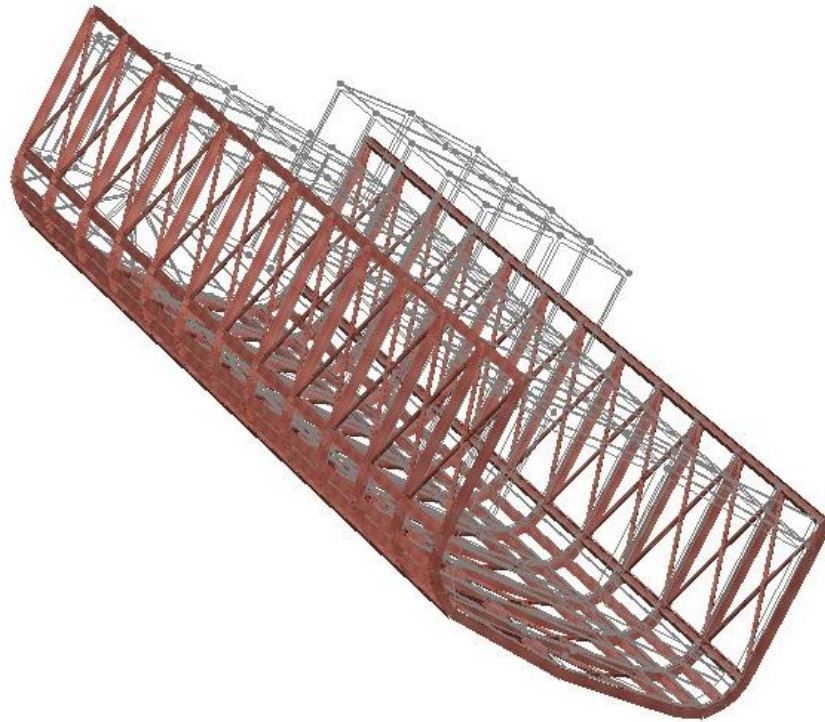


Figura 3.8: Reforzamiento para RAM Poderoso completo.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

En la Figura siguiente se muestra la lista y pesos de los materiales utilizados en el modelamiento. Donde se muestran los perfiles de la estructura añadida y lo materiales de la nave original el que incluye las placas de acero de un barco común, diagonales de acero y perfiles de madera.

Lista de Materiales

Nota.- Listado sólo de las barras y placas seleccionadas gráficamente

Miembros:

Perfil	Material	PesoU [Kg/m]	Longitud [m]	Peso [Ton]
HEA 200	A36	4.01E+01	667.847	26.801
HN 20X33.8	A36	3.38E+01	172.858	5.848
MADERA 15X25	ROBLE Nº3	2.70E+01	1123.784	30.342
TUBO A500 4 E5.0	A36	1.20E+01	422.964	5.092
Peso Total [Ton]				68.084

Placas:

Espesor [cm]	Material	PesoU [Kg/m2]	Area [m2]	Peso [Ton]
3.00000	A36	2.36E+02	1379.568	325.343
Peso Total [Ton]				325.343

Figura 3.9: Lista de materiales utilizados en el modelo de la nave completa.

Fuente: Reporte de materiales desde RAM Advanse.

3.3.2. Volteo.

Para este proceso se realizó en dos etapas, en la primera etapa se determinó la fuerza que sea capaz de sacar al RAM Poderoso del reposo, en la segunda etapa se realizó el volteo de la nave hasta dejarlo en su posición natural por medio de una grúa. Antes de ser jalado, se instala la segunda parte de la estructura que soporta la nave y luego desplaza hasta otro sector. Proceso que se muestra en la Figura 3.1.

En la siguiente Figura se muestra el RAM Poderoso con la fuerza estimada que se aplicó para eliminar el reposo.

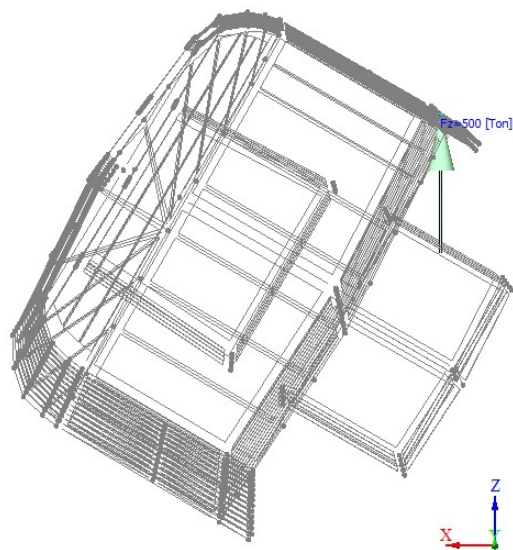


Figura 3.10: Fuerza aplicada con grúa para sacar de reposo.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

De esto se realizó un análisis del modelo necesario para verificar los esfuerzos de los elementos y se muestra en la Figura 3.11.

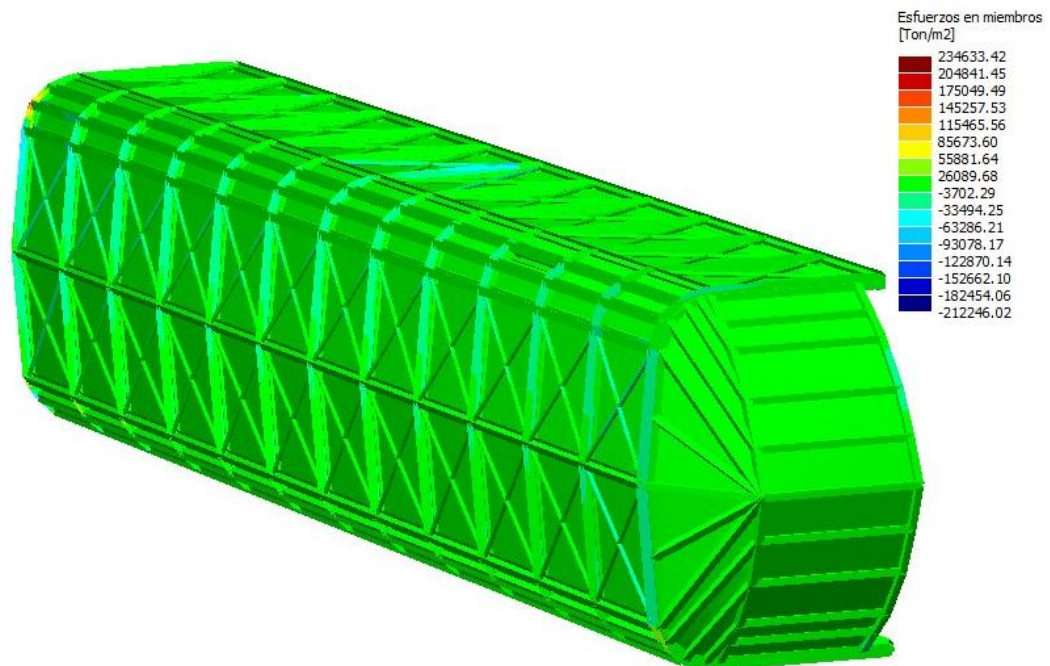


Figura 3.11: Resultado de análisis del modelo.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

De la Figura 3.11., se establece que los elementos más solicitados son las vigas de la estructura que actúa como soporte lo que conlleva a que están recibiendo las cargas aplicadas por la grúa. Se observa que los esfuerzos que las vigas soportan son demasiados altos comparados a los más estables (color verde).

Además, se establece que los elementos más desfavorables (más cercano a la carga aplicada) tienen un esfuerzo alto, lo que conlleva a elementos desfavorables.

3.3.3. Izaje.

Para el izaje se realizó un modelo el cual permita verificar los esfuerzos ocurridos en los elementos de la estructura que cumple la función de soporte. El proceso de izaje consiste en mediante cables y tubos de acero estructural diseñar un mecanismo que sea añadido a la nave y sea soportado por grúas, para luego ser retirado desde su ubicación actual hasta un sector firme y seco.

En la Figura se muestra el modelo de la estrategia de izaje de la primera alternativa.

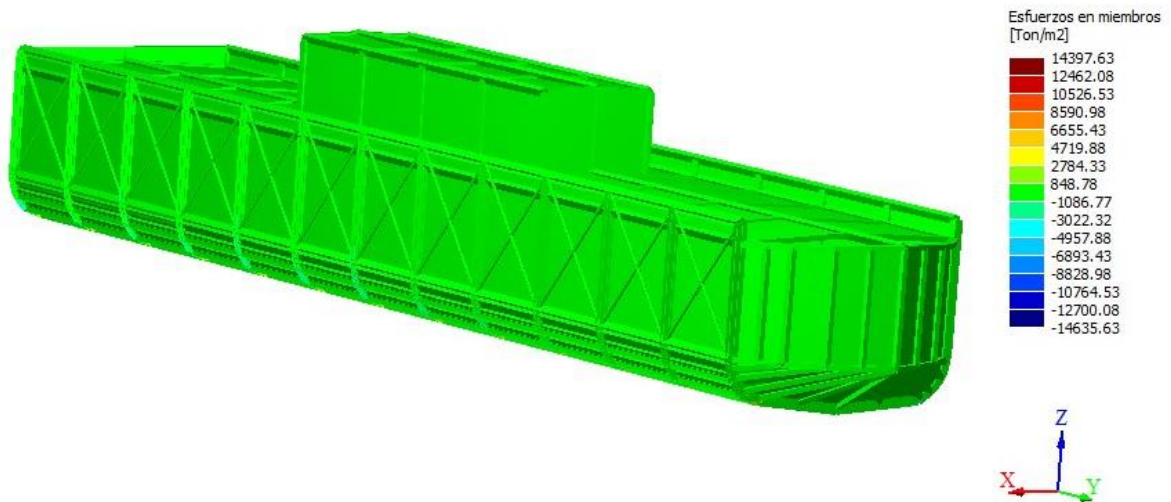


Figura 3.12: Esfuerzos para el modelo completo de izaje.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

La Figura 3.12 muestra los esfuerzos que la estructura debe soportar para que no existan grandes deformaciones en la estructura y esta falle y colapse.

3.4. Modelo RAM Poderoso particionado en RAM Advanse.

El modelo particionado realizado en el software RAM Advanse se analizó similar manera que lo realizado en el punto 3.3.2.

Para este caso se realizó un supuesto de considerar mayor peso en la parte media particionada del RAM Poderoso, ya que es donde se encuentra la caldera lo que aumenta su peso con respecto a las otras dos partes (popa y proa), considerando que su peso es la mitad del total de la nave.

En la siguiente Figura se muestra el modelo de la parte media del RAM Poderoso.



Figura 3.13: Modelo del remolcador particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

Los materiales y peso del remolcador se muestran en la Figura siguiente.

Lista de Materiales

Nota.- Listado sólo de las barras y placas seleccionadas gráficamente

Miembros:

Perfil	Material	PesoU [Kg/m]	Longitud [m]	Peso [Ton]
HEA 200	A36	4.01E+01	221.506	8.889
HN 20X33.8	A36	3.38E+01	85.251	2.884
MADERA 15X25	ROBLE N°3	2.70E+01	415.333	11.214
TUBO A500 3 1/2	A36	4.33E+00	190.031	0.823
TUBO A500 3 E4.0	A36	7.20E+00	32.150	0.231
Peso Total [Ton]				24.042

Placas:

Espesor [cm]	Material	PesoU [Kg/m2]	Area [m2]	Peso [Ton]
3.00000	A36	2.36E+02	557.801	131.546
Peso Total [Ton]				131.546

Figura 3.14: Lista de materiales del modelo particionado.

Fuente: Reporte de materiales desde RAM Advanse.

3.4.1. Reforzamiento.

El reforzamiento añadido al RAM Poderoso son vigas de acero estructural A-36 normado por la ASTM con perfiles tipo HEA del catálogo CINTAC. Este será añadido por toda la superficie de la nave, lo que se muestra en la Figura 3.15.

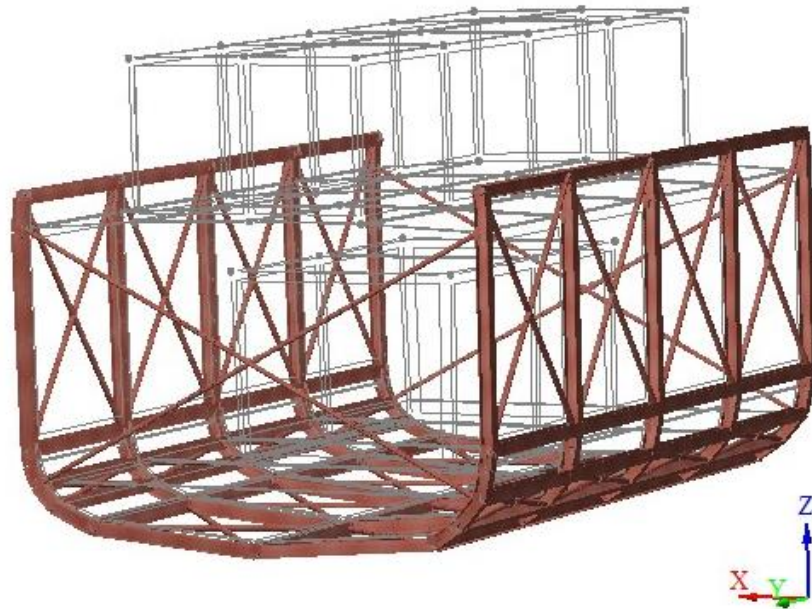


Figura 3.15: Estructura para RAM Poderoso particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

El reforzamiento es la estructura encargada de recibir todas las cargas distribuidas para así evitar dañar aún más al remolcador, considerando el estado en que se encuentra actualmente al aplicar una tensión mediante la grúa, el remolcador puede perder partes importantes hasta una desintegración total.

3.4.2. Volteo.

Se aplicó mismo método que en el Punto 3.3., para lo que se determinó una carga que pueda sacar del reposo al remolcador y que se calculó en el Punto 3.2.2., siendo este superior a 191 toneladas. Para esta estrategia se determinó la utilización de grúas y huinches neumáticos.

En la Figura siguiente se muestra el modelo y la carga aplicada.

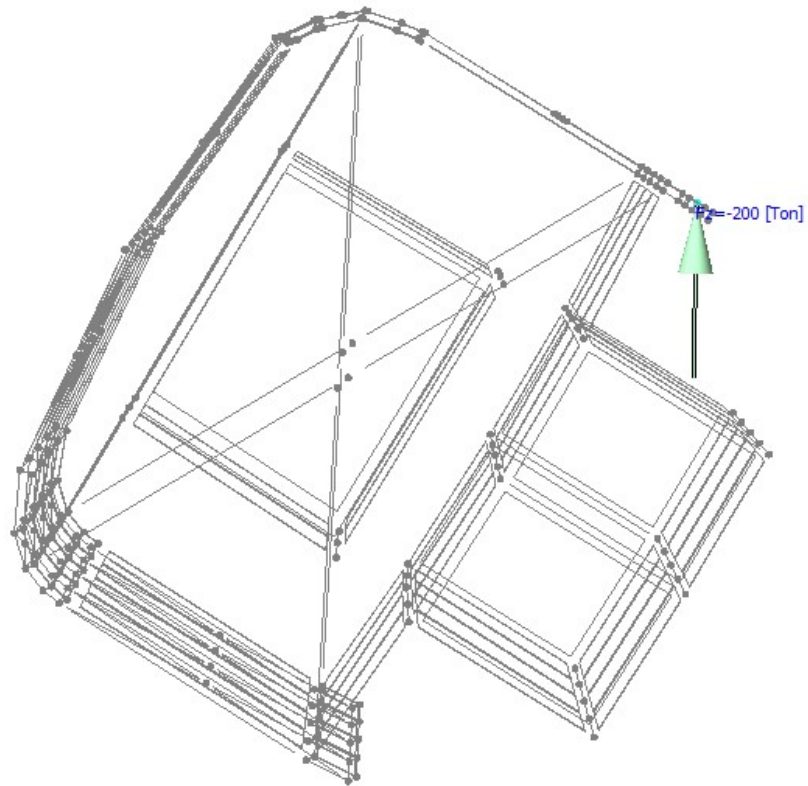


Figura 3.16: Modelo con carga aplicada a remolcador particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

La carga mínima calculada en el Punto 3.2.2., considerando la arena húmeda son 191 toneladas aproximadamente, para el modelo en RAM Advanse se aplicó una fuerza total de 200 toneladas en 45° con respecto a la vertical.

De esto se muestran los esfuerzos de los elementos de la estructura.

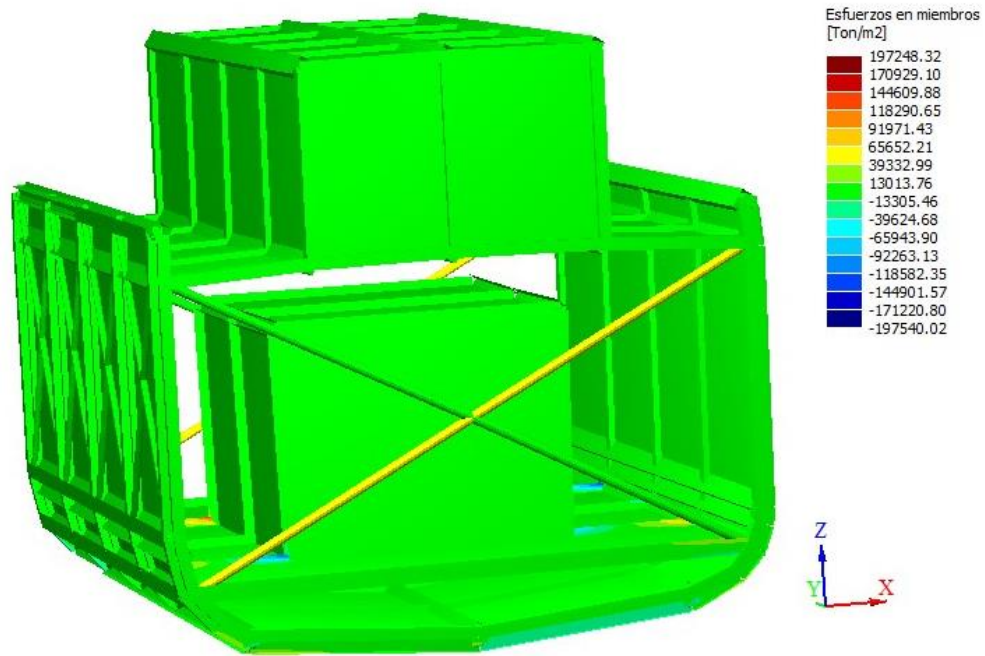


Figura 3.17: Esfuerzos de modelo remolcador particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

La Figura 3.17., muestra los esfuerzos de los elementos del remolcador particionado con una fuerza aplicada de 200 toneladas, los resultados de esto muestra que los elementos utilizados como arriostramiento transversal están sometidos a esfuerzos mayores de cargas que el resto de la estructura.

3.4.3. Izaje.

El modelo de la segunda alternativa para el izaje se realizó del mismo método que en el Punto 3.3.3., y las cargas se muestran en la siguiente Figura.

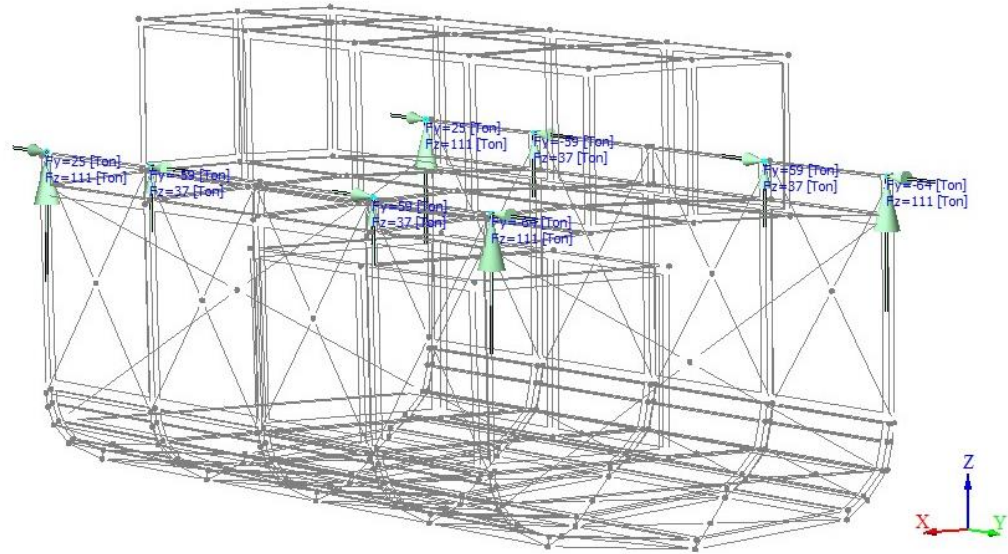


Figura 3.18: Tensiones de cables para izar RAM Poderoso en segunda alternativa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

Mientras que en la Figura 3.19., se muestra los resultados del modelo en RAM Advanse de los esfuerzos que recibe la estructura y la nave.

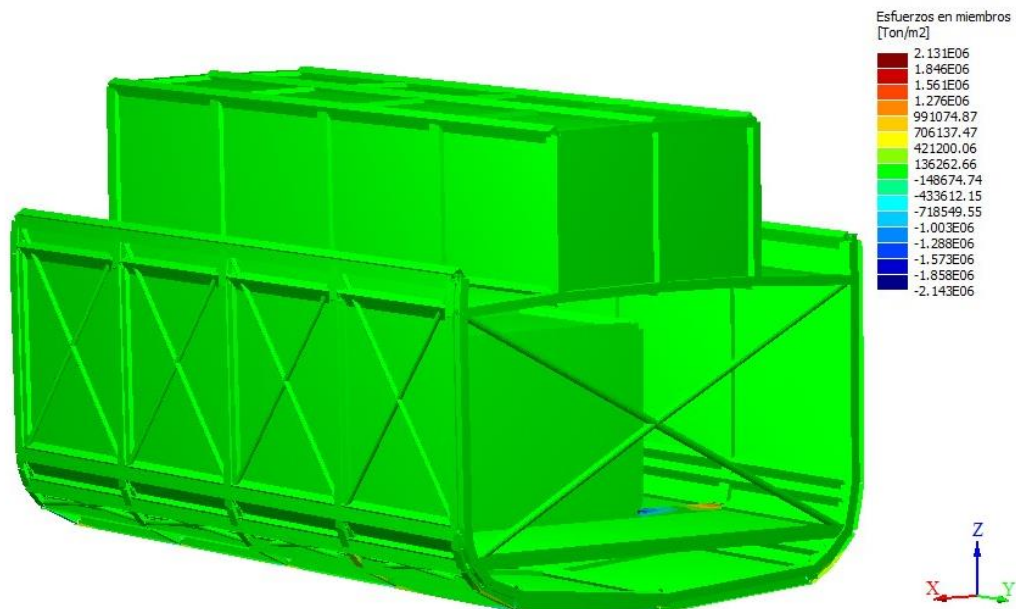


Figura 3.19: Resultado de esfuerzo del RAM Poderoso en segunda alternativa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera en RAM Advanse.

Capítulo 4 : Estimación de costos.

Se ha consultado a diversas empresas especialistas en grúas para cotizar el costo de arriendo de sus maquinarias para la utilización de estas en el proyecto de recuperación del RAM Poderoso.

Se muestra el detalle de la cotización, entre las empresas solicitadas están: Pareschi [11], ACAR [12] y MGO grúas [13], con sus respectivas capacidad de levantamiento. Para el caso de Paramount grúas [14] no disponen de una grúa en Chile que sea capaz de levantar la nave, pero entregaron información de una grúa que puede levantar el peso total del RAM Poderoso, que está disponible en el extranjero.

En la Tabla 4.1. Se muestran las empresas contactadas para realizar una cotización para el uso de grúas, indicando modelo, capacidad, costo de arriendo y valor del traslado, estas dos últimas son valores para una unidad. Las empresas contactadas están todas ubicadas en la ciudad de Santiago. Esta Tabla es válida para la primera y segunda alternativa.

Tabla 4.1: Modelos de grúas, tonelaje y costos de arriendo.

Cotización para RAM Poderoso					
Empresa	Tipo de grúa	Tiempo de uso, días	Capacidad, Ton	Valor sin operador x grúa, \$/hr	Valor traslado por grúa (ida y vuelta)
Paramount grúas	Manitowoc 21000	90	900	\$ 6,300,000	\$ 1,890,000,000
Pareschi	GMK-4100	20	100	\$ 220,000	\$ 1,600,000
ACAR	GMK-4080	20	80	\$ 180,000	\$ 1,600,000
MGO Grúas	Manitowoc 4100	20	160	\$ 240,000	\$ 1,600,000

4.1. Estimación de costos para primera alternativa.

Para la recuperación del RAM Poderoso completo se tiene lo siguiente:

En la Tabla 4.2. Se muestran las cantidades de grúas necesarias para realizar la operación junto con las horas necesarias a utilizar, el petróleo por el total de maquinaria y el costo total de las grúas de cada empresa solicitada su cotización más I.V.A. (19%) incluido.

Tabla 4.2: Tiempo de uso, cantidades de grúas y costo total para primera alternativa.

Cotización para RAM Poderoso completo					
Empresa	Capacidad, Ton	Cantidad	Tiempo de uso, hrs	Petróleo x total grúas, \$	Valor total
Paramount grúas	900	1	720	-----	\$ 7,646,940,000
Pareschi	100	5	160	\$ 20,000,000	\$ 242,760,000
ACAR	80	6	160	\$ 24,000,000	\$ 388,416,000
MGO Grúas	160	3	160	\$ 12,000,000	\$ 185,640,000

De las empresas solicitadas para realizar una cotización la más económica para la recuperación del RAM Poderoso completo fue de la empresa MGO Grúas. Mientras que la

alternativa más costosa fue de Paramount Grúas, ya que la grúa señalada en la Tabla 4.1 se debe traer desde Estados Unidos.

4.2. Estimación de costos para segunda alternativa

Para la alternativa de recuperar el RAM Poderoso segmentado en tres partes se realizó la cotización con las mismas empresas, descartando la opción de Paramount Grúas.

Para la realización de esta alternativa se debe segmentar el RAM Poderoso, el cual se puede eliminar sobrecarga de arena, pero debido a su condición actual y considerando que es la opción más desfavorable se consideró el peso total de la arena que se encuentra dentro de la nave.

En la Tabla 4.3 se muestra el costo total de las grúas para la recuperación del RAM Poderoso segmentado, mencionando que las grúas a utilizar son mencionadas en la Tabla 4.1.

Tabla 4.3: Tiempo de uso, cantidades de grúas y costo total para segunda alternativa.

Cotización para RAM Poderoso segmentado					
Empresa	Capacidad, Ton	Cantidad	Tiempo de uso, hrs	Petróleo x total grúas, \$	Valor total
Pareschi	100	2	160	\$ 8,000,000	\$ 97,104,000
ACAR	80	3	160	\$ 12,000,000	\$ 122,808,000
MGO Grúas	160	2	160	\$ 8,000,000	\$ 104,720,000

De las empresas solicitadas para realizar una cotización la más económica para la recuperación del RAM Poderoso segmentado fue de la empresa Pareschi.

Además se manejó otra alternativa para la recuperación del RAM Poderoso segmentado, y esta es la utilización de huinches que sean capaces de jalar la nave. Para este caso se contactó con la empresa Prowich [15] para realizar una cotización de sus maquinarias.

De la cotización solicitada esta arrojó que los huinches necesarios para la recuperación de la nave son los huinches modelo Winche Hidráulico 80T, pero estos deben ser comprados.

En la Tabla 4.4 y 4.5 se muestran los valores de compra de estos huinches para la alternativa de recuperación del RAM Poderoso completo y segmentado.

Tabla 4.4: Hunches para RAM Poderoso completo.

Empresa	Tipo	Modelo	Detalle	Cantidad	Tonelaje	Precio Total
PROWINCH	Huinche hidráulico	Winche Hidráulico 80T	Compra Unidad	6	80	\$ 300,000,000

Tabla 4.5: Huinches para RAM Poderoso segmentado.

Empresa	Tipo	Modelo	Detalle	Cantidad	Tonelaje	Precio Total
PROWINCH	Huinche hidráulico	Winche Hidráulico 80T	Compra Unidad	3	80	\$ 150,000,000

4.3. Estimación de costos de personal y materiales.

En la Tabla 4.6 y Tabla 4.7, se tienen los valores de gastos de personal aproximados para ambas alternativas.

Tabla 4.6: Gastos personal primera alternativa.

Gastos Personal de Obra			
Especialidad	Valor (20 días)	Cantidad Personal	Total
Jefe Obra	\$ 1,300,000	1	\$ 1,300,000
Operador de grúa	\$ 550,000	3	\$ 1,650,000
Soldador	\$ 450,000	4	\$ 1,800,000
Ayudante Soldador	\$ 250,000	4	\$ 1,000,000
Mecánico	\$ 250,000	1	\$ 250,000
Camioneta	\$ 698,000	1	\$ 698,000
Estadía	\$ 600,000	13	\$ 7,800,000
Comida	\$ 450,000	13	\$ 5,850,000
Total			\$ 20,348,000

Tabla 4.7: Gastos personal segunda alternativa

Gastos Personal de Obra			
Especialidad	Valor (20 días)	Cantidad Personal	Total
Jefe Obra	\$ 1,300,000	1	\$ 1,300,000
Operador de grúa	\$ 550,000	2	\$ 1,100,000
Soldador	\$ 450,000	4	\$ 1,800,000
Ayudante Soldador	\$ 250,000	4	\$ 1,000,000
Mecánico	\$ 250,000	1	\$ 250,000
Camioneta	\$ 698,000	1	\$ 698,000
Estadía	\$ 600,000	12	\$ 7,200,000
Comida	\$ 450,000	12	\$ 5,400,000
Total			\$ 18,748,000

Además se tiene el costo de los materiales a utilizar para la primera alternativa en la siguiente Tabla.

Tabla 4.8: Costos de materiales primera alternativa.

Cotización de Materiales para primera alternativa			
Perfil	Metros	Cantidad de vigas	Total, \$
Perfil HEA 200	608	51	\$ 39,157,550
Tubo A500 4"	422.4	35	\$ 7,653,189
Pérdidas (5%)			\$ 2,340,537
Total	1030	86	\$ 46,810,739

Y el costo de materiales para la segunda alternativa, considerando para los tres segmentos.

Tabla 4.9: Costos de materiales segunda alternativa.

Cotización de Materiales para segunda alternativa			
Perfil	Metros	Cantidad de vigas	Total, \$
Perfil HEA 200	512	102	\$ 41,347,281
Tubo A500 3 1/2"	453	91	\$ 3,703,496
Tubo A500 4"	76.8	24	\$ 534,963
Pérdidas (5%)			\$ 2,279,287
Total	1042	217	\$ 47,865,028

4.4. Costos totales para primera y segunda alternativa.

El costo total para la recuperación del RAM Poderoso completo considerando la propuesta más económica de maquinaria presentada por la empresa MGO grúas se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 4.10: Costo total para recuperación RAM Poderoso completo.

Costo Total Primera Alternativa	
Costos	Cantidad, \$
Grúa	\$ 185,640,000
Personal	\$ 20,348,000
Materiales	\$ 46,810,739
Gastos Generales (15%)	\$ 37,919,811
Total	\$ 290,718,550

Para el caso de la segunda alternativa (RAM Poderoso segmentado), la empresa Pareschi entregó la propuesta más económica y el costo total de maquinaria para la recuperación de la nave se muestra en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Costo total segunda alternativa.

Costo Total Segunda Alternativa	
Costos	Cantidad, \$
Grúa	\$ 97,104,000
Personal	\$ 20,348,000
Materiales	\$ 47,865,028
Gastos Generales (15%)	\$ 24,797,554
Total	\$ 190,114,582

Capítulo 5 : Conclusiones.

Este proyecto realizado sobre la recuperación del RAM Poderoso y la estimación de costos, mediante cálculos y corroborando con el software RAM Advanse, arrojó lo siguiente:

Para la realización de este proyecto de recuperación del Remolcador de Alta Mar Poderoso se idearon dos alternativas. La primera de ellas se define como la recuperación de la nave completa la que se divide en recuperar el RAM Poderoso mediante grúas que puedan voltear hasta su posición natural, para luego ser reforzado y jalar. Por otra parte, mediante grúas para ser izado mediante cables y tubos de acero conectado a la estructura de refuerzo.

Para esta tarea se contactó con diversas empresas especializadas en grúas solicitando una cotización y disponibilidad de grúas para realizar la tarea de recuperación de la nave. La empresa MGO grúas, quién presentó una mejor alternativa dispone de grúas modelo Manitowoc 4100 (ver *Anexo D*) con capacidad máxima de izaje de 160 toneladas, por lo que para realizar la recuperación de la nave se necesitan por lo menos 3 grúas para cumplir con la tarea de voltear, jalar y/o izar el RAM Poderoso. El costo estimado en maquinaria asciende a \$ 185 millones aproximadamente. Detallado en la Tabla 4.1 y Tabla 4.2.

Para la segunda alternativa que es recuperar el RAM Poderoso segmentado en 3 partes se sigue el mismo procedimiento que la primera alternativa de voltear, jalar y/o izar. La empresa que presentó una solución más conveniente fue Pareschi quien mediante sus grúas modelo GMK-4100 (ver *Anexo E*) con capacidad de izaje de 100 toneladas. El costo en maquinaria para la operación asciende a \$ 97 millones aproximadamente.

Además, para ambas alternativas se manejó la opción de utilizar huinches para jalar tanto el RAM Poderoso completo como segmentado. Para esto se contactó a la empresa Prowinch para realizar una cotización de huinches hidráulicos para realizar la operación. La respuesta de la empresa de huinches indicó que posee huinches hidráulicos para venta que son capaces de jalar hasta 80 toneladas, por lo que, para la alternativa de jalar el RAM Poderoso completo se necesitan 6 huinches para voltear y jalar la nave. El costo de esta operación asciende a un total de \$ 300 millones de pesos, y está detallado en la Tabla 4.4. Mientras que para la alternativa de jalar la nave segmentada se necesitan comprar 3 huinches hidráulicos y su costo total asciende a un total de \$ 150 millones de pesos.

El sector en donde está ubicado el RAM Poderoso no cuenta con el espacio suficiente, por lo que se ha determinado realizar un relleno con un tipo de suelo que sea capaz de resistir la carga ejercida por las grúas que trabajen en el sector y disponer de un lugar más amplio para ejercer de mejor manera las maniobras necesarias. Este proyecto solo abarcó el cálculo del volumen necesario a rellenar, sin considerar costos de esto. El volumen total a rellenar es de 7,059 m³.

Considerando los cálculos y modelos realizados en el software RAM Advanse, el costo total estimado para la alternativa de recuperar el RAM Poderoso completo, teniendo en cuenta el gasto en maquinaria, personal de trabajo y materiales asciende a \$ 290 millones de pesos.

Para la alternativa del RAM Poderoso segmentado, el traslado de cada parte de la nave a un sector estable este proyecto no consideró la unión de los segmentos cortados del RAM Poderoso, ya que se necesita realizar un estudio de ingeniería más profundizado para lograr rearmar la nave. El costo que asciende a un total de \$ 190 millones de pesos consideró gastos de maquinaria y traslado, personal de trabajo y materiales para el reforzamiento al igual que la alternativa de la nave completa.

Referencias y Bibliografía.

- [1] AUTOR (2010), Corporación Monumento Al Trabajo Marítimo RAM Poderoso, <http://www.corpoderoso.cl/>.
- [2] Base Naval (2010) Museo al Trabajo Marítimo RAM Poderoso, <http://base.mforos.com/1613175/9253339-museo-al-trabajo-maritimo-ram-poderoso/>
- [3] Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) (2010) “El terremoto y tsunami del 27 de febrero en Chile. Crónica y lecciones aprendidas en el sector salud”.
- [4] Ministerio de Educación (2015) Ley N° 17.288 de Monumento Nacionales y Normas Relacionadas (6^{ta} Edición).
- [5] NCh 1537 Of86 (1986) Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso.
- [6] NCh 2369 Of2003 (2003) Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
- [7] CINTAC (2014) Catálogo General de Productos y Sistemas y Vigas Laminadas.
- [8] Beer, Johnston, Mazurek, Esisenberg (2010) Mecánica Vectorial para Ingenieros – Estática (9^{na} Edición).
- [9] NCh 1198 Of2006 (2006) Construcciones en Madera.
- [10] ASTM A36 (2005) Standard Specification for Carbon Structural Steel.
- [11] Pareschi, P. (2016) Arriendo de Grúas y Transportes, <http://www.pareschi.cl/>.
- [12] ACAR (2016) Cotización de Grúas, <http://www.acar.cl/site/>.
- [13] MGO Grúas (2016) Grúas, Repuestos y Maquinarias, <http://www.mgogruas.com/site/>
- [14] Paramount Grúas (2016) Venta y Arriendo de grúas Link-Belt en Chile y Argentina, <http://paramountgruas.com/>.
- [15] Prowinch (2016) Huinches, Tecles, Polipastos y Poleas, <http://prowinch.cl/>

Anexos

ANEXO A

Cálculo de tensiones RAM Poderoso completo.

Nodo A:

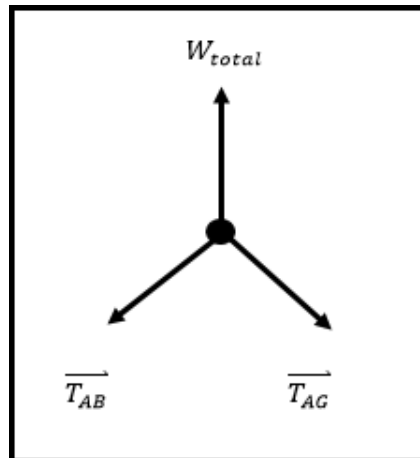


Figura 0.1: Diagrama de cuerpo libre de nodo A de la estructura completa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$A = (0\hat{i} + 18\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$B = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$G = (0\hat{i} + 36\hat{j} + 0\hat{k})$$

Para conector AB:

$$\vec{T}_{AB} = T_{AB} * \frac{\vec{AB}}{|\vec{AB}|} = \frac{((0\hat{i} - 18\hat{j} - 6\hat{k})) * T_{AB}}{18.974} = (0\hat{i} - 0.949\hat{j} - 0.316\hat{k}) * T_{AB}$$

Para conector AG:

$$\vec{T}_{AG} = T_{AG} * \frac{\vec{AG}}{|\vec{AG}|} = \frac{((0\hat{i} + 18\hat{j} - 6\hat{k})) * T_{AG}}{18.974} = (0\hat{i} + 0.949\hat{j} - 0.316\hat{k}) * T_{AG}$$

Para W_{Total} :

Con $W_{Total} = W_{arena} + W_{Arm} + W_r = 462 [ton]$.

$$\vec{W}_{Total} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 462\hat{k}) [ton]$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.1: Resumen de tensiones para nodo A para primera alternativa.

$$\vec{T}_{AB} = (0T_{AB}\hat{i} - 0.949T_{AB}\hat{j} - 0.316T_{AB}\hat{k}) [ton]$$

$$\vec{T}_{AG} = (0T_{AG}\hat{i} + 0.949T_{AG}\hat{j} - 0.316T_{AG}\hat{k}) [ton]$$

$$\vec{W}_{Total} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 462\hat{k} + 1.662\hat{k}) [ton]$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_y = 0: -0.949T_{AB} + 0.949T_{AG} + 0 = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_z = 0: -0.316T_{AB} - 0.316T_{AG} + 463.662 = 0 \quad (ii)$$

De (i) tenemos;

$$T_{AB} = T_{AG}$$

De (ii) tenemos;

$$T_{AB} = \frac{463.662}{0.632} = 733.642 [ton]$$

De (i) reemplazamos;

$$T_{AG} = T_{AB} = 733.642 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, las tensiones de los cables T_{AG} y T_{AB} debe ser mayor a 733.642 toneladas.

Nodo B:

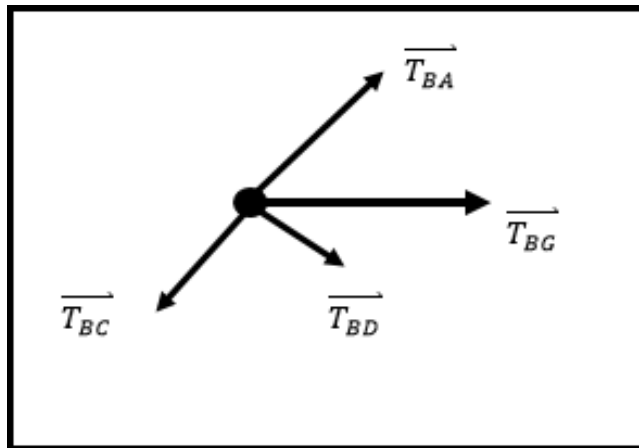


Figura 0.2: Diagrama de cuerpo libre de nodo B de la estructura completa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$A = (0\hat{i} + 18\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$B = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$C = (4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$D = (-4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$G = (0\hat{i} + 36\hat{j} + 0\hat{k})$$

Para conector BA:

$$\vec{T}_{BA} = T_{BA} * \frac{\vec{BA}}{|\vec{BA}|} = \frac{((0\hat{i} + 18\hat{j} + 6\hat{k})) * T_{AB}}{18.974} = (0\hat{i} + 0.949\hat{j} + 0.316\hat{k}) * T_{BA}$$

Para conector BG:

$$\vec{T}_{BG} = T_{BG} * \frac{\vec{BG}}{|\vec{BG}|} = \frac{((0\hat{i} + 36\hat{j} + 0\hat{k})) * T_{BG}}{36} = (0\hat{i} + 1\hat{j} + 0\hat{k}) * T_{BG}$$

Para conector BC:

$$\vec{T}_{BC} = T_{BC} * \frac{\vec{BC}}{|\vec{BC}|} = \frac{((4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})) * T_{BC}}{5} = (0.8\hat{i} + 0\hat{j} - 0.6\hat{k}) * T_{BC}$$

Para conector BD:

$$\vec{T}_{BD} = T_{BD} * \frac{\vec{BD}}{|\vec{BD}|} = \frac{((4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})) * T_{BD}}{5} = (-0.8\hat{i} + 0\hat{j} - 0.6\hat{k}) * T_{BD}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } \frac{W_{Total}}{2} = \frac{462}{2} = 231[\text{ton}].$$

$$\vec{W}_{Total} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 231\hat{k} + 0.208\hat{k}) [\text{ton}]$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.2: Resumen de tensiones para nodo B para primera alternativa.

$$\begin{aligned}\vec{T}_{BA} &= (0T_{BA}\hat{i} + 0.949T_{BA}\hat{j} + 0.316T_{BA}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{BG} &= (0T_{BG}\hat{i} + T_{BG}\hat{j} + 0T_{BG}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{BC} &= (0.8T_{BC}\hat{i} + 0T_{BC}\hat{j} - 0.6T_{BC}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{BD} &= (-0.8T_{BD}\hat{i} + 0T_{BD}\hat{j} - 0.6T_{BD}\hat{k}) [m] \\ \vec{W}_{Total} &= (0\hat{i} + 0\hat{j} + 231\hat{k} + 0.208\hat{k}) [ton]\end{aligned}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_x = 0: 0.8T_{BC} - 0.8T_{BD} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0: 0.949T_{BA} + T_{BG} = 0 \quad (ii)$$

$$\sum F_z = 0: 0.316T_{BA} - 0.6T_{BC} - 0.6T_{BD} + 231.208 = 0 \quad (iii)$$

De (i) tenemos;

$$T_{BD} = T_{BC}$$

De (ii) y sabiendo que $T_{BA} = T_{AB} = 733.642 [ton]$

$$T_{BG} = -0.949 * T_{BA} = -0.949 * 733.642 = -696.227 [ton]$$

De (i) reemplazando en (iii) tenemos;

$$0.316T_{BA} - 0.6T_{BC} - 0.6T_{BC} + 231 \Rightarrow T_{BC} = \frac{231.208 + 0.316 * 733.642}{1.2}$$

$$= 385.866 \text{ [ton]}$$

Así mismo,

$$T_{BD} = 385.866 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, el tubo de acero macizo debe resistir una fuerza en compresión aproximada a 696.227 toneladas, mientras que los cables T_{BD} y T_{BC} debe resistir una tensión mínima de 385.866 toneladas.

Nodo C:

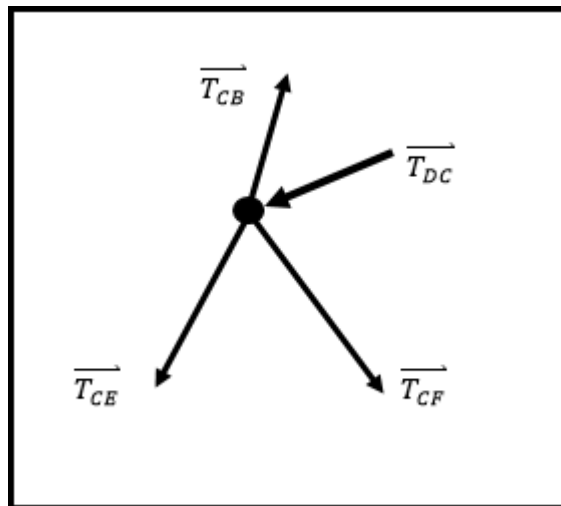


Figura 0.3: Diagrama de cuerpo libre para nodo C de la estructura completa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$B = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$C = (4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$D = (-4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$E = (4\hat{i} - 2\hat{j} - 12\hat{k})$$

$$F = (4\hat{i} + 6\hat{j} - 12\hat{k})$$

Para conector CB:

$$\vec{T}_{CB} = T_{CB} * \frac{\vec{CB}}{|\vec{CB}|} = \frac{((-4\hat{i} + 0\hat{j} + 3\hat{k})) * T_{CB}}{5} = (-0.8\hat{i} + 0\hat{j} + 0.6\hat{k}) * T_{CB}$$

Para conector DC:

$$\vec{T}_{DC} = T_{DC} * \frac{\vec{DC}}{|\vec{DC}|} = \frac{((8\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})) * T_{DC}}{8} = (1\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k}) * T_{DC}$$

Para conector CE:

$$\vec{T}_{CE} = T_{CE} * \frac{\vec{CE}}{|\vec{CE}|} = \frac{((0\hat{i} - 2\hat{j} - 9\hat{k})) * T_{CE}}{9.220} = (0\hat{i} - 0.22\hat{j} - 0.976.6\hat{k}) * T_{CE}$$

Para conector CF:

$$\vec{T}_{CF} = T_{CF} * \frac{\vec{CF}}{|\vec{CF}|} = \frac{((0\hat{i} + 6\hat{j} - 9\hat{k})) * T_{CF}}{10.817} = (0\hat{i} + 0.555\hat{j} - 0.832\hat{k}) * T_{CF}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } \frac{W_{Total}}{2} = \frac{231}{2} = 115.5 \text{ [ton]}.$$

$$\vec{W}_{Total} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 115.5\hat{k}) \text{ [ton]}$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.3: Resumen de tensiones para nodo C para primera alternativa.

$$\begin{aligned}\vec{T}_{CB} &= (-0.8T_{CB}\hat{i} + 0T_{CB}\hat{j} + 0.6T_{CB}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{DC} &= (T_{DC}\hat{i} + 0T_{DC}\hat{j} + 0T_{DC}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{CE} &= (0T_{CE}\hat{i} - 0.220T_{CE}\hat{j} - 0.976T_{CE}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{CF} &= (0T_{CF}\hat{i} + 0.555T_{CF}\hat{j} - 0.832T_{CF}\hat{k}) [m] \\ \vec{W}_{Total} &= (0\hat{i} + 0\hat{j} + 115.5\hat{k}) [ton]\end{aligned}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_x = 0: -0.8T_{CB} + T_{DC} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0: -0.220T_{CE} + 0.555T_{CF} = 0 \quad (ii)$$

$$\sum F_z = 0: 0.6T_{CB} - 0.976T_{CE} - 0.832T_{CF} + 115.5 = 0 \quad (iii)$$

De (i) tenemos;

$$T_{DC} = 0.8 * T_{CB} = 0.8 * 385.866 = 308.693 [ton]$$

De (ii) tenemos;

$$T_{CF} = \frac{0.220T_{CE}}{0.555} = 0.396T_{CE}$$

De (i) reemplazando en (iii) tenemos;

$$0.6T_{CB} - 0.976T_{CE} - 0.832T_{CF} + 115.5$$

$$\Rightarrow 0.6 * 385.866 - 0.976T_{CE} - 0.832 * 0.396T_{CE} + 115.5$$

$$\Rightarrow T_{CE} = \frac{346.5}{1.306} = 265.712 \text{ [ton]}$$

Mientras que;

$$T_{CF} = 0.396 * 265.712 = 105.222 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, los cables T_{CE} y T_{CF} debe resistir una tensión mínima de 265.712 y 105.222 toneladas respectivamente. El tubo de acero macizo T_{DC} debe resistir una fuerza de compresión de 308.693 toneladas.

Nodo G:

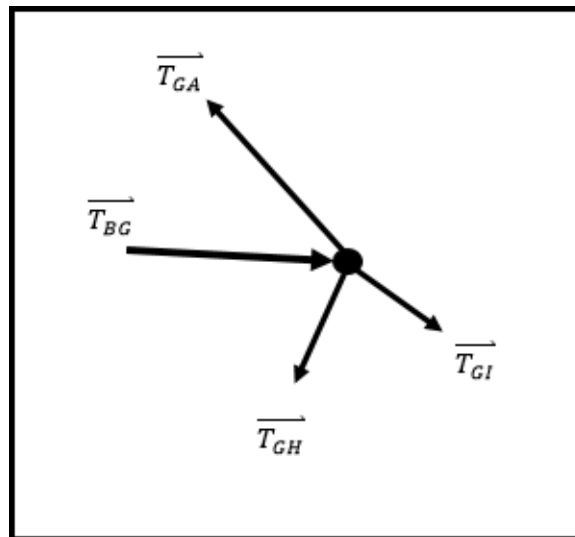


Figura 0.4: Diagrama de cuerpo libre para nodo G de la estructura completa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$A = (0\hat{i} + 18\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$B = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$G = (0\hat{i} + 36\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$H = (4\hat{i} + 36\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$I = (-4\hat{i} + 36\hat{j} - 3\hat{k})$$

Para conector GA:

$$\vec{T}_{GA} = T_{GA} * \frac{\vec{GA}}{|\vec{GA}|} = \frac{((0\hat{i} - 18\hat{j} + 6\hat{k})) * T_{GA}}{18.974} = (0\hat{i} - 0.949\hat{j} + 0.316\hat{k}) * T_{GA}$$

Para conector BG:

$$\vec{T}_{BG} = T_{BG} * \frac{\vec{BG}}{|\vec{BG}|} = \frac{((0\hat{i} + 36\hat{j} + 0\hat{k})) * T_{BG}}{36} = (0\hat{i} + \hat{j} + 0\hat{k}) * T_{BG}$$

Para conector GH:

$$\vec{T}_{GH} = T_{GH} * \frac{\vec{GH}}{|\vec{GH}|} = \frac{((4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})) * T_{GH}}{5} = (0.8\hat{i} + 0\hat{j} - 0.6\hat{k}) * T_{GH}$$

Para conector GI:

$$\vec{T}_{GI} = T_{GI} * \frac{\vec{GI}}{|\vec{GI}|} = \frac{((-4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})) * T_{GI}}{5} = (-0.8\hat{i} + 0\hat{j} - 0.6\hat{k}) * T_{GI}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } \frac{W_{Total}}{2} = \frac{462}{2} = 231 \text{ [ton].}$$

$$\vec{W}_{Total} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 231\hat{k} + 0.208\hat{k}) \text{ [ton]}$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.4: Resumen de tensiones para nodo G para primera alternativa.

$$\begin{aligned}\vec{T}_{GA} &= (0T_{GA}\hat{i} - 0.949T_{GA}\hat{j} + 0.316T_{GA}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{BG} &= (0T_{GB}\hat{i} + \hat{j} + 0T_{GB}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{GH} &= (0.8T_{GH}\hat{i} + 0T_{GH}\hat{j} - 0.6T_{GH}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{GI} &= (-0.8T_{GI}\hat{i} + 0T_{GI}\hat{j} - 0.6T_{GI}\hat{k}) [m] \\ \vec{W}_{Total} &= (0\hat{i} + 0\hat{j} + 231.208) [ton]\end{aligned}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_x = 0: 0.8T_{GH} - 0.8T_{GI} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0: -0.949T_{GA} + T_{BG} = 0 \quad (ii)$$

$$\sum F_z = 0: 0.316T_{GA} - 0.6T_{GH} - 0.6T_{GI} + 231.208 = 0 \quad (iii)$$

De (i) tenemos;

$$T_{GI} = T_{GH}$$

De (ii) y $T_{AG} = T_{GA} = 731.013 \text{ ton}$, tenemos;

$$T_{BG} = 0.949T_{GA} = 0.949 * 733.642 = 696.227 [ton]$$

De (i) y (ii) reemplazando en (iii) tenemos;

$$0.316T_{GA} - 0.6T_{GI} - 0.6T_{GI} + 231.208 \Rightarrow T_{GI} = \frac{463.039}{1.2} = 385.866 [ton]$$

Mientras que;

$$T_{GH} = 385 \text{ [ton]}$$

$$T_{BG} = 693.731 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, los cables T_{GH} y T_{GI} debe resistir una tensión mínima de 385 toneladas. El tubo de acero macizo T_{GB} debe resistir una fuerza de compresión de 693.731 toneladas.

Nodo H:

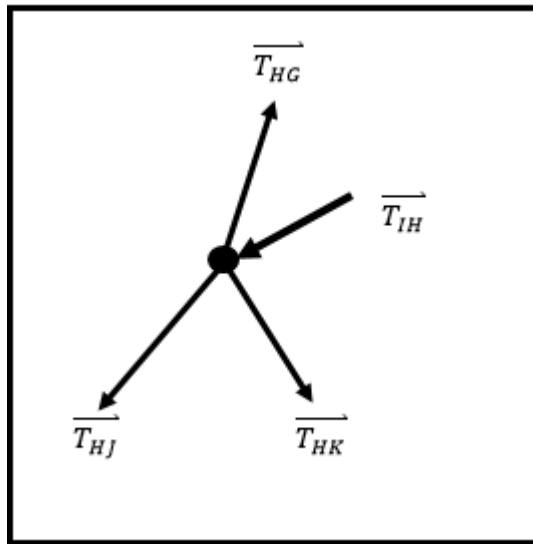


Figura 0.5: Diagrama de cuerpo libre para nodo H de la estructura completa.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$H = (4\hat{i} + 36\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$I = (-4\hat{i} + 36\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$J = (4\hat{i} + 30\hat{j} - 12\hat{k})$$

$$K = (4\hat{i} + 38\hat{j} - 12\hat{k})$$

$$G = (0\hat{i} + 36\hat{j} + 0\hat{k})$$

Para conector HG:

$$\vec{T}_{HG} = T_{HG} * \frac{\overrightarrow{HG}}{|\overrightarrow{HG}|} = \frac{((-4\hat{i} + 0\hat{j} + 3\hat{k})) * T_{HG}}{5} = (-0.8\hat{i} + 0\hat{j} + 0.6\hat{k}) * T_{HG}$$

Para conector IH:

$$\vec{T}_{IH} = T_{IH} * \frac{\overrightarrow{IH}}{|\overrightarrow{IH}|} = \frac{((8\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})) * T_{IH}}{8} = (1\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k}) * T_{IH}$$

Para conector HJ:

$$\vec{T}_{HJ} = T_{HJ} * \frac{\overrightarrow{HJ}}{|\overrightarrow{HJ}|} = \frac{((0\hat{i} - 6\hat{j} - 9\hat{k})) * T_{HJ}}{10.817} = (0\hat{i} - 0.555\hat{j} - 0.832\hat{k}) * T_{HJ}$$

Para conector HK:

$$\vec{T}_{HK} = T_{HK} * \frac{\overrightarrow{HK}}{|\overrightarrow{HK}|} = \frac{((0\hat{i} + 2\hat{j} - 9\hat{k})) * T_{HK}}{9.220} = (0\hat{i} + 0.220\hat{j} - 0.976\hat{k}) * T_{HK}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } \frac{W_{Total}}{2} = \frac{231}{2} = 115.5 \text{ [ton]}.$$

$$\overrightarrow{W_{Total}} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 115.5\hat{k}) \text{ [ton]}$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.5: Resumen de tensiones para nodo H para primera alternativa.

$$\begin{aligned}\vec{T}_{HG} &= (-0.8T_{HG}\hat{i} + 0T_{HG}\hat{j} + 0.6T_{HG}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{IH} &= (T_{IH}\hat{i} + 0T_{IH}\hat{j} + 0T_{IH}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{HJ} &= (0T_{HJ}\hat{i} + 0.220T_{HJ}\hat{j} - 0.976T_{HJ}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{HK} &= (0T_{HK}\hat{i} - 0.555T_{HK}\hat{j} - 0.832T_{HK}\hat{k}) [m] \\ \vec{W}_{Total} &= (0\hat{i} + 0\hat{j} + 115.5\hat{k}) [ton]\end{aligned}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_x = 0: -0.8T_{HG} + T_{IH} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0: 0.220T_{HK} - 0.555T_{HJ} = 0 \quad (ii)$$

$$\sum F_z = 0: 0.6T_{HG} - 0.832T_{HJ} - 0.976T_{HK} + 115.5 = 0 \quad (iii)$$

De (i) y $T_{GH} = T_{HG} = 385 \text{ ton}$, tenemos;

$$T_{IH} = 0.8T_{HG} = 0.8 * 385.866 = 308.693 [ton]$$

De (ii) tenemos;

$$-0.555T_{HJ} + 0.220T_{HK} = T_{HJ} = \left(\frac{0.220T_{HK}}{0.555}\right) = 0.396T_{HK}$$

De (ii) reemplazando en (iii) tenemos;

$$\begin{aligned}0.6 * 385.866 - 0.832 * 0.396T_{HK} - 0.976T_{HK} + 115.5 &\rightarrow T_{HK} = \frac{347.020}{1.306} \\ &= 265.712 [ton]\end{aligned}$$

Mientras que;

$$T_{HJ} = 0.396 * 265.712 = 105.222 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, los cables T_{HK} y T_{HJ} debe resistir una tensión mínima de 265.712 y 105.222 toneladas respectivamente. El tubo de acero macizo T_{IH} debe resistir una fuerza de compresión de 308.693 toneladas.

ANEXO B

Cálculo de tensiones RAM Poderoso particionado.

Nodo A:

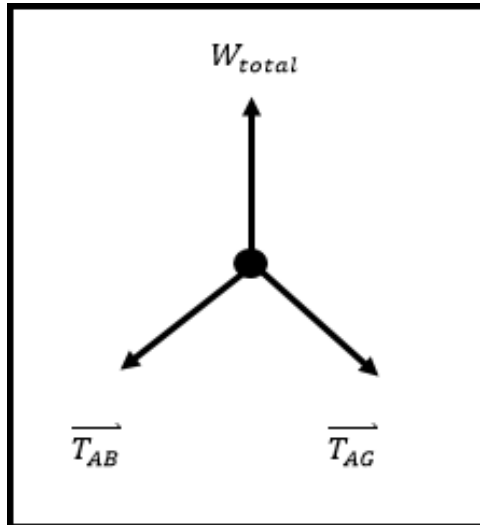


Figura 0.6: Diagrama de cuerpo libre de nodo A para remolcador particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$A = (0\hat{i} + 6\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$B = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$G = (0\hat{i} + 12\hat{j} + 0\hat{k})$$

Para conector AB:

$$\overline{AB} = (0\hat{i} - 6\hat{j} - 6\hat{k})$$

$$|\overline{AB}| = \sqrt{0^2 + (-6)^2 + (-6)^2} = 8.485 \text{ m}$$

$$\vec{T}_{AB} = T_{AB} * \frac{\overline{AB}}{|\overline{AB}|} = \frac{((0\hat{i} - 6\hat{j} - 6\hat{k})) * T_{AB}}{8.485} = (0\hat{i} - 0.707\hat{j} - 0.707\hat{k}) * T_{AB}$$

Para conector AG:

$$\overline{AG} = (0\hat{i} + 6\hat{j} - 6\hat{k})$$

$$|\overline{AG}| = \sqrt{0^2 + (6)^2 + (-6)^2} = 8.485 \text{ m}$$

$$\vec{T}_{AG} = T_{AG} * \frac{\overline{AG}}{|\overline{AG}|} = \frac{((0\hat{i} + 6\hat{j} - 6\hat{k})) * T_{AG}}{8.485} = (0\hat{i} + 0.707\hat{j} - 0.707\hat{k}) * T_{AG}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } W_{Total} = W_{arena} + W_{Arm} + W_r = 198 \text{ [ton]}.$$

$$\overline{W_{Total}} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 198\hat{k} + 0.554\hat{k}) \text{ [ton]}$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.6: Resumen de tensiones para nodo A para segunda alternativa.

$$\vec{T}_{AB} = (0T_{AB}\hat{i} - 0.707T_{AB}\hat{j} - 0.707T_{AB}\hat{k}) \text{ [ton]}$$

$$\vec{T}_{AG} = (0T_{AG}\hat{i} + 0.707T_{AG}\hat{j} - 0.707T_{AG}\hat{k}) \text{ [ton]}$$

$$\overline{W_{Total}} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 198\hat{k} + 0.554\hat{k}) \text{ [ton]}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_y = 0: -0.707T_{AB} + 0.707T_{AG} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_z = 0: -0.707T_{AB} - 0.707T_{AG} + 198.554 = 0 \quad (ii)$$

De (i) tenemos;

$$T_{AB} = T_{AG}$$

De (ii) tenemos;

$$T_{AB} = \frac{198.554}{1.414} = 140.420 \text{ [ton]}$$

De (i) reemplazamos;

$$T_{AG} = T_{AB} = 140.420 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, las tensiones de los cables T_{AG} y T_{AB} debe ser mayor a 140.420 toneladas.

Nodo B:

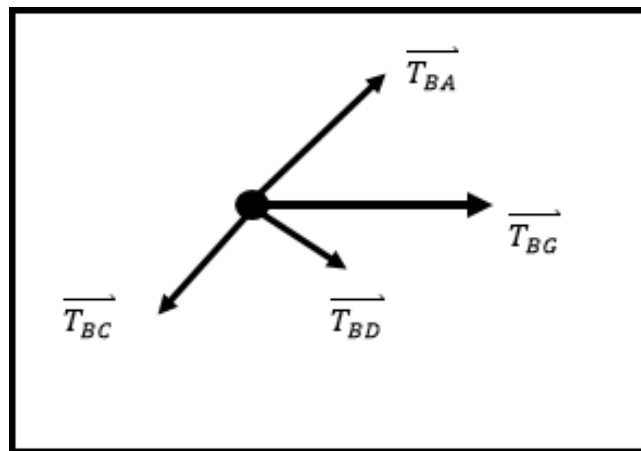


Figura 0.7: Diagrama de cuerpo libre de nodo B para remolcador particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$A = (0\hat{i} + 6\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$B = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$C = (4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$D = (-4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$G = (0\hat{i} + 12\hat{j} + 0\hat{k})$$

Para conector BA:

$$\vec{T}_{BA} = T_{BA} * \frac{\overline{BA}}{|\overline{BA}|} = \frac{((0\hat{i} + 6\hat{j} + 6\hat{k})) * T_{AB}}{8.485} = (0\hat{i} + 0.707\hat{j} + 0.707\hat{k}) * T_{BA}$$

Para conector BG:

$$\vec{T}_{GB} = T_{GB} * \frac{\overline{GB}}{|\overline{GB}|} = \frac{((0\hat{i} - 12\hat{j} + 0\hat{k})) * T_{GB}}{12} = (0\hat{i} - \hat{j} + 0\hat{k}) * T_{GB}$$

Para conector BC:

$$\vec{T}_{BC} = T_{BC} * \frac{\overline{BC}}{|\overline{BC}|} = \frac{((4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})) * T_{BC}}{5} = (0.8\hat{i} + 0\hat{j} - 0.6\hat{k}) * T_{BC}$$

Para conector BD:

$$\vec{T}_{BD} = T_{BD} * \frac{\overline{BD}}{|\overline{BD}|} = \frac{((4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})) * T_{BD}}{5} = (-0.8\hat{i} + 0\hat{j} - 0.6\hat{k}) * T_{BD}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } \frac{W_{Total}}{2} = \frac{146}{2} = 73[\text{ton}].$$

$$\overline{W_{Total}} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 99\hat{k} + 0.208\hat{k}) [\text{ton}]$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.7: Resumen de tensiones para nodo B para segunda alternativa.

$$\begin{aligned}\vec{T}_{BA} &= (0T_{BA}\hat{i} + 0.707T_{BA}\hat{j} + 0.707T_{BA}\hat{k}) [ton] \\ \vec{T}_{BG} &= (0T_{BG}\hat{i} - T_{BG}\hat{j} + 0T_{BG}\hat{k}) [ton] \\ \vec{T}_{BC} &= (0.8T_{BC}\hat{i} + 0T_{BC}\hat{j} - 0.6T_{BC}\hat{k}) [ton] \\ \vec{T}_{BD} &= (-0.8T_{BD}\hat{i} + 0T_{BD}\hat{j} - 0.6T_{BD}\hat{k}) [ton] \\ \vec{W}_{Total} &= (0\hat{i} + 0\hat{j} + 99.208\hat{k}) [ton]\end{aligned}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_x = 0: 0.8T_{BC} - 0.8T_{BD} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0: 0.707T_{BA} - T_{BG} = 0 \quad (ii)$$

$$\sum F_z = 0: 0.707T_{BA} - 0.6T_{BC} - 0.6T_{BD} + 99.208 = 0 \quad (iii)$$

De (i) tenemos;

$$T_{BD} = T_{BC}$$

De (ii) y sabiendo que $T_{BA} = T_{AB} = 140.420 [ton]$

$$T_{GB} = 0.707 * T_{BA} = 0.707 * 140.420 = 99.277 [ton]$$

De (i) reemplazando en (iii) tenemos;

$$0.707T_{BA} - 0.6T_{BC} - 0.6T_{BC} + 99.208 \rightarrow T_{BC} = \frac{99.208 + 0.707 * 140.420}{1.2}$$

$$= 165.404 \text{ [ton]}$$

Así mismo,

$$T_{BD} = 165.404 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, el tubo de acero macizo debe resistir una fuerza en compresión aproximada a 99.277 toneladas, mientras que los cables T_{BD} y T_{BC} debe resistir una tensión mínima de 165.404 toneladas.

Nodo C:

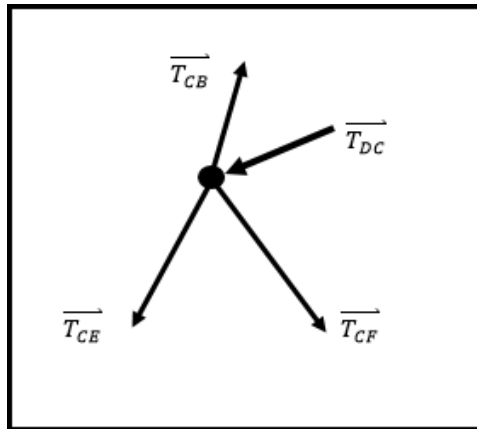


Figura 0.8: Diagrama de cuerpo libre para nodo C para remolcador particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$B = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$C = (4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$D = (-4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$E = (4\hat{i} - 2\hat{j} - 12\hat{k})$$

$$F = (4\hat{i} + 6\hat{j} - 12\hat{k})$$

Para conector CB:

$$\vec{T}_{CB} = T_{CB} * \frac{\vec{CB}}{|\vec{CB}|} = \frac{((-4\hat{i} + 0\hat{j} + 3\hat{k})) * T_{CB}}{5} = (-0.8\hat{i} + 0\hat{j} + 0.6\hat{k}) * T_{CB}$$

Para conector DC:

$$\vec{T}_{DC} = T_{DC} * \frac{\vec{DC}}{|\vec{DC}|} = \frac{((8\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})) * T_{DC}}{8} = (1\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k}) * T_{DC}$$

Para conector CE:

$$\vec{T}_{CE} = T_{CE} * \frac{\vec{CE}}{|\vec{CE}|} = \frac{((0\hat{i} - 2\hat{j} - 9\hat{k})) * T_{CE}}{9.220} = (0\hat{i} - 0.22\hat{j} - 0.976\hat{k}) * T_{CE}$$

Para conector CF:

$$\vec{T}_{CF} = T_{CF} * \frac{\vec{CF}}{|\vec{CF}|} = \frac{((0\hat{i} + 6\hat{j} - 9\hat{k})) * T_{CF}}{10.817} = (0\hat{i} + 0.555\hat{j} - 0.832\hat{k}) * T_{CF}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } \frac{W_{Total}}{2} = \frac{99}{2} = 49.5 \text{ [ton]}.$$

$$\vec{W}_{Total} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 49.5\hat{k}) \text{ [ton]}$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.8: Resumen de tensiones para nodo C para segunda alternativa.

$$\begin{aligned}\vec{T}_{CB} &= (-0.8T_{CB}\hat{i} + 0T_{CB}\hat{j} + 0.6T_{CB}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{DC} &= (T_{DC}\hat{i} + 0T_{DC}\hat{j} + 0T_{DC}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{CE} &= (0T_{CE}\hat{i} - 0.220T_{CE}\hat{j} - 0.976T_{CE}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{CF} &= (0T_{CF}\hat{i} + 0.555T_{CF}\hat{j} - 0.832T_{CF}\hat{k}) [m] \\ \vec{W}_{Total} &= (0\hat{i} + 0\hat{j} + 49.5\hat{k}) [ton]\end{aligned}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_x = 0: -0.8T_{CB} + T_{DC} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0: -0.220T_{CE} + 0.555T_{CF} = 0 \quad (ii)$$

$$\sum F_z = 0: 0.6T_{CB} - 0.976T_{CE} - 0.832T_{CF} + 49.5 = 0 \quad (iii)$$

De (i) tenemos;

$$T_{DC} = 0.8 * T_{CB} = 0.8 * 165.404 = 132.323 [ton]$$

De (ii) tenemos;

$$T_{CF} = \frac{0.220T_{CE}}{0.555} = 0.396T_{CE}$$

De (i) reemplazando en (iii) tenemos;

$$0.6T_{CB} - 0.976T_{CE} - 0.832T_{CF} + 49.5$$

$$\Rightarrow 0.6 * 165.404 - 0.976T_{CE} - 0.832 * 0.396T_{CE} + 49.5$$

$$\Rightarrow T_{CE} = \frac{148.743}{1.305} = 113.938 \text{ [ton]}$$

Mientras que;

$$T_{CF} = 0.396 * 113.938 = 45.119 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, los cables T_{CE} y T_{CF} debe resistir una tensión mínima de 113.938 y 45.119 toneladas respectivamente. El tubo de acero macizo T_{DC} debe resistir una fuerza de compresión de 132.323 toneladas.

Nodo G:

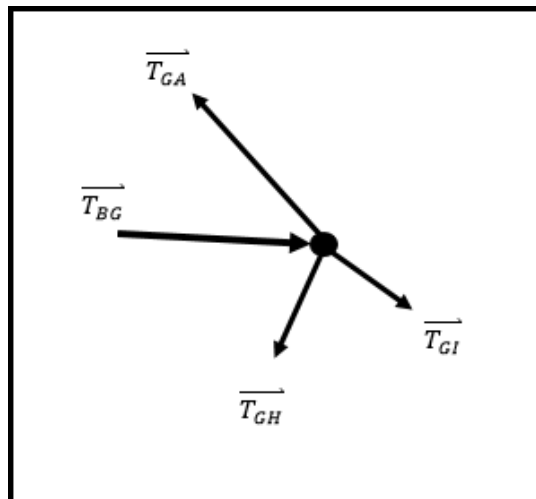


Figura 0.9: Diagrama de cuerpo libre para nodo G para remolcador particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$A = (0\hat{i} + 6\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$B = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$G = (0\hat{i} + 12\hat{j} + 0\hat{k})$$

$$H = (4\hat{i} + 12\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$I = (-4\hat{i} + 12\hat{j} - 3\hat{k})$$

Para conector GA:

$$\vec{T}_{GA} = T_{GA} * \frac{\vec{GA}}{|\vec{GA}|} = \frac{((0\hat{i} - 6\hat{j} + 6\hat{k})) * T_{GA}}{8.485} = (0\hat{i} - 0.707\hat{j} + 0.707\hat{k}) * T_{GA}$$

Para conector BG:

$$\vec{T}_{BG} = T_{BG} * \frac{\vec{BG}}{|\vec{BG}|} = \frac{((0\hat{i} + 12\hat{j} + 0\hat{k})) * T_{BG}}{12} = (0\hat{i} + \hat{j} + 0\hat{k}) * T_{BG}$$

Para conector GH:

$$\vec{T}_{GH} = T_{GH} * \frac{\vec{GH}}{|\vec{GH}|} = \frac{((4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})) * T_{GH}}{5} = (0.8\hat{i} + 0\hat{j} - 0.6\hat{k}) * T_{GH}$$

Para conector GI:

$$\vec{T}_{GI} = T_{GI} * \frac{\vec{GI}}{|\vec{GI}|} = \frac{((-4\hat{i} + 0\hat{j} - 3\hat{k})) * T_{GI}}{5} = (-0.8\hat{i} + 0\hat{j} - 0.6\hat{k}) * T_{GI}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } \frac{W_{Total}}{2} = \frac{198}{2} = 99 \text{ [ton]}.$$

$$\vec{W}_{Total} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 99\hat{k} + 0.208\hat{k}) \text{ [ton]}$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.9: Resumen de tensiones para nodo G para segunda alternativa.

$$\begin{aligned}\vec{T}_{GA} &= (0T_{GA}\hat{i} - 0.707T_{GA}\hat{j} + 0.707T_{GA}\hat{k}) \text{ [ton]} \\ \vec{T}_{BG} &= (0T_{BG}\hat{i} + \vec{T}_{BG}\hat{j} + 0T_{BG}\hat{k}) \text{ [ton]} \\ \vec{T}_{GH} &= (0.8T_{GH}\hat{i} + 0T_{GH}\hat{j} - 0.6T_{GH}\hat{k}) \text{ [ton]} \\ \vec{T}_{GI} &= (-0.8T_{GI}\hat{i} + 0T_{GI}\hat{j} - 0.6T_{GI}\hat{k}) \text{ [ton]} \\ \vec{W}_{Total} &= (0\hat{i} + 0\hat{j} + 73.208\hat{k}) \text{ [ton]}\end{aligned}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_x = 0: 0.8T_{GH} - 0.8T_{GI} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0: -0.707T_{GA} + T_{BG} = 0 \quad (ii)$$

$$\sum F_z = 0: 0.707T_{GA} - 0.6T_{GH} - 0.6T_{GI} + 99.208 = 0 \quad (iii)$$

De (i) tenemos;

$$T_{GI} = T_{GH}$$

De (ii) y $T_{AG} = T_{GA} = 103.645 \text{ ton}$, tenemos;

$$T_{BG} = 0.707T_{GA} = 0.707 * 140.420 = 99.277 \text{ [ton]}$$

De (i) y (ii) reemplazando en (iii) tenemos;

$$0.707T_{GA} - 0.6T_{GI} - 0.6T_{GI} + 99.208 \Rightarrow T_{GI} = \frac{198.485}{1.2} = 165.404 \text{ [ton]}$$

Mientras que;

$$T_{GH} = 165.404 \text{ [ton]}$$

$$T_{BG} = 99.277 \text{ [ton]}$$

Por lo tanto, los cables T_{GH} y T_{GI} debe resistir una tensión mínima de 165.404 toneladas. El tubo de acero macizo T_{BG} debe resistir una fuerza de compresión de 99.277 toneladas.

Nodo H:

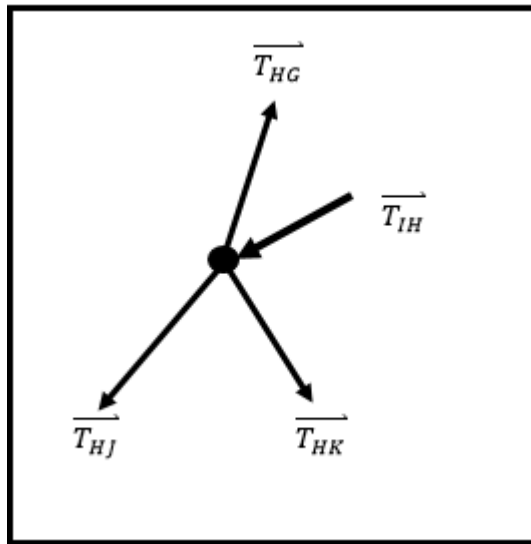


Figura 0.10: Diagrama de cuerpo libre para nodo H para remolcador particionado.

Fuente: Elaborado por: Diego Vargas Herrera.

Las componentes:

$$H = (4\hat{i} + 12\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$I = (-4\hat{i} + 12\hat{j} - 3\hat{k})$$

$$J = (4\hat{i} + 6\hat{j} - 12\hat{k})$$

$$K = (4\hat{i} + 14\hat{j} - 12\hat{k})$$

$$G = (0\hat{i} + 12\hat{j} + 0\hat{k})$$

Para conector HG:

$$\vec{T}_{HG} = T_{HG} * \frac{\overrightarrow{HG}}{|\overrightarrow{HG}|} = \frac{((-4\hat{i} + 0\hat{j} + 3\hat{k})) * T_{HG}}{5} = (-0.8\hat{i} + 0\hat{j} + 0.6\hat{k}) * T_{HG}$$

Para conector IH:

$$\vec{T}_{IH} = T_{IH} * \frac{\overrightarrow{IH}}{|\overrightarrow{IH}|} = \frac{((8\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k})) * T_{IH}}{8} = (1\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k}) * T_{IH}$$

Para conector HJ:

$$\vec{T}_{HJ} = T_{HJ} * \frac{\overrightarrow{HJ}}{|\overrightarrow{HJ}|} = \frac{((0\hat{i} - 6\hat{j} - 9\hat{k})) * T_{HJ}}{10.817} = (0\hat{i} - 0.555\hat{j} - 0.832\hat{k}) * T_{HJ}$$

Para conector HK:

$$\vec{T}_{HK} = T_{HK} * \frac{\overrightarrow{HK}}{|\overrightarrow{HK}|} = \frac{((0\hat{i} + 2\hat{j} - 9\hat{k})) * T_{HK}}{9.220} = (0\hat{i} + 0.220\hat{j} - 0.976\hat{k}) * T_{HK}$$

Para W_{Total} :

$$\text{Con } \frac{W_{Total}}{2} = \frac{99}{2} = 49.5 \text{ [ton]}.$$

$$\overrightarrow{W_{Total}} = (0\hat{i} + 0\hat{j} + 49.5\hat{k}) \text{ [ton]}$$

Tabla de resumen;

Tabla 0.10: Resumen de tensiones para nodo H para segunda alternativa.

$$\begin{aligned}\vec{T}_{HG} &= (-0.8T_{HG}\hat{i} + 0T_{HG}\hat{j} + 0.6T_{HG}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{IH} &= (T_{IH}\hat{i} + 0T_{IH}\hat{j} + 0T_{IH}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{HJ} &= (0T_{HJ}\hat{i} - 0.555T_{HJ}\hat{j} - 0.832T_{HJ}\hat{k}) [m] \\ \vec{T}_{HK} &= (0T_{HK}\hat{i} - 0.220T_{HK}\hat{j} - 0.976T_{HK}\hat{k}) [m] \\ \vec{W}_{Total} &= (0\hat{i} + 0\hat{j} + 49.5\hat{k}) [ton]\end{aligned}$$

Realizando sumatoria de fuerzas se tiene;

$$\sum F_x = 0: -0.8T_{HG} + T_{IH} = 0 \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0: 0.220T_{HK} - 0.555T_{HJ} = 0 \quad (ii)$$

$$\sum F_z = 0: 0.6T_{HG} - 0.832T_{HJ} - 0.976T_{HK} + 49.5 = 0 \quad (iii)$$

De (i) y $T_{GH} = T_{HG} = 165.404 \text{ ton}$, tenemos;

$$T_{IH} = 0.8T_{HG} = 0.8 * 165.404 = 132.323 [ton]$$

De (ii) tenemos;

$$-0.555T_{HJ} + 0.220T_{HK} = T_{HJ} = \left(\frac{0.220T_{HK}}{0.555}\right) = 0.396T_{HK}$$

De (ii) reemplazando en (iii) tenemos;

$$0.6 * 165.404 - 0.832 * 0.396T_{HK} - 0.976T_{HK} + 49.5 \rightarrow T_{HK} = \frac{148.743}{1.305}$$
$$= 113.938 [ton]$$

Mientras que;

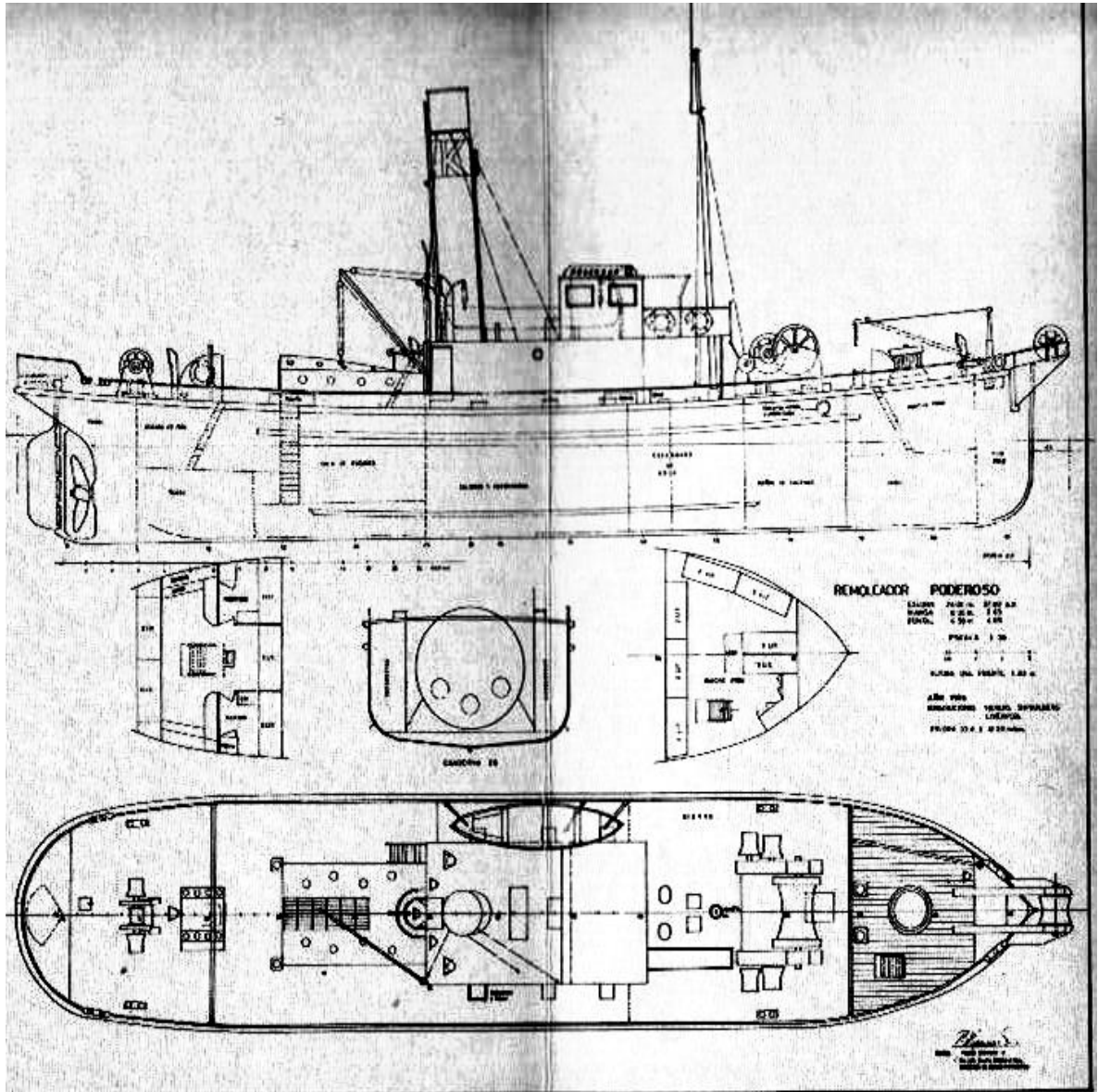
$$T_{HJ} = 0.396 * 113.938 = 45.119 [ton]$$

Por lo tanto, los cables T_{HK} y T_{HJ} debe resistir una tensión mínima de 113.938 y 45.119 toneladas respectivamente. El tubo de acero macizo T_{IH} debe resistir una fuerza de compresión de 132.323 toneladas.

ANEXO C

Plano RAM Poderoso

Se adjunta imagen de los planos originales del RAM Poderoso.



Fuente: Corporación RAM Poderoso..

ANEXO D

Catálogo Grúa Manitowoc4100 (RAM Poderoso completo)

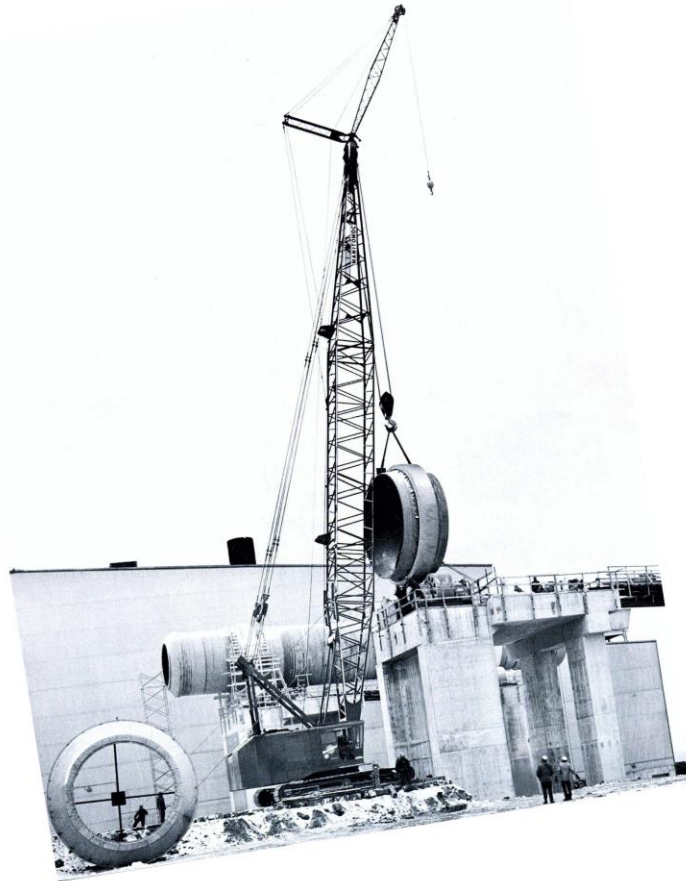


Figura 0.12: Grúa Manitowoc 4100.

Fuente: MGO grúas.

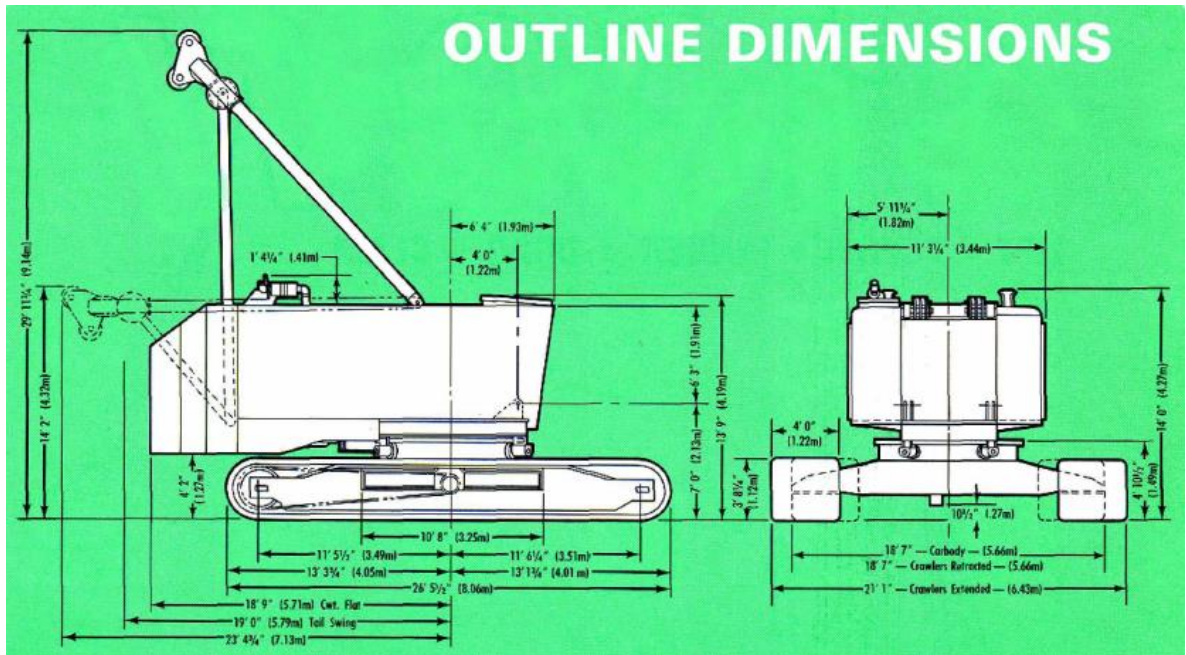


Figura 0.13: Dimensiones grúa Manitowoc 4100.

Fuente: Empresa MGO grúas.

ANEXO E

Catálogo Grúa GMK-4100 (RAM Poderoso segmentado)

Detalle del catálogo entregado por la empresa PARESCHI cuya grúa está disponible y levanta un peso total de 100 toneladas, junto a las dimensiones de esta y características técnicas.

	GROVE GMK-4100	100 T																																	
	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:																																		
	<table border="1"><tr><td>Código:</td><td>G-26</td></tr><tr><td>Patente:</td><td></td></tr><tr><td>Año:</td><td>2008</td></tr><tr><td>Color:</td><td>Amarillo</td></tr><tr><td>Peso Total:</td><td>48 tons.(c/CP 6,3t)</td></tr><tr><td>Altura Máxima Pluma:</td><td>52 mts.</td></tr><tr><td>Altura Máxima c/jib:</td><td>82 mts.</td></tr><tr><td>Neumáticos:</td><td>14.00 R 25</td></tr><tr><td>Diámetro Cable Principal:</td><td>17 mm.</td></tr><tr><td>Diámetro Cable Auxiliar:</td><td>17 mm.</td></tr><tr><td>Cap. Estanque Combustible:</td><td>400 lts.</td></tr><tr><td>Cap. Estanque Hidráulico:</td><td>600 lts.</td></tr><tr><td>Motor:</td><td>M. Benz OM 460 LA</td></tr><tr><td>Tipo Motor:</td><td>Turbodiesel</td></tr><tr><td>Potencia:</td><td>401 HP</td></tr><tr><td>Vel. Máxima:</td><td>85 km/h</td></tr><tr><td>Contrapeso opcional:</td><td>8,8 tons.</td></tr></table>		Código:	G-26	Patente:		Año:	2008	Color:	Amarillo	Peso Total:	48 tons.(c/CP 6,3t)	Altura Máxima Pluma:	52 mts.	Altura Máxima c/jib:	82 mts.	Neumáticos:	14.00 R 25	Diámetro Cable Principal:	17 mm.	Diámetro Cable Auxiliar:	17 mm.	Cap. Estanque Combustible:	400 lts.	Cap. Estanque Hidráulico:	600 lts.	Motor:	M. Benz OM 460 LA	Tipo Motor:	Turbodiesel	Potencia:	401 HP	Vel. Máxima:	85 km/h	Contrapeso opcional:
Código:	G-26																																		
Patente:																																			
Año:	2008																																		
Color:	Amarillo																																		
Peso Total:	48 tons.(c/CP 6,3t)																																		
Altura Máxima Pluma:	52 mts.																																		
Altura Máxima c/jib:	82 mts.																																		
Neumáticos:	14.00 R 25																																		
Diámetro Cable Principal:	17 mm.																																		
Diámetro Cable Auxiliar:	17 mm.																																		
Cap. Estanque Combustible:	400 lts.																																		
Cap. Estanque Hidráulico:	600 lts.																																		
Motor:	M. Benz OM 460 LA																																		
Tipo Motor:	Turbodiesel																																		
Potencia:	401 HP																																		
Vel. Máxima:	85 km/h																																		
Contrapeso opcional:	8,8 tons.																																		

Figura 0.14: Características técnicas de grúa GMK-4100.

Fuente: Empresa de grúas Pareschi.

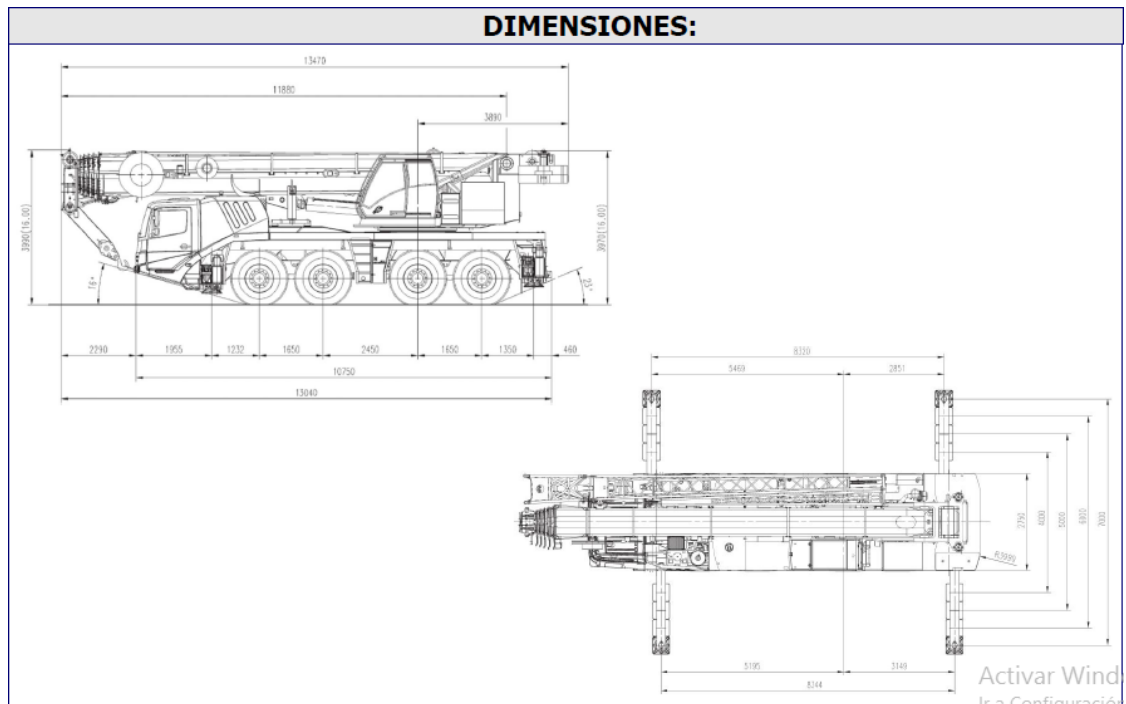


Figura 0.15: Dimensiones de grúa GMK-4100.

Fuente: Empresa de grúas Pareschi.