



Universidad de Zaragoza



Centro Politécnico Superior



Politecnico di Torino

Universidad de Zaragoza
Centro Politécnico Superior
Departamento de Ingeniería Mecánica
Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes

PROYECTO FIN DE CARRERA
Ingeniería Industrial

**NUEVO SISTEMA DE CARGA Y
DESCARGA EN GRÚAS
PORTACONTENDORES**

Directores:

Prof. Guido Belforte
Ing. Roberto Grassi

Ponente:

Dr. D. Luis Castejón Herrer

Autor:

D. Jose Lapresta Rey

Diciembre 2010

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar, quiero agradecer al profesor Guido Belforte y al ingeniero Roberto Grassi, ambos del Politécnico de Turín, por haberme dado la oportunidad de desarrollar un proyecto de estas características y por su gran disponibilidad a la hora de ayudarme pese a ser un estudiante extranjero.

Quiero agradecer también a Dr. D. Luis Castejón Herrer, el ponente de mi proyecto, por su implicación en éste pese a no ser director del mismo y por haberme dado la oportunidad de introducirme en un grupo de trabajo, dentro del Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, donde reina el buen ambiente entre todos los allí presentes.

Evidentemente, este proyecto no habría sido posible si no hubiera contado con el apoyo y consejos, a lo largo de todos estos años, de mi familia, especialmente mi madre Fina, mi hermano Ceci y mi hermana y su marido, Aurora y César. Igualmente a mi sobrinita, Cecilia.

No quiero olvidar tampoco a los amigos que también me han ayudado durante todo este largo periodo,

A todos, GRACIAS.

Jose Lapresta Rey

Zaragoza, Diciembre 2010.

NUEVO SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA EN GRÚAS PORTACONTENDORES

Resumen

El transporte de mercancías vía marítima es, actualmente, uno de los más utilizados. Por ello, los puertos se ven implicados en la búsqueda de soluciones para mejorar el proceso de carga y descarga de contenedores, con el fin de optimizar el tiempo de la acción aumentando de este modo la productividad. En concreto, el puerto SECH de Génova en colaboración con el Departamento de Mecánica del Politécnico de Turín, se encuentran estudiando diversos métodos para alcanzar esta finalidad.

El objetivo de este proyecto es dar una solución con el fin de obtener esa mejora temporal y verificar que es posible su realización. Se han tenido en cuenta las peculiaridades del puerto para desarrollar un sistema que se adapte a ellas. El punto de partida de este trabajo es otro con título *“Verifica di fattibilità di un sistema automatico di trasferimento container su vagone ferroviario”* elaborado por Stefano Colombo (2008), en el Politécnico de Turín.

En la primera parte del estudio, en primer lugar, se analizan las ideas más innovadoras encontradas tras revisar varias bases de patentes y múltiples publicaciones científicas sobre este tópico. En segundo lugar, se han realizado unos cálculos sobre la grúa tomada como punto de partida con el fin de predimensionar sus elementos, ya que sólo se aportaron sus diseños en 3D.

En una segunda parte, se han generado dos nuevas ideas posibles para agilizar el proceso citado anteriormente. Ambas soluciones crean un nuevo nivel de trabajo dentro de la grúa. Éstas permiten automatizar el proceso de almacenaje de los contenedores o descargarlos directamente sobre los trenes que se aproximan a las grúas de puerto. Éstos nuevos sistemas propuestos se sirven de elementos hidráulicos y bandas transportadoras con el objetivo de agilizar todos los movimientos. Se ha realizado un predimensionamiento de todos ellos. Además, se ha generado su diseño en 3D con la herramienta de CAD, SOLIDWORKS. Con la misma, se han creado animaciones para visualizar mejor el movimiento de los mismos.

En tercer lugar, se ha verificado también la reducción temporal en la carga/descarga de los nuevos sistemas propuestos, desde el punto de vista del movimiento del spreader.

Por último, se ha creado un estudio según el Método de los Elementos Finitos (MEF) con el fin de comprobar la resistencia mecánica del segundo sistema propuesto, ya que ese diseño es el más interesante en la reducción de tiempo. En este estudio se han utilizado los programas PATRAN y ABAQUS, para mallar y calcular respectivamente.

Como conclusión, por una parte, se verifica la reducción en el tiempo de carga y descarga, obteniéndose nuevos sistemas de “handling” que permiten una automatización del proceso con el consiguiente ahorro temporal. Por otra parte, se verifica la resistencia mecánica de todo el conjunto de la grúa, observándose cuales son las secciones con mayor sollicitación mecánica.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. ESTADO DEL ARTE.....	3
1.1.1. ANTECEDENTES.....	3
1.1.2. PUNTO DE PARTIDA	9
2. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA GRÚA.....	11
2.1. SPREADER	11
2.2. CABLES, POLEA Y VIDA.....	13
2.3. TAMBOR	14
2.4. MOTORES	14
2.4.1. MOTOR DE ELEVACIÓN	14
2.4.2. MOTOR DE TRASLACIÓN DEL CARRO	15
2.4.3. MOTOR DE TRASLACIÓN DE LA GRÚA	15
2.5. CIRCUITO DE TRASLACIÓN.....	16
2.5.1. CIRCUITO DE TRASLACIÓN DEL CARRO.....	16
2.5.2. CIRCUITO DE TRASLACIÓN DE LA GRÚA	17
2.6. ESTABILIDAD.....	18
2.6.1. CASO1- LAS DOS CARGAS ESTÁN EN LOS EXTREMOS DE LOS DOS BRAZOS PPALES.....	18
2.6.2. CASO2 - CARGA EN EL EXTREMO DEL BRAZO PRINCIPAL	18
2.6.3. CASO3 – CARGA EN EL EXTREMO DEL BRAZO SECUNDARIO	19
3. NUEVOS SISTEMAS DE CARGA/DESCARGA	21
3.1. PRIMER SISTEMA DE CARGA/DESCARGA	21
3.1.1. PRIMER SISTEMA DE DESCENSO/ELEVACIÓN	22
3.1.2. BANDA TRANSPORTADORA	23
3.1.3. SEGUNDO SISTEMA DE DESCENSO/ELEVACIÓN	27
3.2. SEGUNDO SISTEMA DE CARGA/DESCARGA.....	29
3.2.1. DESCARGA DE CONTENEDORES – BANDA TRANSPORTADORA MÓVIL.....	29
3.2.2. SISTEMA DE DESCENSO/ELEVACIÓN	31
3.2.3. SEGUNDA BANDA TRANSPORTADORA	32
3.2.4. DESCENSO DE LOS CONTENEDORES AL SUELO.....	32
4. ESTUDIO DE TIEMPOS	33
4.1. REDUCCIÓN DE TIEMPOS	35
4.1.1. TIEMPO DEL PRIMER SISTEMA.....	35
4.1.2. TIEMPO DEL SEGUNDO SISTEMA.....	36
5. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS.....	39
5.1. CARACTERISTICAS DE LA MALLA Y DEL ELEMENTO.....	39
5.2. CASOS DE CARGAS SEGÚN LA NORMA FEM.....	39
5.3. RESULTADOS TRAS EL ESTUDIO POR EL MEF	42
5.4. RESUMEN DE RESULTADOS	43
5.4.1. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	53
6. CONCLUSIONES	55
6.1. CONCLUSIONES SOBRE EL PROYECTO	55

6.2. NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	55
6.3. CONCLUSIONES PERSONALES.....	56
7. BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXO I. CÁLCULOS DEL PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA GRÚA	61
ANEXO II.DIMENSIONAMIENTO DE PERFILES DEL SPREADER.....	89
ANEXOIII. CÁLCULOS DEL PREDIMENSIONAMIENTO DEL PRIMER SISTEMA DE CARGA/DESCARGA	91
ANEXO IV.CÁLCULOS DEL PREDIMENSIONAMIENTO DEL SEGUNDO SISTEMA DE CARGA/DESCARGA	117
ANEXO V. CÁLCULO DE LAS SOLICITACIONES QUE MARCA LA NORMA FEM	135
ANEXO VI. RESULTADOS GRÁFICOS TRAS LA APLICACIÓN DEL FEM.....	151
ANEXO VII.ESTUDIO DEL CASO DE CARGA MÁS DESFAVORABLE	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diseño propuesto en la patente US4973219 <u>Grid rail container transport and storage system</u>	4
Figura 1.2. Diseño propuesto en la patente US5160012 <u>Crane system with continual conveyor system for moving discrete items of freight</u>	5
Figura 1.3. Diseño propuesto en la patente EP2000401A1 <u>A method loading or unloading container ship</u>	5
Figura 1.4. Diseño propuesto en la patente GB1532482A <u>Loading and unloading bridge for containers</u>	6
Figura 1.5. Diseño propuesto en la patente WO03099700A2 <u>Gantry Crane</u>	6
Figura 1.6. Diseño propuesto en la patente US20050247657 <u>Crane installation, in particular container crane</u>	7
Figura 1.7. Diseño propuesto en la patente US20040071530 <u>Movable bulk charging/discharging equipment</u>	8
Figura 1.8. Diseño propuesto en la patente GB2107651A <u>A dockship having a ride on/off system and craft units for heavy loads</u>	9
Figura 1.9. Diseño propuesto en el proyecto tomado como punto de partida.	9
Figura 1.10. Planta de la disposición de la grúa y las vías en el puerto de Génova	10
Figura 2.1. Diseño en SOLIDWORKS del Spreader	11
Figura 2.2. Diseño en SOLIDWORKS del carro de la grúa	17
Figura 2.3. Diseño en SOLIDWORKS del balancín del paquete de rodadura de la grúa	17
Figura 2.4. Esquema de fuerzas del Caso 1	18
Figura 2.5. Esquema de fuerzas del Caso 2	19
Figura 2.6. Esquema de fuerzas del Caso 3	19
Figura 3.1. Diseño general del Primer Sistema propuesto	21
Figura 3.2. Diseño del Primer Sistema de Elevación/Descenso	23
Figura 3.3. Diseño de la Banda Transportadora seleccionada. Fabricante AUDUBON	24
Figura 3.4. Esquema general de la rueda dentada	25
Figura 3.5. Vista general de la banda transportadora	27
Figura 3.6. Diseño del Segundo Sistema de Elevación/Descenso	28
Figura 3.7. Diseño general del Segundo Sistema de Carga/Descarga	29
Figura 3.8. Detalle del sistema de Banda Transportadora móvil en posición de Descarga de contenedores a tierra	30
Figura 3.9. Detalle del sistema de Banda Transportadora móvil en posición de Carga de contenedores al barco	30
Figura 3.10. Diseño del Sistema de Descenso/Elevación dentro del Segundo Sistema propuesto	31
Figura 4.1. Tabla de datos de velocidades de la grúa y del carro	33

Figura 4.2. Tiempo de cada movimiento del spreader/carro	34
Figura 4.3. Tiempo de cada movimiento de las grúas pórtico	34
Figura 4.4. Resultado final de los movimiento de las grúas portacontenedores y de las grúas pórtico	35
Figura 5.1. Gráfica de valores del coeficiente dinámico (ψ)	40
Figura 5.2. Tabla de aceleraciones en función de la velocidad de desplazamiento	41
Figura 5.3. Tabla de velocidades y presiones de viento.....	41
Figura I.1. Datos de velocidades de grúa y carro	61
Figura I.2. Perfil, alzado y dimensiones relevantes (en metros) de la grúa tomada como punto de partida	62
Figura I.3. Esfuerzo cortante y momento flector para el tramo C del brazo del spreader	63
Figura I.4. Esfuerzo cortante y momento flector para el tramo B del brazo del spreader	64
Figura I.5. Esfuerzo cortante y momento flector para el tramo A del brazo del spreader	65
Figura I.6. Tabla de la clasificación FEM/DIM	67
Figura I.7. Tabla de valores del coeficiente K_c en función de la clasificación FEM/DIN y del tipo de cable	68
Figura I.8. Rendimiento del aparejo en función del número de ramales	68
Figura I.9. Valores del coeficiente h_1	69
Figura I.10. Valores del coeficiente h_2	69
Figura I.11. Dimensiones de poleas con rodamientos de bolas.....	71
Figura I.12. Espesor h en milímetros de los tambores soldados en acero de 370 –MPa (St 37.21) y de tambores de fundición de 180 MPa (Ge 18.91)	74
Figura I.13. Espesores de pared para $\sigma=160$ MPa.....	74
Figura I.14. Dimensiones de las ranuras de los tambores.....	75
Figura I.15. Tabla de motores eléctricos	77
Figura I.16. Coeficiente del número de revoluciones	82
Figura I.17. Coeficiente de vida de la rueda.....	82
Figura I.18. Diseño en SOLIDWORKS del carro de la grúa.....	83
Figura I.19. Diseño en SOLIDWORKS del balancín del paquete de rodadura de la grúa.....	84
Figura I.20. Esquema de fuerzas del Caso 1	85
Figura I.21. Esquema de fuerzas del Caso 2	86
Figura I.22. Esquema de fuerzas del Caso 3	87
Figura II.1. Tabla de dimensionamiento de perfiles del spreader.....	89
Figura III.1. Planta y perfil, con medidas características, de la base correspondiente al primer aparato de elevación/descenso	95
Figura III.2. Rodillo diseñado en SOLIDWORKS	96
Figura III.3. Eje diseñado en SOLIDWORKS.....	96
Figura III.4. Diseño final del primer aparato de elevación/descenso.....	96
Figura III.5. Planta con medidas características de la placa lateral del primer aparato de elevación/descenso.....	97
Figura III.6. Imagen de un contenedor situado en la base (se ha omitido la representación de la base en sí para visualizar mejor el contenedor)	98
Figura III.7. Esquema de fuerzas sobre los rodillos	98
Figura III.8. Diseño final de la placa latera	102
Figura III.8. Cadena de rodillos.....	103

Figura III.9. Rueda dentada	104
Figura III.10. Factor de corrección para los dientes, C_1	106
Figura III.11. Factor de corrección de cadenas de cordones múltiples, C_2	106
Figura III.12. Longitudes del tirante	107
Figura IV.1. Brazo inferior extensible	117
Figura IV.2. Esquema de fuerzas sobre los rodillos.....	118
Figura IV.3. Motores eléctricos	121
Figura IV.4. Brazo superior extensible.....	122
Figura IV.5. Esquema de fuerzas sobre los rodillos.....	122
Figura IV.6. Planta del nuevo diseño de placa lateral	130
Figura V.1. Valores de C para distintos tipos de estructuras	141
Figura V.2. Área lateral del brazo extensible superior	142
Figura V.3. Área lateral del brazo extensible inferior	143
Figura V.4. Área lateral del brazo delantero	144
Figura V.5. Área lateral del brazo trasero	144
Figura V.6. Área lateral de la estructura	145
Figura V.7. Sección de la viga lateral de la estructura.....	145
Figura V.8. Área lateral del elevador intermedio	146
Figura V.9. Tabla de valores de M	147
Figura VI.1. Tabla de coeficiente M.....	159
Figura VII.1. Vista general del resultado en tensión	166
Figura VII.2. Zoom de la zona más tensionada.....	166
Figura VII.3. Resultado en tensión tras la variación de espesor	167
Figura VII.4. Resultado en tensión sobre la unión entre el tirante trasero y la estructura sin modificar los espesores iniciales.....	167
Figura VII.5. Resultado en tensión sobre la unión entre el tirante trasero y la estructura tras la modificación de espesores.....	168
Figura VII.6. Desplazamiento máximo.....	169
Figura VII.7. Tensiones sobre el elevador intermedio.....	169
Figura VII.8. Tensiones sobre el brazo extensible superior.....	170
Figura VII.9. Desplazamientos en el brazo delantero extensible	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características del cable seleccionado	13
Tabla 2.2. Características del tambor seleccionado	14
Tabla 2.3. Características del motor de traslación seleccionado	15
Tabla 2.4. Características del motor de traslación de la grúa seleccionado	16
Tabla 3.1. Motores seleccionados para elevación y empuje respectivamente	23
Tabla 3.2. Especificaciones de la banda metálica seleccionada	24
Tabla 3.3. Especificaciones de la cadena ANSI 200	25
Tabla 3.4. Parámetros más importantes de la rueda dentada seleccionada	26
Tabla 3.5. Características del motor de traslación seleccionado para el segundo sistema de Descenso/Elevación	28
Tabla 3.6. Características de los motores para el brazo superior extensible y para el brazo inferior extensible respectivamente	31
Tabla 5.1. Resultados de tensiones y desplazamientos tras la aplicación del MEF en los diferentes casos de carga	43
Tabla 5.2. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso más desfavorable dentro de las solicitaciones principales	44
Tabla 5.3. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso más desfavorable dentro de las solicitaciones verticales	45
Tabla 5.4. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso de aplicar la solicitación horizontal	46
Tabla 5.5. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso de aplicar las solicitaciones climáticas	47
Tabla 5.6. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 1 dentro de la combinación de solicitaciones	48
Tabla 5.7. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 2 dentro de la combinación de solicitaciones	49
Tabla 5.8. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 3a dentro de la combinación de solicitaciones	50
Tabla 5.9. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 3c –ensayo dinámico dentro de la combinación de solicitaciones	51
Tabla 5.10. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 3c – ensayo estático dentro de la combinación de solicitaciones	52
Tabla I.1. Características de la polea seleccionada	71
Tabla I.2. Características del tambor seleccionado	75

Tabla I.3. Características del motor de traslación del carro seleccionado.....	78
Tabla I.4. Características del motor de traslación de la grúa seleccionado	80
Tabla III.1. Dimensiones de los tramos del cilindro hidráulico	93
Tabla III.2. Motor necesario para el sistema hidráulico.....	94
Tabla III.3. Dimensiones del pistón y cilindro de la placa lateral	101
Tabla III.4. Características del motor necesario para el sistema hidráulico.....	101
Tabla III.5. Especificaciones de la cadena ANSI 200	102
Tabla III.6. Parámetros más importantes de la rueda dentada seleccionada.....	105
Tabla III.7. Tramos que componen el cilindro hidráulico telescópico.....	113
Tabla III.8. Motor de traslación del segundo Aparato de Elevación/Descenso	115
Tabla IV.1. Características del motor seleccionado para el sistema hidráulico del brazo inferior extensible	121
Tabla IV.2. Características del motor seleccionado para el sistema hidráulico del brazo superior extensible	125
Tabla IV.3. Dimensiones de los tramos del cilindro telescópico del aparato de elevación/descenso.....	133
Tabla V.1. Peso de los elementos de la grúa	137
Tabla V.2. Peso de los elementos de la grúa	138
Tabla V.3. Peso de los elementos a considerar en la solicitud debida al peso propio del caso1.	147
Tabla V.4. Peso de los elementos a considerar en la solicitud debida a la carga de servicio del caso1.	147
Tabla V.5. Peso de la grúa dividida en partes	148
Tabla VI.1. Tensiones y desplazamientos al aplicar carga en el brazo delantero y trasero dentro de las solicitudes principales	151
Tabla VI.2. Tensiones y desplazamientos al aplicar carga en el brazo delantero dentro de las solicitudes principales.....	152
Tabla VI.3. Tensiones y desplazamientos al aplicar carga en el brazo trasero dentro de las solicitudes principales.....	153
Tabla VI.4. Tensiones y desplazamientos al aplicar carga en el brazo delantero y trasero dentro de las solicitudes verticales	154
Tabla VI.5. Tensiones y desplazamientos al aplicar carga en el brazo delantero dentro de las solicitudes verticales.....	155
Tabla VI.6. Tensiones y desplazamientos al aplicar carga en el brazo trasero dentro de las solicitudes verticales.....	156
Tabla VI.7. Tensiones y desplazamientos al aplicar las solicitudes horizontales.....	157
Tabla VI.8. Tensiones y desplazamientos al aplicar las solicitudes climáticas (viento)	158
Tabla VI.9. Tensiones y desplazamientos tras aplicar el CASO 1 de la combinación de solicitudes	159
Tabla VI.10. Tensiones y desplazamientos tras aplicar el CASO 2 de la combinación de solicitudes	160
Tabla VI.11. Tensiones y desplazamientos tras aplicar el CASO 3a de la combinación de solicitudes	161
Tabla VI.12. Tensiones y desplazamientos tras aplicar el CASO 3c-dinámico de la combinación de solicitudes	162

Tabla VI.13. Tensiones y desplazamientos tras aplicar el CASO 3c-estático de la combinación de solicitaciones	163
Tabla VII.1. Resultados en tensión y desplazamiento del caso de carga más desfavorable.....	165
Tabla VII.2. Modificación de espesores y resultados en tensión de las secciones más solicitadas	166
Tabla VII.2. Modificación de espesores y resultados en tensión de las secciones más solicitadas del tirante posterior	168

1. INTRODUCCIÓN

La actividad marítima de importación y exportación de contenedores es uno de los métodos de comercio-transporte más utilizados actualmente. Por ello, se están realizando estudios que permitan mejorar las técnicas de carga y descarga entre el barco y la zona de tierra. Mejorar ese proceso implica disminuir en gran medida este tiempo. Esa mejora es posible gracias a una automatización del proceso aprovechándonos de los avances actuales en ese campo.

En este trabajo se tiene como objetivo el definir un nuevo sistema que pueda ayudar a automatizar la carga/descarga de contenedores. Para ello, se crea un nuevo nivel de trabajo para poder distribuir los contenedores entre la descarga directa sobre los trenes o su paso a la zona de almacenaje. Para ello será necesario un nuevo nivel de trabajo, situado entre las dos vigas principales de la grúa. Se pretende que este nuevo nivel sea lo más automático posible, para que pueda ser controlado directamente por el operario que controla el spreader que recoge los contenedores del barco. Se proponen dos sistemas con el fin de dar dos soluciones posibles y comprobar cuál de ellas obtiene una mejor reducción del tiempo de descarga.

Estos nuevos sistemas son tributarios de otro proyecto ya realizado en el Politécnico de Turín con título: *“Verifica di fattibilità di un sistema automatico di trasferimento container su vagone ferroviario”*, que se desarrolló en el seno de un grupo de investigación del Departamento de Mecánica. El mismo fue posible gracias a la colaboración con el puerto SECH (Southern European Container Hub) de Génova con el fin de automatizar todo el sistema portuario.

Con la finalidad de obtener la máxima claridad expositiva, en primer lugar se revisa como se encuentra el estado del arte en referencia a los sistemas de carga/descarga de contenedores, para posteriormente introducir el punto de partida de este proyecto, el concepto que se quiere desarrollar y las opciones factibles que se sugieren. Además de ello, se indicarán varias líneas de investigación que se abren de cara a próximos estudios dentro de este ámbito.

1.1. Estado del Arte

Para desarrollar este apartado se ha hecho necesario revisar la literatura científica (Jordan, 2002; Khoshnevis y Asef-Vaziri, 2000; Kim, Deng, Gupta y Murphy-Hoye, 2007; Liu, Julia y Petros, 2001; Nguyen y Kim, 2008; Vis y Bakker, 2006; Zhang, Wan Liu y Linn, 2001) y las patentes sobre el tópico de estudio, con el fin de constatar que la propuesta no se encuentra realizada y sentar las bases de la misma.

1.1.1. Antecedentes

En lo que sigue se realiza una breve descripción de las patentes halladas.

En esta línea se han localizado nuevos sistemas de automatización del proceso carga/descarga en la parte de tierra, es decir, una vez la grúa de puerto ha entrado en funcionamiento.

El primero de ellos (Nº de patente US4973219 *Grid rail container transport and storage system*) está compuesto por una malla de raíles superiores encargados de la carga/descarga de los contenedores sobre los vehículos de transporte que se dirigen a los lugares designados por un sistema de control principal. Éste consta también de una zona de almacenaje para optimizar su funcionamiento. También es particularmente aplicable a las instalaciones intermodales de transferencia de contenedores entre los diferentes tipos de medios de transporte, como entre los buques y los vagones de tren.

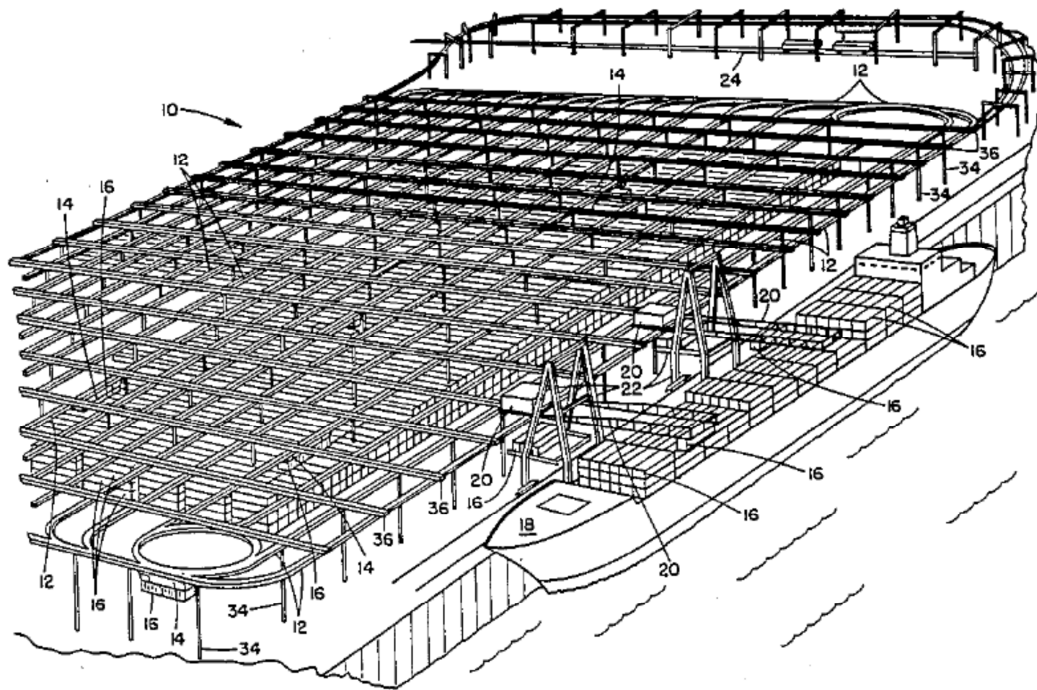


Figura 1.1. Diseño propuesto en la patente US4973219 *Grid rail container transport and storage system*. [1]

Otra referencia (Nº de patente US5160012 *Crane system with continual conveyor system for moving discrete items of freight*), se basa en la idea de convertir la transición entre el sistema de transporte vertical y el horizontal en una banda transportadora continua, que permite la descarga de la nave. La superficie cónica truncada de un transportador circular que lleva los elementos a descargar, subtiende un ángulo de 90° con el eje de rotación del transportador vertical. Paralelamente ella se encuentra en constante movimiento independientemente de la dirección de la rotación o la orientación de la cinta transportadora vertical.

La transferencia, que no causa daños a los elementos de transporte de las mercancías entre la vertical y la horizontal de las secciones del transportador, está garantizada por la posición del borde interior de la superficie, a nivel del punto de transición (ruedas guía) de las plataformas de apoyo de la vertical transportadora.

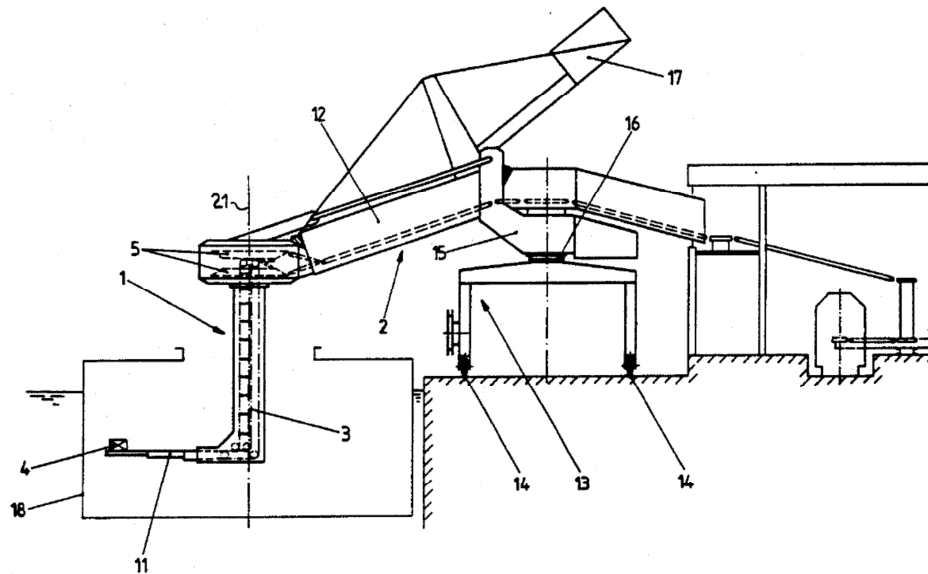


Figura 1.2. Diseño propuesto en la patente US5160012 *Crane system with continual conveyor system for moving discrete items of freight.* [2]

Del mismo modo la creación de muelles flotantes también puede ser considerada de interés para nuestro estudio del arte (Nº de patente EP2000401A1 *A method loading or unloading container ship*). Así, existe un sistema que crea un muelle flotante en forma de U con el fin de rodear la nave y así agilizar su descarga. Con este método, los vehículos portacontenedores pueden acceder directamente a todas las zonas del barco, moviéndose con una ruta predefinida alrededor del mismo. Una vez cargado un vehículo con un contenedor, éste se mueve por uno de los extremos libres de la U para su posterior almacenaje.

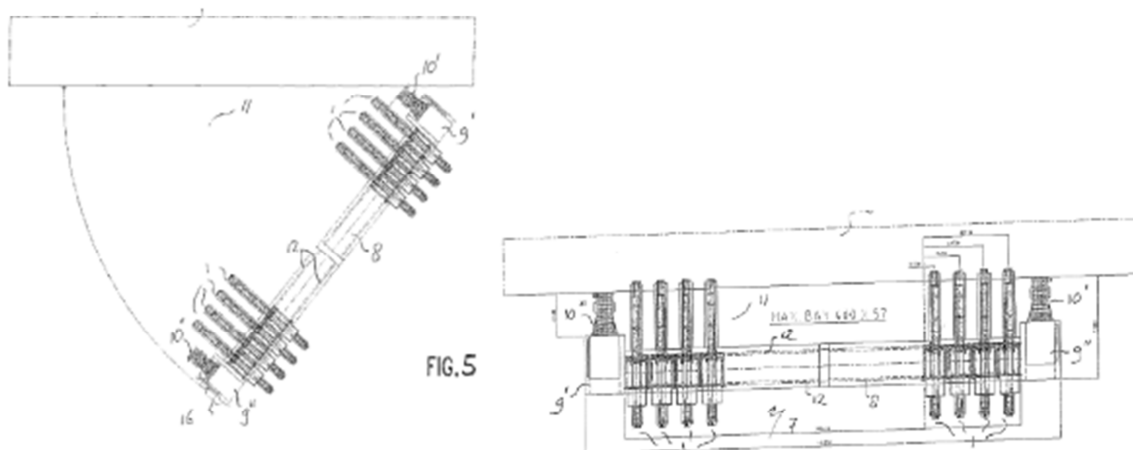


Figura 1.3. Diseño propuesto en la patente EP2000401A1 *A method loading or unloading container ship.* [3]

Retomando las grúas de puerto existe otra patente que nos muestra una posibilidad de descarga directa de contenedores sobre vehículos (Nº de patente GB1532482A *Loading and unloading bridge for containers*). Este sistema se basa en una banda inclinada que une directamente una plataforma de descarga de los contenedores con la superficie de los vehículos que los están esperando. La disposición es tal que la elevación de la plataforma provoca una

1. INTRODUCCIÓN

pendiente que produce un descenso gradual de los contenedores y los coloca en la posición correcta encima de los vehículos que los están esperando en la parte inferior de la grúa. Esto implica que el proceso puede ser controlado automáticamente.

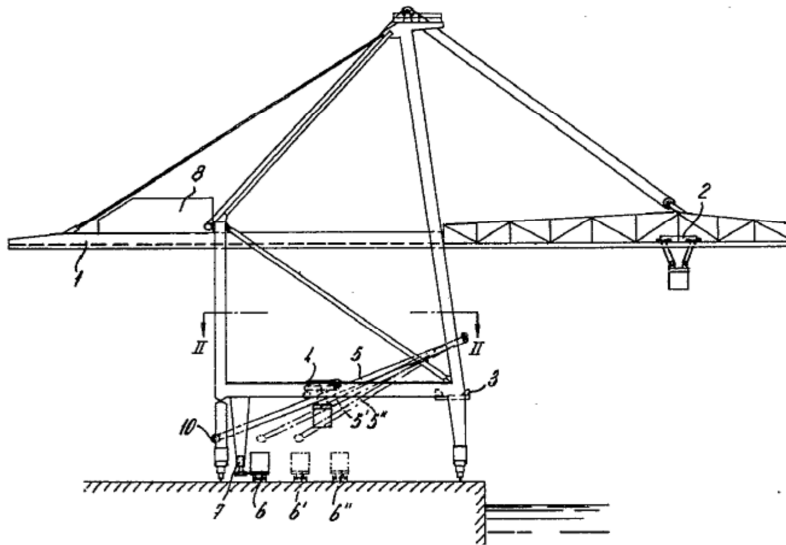


Figura 1.4. Diseño propuesto en la patente GB1532482A *Loading and unloading bridge for containers*. [4]

También existen patentes mucho más creativas (Nº de patente WO03099700A2 *Gantry Crane*). Este sistema tiene los mismos movimientos de descarga que una grúa de puerto convencional pero variando el modo de transporte horizontal. En este caso, no es el carro lo que se desplaza horizontalmente, sino que el spreader deja el contenedor en una lanzadera y ésta provoca el movimiento horizontal. Al final de la viga principal de la grúa se van acumulando la serie de contenedores lanzados. En ese punto se encuentra un spreader doble que descende los contenedores a nivel suelo.

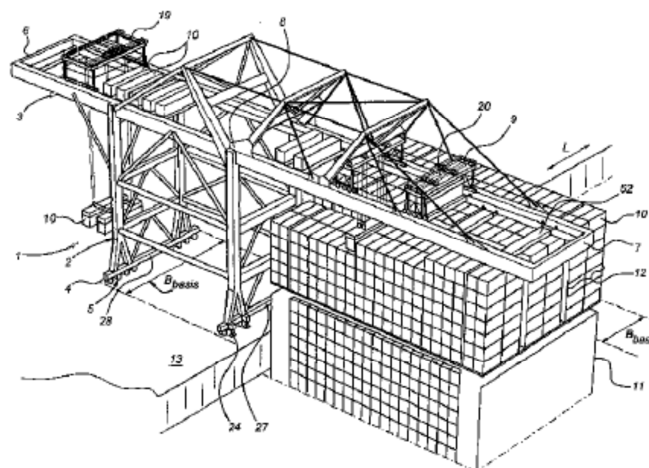


Figura 1.5. Diseño propuesto en la patente WO03099700A2 *Gantry Crane*. [5]

La última patente relevante conectada con los sistemas en la zona de tierra de los puertos, es la que crea un sistema de descarga directa sobre los vehículos automatizados, que posteriormente se encargarán de distribuir los contenedores a las zonas de carga (Nº de patente US20050247657 *Crane installation, in particular container crane*). Este modelo es operativo gracias a depositar los contenedores en un nivel inferior, creado dentro de la grúa de puerto y, una vez allí, otro spreader recoge el contenedor y lo ubica finalmente en los vehículos que los tienen que llevar a la zona de almacenaje. Es decir, divide el proceso de descarga en dos fases, lo que provoca que se optimice el tiempo del proceso, al reducir el recorrido del carro principal. Este sistema tiene un cierto parecido al que se ha tomado como punto de partida para desarrollar la propuesta, como se comprobará en la siguiente sección.

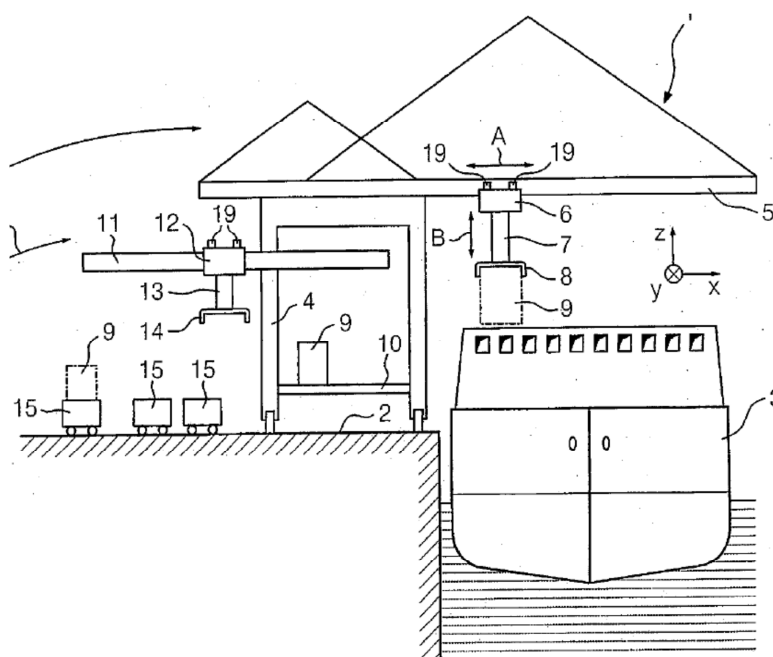


Figura 1.6. Diseño propuesto en la patente US20050247657 *Crane installation, in particular container crane*. [6]

Por otra parte tenemos patentes que hacen referencia a sistemas directamente aplicados en el propio barco. Pese a que en este proyecto se busca un sistema para implementar en la zona de tierra de los puertos, no se ha descartado buscar sistemas de automatización directamente en el barco, ya que pueden ser útiles para generar una nueva idea a desarrollar posteriormente. Tras la búsqueda, los sistemas más destacables encontrados son los siguientes.

El primero es el que utiliza unas bandas transportadoras y un elevador para descargar los contenedores que están situados en la bodega de la nave (Nº de patente US20040071530 *Movable bulk charging/discharging equipment*). Así, se recoge del fondo de la bodega del barco los contenedores mediante una banda transportadora para luego llevarlos a un elevador que los coloca en el exterior del barco. La clave es que el elevador intermedio es controlable entre la posición horizontal y la posición vertical de operación en relación con la banda transportadora intermedia. Tras la elevación del contenedor se produce una descarga mediante una banda inclinada hasta el nivel suelo.

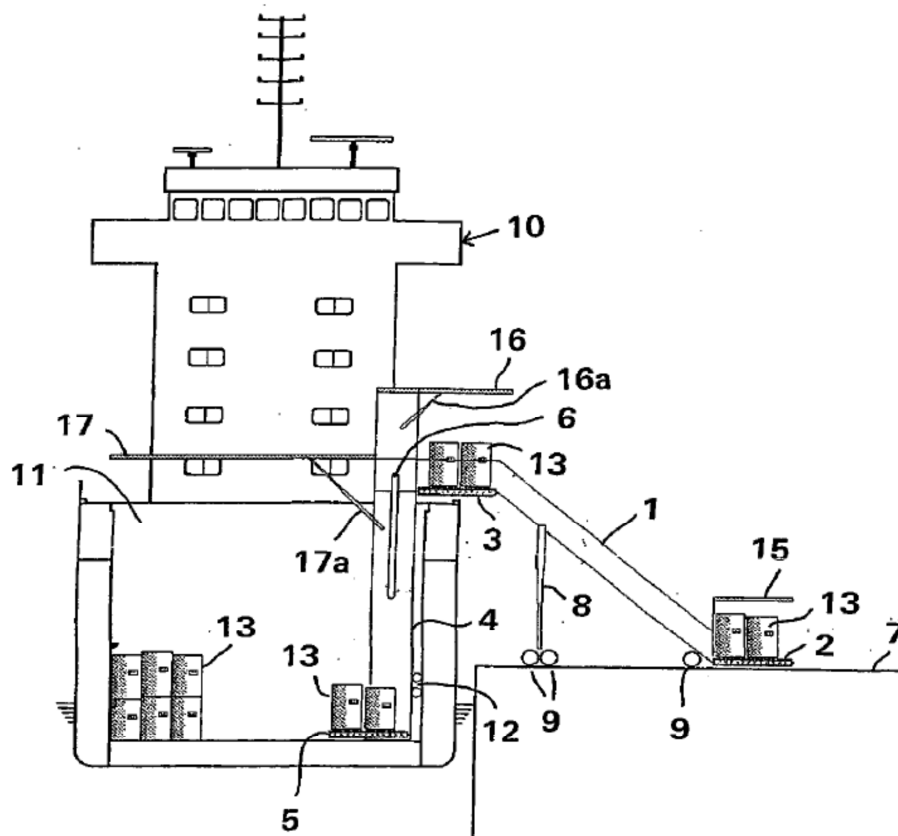


Figura 1.7. Diseño propuesto en la patente US20040071530 *Movable bulk charging/discharging equipment*. [7]

Otro sistema interesante consiste también en una descarga a través de una banda transportadora, pero en este caso el sistema es lineal, es decir, no se necesita un elevador intermedio (Nº de patente GB2107651A *A dockship having a ride on/off system and craft units for heavy loads*). De este modo se incluyen raíles por los cuales se mueven unas grúas pórtico, encargadas de desplazarse hasta la superficie superior vacía de la cubierta del barco. Recogen los contenedores y los depositan sobre otros vehículos que son también movidos mediante raíles. Estos vehículos son los encargados del transporte desde el barco hasta la zona de tierra del puerto, donde serán posteriormente recogidos con otras grúas para su almacenamiento.

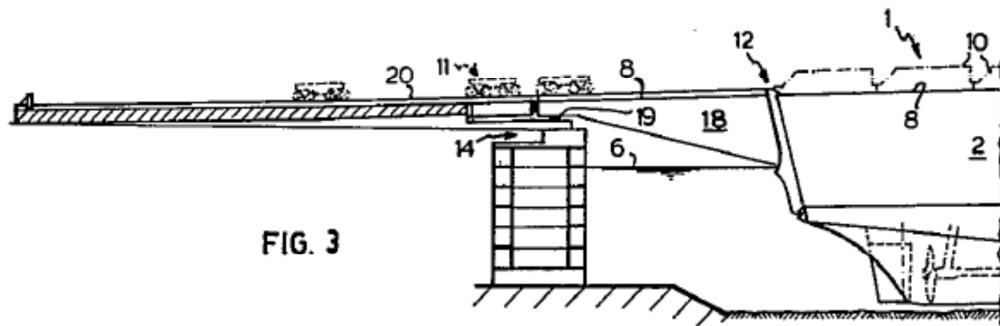


Figura 1.8. Diseño propuesto en la patente GB2107651A *A dockship having a ride on/off system and craft units for heavy loads.* [8]

Como se puede comprobar tras esta exposición, la tendencia dentro de los sistemas automatizados de carga/descarga de contenedores reside en utilizar elementos como bandas transportadoras, elevadores, sistemas hidráulicos... En otras palabras, se intentan dividir los movimientos que realizaría una grúa de puerto habitual para que éstos sean llevados a cabo por otros elementos capaces de reproducir el mismo movimiento, pero de manera más veloz y automática. El sistema que se desarrollará en el proyecto se servirá de esos elementos, integrándolos de una manera aún no creada, con el fin de buscar la automatización y optimización del proceso de descarga/carga de los contenedores.

1.1.2. Punto de partida

El punto de referencia del trabajo a desarrollar es el que tiene como título, *“Verifica di fattibilità di un sistema automaticodi trasferimento container su vagone ferroviario”*. Este proyecto fue desarrollado en el Politécnico de Turín, teniendo como directores al Profesor Guido Belforte, al Profesor Terenziano Raparelli y al Ingeniero Roberto Grassi. A continuación se presenta un esquema gráfico del proyecto con el fin de visualizar mejor el punto de partida.

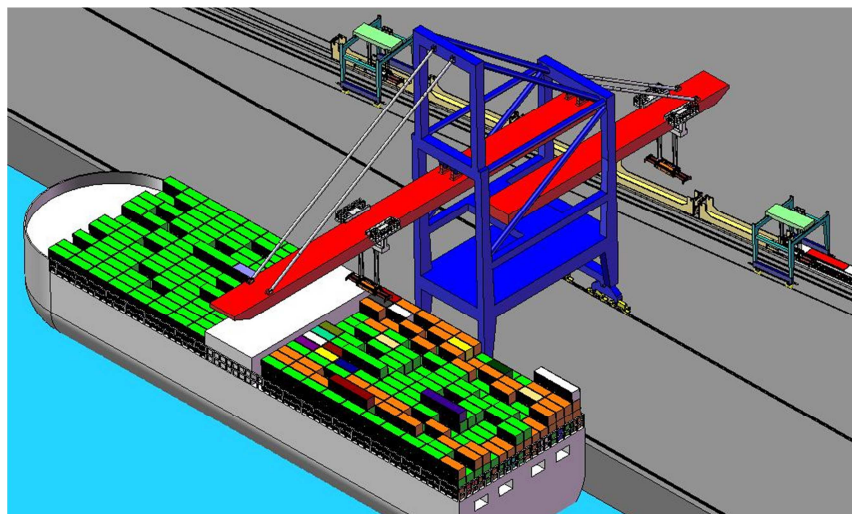


Figura 1.9. Diseño propuesto en el proyecto tomado como punto de partida. Fuente: Reproducido de Colombo (2008).

Su objetivo era crear un sistema de descarga directa de contenedores sobre los trenes de mercancías, ya que estos, por la disposición de las vías, son capaces de acceder a los pies de la grúa de puerto. El problema es que las vías llegan a los pies de la grúa de puerto con una inclinación de 7 grados, lo que provoca que el spreader deba realizar ese giro para un correcto posicionamiento final. El sistema propuesto en ese proyecto consistía en realizar una descarga en dos fases, utilizando una plataforma intermedia en la base de la grúa que sirva para que otro spreader recoja el contenedor y lo deposite, tras el giro de 7 grados, al lado de las vías de los trenes de mercancías que llegan al puerto. Una vez allí, esos contenedores serán cargados sobre ellos gracias a unas grúas pórtico.

Veamos un esquema en planta de la situación de partida, para así crear una idea más clara del concepto que se pretende desarrollar en este proyecto.

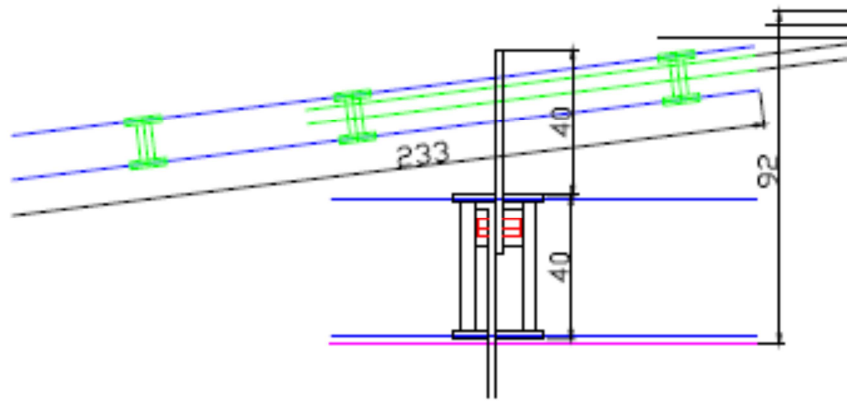


Figura 1.10. Planta de la disposición de la grúa y las vías en el puerto de Génova. Fuente: Reproducido de Belforte, Raparelli y Grassi (2008)

2. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA GRÚA

Tras analizar los datos y diseños recogidos en el proyecto que se ha tomado como punto de partida, se cree necesario realizar un pre dimensionamiento de los elementos más característicos de la grúa. De esta forma se tomará conciencia de las dimensiones de la misma que se desarrollarán los siguientes apartados.

En el proyecto inicial sólo se nos aportan unos diseños de la grúa en sí y unas medidas y velocidades características que se verán recogidas en el Anexo I, al igual que los cálculos necesarios para el citado pre dimensionamiento.

En este tipo especial cabe destacar que todos los elementos dimensionados a continuación están por duplicado, exceptuando el motor de traslación y el paquete de rodadura de la grúa, por lo que se va a considerar que esos elementos son iguales en ambos casos. Es una consideración lógica ya que el tipo de contenedor a transportar es el mismo.

2.1. Spreader

Como se trata de una grúa portacontenedores el primer elemento que se analiza es el spreader. En este caso especial tenemos dos ya que la grúa de partida es una modificación de la portacontenedores original, como podemos ver en el apartado 1.1.2.

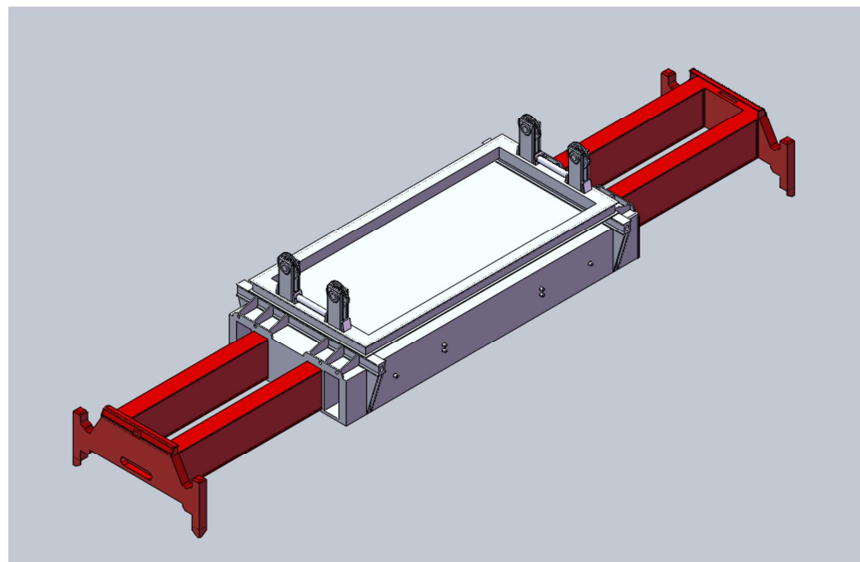


Figura 2.1. Diseño en SOLIDWORKS del Spreader. Fuente: Elaboración propia

El tipo de spreader propuesto es uno para grúas portacontenedores. Se puede observar que tiene las partes características del mismo, incluyendo el sistema twist-lock para el anclaje de los contenedores, los largueros telescópicos y el giro del mecanismo guiado. Se comprueba que el sistema tiene cuatro poleas y un rectángulo de estabilidad.

2. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA GRÚA

Al tratarse de una variación de una grúa original, para el segundo brazo de la misma se propone el mismo spreader, únicamente con la variación de que el rectángulo de estabilidad permita el giro de 7 grados para su correcto posicionamiento en los trenes que llegan a los pies de la grúa, ya que este tipo permite ese giro. El desarrollo de este sistema no es objetivo de este proyecto, ya que sus características fueron estudiadas en el trabajo mencionado en la sección 1.1.2.

Para su estructura se han propuesto tres tramos telescópicos (A, B, C) y el tramo D de unión entre los dos tramos C:

TRAMO C



$$\begin{aligned}h &= 700 \text{ mm} & I &= 1.63 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \\b &= 250 \text{ mm} & W &= 4.66 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\e &= 15 \text{ mm} & A_c &= 21000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

TRAMO B



$$\begin{aligned}h &= 670 \text{ mm} & I &= 9.36 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \\b &= 220 \text{ mm} & W &= 2.79 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\e &= 10 \text{ mm} & A_c &= 13000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

TRAMO A



$$\begin{aligned}h &= 650 \text{ mm} & I &= 8.26 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \\b &= 200 \text{ mm} & W &= 2.54 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\e &= 10 \text{ mm} & A_c &= 13000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

TRAMO D



$$h = 530 \text{ mm} \quad b = 150 \text{ mm} \quad e = 8 \text{ mm}$$

Para todos estos tramos se ha considerado que el material es acero A-42, con una resistencia elástica de 260 MPa. Además de ello, el peso del contenedor es de 40000 Kg.

Como se puede comprobar en el Anexo II, se ha desarrollado una hoja Excel para el dimensionamiento de los tramos de los largueros del spreader.

Finalmente, el peso estimado del spreader es de 1500 Kg, al considerar una densidad de 7850 Kg/m³. En esos 1500 Kg se incluyen el peso del cuadrilátero de estabilidad y el resto de elementos estructurales del spreader.

2.2. Cables, Polea y Vida

En primer lugar es necesario clasificar el mecanismo dentro del grupo FEM/DIN correspondiente. Para ello es necesario definir las horas de funcionamiento del mismo y el estado de la carga. Para nuestro sistema se supone una vida de 50000 horas de funcionamiento real del mecanismo junto con una frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas. Con todo ello, éste se clasifica dentro del grupo M8/5m, dependiendo de la normativa FEM/DIM seleccionada.

El siguiente paso es calcular el tamaño de los cables necesarios para esa grúa. Para ello se debe definir el número de ramales que tiene el sistema. Como hay cuatro poleas en el spreader anterior, se propone una solución con ocho ramales.

Tomando las fórmulas necesarias y realizando los cálculos pertinentes, recogidos en el Anexo I, llegamos a seleccionar el siguiente cable.

D= 28mm; cable tipo SEALE, 8x19 (1+9+9) S. + alma textil

El cable tipo Seale tiene por característica que las dos últimas capas tienen el mismo número de hilos, en este caso concreto 9. Además de eso, el cable está compuesto por 8 cordones y 19 alambres, todo ello con un alma textil. Se ha seleccionado también uno de tipo normal, ya que es innecesario uno antigiratorio en nuestro estudio.

Este cable es óptimo para grúas de elevada altura de elevación, como es necesario en nuestro caso.

Sabiendo el valor del diámetro del cable ya podemos dimensionar la polea necesaria para su elevación. Tras los pertinentes cálculos, de nuevo desarrollados en el Anexo I, se llega a la conclusión de que el diámetro de las poleas necesarias en este proyecto es de 900 mm. Estas dimensiones de polea cuadran perfectamente con los 28 mm de diámetro del cable. Para este tipo de poleas se estima un peso de 125 Kg, ya que más tarde se necesitará este dato para el dimensionamiento de los motores necesarios. Sus principales características se recogen en la siguiente tabla.

Diámetro (D)	\varnothing_{cable}	Rodamientos	Peso	Referencia
900 mm	28mm	De bolas	152 Kg	010.90.28

Tabla 2.1. Características del cable seleccionado. Fuente: Elaboración propia

Por último es importante calcular la fatiga total del cable y la duración del mismo para ver que resiste bien los esfuerzos a los que es sometido. Estos esfuerzos son principalmente de tracción, dinámicos, de rozamiento y rigidez, de encurvación y la resistencia máxima a la rotura.

Para comprobar la vida se aplica la fórmula de G. Nieman. Esta fórmula se aplica para obtener una mayor seguridad de que la duración será la correcta.

$$W = \frac{170000}{n} \left[10b_1b_2 \frac{\frac{D}{d} - \frac{9}{b_1}}{\sigma_e + 40} \right]^2 > 150000 \quad (Ec. 2.1.)$$

W es el número de flexiones que puede soportar el cable antes de romperse. Para grandes grúas el valor debe ser mayor que 150000 flexiones.

En nuestro caso se obtiene $W=625660.85$, valor superior a 150000 flexiones. Por esta razón, está bien calculado.

2.3. Tambor

Para definir el tambor debemos conocer su diámetro, su espesor, su longitud y su peso. Tras los cálculos recogidos en el Anexo I se llega a la selección del siguiente tambor.

Diámetro	Longitud	Espesor Pared	Nº espiras	Peso
700 mm	7008 mm	10 mm	219	1310 Kg

Tabla 2.2. Características del tambor seleccionado. Fuente: Elaboración propia

2.4. Motores

Antes de empezar con la selección de los motores es importante destacar que en este tipo especial de grúa con dos carros, dos spreaders y dos brazos, los motores sólo se van a calcular una vez, ya que se considera que los motores de elevación de la carga y traslación del carro van a ser los mismos al tenerlo por duplicado.

2.4.1. Motor de Elevación

En primer lugar se va a calcular el motor necesario para la elevación de la carga desde el barco hasta la altura deseada. Para ello necesitamos el dato de la velocidad de elevación de la carga. Como se puede comprobar en la tabla de velocidades proporcionada por el fabricante ZPMC, incluida en el Anexo I, la velocidad de ascenso con carga es de 90m/min. Se toma esa velocidad ya que es la que depende de un motor mayor al tratarse justo el momento en el que se eleva la carga completa.

Este motor debe elevar toda la carga del contenedor más el peso del spreader y de los elementos anteriores. Es decir, la suma total de peso a elevar es 40000 Kg del contenedor, 1500 Kg del spreader, 600 Kg de las 4 poleas y 1310 Kg del tambor.

Con estos datos se realizan los cálculos necesarios, recogidos en el Anexo I, y se propone un **motor de 925 CV**. Su peso se estima en unos 2000 Kg.

En los motores de elevación no es necesario comprobar si el par de arranque cumple las especificaciones y es capaz de arrancar, por lo cual se da por definido el motor solamente con la potencia del mismo.

2.4.2. Motor de Traslación del carro

El segundo motor a dimensionar es el correspondiente a la traslación horizontal del carro por el brazo principal. En este caso, antes de seleccionar el motor en sí, se debe definir que la velocidad de traslación es de 120 m/min y el coeficiente de rozamiento para los cojinetes de rodamientos es 7.

En este caso se deben considerar los siguientes pesos, 5000 Kg del carro, 40000 Kg de carga a elevar, 1500 Kg del spreader, 600 Kg de las poleas, 1310 Kg del tambor y 2000 Kg del motor de elevación anterior. Además como se trata de un motor de traslación se debe comprobar que el par de arranque necesario es menor que el máximo que proporciona el mismo.

Con todo esto, se propone el siguiente motor de 30 CV:

POTENCIA (CV/Kw)	TIPO	PESO (Kg)	MOMENTO DE INERCIA (Kg m ²)	VELOCIDAD (r.p.m.)	RENDIMIENTO	COSθ	PAR (Nm)	Relación PAR máx y nominal
30/22	1LS2 156- 4AA2.	305	0.43	1450	90%	0.86	148	4

Tabla 2.3. Características del motor de traslación seleccionado. Fuente: Elaboración propia

El proceso de cálculo para la selección de este motor y la comprobación del par de arranque se incluyen en el Anexo I.

2.4.3. Motor de Traslación de la grúa

Por último, queda por definir las características del motor que mueve a todo el conjunto de la grúa. Los pesos a considerar en este punto son 800000 Kg como peso de la grúa, 5000 Kg del carro, 40000 Kg del contenedor, los 1500 Kg del spreader, los 600 Kg de las poleas, los 1310 Kg del tambor, los 2000 Kg del motor de elevación y los 305 Kg del motor de traslación de carro. Como ahora se debe considerar todo el conjunto, el peso de los carros, de los motores, del spreader, de las poleas y del tambor se verá duplicado al estar duplicados esos elementos.

De nuevo, al tratarse de un motor para un movimiento de traslación se debe comprobar que el par máximo supera el par de arranque, lo que implica que se iniciará el movimiento.

En esta ocasión se propone un motor de 210 CV.

POTENCIA (CV/Kw)	TIPO	PESO (Kg)	MOMENTO DE INERCIA (Kg m ²)	VELOCIDAD (r.p.m.)	RENDIMIENTO	COSθ	PAR (Nm)	Relación PAR máx y nominal
210/155	1LS4 355- 4AA1.	1450	5.5	1480	93.5%	0.90	1000	3.9

Tabla 2.4. Características del motor de traslación de la grúa seleccionado. Fuente: Elaboración propia

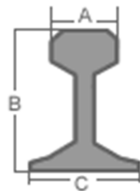
Se comprueba en el Anexo I como el motor seleccionado cumple las especificaciones de potencia y par requeridos.

2.5. Circuito de Traslación

Por circuito de traslación se entiende el cálculo del paquete de rodadura y el cálculo del carril por el que se desliza. Este cálculo se debe realizar tanto para el carro como para la grúa en su conjunto.

2.5.1. Circuito de Traslación del Carro

Para el dimensionamiento de los elementos de este punto se va a suponer que el carril por donde se van a desplazar los elementos es un **carril tipo Burbach A-120**. Este tipo tiene una cabeza ancha para soportar las grandes cargas y un patín que facilita su fijación. Veamos una imagen del perfil con sus dimensiones características.



A= 120 mm

B= 105 mm

C=220 mm

También se va a suponer que la **presión admisible** del carril es de **7 N/mm²**, así pues, aplicando la siguiente fórmula se obtiene el número de ruedas necesario para el carro y su dimensión.

$$d_r \geq \frac{R}{P_{adm} C_2 C_3 (k - 2r_1)} \quad (Ec. 2.2.)$$

$$con \quad R = \frac{Q_{tot}}{4n} \quad (Ec. 2.3.)$$

El resultado es $n = 2$, por lo que se necesitan dos ruedas en cada esquina del carro. Se ha elegido un diámetro de rueda de 200 mm. Por temas de estabilidad se ha decidido colocar 10 ruedas en lugar de las 2 estrictamente necesarias.

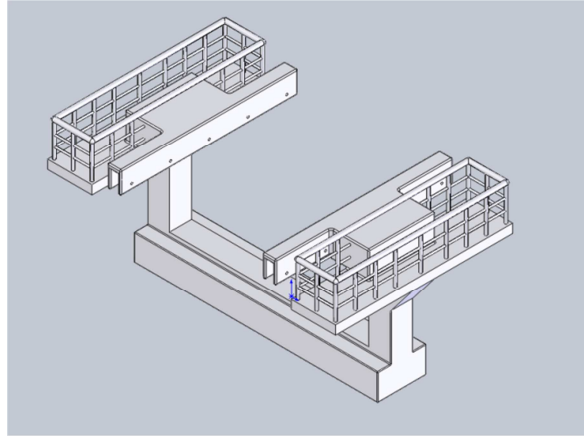


Figura 2.2. Diseño en SOLIDWORKS del carro de la grúa.
Fuente: Elaboración propia

El proceso de cálculo está debidamente desarrollado en el Anexo I, donde se definen el resto de parámetros de la fórmula anterior y se aplican valores a ellos.

2.5.2. Circuito de Traslación de la Grúa

Al igual que en la sección anterior, el carril seleccionado para este apartado es un **perfil Burbach A-120** y la **presión admisible** de **7 N/mm²**.

En este caso, tras considerar los calculos recogidos en el Anexo I, se obtiene como resultado que $n = 9$ por lo que tenemos 9 ruedas por poste. Al tratarse de una grúa de alta capacidad de carga, para uniformarla y asegurar la estabilidad de las vigas finales se opta por la solución de utilizar balancines con las ruedas colocadas dos a dos. De esta manera finalmente resulta el siguiente diseño.

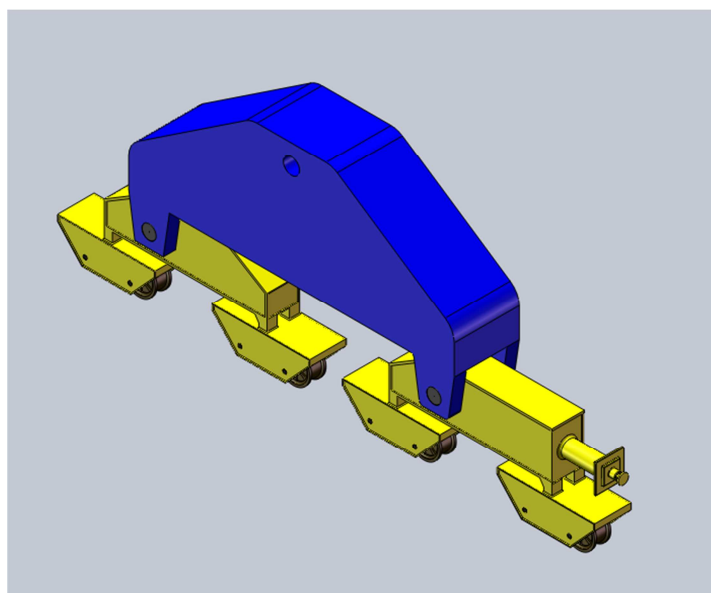


Figura 2.3. Diseño en SOLIDWORKS del balancín del paquete de rodadura de la grúa. Fuente: Elaboración propia

2.6. Estabilidad

Para la evaluación de la estabilidad del sistema se van a proponer 3 casos diferentes. Se considera que serán los más críticos y que si la estructura de la grúa es estable en ellos, lo será en cualquier posición de carro.

2.6.1. Caso 1 – Las dos cargas están en los extremos de los dos brazos principales

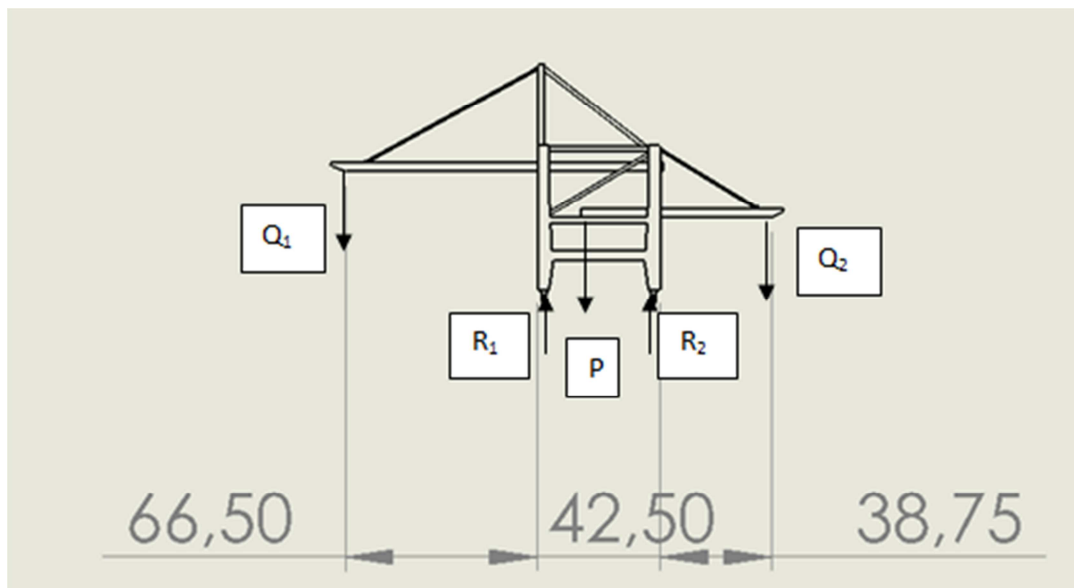


Figura 2.4. Esquema de fuerzas del Caso 1. Fuente: Elaboración propia

Los valores de Q_1 y Q_2 son 50310 Kg ya que ahí se considera que está recogido el peso del contenedor en sí, más el de todos los elementos calculados (poleas, motores, tambor y spreader). El valor de P es 800000 Kg, el peso de la estructura de la grúa. El peso se va a considerar aplicado en un punto situado a 17 metros del primer poste de la grúa.

Con este esquema nos encontramos con que las reacciones en los apoyos R_1 y R_2 adquieren los valores 563159.47 Kg e 337460.52 Kg respectivamente. Por lo tanto, al ser las dos positivas, podemos asegurar que el sistema es estable.

De nuevo, en el Anexo I se encuentran los cálculos correspondientes a la verificación de la estabilidad del sistema.

2.6.2. Caso 2 – Carga en el extremo del brazo principal

Se pasa ahora a calcular las reacciones de los apoyos pero en el caso en el que sólo hay una carga en el extremo de la viga principal.

De nuevo, el valor de Q_1 es de 50310 Kg y el de P de 800000 Kg, ya que representa el peso de la estructura, de nuevo aplicada a 17 metros del primer poste.

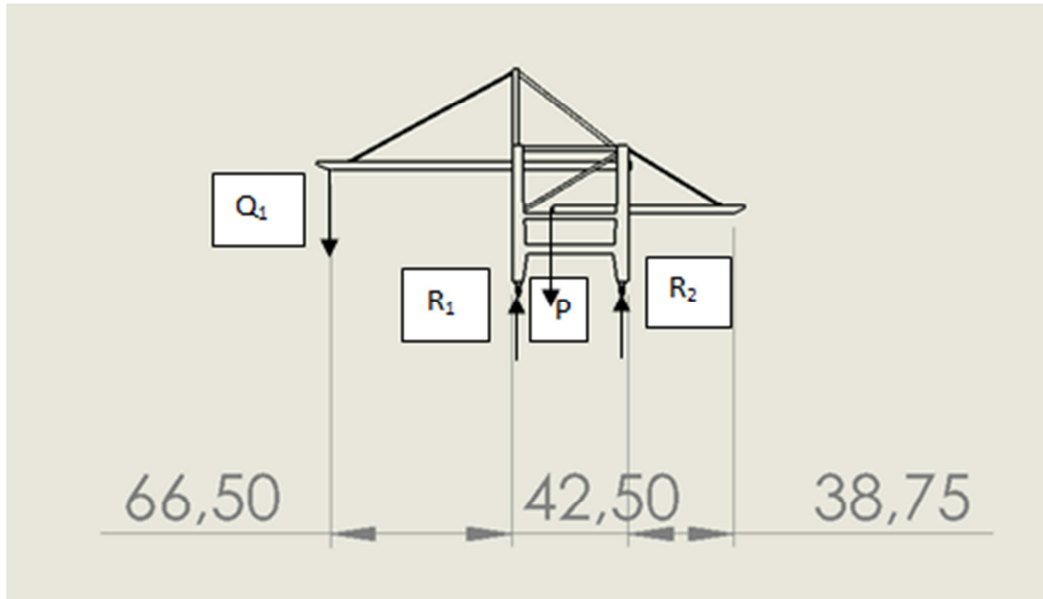


Figura 2.5. Esquema de fuerzas del Caso 2. Fuente: Elaboración propia

Ahora se obtienen los valores $R_1=609030.35$ Kg y $R_2=241279.64$ Kg. El proceso de cálculo está incluido en el Anexo I. De nuevo son dos valores positivos, por lo que la estabilidad de la estructura en este caso está asegurada.

2.6.3. Caso 3 – Carga en el extremo del brazo secundario

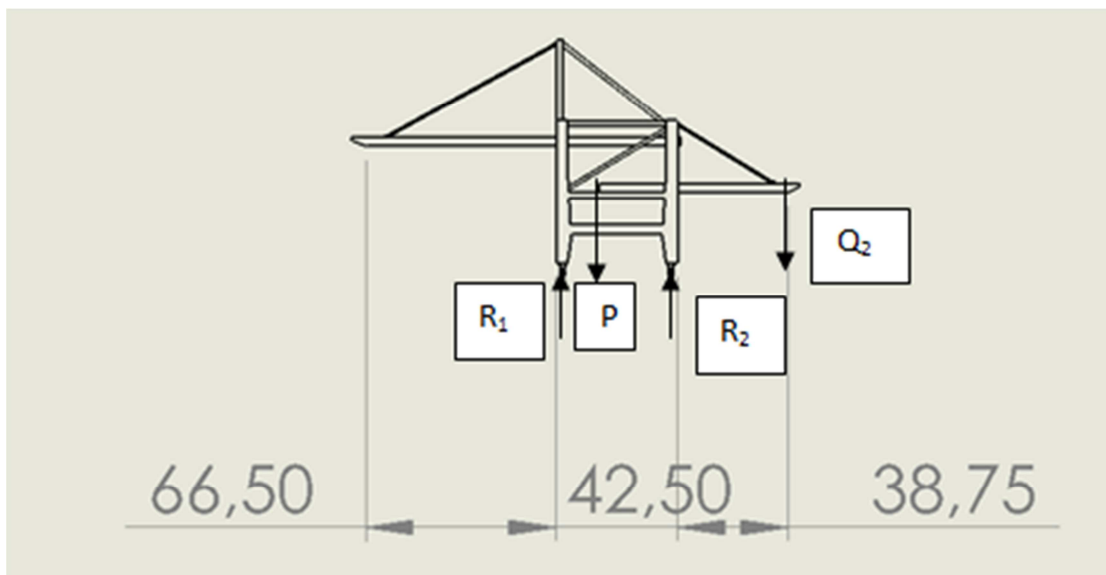


Figura 2.6. Esquema de fuerzas del Caso 3. Fuente: Elaboración propia

En esta ocasión se plantea el caso de tener una carga en el otro extremo. Al igual que en los casos anteriores, esta carga tiene un valor de 50310 Kg y el peso vuelve a ser de 800000 Kg.

2. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA GRÚA

En esta ocasión las reacciones en los apoyos son $R_1=434129.11$ Kg y $R_2=416180.88$ Kg. Al igual que en los casos anteriores, se asegura la estabilidad del sistema al tener reacciones positivas.

3. NUEVOS SISTEMAS DE CARGA/DESCARGA

Antes de iniciar la explicación de las nuevas propuestas es importante realizar una consideración.

En primer lugar, se considera que los spreaders son capaces de tener un giro propio de 90 grados, ya que para el proceso de carga/descarga es necesario, tanto en la descarga directa como en el almacenamiento. Esta puntualización se hace en base al proyecto mencionado en el capítulo 1 que se ha tomado como punto de partida. En ese, se tenía como objetivo realizar un spreader giratorio para poder adaptarse a los 7º de inclinación que tienen las vías que llegan a los pies de la grúa. Por lo tanto, es factible ampliar ese giro hasta 90 grados con un sistema similar al de tal estudio.

Su desarrollo no se contempla en este trabajo, ya que se centra en el resto de elementos de los nuevos sistemas de descarga.

3.1. Primer Sistema de Carga/Descarga

Tras el tema introductorio y el del dimensionamiento de los elementos existentes en la grúa, se va a dar paso a la presentación de uno de los nuevos modelos de descarga que se desarrollarán técnicamente en las siguientes secciones y más detalladamente en los Anexos correspondientes.

Este sistema está compuesto de tres partes, dos de descenso/elevación y una de transporte horizontal. Para las dos primeras se propone un sistema hidráulico, mientras que para la tercera un sistema de movimiento horizontal a través de una banda transportadora movida por un sistema de cadena.

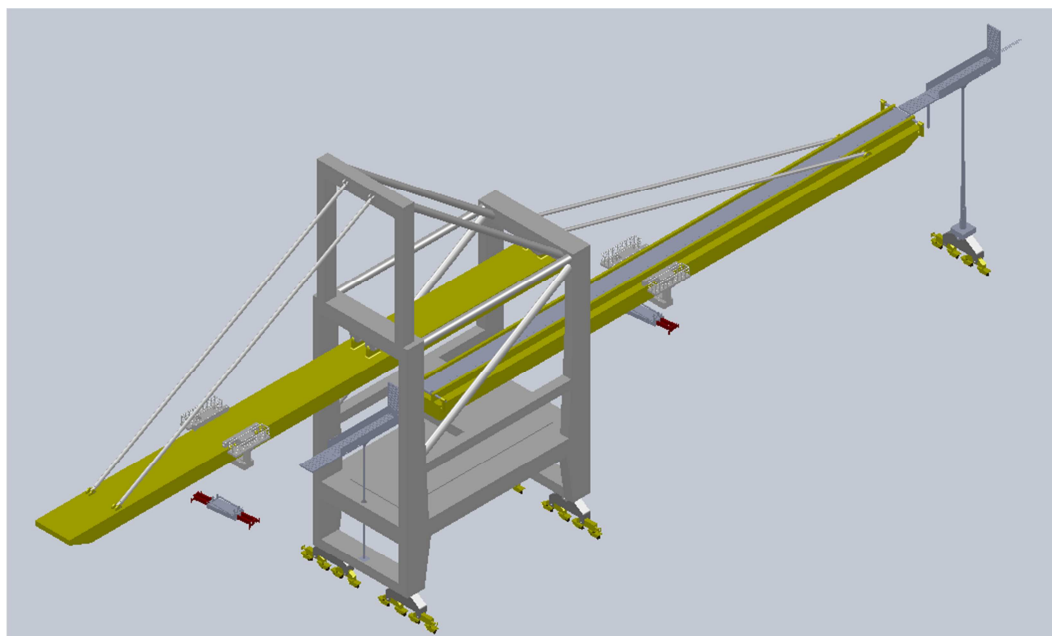


Figura 3.1. Diseño general del Primer Sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Primer Sistema de Descenso/Elevación

El primero se sitúa dentro de la estructura de la grúa, posicionado para que el spreader de la viga principal pueda depositar el contenedor descargado en el elevador hidráulico. De este modo se recorta el movimiento a lo largo de la viga principal del carro, lo que provoca una mejora en el tiempo unitario de descarga del contenedor.

El cilindro hidráulico del primer sistema tiene dos posiciones de parada, por lo que el operario que está controlando la grúa debe saber de antemano el destino final del contenedor, es decir, si el contenedor debe ir a la zona de almacenamiento o si es cargado directamente sobre los trenes que llegan a los pies de la grúa. Si el objetivo es el almacenamiento, se pondrá en marcha el sistema que se propone en este proyecto, en cambio, si el objetivo es la carga directa, actuará el sistema que sirve como punto de partida explicado en los apartados anteriores.

Este primer dispositivo está formado por varios componentes mecánicos. El principal es el cilindro hidráulico telescópico encargado del movimiento vertical de toda la estructura. Tiene una altura de 27,5 metros, y su base está situada a 5 metros del suelo, por lo que todo el conjunto del sistema propuesto operará a una altura de 32,5 metros, situándose entre las dos vigas principales de la grúa, como se ha especificado anteriormente. El cilindro telescópico tiene solidaria la base donde se depositan los contenedores descargados. Ésta está compuesta por una serie de rodillos que permiten un movimiento horizontal con mucho menor esfuerzo. Además también tiene unas placas laterales para asegurar el correcto posicionamiento del contenedor y, de paso, evitar posibles desviaciones en su trayectoria que puedan dañar gravemente a operarios y/o a la estructura de la grúa.

Por otra parte nos encontramos dos placas que actúan de tapas laterales de la base. Son las encargadas de limitar el movimiento del contenedor mientras el cilindro desciende o asciende. Ambas placas son similares, tienen una zona con rodillos al igual que la placa base y otra con un empujador hidráulico que ayuda al movimiento horizontal del contenedor.

Este sistema es movido principalmente por dos motores. Éstos son los encargados del movimiento vertical de elevación y descenso de todo el conjunto y del movimiento horizontal de empuje del contenedor. Tras resolver los cálculos necesarios para su dimensionamiento, incluidos en el Anexo III, se han elegido los siguientes motores. El primero de ellos es para el movimiento de elevación y el segundo para el empuje.

POTENCIA (CV/Kw)	TIPO	PESO (Kg)	MOMENTO DE INERCIA (Kg m ²)	VELOCIDAD (r.p.m.)	RENDIMIENTO	COS θ	PAR (Nm)	Relación PAR máx y nominal
315/230	1LS4 404- 4AA1.	2000	11	1485	94.5%	0.91	1480	3.7
30/22	1LS2 156- 4AA2.	305	0.43	1450	90%	0.86	148	4

Tabla 3.1. Motores seleccionados para elevación y empuje respectivamente. Fuente: Elaboración propia

En el Anexo III se encuentran los cálculos y ecuaciones correspondientes al dimensionamiento de todos estos elementos del primer sistema, así como los materiales seleccionados para los distintos componentes.

Veamos un dibujo de este primer sistema propuesto.

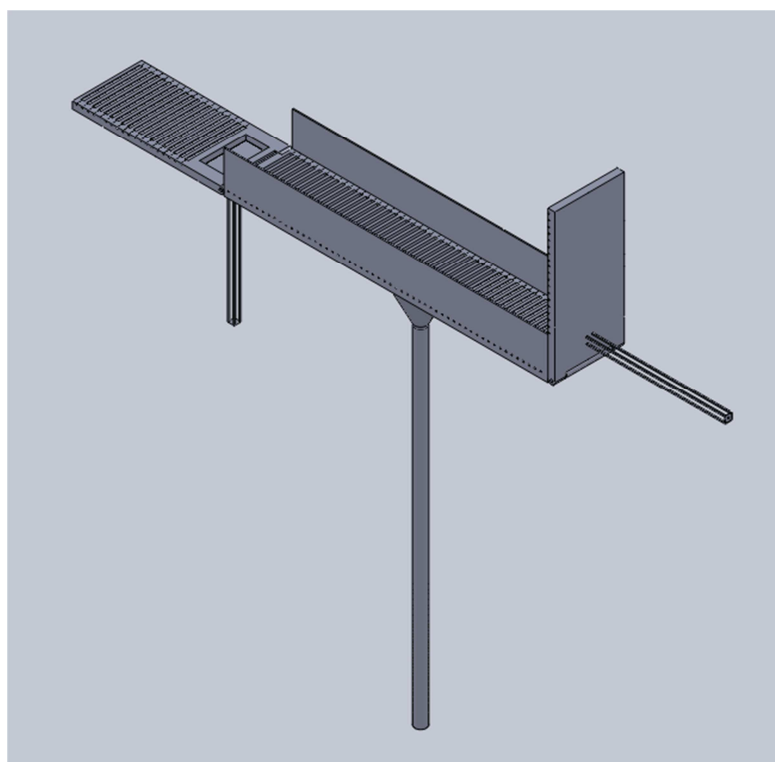


Figura 3.2. Diseño del Primer Sistema de Elevación/Descenso. Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Banda Transportadora

En esta parte nos encontramos la banda responsable del movimiento horizontal de los contenedores. Esta banda tiene una longitud de 112 metros para poder alcanzar la zona de almacenamiento. Como se puede comprobar en el punto 1.2. del capítulo 1, la distancia mínima a conseguir era de 92 metros. Una de las características de la misma es que trabaja a una altura

suficiente para evitar interferir en la carga directa a los trenes que llegan a los pies de la grúa portacontenedores.

Para solucionar el problema de la banda se propone una comercial. La empresa AUDUBON con dirección postal 850 Pennsylvania Blvd. Feasterville, PA 19053 USA (<http://www.meshbelt.com/Chainweave.html>), proporciona este tipo de bandas. El modelo seleccionado es PINTLE CHAIN SERIES. Esta banda tiene una base metálica de acero, con la resistencia suficiente para soportar las cargas de los contenedores. Este tipo está diseñado para trabajar en ambientes de elevadas temperaturas con poco mantenimiento o con poca lubricación. Además de poder soportar grandes cargas.

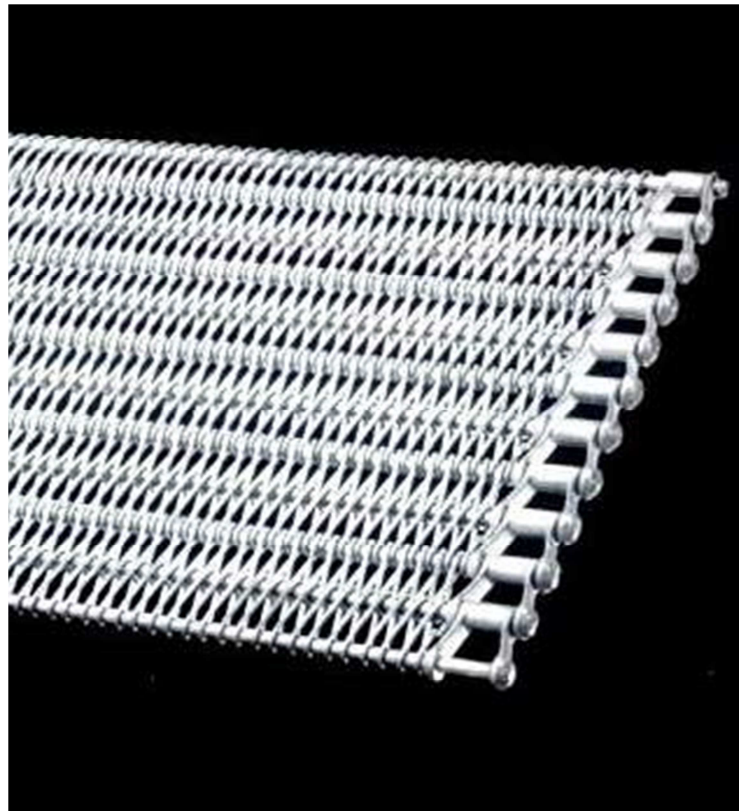


Figura 3.3. Diseño de la Banda Transportadora seleccionada. Fabricante AUDUBON. [9]

La banda seleccionada tiene las siguientes características.

LONGITUD	227.72 m
CADENA	Modelo 1018-S / ANSI 200
RODILLOS (diámetro)	39.37 mm
ÁREA BANDA	332.58 m ²
MATERIAL	Acero inoxidable

Tabla 3.2. Especificaciones de la banda metálica seleccionada. Fuente: Elaboración propia

Esta banda es movida por un sistema de cadenas. Para las cadenas se ha optado por buscar una solución comercial dentro de las de rodillo simple. La elegida es una ANSI 200, se adjunta una tabla con los valores más representativos de la misma.

MODELO (REF, Nº): 1018-S

PASO: 63'50 mm - 2 1/2"

ANCHO INTERIOR, A: 38.10 mm

Ø RODILLO, D: 39.37 mm

CARGA ROTURA: 43000 Kg

PESO POR METRO: 16.04 Kg/m

LONGITUD DE LA CADENA (L_c): 227.18 m

Tabla 3.3. Especificaciones de la cadena ANSI 200. Fuente: Elaboración propia

Los motores necesarios para el movimiento de este sistema se eligen en función de la velocidad que se quiera dar al sistema. Para ello se buscan en tablas de datos de motores, comprobando que potencia, par y par de arranque son los suficientes para iniciar el movimiento de la misma.

Se propone un sistema con un motor en cabeza. Se considera que el sistema de banda transportadora tiene una velocidad máxima de 1.5 m/s, por lo tanto se hace necesario un motor de **2700 CV**. Los cálculos del motor se incluyen en el Anexo III.

Estos motores van unidos a unas ruedas dentadas como las que se muestran a continuación.

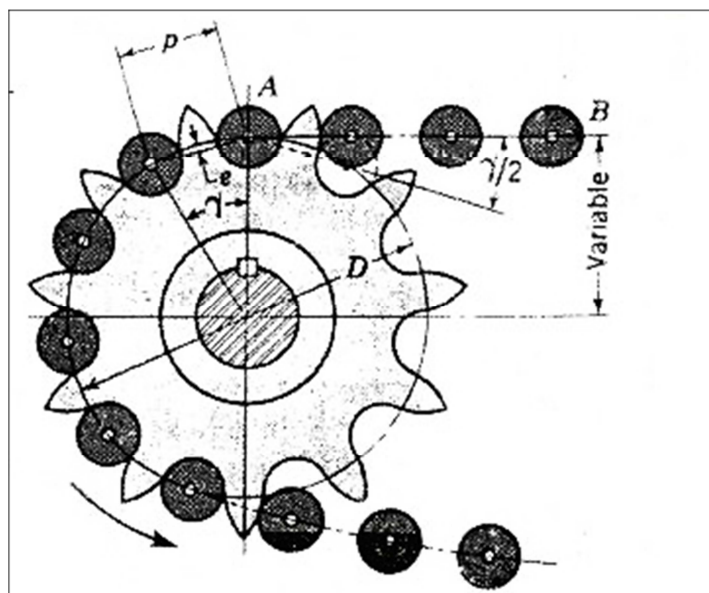


Figura 3.4. Esquema general de la rueda dentada. Fuente: Reproducido de Miravete, Larrodé, Castejón y Cuartero (2002).

Los parámetros más importantes de la rueda dentada seleccionada son los siguientes.

Diámetro primitivo: 1011.3 mm

Paso: 63.5 mm

Número de dientes (Z): 50

Tabla 3.4. Parámetros más importantes de la rueda dentada seleccionada. Fuente: Elaboración propia

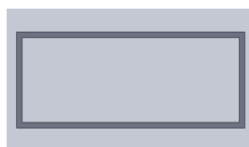
Para dar rigidez a la banda se colocan una serie de rodillos a una distancia de 6 metros para que su flexión no ponga en peligro su resistencia.

Todos estos dispositivos se localizan en la cara superior de la segunda viga principal, también de 112 metros. Para soportar el peso de esta viga se diseñan unos tirantes en el caso más desfavorable, que es cuando el contenedor está en el extremo más alejado de la estructura de la grúa, coincidiendo con el final de la banda.

Los tirantes calculados, como se puede comprobar en el Anexo III, se han obtenido teniendo en cuenta que el **coeficiente de seguridad** que deben soportar es de **2.5**. El material de los tirantes es **acero A-42** de límite elástico 2600 Kg/cm^2 . El diámetro de los tirantes es de 0.5 metros, su espesor es de 0.05 metros y su longitud es de 74.32 metros.

Por último también se ha comprobado que la estructura correspondiente puede soportar todas las cargas que sobre ella residen. Como se verá en los cálculos del Anexo III, se ha simulado la opción más desfavorable para la viga. En ella se ha tenido en cuenta el propio peso de la estructura y de la banda que sobre ella soporta, el peso del spreader que cuelga por debajo con los elementos del mismo y un contenedor que está siendo transportado, una distribución uniforme de contenedores encima de la banda y un contenedor en el extremo.

Para el dimensionamiento de esta viga se ha propuesto una viga cajón con las siguientes dimensiones.



$$h = 3000 \text{ mm} \quad I = 6.86 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4 \quad A = 4.24 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$b = 8000 \text{ mm} \quad W = 4.57 \cdot 10^9 \text{ mm}^3$$

$$e = 200 \text{ mm} \quad A_c = 1.2 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

Con estos elementos se da por definida la banda correspondiente al tramo horizontal del movimiento de handling de los contenedores.



Figura 3.5. Vista general de la banda transportadora. Fuente: Elaboración propia

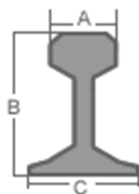
3.1.3. Segundo Sistema de Descenso/Elevación

Posee grandes similitudes con respecto al sistema de elevación explicado anteriormente, especialmente estructurales en la zona de la base donde se recogen los contenedores.

La primera variación que se encuentra es que este cilindro debe llegar a nivel de suelo para que otro elemento de transporte recoja el contenedor y lo almacene donde es debido. Por ese motivo se propone que este sistema trabaje a un nivel inferior al de tierra, para que en la posición más baja de la plataforma forme parte del plano suelo. Se propone un sistema de raíles para desplazar el sistema situado a 6.5 metros de profundidad. Los cálculos del sistema telescópico se encuentran recogidos en el Anexo III. Es importante destacar que este cilindro telescópico debería ir guiado para asegurar su correcto movimiento vertical.

Como se acaba de comentar, este sistema debe ser móvil, ya que la grúa lo es para poder recorrer toda la longitud de la cubierta del barco, por lo que el sistema de elevación debe ser solidario con ese movimiento. Todo el sistema se debe desplazar a 90 m/min al igual que todo el conjunto de la grúa.

De nuevo, el carril utilizado para su desplazamiento es un **perfil Burbach A-120** con las siguientes características.



A= 120 mm

B= 105 mm

C=220 mm

Su presión admisible es de **7 N/mm²**. Por lo tanto, se aplicarán de nuevo las ecuaciones mencionadas en el apartado 2.5.1. Circuito de Traslación del Carro.

3. NUEVOS SISTEMAS DE DESCARGA

Las ruedas necesarias son 2 por cada esquina del carro. Al tratarse de un elemento esbelto se ha decidido colocar un balancín con el objetivo de mejorar la estabilidad del sistema de transporte vertical.

Por otra parte, se necesita definir el motor necesario para provocar toda esta traslación del elemento. El motor eléctrico seleccionado es el siguiente.

POTENCIA (CV/Kw)	TIPO	PESO (Kg)	MOMENTO DE INERCIA (Kg m ²)	VELOCIDAD (r.p.m.)	RENDIMIENTO	COS θ	PAR (Nm)	Relación PAR máx y nominal
40/30	1LS2 176- 4AA2.	400	0.76	1455	91.5%	0.88	201	3.9

Tabla 3.5. Características del motor de traslación seleccionado para el segundo sistema de Descenso/Elevación.
Fuente: Elaboración propia

Un motor de 40 CV es suficiente, ya que como veremos en el Anexo III, además de cumplir las especificaciones en potencia también cumple las de par, por lo que es capaz de arrancar sin problemas.

Los detalles de este proceso de cálculo se encuentran recogidos en el Anexo III. Se observa una imagen del conjunto final una vez ensamblado.

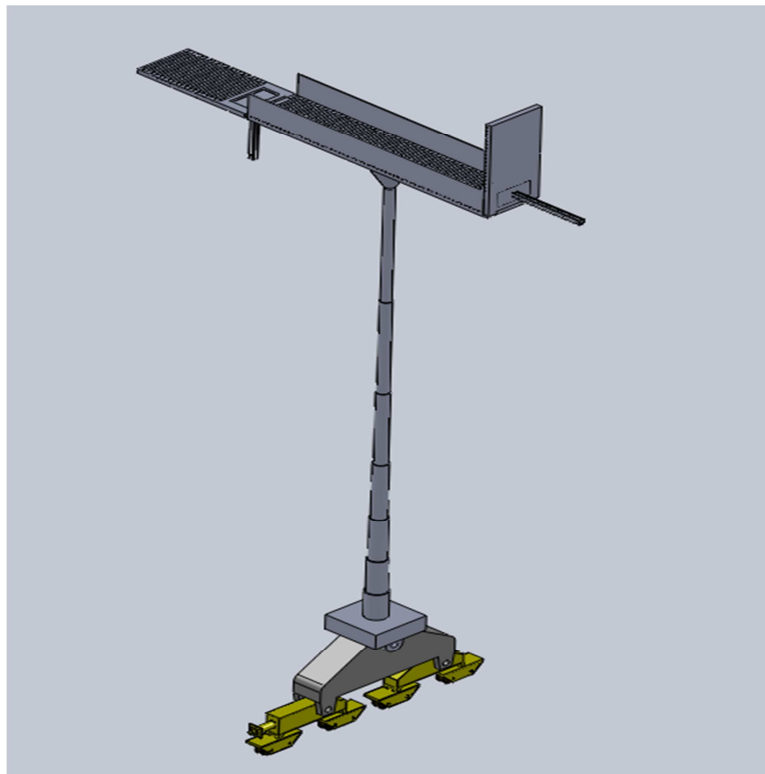


Figura 3.6. Diseño del Segundo Sistema de Elevación/Descenso. Fuente: Elaboración propia

3.2. Segundo Sistema de Carga/Descarga

Se trata de un concepto parecido al sistema explicado en el apartado anterior pero con un giro de tuerca más en pro de su automatización y reducción de tiempo. Para estas mejoras se pretende añadir una banda transportadora que sea capaz de seguir el movimiento del spreader sea cual sea su posición. Ello se ha conseguido utilizando una combinación de dos bandas móviles. Estas bandas extensibles provocan una reducción de tiempo de descarga, ya que es más veloz el transporte de los contenedores sobre una banda que el movimiento horizontal del carro.

Es importante comentar que en esta sección del proyecto sólo se contemplarán las diferencias respecto al primer sistema propuesto, ya que los elementos que son similares entre ellos han sido definidos en la sección anterior. Así pues, en este apartado se hará hincapié en las innovaciones respecto del primer sistema de descarga.

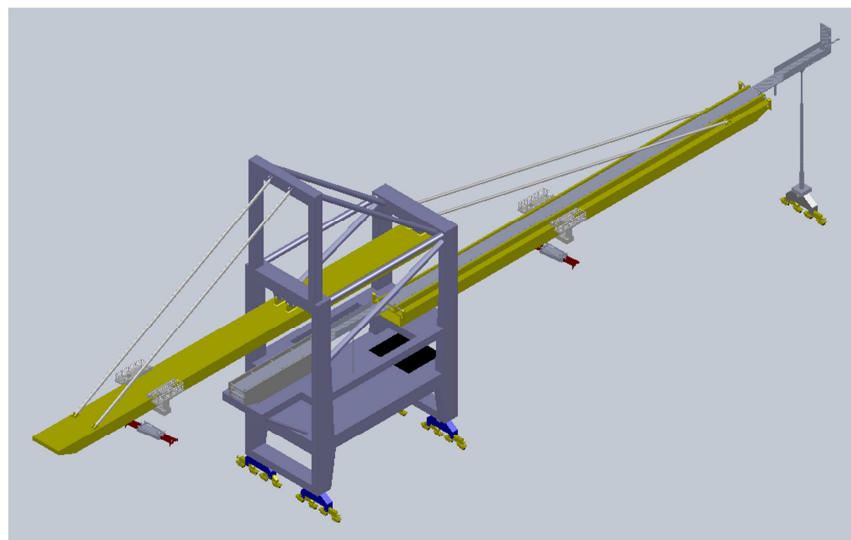


Figura 3.7. Diseño general del Segundo Sistema de Carga/Descarga. Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Descarga de Contenedores – Banda Transportadora Móvil

Este es el punto más innovador de todo el sistema. Consiste en una banda transportadora extensible que se adapta a la posición del spreader. De esta forma se minimiza su recorrido, provocando una reducción del tiempo de descarga total del barco. El movimiento clave del sistema es reducir al mínimo la traslación del carro, para así ganar tiempo. Se evita que el carro se desplace horizontalmente muchos metros. Con ello se logra un gran aumento del número de contenedores descargado por unidad de tiempo.

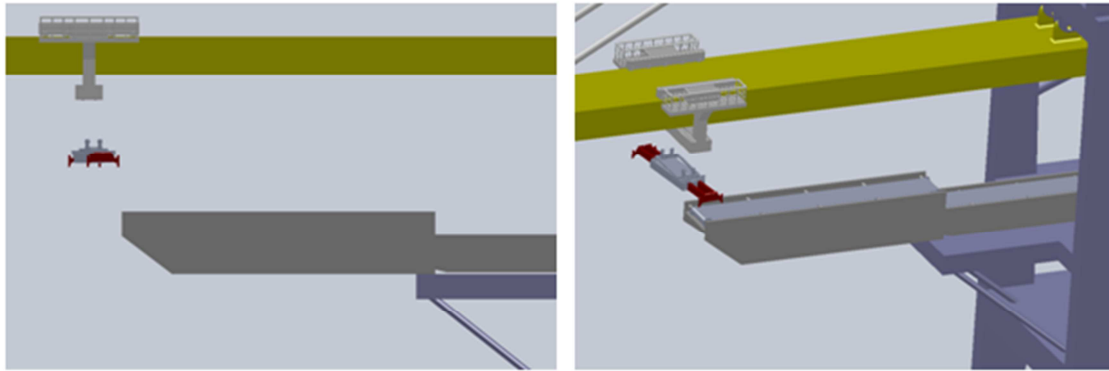


Figura 3.8. Detalle del sistema de Banda Transportadora móvil en posición de Descarga de contenedores a tierra.
Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior se puede observar la citada innovación en el momento de descarga de contenedores del barco al puerto. En la vista lateral se ve como se adapta la banda móvil a la posición del spreader. El movimiento siempre es en descenso hasta el elevador posterior, por eso no existen problemas a la hora de descargar.

Por otra parte, a la hora de cargar el barco se extiende la banda inferior. Ésta también es capaz de adaptarse a la posición del spreader como se ve en la siguiente imagen.

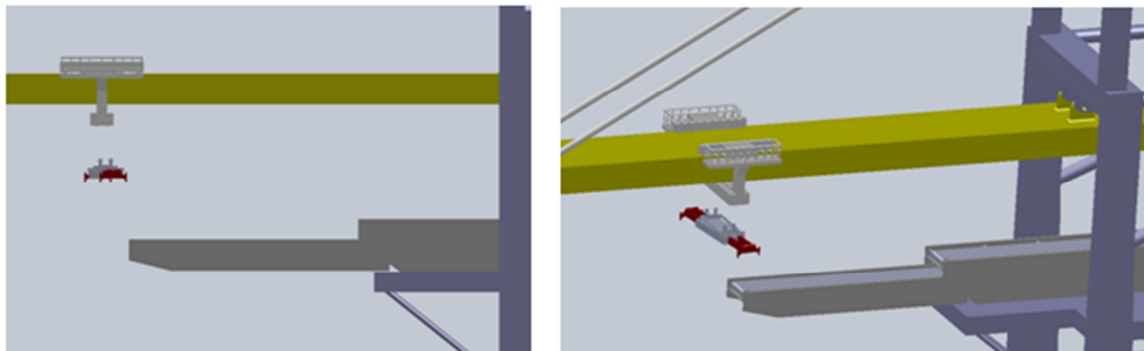


Figura 3.9. Detalle del sistema de Banda Transportadora móvil en posición de Carga de contenedores al barco.
Fuente: Elaboración propia

De nuevo todo el movimiento que deben realizar los contenedores es descendente, por lo que no habrá problemas para realizarlo.

Entrando más en detalle en estos sistemas, se debe decir que son móviles sobre unos rodillos que provocan un mejor y mayor deslizamiento entre la estructura fija de la grúa y estas bandas móviles. Los perfiles sobre los que se apoyan estas bandas son unas vigas cajón.

En los cálculos de las mismas se obtienen elevados coeficientes de seguridad. Éstos han de mantener ese valor, ya que por temas de diseño es imposible reducir su tamaño, ya que sobre estos perfiles residen las bandas transportadoras, por lo que su anchura debe ser al menos de la anchura del contenedor a transportar.

Estos sistemas extensibles son movidos por unos motores eléctricos. Se necesitan dos, uno por brazo. Sus características se presentan en la tabla siguiente: la primera fila corresponde al brazo inferior y la segunda al brazo superior.

POTENCIA (CV/Kw)	TIPO	PESO (Kg)	MOMENTO DE INERCIA (Kg m ²)	VELOCIDAD (r.p.m.)	RENDIMIENTO	COS θ	PAR (Nm)	Relación PAR máx y nominal
485/355	1LS4 454- 4AA1	2800	20	1490	95%	0.92	2270	4.1
610/450	1LS4 456- 4AA1	3100	24	1490	95%	0.92	2890	4.1

Tabla 3.6. Características de los motores para el brazo superior extensible y para el brazo inferior extensible respectivamente. Fuente: Elaboración propia

El proceso de cálculo se detalla en el Anexo IV.

3.2.2. Sistema de Descenso/Elevación

En este sistema, la variación reside en las placas laterales y en el cilindro telescópico. Por temas de diseño, las placas laterales se han debido acortar hasta una longitud de 3 metros, ya que debe coincidir su tamaño con el espacio para su ubicación dentro de la estructura de la grúa.

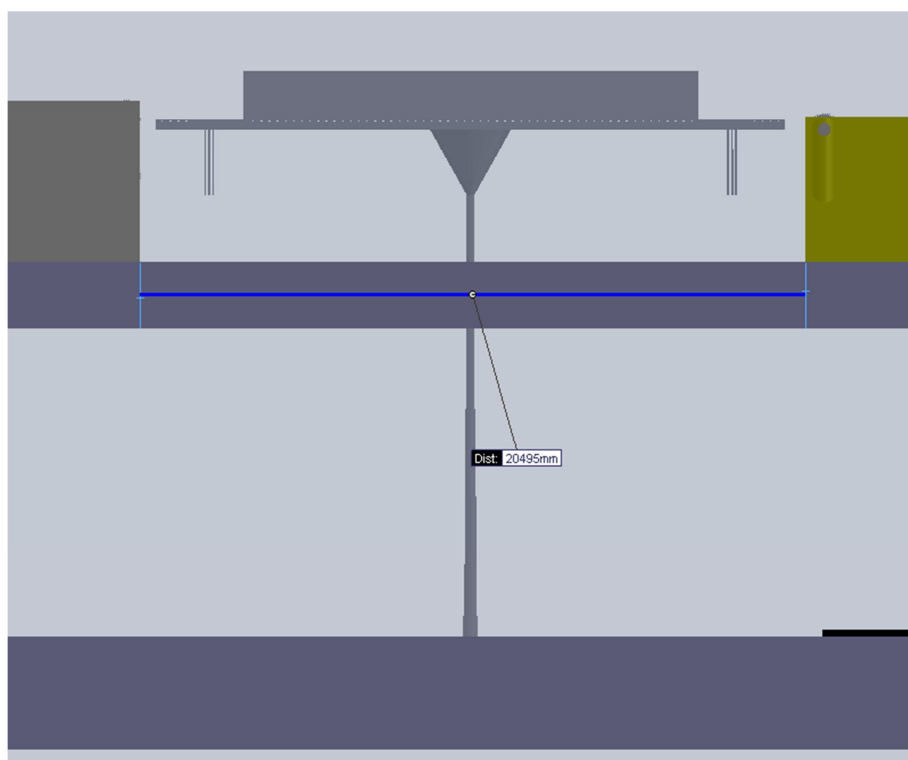


Figura 3.10. Diseño del Sistema de Descenso/Elevación dentro del Segundo Sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia

Por otra parte se tiene el cilindro telescópico como novedad. Éste consta de 6 tramos. La clave de este sistema reside en que es capaz de dejar la base a la altura del segundo nivel de descarga. Una vez allí, el pistón lateral se encargará de empujar el contenedor y con la ayuda de

los rodillos se posicionará para que el otro spreader pueda recogerlo en caso de descarga directa sobre los trenes.

Como se puede comprobar, los últimos tramos de los cilindros telescópicos están insertados dentro de la estructura de la grúa para conseguir el posicionamiento anteriormente comentado.

El proceso de cálculo de los tramos telescópicos se adjunta en el Anexo IV.

3.2.3. Segunda Banda Transportadora

Es idéntica a la definida en la sección 3.1.2. por lo que se remite a ella para su definición.

3.2.4. Descenso de los Contenedores al suelo

Con este sistema ocurre lo mismo que con la banda anterior. Posee las mismas características que el sistema definido en la sección 3.1.3.

4. ESTUDIO DE TIEMPOS

El primer estudio de esta sección se centra en analizar el aumento de productividad a la hora de descargar un barco.

Actualmente, según un estudio realizado con título: “ Studio generale di un sistema di trasporto per il collegamento veloce del porto di Genova con l’entroterra”, por los Ingenieros Guido Belforte, Terenziano Raparelli y Roberto Grassi en el Politécnico de Turín se ha demostrado que las grúas de puerto actuales son capaces de descargar teóricamente 40 contenedores/hora.

Las actuales grúas del puerto de Génova son de diferentes fabricantes, unas son de la empresa china ZPMC y otras de KONE, con las siguientes características de velocidades de movimiento por encima del fabricante que las haya comercializado.

Lifting capacity	Double spreaders		80t
	Single spreader		65t
Main trolley	Hoisting speed	Full load	90m/min
		No load	180m/min
	Trolley speed		240m/min
Aft trolley	Hoisting speed	Full load	50m/min
		No load	100m/min
	Trolley speed		240m/min
Hoisting height	Main trolley		Above 41m
	Aft trolley		15m
Max. outreach			Above 63m
Backreach			19m
Rail span			35m

Figura 4.1. Tabla de datos de velocidades de la grúa y del carro. Fuente: Belforte, Raparelli y Grassi (2008).

Es importante destacar que estos cálculos se centran en el movimiento del carro y del spreader. Es ahí donde verdaderamente se consigue la mejora en el tiempo de descarga ya que con los nuevos sistemas la grúa puede actuar como buffer intermedio.

4. ESTUDIO DE TIEMPOS

Con estos datos del fabricante, del estudio previo mencionado con anterioridad se extrae la siguiente tabla con los tiempos teóricos.

Movimento		Tempo s	distanza m	vel m/min
Sollevamento spreader vuoto	za+	8	25	180
Avvicinamento del carrello alla nave	Xa+	13	50	240
Discesa spreader vuoto	za-	10	30	180
Aggancio container	Ma	5		
Sollevamento spreader carico	Za+	20	30	90
Traslazione verso piattaforma	Xa-	13	50	240
Discesa spreader carico	Za-	17	25	90
Sgancio container	Ma	5		
Totale		90	Mov/h teor	40

Figura 4.2. Tiempo de cada movimiento del spreader/carro. Fuente: Belforte, Raparelli y Grassi (2008).

Como se comprueba se obtienen los teóricos 40 movimientos/hora. Una vez llegados a este punto, se debe considerar que estos movimientos han de ser menores que los teóricos de las grúas pórtico que se encargan de cargar a los trenes que llegan a pies de la grúa.

Las grúas pórtico del puerto SECH de Génova también son del fabricante ZPMC y de KONE . Éstas tienen las siguientes características:

Movimento	Velocità MAX		Descrizione
	KONE m/min	ZPMC m/min	
Xa	240	240	Traslazione carrello lato NAVE
Xb	240	240	Traslazione carrello lato TERRA
Ya	45	45	Traslazione GRU
Za	90	90	Sollevamento / discesa spreader CARICO lato NAVE
za	180	180	Sollevamento / discesa spreader VUOTO lato NAVE
Zb	90	90	Sollevamento / discesa spreader CARICO lato TERRA
zb	180	180	Sollevamento / discesa spreader VUOTO lato TERRA
Ma	5	5	Manovra Spreader lato Nave
Mb	5	5	Manovra Spreader lato TERRA

Figura 4.3. Tiempo de cada movimiento de las grúas pórtico. Fuente: Belforte, Raparelli y Grassi (2008).

Descrizione	PORTATA GRU mov/h	fattore gru TEU/mov	TOTALE TEU/h
GRU DI BANCHINA ZPMC nave / piattaforma	40	4	160
GRU DI BANCHINA ZPMC piattaforma / terra	78	4	313
GRU DI BANCHINA KONE nave / piattaforma	40	2	80
GRU DI BANCHINA KONE piattaforma / terra	78	2	157

Figura 4.4. Resultado final de los movimiento de las grúas portacontenedores y de las grúas pórtico. Fuente: Belforte, Raparelli y Grassi (2008).

Con estas velocidades de operación, como se ve en el estudio anteriormente citado, se obtienen las siguientes capacidades de operación para las grúas pórtico.

Como se puede observar, tanto para las grúas pórtico del fabricante ZPMC como las de KONE son capaces de hacer 78 movimientos/hora, por lo que es factible esta combinación de grúa de puerto con grúa pórtico en todos los casos.

Una vez comprobada la viabilidad de esta combinación se pasa a desarrollar para los dos nuevos sistemas el aumento de la productividad en término de capacidad de descarga/carga de contenedores. Además de observar las mejoras, se debe comprobar que en los dos nuevos sistemas de handling propuestos no se superan los 78 movimientos/h que realizan las grúas pórtico, ya que el máximo de contenedores en movimiento viene limitado por ese valor.

4.1. Reducción de Tiempos

Es importante destacar que todos los cálculos realizados son en base a las velocidades citadas anteriormente. Las principales variaciones que se encuentran residen en la reducción de la distancia a recorrer por carro y/o spreader. El estudio temporal se realiza en el caso más desfavorable, es decir, en el que se tiene una posición de los elementos que intervienen en la descarga más alejada. Se realiza en ese caso para ver que incluso en el momento de peor situación se consigue una mejora del tiempo de handling.

Se va a analizar cada movimiento en particular, remarcando claramente en cuáles de ellos se produce una mejora temporal y cómo afecta esa mejora individual en la global. El primer movimiento que se realiza es la ascensión de carro vacío, ya que para el estudio, se supone que la situación menos favorable es el momento en el que se tiene el carro en la posición más cercana a la Tierra y con el spreader lo más abajo posible.

4.1.1. Tiempo del Primer Sistema

Para hallar el tiempo total del primer sistema se va a analizar cada movimiento por separado. En este caso tendremos sólo dos variaciones en los tiempos, el resto se mantendrán iguales a los del estudio previo realizado.

La primera de las variaciones se produce en la ascensión del spreader vacío. La velocidad de operación es de 180 m/min como se comprueba según los datos del fabricante anteriores. En este caso la distancia a recorrer es de 16.85 metros, ya que en la peor situación el spreader estará situado a la altura de la base inferior de la grúa, de ahí se obtiene el primero de los tiempos.

$$t_1 = \frac{16.85 \text{ m}}{180 \text{ m/min}} = 0.0936 \text{ min} = \mathbf{5.61s} \quad (\text{Ec. 4.1.})$$

La segunda de las variaciones reside en el tiempo de descenso una vez el contenedor ya está cargado. Ese tiempo se mejora porque la base del primer elevador hidráulico está situada a 9,5 metros del brazo principal, por lo que el spreader sólo tiene que recorrer esa distancia. La velocidad vuelve a ser 90 m/min, por lo que el tiempo invertido en ese movimiento es el siguiente.

$$t_2 = \frac{9.5 \text{ m}}{90 \text{ m/min}} = 0.105 \text{ min} = \mathbf{6.33s} \quad (\text{Ec. 4.2.})$$

Como se ha comentado el resto de movimientos permanecen iguales a los habituales, por lo tanto el tiempo total del proceso se reduce.

$$t_{\text{tot1}} = \sum_{i=1}^N t_i = 5.61 + 13 + 10 + 5 + 20 + 13 + 6.33 + 5 = \mathbf{77.94s} \quad (\text{Ec. 4.3.})$$

El tiempo total se aproxima a 78 segundos, por lo que ya se pueden calcular el número de movimientos teóricos por hora que se puede realizar con este primer sistema.

$$\frac{3600 \text{ s/h}}{78 \text{ s/mov}} = \mathbf{46.15 \frac{mov}{h}} \quad (\text{Ec. 4.4.})$$

Comparándolo con el caso sin ninguna modificación se obtiene la siguiente mejora.

$$\% \text{mejora1} = \frac{46 - 40}{40} \cdot 100 = \mathbf{15\%} \quad (\text{Ec. 4.5.})$$

Es decir, con este nuevo sistema se pueden descargar un 15% más de contenedores cada hora con los ahorros económicos y mejoras en la productividad del puerto que ello conlleva.

4.1.2. Tiempo del Segundo Sistema

El segundo de los sistemas tiene un mayor número de modificaciones de los movimientos básicos del carro y/o spreader. Este mayor número de variaciones se debe al sistema de brazos extensibles que hace que se reduzcan en gran medida los movimientos, especialmente los de traslación del carro.

En primer lugar, la ascensión del spreader vacío es menor que en el caso anterior, ya que siempre hay una base situada debajo del mismo, lo que hace que como máximo éste tenga que desplazarse 9.5 metros. Esta reducción produce el siguiente tiempo.

$$t_1 = \frac{9.5 \text{ m}}{180 \text{ m/min}} = 0.0572 \text{ min} = \mathbf{3.16s} \quad (\text{Ec. 4.6.})$$

En segundo lugar, el acercamiento del carro hasta la posición donde está el contenedor a recoger se reduce hasta los 12 metros de longitud, esto es debido al brazo móvil.

El brazo móvil se ajusta a la posición sobre la planta del barco para favorecer la descarga de los contenedores apilados en esa posición. Es por eso que el carro sólo debe moverse 12 metros, longitud de un contenedor. Son 12 metros porque el container, una vez recogido debe girarse 90 grados para su correcta colocación sobre el brazo extensible. Con esta reducción del movimiento del carro se tiene el siguiente tiempo para este movimiento.

$$t_2 = \frac{12 \text{ m}}{240 \text{ m/min}} = 0.05 \text{ min} = \mathbf{3s} \quad (\text{Ec. 4.7.})$$

El siguiente movimiento que se modifica es la traslación del carro una vez éste ha cargado el contenedor. De nuevo se tienen **3s**, ya que la distancia a recorrer vuelve a ser 12 metros y la velocidad 240 m/min.

El descenso del spreader una vez cargado vuelve a ser uno de los movimientos que varían. La distancia a recorrer es de 9.5 metros como antes, pero en esta ocasión la velocidad es menor a causa de la carga que transporta, fijándose en 90 m/min.

$$t_4 = \frac{9.5 \text{ m}}{90 \text{ m/min}} = 0.105 \text{ min} = \mathbf{6.33s} \quad (\text{Ec. 4.8.})$$

Respecto al movimiento habitual de carro y spreader ya no se detectan más variaciones en los movimientos básicos, por lo que se va a hallar el tiempo total de descarga según este sistema.

$$t_{tot2} = \sum_{i=1}^N t_i = 3.16 + 3 + 10 + 5 + 20 + 3 + 6.33 + 5 = \mathbf{55.49s} \quad (\text{Ec. 4.9.})$$

El tiempo total se aproxima por 55.5 segundos, lo que implica un aumento hasta 64 movimientos por hora.

$$\frac{3600 \text{ s/h}}{55.5 \text{ s/mov}} = \mathbf{64.86 \frac{mov}{h}} \quad (\text{Ec. 4.10.})$$

Se va a comprobar en qué porcentaje se mejora la productividad, lo que conllevará un menor tiempo en el proceso de carga/descarga del barco.

$$\%mejora2 = \frac{64 - 40}{40} \cdot 100 = \mathbf{60\%} \quad (\text{Ec. 4.11.})$$

Se comprueba que con el segundo sistema se incrementa notablemente la productividad de la grúa. También tiene una gran repercusión en el ahorro de costes a la hora de tener los barcos atracados al reducir el tiempo necesario para descargar un contenedor.

En ninguno de los dos casos se superan los 78 mov/h teóricos de las grúas pórtico que se encargan de recoger los contenedores una vez salen de la grúa. Ambos sistemas cumplen esa restricción, por lo que puede ser factible su implementación.

5. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS

Con el último de los diseños se obtiene una mayor mejora temporal y se adapta más a las necesidades del cliente. Por esta razón, se cree conveniente realizar un estudio a través de los elementos finitos con el objetivo de verificar la resistencia mecánica de la última grúa propuesta.

En éste se va a dividir la grúa en subgrupos, facilitándose así el mallado de cada parte que compone el segundo sistema y reduciendo su tiempo de cálculo. Para cada uno de ellos se simulará la situación que se cree más desfavorable o la que se compruebe que tenga un mayor interés en su resultado.

Es importante destacar que esta sección del proyecto se ha llevado a cabo en el seno del Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, dentro del Departamento de Mecánica de la Universidad de Zaragoza. Para ello se han utilizado los programas PATRAN y ABAQUS como herramienta para mallar y calculador de resultados respectivamente.

5.1. Características de la Malla y del Elemento

Para todos los elementos se ha utilizado una malla de tipo “Shell” ya que se ha considerado su tratamiento como el de una placa. Esta elección se realiza con el fin de adaptarse mejor a la geometría de la grúa, ya que toda ella estará formada por placas soldadas.

Solamente hay una parte de un elemento en la que se ha considerado una malla tipo “Solid”. Esta es la base del cilindro hidráulico telescópico, ya que por diseño se ha considerado sólida.

Como inicialmente no se tenían restricciones en el tamaño de los elementos, éstos se han adaptado según las dimensiones de la sección de la grúa a mallar. De ahí la diferencia de tamaño entre las diferentes mallas.

5.2. Casos de Cargas según la norma FEM

En esta sección se van a presentar los casos estudiados sobre la estructura de la grúa propuesta en el segundo sistema de descarga.

Con el objetivo de encontrar los casos de estudio se ha revisado la norma FEM (Federación Europea de la Manutención). En esta norma se definen las solicitaciones existentes sobre una estructura de un aparato de elevación. La grúa que se propone como solución cumple las exigencias de la norma.

El primer paso es clasificar la grúa. Para ello existe una tabla que determina el grupo FEM/DIN (según la normativa elegida). Ésta clasificación se rige por el estado de la carga y las vida en horas de funcionamiento real del mecanismo. En nuestro caso se obtiene una clasificación del tipo **M8/5m**, ya que, por una parte, se ha supuesto una frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas, y por otra, que el mecanismo tiene una vida de 50000 horas.

Una vez se ha clasificado el aparato ya se pueden considerar los diferentes tipos de sollicitaciones a tener en cuenta. Éstas son:

- Sollicitaciones principales que se ejercen sobre la estructura del aparato supuesto inmóvil, en el estado de carga más desfavorable.
- Sollicitaciones debidas a movimientos verticales.
- Sollicitaciones debidas a movimientos horizontales.
- Sollicitaciones debidas a efectos climáticos.
- Sollicitaciones diversas.

Por sollicitaciones principales se entiende, por una parte, las que son las debidas a la carga en servicio, o peso de la carga útil más el peso de los accesorios (gancho, cuchara....). Por otra parte son las debidas al peso propio, o peso de todos los elementos que componen la grúa a excepción de la carga de servicio.

Las sollicitaciones debidas a movimientos verticales provienen de la manipulación de la carga de servicio, aceleraciones o deceleraciones sobre el movimiento de elevación y choques verticales debidos al rodamiento sobre las vías. Para este tipo de sollicitaciones es importante destacar el factor llamado “coeficiente dinámico (ψ)”. En él se tiene en cuenta la manipulación de la carga en servicio, que constituye el choque más importante. El valor del coeficiente dinámico se puede obtener de la siguiente gráfica:

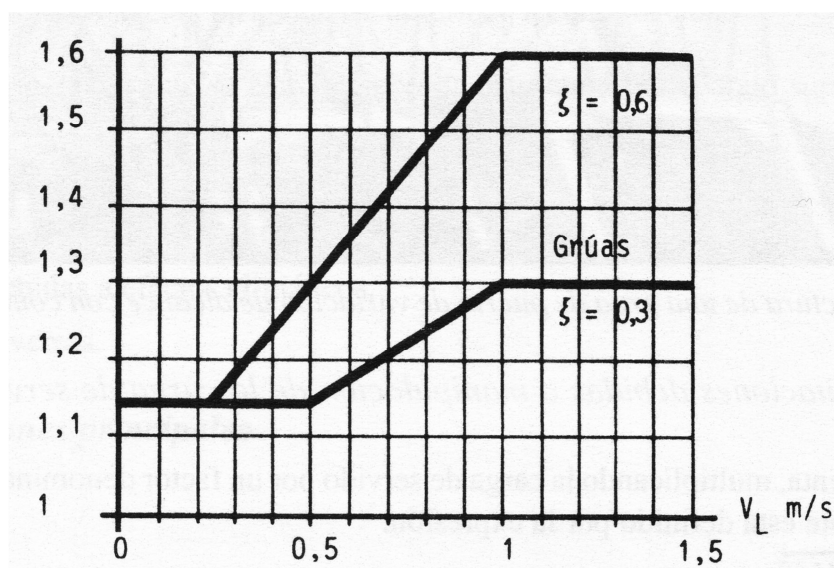


Figura 5.1. Gráfica de valores del coeficiente dinámico (ψ). Fuente: Miravete, Larrodé, Castejón y Cuartero (2002).

Con respecto a las sollicitaciones horizontales, cabe destacar que son las debidas a los efectos de inercia debidos a aceleraciones o deceleraciones de movimientos de dirección, translación, orientación y recuperación de la flecha de todo el conjunto de la grúa.

En este caso, se tiene que el efecto más influyente sobre las solicitaciones horizontales son los efectos de inercia debidos a aceleraciones y deceleraciones. Para ello se ha consultado la siguiente tabla, con el fin de conocer la aceleración a la que se somete todo el conjunto grúa, y así poder obtener la dicha solicitación.

Velocidad a obtener m/s	(a) Velocidad lenta y velocidad media con larga carrera		(b) Velocidad media y rápida (aplicaciones corrientes)		(c) Velocidad rápida con fuertes aceleraciones	
	Tiempo de acelerac. s	Aceleración m/s ²	Tiempo de acelerac. s	Aceleración m/s ²	Tiempo de acelerac. s	Aceleración m/s ²
4,00			8,0	0,50	6	0,67
3,15			7,1	0,44	5,4	0,58
2,5			6,3	0,39	4,8	0,52
2	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,43
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19		
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	3,2	0,078				
0,16	2,5	0,064				

Figura 5.2. Tabla de aceleraciones en función de la velocidad de desplazamiento. Fuente: Miravete, Larrodé, Castejón y Cuartero (2002).

El valor obtenido es de **0.32 m/s²**, ya que la grúa se traslada a 1.5 m/s y se considera que es la velocidad media en aplicaciones corrientes.

El tratarse de una grúa de puerto, la principal solicitación debida a efectos climáticos que se observa es el viento. Para poder evaluar esta solicitación se ha considerado que el viento ejerce una presión de **110 Kg/m²** entre una altura de 20 a 100 metros por encima del nivel del mar. Este dato se ha extraído de la siguiente tabla:

Altura del elemento por encima del suelo		Viento limite de servicio					Viento máximo				
m	ft	Velocidad V _w			Presión aerodinámica		Velocidad V _w			Presión aerodinámica	
		m/s	km/h	miles p h	kgf/m ² daN/m ²	Ibs/ sq.ft	m/s	km/h	miles p h	kgf/m ² daN/m ²	Ibs/ sq.ft
0 a 20	0 a 65	20	72	45	25	5	36	130	80	80	16
20 a 100	65 a 325						42	150	95	110	22
más de 100	más de 325						46	165	105	130	26

Figura 5.3. Tabla de velocidades y presiones de viento. Fuente: Miravete, Larrodé, Castejón y Cuartero (2002)

Para obtener el valor de la sollicitación se utiliza la siguiente expresión, que representa la fuerza que ejerce el viento sobre un objeto.

$$F = q \cdot A \cdot C \quad (\text{Ec. 5.1.})$$

Tanto la definición de los términos de esta ecuación, como su aplicación, pueden ser consultadas en el Anexo V.

El resto de efectos climatológicos no se tienen en cuenta.

El último apartado de sollicitaciones diversas no afecta en ningún sentido, ya que se centra en el dimensionamiento de pasarelas o barandillas.

Por último, es importante destacar la combinación de sollicitaciones. En la norma FEM se indican tres casos de estudio.

- CASO 1: Aparato en servicio sin viento.
- CASO 2: Aparato en servicio con viento.
- CASO 3: Aparato sometido a sollicitaciones excepcionales.
 - Viento en tempestad.
 - Efecto de choques con los topes de fin de carrera.
 - Ensayos estático y dinámico.

Estas combinaciones también se llevarán a cabo para evaluar la resistencia de la estructura de la grúa frente a ellas.

Todos los cálculos de las diversas sollicitaciones se encuentran recogidos en el Anexo V.

5.3. Resultados tras el estudio por el MEF

Se van a mostrar las soluciones obtenidas tras la aplicación, una a una, de las diversas sollicitaciones y finalmente un resultado tras las combinaciones anteriormente citadas. Para ello, se ha creado una tabla donde se recopilan todos los datos de tensiones y desplazamientos para cada uno de los casos de carga.

Los resultados gráficos de estas tensiones y desplazamientos se recogen en el Anexo VI. Ahí se muestran divididos por sollicitación.

Como se puede comprobar en la siguiente tabla, las sollicitaciones que recaen verticalmente sobre los brazos de la grúa se han dividido en tres estudios. En ellos se aplica la tensión por separado en cada uno de los brazos y finalmente se aplica a los dos conjuntamente. A la vista de los resultados, el caso más desfavorable es cuando se aplican las dos cargas a la vez, pero a poca distancia de los casos individuales.

CASO DE CARGA		TENSIÓN MÁXIMA (MPa)	DESPLAZ. MÁXIMO (m)
SOLICITACIONES PRINCIPALES	CARGA EN 2 EXTREMOS	515.7	0.92
	CARGA LADO AGUA	515.6	0.9138
	CARGA LADO TIERRA	511.5	0.9201
SOLICITACIONES VERTICALES	CARGA EN 2 EXTREMOS	517.4	0.9084
	CARGA LADO AGUA	517.2	
	CARGA LADO TIERRA	511.8	0.9087
SOLICITACIONES HORIZONTALES		540.4	0.9007
SOLICITACIONES CLIMÁTICAS		526.6	0.9006
COMBINACIÓN SOLICITACIONES	CASO 1	885.5	1.626
	CASO2	882.8	1.646
	CASO3a	554.3	0.9429
	CASO 3c – DINÁMICO	532.9	0.91
	CASO 3c - ESTÁTICO	532.3	0.9091

Tabla 5.1. Resultados de tensiones y desplazamientos tras la aplicación del MEF en los diferentes casos de carga.
Fuente: Elaboración propia.

5.4. Resumen de Resultados

Con el objetivo de visualizar mejor los resultados en tensiones, se ha generado una serie de tablas con los resultados más relevantes para cada solicitud independiente. Estos resultados se muestran para los dos brazos y para la estructura, ya que son los elementos más solicitados.

En las solicitudes que tienen más de una carga (solicitudes principales, solicitudes verticales), se toma sólo el caso más desfavorable, que se da cuando se tienen los dos brazos cargados.

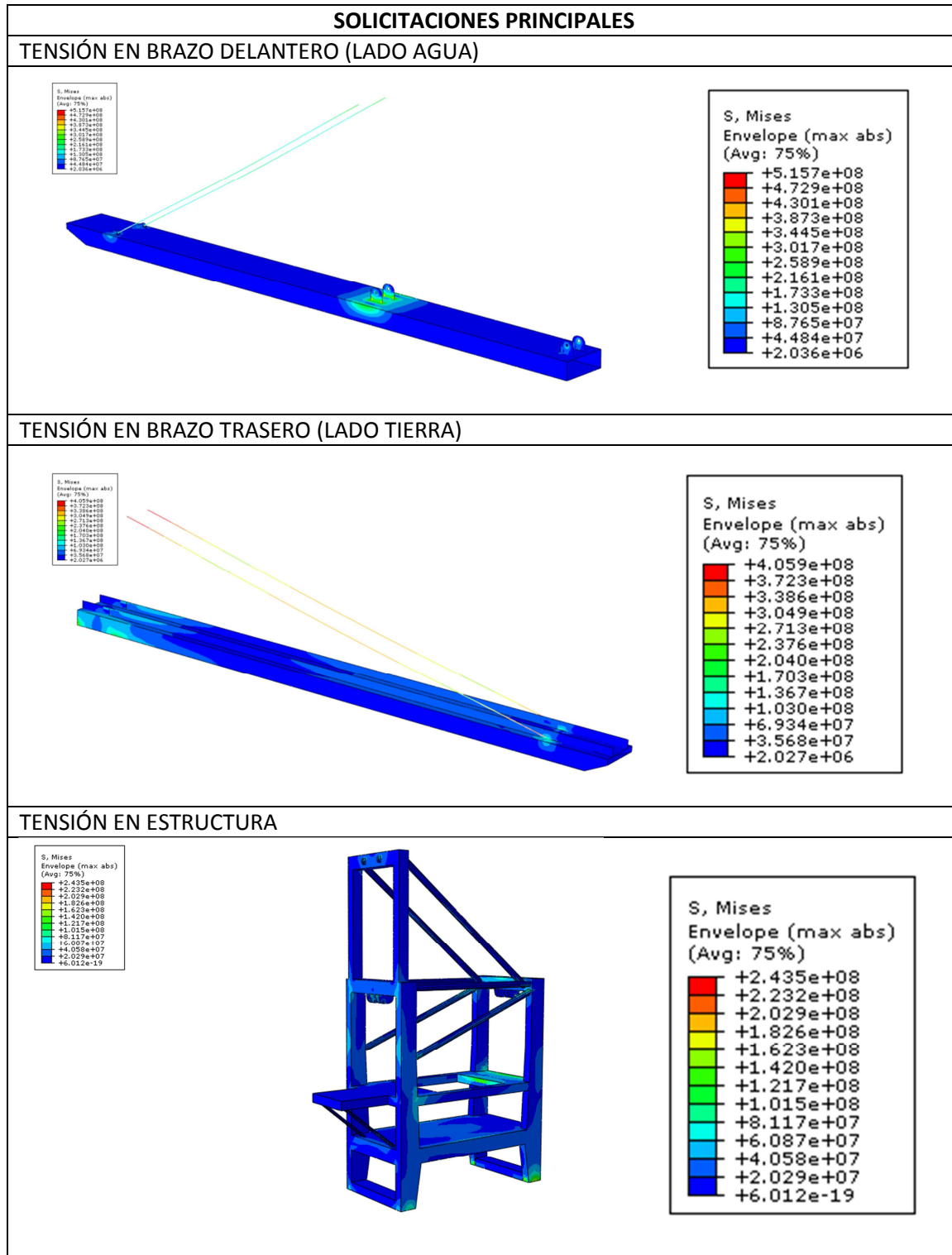


Tabla 5.2. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso más desfavorable dentro de las solicitaciones principales. Fuente: Elaboración propia.

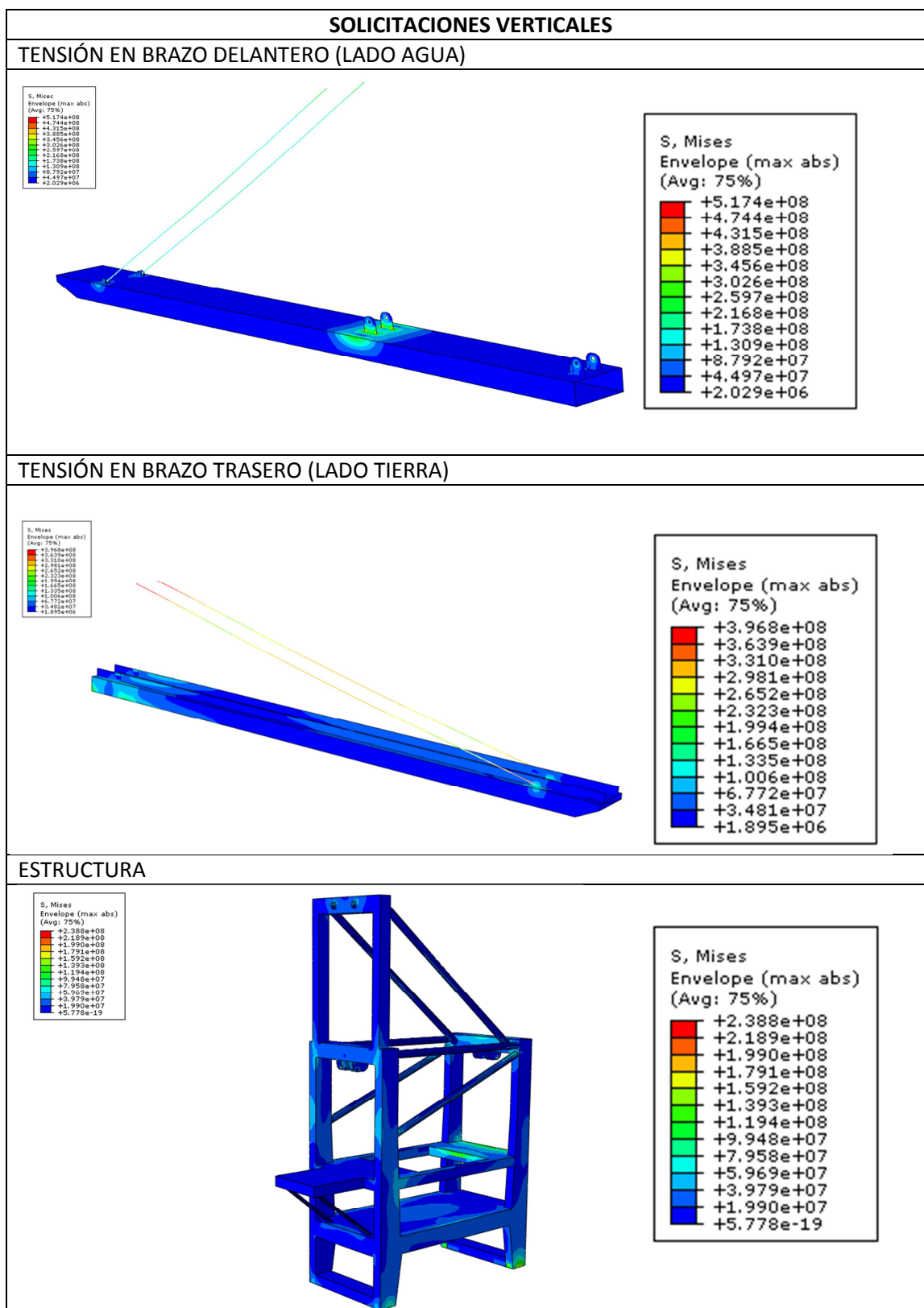


Tabla 5.3. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso más desfavorable dentro de las solicitaciones verticales. Fuente: Elaboración propia.

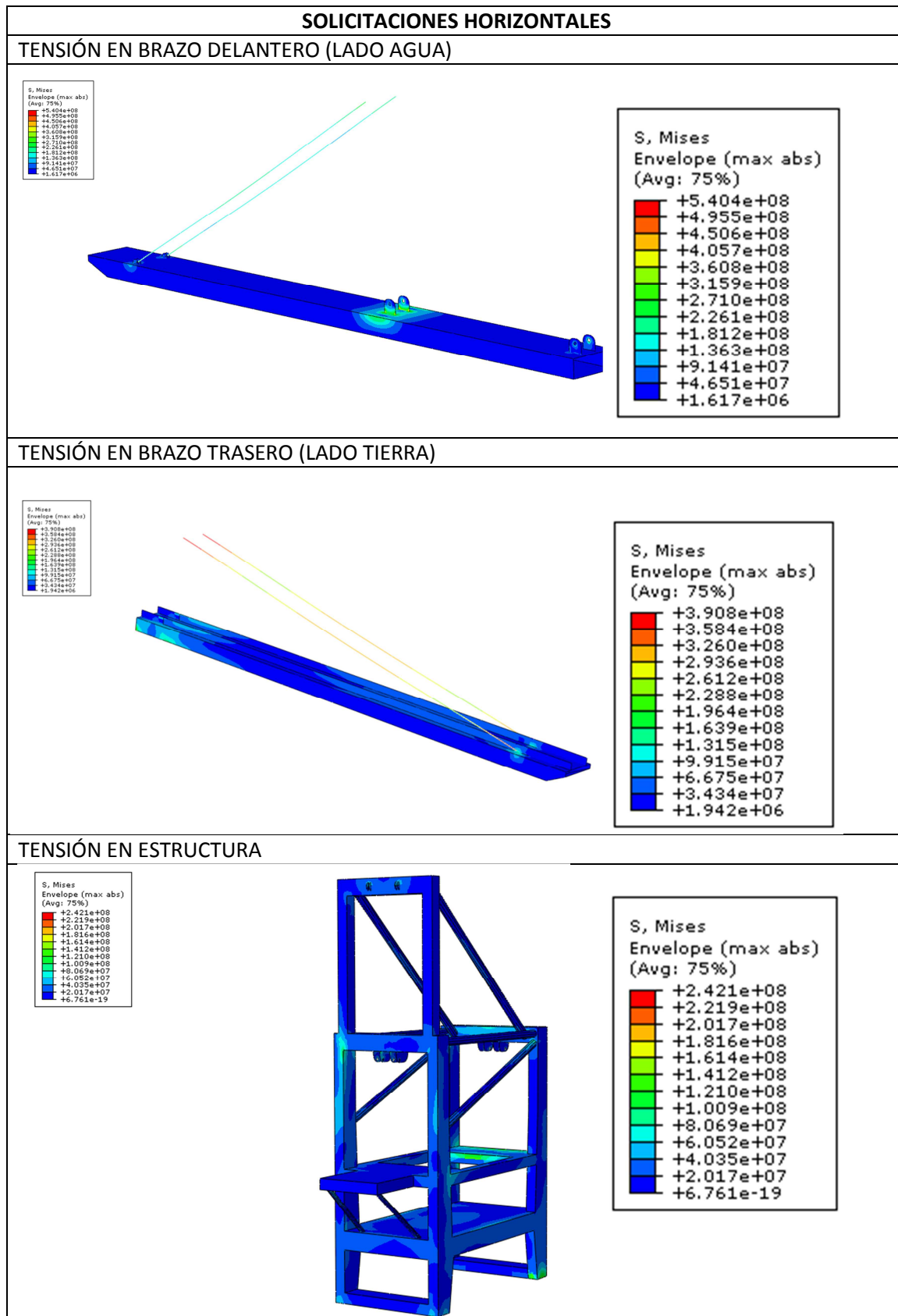


Tabla 5.4. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso de aplicar la sollicitación horizontal. Fuente: Elaboración propia.

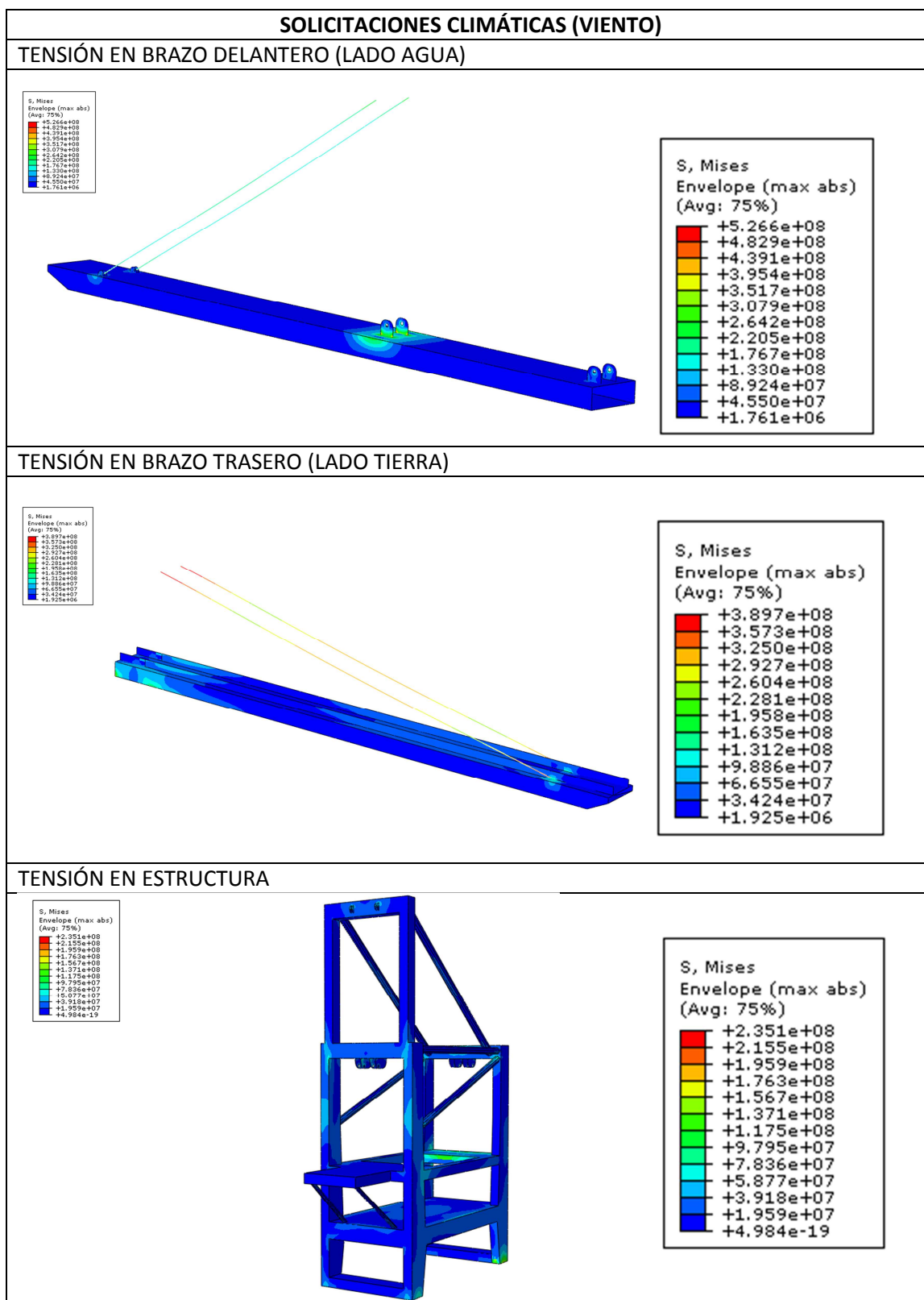


Tabla 5.5. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso de aplicar las solicitaciones climáticas. Fuente: Elaboración propia.

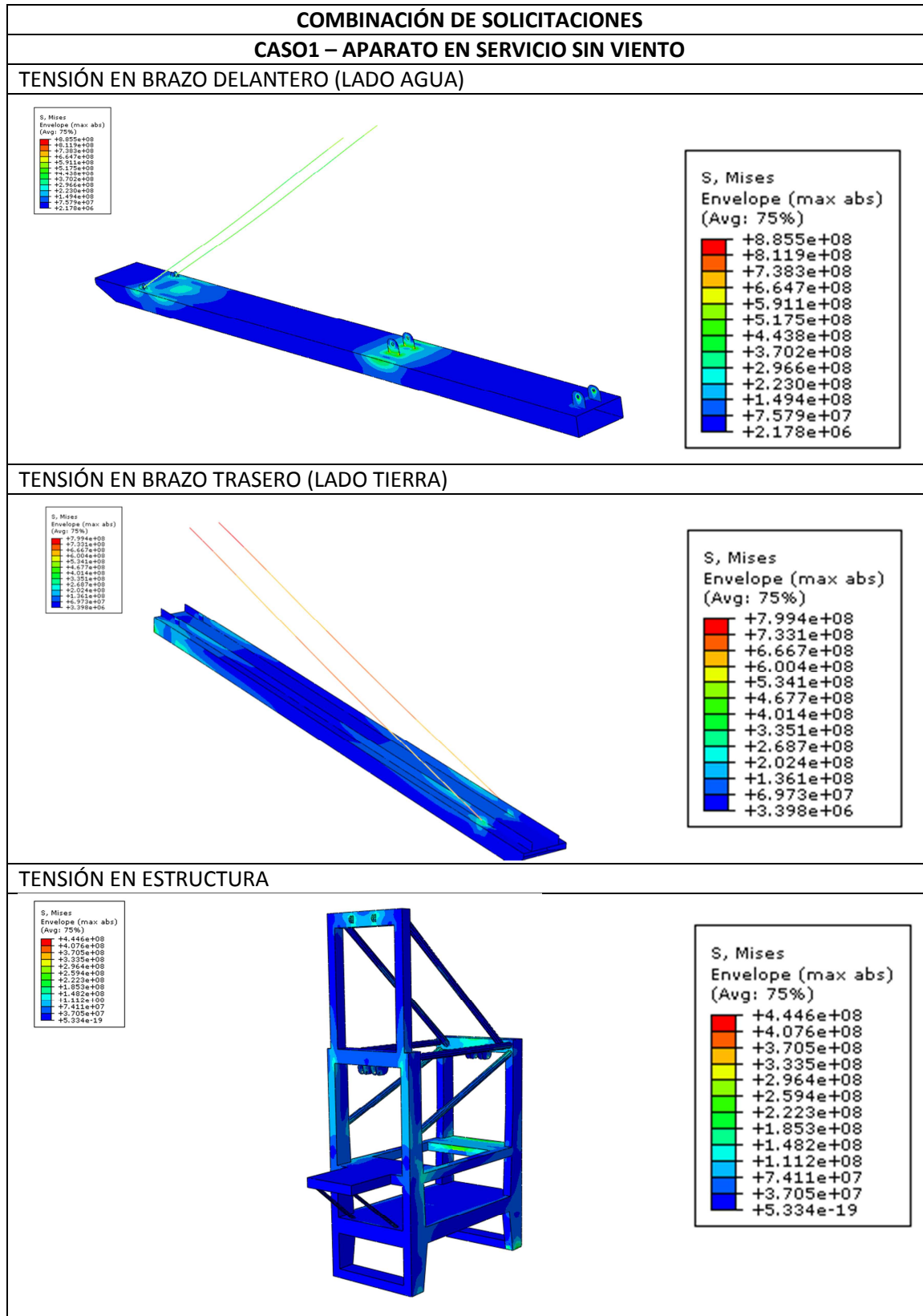


Tabla 5.6. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 1 dentro de la combinación de solicitaciones. Fuente: Elaboración propia.

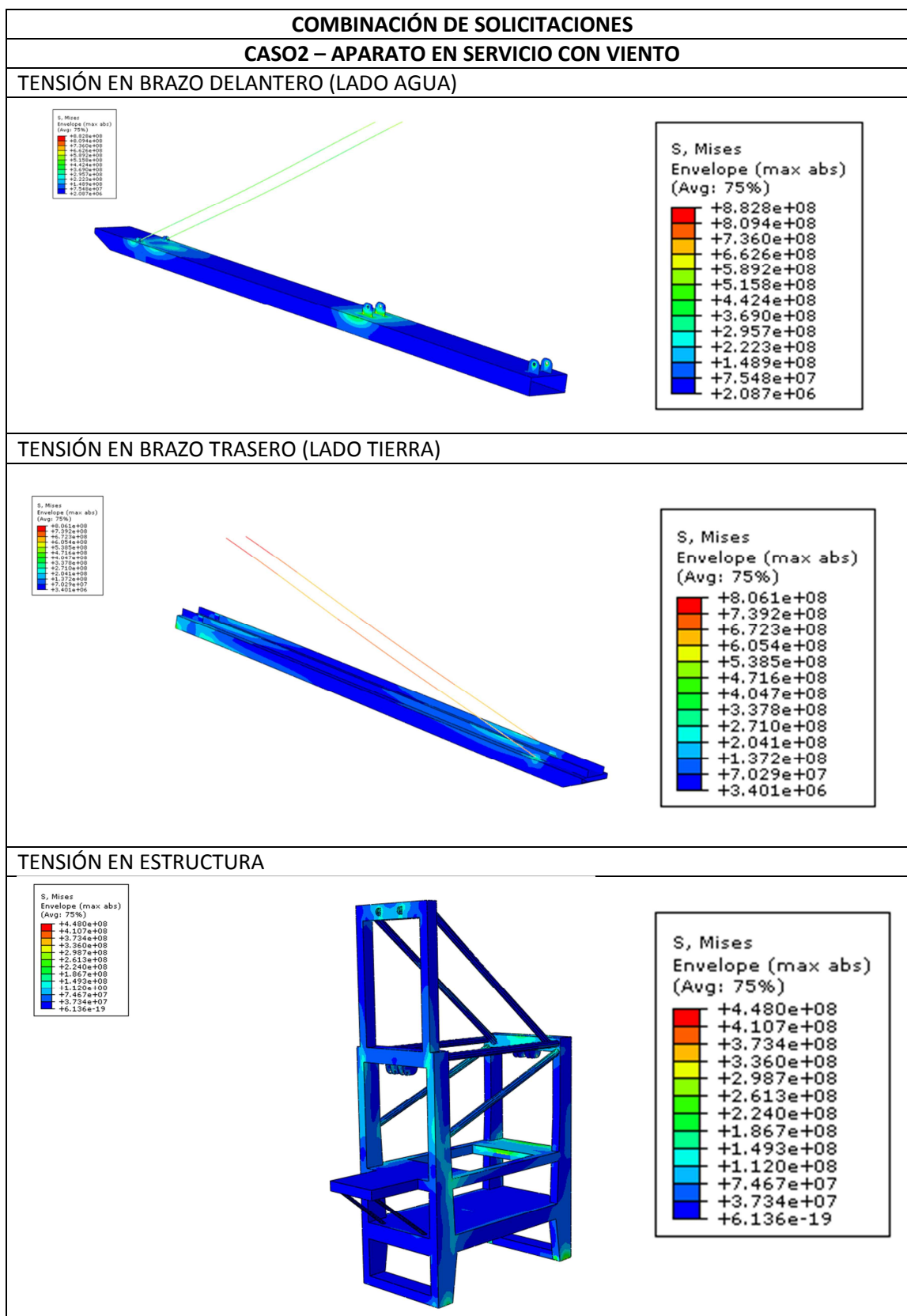


Tabla 5.7. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 2 dentro de la combinación de solicitaciones. Fuente: Elaboración propia.

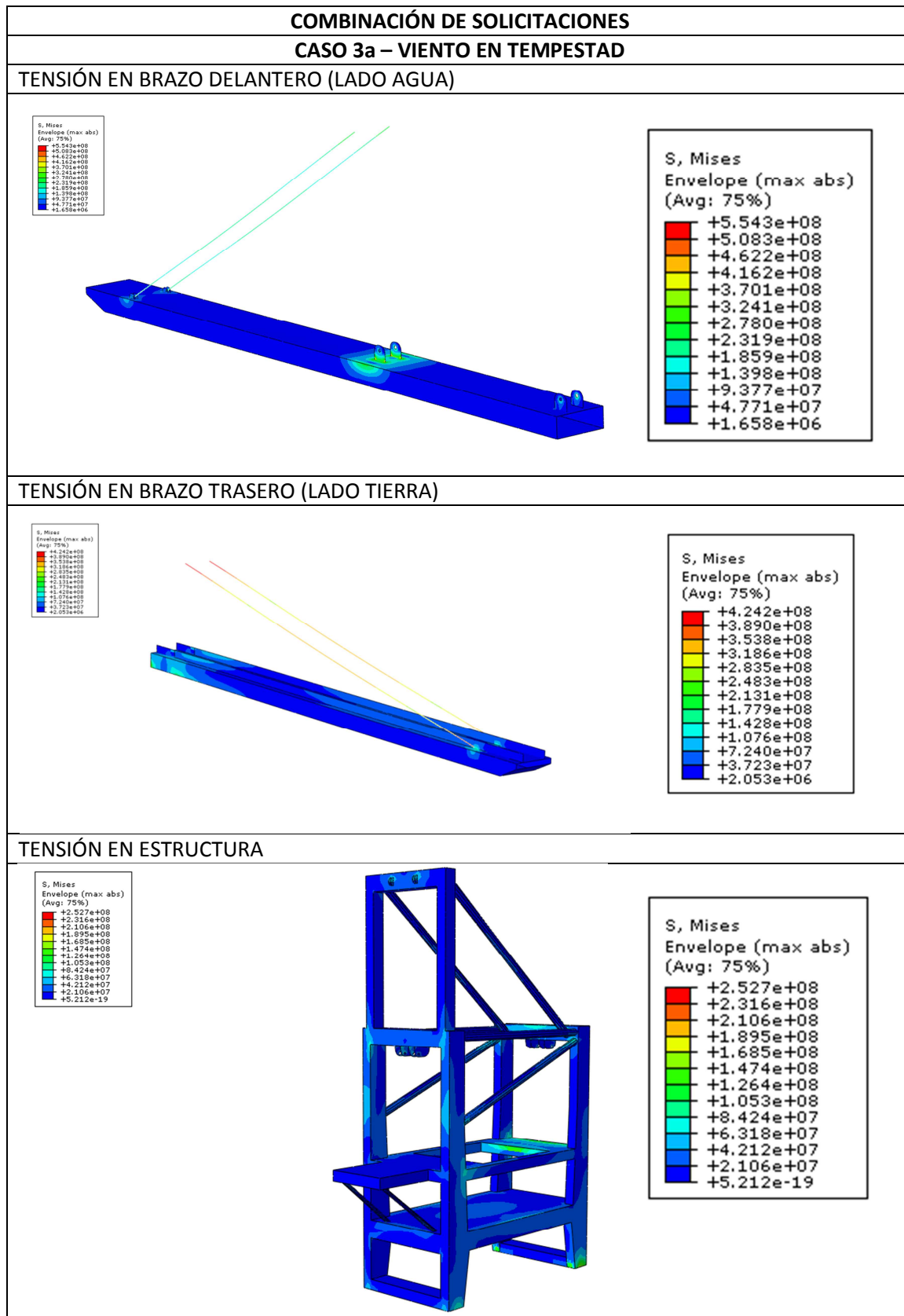


Tabla 5.8. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 3a dentro de la combinación de solicitaciones. Fuente: Elaboración propia.

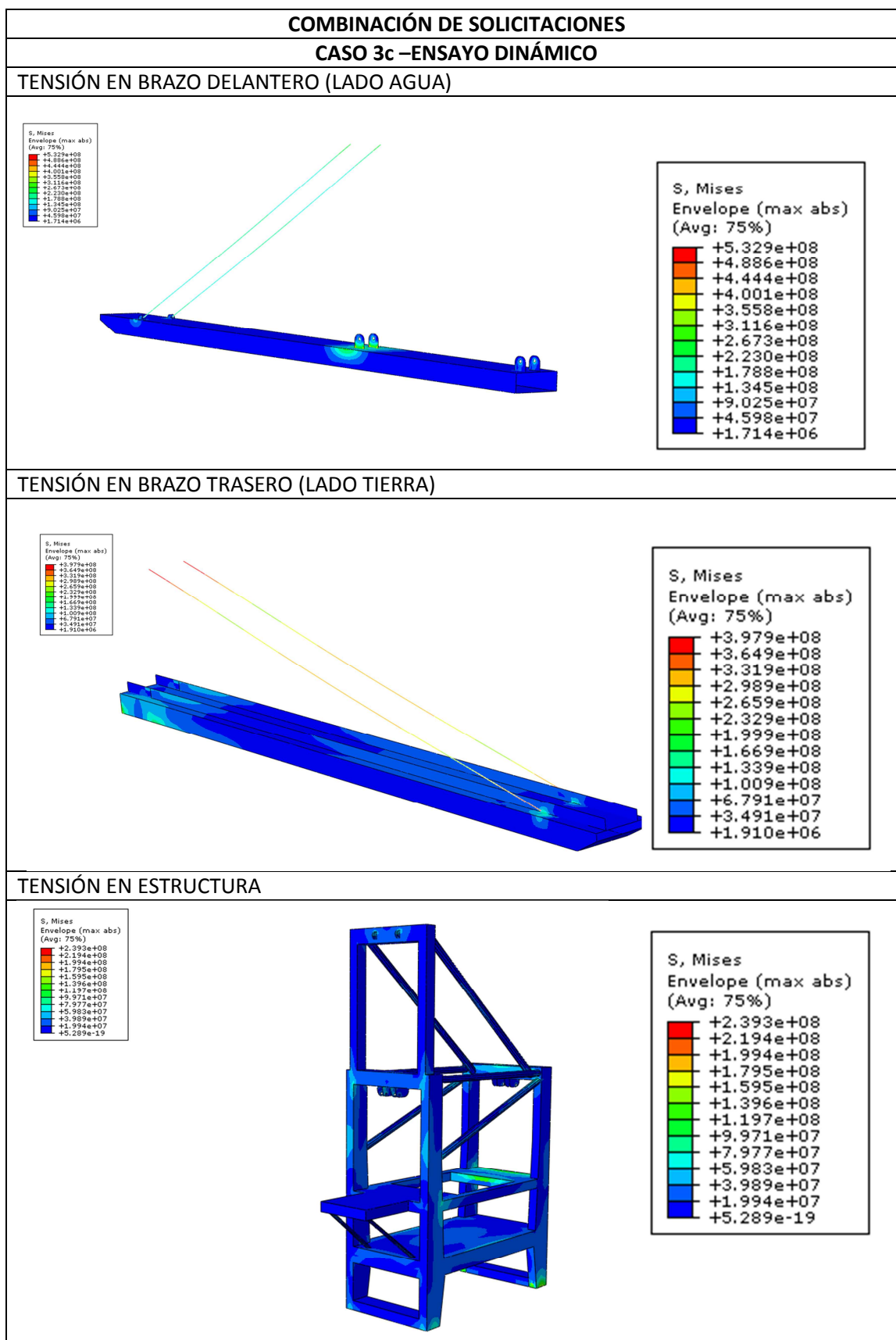


Tabla 5.9. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 3c –ensayo dinámico dentro de la combinación de solicitaciones. Fuente: Elaboración propia.

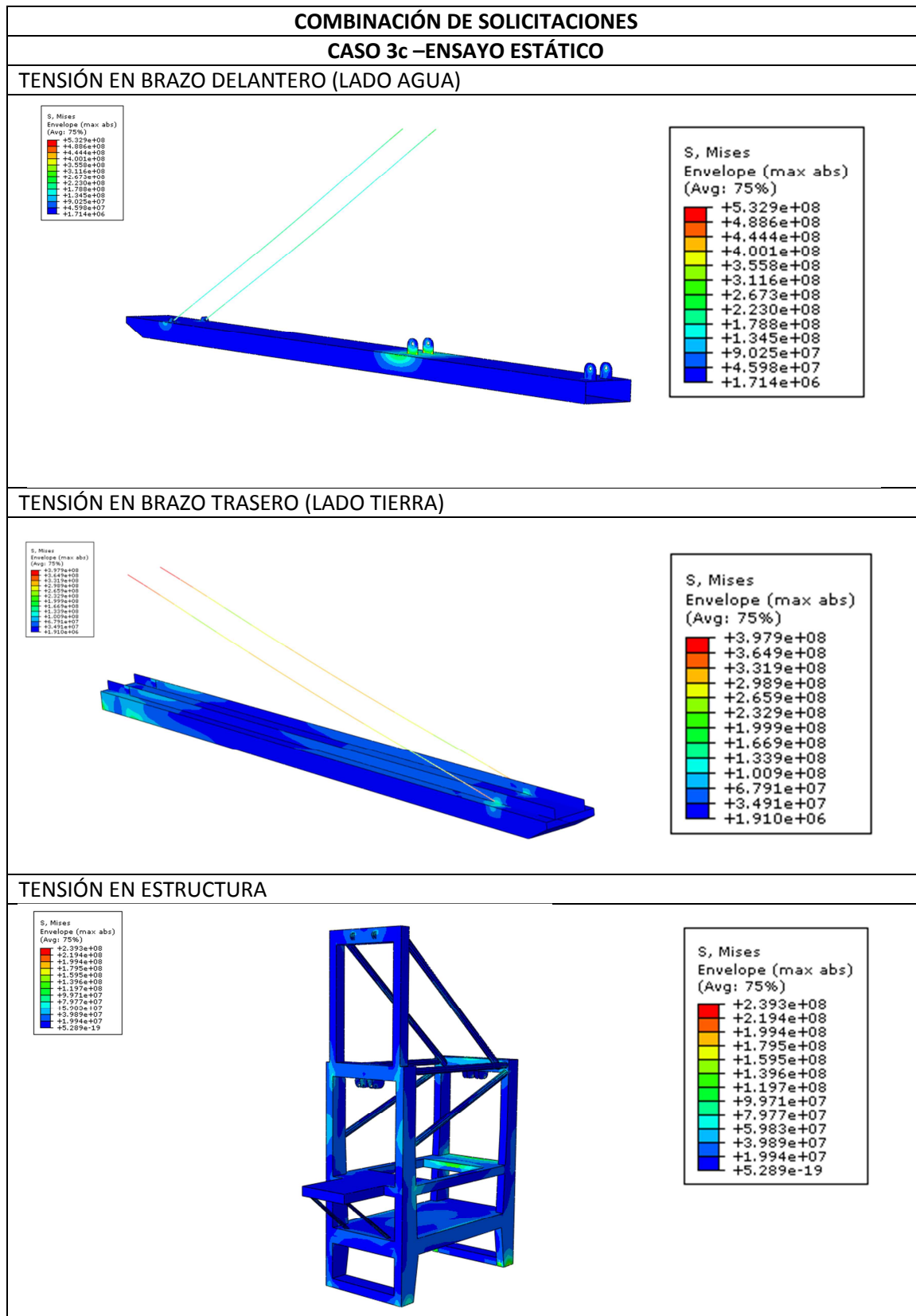


Tabla 5.10. Resultados de tensiones sobre los brazos delantero, trasero y estructura en el caso 3c – ensayo estático dentro de la combinación de solicitaciones. Fuente: Elaboración propia.

5.4.1. Conclusiones del capítulo

A la vista de los resultados, y como era lógico, los peores casos de carga son los que tienen alguna combinación de solicitaciones. Por ello, se propone revisar bien las secciones en las que se tengan elevadas tensiones y colocar en esas zonas un acero de alta calidad (**acero DIN 1.2316 (X42CrMo17)**) con un límite elástico de 900 MPa. Además de buscar una relación de espesores óptima para la unión entre tirante y orejeta.

Se ha comprobado que el aumento del espesor en las orejetas delanteras mejora notablemente la tensión máxima que se da en las orejetas del brazo delantero, por lo que se propone aumentar el espesor en toda esa zona.

El tirante posterior es otro de los puntos críticos a tener en cuenta. Por ello se ha comprobado también que, al variar su espesor, se mejora la tensión que recae sobre él.

Todas estas variaciones y mejoras se recogen en el Anexo VII. En él se han modificado los espesores comentados y se muestran los resultados obtenidos.

Otra propuesta para la reducción de la tensión máxima en el tirante trasero es colocar un pilar en el extremo del brazo trasero, que ayudaría a soportar mejor las cargas aplicadas sobre él. Ese pilar debe ser solidario con toda la estructura de la grúa y debe tener un sistema de ruedas guiadas, ya que todo el conjunto de la grúa debe desplazarse.

Las secciones más esbeltas de la grúa también deben tenerse en cuenta para evitar el efecto del pandeo. Especialmente en el cilindro hidráulico telescópico del elevador intermedio. Por ello se propone crear un sistema de guiado que, además de evitar el pandeo y la flexión del cilindro, asegure el correcto posicionamiento del elevador.

A la vista de los resultados en desplazamientos, se obtiene una flecha máxima de 1.64 metros. Este hecho no debe suponer un problema ya que simplemente con ajustar la altura del elevador final se puede suplir el efecto de ese desplazamiento.

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones sobre el Proyecto

El objetivo de este proyecto ha sido desarrollar unos nuevos sistemas para agilizar y automatizar los procesos de carga y descarga entre las grúas de puerto y los barcos que transportan los contenedores.

En el proyecto se elabora un concepto nuevo que se cree que puede ser perfectamente aplicable en un futuro dentro del campo de la grúas de puerto. A la vista de los resultados de diseño, se puede observar que es posible la realización de cualquiera de los dos nuevos sistemas propuestos. En ambos se consigue un ahorro temporal, siendo más notable en el segundo.

Se extrae también como conclusión, que la utilización de elementos que mejoren el movimiento vertical y horizontal tiene una influencia directa en la mejora de la productividad de la grúa. Por ello se cree que la utilización tanto de sistemas hidráulicos como bandas transportadoras en el transporte de contenedores aporta rapidez al proceso de handling.

Por otra parte, tras el estudio por el método de los elementos finitos, se concluye que estructuralmente el segundo sistema (el que mejor ahorro temporal tiene) es estable. De este estudio se debe remarcar el refuerzo que se ha de realizar sobre las secciones más solicitadas. Éstas se corresponden con las uniones entre los brazos y la estructura, por ello se propone una mejora en los materiales utilizados y un estudio más detallado de esas uniones. Pese a la recomendación, se ha comprobado que realmente con la ampliación de los espesores de las citadas zonas se reduce notablemente la tensión que recae sobre ellas, consiguiéndose coeficientes de seguridad aceptables.

Como conclusión final, se propone la posibilidad de crear una patente con este diseño, ya que pueden llegar a materializarse los conceptos que se proponen en este proyecto en el futuro.

6.2. Nuevas Líneas de Investigación

Este proyecto deja abiertos muchos posibles estudios.

En primer lugar existe la línea de investigación referente a la estabilidad estructural. Se han realizado cálculos sobre la estructura y las dimensiones de la misma, pero se puede profundizar en ese estudio para optimizar más tanto materiales como la propia estructura.

En segundo lugar se deja abierta la investigación en temas de automatización. Se puede realizar un estudio en pro de su automatización completa, dotando al sistema de sensores que sean capaces de dar las señales necesarias para realizar los movimientos correspondientes a la descarga/carga.

En tercer lugar se puede realizar un estudio económico de estas nuevas propuestas con el objetivo de que su implementación sea rentable económicamente. Se deben tener en cuenta

los incrementos en el coste de producción y la reducción en los tiempos de descarga como ahorro económico.

Finalmente es posible elaborar un estudio hidráulico. La mayoría de los nuevos elementos seleccionados poseen partes hidráulicas, por lo que es posible realizar su estudio detallado en pro de mejorar, optimizar y automatizar los sistemas hidráulicos.

6.3. Conclusiones Personales

A nivel personal la realización de este proyecto ha supuesto un reto tanto a la hora de buscar información útil para el mismo, como para idear una nueva solución que satisfaga las necesidades del cliente. Además también me ha sido útil para profundizar en el uso de los programas informáticos que he ido utilizando.

Espero que este proyecto le resulte útil tanto al grupo de trabajo en el que me introduje dentro Politécnico di Torino como al puerto SECH de Génova.

Por último, también espero que este trabajo sea de utilidad para el Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, dentro del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza, ya que ellos me han dado la oportunidad de realizar toda la parte del estudio de elementos finitos en sus instalaciones.

7. BIBLIOGRAFÍA

MIRAVETE, A., LARRODÉ, E., CUARTERO, J. y CASTEJÓN, L. “Los transportes en la ingeniería industrial (teoría)”. Barcelona, Editorial Reverté, S.A., 2002.

MIRAVETE, A., LARRODÉ, E., CUARTERO, J., CASTEJÓN, L. “Los transportes en la ingeniería industrial (problemas y prácticas)”. Barcelona, Editorial Reverté, S.A., 2002.

HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN, “Abaqus/Standard, versión 6.5, Theory Manual”, HIBBITT, KARLSSON&SORENSEN INC., 2001.

HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN, “Abaqus/Post versión 6.5, Theory Manual”, HIBBITT, KARLSSON&SORENSEN INC., 2001.

HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN, “Abaqus/Explicit, versión 6.5, Theory Manual”, HIBBITT, KARLSSON&SORENSEN INC., 2001.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

JORDAN, Michael A. “Quay crane productivity”. *Liftech Consultants Inc.* (Noviembre 2002). 300 Lakeside Dr. 14TH Floor, Oakland CA 94612.

NGUYEN VU, Duc, et al. “A dispatching method for automated lifting vehicles in automated port container terminals”. *Computers & Industrial Engineering*. (Septiembre 2008). Elsevier Ltd.

SI JIM, Kim, et al. “ Intelligent Networked Containers for Enhancing Global Supply Chain Security and Enabling New Commercial Value”. *Research of Intel Corp.* (2007).

ZHANG Chuqian, et al. “Dynamic crane deplyment in container storage yards”. *Transportation research part B.* (2002). Elsevier Science Ltd.

CHIN-I Liu, et al. “Desing, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminal”. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*. Marzo 2002, vol. 3, nº 1.

KHOSHNEVIS Behrokh, et al. “3D virtual and physical simulation of Automated Container Terminal and Analysis of Impact on In Land Transportation”. *METRANS Transportation Center*. Diciembre 2000.

VIS Iris F.A., et al. “Dispatching and layout rules at an automated container terminal”. *Vrije Universiteit Amsterdam Research*. (2006).

PATENTES

BRICKNER, Laurence R., CHUN, Michael D., LAKE, Budd, CHOU, Richard C., VON ISENBURG, Carl, RADZIKOWSKI, Phillip. “Grid rail container transport and storage system”. US4973219. 1988-07-15.

JONKE Hans. “Crane system with continual conveyor system for moving discrete items of freight”. US5160012. 1992-11-3.

SCHOENFELD, John Scott, UGLVIG, Laurids. "A method loading or unloading container ship". EP2000401A1. 2007-06-08.

EUROPE CONTAINER TERMINUS B.V. "Loading and unloading bridge for containers". GB1532482A. 1978-11-15.

LUTTEKES, Evert, JSENBRIJ, Joannes Cornelis, "Gantry Crane". WO03099700A2. 2003-12-04.

SPARENBORG, Ernst y WOBSE, Stephan. "Crane installation, in particular container crane". US20050247657. 2005-10-05.

JUKKA SUKSI, Vantaa. "Movable Bulk, Charging/Discharging equipment". US20040071530. 2004-04-15.

VAN DER LAAN, Bernard John. "A dockship having a ride on/off system and craft units for heavy loads". GB2107651A. 1963-05-05.

FIGURAS

[1] Imagen disponible en:

<http://www.freepatentsonline.com/4973219.pdf>

[2] Imagen disponible en:

<http://www.freepatentsonline.com/5160012.pdf>

[3] Imagen disponible en:

<http://www.espacenet.com/access/index.en.htm>

[4] Imagen disponible en:

<http://www.espacenet.com/access/index.en.htm>

[5] Imagen disponible en:

<http://www.espacenet.com/access/index.en.htm>

[6] Imagen disponible en:

<http://www.freepatentsonline.com/20050247657.pdf>

[7] Imagen disponible en:

<http://www.freepatentsonline.com/20040071530.pdf>

[8] Imagen disponible en:

<http://www.espacenet.com/access/index.en.htm>

[9] Imagen disponible en:

<http://www.meshbelt.com/Chainweave.html>

[10] Imagen disponible en:

<http://www.uv.es/dae/Apunte4.pdf>

[11] Imagen disponible en:

<http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema07.pdf>

WEBSITES

<http://www.fem-eur.com/>

<http://www.fem-aem.org/html/aenor.htm>

PROYECTOS

COLOMBO, S. “Verifica di fattibilità di un sistema automatico di trasferimento container su vagone ferroviario”. Directores: Prof. Guido Belforte, Prof. Terenziano Raparelli e Ing. Roberto Grassi. Departamento de Mecánica del Politécnico de Turín. Octubre 2008.

BELFORTE, G., RAPARELLI, T., GRASSI, R.”Studio generale di un sistema di trasporto per il collegamento veloce del porto di Genova con l’entroterra”. Departamento de Mecánica del Politécnico de Turín. 2008.

