



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño básico de un sistema de elevación para Zodiac 470 en las
lanchas de instrucción Rodman 66*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: M^a Teresa Ivorra Martín.

DIRECTORES: Dr. Carlos Casqueiro Placer.

Dr. Pedro Carrasco Pena.

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño básico de un sistema de elevación para Zodiac 470 en las
lanchas de instrucción Rodman 66*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El plan de Instrucción y Adiestramiento de las lanchas de instrucción de los alumnos de la Escuela Naval Militar contempla numerosos ejercicios, entre los que se encuentran los desembarcos anfibios. Las operaciones anfibias se realizan conjuntamente: Cuerpo General e Infantería de Marina. Para su ejecución, se lleva a cabo el arriado e izado de la embarcación que usa infantería, la Zodiac 470 desde las lanchas de instrucción (LLII) Rodman 66.

Estas operaciones se realizan de manera manual mediante un pescante ya integrado en las LLII y con la ayuda de la dotación tirando de boza y codera. Se trata de una maniobra que pone en riesgo la seguridad de las personas y del material que no está preparado para la mencionada tarea y puede sufrir daños.

El trabajo consiste en diseñar un sistema que permita elevar la Zodiac 470 en las LLII Rodman 66. Para ello se estudiará la normativa correspondiente para su implementación, asimismo los diferentes parámetros que la estructura sea capaz de resistir el peso de la embarcación aplicando sus respectivos coeficientes de seguridad. Se realizará el diseño gráfico digital del modelo mediante el programa de Autodesk Inventor y cálculo de solicitaciones y esfuerzos.

PALABRAS CLAVE

Sistema de elevación, Embarcaciones de asalto, Diseño 3D, Operaciones anfibias, I+A.

AGRADECIMIENTOS

Agradecerles a mis tutores: Dr. Casqueiro y TN. Carrasco, el apoyo que me han ofrecido desde el principio al apostar por mi propuesta y a lo largo del desarrollo de este trabajo. También al astillero de Rodman por la visita guiada y la implicación e interés mostrado.

A mis compañeros del estudio 210, que me han ayudado con el buen ambiente y las risas durante todas las horas delante del ordenador.

Estos cinco años a bordo de la ENM han sido un placer y una experiencia indispensable para mi crecimiento personal e intelectual; nada de esto hubiera sido posible sin mi familia y mi novio con sus interminables gritos de ánimo.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	5
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Motivación del trabajo.	9
1.2 Objetivos.	9
1.3 Metodología.	9
2 Estado del arte	11
2.1 Utilidad del arriado e izado de embarcaciones en buques de guerra.	11
2.1.1 Apoyo en puerto	11
2.1.2 Embarcadas en buques.....	12
2.1.3 Misiones operativas.	12
2.2 Tipos de maniobra de arriado e izado de embarcaciones.....	12
2.2.1 Grúas.....	12
2.2.2 Sistemas de rescate.	14
2.2.3 Pescantes y sistemas para botes.....	15
2.2.4 Sistemas de puesta a flote y recuperación.	16
2.3 Herramientas de diseño.	17
2.3.1 Programas CAD, CAE, CAM.....	17
2.3.2 Autodesk Inventor Professional 2022.....	17
2.4 Normativa.....	19
2.4.1 Obligatoria.	19
2.4.2 Civil.	19
2.4.3 Militar.	19
2.4.4 OTAN.	20
3 Trabajo de campo	21
3.1 Lancha de instrucción A-121 Modelo Rodman 66.	21
3.1.1 Descripción general.	21
3.1.2 Características principales.	22
3.1.3 Planos.....	22
3.2 Zodiac FC 470	23
3.2.1 Descripción general.	23
3.2.2 Características principales.	24
3.2.3 Planos.....	24

3.3 Maniobra de arriado e izado de embarcaciones.....	24
3.3.1 Zodiac.....	24
3.3.2 Zodiac FC 470.....	26
3.4 Soluciones planteadas.....	28
4 ANÁLISIS.....	33
4.1 Requisitos del diseño.....	33
4.1.1 Altura de la elevación.....	33
4.1.2 Cargas.....	33
4.1.3 Velocidades de la maniobra.....	33
4.2 Ventajas y desventajas de las soluciones propuestas.....	33
4.3 Análisis estructural.....	37
4.3.1 Solicitaciones principales.....	38
4.3.2 Solicitaciones debidas a los movimientos verticales.....	38
4.3.3 Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales.....	39
4.3.4 Solicitaciones debidas a los movimientos del barco.....	39
4.3.5 Solicitaciones debidas a efectos climáticos.....	40
4.4 Cálculo de esfuerzos.....	41
4.5 Bases de cálculo.....	42
4.5.1 Estado límite de servicio ELS.....	42
4.5.2 Estados límite últimos ELU.....	42
4.6 Estudio estructural.....	42
4.6.1 Esfuerzos.....	42
4.7 Uniones.....	51
4.7.1 Uniones soldadas.....	51
4.7.2 Uniones atornilladas.....	52
4.8 Motor.....	54
4.9 Periodo de servicio.....	55
4.10 Otros elementos.....	56
4.10.1 Cuerda.....	56
4.10.2 Gancho.....	57
5 Diseño.....	59
5.1 Modelado 3D del pescante.....	59
6 Conclusiones y líneas futuras.....	65
6.1 Conclusiones.....	65
6.1.1 Objetivos cumplidos.....	65
6.1.2 Conclusión personal.....	65

6.2 Líneas futuras.....66

7 Bibliografía.....67

Anexo I: Planos del pescante.....71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Grúa Offshore. Portaaeronaves (Australia). [1].....	13
Figura 2-2 Grúa Offshore. Portaaeronaves (Australia). [1].....	13
Figura 2-3 Grúa plegable. Fragata (Francia). [1]	13
Figura 2-4 Pescante radial para botes de rescate. Corbeta descubierta (España). [1]	14
Figura 2-5 Pescante para bote de rescate. Buque de operaciones de rescate (España). [1].....	14
Figura 2-6 Pescante para equipo de rescate rápido. Superfast Galicia (España). [1].....	15
Figura 2-7 Pescante de búsqueda y rescate. Buque oceanográfico (España). [1]	15
Figura 2-8 Pescante de intervención rápida. Guardia Civil (España). [1].....	16
Figura 2-9 Brazo telescópico para botes de asalto. Patrullero de altura (España). [1].....	16
Figura 2-10 Pórtico de largado y recuperación de pesquero. Buque de formación. (España). [1]...	17
Figura 2-11 Programa Autodesk Inventor Professional 2022 (elaboración propia).....	18
Figura 2-12 Logotipo de SetNorske Veritas (DNV). [6].....	19
Figura 3-1 Plano embarcación Rodman66. [9].....	22
Figura 3-2 Plano de la Lancha de Instrucción Rodman66. [8].....	23
Figura 3-3 Modelo FC 470. [10]	23
Figura 3-4 Modelo FC 470. [11]	24
Figura 3-5 Zodiac estibada en la Lancha de instrucción A-121 Rodman66. [12].....	25
Figura 3-6 Maniobra de arriado de zodiac en lancha de instrucción. [12].....	25
Figura 3-7 Maniobra de arriado de zodiac en lancha de instrucción. [12].....	26
Figura 3-8 Zodiac FC 470 estibada en toldilla de la lancha de instrucción. [12].....	26
Figura 3-9 Arriado de Zodiac FC 470 en lancha de instrucción (I). [12].....	27
Figura 3-10 Arriado de Zodiac FC 470 en lancha de instrucción (II y III). [12]	27
Figura 3-11 Arriado de Zodiac FC 470 en lancha de instrucción (IV). [12].....	27
Figura 3-12 Propuesta N.º 1 (elaboración propia).....	28
Figura 3-13 Propuesta N.º 2 (elaboración propia).....	28
Figura 3-14 Propuesta N.º 3 (elaboración propia).....	29
Figura 3-15 Propuesta N.º 4 (elaboración propia).....	29
Figura 3-16 Propuesta N.º 5 (elaboración propia).....	30
Figura 3-17 Propuesta N.º 6 (elaboración propia).....	30
Figura 3-18 Propuesta N.º 7 (elaboración propia).....	31
Figura 4-1 Elevación de carga pesada. [13]	37
Figura 4-2 Movimientos del barco. [15]	39
Figura 4-3 Configuración del pescante (elaboración propia).....	43

Figura 4-4 Tramos (elaboración propia).	43
Figura 4-5 Simplificación de esfuerzos en el pescante (elaboración propia).	43
Figura 4-6 Tamo 2 (elaboración propia).	44
Figura 4-7 Tramo 1 (elaboración propia).	44
Figura 4-8 Simplificación de esfuerzos con las reacciones en los apoyos (elaboración propia).	45
Figura 4-9 Esfuerzos barra 1 (elaboración propia).	45
Figura 4-10 Esfuerzos barra 2 (elaboración propia).	46
Figura 4-11 Simplificación de esfuerzos en el plano Y-Z (elaboración propia).	49
Figura 4-12 Croquis de los esfuerzos en el plano Y-Z (elaboración propia).	51
Figura 4-13 Uniones soldadas a tope (izquierda) en ángulo (derecha). [18].	51
Figura 4-14 Unión soldada. [18]	52
Figura 4-15 Nomenclatura de la disposición de los tornillos. [19]	53
Figura 4-16 Esquema eléctrico de la lancha de instrucción. [8].	54
Figura 4-17 Motor eléctrico. [20].	54
Figura 5-1 Articulación SHS40x4 (izquierda) y articulación triple SHS40x4 (derecha).	59
Figura 5-2 Articulación RHS80x40x4.	60
Figura 5-3 Uniones barra de apoyo (izquierda) y barra principal (derecha) con la cubierta.	60
Figura 5-4 Uniones de las barras auxiliares (izquierda) y de la de apoyo (derecha).	60
Figura 5-5 Subconjunto brazo principal.	61
Figura 5-6 Subconjunto barra de apoyo y barra larguero.	61
Figura 5-7 Subconjunto barra larguero.	61
Figura 5-8 Subconjunto barra de carga.	62
Figura 5-9 Soportes de la roldana: codo (izquierda) y extremo (derecha).	62
Figura 5-10 Roldana de rodamiento de bolas.	62
Figura 5-11 Estructura del pescante.	63
Figura 5-12 Detalles de unión del codo de la barra principal (izquierda) y su extremo (derecha). .	63
Figura 5-13 Detalles de unión del larguero (izquierda) y apoyo con la cubierta (derecha).	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Contraste de las principales características técnicas (Elaboración propia). [7] [8]	22
Tabla 3-2 Datos técnicos correspondientes al modelo de embarcación FC 470. [10]	24
Tabla 4-1 Matriz de decisión de propuestas sin tener en cuenta el coste (elaboración propia).	35
Tabla 4-2 Matriz de determinación del precio estimado inicial (elaboración propia).	35
Tabla 4-3 Matriz de decisión de propuestas teniendo en cuenta el coste (elaboración propia).	36
Tabla 4-4 Coeficiente C. [15].....	40
Tabla 4-5 Presión de la velocidad de diseño en N/m ² . [15].....	41
Tabla 4-6 Criterios para verificación de la flexión excesiva. [14]	41
Tabla 4-7 Factores de seguridad para la comprobación con respecto al pandeo. [14].....	41
Tabla 4-8 Esfuerzos de la viga principal, perfil RHS 80x40x4 (elaboración propia).	47
Tabla 4-9 Símbolos adicionales para los aceros de construcción. [16].....	47
Tabla 4-10 Tensiones en la viga principal (elaboración propia).	48
Tabla 4-11 Coeficiente k para la longitud efectiva. [17].....	49
Tabla 4-12 f_{yb} y f_{ub} de los tornillos (N/mm ²). [19].....	52
Tabla 4-13 Disposiciones constructivas. [19]	53
Tabla 4-14 Curva de fatiga de Wöhler. [21].....	55
Tabla 4-15 Curva de fatiga de Wöhler. Diagrama S-N Acero S355 (elaboración propia).	56
Tabla 4-16 Cuerda fibra ISO 1140 A PA2. [22]	56
Tabla 4-17 Mosquetón acero inoxidable AISI 316. [23].....	57

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación del trabajo.

Con motivo de las operaciones anfibas que se realizan en la Escuela Naval Militar como parte de la instrucción y adiestramiento de los alumnos para completar su plan de enseñanza, se lleva a cabo el arriado e izado de embarcaciones desde las lanchas de instrucción (LLII) Rodman66; en concreto la embarcación utilizada en infantería de marina es el modelo de embarcación Zodiac FC 470. En las operaciones anfibas, los alumnos de cuerpo general embarcan a los de infantería y parte de su material en las lanchas, de esta manera, tanto el arriazo e izado de la FC 470 se realiza de manera manual y mediante un pescante del que ya disponen dichas LLII.

Cuando se estiba la zodiac a bordo, la toldilla de la lancha queda completamente inutilizada para transitar por ella u otras tareas y ejercicios previos hasta que se pone en el agua para llevar a cabo el desembarco anfibo. La dotación al completo y el personal embarcado de infantería de marina se encargan de la puesta en el agua de la FC 470 por el través largando y cobrando de boza y codera. Posteriormente, se coloca en la popa y se arria con el pescante el motor. Se trata de una maniobra que pone en riesgo la seguridad del personal y del material, ya que no está preparado para tal tarea y por ello puede sufrir daños.

1.2 Objetivos.

El principal objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de largado y recuperación de embarcaciones mejorado para las lanchas de instrucción de la Armada Española de la clase A-120 que permita el arriado e izado seguro de la Zodiac FC 470, la embarcación utilizada por IM. Para conseguir este objetivo marcamos una serie de objetivos intermedios:

1. Revisión bibliográfica en la materia que permita establecer un estado del arte actualizado.
2. Trabajo de campo para comprobar, analizar la situación actual y proponer las posibles mejoras.
3. Análisis de la mejor opción.
4. Memoria de cálculos estructurales, de instalación y evaluación económica.
5. Elaboración de las conclusiones.

1.3 Metodología.

Para lograr alcanzar los objetivos marcados:

1. Estudio de la normativa específica para la implementación del sistema a bordo.
2. Obtención de los diferentes parámetros y factores de seguridad para que la estructura sea capaz de resistir los esfuerzos a los que se va a encontrar sometida.

3. Estudio y análisis de los esfuerzos de la estructura con los parámetros considerados y seleccionados.
4. Empleo del programa Autodesk Inventor Professional, para el desarrollo, desde cero, del modelo 3D y los planos del sistema de elevación que se elija entre los propuestos.

2 ESTADO DEL ARTE

Los barcos suponen una parte imprescindible de la economía mundial, independientemente del propósito para el que se construyan. Transporte de mercancías o de pasajeros, pesca, investigación y buques militares, con el paso del tiempo han ido evolucionando para mejorar en todos los ámbitos. Sin embargo, es complicado para todos mantenerse en constante y completamente actualizada tecnológica y operativamente.

Los buques de la Armada Española se reparten entre: patrulleros, fragatas, y auxiliares. Estos deben ser capaces de desempeñar el mayor número de cometidos posible, de modo que las embarcaciones menores que portan a bordo juegan un papel de gran relevancia para lograr completar los perfiles de actuación de cada uno.

Algunas de las operaciones de la Armada son: reconocimiento de costa, salvamento marítimo y operaciones de seguridad marítima; para los cuales el izado y arriado de embarcaciones se ha convertido en fundamental. Así como en los ámbitos de amenaza asimétrica; ataques contra enemigos espontáneos tales como como FIAC's (Fast Inshore Attack Craft) donde no existe una probabilidad alta de combate y por ello son inesperados y muy peligrosos.

Además, siempre han sido esenciales y continúan siéndolo en las operaciones anfibas y en las actividades normales de los barcos. En este entorno es en el que se encuadra este TFG.

Por otro lado, en este capítulo se tratarán los tipos de sistemas de puesta a flote y recuperación preparados para adaptarse a las situaciones más exigentes para y poder cumplir con las misiones que se le encomienden. Asimismo, no se ha dejado de lado la relevancia que tienen las herramientas que existen para diseñar productos en ingeniería y la normativa esencial para ello poder desarrollarlo.

2.1 Utilidad del arriado e izado de embarcaciones en buques de guerra.

Los requerimientos de las embarcaciones difieren con motivo de las misiones que han de desempeñar. Las clasificamos en tres tipos en función de su uso: de apoyo en puerto, embarcadas en buques de misiones operativas.

2.1.1 Apoyo en puerto

En su esencia las funciones que cumplen este tipo son puramente entradas y salidas de puerto en apoyo a otras actividades que se estén desarrollando en sus proximidades. En el caso de la ENM, éstas ya se encuentran en el agua y las actividades para las cuales se les requiere son:

- Control del adiestramiento y reacción rápida ante cualquier problema que les pueda surgir a los alumnos durante las actividades de instrucción marinera.
- Apoyo en regatas.

- Traslado de personal para embarcar y/o desembarcar en buques que se encuentren en las proximidades del puerto y la isla de Tambo.

2.1.2 Embarcadas en buques.

Normalmente los buques de la Armada llevan a bordo una o dos embarcaciones, dotando al barco de una capacidad rápida de reacción y flexibilidad. Algunos ejemplos de ellos que se aplican al uso que se le da a bordo de las lanchas de instrucción son:

- Traslado de personal y material entre buques aliados.
- Traslado del equipo de Trozo de Visita y Registro al buque a inspeccionar.
- Remolque de otras embarcaciones menores.
- Protección del buque como parte de la organización de Maritime Force Protection.
- Abarloarse a otra embarcación.

2.1.3 Misiones operativas.

Este apartado trata en concreto las Operaciones Especiales y de Infantería de Marina. Tanto sus neumáticas o semirrígidas como el mecanismo que se encargue de su arriado e izado han de estar particularmente preparado para los escenarios más exigentes y operativos.

- Traslado de la fuerza embarcada al punto estratégico.
- Reconocimiento de playa.
- Intervención rápida.
- Apoyo a buceadores de combate.
- Desembarco anfibio.

2.2 Tipos de maniobra de arriado e izado de embarcaciones.

Las primeras embarcaciones aprovechaban la fuerza del viento como motor mediante la utilización de las velas, es por eso por lo que se comenzaron a instalar sistemas de poleas para reducir el esfuerzo que tuvieran que ejercer la dotación, poco a poco fueron evolucionando, instalando mecanismos cuya función fuera el arriado e izado de pequeños botes y barcasas o el embarque de víveres. Dichos mecanismos se denominan plumas o puntales, que en definitiva era una grúa montada a bordo.

En la actualidad se dispone de diferentes tipos de mecanismos, los más comunes son hidráulicos y eléctricos instalados en cubierta para múltiples maniobras o en grúas o pescantes para el arriado o izado de embarcaciones menores, maquinaria pesada o víveres.

Se pueden diferenciar cuatro grandes familias de sistemas de elevación:

2.2.1 Grúas.

Las grúas navales son necesarias para una gran variedad de aplicaciones y condiciones operativas, independientemente de si las unidades son altamente específicas o no. Pueden ser de uso combinado, maniobras ROV (Vehículo Operado Remotamente), sumergibles, seguridad marítima, ATEX (atmósferas explosivas), requerimientos militares y otros requerimientos particulares dependiendo de las operaciones a las que se dediquen. En este campo podemos distinguir los siguientes tipos:

- **Grúa Offshore:** Disponen de una en cada portaaviones australiano. La grúa del HMS Adelaide L-01 en la Figura 2-1 posee un diseño adaptado para tratar con helicópteros. La del HMS Camberra L-02 en la Figura 2-2 es electrohidráulica para operaciones offshore, manejo de contenedores en puerto y recuperación de helo; similar a la que porta el LHD Juan Carlos I L-61.

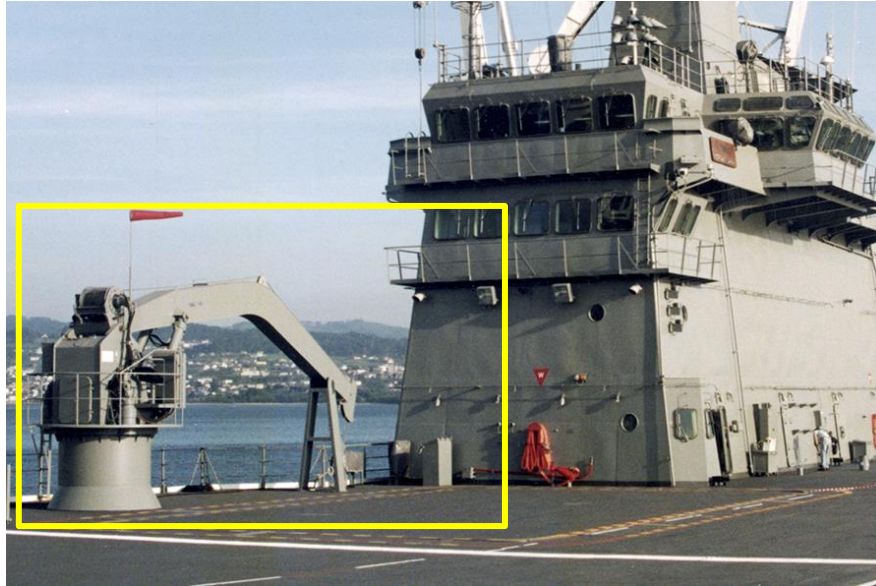


Figura 2-1 Grúa Offshore. Portaaviones (Australia). [1]



Figura 2-2 Grúa Offshore. Portaaviones (Australia). [1]

- **Grúa plegable:** Es adecuada para elevar cargas pesadas y minimizar el espacio de ocupación en la plataforma. La pluma articulada minimiza el efecto péndulo.



Figura 2-3 Grúa plegable. Fragata (Francia). [1]

2.2.2 Sistemas de rescate.

Esta gama está orientada a sistemas de pescantes para rescate orientados a botes salvavidas, balsas y botes de rescate.

- **Pescante radial para botes de rescate:** La porta el buque de la Armada Española Infanta Elena P-76 en la Figura 2-4 y es de rotación flexible

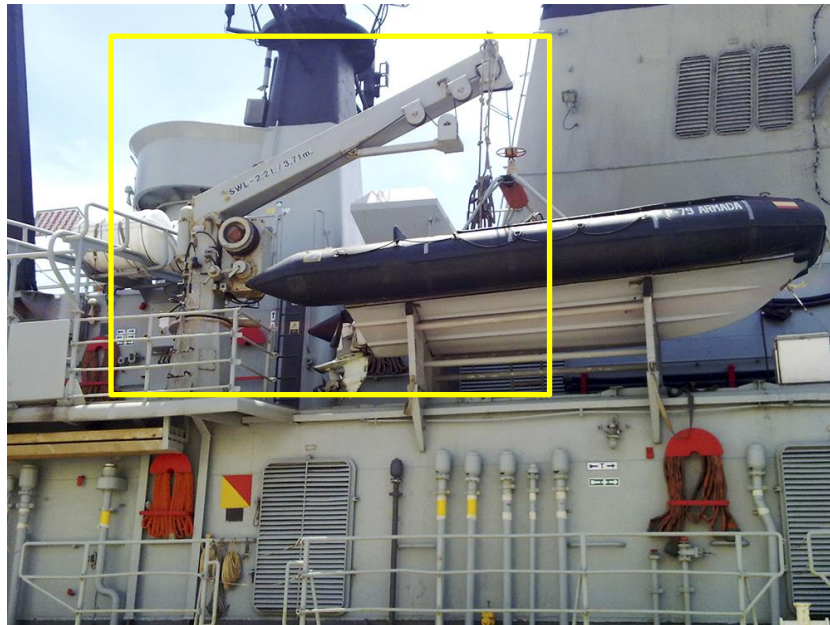


Figura 2-4 Pescante radial para botes de rescate. Corbeta descubierta (España). [1]

- **Pescantes para botes de rescate:** Como se observa en la Figura 2-5 se trata de un pescante basculante para botes de rescate, diseñada para condiciones de mar adversas. Tiene certificado MED, es decir, que el producto es adecuado para el uso de la industria naval.



Figura 2-5 Pescante para bote de rescate. Buque de operaciones de rescate (España). [1]

- **Pescante para equipo de rescate rápido:** Se corresponde con la Figura 2-6, tiene el certificado MED para buques de pasaje de transbordo rodado.

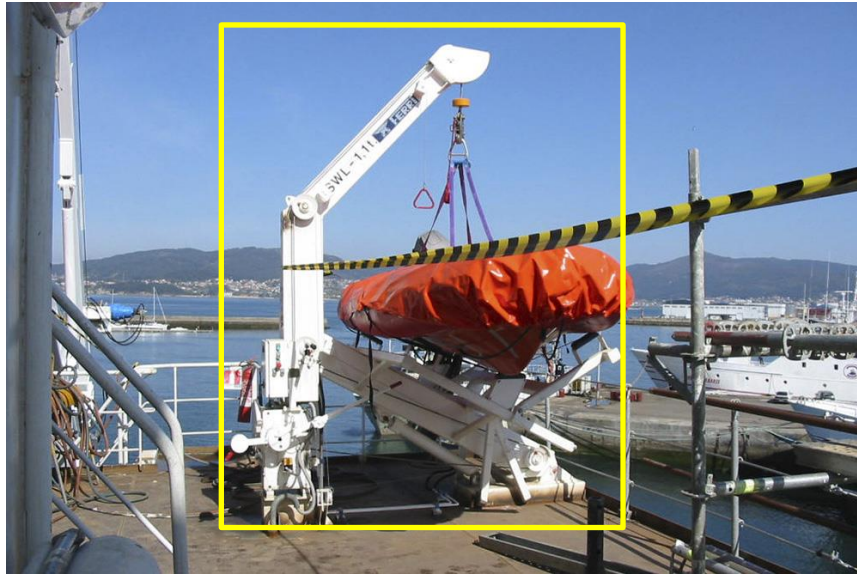


Figura 2-6 Pescante para equipo de rescate rápido. Superfast Galicia (España). [1]

2.2.3 Pescantes y sistemas para botes.

Son equipos utilizados para la puesta a flote y recuperación de embarcaciones de trabajo, diseñados para condiciones en la mar exigentes y adaptables al espacio, acceso y ubicación a bordo. Siendo modelos cuya prioridad es la seguridad máxima de la tripulación. Integran soluciones técnicas de diseño avanzadas: amortiguadores, tensión constante, tangones de remolque, anti balance y anti balanceo, tensionadores de cable, cunas de estiba o amortiguadores.

- **Pescantes de búsqueda y rescate:** Como señala la Figura 2-7 se trata del pescante de búsqueda y rescate que porta el Buque oceanográfico Hespérides A-33 cuya función es el manejo de un bote profesional para operaciones rápidas en aguas antárticas por lo que está diseñado para temperaturas de operación muy bajas y brazos estabilizadores.



Figura 2-7 Pescante de búsqueda y rescate. Buque oceanográfico (España). [1]

- **Pescante de intervención rápida:** En la Figura 2-8 aunque la finalidad de la embarcación sea similar a la del anterior modelo (intervención rápida), difieren significativamente estéticamente.

Este modelo es de alta velocidad, porta amortiguador de los balances en maniobras de basculamiento y tangón para realizar operaciones seguras mientras se está navegando.

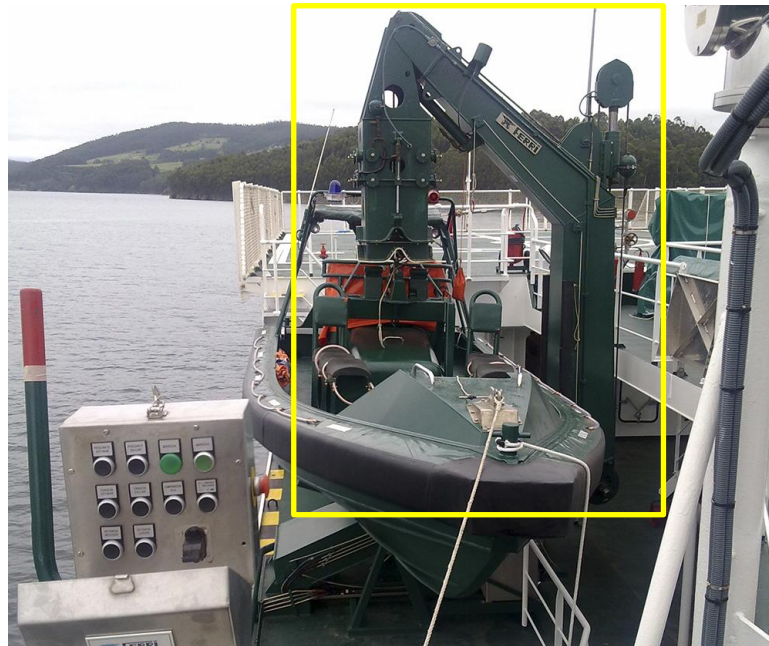


Figura 2-8 Pescante de intervención rápida. Guardia Civil (España). [1]

- **Brazo telescópico para botes de asalto:** La Figura 2-9 corresponde al patrullero de altura Alborán P62 cuya función es manejar botes para asalto en alta mar, su diseño está optimizado y completamente adaptado al buque e incluye brazos estabilizadores de balance.

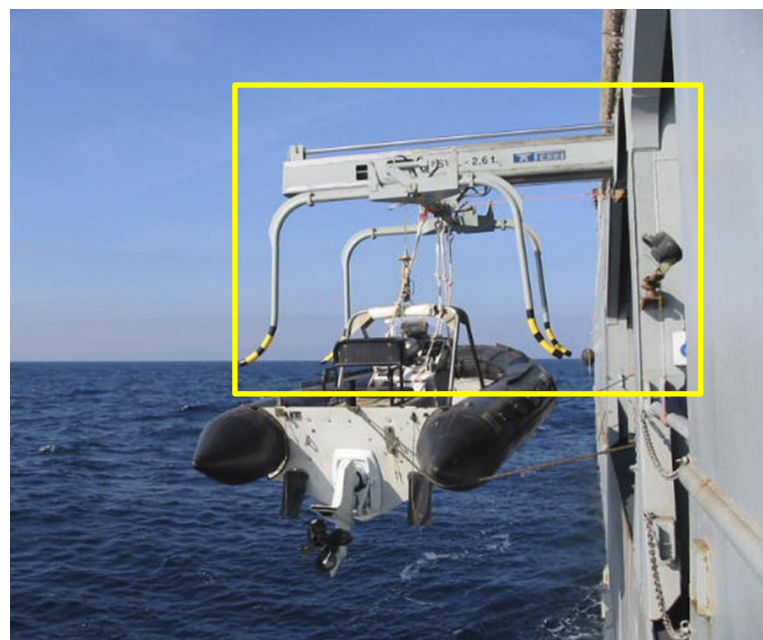


Figura 2-9 Brazo telescópico para botes de asalto. Patrullero de altura (España). [1]

2.2.4 Sistemas de puesta a flote y recuperación.

En concreto la Figura 2-10 se trata del Internares A-41 y desempeña labores de puesta a flote y recuperación de un pesquero de hasta 45 toneladas, se eleva mediante cilindro hidráulico.

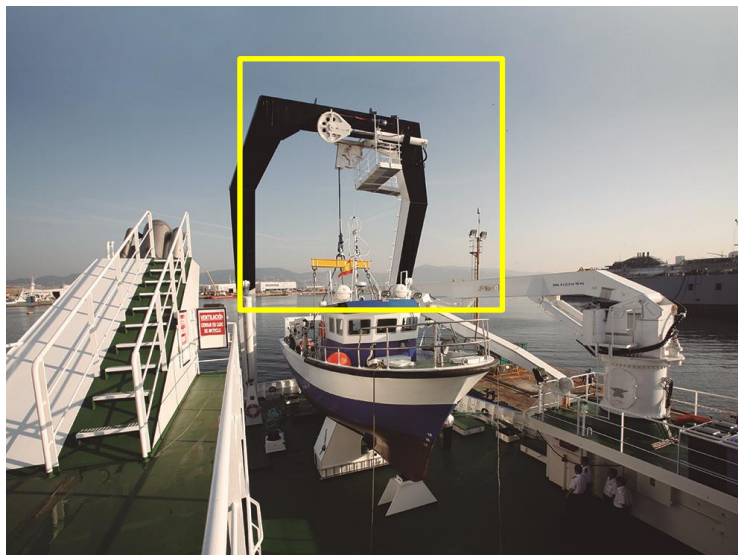


Figura 2-10 Pórtico de largado y recuperación de pesquero. Buque de formación. (España). [1]

2.3 Herramientas de diseño.

Hoy en día existen múltiples programas que juegan un papel muy importante en el diseño y desarrollo de sistemas de Ingeniería para la industria en general.

2.3.1 Programas CAD, CAE, CAM.

El Software CAD, de las siglas Computer Aided Design and Drafting que en español significa dibujo y diseño asistido por ordenador, es la tecnología para el diseño y la documentación técnica que sustituye el dibujo manual por un proceso automatizado. CAE corresponde a Computer Aided Engineering o lo que es lo mismo ingeniería asistida por ordenador y CAM corresponde a Computer Aided Manufacturing, manufactura asistida por ordenador. Normalmente, la metodología básica a seguir en la creación de piezas es primeramente crear el nuevo diseño de sólido en 3D con un programa tipo CAD.

Estos tres instrumentos CAD, CAE y CAM aportan un valor incalculable al mundo de la industria, facilitando todo el proceso de obtención de una pieza optimizando tiempo, calidad y costes ya que se cometen muchos menos errores que manualmente se solían cometer. Gracias a estos programas de diseño se pueden verificar aspectos relacionados con el ensamblaje y acabado final. Con los programas CAE que realizan simulación de procesos, se conocerá su viabilidad. Después de haber cumplido los objetivos y condiciones requeridas se puede obtener la pieza con máquinas que son controladas por ordenador mediante un programa CAM. [2]

2.3.2 Autodesk Inventor Professional 2022

A pesar de que existen muchos programas de diseño 2D y 3D, este software integra ambos en un mismo entorno profesional y se encuentra entre los mejores del mercado en términos de ingeniería ya que brinda al usuario múltiples ventajas de diseño y modelado de sólidos en los campos de CAD, CAE y CAM. [3]



Figura 2-11 Programa Autodesk Inventor Professional 2022 (elaboración propia).

Es gratuito para estudiantes y profesorado mediante Autodesk Education Community por un año y posteriormente mientras continúen cumpliendo los requisitos de idoneidad. Con ayuda de este programa se puede realizar todo tipo de diseños y estructuras complejas con gran cantidad de detalles e impactan la funcionalidad de la pieza final permitiendo a su vez realizar simulaciones e impresiones 3D para evaluar el funcionamiento del producto resultante. Entre las funciones que ofrece, se encuentra la de evaluar las normas y parámetros establecidos, permitiendo de este modo corregir los problemas que vayan surgiendo a lo largo del proceso de creación y ensamblaje.

Inventor permite al usuario trabajar con un conjunto completo de herramientas de ingeniería y diseño mecánico, documentación y simulación de productos. Es un programa específico para diseño de producto y por tanto se trabaja eficientemente con una avanzada combinación de funciones de diseño normalizado, paramétrico, directo y de forma libre además de incluir simulación y renderización, que en otros programas CAD son secundarias.

Por otro lado, se puede compartir información puntual con herramientas de colaboración integrada con Inventor y satisfacer las demandas de productos personalizados y procesos automatizados.

Se ha utilizado la versión de 2022 que incluye actualizaciones y mejoras que hacen que el proceso gestión de diseño resulte más intuitiva y agilizan los flujos de trabajo de ingeniería conectados y reducen repetición de tareas, optimiza: tiempo calidad y costes.

Hay que destacar que varias de las funcionalidades de Autodesk Inventor para diseño de producto:

- **Diseño de piezas y ensamblajes:** podemos encontrar los bloques de construcción cruciales de Inventor son las piezas que se crean definiendo una serie de características y operaciones que a su vez se basan en bocetos (dibujos 2D) y estos se pueden corregir más adelante. Las piezas se conectan para hacer ensamblajes y obtener diferentes versiones del mismo producto mediante las restricciones entre las superficies, aristas, puntos, ejes...Este método tolera ensamblajes amplios y complejos al permitir a las piezas juntarse antes del ensamblaje final. Además, este software cuenta con una amplia biblioteca de elementos normalizados que facilitan su incorporación directa siguiendo normativa: ANSI, ISO, DIN BSI, GB, GOST, JIS.
- **Modelado paramétrico.**
- **Creación de dibujos o planos de producto:** puede crear múltiples tipos de vistas; puede partir, superponer, recortar o segmentar los dibujos.
- **Simulación de movimiento:** incorpora simulación dinámica, se pueden identificar los elementos inmóviles y generar uniones de movimiento.
- **Planos normalizados:** facilita la documentación de los proyectos con normativa personalizada.
- **Análisis y cálculo de elementos finitos integrado:** se estudia la tensión y deformación de los diseños sometidos a fuerzas externas. [4]

2.4 Normativa.

La importancia que cobra el transporte marítimo conlleva que éste se lleve a cabo en un entorno seguro, eficiente y protegido; por ello es necesario un marco normativo. El diseño y su materialización ha de cumplir por lo tanto con la normativa necesaria que viene reflejada en reglamentos específicos los cuales aportan una serie de pautas sobre cómo abordar el problema.

La normalización es la actividad mediante la cual se unifican criterios respecto a determinadas materias y posibilita la utilización de un lenguaje común en un campo de actividad concreto (Art.8 Título III de la Ley 21/1992, de 16 de Julio, de Industria). [5]

2.4.1 Obligatoria.

En España, la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), queda reconocida como organismo de normalización nacional mediante Orden del Ministerio de Industria y Energía, de 26 de febrero de 1986, de acuerdo con el Real Decreto 1614/1985 y por Real Decreto 2200/1995 que desarrolla la Ley 21/1992, de Industria. [5]

La Organización Marítima Internacional (OMI), se encarga de la seguridad y protección de la navegación y de la prevención contra la contaminación del mar por los buques. Es el organismo especializado perteneciente a la ONU que establece las normas para que el transporte marítimo sea justo y eficaz y se aplique internacionalmente.

El Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en la Mar (SOLAS, ‘Safety of Life at Sea’), fue aprobado y adoptado por la OMI en 1980 y especifica normas de construcción equipamiento y explotación de buques.

2.4.2 Civil.

En este caso se recurre a la normativa de la sociedad de clasificación líder en el mundo: SetNorske Veritas (DNV) ya que es una de las mejores clasificadoras que incorpora las nuevas tecnologías digitales para mejorar el rendimiento de los barcos y estructuras offshore.



Figura 2-12 Logotipo de SetNorske Veritas (DNV). [6]

La normativa que se ha aplicado: DVN-ST-0378: Offshore and platform appliances; y DNVGL-ST-0377: Shipboard lifting appliances. Es de fácil aplicación y expone diferentes materiales que se suelen usar en el ámbito offshore.

2.4.3 Militar.

Por otro lado, la normalización Militar de Materiales (NMM) quiere ‘Definir, simplificar y unificar los procesos de desarrollo, procedimientos, diseños, selección y adquisiciones de materiales para su utilización por las Fuerzas Armadas’ [5]. La Dirección General de Armamento y Material (DGAM), es la que se encarga de la normalización según el Real Decreto 454/2012 de 5 de marzo.

La finalidad de la NMM es intentar satisfacer las necesidades militares mediante el máximo uso posible la normativa civil.

2.4.4 OTAN.

Además del marco legislativo internacional supervisado por la IMO en el que operan los buques mercantes, las Armadas se esfuerzan por mantener la operatividad y capacidad militar dentro de un equilibrio seguro. No es tarea fácil ya que los diseños y operaciones que exigen los buques de guerra no son compatibles en algunos aspectos con el convenio SOLAS. Así que se decidió en 2004 que se creara un equivalente a SOLAS pero naval, que se llamó 'Naval Ship Code' que se publicó por primera vez en 2009. Posteriormente, se decidió que había que crear un organismo que se encargará de continuar desarrollando y actualizando el NSC, y se estableció la Asociación Internacional de Seguridad Naval (INSA).

La normalización OTAN tiene por objeto el desarrollo de conceptos, doctrinas, procedimientos y diseños para alcanzar mayores niveles de intercambiabilidad, interoperabilidad e identidad en los campos operativo, administrativo y de materiales de las fuerzas de la Alianza Atlántica. [5]

La documentación OTAN se puede clasificar en tres grupos: Acuerdos de Normalización OTAN (STANAG); Recomendación de Normalización OTAN (STANREC); y Publicación Aliada (AP).

- Los STANAG facilitan obtener los objetivos OTAN aplicando la normalización a los diferentes ámbitos que se consideren fundamentales y críticos para alcanzar un grado alto de interoperabilidad.
- Un STANREC es un documento normativo cuya aprobación es voluntaria ya que no afecta a requerimientos de interoperabilidad.
- Las AP también son documentos normativos que se han desarrollado durante un proceso normativo OTAN.

Las naciones pueden adoptar diversas posturas ante los STANAG:

- Ratificación e implantación.
- Ratificación e implantación con reservas.
- Ratificación y futura implantación.
- No ratificar.
- No participar.

3 TRABAJO DE CAMPO

En este capítulo se tratarán las características técnicas más importantes a tener en cuenta de ambas embarcaciones: la lancha de instrucción y la zodiac.

Por otro lado, se describen las diferentes propuestas de configuración para el arriado de la embarcación.

3.1 Lancha de instrucción A-121 Modelo Rodman 66.

3.1.1 Descripción general.

Debido a la adaptabilidad de su diseño y de las variedades de motor que se le pueden implantar, dotan a este modelo de embarcación Rodman66 de una amplia versatilidad pudiendo convertirse tanto en una lancha de salvamento como en una patrullera de vigilancia costera, llegando a alcanzar hasta una velocidad máxima de 50 nudos dependiendo del motor que se desee instalar. [7]

En concreto el modelo del que disponemos corresponde a una lancha de instrucción A-121. Dicha embarcación está fabricada en PRFV (Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio), es de propulsión diésel y tiene el casco en forma de V; con lo cual posee un coeficiente de bloque bajo evitando así grandes movimientos con las olas y reduciendo la resistencia en embarcaciones de alta velocidad.

El casco tiene laminado monolítico, efectuado sobre un molde negativo de una sola pieza con refuerzos longitudinales, está pintado exteriormente en la obra viva con pinturas que evitan la oxidación y la obra muerta tiene un acabado en capa de gel. El contorno de la parte superior del casco va toda recubierta por un cinturón de neopreno.

Además, la embarcación consta de una cubierta corrida, un puente y un CIC en los cuales se encuentran instalados y dispuestos todos los equipos e instrumentos de mando y control. En el puente se encuentran unas escaleras que permiten el acceso a la zona de habitabilidad, cocina y comedor y asimismo la cámara de máquinas pasando primero por el compartimento de tanques de combustibles uno a cada banda. Ambas partes están protegidas por puertas estancas y cortafuegos además de mamparos aislados contra ruidos y fuegos.

La cámara de máquinas dispone de una escotilla atornillada y sellada con cuatro cáncamos que sirve para aquellas situaciones en las que se tenga que realizar mantenimientos en caso de haber alguna avería grave en los motores. En popa, a continuación de la cámara de máquinas, está el servo donde se encuentran los timones y su correspondiente sistema hidráulico que los mueve y una escotilla que sirve de salida de emergencia. En proa, se encuentra la escotilla que da acceso al pañol y pique de proa donde se estiba tanto el ancla como los cabos de respeto. [8]

3.1.2 Características principales.

La siguiente tabla muestra el contraste de las principales características técnicas respecto a la ficha técnica del modelo Rodman66 y el Manual de las Lanchas de Instrucción:

	Ficha Técnica Rodman66	Lancha de Instrucción A-121
Eslora total	20,5 m	20,5 m
Eslora del casco	-	20
Manga total	5,1 m	4,9 m
Puntal	-	2,56 m
Calado en rosca	-	0,9 m
Capacidad de combustible	-	5.000 L
Capacidad de agua	-	500 L
Velocidad crucero	-	15 nudos
Velocidad máxima	35 nudos	23 nudos
Tripulación	6 personas	16 personas
Motorización	2 x 965 CV hasta 2 x 1400 HP	2 x 715 CV
Propulsión	-	Ejes y hélices

Tabla 3-1 Contraste de las principales características técnicas (Elaboración propia). [7] [8]

3.1.3 Planos.

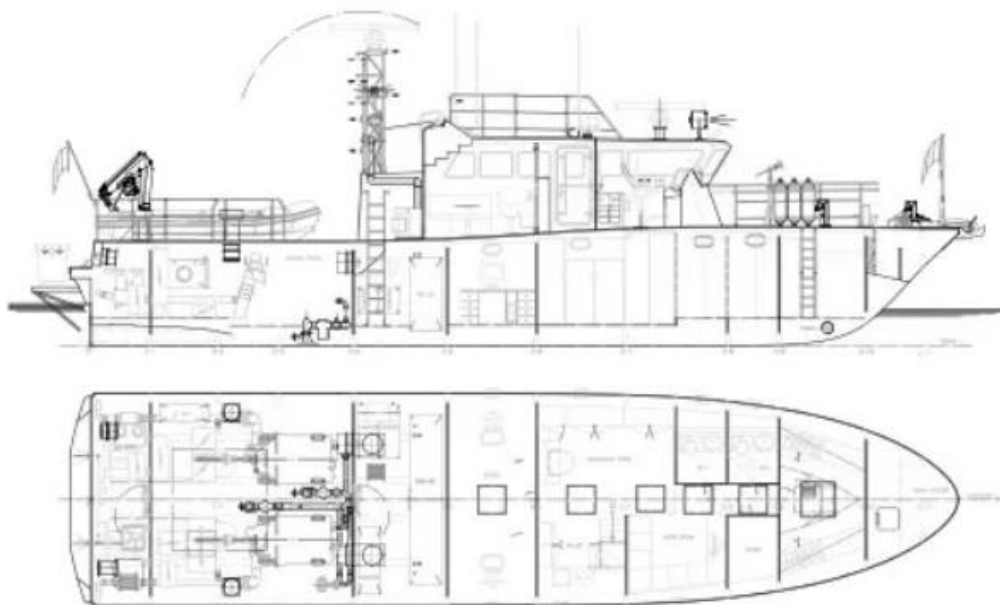


Figura 3-1 Plano embarcación Rodman66. [9]

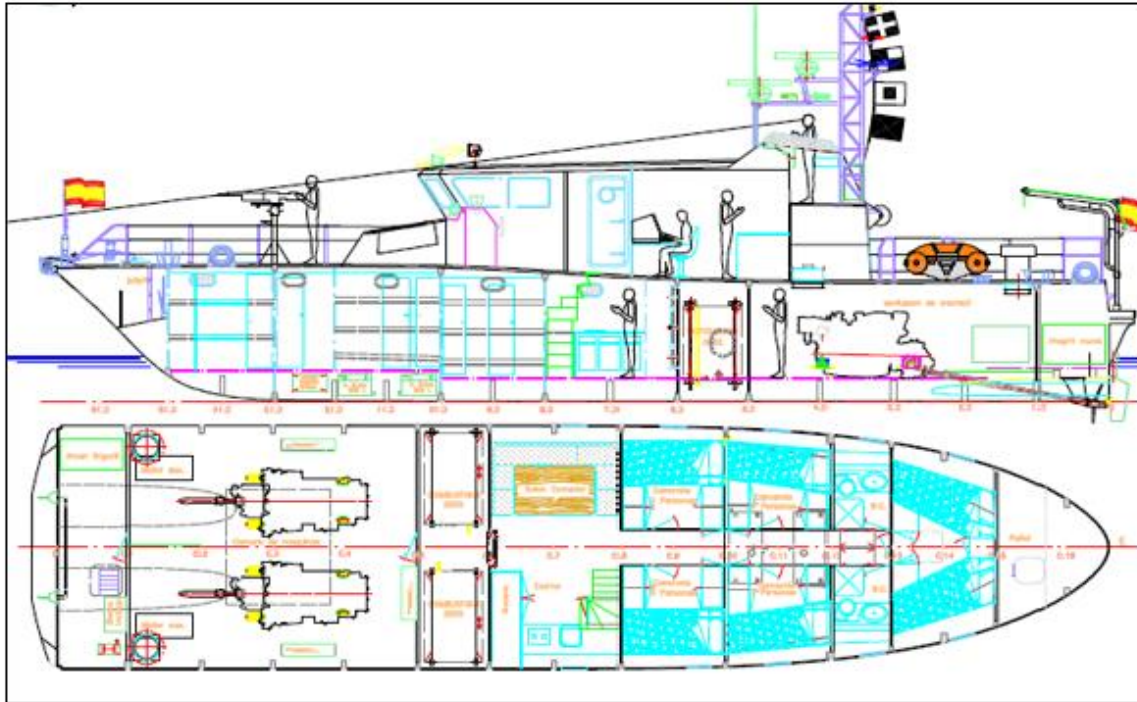


Figura 3-2 Plano de la Lancha de Instrucción Rodman66. [8]

3.2 Zodiac FC 470 .

3.2.1 Descripción general.

Esta embarcación es comúnmente conocida como la embarcación preferente de las Fuerzas Especiales, la gama FC (Futura Commando) es la que utilizan los soldados y marineros que forman parte de la élite ya que dicha gama combina un diseño y una tecnología avanzados correspondientes a la marca de productora de embarcaciones hinchables Zodiac Milpro.

El diseño del casco es tipo Futura y la forma que tiene es especialmente importante, ya que puede soportar grandes cargas, planea muy rápido y le aporta al patrón una maniobrabilidad insuperable en condiciones complejas y peligrosas. Actualizada continuamente para poder desarrollar al máximo todo su potencial en un entorno turbulento y siempre cambiante. [10]



Figura 3-3 Modelo FC 470. [10]

3.2.2 Características principales.

Ficha Técnica	
FC 470	
Eslora total	4,7 m
Manga total	1,9 m
Peso vacía (suelo enrollable)	125 kg
Tripulación máxima	10 personas
Carga útil máxima (con motor y gasolina)	1250 kg
Potencia máxima	40 HP – 29,4KW a 5000rpm
Velocidad	22 nudos (40 HP, 660 kg carga)
Motorización	Fb Yamaha 40
Peso motorización	Pata corta 65 kg

Tabla 3-2 Datos técnicos correspondientes al modelo de embarcación FC 470. [10]

3.2.3 Planos.

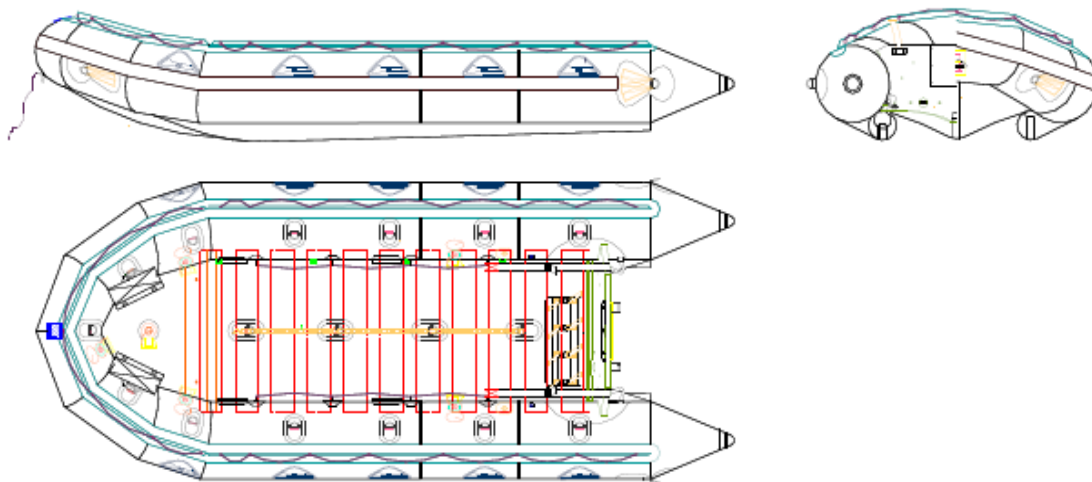


Figura 3-4 Modelo FC 470. [11]

3.3 Maniobra de arriado e izado de embarcaciones.

Forma parte del plan de Instrucción y Adiestramiento de la ENM que los alumnos se familiaricen con las diferentes embarcaciones que la esta posee, así que sus prácticas incorporan los ejercicios de arriado e izado de zodiacs, de las cuales se pueden diferenciar dos clases: Zodiac y Zodiac FC 470.

3.3.1 Zodiac.

Para realizar la maniobra de arriado e izado de la Zodiac se necesitan 6 personas que desempeñan diferentes cometidos, dos se encargan de los vientos del pescante, otros dos uno para la boza y otro para la codera, así como uno que se hace cargo del cabo de carga al chigre y finalmente un supervisor de la maniobra que será el que responsable del mando del chigre. Al pescante lo alimenta el circuito de 24 V/CC.

Los pasos que se han de seguir en la maniobra serían los especificados a continuación:

- Se arrían simultáneamente y poco a poco boza, codera y cabo de carga hasta que la zodiac queda paralela a la superficie del agua.
- Se sueltan los anclajes cuya ubicación se encuentra en el espejo de la lancha para su destrincado.
- Se empuja de forma manual el pescante y se cobra del viento de Br hasta que la lancha se halle libre del espejo.
- Una vez la Zodiac está a una distancia prudente de su anclaje en el espejo, se hacen firmes los vientos del pescante a las cornamusas de cubierta.
- Cuando los vientos estén hechos firmes, se comienza a arriar con el chigre del pescante hasta que se pose en el agua.
- Se subirá entonces a ella un hombre correctamente pertrechado para poder soltar el cabo de carga de la eslinga de la Zodiac.
- Una vez finalizada la maniobra, se baja el motor fuera-borda y la petaca de combustible y procede a su puesta en marcha.

Para proceder con su izado se sigue el mismo procedimiento pero en sentido inverso. [12]



Figura 3-5 Zodiac estibada en la Lancha de instrucción A-121 Rodman66. [12]



Figura 3-6 Maniobra de arriado de zodiac en lancha de instrucción. [12]



Figura 3-7 Maniobra de arriado de zodiac en lancha de instrucción. [12]

3.3.2 Zodiac FC 470.

Sin embargo, para realizar la maniobra de arriado e izado de la FC 470 de los infantes de marina, se necesita a la mayoría de la dotación involucrada en la maniobra que ha de ser completamente manual y en equipo debido a su envergadura y peso. Por tanto, el pescante es útil para el arriado o izado del motor fuera-borda.

Los pasos que se han de seguir en la maniobra serían los especificados a continuación:

- Entre la dotación se sitúan a ambas bandas de la zodiac como en la Figura 3-8 y la elevan posicionándola de lateral y avanzando hacia el costado por donde se va a arriar.
- Cuando la zodiac está siendo largada por el costado tal como se muestra en la Figura 3-10, dos personas son designadas para ir largando de boza y codera.
- Una vez la zodiac en el agua, embarca una persona que será la encargada de colocar el motor.
- Se mueve la zodiac a la popa de la lancha de instrucción usando boza y codera, cuando esté bien situada se comienza a arriar el motor con el pescante.
- Cuando se coloca el motor, se vuelve a mover a la posición inicial, y una vez allí comienza a embarcar el resto de la tripulación.

Para proceder con su izado se sigue el mismo procedimiento, pero en sentido inverso.



Figura 3-8 Zodiac FC 470 estibada en toldilla de la lancha de instrucción. [12]



Figura 3-9 Arriado de Zodiac FC 470 en lancha de instrucción (I). [12]



Figura 3-10 Arriado de Zodiac FC 470 en lancha de instrucción (II y III). [12]



Figura 3-11 Arriado de Zodiac FC 470 en lancha de instrucción (IV). [12]

3.4 Soluciones planteadas.

Ante la disposición que suele tomar a bordo de las lanchas la Zodiac FC 470, se han planteado diferentes versiones para su estibado y puesta en el agua.

Las dos primeras de ellas: Figura 3-12 y Figura 3-13, permiten estibar la zodiac en la popa de la lancha como si fuera la rhib y posicionarse al costado para poder colocar después el motor y embarcar al resto de la tripulación. La diferencia entre ambas es que en la primera la boza se haría firme a la cornamusa y la segunda a un tangón compensador.

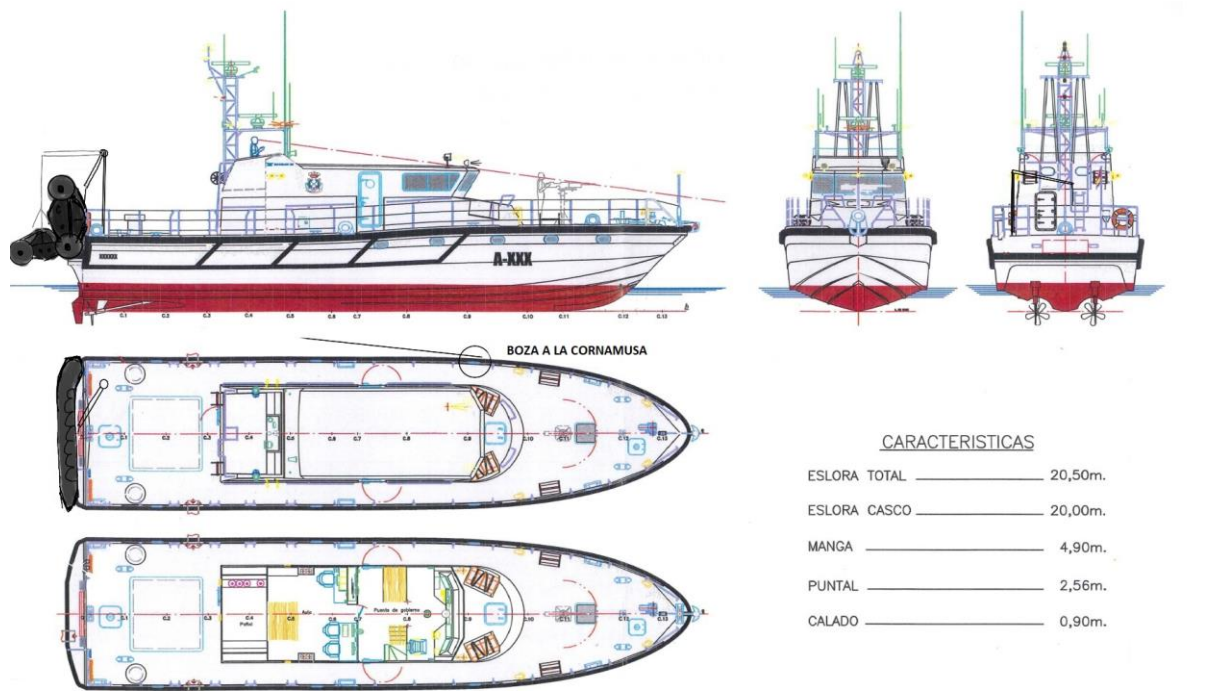


Figura 3-12 Propuesta N.º 1 (elaboración propia).

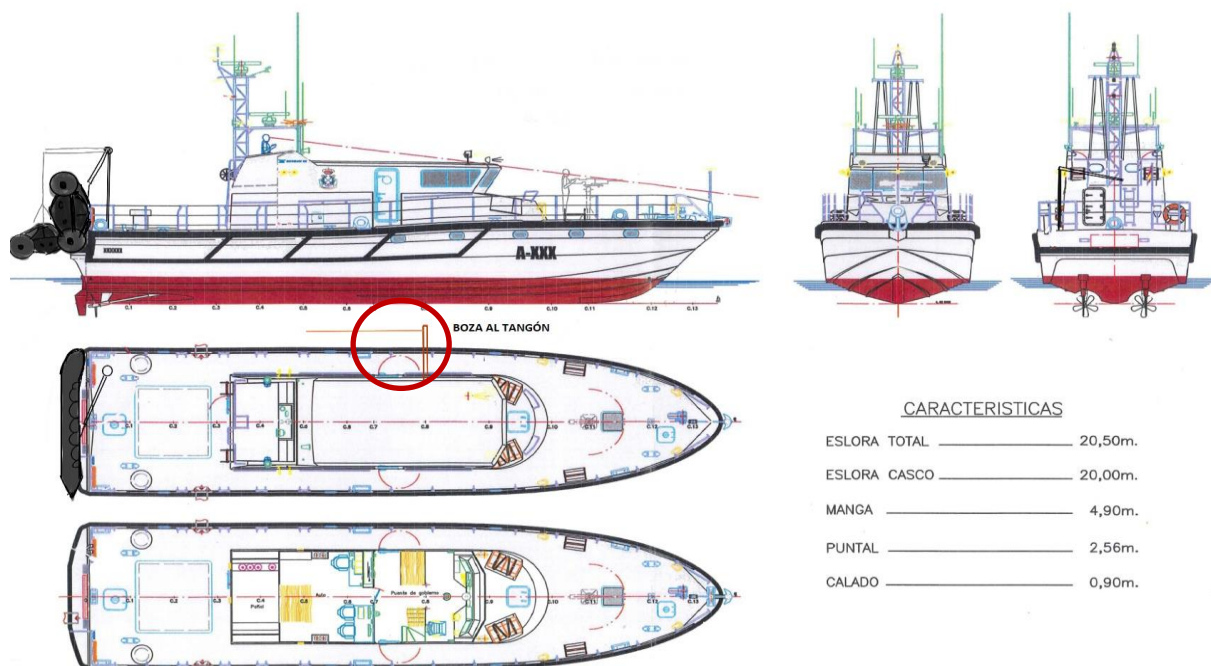


Figura 3-13 Propuesta N.º 2 (elaboración propia).

En la Figura 3-14, la zodiac iría trincada en la parte posterior de la popa con dos pescantes que permiten su elevación y largado con el motor ya incorporado y permitiría hasta dos personas a bordo.

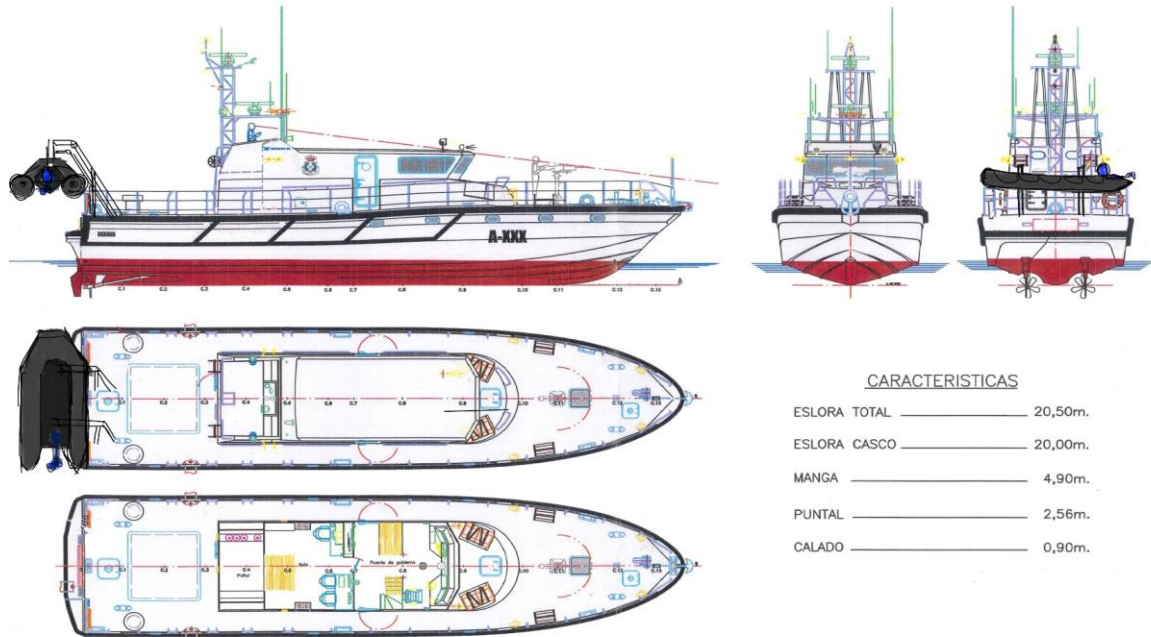


Figura 3-14 Propuesta N.º 3 (elaboración propia).

La Figura 3-15 contempla la colocación de la zodiac sobre una cama y su largado al agua por el costado con el motor incorporado.

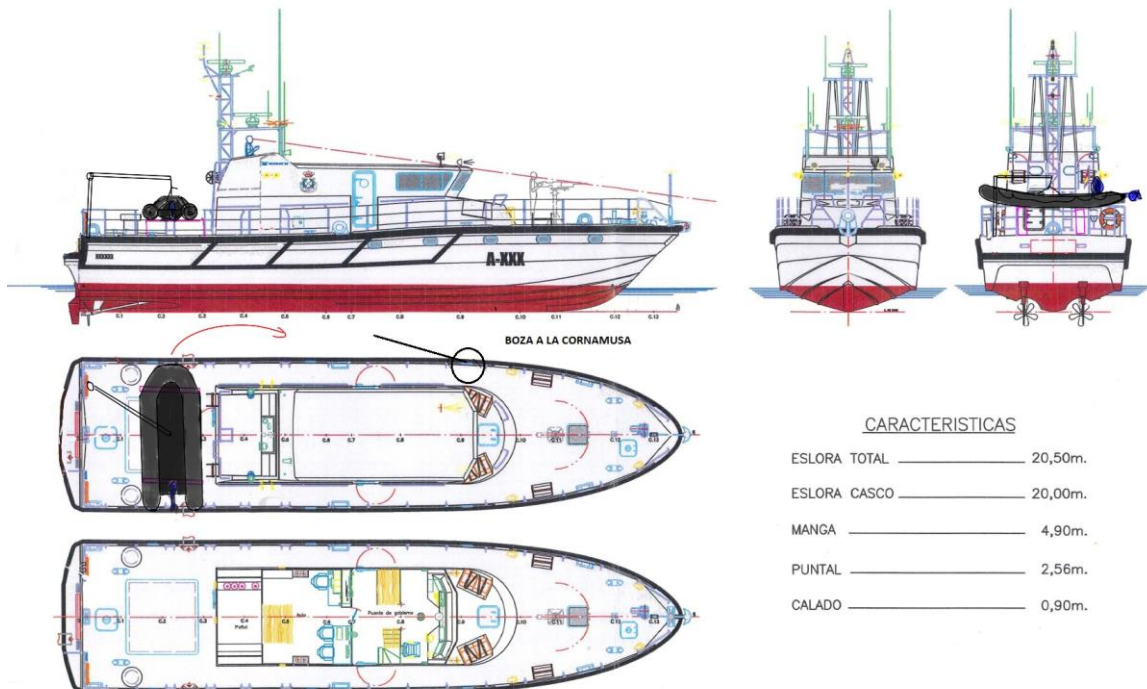


Figura 3-15 Propuesta N.º 4 (elaboración propia).

Sin embargo, a pesar de que la posición de la zodiac en la Figura 3-16 sería similar a la descrita anteriormente, estaría ligeramente más a popa colgada por dos pescantes enfrentados similares como los que porta el buque escuela Juan Sebastián de Elcano para las balleneras de a bordo.

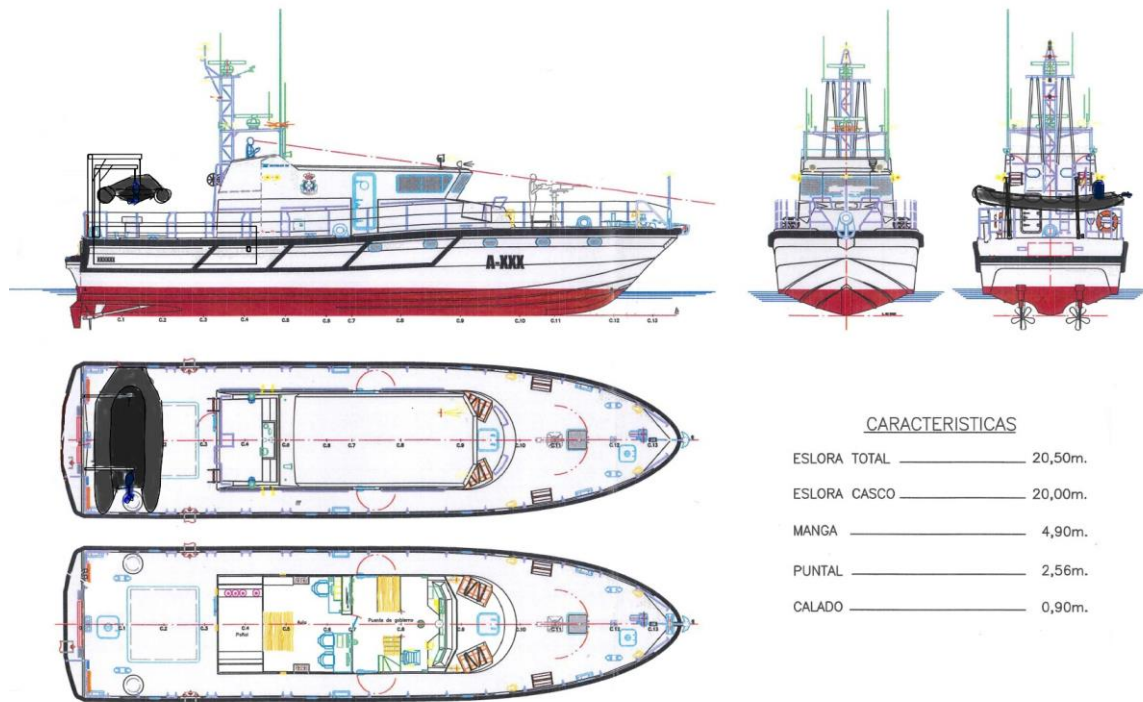


Figura 3-16 Propuesta N.º 5 (elaboración propia).

Tanto en la Figura 3-17 como en la Figura 3-18 se cambia la configuración de la lancha, colocando la zodiac recta en lugar de transversal como en los anteriores casos. Va estibada en una cama que permite elevar la proa de la embarcación para así obtener espacio suficiente para el tránsito de las personas por la toldilla.

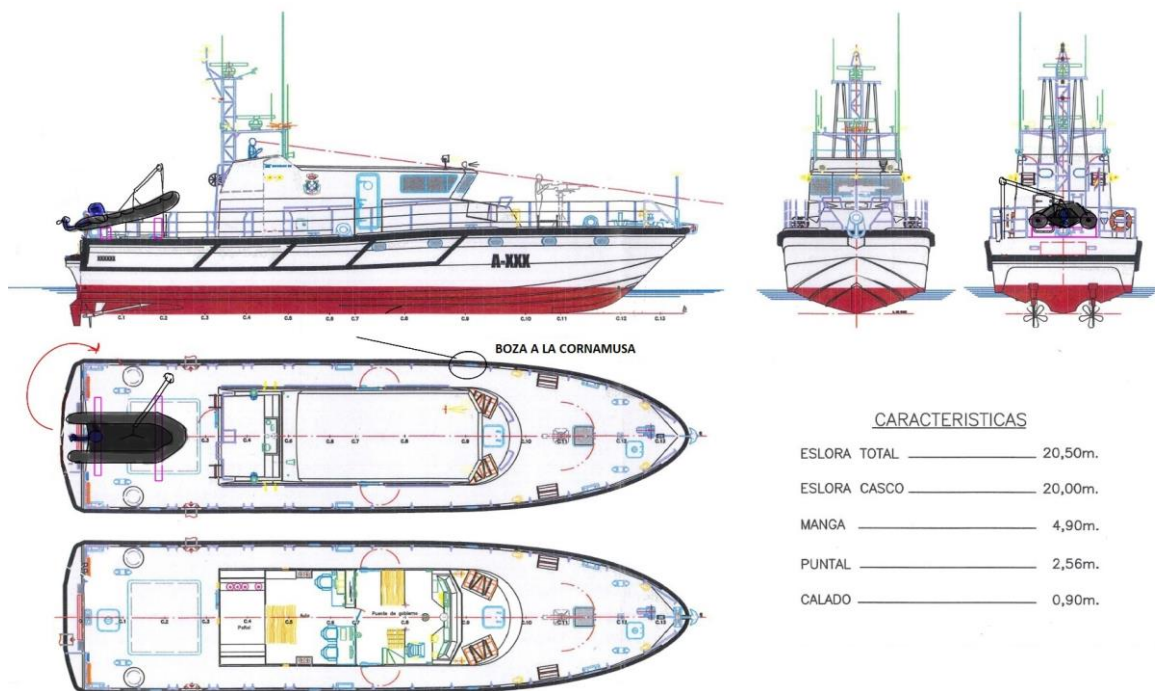


Figura 3-17 Propuesta N.º 6 (elaboración propia).

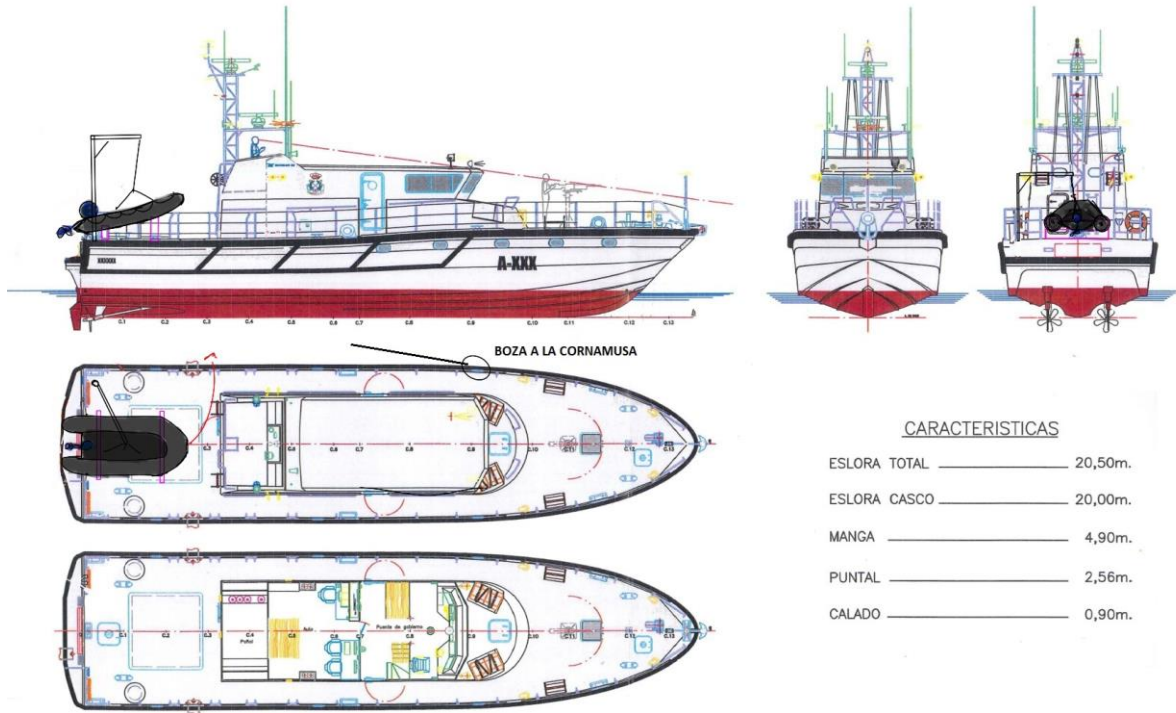


Figura 3-18 Propuesta N.º 7 (elaboración propia).

4 ANÁLISIS

En este capítulo se expondrán los requisitos del diseño y las ventajas e inconvenientes de las propuestas descritas anteriormente. Se desarrollará el diseño que resulte con mayor puntuación tras haber sometido las opciones a una matriz de decisión.

Se plantean los requisitos que debe cumplir el diseño, se efectuará el análisis estructural y de esfuerzos para comprobar que la estructura soporte los esfuerzos a los que va a estar sometida, los cuales se habrán descrito y expuesto con anterioridad.

4.1 Requisitos del diseño.

4.1.1 *Altura de la elevación.*

La altura de la elevación es la distancia existente entre el punto de mayor elevación del gancho y el plano de apoyo de la zodiac en el agua. Se ha establecido en 2 metros.

4.1.2 *Cargas.*

La carga de servicio (SL) es la suma del conjunto de los siguientes: el peso de aquello que se quiere elevar y el peso de los ganchos y otros accesorios empleados en su sujeción. La carga útil de la zodiac es de 125 kg, el motor 65 kg.

4.1.3 *Velocidades de la maniobra.*

La velocidad de la maniobra de puesta en el agua de la zodiac equivale a la velocidad en que los pescantes realicen el movimiento de izado y arriado. Tras consultar diferentes fabricantes se ha observado que la velocidad de elevación para cargas nominales de alrededor de 200 kg se encuentra en el rango de 3 m/min.

4.2 Ventajas y desventajas de las soluciones propuestas.

Para poder hacer una elección objetiva, se enfrentarán las diferentes propuestas mediante el empleo de una matriz de decisiones para detectar cuales son los puntos fuertes de cada configuración, sopesar las diferentes variables y tomar una buena decisión.

La matriz de decisiones funciona en este caso porque las opciones son similares y comparables, y los criterios de evaluación serán los mismos para cada opción. Por lo tanto, simplifica y ayuda a contrastar de las alternativas propuestas: reduce el número de ellas hasta llegar a una sola, valora una cantidad de factores relevantes, y aborda la decisión de manera lógica y objetiva.

Para crear dicha matriz, primeramente, hay que identificar las alternativas; en este caso se presentan las siete propuestas enumeradas en el apartado 3.4 Soluciones planteadas.

El segundo paso es identificar las consideraciones importantes, es decir, los factores relevantes a evaluar que afectan a la selección del diseño; en este caso los criterios más importantes basados en la operatividad de la lancha de instrucción son:

- La capacidad de arriado de la zodiac con el motor fueraborda ya incorporado, ya que con ello se agilizaría la maniobra de largado de la embarcación siendo el tiempo total de la maniobra el arriado de esta y el embarque del personal. Además, al incorporar el motor el personal empleado en el desarrollo de dicha maniobra se mejora la seguridad operativa.
- La capacidad de arriado en marcha, es decir, dar la embarcación por el costado. Este factor añadiría un extra de operatividad a la hora del desembarco, ya que como el anterior punto se agilizaría el largado de la zodiac y el embarque del personal que ha de realizarlo por el costado. Sin embargo, no se le va a dar tanta importancia como al requisito anterior, ya que no mejora tanto la seguridad del personal ni en el desarrollo de las operaciones anfibia.
- Debido a las limitaciones de espacio de la toldilla de la lancha de instrucción y las dimensiones de la zodiac, la embarcación estibada debe dejar hueco suficiente como mínimo para el tránsito de la dotación, permitiendo de este modo una circulación segura en toldilla. En este caso, se va a discernir entre que la zodiac no ocupe el espacio de la toldilla y no restrinja ninguna maniobra (espacio ocupado nulo); que la ocupe parcialmente, pero permitiendo el tránsito (espacio ocupado parcial); y por último que la ocupe por completo dificultando el paso de la dotación en gran medida (espacio ocupado total).
- Se ha de tener en cuenta el coste estimado inicial de los materiales y construcción del sistema. Asimismo, el precio está ligado a la sencillez del diseño, cuanto más simple menos costoso y más fácil de instalar. En la ENM únicamente existen cuatro embarcaciones de esta clase, por lo tanto, se debe invertir y abogar por una solución lo menos costosa posible.

Aunque en principio se consideró como factor importante que tuvieran la capacidad de poder ir embarcadas como mínimo las dos personas fundamentales: el patrón y el proel; se descartó. Esta decisión se debe a que el dispositivo necesario sería demasiado pesado y de grandes dimensiones, necesitaría de mayor espacio del cual no se dispone para su colocación, así como un precio excesivo.

En tercer lugar, se desarrolla la matriz teniendo en cuenta los pasos anteriormente descritos. Se calcula la puntuación total de cada propuesta considerando los pesos de cada factor, los cuales se han determinado en base al objetivo de las propuestas: mejorar el sistema de arriado de la Zodiac 470.

La ponderación es:

Motor: 2

En marcha: 1

Espacio ocupado nulo: 3

Se realiza la matriz considerando las propuestas baremado del 1 a 3 sin tener en cuenta el coste:

Peso	Motor	En marcha	Espacio ocupado	Puntuación
	2	1	Nulo/Parcial/Total	
Propuesta N.º 1	1x2=2	1x1=1	3x3=9	12
Propuesta N.º 2	1x2=2	1x1=1	3x3=9	12
Propuesta N.º 3	3x2=6	1x1=1	3x3=9	16
Propuesta N.º 4	3x2=6	3x1=3	1x3=3	12
Propuesta N.º 5	3x2=6	1x1=1	2x3=6	13
Propuesta N.º 6	3x2=6	3x1=3	2x3=6	15
Propuesta N.º 7	3x2=6	3x1=3	2x3=6	15

Tabla 4-1 Matriz de decisión de propuestas sin tener en cuenta el coste (elaboración propia).

Se considera ahora hacer una estimación previa inicial del coste de cada opción con respecto a:

- La maquinaria necesaria que instalar: número de motores.
- La cantidad de material a emplear para la estructura, cuanto más complejo más mano de obra y por ende más costoso.
- El sistema de accionamiento a implantar: eléctrico o hidráulico.
- El peso a elevar; sin el coeficiente de seguridad por cada brazo de pescante.
- El impacto que sufre la lancha debido a su instalación.

	Motor/ es	Sistema	Tamaño	Peso a elevar	Impacto	Precio
Propuesta N.º 1	1	Eléctrico	Pescante 2,5+1,7 m	125 kg	Muy Bajo	BAJO
Propuesta N.º 2	1	Eléctrico	2m tangón + 2,5 + 1,7 m pescante	125 kg	Muy Bajo	BAJO
Propuesta N.º 3	1	Eléctrico	2 pescantes x 2+2 m	95 kg	Medio	MEDIO
Propuesta N.º 4	1	Hidráulico	Pescante 3+3 m + cama	190 kg	Alto	ALTO
Propuesta N.º 5	2	Eléctrico	2 pescantes x 2+1 m	95 kg	Bajo	MEDIO
Propuesta N.º 6	1	Hidráulico	Pescante 3+3 m + cama	190 kg	Alto	ALTO
Propuesta N.º 7	1	Hidráulico	Pescante 3+3 m + cama	190 kg	Alto	ALTO

Tabla 4-2 Matriz de determinación del precio estimado inicial (elaboración propia).

Una vez realizada la estimación preliminar del precio, se replantea la matriz de decisión. Dándole un peso a este último factor de 3. La ponderación queda entonces:

Motor: 2

En marcha: 1

Espacio ocupado nulo: 3

Coste: 3

Se realiza la siguiente matriz de decisión de propuestas baremado de 1 a 3 teniendo en cuenta el precio estimado en la Tabla 4-2:

	Motor	En marcha	Espacio ocupado Nulo/Parcial/Total	Precio	Puntuación
Peso	2	1	3	3	
Propuesta N.º 1	1x2=2	1x1=1	3x3=9	3x3=9	21
Propuesta N.º 2	1x2=2	1x1=1	3x3=9	3x3=9	21
Propuesta N.º 3	3x2=6	1x1=1	3x3=9	2x3=6	22
Propuesta N.º 4	3x2=6	3x1=3	1x3=3	1x3=3	15
Propuesta N.º 5	3x2=6	1x1=1	2x3=6	3x2=6	19
Propuesta N.º 6	3x2=6	3x1=3	2x3=6	1x3=3	18
Propuesta N.º 7	3x2=6	3x1=3	2x3=6	1x3=3	18

Tabla 4-3 Matriz de decisión de propuestas teniendo en cuenta el coste (elaboración propia).

Finalmente, se escoge la opción de mayor puntuación. En este caso, se puede observar que se trata de la Figura 3-14 (propuesta N.º 3), que como se planteó en el apartado de Soluciones planteadas, constaría de dos pescantes paralelos, alimentados por un sistema eléctrico.

Con esta opción se renuncia a la capacidad de dar la embarcación por el costado, y por consiguiente, no se podría arriar con la lancha de instrucción en marcha. Como se justificó, este factor era el de menos peso porque añadía valor a la maniobra, pero no se convertía en un requisito sino en una característica deseable, ya que no se obtiene tanta ganancia en cuanto a seguridad del personal. Esta capacidad, requeriría de un pescante de dimensiones y peso superiores a las necesarias para una lancha de este tipo, dado que un solo pescante debería de ser capaz de izar y arriar toda la carga. Con este sistema constituido por dos pescantes es más simple y será desmontable.

Con este diseño se gana la totalidad del espacio, disponiendo de la toldilla completamente libre para las maniobras que se realicen simultáneamente con las operaciones anfibia, a la par que aumenta la seguridad de la dotación ya que la estructura no sople un obstáculo para el tránsito ni el desarrollo de las actividades. Permite llevar incorporado el motor fueraborda en la maniobra.

4.3 Análisis estructural.

El levantamiento de pesos es un factor decisivo en el control de la estabilidad de un barco de pequeñas dimensiones. Los aparatos elevadores de a bordo están sujetos a otras cargas y en parte mayores que las de los aparatos elevadores en tierra. Esto incluye, entre otros, las inclinaciones del barco, las aceleraciones marítimas y el aumento del viento. De hecho, la carga levantada, aplicada al extremo superior de la torre de la grúa, eleva el centro de gravedad, reduciendo, en consecuencia, el valor de la altura metacéntrica inicial. Se recomienda evitar la elevación de pesos con mala mar. Para ello se requieren consideraciones particulares.

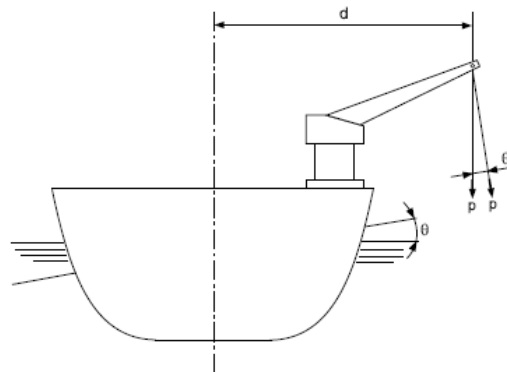


Figura 4-1 Elevación de carga pesada. [13]

El caso estudiado no versa sobre una carga pesada. Es por ello que para la evaluación estructural se han de determinar los estados de tensión y deformación a los que se va a someter la estructura considerando varios estados de carga.

En el capítulo 5 de la DNVGL-ST_0377, se especifican y determinan de las condiciones operativas y de navegación en las que se basará el diseño, ya que cobra gran importancia en el caso estudiado. Por lo tanto, los criterios de diseño esenciales son en particular:

A las grúas se les asigna un grupo para determinar el coeficiente de carga de elevación:

- **Grupo de grúas A:** principalmente grúas que no manipulan cargas y que no siempre están expuestas a la carga de trabajo segura completa. Tales grúas son caracterizadas por un uso irregular y periodos de descanso más prolongados. Éste a su vez se subdivide en otros tres grupos:
 - Grupo A1: Incluye grúas para la operación del barco en el puerto.
 - Grupo A2: Incluye grúas para la operación del barco en la mar.
 - Grupo A3: Incluye grúas flotantes no utilizadas para manipulación de carga.
- **Grupo de grúas B:** principalmente grúas utilizadas para el manejo de carga y que no siempre están expuestas a la carga máxima de trabajo segura. Estas grúas se caracterizan por un uso regular y periodos de descanso más prolongados.
- **Grupo de grúas C:** principalmente grúas para el manejo de carga y que están regularmente expuestas a la carga de trabajo segura completa o casi completa.

Se puede determinar, por lo tanto, que el grupo al que pertenece el presente sistema de elevación es A2. Teniendo en cuenta que, aunque opere en la mar, lo va a hacer con menos de 1,5 metros de ola, según lo establece la D-AF-01.

Se considerarán las fuerzas de aceleración generadas por el izado de una carga en reposo o en movimiento durante las operaciones por aplicación del coeficiente de carga de elevación de 1,5, basado en grúas del mismo grupo y características.

El capítulo 4 de la DNVGL-ST-0378, donde se tratan los dispositivos de elevación en la mar y de plataforma, se especifican las acciones a considerar en el cálculo de las estructuras de los aparatos de elevación en general. Se diferencian los cuatro siguientes grupos:

- Solicitaciones principales, en el estado de carga más desfavorable. Norma 4.1.2
- Solicitaciones debidas a los movimientos verticales. Norma 4.1.3
- Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales. Norma 4.1.4
- Solicitaciones debidas a los movimientos del barco donde va montada la grúa. Norma 4.1.5
- Solicitaciones debidas a los efectos climáticos. Norma 4.1.6
- Solicitaciones diversas. Norma 4.1.7

4.3.1 Solicitaciones principales.

Las sollicitaciones principales son:

- La carga de trabajo debida al peso propio de los componentes de la estructura (S_G). Es el peso estático de la carga útil levantada más el peso de los accesorios como por ejemplo los polipastos.
- Las cargas de servicio (S_L). La carga de servicio es la debida al peso estático de la carga levantada (carga de trabajo excluyendo el peso de accesorios más cualquier viga de elevación).
- Las cargas debidas al pretensado. Las cargas debidas al pretensado son aquellas impuestas sobre elementos estructurales debido al pretensado de pernos o cables.

Salvo el pretensado, todas las cargas principales son debidas al peso que actúa siempre verticalmente (en el sentido común). Esto significa que si la grúa está montada sobre un objeto que puede obtener inclinación (talón y/o asiento) en cualquier dirección, las cargas principales pueden tener componentes horizontales cuando se refieren a una práctica sistema de coordenadas de la grúa. Estos componentes se tendrán en cuenta y se considerarán como cargas principales, también si los ángulos se deben a movimientos tales como balanceo y cabeceo de un buque. Las fuerzas de inercia simultáneas no se consideran cargas principales.

4.3.2 Solicitaciones debidas a los movimientos verticales.

Estas acciones provienen del izado de la carga de servicio (S_L), de las aceleraciones o deceleraciones en el movimiento de elevación asumiendo el estado del barco sobre el que va montado el sistema es ideal, sin escora ni trimado.

Quedan aplicadas mayorando la carga de servicio con un coeficiente dinámico que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\psi = 1 + V_R \sqrt{\frac{C}{W \cdot g}}$$

Ecuación 1 Cálculo del factor dinámico. [14]

C = coeficiente de rigidez geométrica referido a la posición del gancho (también llamada 'constante de resorte' definida como fuerza en el gancho para producir la deflexión unitaria en el gancho (kN/m)).

g = constate gravitacional. (m/s)

W = Carga de servicio (S_L)(kN).

V_R = velocidad relativa (m/s) entre la carga y el gancho en el momento de la recogida.

Donde el factor dinámico debe ser 1.3 para cargas de servicio de entre 10 kN y 2.500 kN. Teniendo en cuenta que la carga a elevar en nuestro dispositivo cumple con este requisito se puede determinar directamente que $\psi = 1,3$.

4.3.3 Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales.

Las sollicitaciones de este tipo hacen referencia a los movimientos horizontales teniendo en cuenta que el estado del barco sobre el que va montado el sistema es ideal sin trimado ni escora. Estas son:

- fuerzas de inercia debidas a la aceleración o desaceleración de los movimientos horizontales.
- fuerzas centrífugas.
- fuerzas transversales al riel resultantes del movimiento de enrollamiento y oblicuidad.
- cargas amortiguadoras (S_T).

Teniendo en cuenta que la grúa a diseñar no realiza traslaciones horizontales de la carga, se puede desestimar el cálculo de estas sollicitaciones.

4.3.4 Solicitaciones debidas a los movimientos del barco.

Las fuerzas de inercia debidas al movimiento del barco se calcularán de acuerdo con DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 Sec.3.

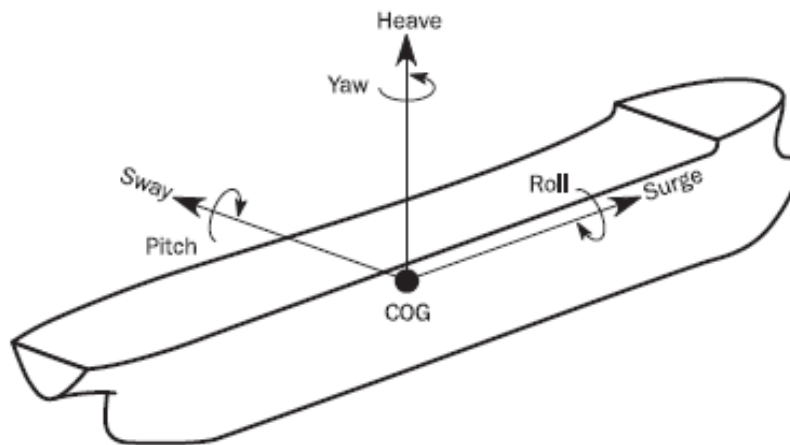


Figura 4-2 Movimientos del barco. [15]

Aceleraciones para los casos de carga dinámica:

- Aceleraciones longitudinales.

$$a_x = f_\beta [(-C_{xG}g \sin \varphi) + -C_{xS}a_{surge} + C_{xP}a_{pitch}(z - R)]$$

- Aceleraciones transversales.

$$a_y = f_\beta [C_{YG}g \sin \theta + C_{YS}a_{sway} - C_{YR}a_{roll}(z - R)]$$

- Aceleraciones verticales.

$$a_z = f_\beta [C_{ZH}a_{heave} + C_{ZR}a_{roll}y - C_{ZP}a_{pitch}(x - 0,45L)]$$

Para un barco de 180 metros de eslora y 60.000 toneladas de desplazamiento y la grúa situada en la proa, los típicos valores que toman las aceleraciones combinadas, resultantes del movimiento del barco descritos en la Figura 4-2, son:

aceleración vertical: $a_V = 1,0 \cdot g$

aceleración transversal: $a_T = 0,7 \cdot g$

aceleración longitudinal: $a_L = 0,3 \cdot g$

En este caso, al tratarse de un barco de 20,5 metros de eslora y 29,5 toneladas de desplazamiento y estar situada en la popa, se desestiman los valores que toman estos parámetros, quedando absorbido su valor en la mayoración de la carga.

4.3.5 Solicitaciones debidas a efectos climáticos.

Se diferencian tres tipos:

- Debidas al viento.
- Debidas a la nieve y viento. Se tendrán en cuenta en condiciones particularmente especiales.
- Debidas a las variaciones de temperatura. Se considerarán cuando en casos extremos, pero el máximo y mínimo de temperatura siempre se ha de tener en cuenta al elegir los materiales.

Para el cálculo de las acciones sobre la estructura debidas al viento se sigue la normativa reflejada en el apéndice A de la DNVGL-ST-0378. En el diseño de grúas, la distribución de la presión del viento y la succión alrededor de la estructura no necesita considerarse en detalle, y las cargas de viento normalmente se pueden determinar en términos de las fuerzas resultantes en cada una de las partes más grandes de la grúa. Una suposición básica es que la presión del viento y la succión actuarán de manera normal a las superficies.

A continuación, se presenta un método simplificado de cálculo de la carga de viento:

$$F = A \cdot q \cdot C \cdot \sin \alpha$$

Ecuación 2 Cálculo de la fuerza debida al viento. [15]

Donde:

F es la fuerza debida al viento en N.

A es la superficie neta del elemento considerado en m^2 .

q es la presión del viento en kN/m^2 .

C es el coeficiente de la presión del viento para la superficie expuesta.

α = ángulo entre la dirección del viento y la superficie expuesta. Suponemos perpendicular.

Coefficient C

Type of member	Pressure	Suction	Total
Flat-sided section			2
Tubular member			
Diameter < 0.3m			1.2
Diameter ≥ 0.3m			0.7
Trusses of flat-sided sections			1.8
Trussers of tubular members			1.1

Tabla 4-4 Coeficiente C. [15]

Para el cálculo del parámetro q:

$$q = q_{10}(0.9 + 0.1 \cdot H)$$

Ecuación 3 Parámetro q para cálculo de la fuerza debida al viento. [14]

Donde: q_{10} es la presión de la velocidad a 10 metros sobre el suelo (o nivel del mar) y H es la altura considerada en metros. Los valores mínimos generales de q_{10} y la correspondiente velocidad del viento de v_{10} (m/s) se dan en laTabla 4-5 Presión de la velocidad de diseño en N/m^2 . Tabla 4-5. Para las condiciones de trabajo de la grúa, se aplican ráfagas de viento de 3 segundos.

Location	Crane condition	v_{10}	q_{10}
Inland and sheltered conditions	Working	20	250
Vessel in harbour	Out of service	36	800
Offshore and open areas	Working	24	360
Vessel at sea	Out of service	44	1200

Tabla 4-5 Presión de la velocidad de diseño en N/m². [15]

4.4 Cálculo de esfuerzos.

Cuando a una viga o estructura se le aplica una fuerza externa, se producen en ella reacciones internas: fuerzas cortantes y axiales, momentos flector y torsor que provocarán deformaciones. Es por ello por lo que las estructuras y sus componentes han de mostrar la seguridad requerida frente a los fallos por flexión excesiva, pandeo y fractura por fatiga. Se han de evaluar los tres casos en las secciones en la posición y dirección más desfavorable.

Los cálculos de resistencia se basarán en principios aceptados de resistencia estructural y resistencia de materiales.

La verificación de la seguridad puede basarse en el método de las tensiones admisibles o en método del estado límite. La relación es factor de seguridad = factor de carga multiplicado por el factor material. [14] Ver: Tabla 4-7 y Tabla 4-6.

$$SF = \gamma_f \cdot \gamma_m$$

Por tanto, el coeficiente de seguridad aplicado, considerando el estado de carga I en las vigas, es:

$$SF = 1,3 \cdot 1,3 = 1,69$$

Location		Load case I	Load case II	Load case III
Safety Factor	Elastic analysis	1.5	20	1.10
	Plastic (ult. str.) analysis	1.69	1.51	1.25
Permissible stresses	Elastic analysis	$\sigma_y/1.5$	$\sigma_y/1.5$	$\sigma_y/1.10$
	Load factor	1.3	1.16	0.96
Offshore and open areas	Material Elastic analysis	1.15	1.15	1.15
	factor Plastic analysis	1.3	1.3	1.30

Tabla 4-6 Criterios para verificación de la flexión excesiva. [14]

Type of buckling	S_F or $\gamma_f \cdot \gamma_m$		
	Load case I	Load case I	Load case I
Elastic buckling	1.86	1.66	1.38
Elastic-plastic buckling	1.69	1.51	1.25

Tabla 4-7 Factores de seguridad para la comprobación con respecto al pandeo. [14]

4.5 Bases de cálculo.

Para dimensionar la estructura se van a realizar comprobaciones relativas al método de los estados límite. Los estados límite son situaciones que, en caso de ser superadas, suponen que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido diseñada. Se pueden diferenciar dos tipos de estados límite: estado límite de servicio y estado límite último.

4.5.1 Estado límite de servicio ELS.

El estado límite de servicio son aquellos que, de ser superados reducen la capacidad, funcionalidad o utilidad de la estructura. Flechas, Asientos y vibraciones.

Para hallar dicho valor, la flecha de la viga no ha de superar el valor máximo establecido F_{adm} . De lo contrario dicha flecha podría afectar negativamente al funcionamiento de los elementos del pescante. No han de aplicarse coeficientes de mayoración de cargas ni coeficientes de minoración de resistencia del material. Sin embargo, se tendrán en cuenta los coeficientes de combinación de cargas variables.

Para la comprobación del ELS de deformación se emplea la combinación de acciones: $S_G + S_L$.

4.5.2 Estados límite últimos ELU.

Los estados límite últimos son aquellos que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas porque producen la rotura de algún componente estructural, por tanto, el colapso parcial o total de la estructura. Pérdida de equilibrio, inestabilidad, rotura o deformación excesiva, fatiga o corrosión. Se aplicarán los coeficientes de mayoración y combinación de cargas además de la minoración de resistencia del material.

La sección 4 la norma DNVGL-ST-0378 establecen los siguientes casos de combinación de esfuerzos:

- Caso I: Servicio normal sin viento. Incluye los esfuerzos que necesariamente ocurren bajo condiciones normales de trabajo; las solicitaciones principales, las verticales y las horizontales. Mediante el uso de símbolos se puede definir como: $S_G + \psi \cdot S_L + S_H$
- Caso II: Servicio con viento límite. Igual que el anterior caso, pero añadiendo los esfuerzos debidos a la acción del viento. $S_G + \psi \cdot S_L + S_H + S_W$
- Caso III: Servicio sujeto a esfuerzos excepcionales. Cualquier condición de carga donde se incluyen una o más cargas excepcionales pertenece al Caso III. Las combinaciones pueden ser:
Caso IIIa: $S_G + S_L + S_T$; donde S_T son esfuerzos amortiguadores.
Caso IIIb: $S_G + S_M + S_{Wmax}$; donde S_M son las fuerzas de inercia debidas al movimiento del buque sobre el que está montada la grúa.

4.6 Estudio estructural.

4.6.1 Esfuerzos.

Se ha de realizar un estudio estructural para determinar las cargas y reacciones que intervienen en las barras y apoyos que constituyen la estructura del pescante en el plano X-Y. Dimensionando las barras, la estructura mantendría las siguientes características:

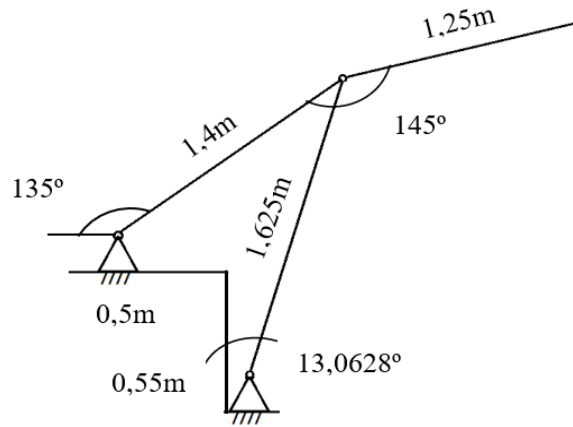


Figura 4-3 Configuración del pescante (elaboración propia).

Se ha considerado que la viga que se encuentra más a popa es biarticulada por lo que ésta solo va a trabajar a tracción o compresión. Al modelar la viga principal se puede suponer que el nudo de unión es un apoyo articulado móvil, a diferencia del otro apoyo que únicamente es articulado, con lo cual, haciendo el cálculo de hiperelasticidad de la barra, resulta ser una barra estática; lo que nos permite simplificar los cálculos.

Al hacer el estudio se consideran dos tramos, el primero se considera empotrado y el segundo se tienen en cuenta las reacciones ficticias calculadas colocándolas en sentido contrario.

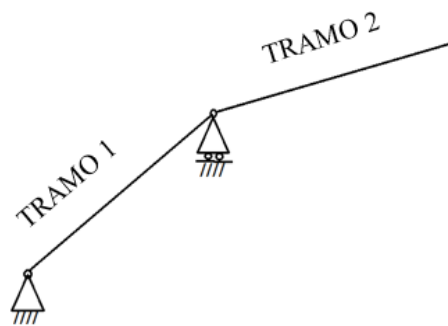


Figura 4-4 Tramos (elaboración propia).

La reacción R mostrada en la Figura 4-5, va a ser el esfuerzo de compresión o tracción que va a sufrir la barra que está más a popa.

Se obtiene, por lo tanto:

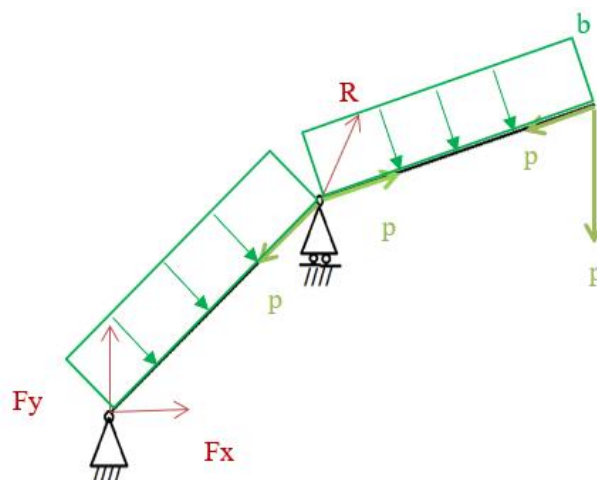


Figura 4-5 Simplificación de esfuerzos en el pescante (elaboración propia).

En verde las cargas y en rojo las reacciones.

Donde:

$p(\text{N})$ = peso de la carga.

$b(\text{N/m})$ = peso de la barra por metro.

Estudiando el 2º tramo primero, se obtiene:

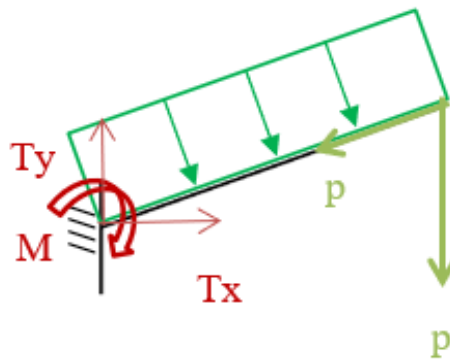


Figura 4-6 Tramo 2 (elaboración propia).

$$Tx = p \cdot \cos 10$$

$$Ty = P \cdot (1 + \sin 10) + 1,25 \cdot b$$

$$M_T = -(1,25 \cdot \cos 10 \cdot p + \frac{1,25^2 \cos 10}{2} \cdot b)$$

T_x , T_y y M son las reacciones del tramo 2 que son iguales y de sentido contrario en el tramo 1.

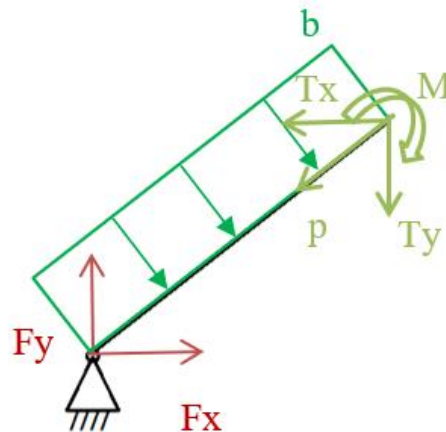


Figura 4-7 Tramo 1 (elaboración propia).

$$Fx = 0,031 \cdot p - 0,81 \cdot b$$

$$Fy = -1,21 \cdot p - 1,85 \cdot b$$

$$R = 2,99 \cdot p + 3,6 \cdot b$$

Se plantea el esquema con los resultados obtenidos:

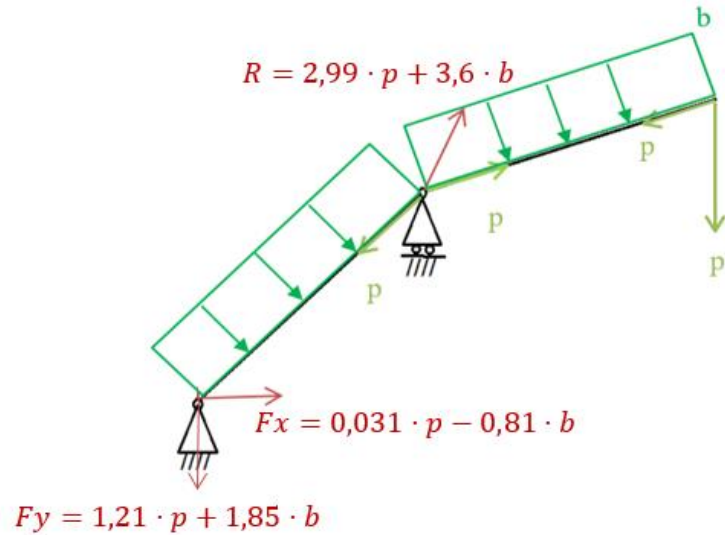


Figura 4-8 Simplificación de esfuerzos con las reacciones en los apoyos (elaboración propia).

Ahora, calculamos los esfuerzos a los que está sometida la barra.

Nuevo eje axial sistema de referencia sr, para hallar

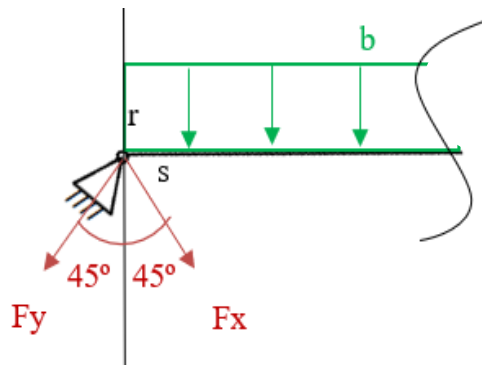


Figura 4-9 Esfuerzos barra 1 (elaboración propia).

$$F_x (s) = F_x \cdot \sin 45$$

$$F_x (r) = -F_x \cdot \sin 45$$

$$F_y (s) = -F_y \cdot \sin 45$$

$$F_y (r) = -F_y \cdot \sin 45$$

$$b (s) = -b \cdot \sin 45$$

$$b (r) = -b \cdot \sin 45$$

Se calculan los esfuerzos:

T (Compresión):

$$T (x) = F_x \cdot \sin 45 - F_y \cdot \sin 45 - b \cdot \sin 45 \cdot x ; x \in [0; 1,4]$$

$$T (x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (-1,179 \cdot p - 2,66 \cdot b - b \cdot x)$$

Q (Cortante):

$$Q (x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (-1,241 \cdot p - 1,04 \cdot b - b \cdot x)$$

M (Momento flector):

$$M(x) = \frac{-1}{\sqrt{2}} \cdot \left[(1,179 \cdot p + 2,66 \cdot b)x + \frac{b \cdot x^2}{2} \right]$$

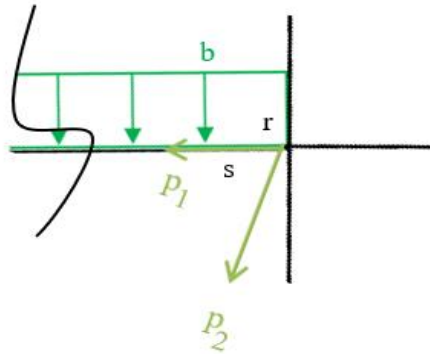


Figura 4-10 Esfuerzos barra 2 (elaboración propia).

$$p_2(s) = p_2 \cdot \sin 10$$

$$p_2(r) = -p_2 \cdot \cos 10$$

$$b(s) = b \cdot \sin 10$$

$$b(r) = -b \cdot \cos 10$$

$$p_1(s) = p_1$$

$$p_1(r) = 0$$

Se calculan los esfuerzos:

T (Compresión):

$$T(x) = p_1 + p_2 \cdot \sin 10 + b \cdot \sin 10 \cdot x ; x \in [1,4; 2,65]$$

$$T(x) = p + (p + b \cdot x) \cdot \sin 10$$

Q (Cortante):

$$Q(x) = p_2 \cdot \cos 10 + b \cdot \cos 10 \cdot x$$

$$Q(x) = \cos 10 (p_2 + b \cdot x)$$

M (Momento flector):

$$M(x) = p \cdot \cos 10 \cdot x + b \cdot \cos 10 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$M(x) = \cos 10 \left(p \cdot x + b \cdot \frac{x^2}{2} \right)$$

Resolviendo con el peso a elevar de la zodiac en un pescante ($p(N) = 190/2$), utilizando un coeficiente de mayoración de carga de 1,5 y añadiendo el coeficiente dinámico de la carga de 1,3 calculado en el apartado 4.3.2; y el peso de la viga principal utilizando un perfil RHS 80x40x4 con un factor de seguridad de 1,69.

$$p(N) = 1852,5 \text{ N.}$$

$$b(N/m) = 40 \text{ N.}$$

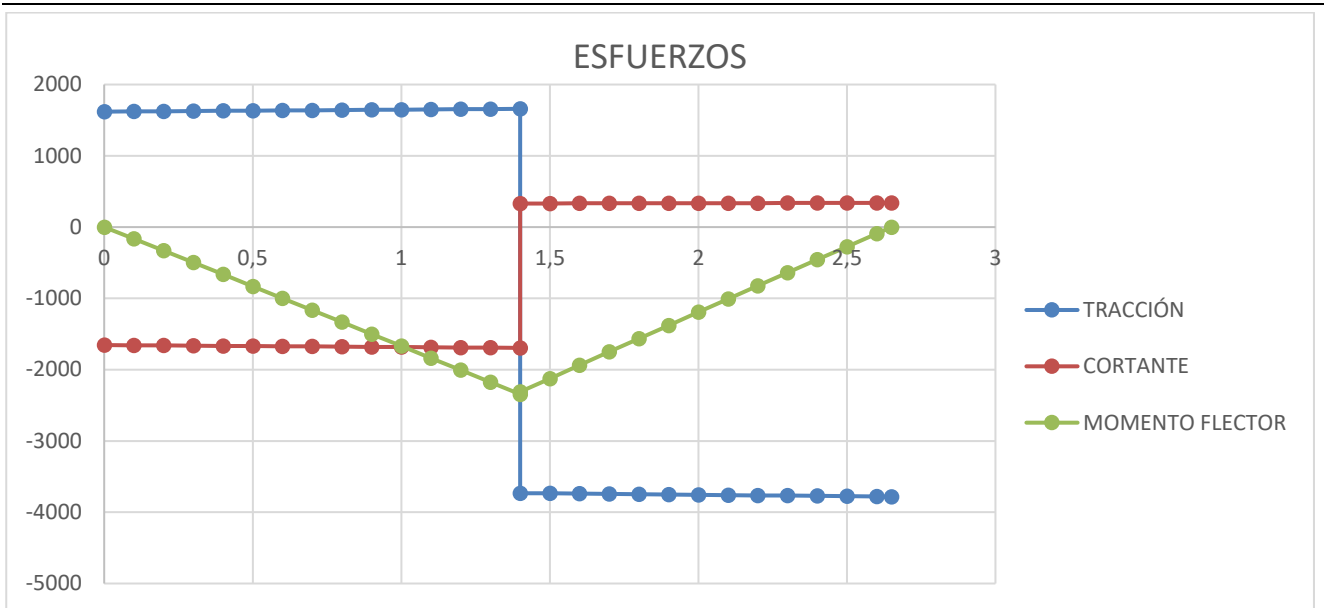


Tabla 4-8 Esfuerzos de la viga principal, perfil RHS 80x40x4 (elaboración propia).

Una vez calculados los esfuerzos que sufre la barra principal, se selecciona el material:

El material que se va a emplear en la construcción del pescante va a ser el S355 J2W. Se trata de un acero autopatinable o autoprotector, el cual ofrece una mejor resistencia a la corrosión gracias a la adición de cobre durante su fabricación.

La norma UNE-EN10027-1 establece las reglas para la designación simbólica de los aceros mediante símbolos numéricos y letras que expresan las características que tiene el material.

En este caso: S355 J2W; S es la letra que designada para el ‘acero’; 355 es el valor mínimo garantizado del límite elástico en MPa; y J2W son símbolos adicionales; ver la Tabla 4-9.

Símbolos adicionales para los aceros de construcción			
GRUPO 1			GRUPO 2
Características de flexión por choque en Julios (J)			Temperatura de ensayo
27J	40J	60J	°C
JR	KR	LR	20
J0	K0	L0	0
J2	K2	L2	-20
J3	K3	L3	-30
J4	K4	L4	-40
J5	K5	L5	-50
J6	K6	L6	-60
A= Endurecimiento por precipitación M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización Q= Templado y revenido G= Otras características			C= Conformado especial en frío D= Galvanización en caliente E= Esmaltado F= Forjado H= Perfil hueco L= Baja temperatura M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización P= Tablestacas Q= Templado y revenido S= Construcción naval T= Tubos W= Resistentes a la corrosión atmosférica
Nota: los símbolos A, M, N y Q se aplican a los aceros de grano fino			

Tabla 4-9 Símbolos adicionales para los aceros de construcción. [16]

Se comprueba que el perfil RHS 80x40x4 de viga seleccionada de acero S355 soporte las tensiones. El factor de seguridad introducido para la tensión admisible es 1,69; ver Tabla 4-7. Considerando que estamos en el caso I.

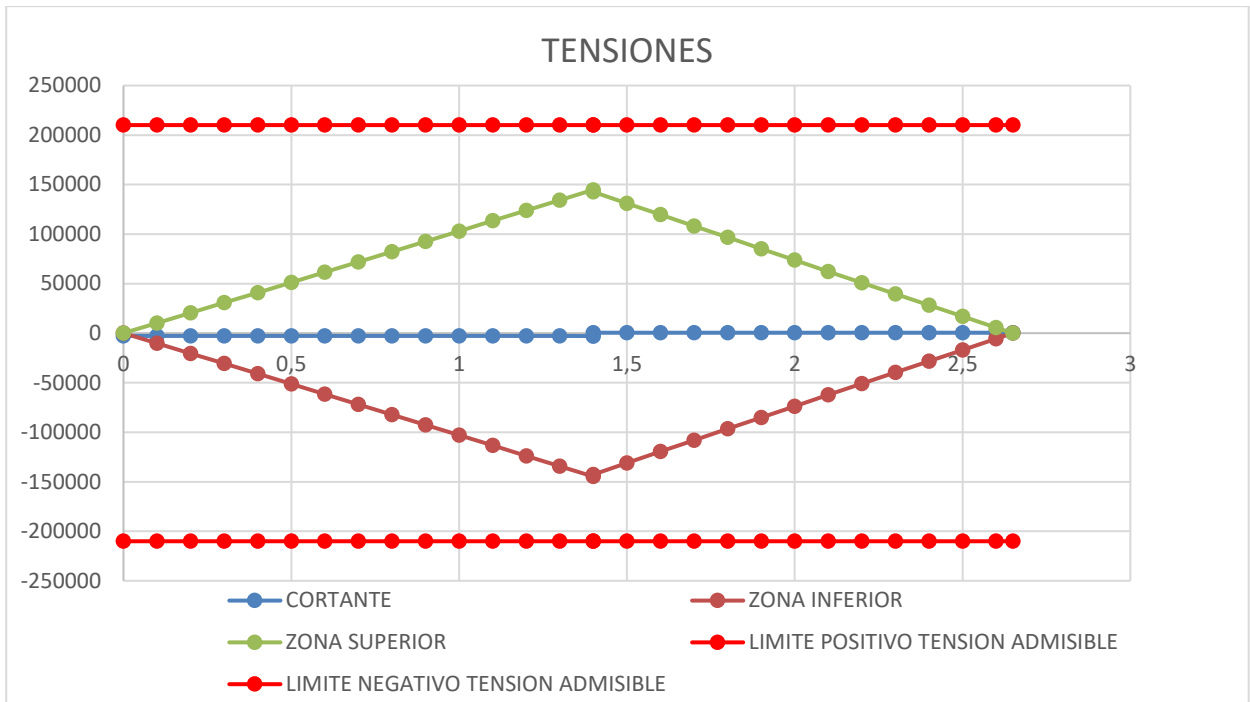


Tabla 4-10 Tensiones en la viga principal (elaboración propia).

Ahora se comprueba que la viga de apoyo resiste al pandeo.

Primero se comprueba que la tensión a la que está sometida dicha barra no es superior a la tensión admisible:

$$\sigma = \frac{F}{A} < \sigma_{adm}$$

Ecuación 4 Tensión de la barra.

Donde:

$\sigma_{adm} = 355$ Mpa (Acero S355 J2W)

$F = 5.683$ N (Reacción R)

$A = 5,35$ cm^2 (sección de la viga con el perfil SHS 40x4)

Resulta que: $\sigma = 10,62$ MPa $< \sigma_{adm}$

Ahora, se comprueba la carga crítica:

$$p_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{(k \cdot L)^2}$$

Ecuación 5 Carga Crítica.

Donde:

$E = 210.000$ MPa módulo de elasticidad del acero.

$I_{min} = 11,1$ cm^4

$k = 2$

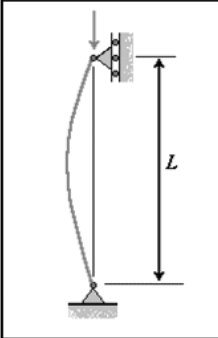
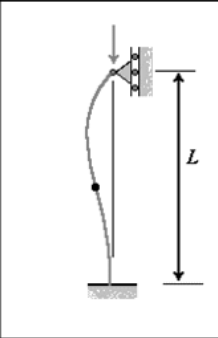
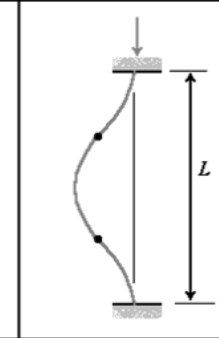
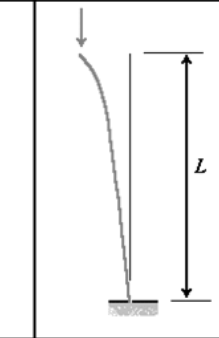
Columna articulada-articulada	Columna empotrada-articulada	Columna empotrada-empotrada	Columna empotrada-libre
			
$L_e = L$	$L_e = 0.699L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 2L$
$K = 1$	$K = 0.699$	$K = 0.5$	$K = 2$

Tabla 4-11 Coeficiente k para la longitud efectiva. [17]

Resolviendo la Ecuación 5:

$$p_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210.000 \cdot 10^6 \cdot 11,1 \cdot 10^{-8}}{(2 \cdot 1,625)^2} = 21.780,87 \text{ N.}$$

La carga crítica es aproximadamente 4 veces superior a la que la viga está sometida.

A continuación, se tienen en consideración las solicitaciones debidas a las acciones climáticas como se especificó en el apartado 4.3.5.

Empleando la Ecuación 2 y tomando como área considerada: $A = (1,4 + 1,625 + 1,25) \cdot 0,08 = 0,277 \text{ m}^2$; se concluye, que es una grúa de un barco en la mar fuera de servicio que es el peor de los casos, con un perfil metálico RHS 80x40x4 obtenemos un coeficiente de 1,8 y una presión $q = 32,4 \text{ kN/m}^2$. Por lo tanto, la fuerza debida al viento es de 16,15 N laterales en cada pescante los cuales se consideran despreciables.

Sin embargo, el esfuerzo provocado por el viento que incide sobre la embarcación lateralmente se puede aproximar a una superficie expuesta de $1,5 \text{ m}^2$. Lo que se traduce, aplicando nuevamente la Ecuación 2, en una fuerza de 87'5 N repartida entre los dos pescantes puntualmente en sus extremos.

Se ha de realizar un estudio estructural para determinar las cargas y reacciones que intervienen en la estructura del pescante en el plano Y-Z, teniendo en cuenta el viento como se ha descrito anteriormente. Se ha considerado dimensionar las barras de la siguiente forma reforzando la estructura, el diseño mantendría las siguientes características:

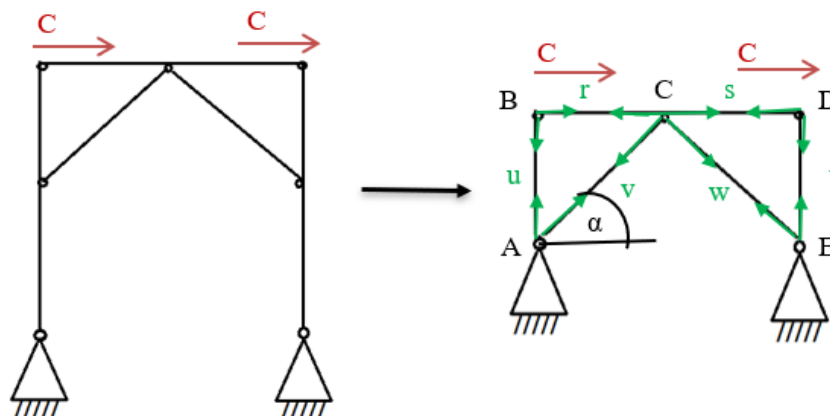


Figura 4-11 Simplificación de esfuerzos en el plano Y-Z (elaboración propia).

Se realiza el análisis nudo a nudo:

Nudo A:

$$\begin{aligned}\sum F_z &= 0; R_{z1} + R_v \cos \alpha = 0 \\ \sum F_y &= 0; R_{y1} + R_v \sin \alpha = R_u = 0\end{aligned}$$

Nudo B:

$$\begin{aligned}\sum F_z &= 0; C = R_r \\ \sum F_y &= 0; R_u = 0\end{aligned}$$

Nudo C:

$$\begin{aligned}\sum F_z &= 0; R_r = R_w \cos \alpha + R_v \cos \alpha + R_s \\ \sum F_y &= 0; R_w \sin \alpha = R_v \sin \alpha; R_w = R_v\end{aligned}$$

Nudo D:

$$\begin{aligned}\sum F_z &= 0; C + R_s = 0; R_s = -C \\ \sum F_y &= 0; R_t = 0\end{aligned}$$

Nudo E:

$$\begin{aligned}\sum F_z &= 0; R_{z2} + R_w \cos \alpha = 0 \\ \sum F_y &= 0; R_{y2} + R_t = R_w \sin \alpha = 0\end{aligned}$$

Quedaría el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned}R_{z1} &= -R_v \cos \alpha \\ R_{y1} &= -R_v \sin \alpha \\ R_r &= C \\ C &= R_w \cos \alpha + R_v \cos \alpha + R_s \\ R_w &= R_v \\ R_s &= -C \\ R_{x2} &= -R_w \cos \alpha \\ R_{y2} &= R_w \sin \alpha\end{aligned}$$

Resolviendo se obtiene que:

$$2C = 2R_w \cos \alpha; R_w = R_v = \frac{C}{\cos \alpha}$$

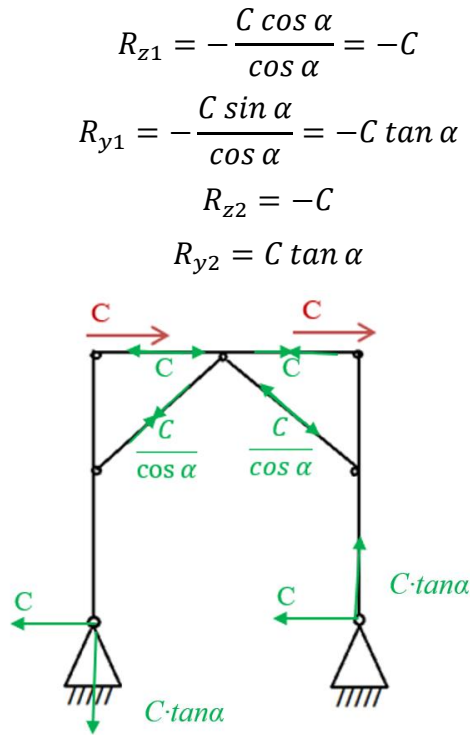


Figura 4-12 Croquis de los esfuerzos en el plano Y-Z (elaboración propia).

Donde:

$$C = 85,7/2 \text{ N.}$$

4.7 Uniones.

Los dos tipos de métodos de unión considerados son las soldadas y las atornilladas o roblonadas.

4.7.1 Uniones soldadas.

La soldadura es el método de unión más económico cuando las condiciones de montaje son favorables. Se trata de una unión rígida de metales creada por la fusión de un metal denominado de aportación (soldadura por aleación) o del propio metal a soldar (soldadura por fusión). Frente a las uniones roblonadas y atornilladas requiere menos preparación y ofrece unión estanca y con menor peso. Los tipos geometrías son:

- Soldadura a tope: realizada en la sección transversal de las chapas que están en contacto.
- Soldadura en ángulo: realizada en el perfil de la superficie de las chapas.

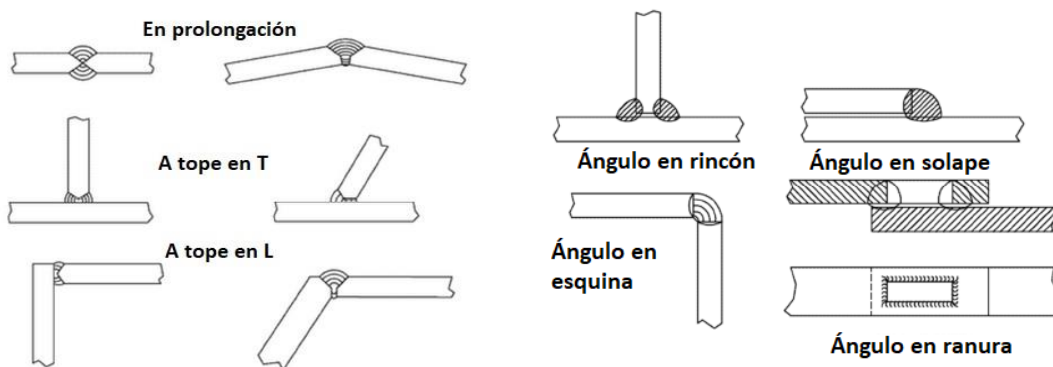


Figura 4-13 Uniones soldadas a tope (izquierda) en ángulo (derecha). [18]

Para el cálculo de uniones soldadas se considera como sección resistente la de garganta:

$$S = a \cdot l$$

Ecuación 6 Sección resistente. [18]

l = longitud eficaz

a = garganta

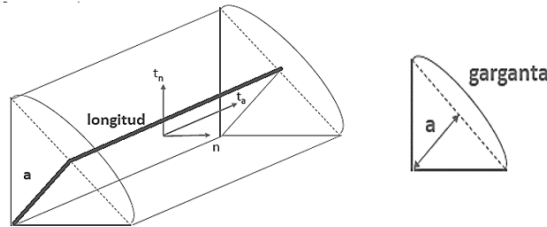


Figura 4-14 Unión soldada. [18]

Se emplearán uniones soldadas debido a la configuración de la estructura y por economía de medios para todos los elementos auxiliares que no van a ser desmontables. Entendiendo por elementos auxiliares las articulaciones que van en los extremos de las barras; los soportes para las poleas; y las uniones tanto de las barras de carga como las de apoyo.

4.7.2 Uniones atornilladas.

Las uniones atornilladas son el método de unión más utilizado cuando se trata del montaje de la estructura en la obra, debido a que las soldaduras necesitan realizarse en una atmósfera controlada y ensayos para garantizar la calidad de estas.

Las uniones atornilladas se clasifican, en función de la manera de trabajar de los tornillos, en cinco categorías, tres de ellas corresponden a uniones en las que los tornillos están solicitados en dirección normal a su eje: categorías A, B y C; y las otras dos, categorías D y E, a uniones en las que los tornillos están solicitados en dirección de su eje, a tracción. A su vez, se diferencian dos tipos de tornillos:

- Tornillos pretensados. Se suelen emplear en estructuras sometidas a cargas dinámicas, donde los tornillos son sometidos a esfuerzos axiales a tracción, y sometiendo a las chapas unidas a esfuerzos de compresión que originan una resistencia por rozamiento.
- Tornillos no pretensados. Se suelen emplear en estructuras sometidas a cargas estáticas donde los tornillos en este tipo de uniones trabajan a cortadura.

No se utilizarán tornillos de grado inferior a 4.6 o superior a 10.9 sin justificación experimental documentada de que son adecuados para la unión a la que se destinan.

El límite elástico mínimo f_{yb} y resistencia a tracción mínima f_{ub} de los tornillos:

Grado de tornillo	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb} (N/mm^2)$	240	300	480	640	900
$f_{ub}(N/mm^2)$	400	500	600	800	1000

Tabla 4-12 f_{yb} y f_{ub} de los tornillos (N/mm²). [19]

Para el cálculo de las uniones atornilladas, la EAE dispone los límites máximos y mínimos para las distancias de los agujeros y los bordes que se definen a continuación:

Distancias y separaciones	Mínimo obligatorio	Mínimo recomendado	Máximo normal	Máximo ambiente corrosivo
e1	1,2d ₀	2d ₀	125mm o 8t	40mm+t
e2	1,2d ₀	2,5d ₀	125mm o 8t	40mm+t
p1	2,2d ₀	3d ₀	Piezas comprimidas: 14t o 200mm Piezas traccionadas: 28t o 400mm	
p2	2,4d ₀	3d ₀	14t o 200mm	

Tabla 4-13 Disposiciones constructivas. [19]

Donde:

d₀ = Diámetro del agujero en mm.

d = Diámetro del tornillo en mm.

t = Espesor de la pieza más delgada a unir en mm.

Si las piezas están expuestas a un ambiente agresivo u otras influencias corrosivas, la separación de los agujeros del borde e1 y e2 serán: $1,2 \cdot d_0 \leq e \leq 40\text{mm} + 4 \cdot t$

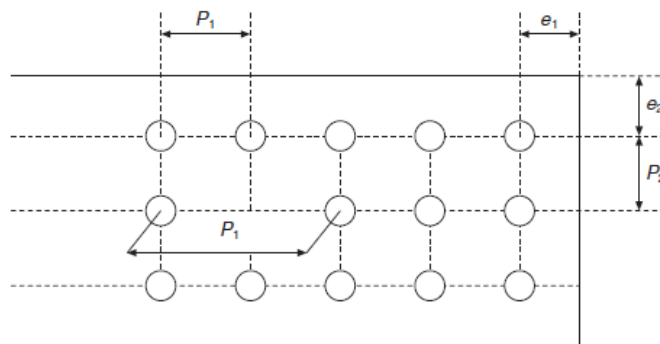


Figura 4-15 Nomenclatura de la disposición de los tornillos. [19]

Para el cálculo de la separación entre tornillos habrá que tener en cuenta que: La distancia p1 entre centro de tornillos en la dirección de la transmisión de la carga será al menos de 2,2·d0. Por lo tanto: p1 ≥ 2,2·d0.

Se ha decidido emplear pernos en los anclajes de las barras principales y de apoyo con la cubierta para dotar a la estructura de la posibilidad de ser desmontable. Mediante los apoyos articulados, en la cubierta no se producen momentos, y en las barras los esfuerzos son a tracción o compresión. Además, las uniones auxiliares también irán unidas entre sí por pasadores. Por ello, y con la finalidad de igualar la tornillería utilizada en cada elemento, se va a emplear métrica 10 de una calidad de 5.6. Esta, tiene una resistencia a tracción de 500 MPa. El punto crítico de la estructura donde sufre más este tipo de unión es en el codo donde se unen la barra principal con la de apoyo una fuerza de 5.583 N.

Sabiendo que:

$$s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} ; \tau_{adm} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} ;$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\tau_{adm}}}$$

Donde:

d = diámetro del tornillo en mm.

Q = esfuerzo máximo 5.583 N.

τ = resistencia a tracción 500 MPa.

Resulta que el diámetro necesario es de aproximadamente 5 mm. Por lo tanto, utilizando M10 se cumple con lo demandado por el diseño.

4.8 Motor.

Teniendo en cuenta el esquema eléctrico que poseen las lanchas de instrucción reflejado en la Figura 4-16 y teniendo en cuenta lo reseñado en el subapartado 4.1.3 donde se establecía la velocidad de elevación de la carga de 3m/min:

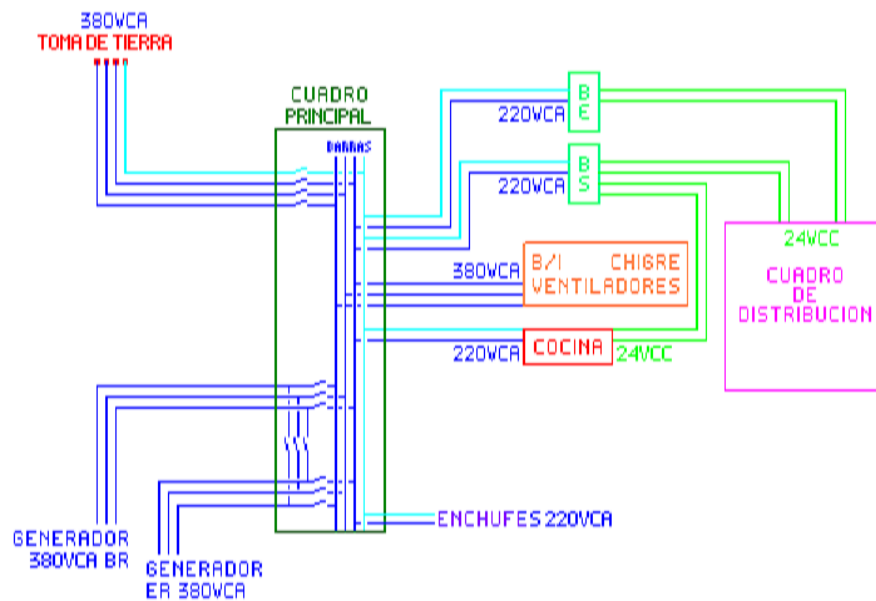


Figura 4-16 Esquema eléctrico de la lancha de instrucción. [8]

Se elige un motor de las siguientes características:

Motor eléctrico de corriente continua a 24 voltios con reductor. Incluye una placa de control con un potenciómetro para poder regular la velocidad de 0 a 63 rpm y un interruptor para hacer el cambio de giro y una potencia de 100W. El eje de salida del reductor es de 10 mm con polea dentada de 55 mm incluida.



Figura 4-17 Motor eléctrico. [20]

Por tanto, se puede determinar el radio necesario del tambor del carretel:

$$P = F \cdot \omega \cdot r$$

Ecuación 7 Potencia del motor

Se obtiene que:

$$Sf' = 0,75 \cdot 355 = 266,25 \text{ MPa.}$$

$$Se' = 0,5 \cdot 355 = 177,5 \text{ MPa.}$$

Teniendo en cuenta la tensión máxima a la que se ve sometida la estructura:

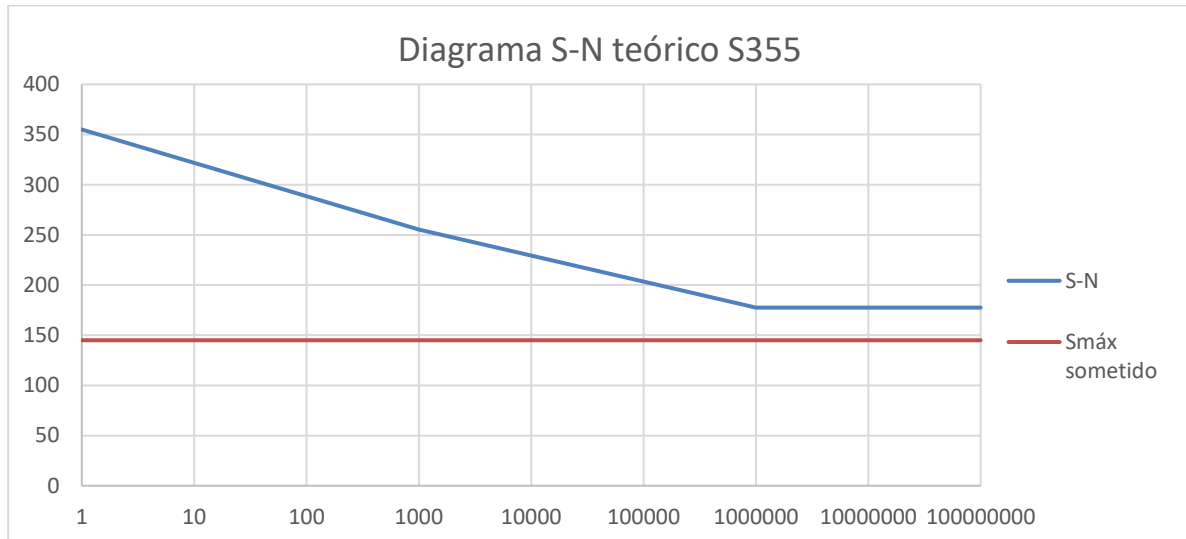


Tabla 4-15 Curva de fatiga de Whöler. Diagrama S-N Acero S355 (elaboración propia).

4.10 Otros elementos.

4.10.1 Cuerda.

Según las recomendaciones OIT para trabajos en buques, las cuerdas de suspensión deberían ser de fibra de abacá o sintética de buena calidad o alambre de acero y ofrecer un coeficiente mínimo de seguridad de 10 para las fibras y de 5 para el metal.

Al escoger las cuerdas de suspensión se deberían tener en cuenta los riesgos potenciales del trabajo; cuando se efectúen trabajos a altas temperaturas.

La cuerda de fibra debe soportar $158,2 \text{ kg} \times 10 = 1.582 \text{ kg}$.

Se elige la cuerda de fibra ISO 1140 A poliamida, es una cuerda cableada doble torsión, poliamida alta tenacidad y protección UV. La de grosor de 10mm tiene una resistencia a la rotura de 2000kg, tiene gran resistencia a la tracción y al rozamiento. Es ideal para elevaciones de cargas y náutica entre otros.

Se necesitarán 10 metros de cuerda por pescante.



Rollo

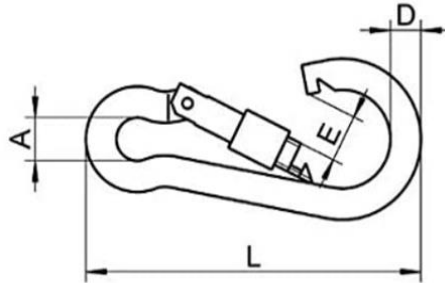
Grosor Thick	Metros Meters	Peso Weight	Resistencia Resistance	Código Producto Product code	Código EAN EAN Code
10 mm	100 m	7,50 kg	2000 kg	455014000944	8434035047969
12 mm	100 m	8,60 kg	3000 kg	455016000944	8434035047990
14 mm	100 m	11,00 kg	4000 kg	455017000944	8434035048041
16 mm	100 m	15,00 kg	5000 kg	455018000944	8434035048096

Tabla 4-16 Cuerda fibra ISO 1140 A PA2. [22]

4.10.2 Gancho.

El gancho ha de soportar la carga de trabajo, es por ello por lo que en concreto se ha elegido un mosquetón con una capacidad de carga de 200kg y con carga de rotura 1200kg como se observa en Tabla 4-17. Se necesitará un gancho por pescante.

Este mosquetón de acero inoxidable resistente a la corrosión tiene un peso de 256 g.



D	L	A	E	Nutzlast working load limit (WLL)	Bruchlast breaking strength (BS)
5mm	50mm	8mm	7mm	50 kg	300 kg
6mm	60mm	9mm	8mm	70 kg	500 kg
8mm	80mm	12mm	9mm	125 kg	750 kg
10mm	100mm	15mm	12mm	200 kg	1.200 kg
11mm	120mm	18mm	16mm	250 kg	1.650 kg

Tabla 4-17 Mosquetón acero inoxidable AISI 316. [23]

5 DISEÑO

En este capítulo se van a describir los diferentes elementos que conforman la estructura teniendo en cuenta lo estudiado con anterioridad.

5.1 Modelado 3D del pescante.

El pescante diseñado con el software Autodesk Inventor Professional ha seguido los cálculos estructurales realizados para el diseño. El pescante ha sido diseñado íntegramente siguiendo los parámetros y la normativa en vigor.

Las articulaciones se han diseñado para las barras de apoyo, las principales y las auxiliares:

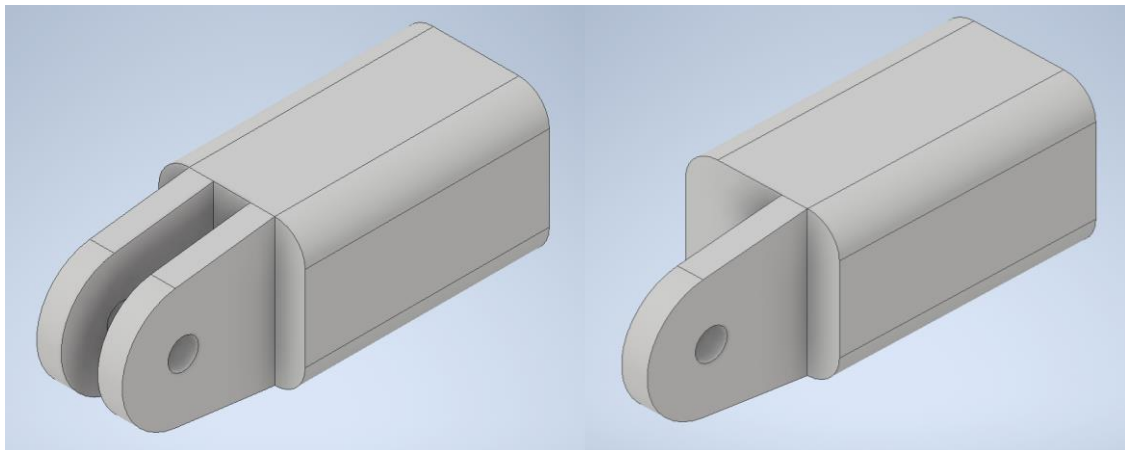


Figura 5-1 Articulación SHS40x4 (izquierda) y articulación triple SHS40x4 (derecha).

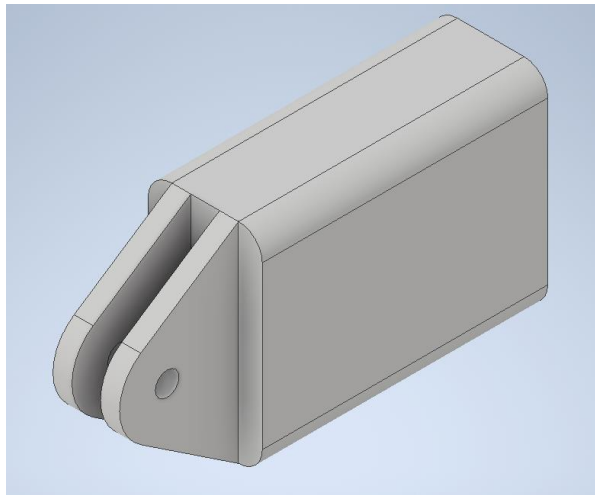


Figura 5-2 Articulación RHS80x40x4.

En cuanto a las uniones, se han diseñado tanto las referidas a las barras principales con la cubierta como las de apoyo con la cubierta. También, las uniones entre las barras auxiliares y las uniones entre la barra de apoyo y la principal:

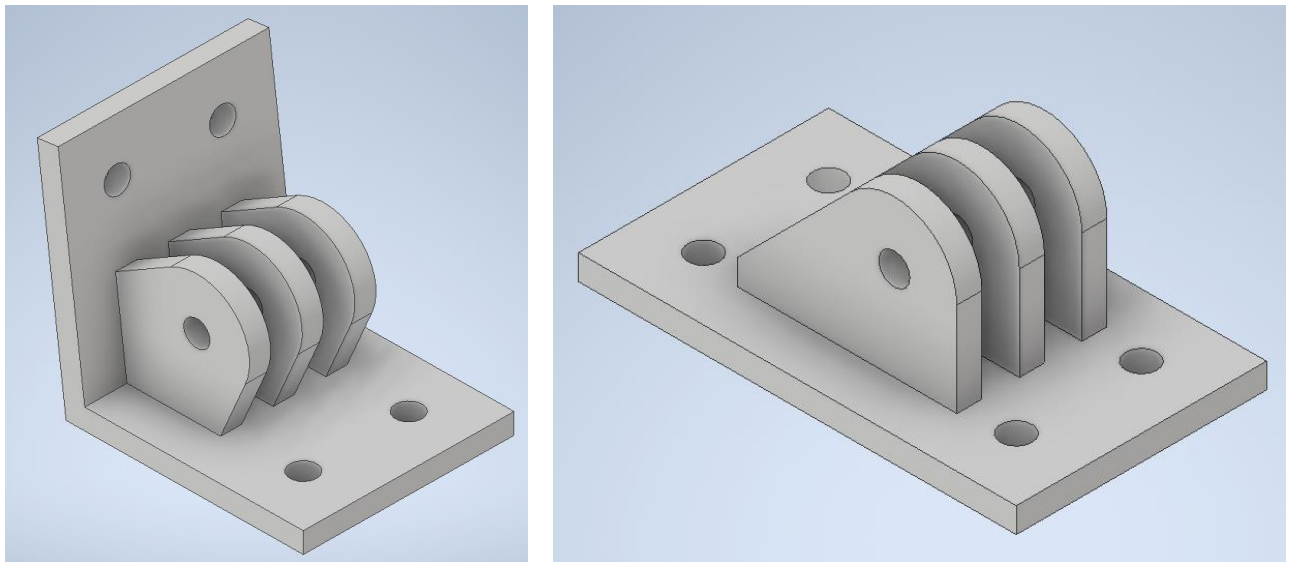


Figura 5-3 Uniones barra de apoyo (izquierda) y barra principal (derecha) con la cubierta.

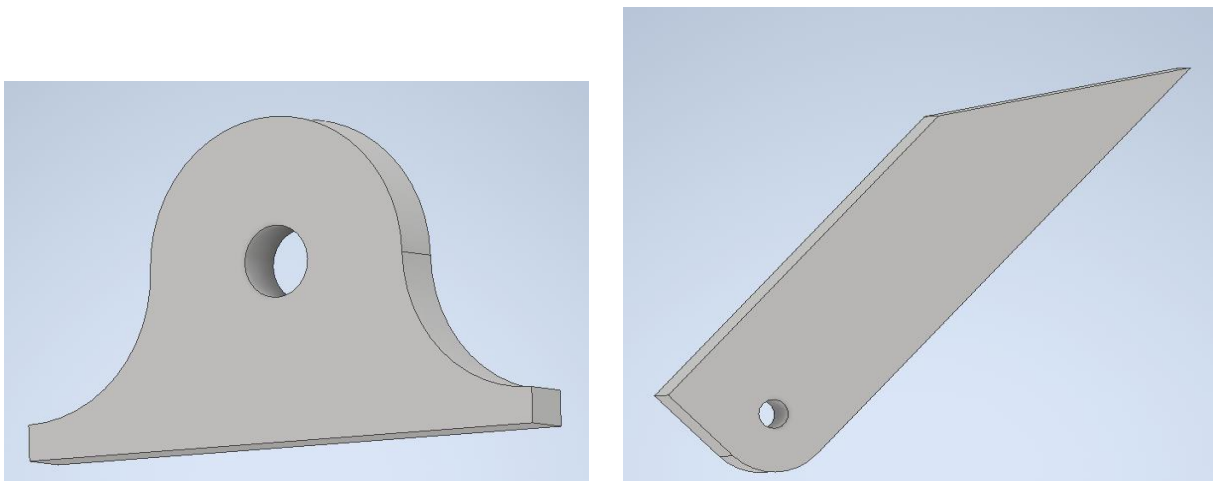


Figura 5-4 Uniones de las barras auxiliares (izquierda) y de la de apoyo (derecha).

El subconjunto de la Figura 5-5 se pueden apreciar los elementos anteriormente mencionados: la articulación, los soportes de la roldana, y la unión con la barra de apoyo. Todo ello unido mediante soldadura.

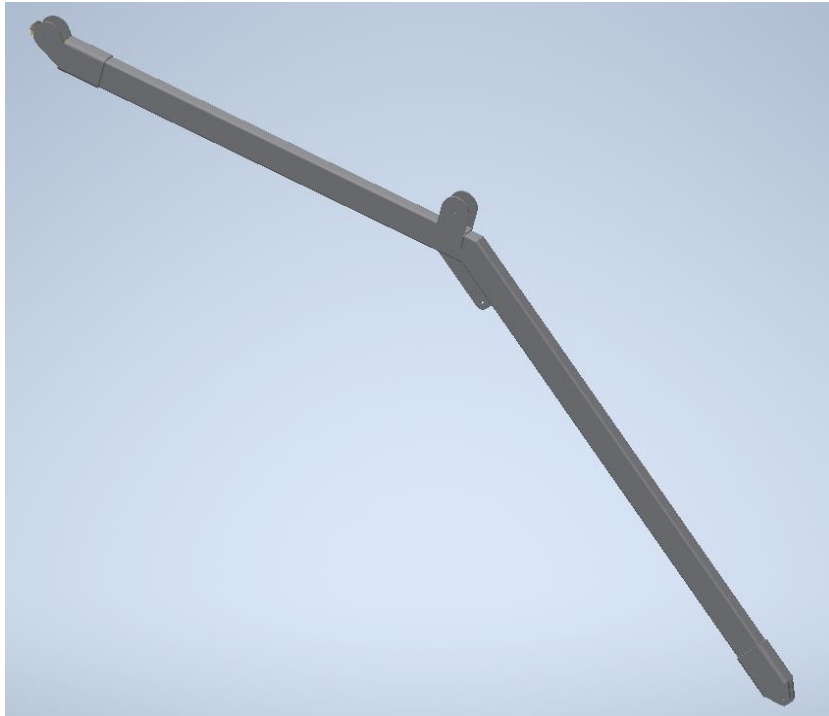


Figura 5-5 Subconjunto brazo principal.

En la Figura 5-6 y Figura 5-7, se muestran los subconjuntos de la barra de apoyo y la barra larguero respectivamente. Portan las mismas articulaciones, a excepción de que la barra larguero tiene soldado el elemento de auxiliar donde se unen las barras de carga.

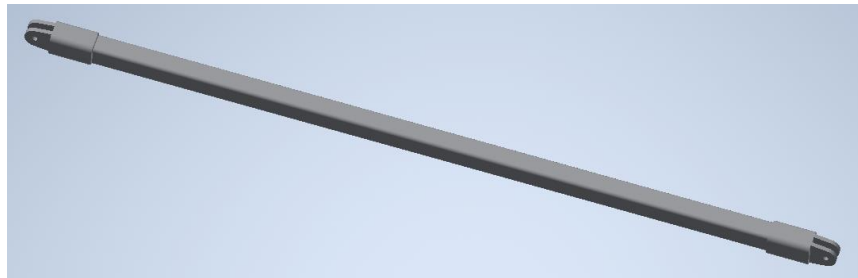


Figura 5-6 Subconjunto barra de apoyo y barra larguero.

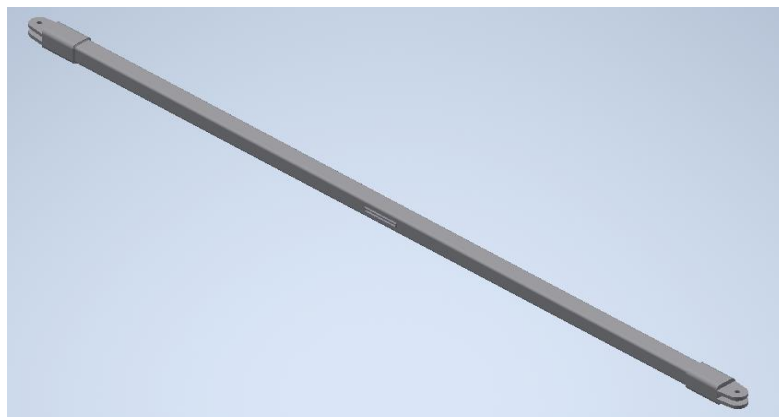


Figura 5-7 Subconjunto barra larguero.

En la Figura 5-8 donde se puede apreciar la particularidad de la barra de carga que reside en la articulación de la Figura 5-1 (derecha) ya que es triple.



Figura 5-8 Subconjunto barra de carga.

Los soportes para la roldana son los siguientes:

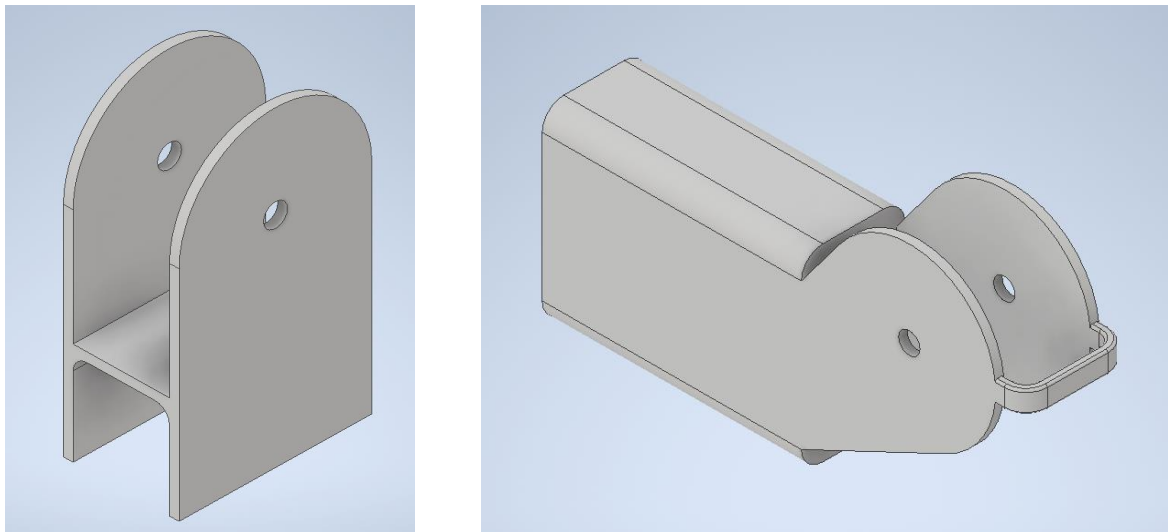


Figura 5-9 Soportes de la roldana: codo (izquierda) y extremo (derecha).

La roldana se ha diseñado particularmente en base a las necesidades de la configuración del pescante, es de teflón y tiene rodamiento de bolas con contacto angular.

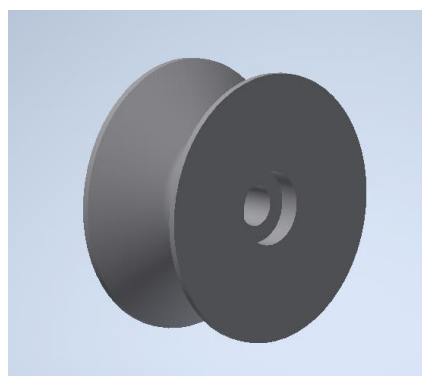


Figura 5-10 Roldana de rodamiento de bolas.

Finalmente, la estructura, donde la distancia entre ambos brazos se ha establecido en 1,9 metros:



Figura 5-11 Estructura del pescante.

Donde las uniones van con tornillería normalizada de M10: los pernos son ISO 4014 - M10 x 45 e ISO 4014 - M10 x 60 de cabeza hexagonal, estos últimos utilizados exclusivamente en los cuatro apoyos; las tuercas hexagonales estrechas achaflanadas ISO 4035 - M10, y las arandelas planas ISO 7089 – 10.

En la Figura 5-12, se muestran los detalles de unión de la barra de apoyo y la barra larguero con la principal y la roldana en el codo (izquierda). También se aprecia la roldana en el extremo de la barra principal colocada en su soporte (derecha).

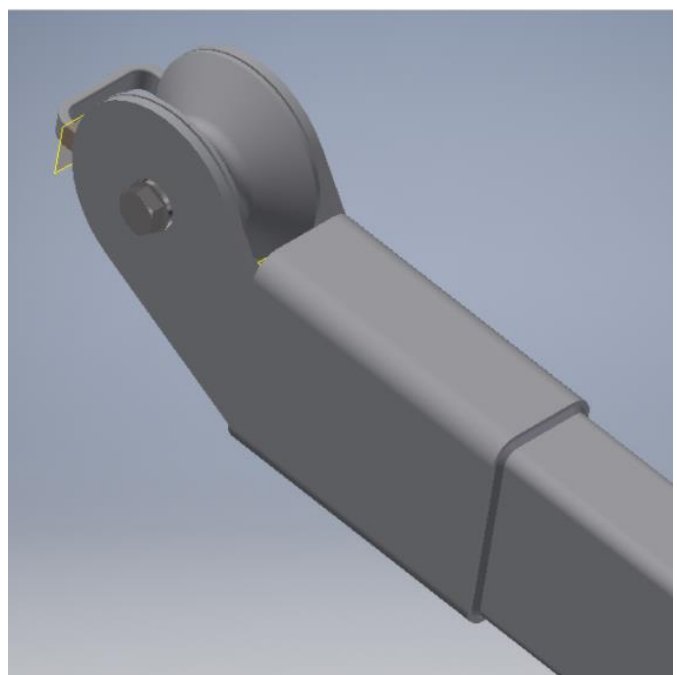


Figura 5-12 Detalles de unión del codo de la barra principal (izquierda) y su extremo (derecha).

Se pueden observar, en la Figura 5-13, los detalles de unión de las barras de carga con su correspondiente articulación triple con el larguero (izquierda) y la barra de apoyo con la cubierta (derecha).

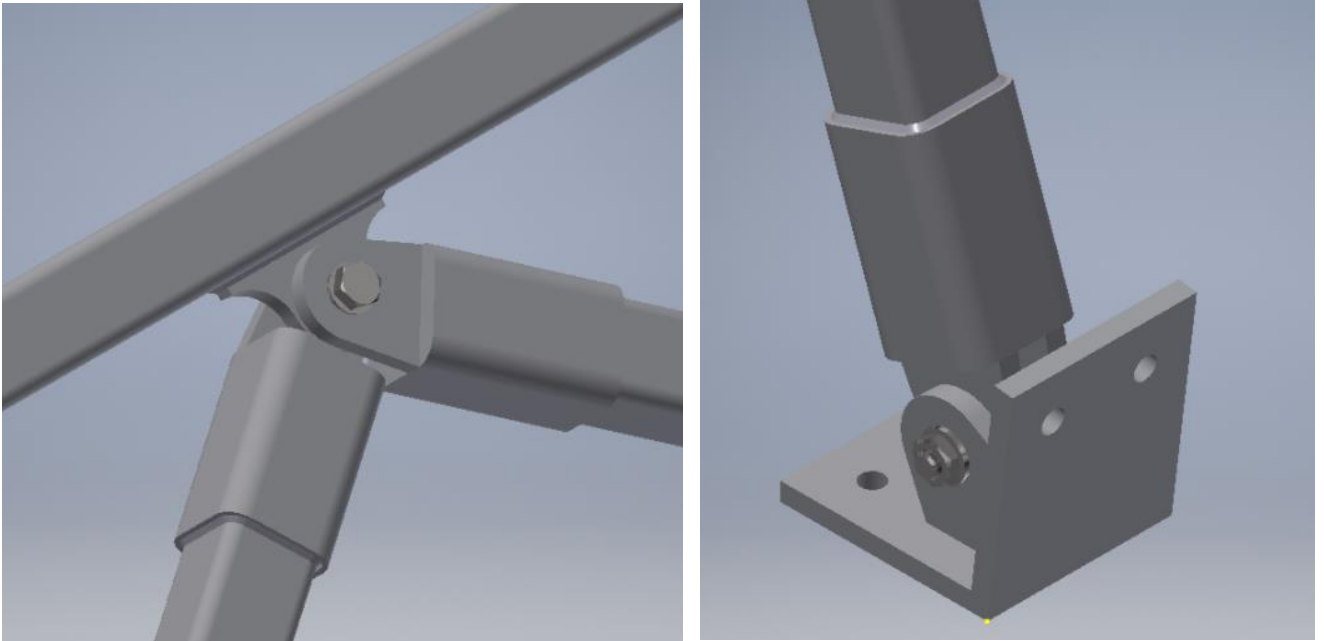


Figura 5-13 Detalles de unión del larguero (izquierda) y apoyo con la cubierta (derecha).

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 Conclusiones.

6.1.1 *Objetivos cumplidos.*

El proyecto se ha basado en los cálculos previos básicos y posterior diseño de un sistema de largado y recuperación de la Zodiac FC470 para las lanchas de instrucción de la ENM. Este debía cumplir con unos requisitos que se eligieron razonadamente y de los que se partió para comenzar:

- Permitir el arriado de la zodiac con el motor fueraborda ya incorporado
- Tener la capacidad de arriado en marcha. Esta característica se calificó como una deseable y se prescindió de ella razonadamente.
- Restringir en la menor medida posible la ocupación del espacio de la toldilla de la lancha para permitir el tránsito de la dotación y realización de otros ejercicios simultáneamente.
- Bajo coste; basado en una estimación inicial.

Para conseguir desarrollar el proyecto se marcaron una serie de objetivos intermedios que se han cumplido satisfactoriamente:

- Revisión bibliográfica en la materia: la cual ha permitido obtener un conocimiento adecuado del estado del arte, necesario para abordar el diseño.
- Análisis de propuestas y elección de tipología de diseño: se han planteado diferentes tipos de sistema de elevación, considerando su ventajas e inconvenientes desde el punto de vista funcional y económico. Con ayuda de una matriz de decisión, se ha elegido el camino a seguir para enfocar el diseño.
- Cálculo y dimensionamiento: a partir del diseño básico seleccionado y con las medidas adaptadas a las embarcaciones, se procedió al cálculo según la normativa de aplicación.
- Modelado 3D y generación de planos: con las dimensiones resultantes del apartado anterior, se procedió al modelado tridimensional de los distintos elementos. El modelo 3D podrá servir para, en una fase posterior y fuera de ámbito de este TFG, realizar simulación FEM estructural, además de permitir la generación de planos de la grúa.

Con la realización de estas tareas se completa satisfactoriamente el diseño básico de un sistema de elevación para las Zodiac 470 en las Lanchas de Instrucción Rodman66.

6.1.2 *Conclusión personal.*

El presente trabajo abarca gran parte de los contenidos esenciales estudiados en las asignaturas del grado en Ingeniería Industrial Mecánica con intensificación en tecnología naval.

Para estudiar si los materiales del diseño cumplen con las restricciones y cargas a las que es sometido se emplea Resistencia de Materiales. Diseño de máquinas y teoría de máquinas y mecanismos para seleccionar el motor y carretel necesarios para la elevación de la carga. Teoría de Estructuras y Construcciones Industriales, a la hora del estudio previo de los esfuerzos y solicitaciones de la estructura. Expresión gráfica, para la correcta rotulación de los planos, su la normalización y acotación de las diferentes piezas. Ingeniería gráfica, en lo que atañe al desarrollo del modelado CAE/CAD 3D en el software de Autodesk Inventor Professional y a la interpretación de los planos de la Lancha de Instrucción con programa CAD 2D como Autodesk AutoCAD. Oficina técnica, para el desarrollo del proyecto.

En definitiva, son un gran número de asignaturas las que intervienen en la exposición del presente trabajo poniendo de manifiesto multitud de campos relacionados con el diseño mecánico en el ámbito naval, el cual cobra gran importancia en el grado estudiado.

6.2 Líneas futuras.

Tras la realización del presente trabajo y la enumeración de sus conclusiones, se plantean las siguientes líneas futuras consideradas de interés:

- Empleo del método de elementos finitos para análisis de resultados, conocer en detalle el comportamiento de cada elemento y, si es el caso, rediseñar el pescante para optimizarlo y proporcionar una mejor resistencia y solidez.
- Estudio de la posibilidad y viabilidad de sustituir el accionamiento eléctrico por uno hidráulico.
- Análisis aerodinámico del efecto de implantar la grúa sobre la dinámica de la embarcación.
- Diseño y cálculo detallado del acoplamiento de la grúa a la cubierta de la embarcación.
- Desarrollo de un modelo a escala para realizar pruebas y contrastar los resultados obtenidos

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «FERRI naval,» [En línea]. Available: <https://ferri-sa.es/es/naval-2/>. [Último acceso: 01 02 2022].
- [2] C. M.V, «Integración CAD/CAE/CAM-PR en la optimización del diseño,» *Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 26 No. 3. 2005*, vol. 26, nº 3, p. 11, 2005.
- [3] «Autodesk University,» [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/>. [Último acceso: 01 02 2022].
- [4] «Autodesk Inventor: qué es y sus ventajas,» 13 07 2021. [En línea]. Available: <https://www.nke360.es/autodesk-inventor-que-es-y-ventajas/>. [Último acceso: 01 02 2022].
- [5] «Normalización, Ministerio de Defensa,» [En línea]. Available: <https://www.defensa.gob.es/portalservicios/servicios/industriadefensa/normalizacion/>. [Último acceso: 03 02 2022].
- [6] «DNV,» [En línea]. Available: <https://www.dnv.es/about/index.html#>. [Último acceso: 05 02 2022].
- [7] R. P. S.A.U., «Web de la ficha técnica del modelo rodman 66,» 2020. [En línea]. Available: <https://rodman.es/producto/nautica-profesional/patrulleras/rodman-66/>. [Último acceso: 2022 01 25].
- [8] Manual de las lanchas de instrucción A-121, 2008.
- [9] «Planos de la embarcación Rodman66,» [En línea]. Available: <https://rodman.es/producto/nautica-profesional/patrulleras/rodman-66/>. [Último acceso: 25 01 2022].
- [10] «Zodiac milpro military inflatable boats,» [En línea]. Available: <https://zodiacmilpro.com/military-inflatable-boats/#data>. [Último acceso: 27 01 2022].
- [11] H.-P. Company, «Zodiac Milpro,» 22 08 2018. [En línea]. Available: <https://www.tecmar.com.co/index.php/producto/zodiac-milpro-combat-tested-470/>. [Último acceso: 2022 01 27].
- [12] Manual de procedimientos de maniobra y navegación de las lanchas de instrucción.

- [13] «Bureau Veritas, rules for classification of naval ships.,» 07 10 2020. [En línea]. Available: https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/483-NR_PartB_October-2020.pdf. [Último acceso: 10 02 20].
- [14] D. G. AS, «Standard rules for DNV GL AS,» 27 09 2019. [En línea]. Available: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/ST/2019-09/DNVGL-ST-0378.pdf>. [Último acceso: 20 02 22].
- [15] D. G. AS, «Rules for classification,» 09 01 2017. [En línea]. Available: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/ru-ship/2017-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4.pdf>. [Último acceso: 08 03 2022].
- [16] Construmatica, «Designación simbólica de los aceros.,» 28 11 2008. [En línea]. Available: https://www.construmatica.com/construpedia/Designaci%C3%B3n_Simb%C3%B3lica_de_los_Aceros. [Último acceso: 10 02 2022].
- [17] «Web del profesor, factor de longitud efectiva,» [En línea]. Available: <http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/american/05-elementosSolicitadosACompresion/5-4.html>. [Último acceso: 25 02 2022].
- [18] Centro Universitario de la Defensa, *Resistencia de Materiales*, Pontevedra, 2012.
- [19] M. d. F. "S.G.T. Centro de Publicaciones, «EAE Instrucción de Acero Estructural,» 03 12 2011. [En línea]. Available: https://www.mitma.es/recursos_mfom/1903100.pdf. [Último acceso: 08 03 2022].
- [20] «Zuendo motores,» [En línea]. Available: https://www.zuendo.com/minimotors-1224-v-dc/5399-motorreductor-de-corriente-continua-24v-rpm-50100-w-63-rpm-regulables.html#/887-potencia_en_kw-100_w. [Último acceso: 05 03 2022].
- [21] Centro Universitario de la Defensa, *Falla por carga cíclica*, Pontevedra, 2021.
- [22] «Rombull ropes,» 09 01 2019. [En línea]. Available: http://rombull.es/minicatalogos/ROMBULL_CAT19_CORDELERIA-ROPES.pdf. [Último acceso: 28 02 2022].
- [23] «AMAZON,» [En línea]. [Último acceso: 07 03 2022].
- [24] «Embarcaciones y productos Zodiac Milpro,» [En línea]. Available: <https://zodiacmilpro.com/military-inflatable-boats#tab-3b97f962742a1ecc9b1>. [Último acceso: 26 01 2022].
- [25] «Productos Rodman,» [En línea]. Available: <https://rodman.es/producto/nautica-profesional/patrulleras/rodman-66/>. [Último acceso: 26 01 2022].
- [26] «Motores yamaha,» [En línea]. Available: <https://www.yamahamotor.eu/es/es/products/marine-engines/mid-range/f40f/techspecs/>. [Último acceso: 28 01 2022].
- [27] J. S. S. S. Sandra Alemany Mut, «Aplicación de las herramientas de simulación mediante elementos finitos (MEF) al desarrollo de nuevos pavimentos deportivos,» *Revista de Biomecánica*, n° 31, p. 3, 2001.

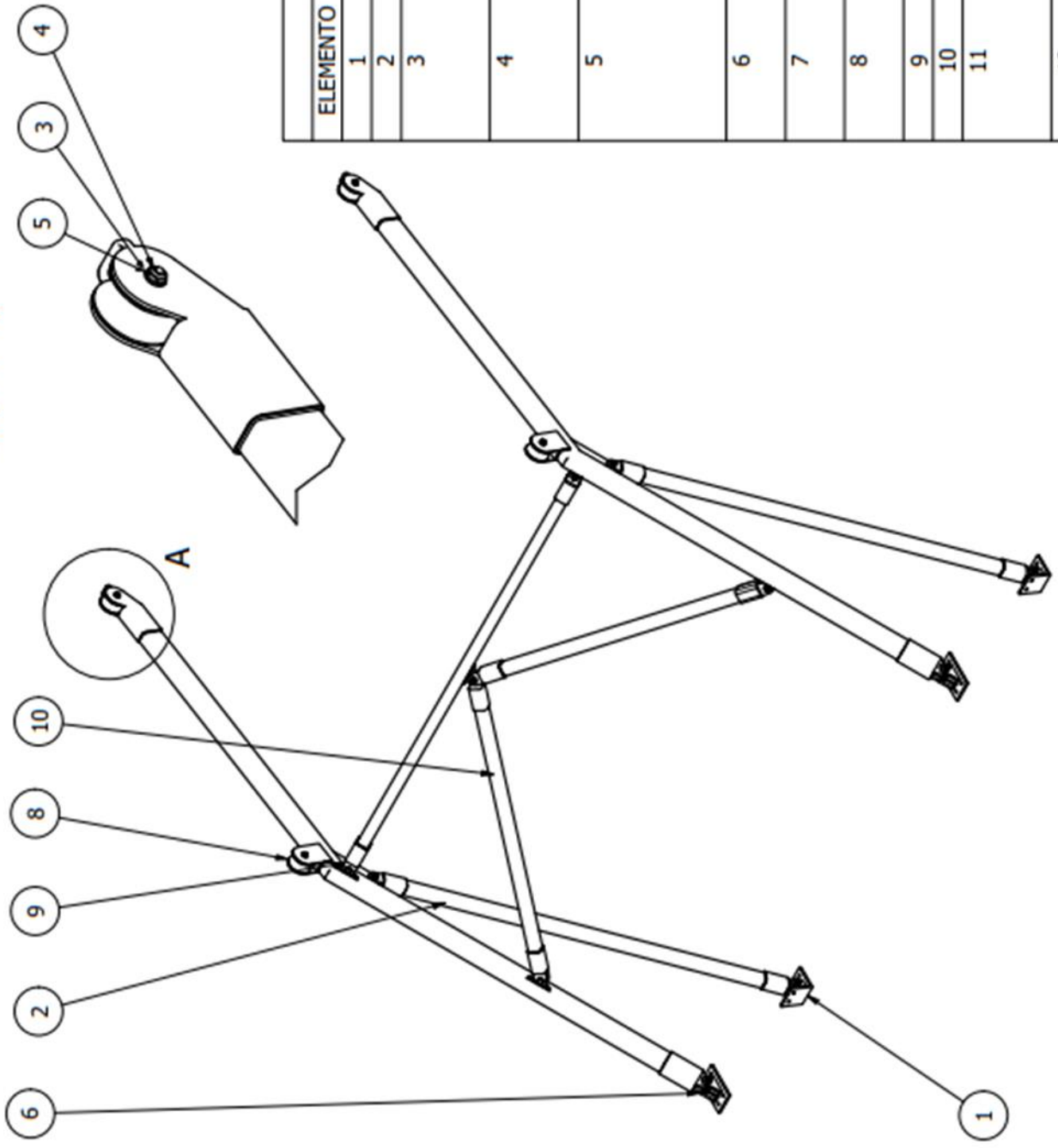
- [28] A. Mittal, «Arcorox aceros,» [En línea]. Available: <https://constructalia.arcelormittal.com/es/calidades-de-acero/arcorox>. [Último acceso: 10 02 2022].

ANEXO I: PLANOS DEL PESCANTE

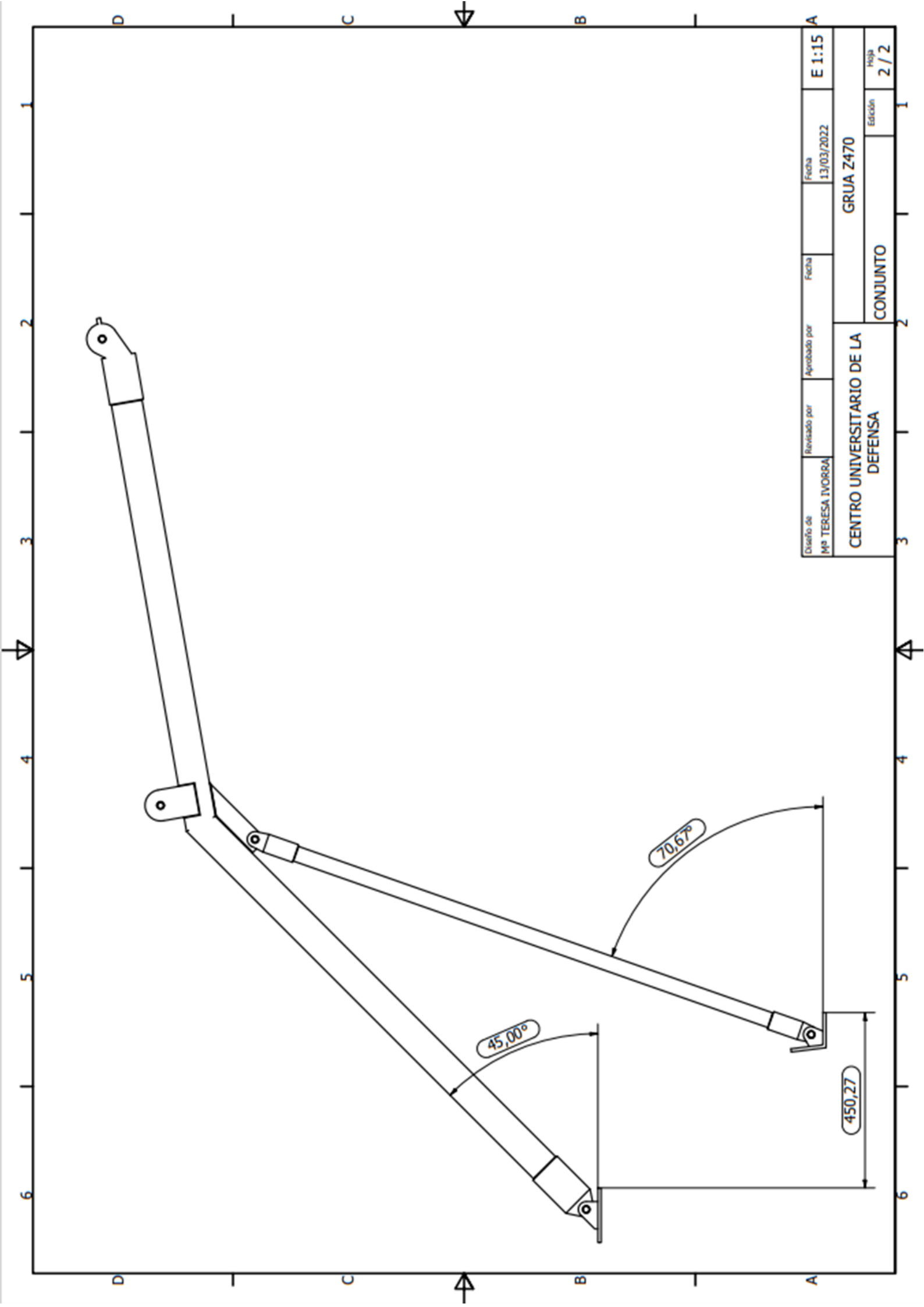
En este anexo se adjuntan los planos de las piezas y los planos de conjunto. Las tres articulaciones, las cuatro uniones, la roldana y sus soportes, los subconjuntos de los brazos y el conjunto completo de vista general con la relación de piezas que lo componen.

Se ha de destacar, que los planos corresponden a unas dimensiones de papel DIN A3.

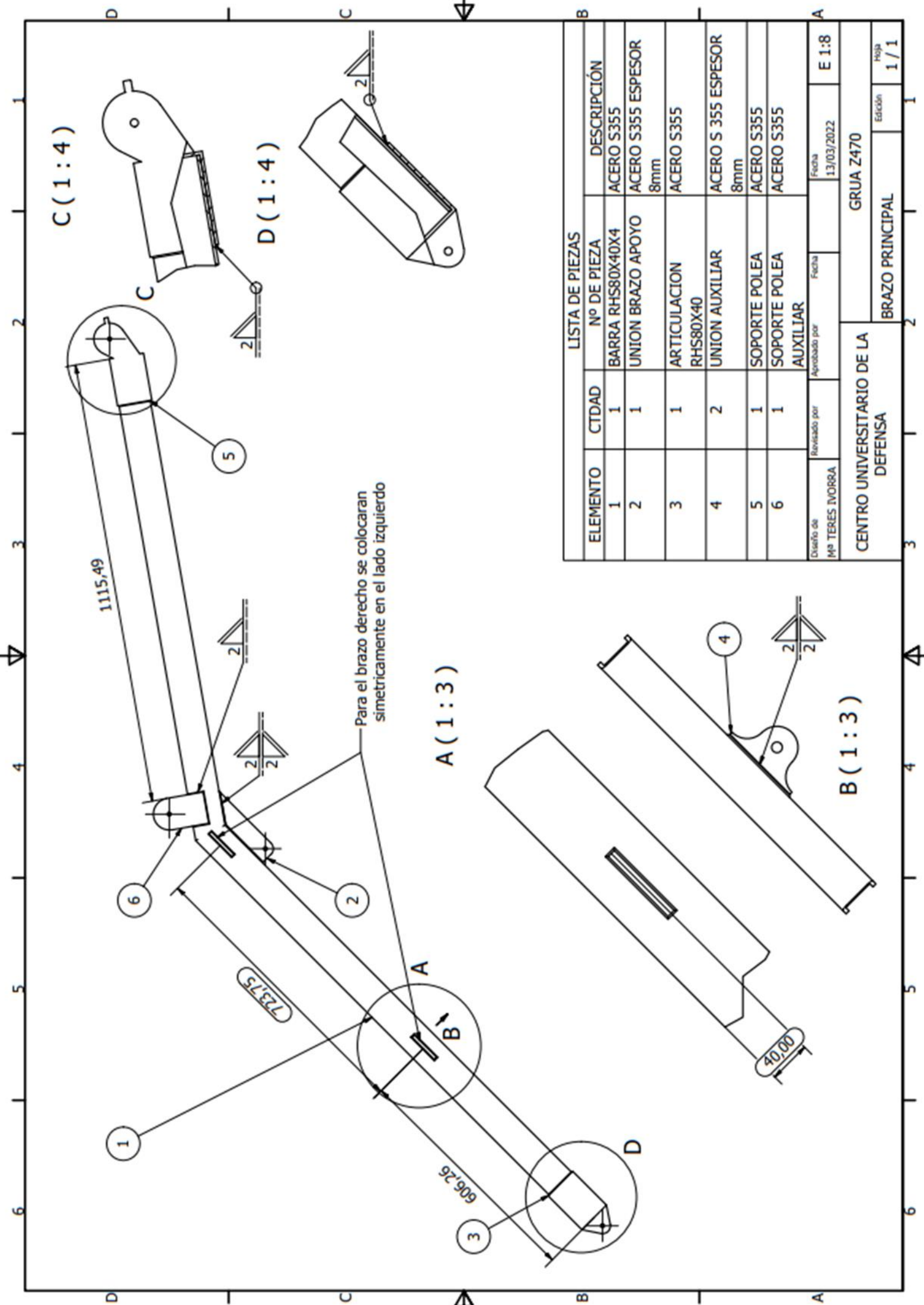
A (1:4)



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	BRAZO APOYO-BUQUE	ACERO S355
2	2	BRAZO DE APOYO	ACERO S355
3	30	ISO 7089 - 10	Arandelas planas - Serie normal - Productos de clase A
4	8	ISO 4014 - M10 x 60	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
5	15	ISO 4035 - M10	Tuercas hexagonales estrechas (achafianadas) - Productos de clases A y B
6	2	BRAZO PRINCIPAL-BUQUE	
7	1	BRAZO PRINCIPAL DERECHO	
8	1	BRAZO PRINCIPAL IZQUIERDO	
9	1	LARGUERO	
10	2	BARRA CARGA	
11	7	ISO 4014 - M10 x 45	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
12	4	ROLDANA	
Diseño de M ^a TERESA IVORRA		Revisado por	Aprobado por
		Fecha	Fecha
			13/03/2022
			E 1:15
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA		GRUA Z470	
		CONJUNTO	Edición
			1 / 2



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	E 1:15
M ^a TERESA IVORRA			13/03/2022	
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			GRUA Z470	Hoja
			CONJUNTO	2 / 2



C (1:4)

D (1:4)

A (1:3)

B (1:3)

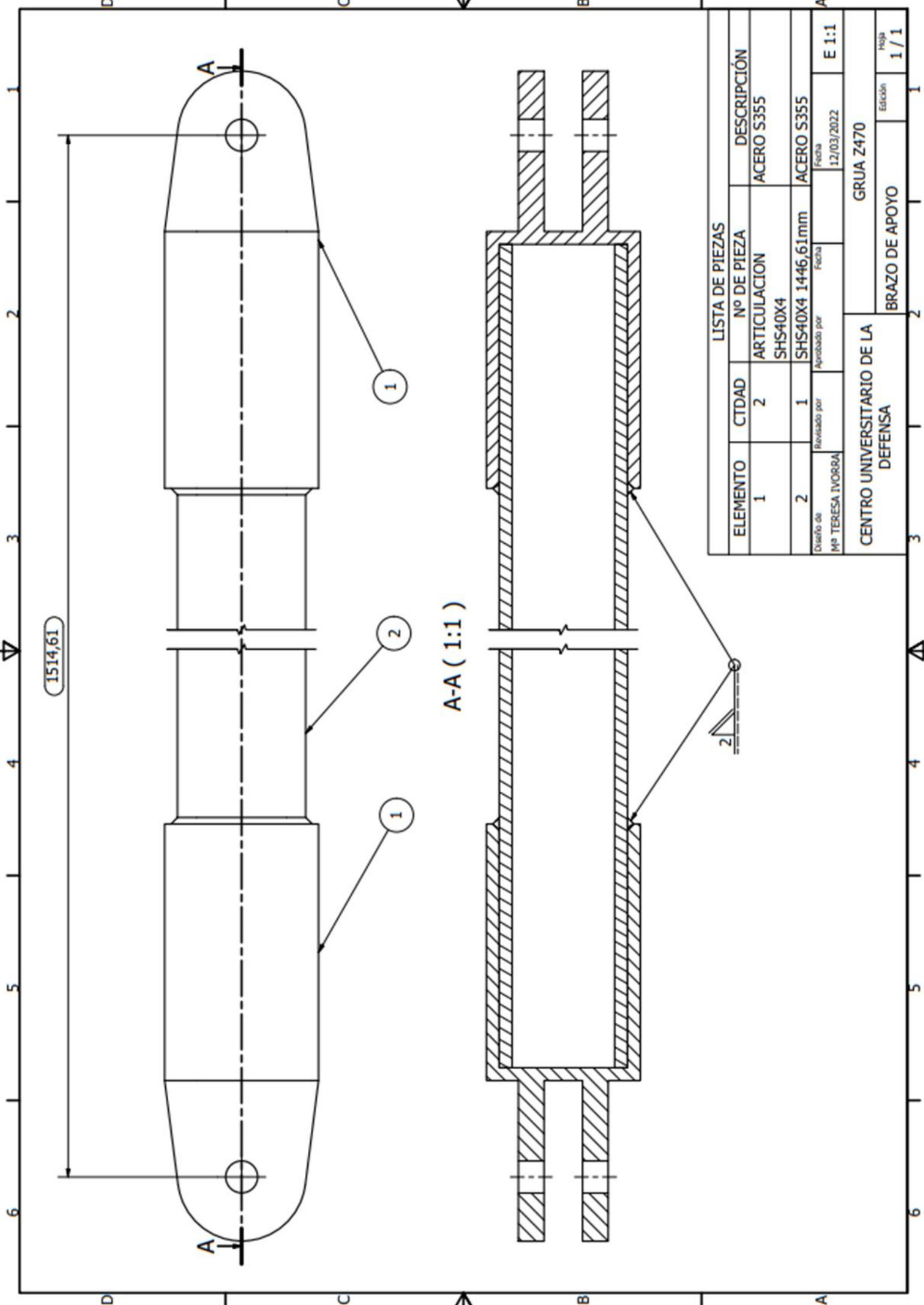
Para el brazo derecho se colocaran simetricamente en el lado izquierdo

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	BARRA RHS80X40X4	ACERO S355
2	1	UNION BRAZO APOYO	ACERO S355 ESPESOR 8mm
3	1	ARTICULACION RHS80X40	ACERO S355
4	2	UNION AUXILIAR	ACERO S 355 ESPESOR 8mm
5	1	SOPORTE POLEA	ACERO S355
6	1	SOPORTE POLEA AUXILIAR	ACERO S355

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Edición
Mª TERES IVORRA			13/03/2022	1 / 1

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA		GRUA Z470	
BRAZO PRINCIPAL		Hoja 1 / 1	

E 1:8



1514,61

A-A (1:1)

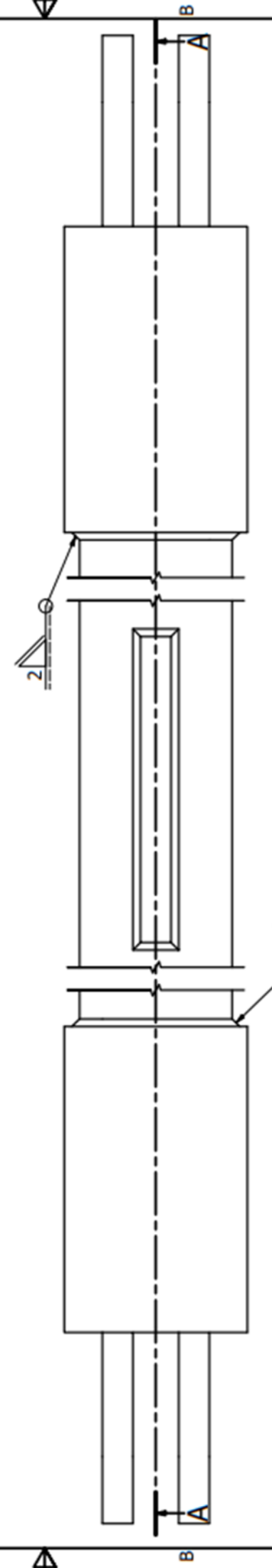
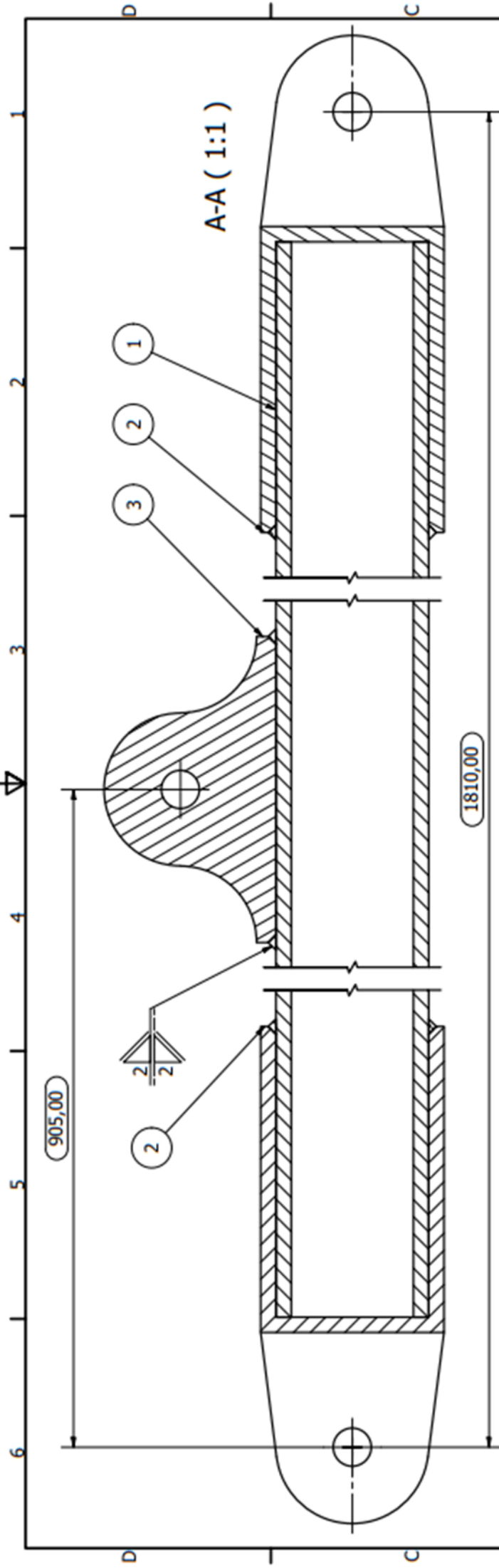
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	ARTICULACION SHS40X4	ACERO S355
2	1	SHS40X4 1446,61mm	ACERO S355
Diseño de M ^o TERESA IVORRA		Aprobado por	Fecha
			12/03/2022
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			GRUA Z470
BRAZO DE APOYO			Edición 1 / 1

E 1:1

GRUA Z470

BRAZO DE APOYO

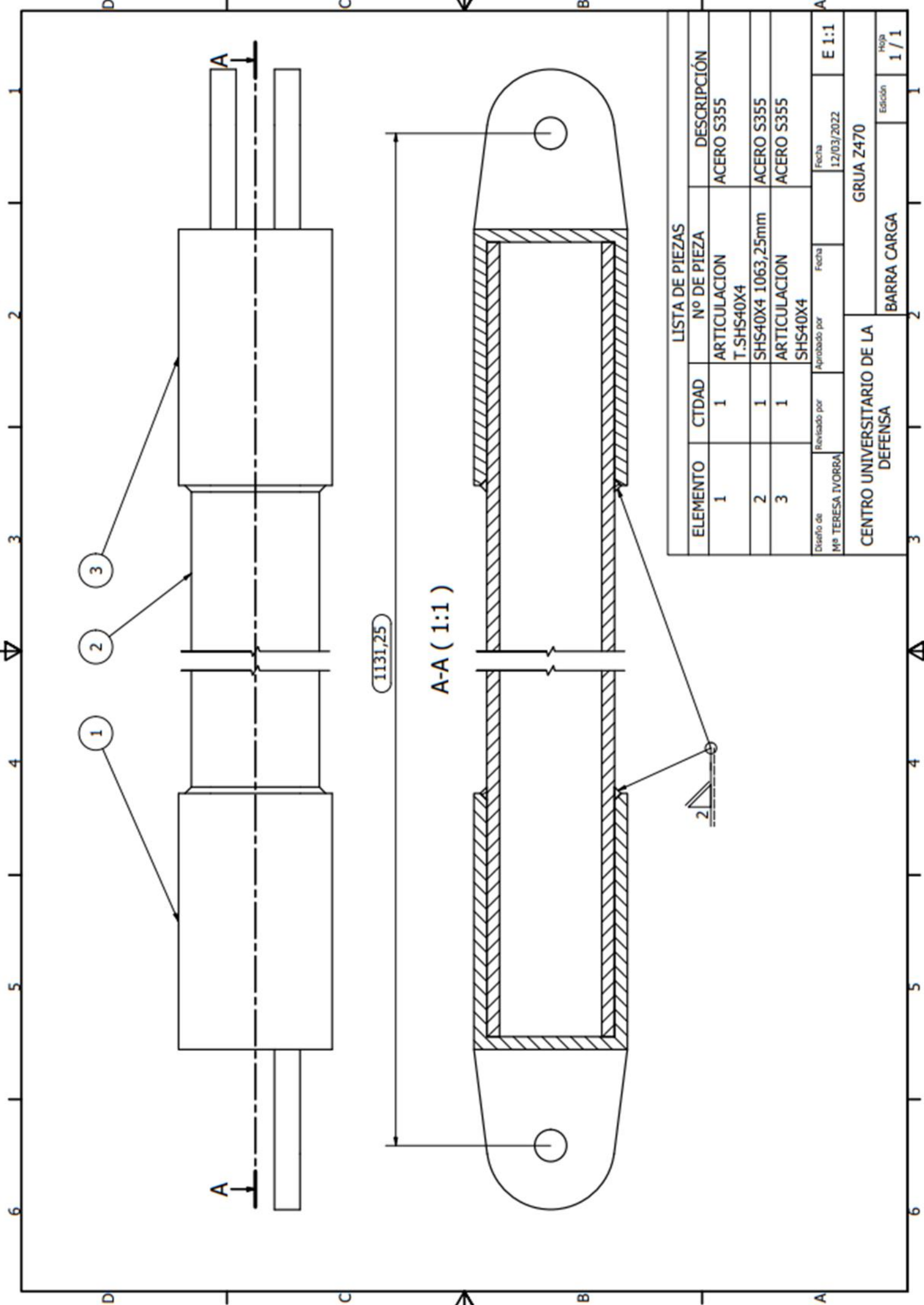
Hoja
1 / 1



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	SHS40X4 1742mm	ACERO S355
2	2	ARTICULACION SHS40X4	ACERO S355
3	1	UNION AUXILIAR	CHAPA ACERO S355 8mm

Diseño de M ^a TERESA IVORRA	Revisado por	Aprobado por	Fecha 12/03/2022	E 1:1
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			GRUA Z470	
LARGUERO			Edición	Hoja 1 / 1



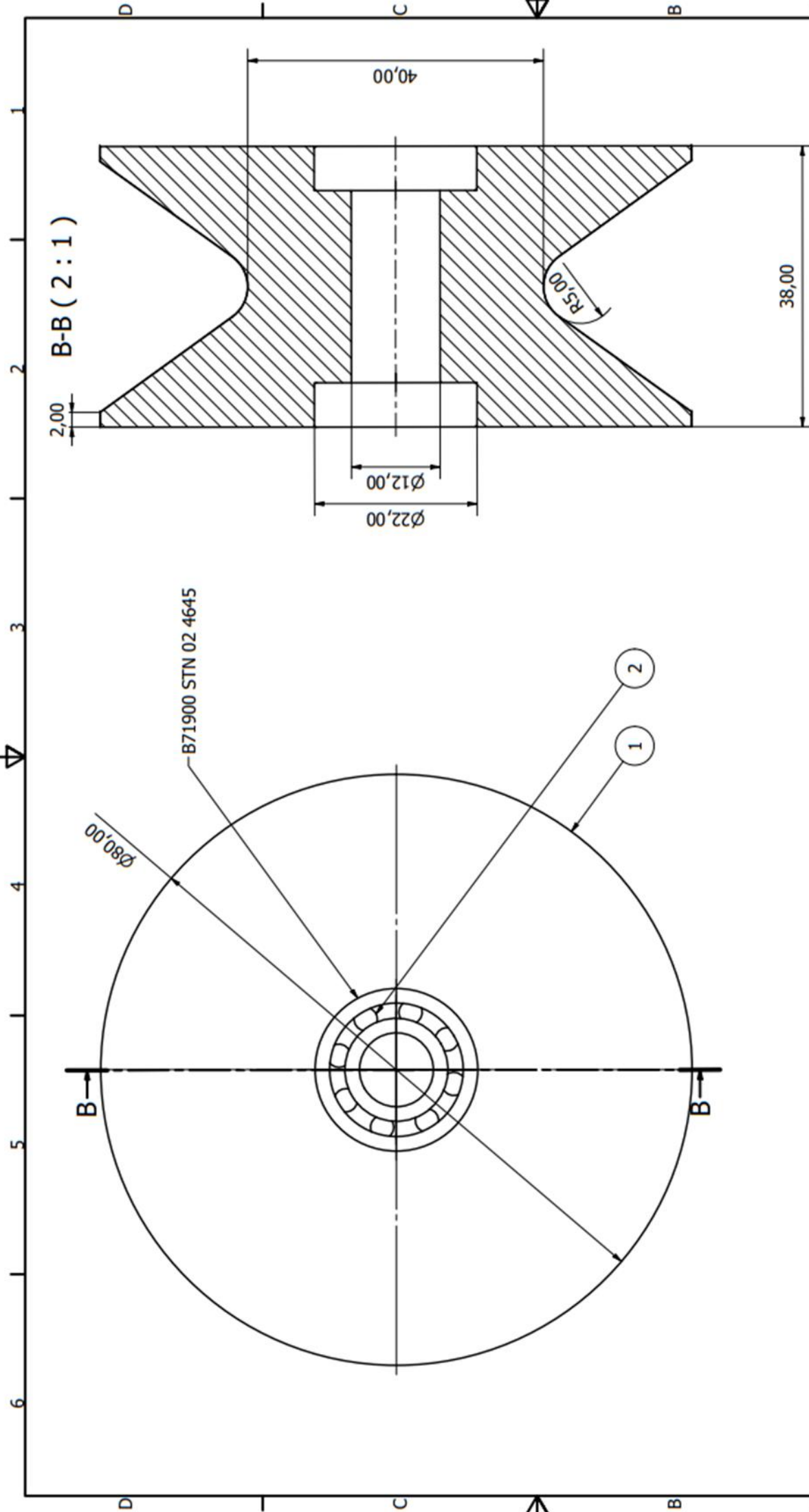
1131,25

A-A (1:1)

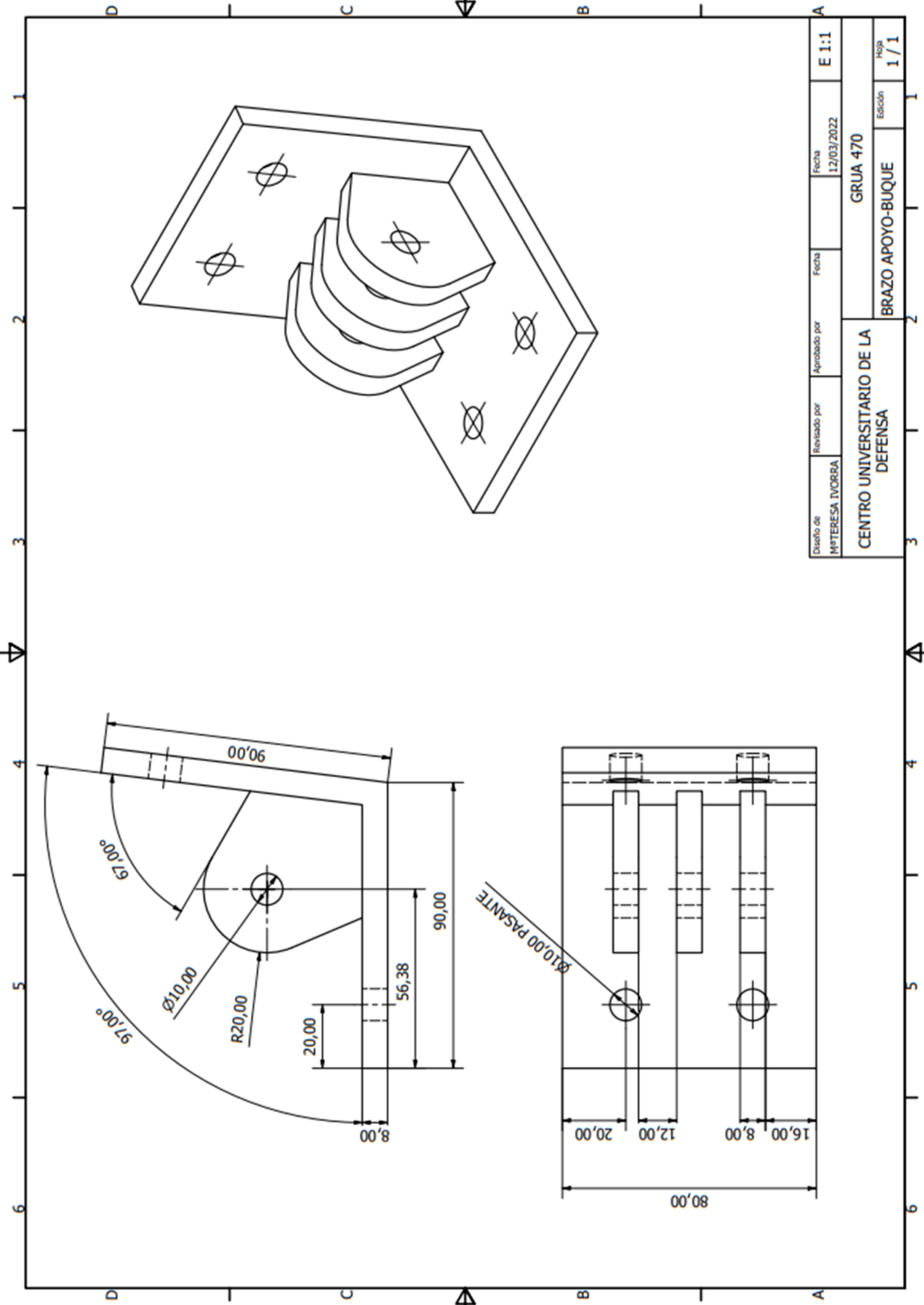
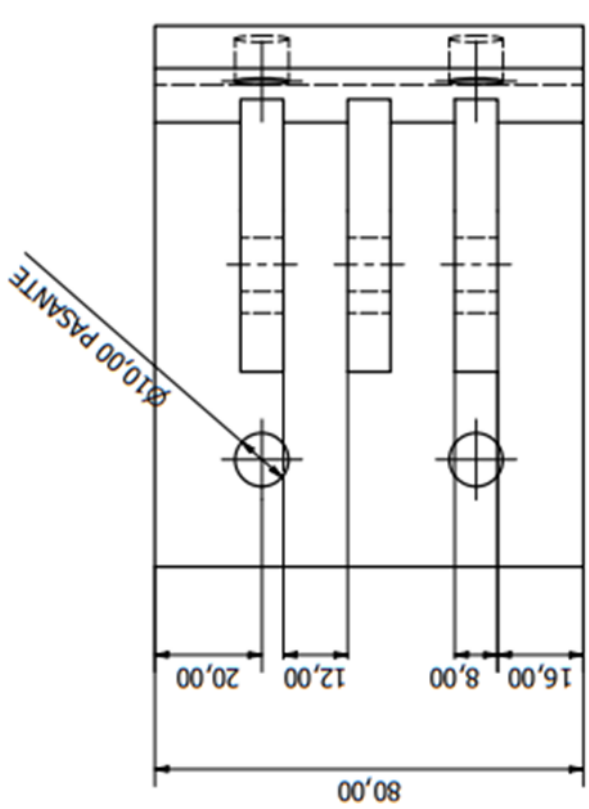
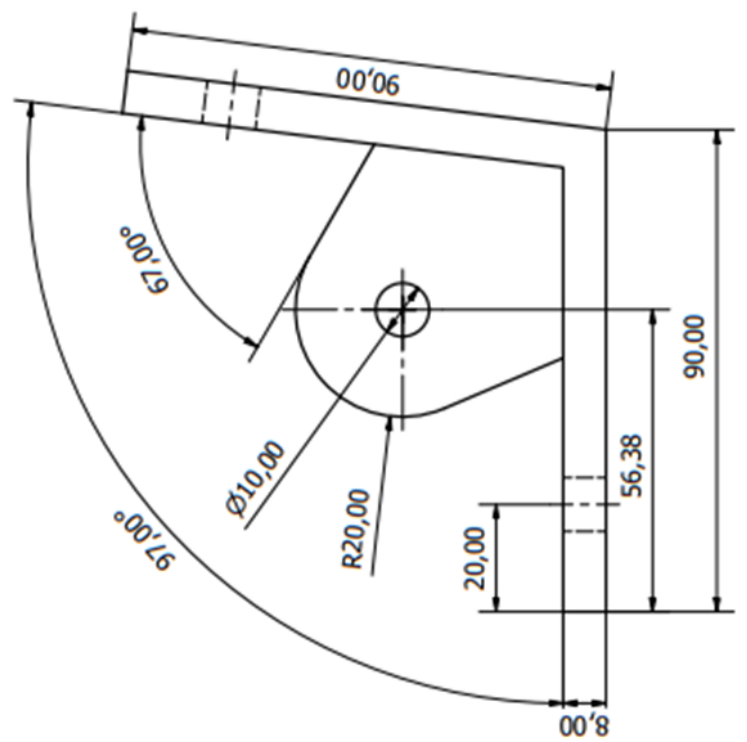
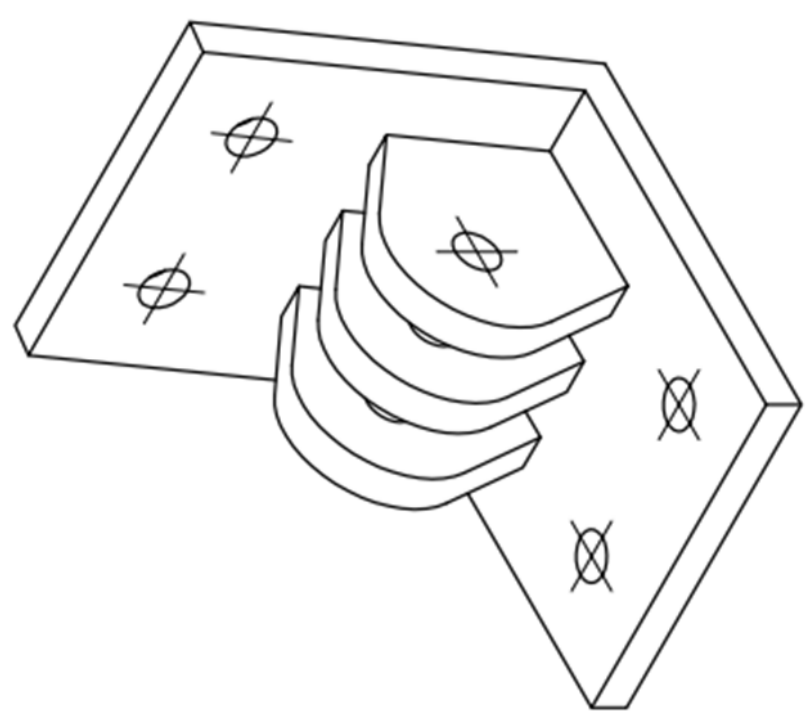
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	ARTICULACION T.SHS40X4	ACERO S355
2	1	SHS40X4 1063,25mm	ACERO S355
3	1	ARTICULACION SHS40X4	ACERO S355

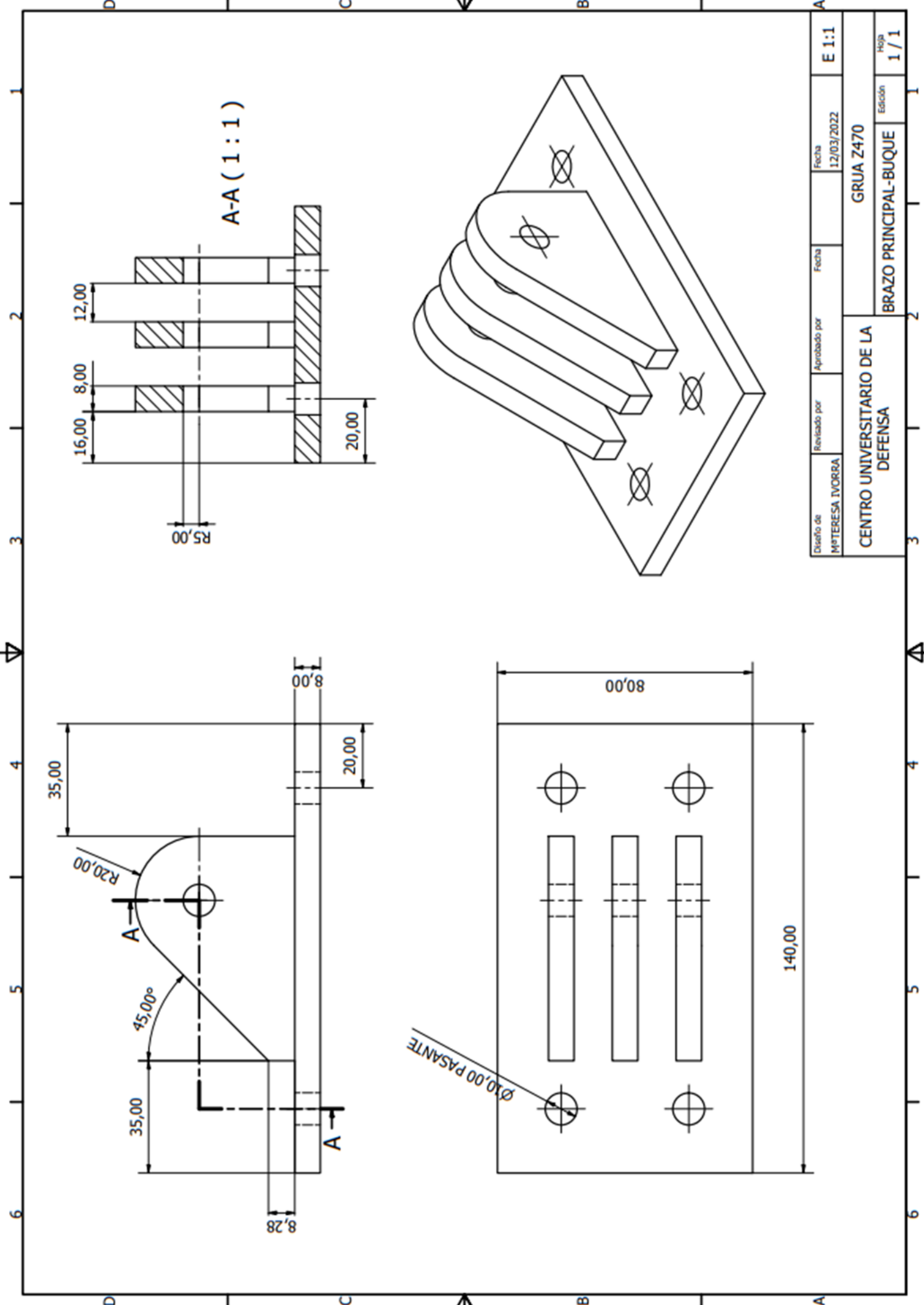
Diseño de M ^a TERESA IVORRA	Revisado por	Aprobado por	Fecha 12/03/2022	E 1:1
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			GRUA Z470	
BARRA CARGA			Edición	Hoja 1 / 1



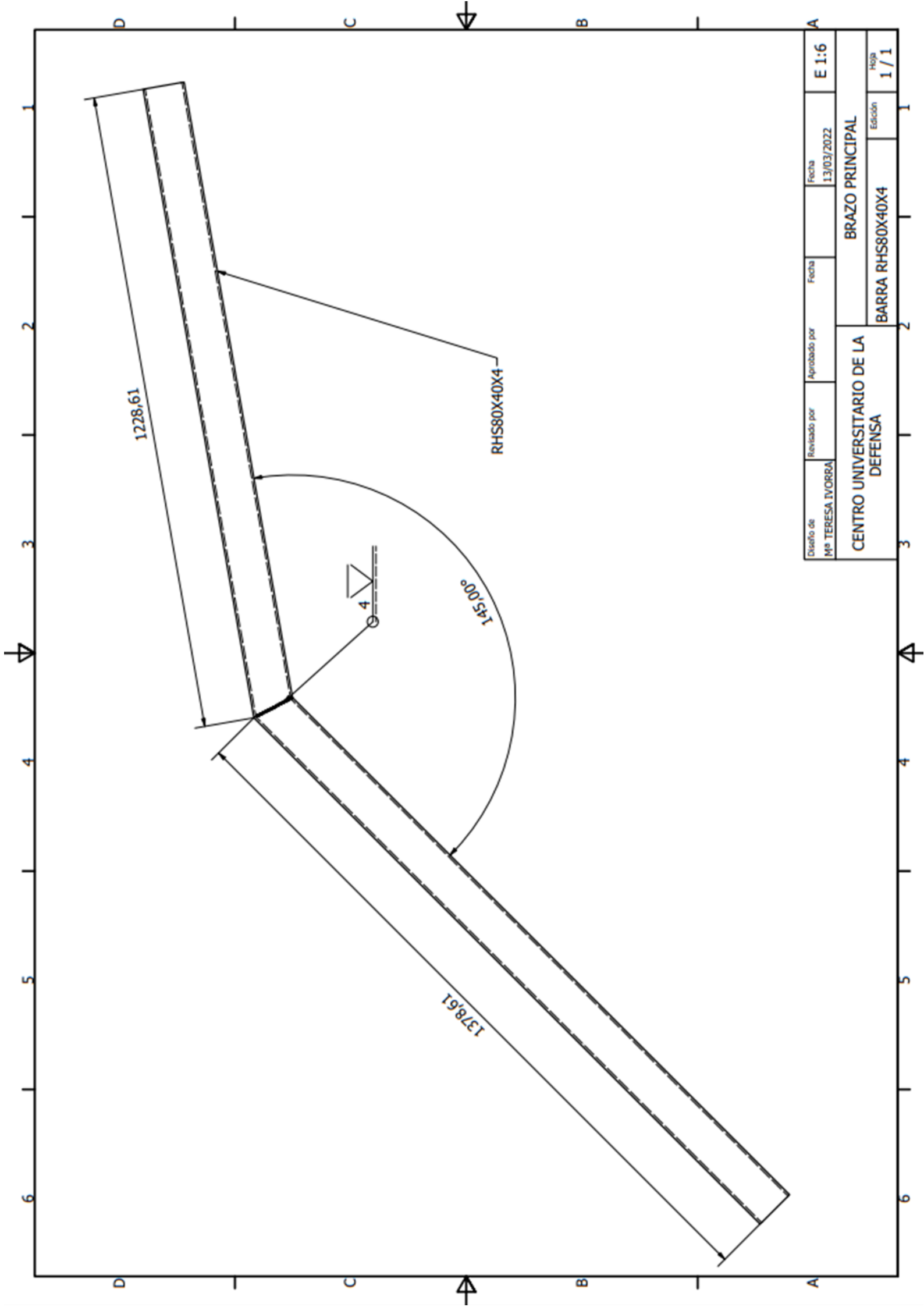
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	PASTECA	Teflon
2	2	STN 02 4645 - B 71900 10 x 22 x 6	Rodamiento de bolas, contacto angular
Diseño de M ^a TERESA IVORRA		Revisado por	Fecha
		Aprobado por	Fecha
			12/03/2022
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			E 2:1
POLEA			GRUA Z470
			Edición
			1 / 1



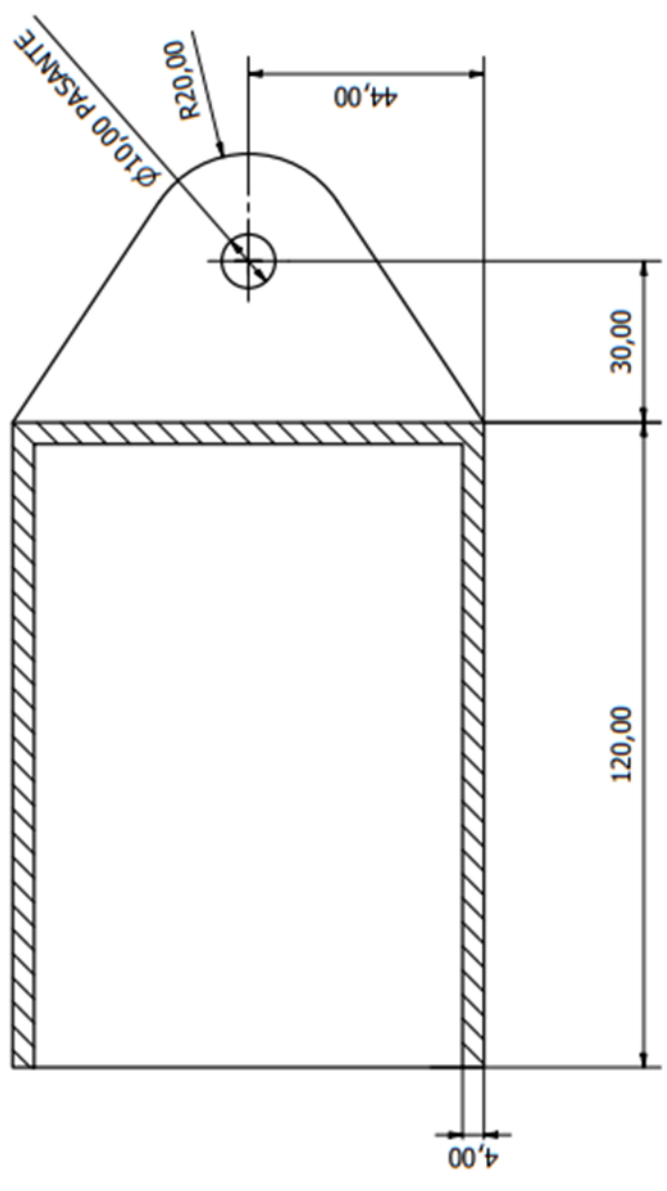
Diseño de MATERESA IVORRA	Revisado por	Aprobado por	Fecha 12/03/2022	E 1:1
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			GRUA 470	Edición 1 / 1
			BRAZO APOYO-BUQUE	



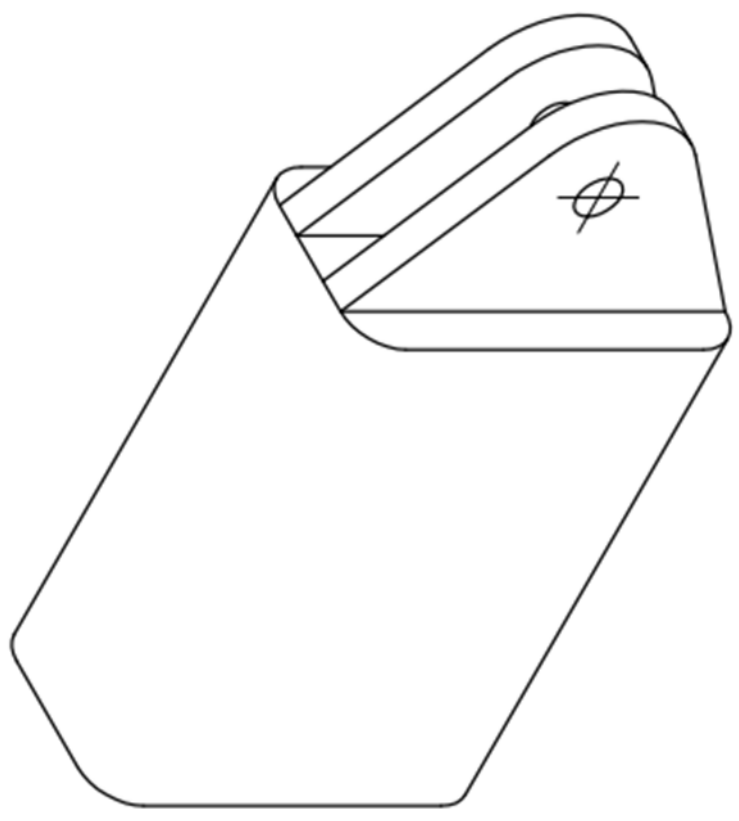
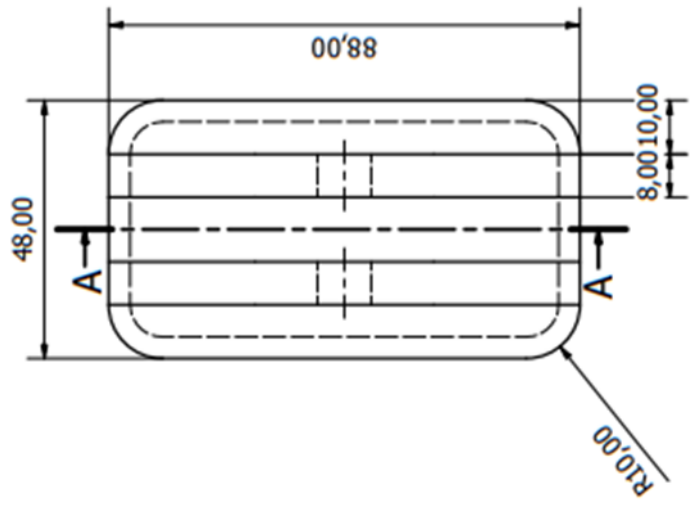
Diseño de MATERESA IVORRA	Revisado por	Aprobado por	Fecha 12/03/2022	E 1:1
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			GRUA Z470	Edición 1 / 1
BRAZO PRINCIPAL-BUQUE				Hoja 1 / 1



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	E 1:6
M ^a TERESA IVORRA			13/03/2022	
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			BRAZO PRINCIPAL	
			BARRA RHS80X40X4	Hoja 1 / 1

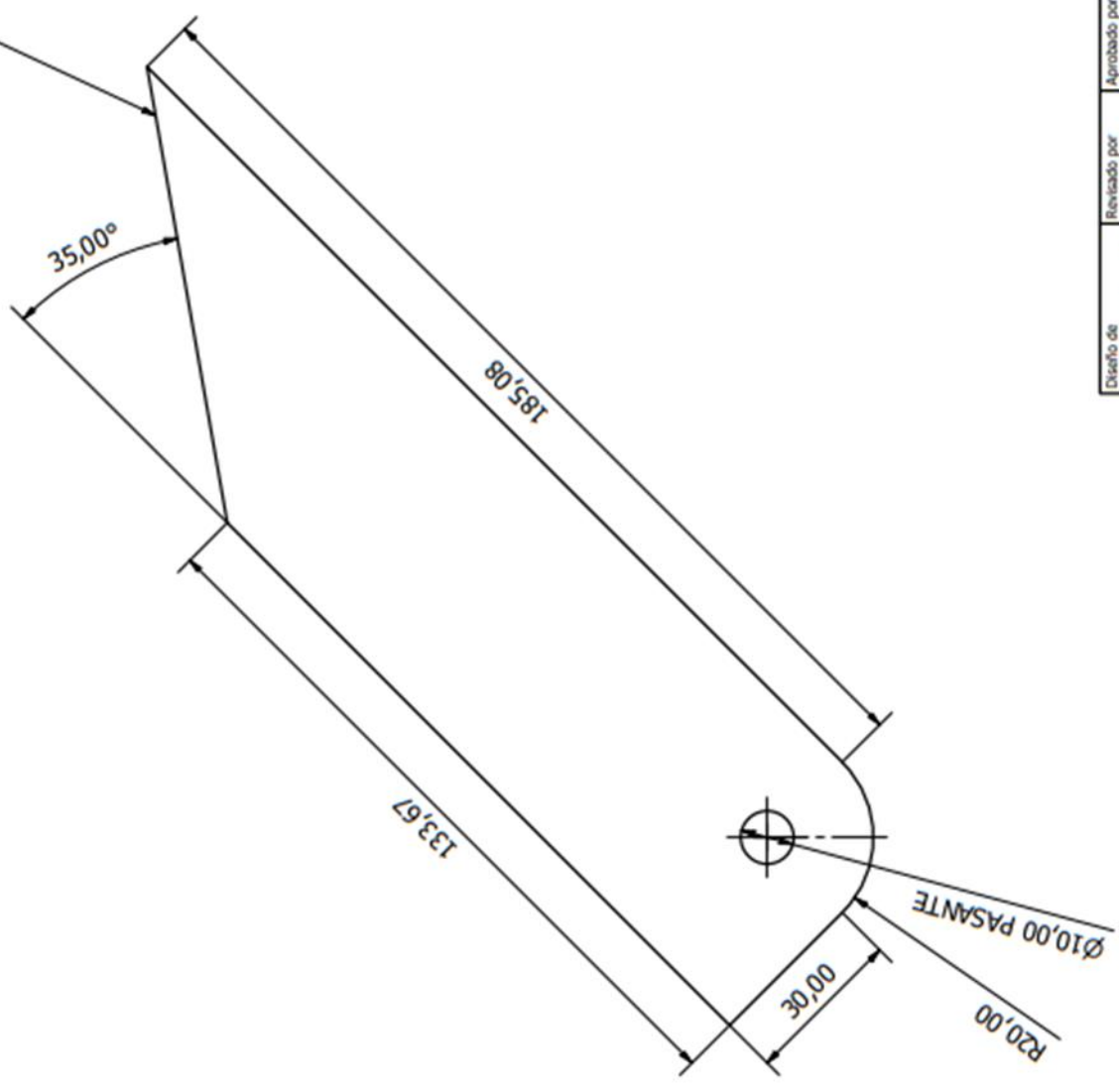


A-A (1 : 1)

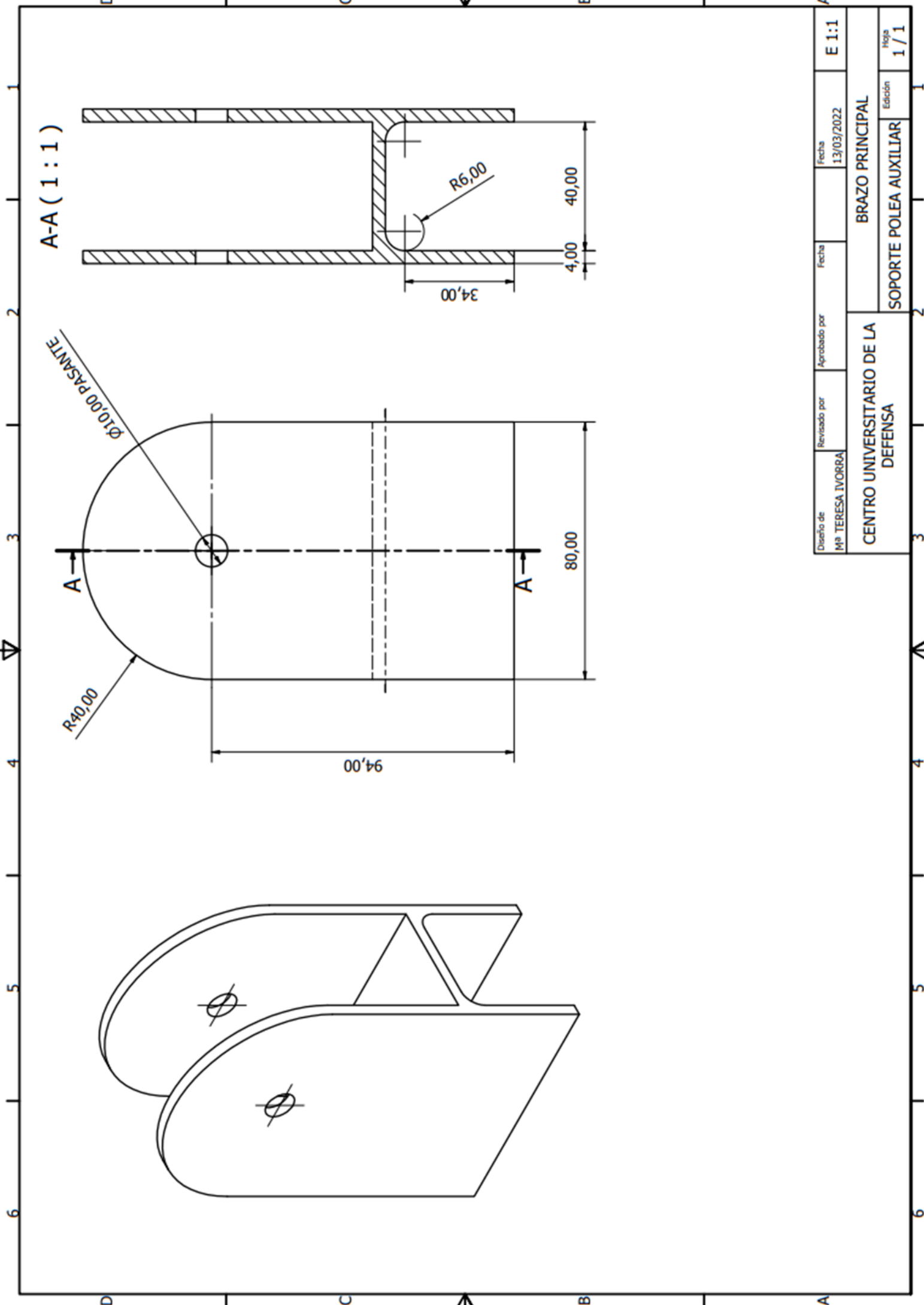


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	E 1:1
MªTERESA IVORRA			12/03/2022	
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			BRAZO PRINCIPAL	
			ARTICULACION RHS80X40	
			Edición	
			1 / 1	

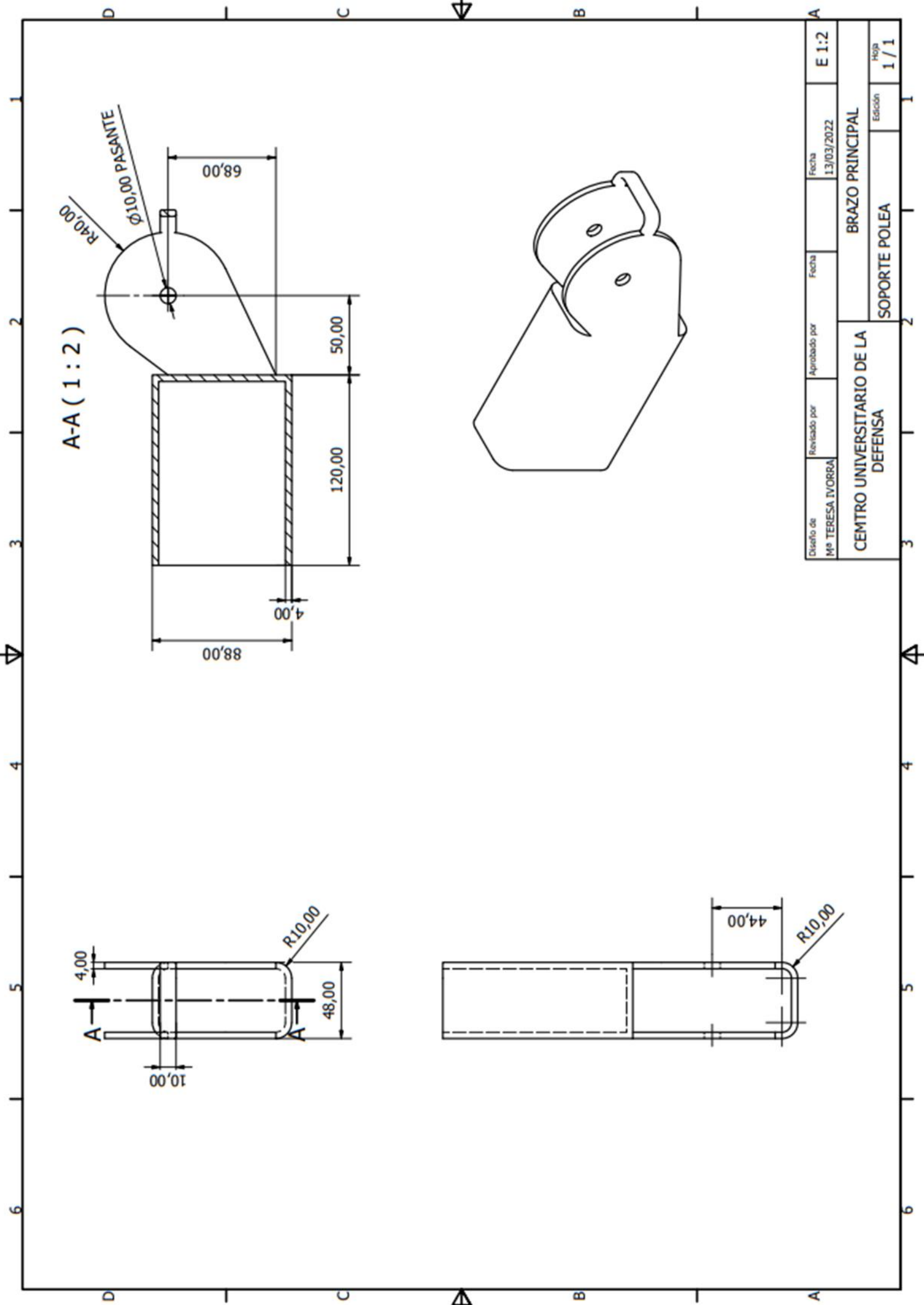
ACERO-S355 ESPESOR 8mm



Diseño de M ^{TERESA IVORRA}	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	E 1:1
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA				BRAZO PRINCIPAL	12/03/2022
				UNION BRAZO APOYO	Hoja 1/1
				Edición	1/1



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	E 1:1
M ^a TERESA IVORRA			13/03/2022	
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			BRAZO PRINCIPAL	
			SOPORTE POLEA AUXILIAR	
			Edición	
			1 / 1	



A-A (1:2)

R40,00
 Ø100,00 PASANTE

88,00

120,00

50,00

4,00

88,00

4,00

10,00

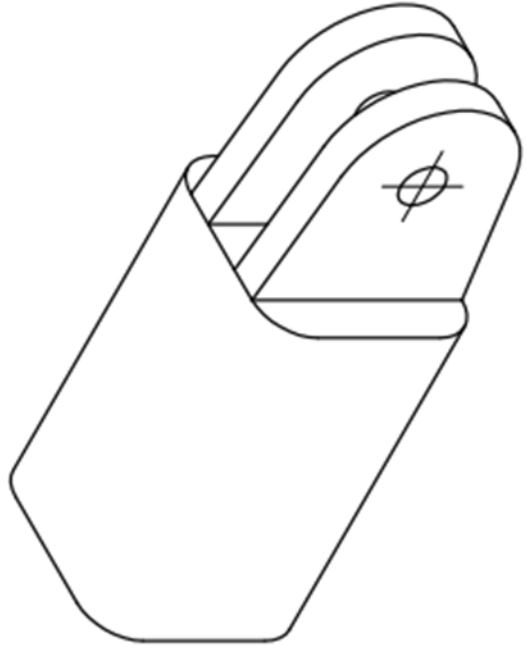
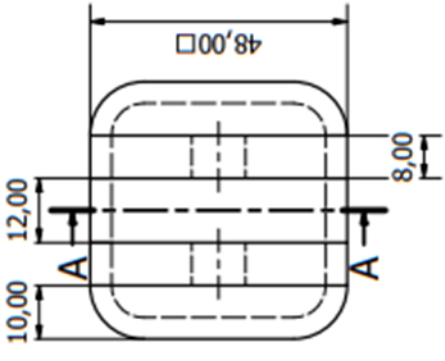
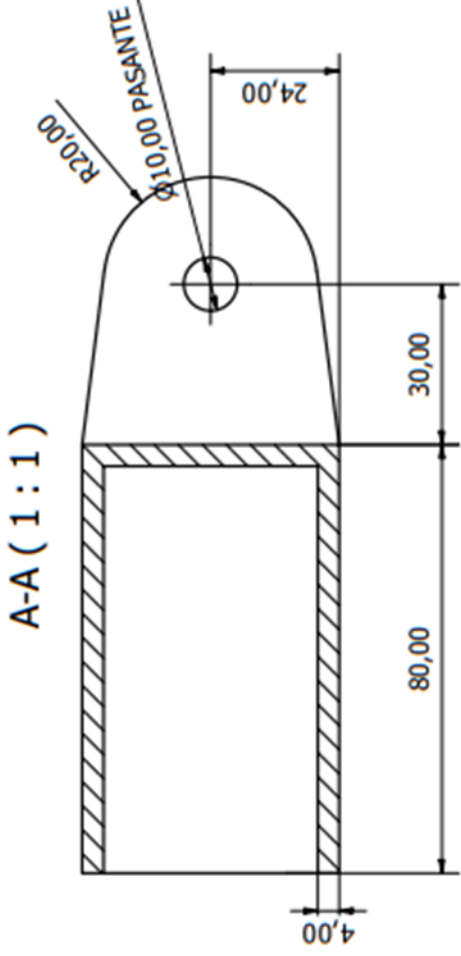
R10,00

48,00

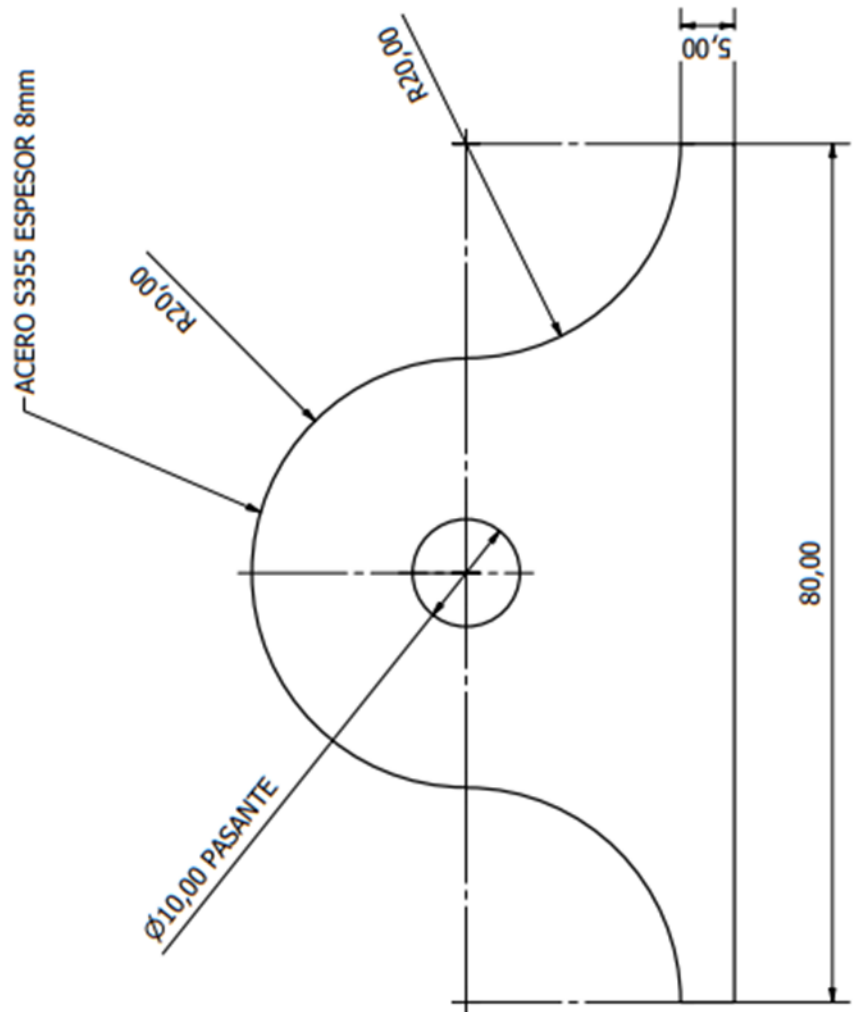
44,00

R10,00

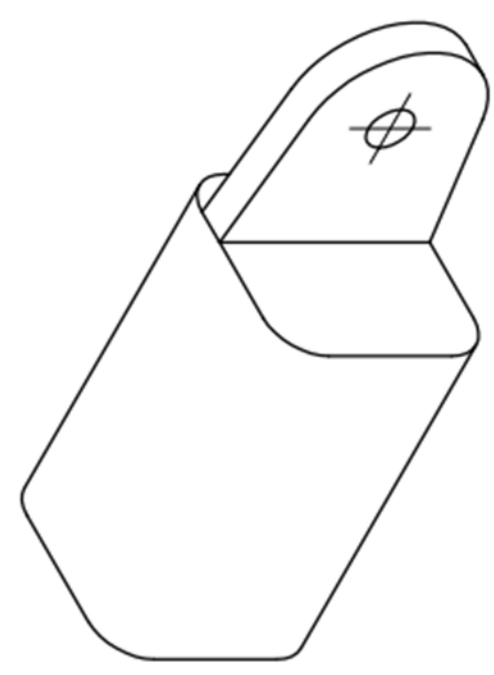
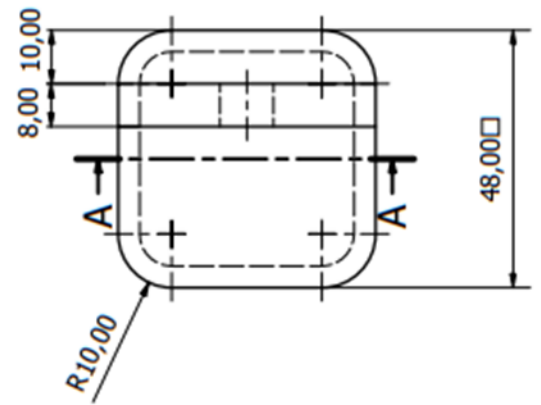
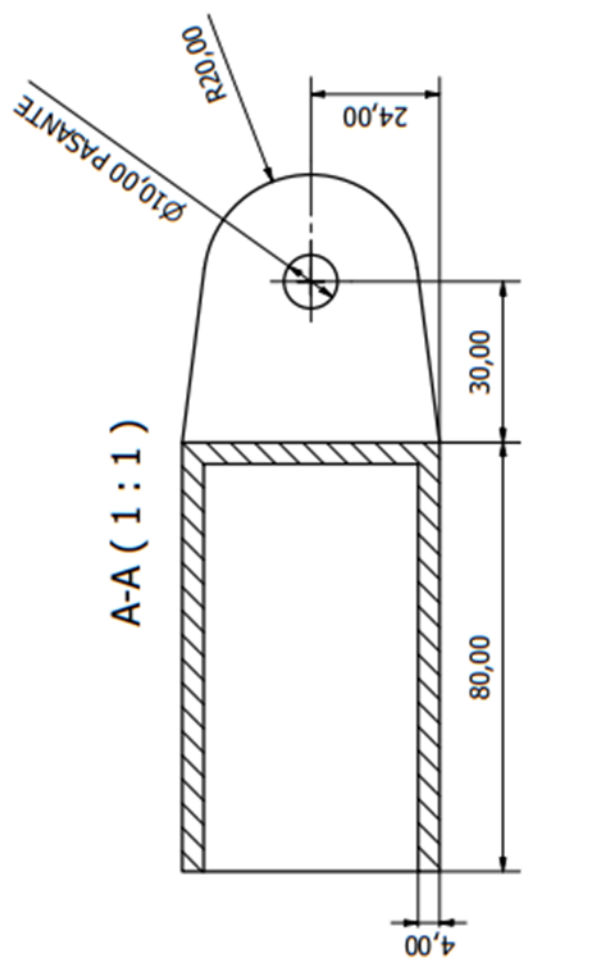
Diseño de M ^{te} TERESA IVORRA	Revisado por	Aprobado por	Fecha 13/03/2022	E 1:2
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			BRAZO PRINCIPAL	
			SOPORTE POLEA	
			Hoja 1 / 1	



Diseño de MªTERESA IVORRA	Revisado por	Aprobado por	Fecha 12/03/2022	E 1:1
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			GRUA Z470	Hoja 1 / 1
			ARTICULACION SHS40X4	Edición 1 / 1



Diseño de METERESA IVORRA	Revisado por	Aprobado por	Fecha 12/03/2022	E 2:1
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			GRUA Z470	Hoja 1 / 1
			UNION AUXILIAR	Edición 1 / 1



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	E 1:1
M ^o TERESA IVORRA			12/03/2022	
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA			BARRA CARGA	
			ARTICULACION T.SHS40X4	Hoja 1 / 1