



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un prototipo de USV como
blanco naval de alta RCS*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Ignacio Rossi Vargas

DIRECTORES: Carlos Casqueiro Placeres
José María Núñez Ortuño

CURSO ACADÉMICO: 2017-2018

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un prototipo de USV como
blanco naval de alta RCS*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

El presente trabajo se realiza para hacer frente a la necesidad de adiestramiento de los pilotos de la 9º Escuadrilla de la Flotilla de Aeronaves de la Armada. Con el fin de permitir la realización de un adiestramiento sin limitaciones, se diseña un USV con alta RCS y bajo coste para su utilización como blanco naval. El primer paso para ello es el diseño de un reflector radar en esquina (*corner reflector*) que responda a las exigencias establecidas y, el diseño de una plataforma naval que porte dicho reflector y sea capaz de mantener una posición predefinida en condiciones de mar 2. Para ello, es necesario realizar un estudio profundo de la estabilidad del buque, el sistema de propulsión y el sistema de navegación. Finalmente, se realiza un presupuesto del proyecto, se analizan los logros obtenidos con el diseño y se determinan posibles líneas de desarrollo.

PALABRAS CLAVE

USV, Blanco naval, RCS, Estabilidad, Ardupilot

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo recibido a lo largo de estos 5 años. Principalmente debo agradecer a mi familia y amigos su incondicional apoyo durante todo este tiempo, sin su ayuda posiblemente no habría llegado hasta aquí. A mis compañeros y amigos de la Escuela Naval por soportarme durante tantos años en un sitio donde no es nada fácil convivir. A mi equipo de rugby en Pontevedra, el Mareantes, por hacerme desconectar siempre que lo he necesitado. A todos mis profesores a lo largo de estos años y especialmente a mis tutores por sus ideas y correcciones a lo largo del trabajo y por último al TN Vázquez Alberti, por su apoyo y conocimientos aportados como antiguo piloto de la 9ª Escuadrilla.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de ilustraciones	3
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Objetivos	11
1.2 Programas informáticos utilizados	11
1.2.1 Siemens NX	11
1.2.2 Matlab	11
1.2.3 Maxsurf.....	13
1.2.4 Ardupilot.....	13
1.2.5 Autodesk Fusion 360	14
1.3 Estructura de la memoria	14
2 Estado del arte	15
2.1 USV.....	15
2.1.1 Definición de USV	15
2.1.2 Estado del arte de los USV en la actualidad	15
2.1.3 USV en el ámbito militar	17
2.1.4 USV como blanco naval	19
2.2 Acuartelamiento Aéreo de Bárdenas.....	19
2.2.1 Historia	19
2.2.2 Misión	20
2.2.3 Limitaciones	21
3 Fundamentos teóricos.....	23
3.1 Blanco de alta RCS	23
3.1.1 Reflectores en esquina	23
3.1.2 Radar Cross Section (RCS)	24
3.2 Plataforma Naval.....	26
3.2.1 Flotabilidad.	26
3.2.2 Estabilidad	26
3.2.3 Curvas hidrostáticas.....	30
3.2.4 Método Slender-Body.....	32
3.3 Análisis de esfuerzos en la estructura	32
4 Diseño del USV	33

4.1 Diseño de la estructura de alta RCS	33
4.2 Diseño de la plataforma naval.....	37
4.2.1 Análisis de resistencia estructural.....	42
4.2.2 Análisis de estabilidad	44
4.2.3 Análisis de la propulsión	50
4.2.4 Sistema de control.....	55
4.3 Presupuesto.	62
5 Conclusiones y líneas futuras.	65
5.1 Conclusiones.	65
5.2 Líneas futuras.....	66
6 Bibliografía.....	69
Anexo I: Propiedades Aluminio 5083	73
Anexo II: Propiedades Aluminio 6060.....	75
Anexo III: Tabla resultados curvas de atributo de carena derecha.....	77
Anexo IV: Tabla resultados curvas cruzadas	78
Anexo V: Tabla resultados curva de brazo adrizante	79
Anexo VI: planos.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1 - Condiciones de lanzamiento a máximo alcance en el agua (fuente [1]).....	10
Ilustración 1-2 - Impacto del proyectil a máximo alcance en el agua (fuente [1]).....	10
Ilustración 1-3 - Menú inicio Pofacets	12
Ilustración 1-4 - Diseño de modelo manual	12
Ilustración 1-5 - Opciones ofrecidas por POFACETS	13
Ilustración 2-1 - Yara Birkeland (fuente [4])	16
Ilustración 2-2 - USV desarrollado por Indra (fuente [5])	16
Ilustración 2-3 - Protector USV (fuente [8])	17
Ilustración 2-4 - CUSV (fuente [9])	18
Ilustración 2-5 - Concepto de emulación de firmas (fuente [10])	18
Ilustración 2-6 - SPAYK USV (fuente [12]).....	19
Ilustración 2-7 - Campo de Instrucción y Adiestramiento Aéreo de Las Bardenas Reales (fuente [13]).....	20
Ilustración 2-8 - Blanco para ametrallamiento (fuente [13]).....	20
Ilustración 2-9 - Condiciones lanzamiento a mínimo alcance (fuente [1])	21
Ilustración 2-10 - Impacto en condiciones de lanzamiento a mínimo alcance (fuente [1])	21
Ilustración 2-11 - Condiciones de lanzamiento a máximo alcance (fuente [1]).....	22
Ilustración 2-12 - Impacto en condiciones de lanzamiento a máximo alcance (fuente [1]).....	22
Ilustración 3-1 - Geometría y reflectividad de los Corner Reflector (fuente [14])	23
Ilustración 3-2 - Esquema Corner Reflector con forma de triedro [15]	24
Ilustración 3-3 - Concepto RCS (fuente [15])	25
Ilustración 3-4 - RCS de una esfera en función de la zona de trabajo (fuente [16])	26
Ilustración 3-5 - Representación del centro de gravedad y centro de carena (fuente [17]).....	27
Ilustración 3-6 - Par de fuerzas y brazo adrizante (fuente [17]).....	27
Ilustración 3-7 - Situación de estabilidad e inestabilidad (fuente [17]).....	28
Ilustración 3-8 - Metacentro, evoluta metacéntrica y curva de centros de carena (fuente [17])	28
Ilustración 3-9 - Situación de equilibrio en ángulos de poca escora (fuente [17]).....	29
Ilustración 3-10 - División de superficie para cálculo de momentos de inercia (fuente [17])	30
Ilustración 3-11 - Curva de atributo de carena recta (fuente [17]).....	31
Ilustración 3-12 - Representación tridimensional y gráfico de curvas cruzadas (fuente [18]).....	31
Ilustración 3-13 - Curva de brazos de adrizamiento (fuente [17])	32
Ilustración 4-1 - RCS media de barcos (fuente [21])	34
Ilustración 4-2 - Posicionamiento de vértices	34
Ilustración 4-3 - Formación de caras	35

Ilustración 4-4 - Comprobación de geometría.....	35
Ilustración 4-5 - Parametrización del material	35
Ilustración 4-6 - Parametrización de los ángulos para simulación	36
Ilustración 4-7 - Simulación RCS elevación fija.....	36
Ilustración 4-8 - Simulación RCS azimuth fijo	37
Ilustración 4-9 - Reflector en esquina	37
Ilustración 4-10 - Estructura de perfiles ranurados	39
Ilustración 4-11 - Patín y estructura de cuadernas.....	39
Ilustración 4-12 - GH 230 (fuente [24])	40
Ilustración 4-13 - Anclajes de sujeción GH 230 (fuente [24])	41
Ilustración 4-14 - USV	42
Ilustración 4-15 - Análisis estructural 1	43
Ilustración 4-16 - Análisis estructural 2 (tensiones).....	43
Ilustración 4-17 - Análisis estructural 2 (flecha).....	44
Ilustración 4-18 - Diseño de geometría y establecimiento de sistema de referencia.....	45
Ilustración 4-19 - División de secciones para cálculos de estabilidad	46
Ilustración 4-20 - Condiciones de análisis de estabilidad inicial	46
Ilustración 4-21 - Curvas de atributo de carena derecha	47
Ilustración 4-22 - Curvas cruzadas.....	48
Ilustración 4-23 - Curva de brazo adrizante	48
Ilustración 4-24 - Relación Escala de Beaufort - Escala de Douglas (fuente [25]).....	49
Ilustración 4-25 - Gráfica de resistencia generada por el avance del buque.	50
Ilustración 4-26 - Gráfica de potencia necesaria frente a velocidad	51
Ilustración 4-27 - Resultados simulación de resistencia al avance.....	51
Ilustración 4-28 - Simulación de oleaje generado por el buque a una velocidad de 5 nudos.....	52
Ilustración 4-29 - T200 thruster (fuente [29])	53
Ilustración 4-30 - Relación Potencia-Voltaje T200 (fuente [29])	54
Ilustración 4-31 - Relación Corriente-voltaje T200 (fuente [29])	55
Ilustración 4-32 - Conectores Pixhawk (fuente [2]).....	56
Ilustración 4-33 - Conectores e indicadores Pixhawk (fuente [2]).....	56
Ilustración 4-34 - Montaje Hardware del sistema de control (fuente [2]).....	57
Ilustración 4-35 - Conexión de T200 a Pixhawk (fuente [2])	57
Ilustración 4-36 - Blue ESC (fuente [29])	58
Ilustración 4-37 - Caja IP55 (fuente [30])	58
Ilustración 4-38 - Diagrama de conexiones del sistema de control.....	59
Ilustración 4-39 - Configuración inicial (fuente [2]).....	60

Ilustración 4-40 - Armado/desarmado y configuración de giro (fuente [2]).....	61
Ilustración 4-41 - Diseño de misión mediante establecimiento de waypoints (fuente [2]).....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 - Propiedades perfiles rauurados de aluminio (fuente [21]).....	38
Tabla 4-2 - Componenetes GH 230 (fuente [20])	40
Tabla 4-3 - Característica técnicas de la GH 230 (fuente [20]).....	41
Tabla 4-4 - Resultado análisis estabilidad inicial	47
Tabla 4-5 - Prestaciones y características T200 (fuente [26]).....	54
Tabla 4-6 - Presupuesto coste de material	63
Tabla 5-1 - Matriz de evaluación.....	65

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La evolución del escenario estratégico ha obligado a una profunda transformación en las misiones y cometidos de las Fuerzas Armadas. La presencia mayoritaria de la amenaza asimétrica en la mayoría de los conflictos actuales tiene como consecuencia que los blancos potenciales se encuentren a menudo en escenarios donde los daños colaterales son elevados si no se usa armamento de precisión.

El uso de aeronaves se ha trasladado a zonas urbanas donde la población no combatiente es usada para dificultar la identificación y la neutralización. Debido a esto, y con el objetivo de reducir al mínimo los daños colaterales, es obligado el uso de armamento de precisión, necesario para atacar objetivos puntuales.

La Novena Escuadrilla de la Armada, dispone en su arsenal de armamento de precisión como la GBU-38 y la GBU-12B, bombas guiadas con un sistema inercial GPS y con un sistema láser respectivamente, usadas en el adiestramiento de tiro de pilotos en el polígono de las Bardenas Reales. Sin embargo, el polígono de tiro presenta limitaciones para el adiestramiento en el lanzamiento de estas bombas [1]. Para ello se plantea como solución el diseño de un vehículo USV (*Unmanned Surface Vehicle*) que permita realizar dicho adiestramiento en la mar en un área sanitizada lo suficientemente grande, es decir, un área restringida a la navegación bajo vigilancia de unidades de la Armada Española. Esta solución permitirá el lanzamiento en condiciones de máximo alcance (Ilustración 1-1), ya que, como se aprecia en la Ilustración 1-2, la huella de la bomba posee un gran margen con respecto a la zona sanitizada delimitada por las líneas rojas. La principal ventaja táctica que conseguimos al lanzar en máximo alcance y altura esta bomba es realizar un lanzamiento seguro sin necesidad que la aeronave penetre en la “*Stand off distance*”. Se define “*Stand off distance*” como la distancia a partir de la cual la aeronave se encuentra bajo riesgo de ser atacada por los sistemas de armas de la amenaza.

Analysis Report

Route

Route	Route3,j82				
Variant	J82	Attk Mode	Pre-planned	CUPC Version	4.0.0.2
Planner	Piloto	Weather	Standard Day	A/C LAR Version	Not Available
		Valid	Computed As Planned	LARBB Version	5.4.1.1

Target

Name	Route3,j82 Target	Length	0FT
Latitude	N 36 30.25	Width	0FT
Longitude	W 006 59.35	Height	0FT
Elevation	0FT MSL	Azimuth	002M
Grid	29SPA8007941752	Hardness	Medium
Horizontal TLE	23FT	CE50 (CEP) JAM	N/A
Vertical TLE	23FT	CE50 (CEP) UNJ	N/A
		CE90 JAM	N/A
		CE90 UNJ	N/A

Terminal \ Offset \ Launchpoint

Target Type	Horizontal	OFS Bearing	002M	Latitude	N 36 36.80
Req. Impact Angle	85	OFS Range	0FT	Longitude	W 006 59.60
Actual Impact Angle	85	OFS Elevation	0FT	Altitude	30000FT MSL
Minimum Velocity	500 fps	Vel at Target	1119 fps	Speed	480T
Req. Impact Heading	180M	TOR	11:11:39	Heading	180M
Actual Impact Heading	180M	TOF	00:01:01	FPA	0
Fuze Type	FMU-139	TOT	11:12:40	Down Range	12108M
Fuze Delay	0 msec	Cross Range	-370M		
Fuze Arm	10 sec				

Ilustración 1-1 - Condiciones de lanzamiento a máximo alcance en el agua (fuente [1])

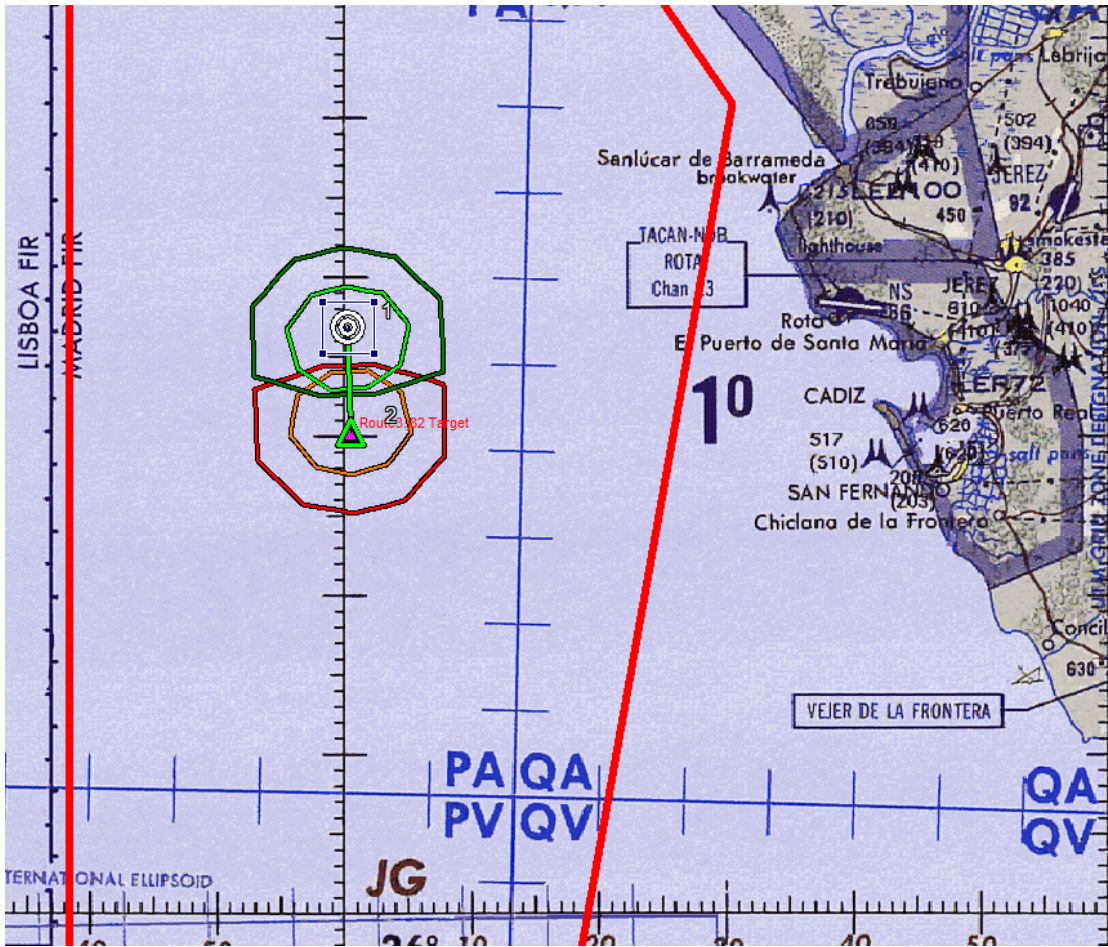


Ilustración 1-2 - Impacto del proyectil a máximo alcance en el agua (fuente [1]).

1.1 Objetivos

El objetivo del trabajo es diseñar un vehículo USV destinado a ejercer de blanco geoposicionado que responda a las necesidades propuestas por la 9ª Escuadrilla perteneciente a la flotilla de aeronaves [1]. Dichos objetivos son:

- El Blanco de Superficie debería ser una plataforma/embarcación flotante ligera, rígida o semirrígida dotada de un sistema propulsor que le permita mantener la posición de forma automática durante un tiempo máximo de 60 minutos.
- Deberá tener el tamaño y la forma suficiente y necesaria que le permita mantenerse a flote con seguridad en condiciones de estado de la mar 2 e inferiores y tener el tamaño y la maniobra necesaria para ser remolcado o izado y arriado desde una cubierta de un buque en servicio actualmente en la Armada, en este caso, un BAM (Buque de Acción Marítima).
- En cuanto a su estructura, sería conveniente que pudiera reflejar una superficie equivalente radar similar a la de un patrullero, para poder ser localizado vía radar e identificado gracias a la cámara que posee el AN/AAQ-28(V) LITENING, el designador de blancos del avión con detector infrarrojos, cámara, designador y localizador láser. Dicha identificación debe poder realizarse a una distancia de 15 millas. A su vez tiene que tener una forma y un color que permitan que sea fácilmente identificado en visual desde un avión a una distancia de 3 millas náuticas.
- El vehículo será de un solo uso, no recuperable y con un coste muy reducido.

1.2 Programas informáticos utilizados

Para abordar los objetivos propuestos se ha requerido el uso de diversos programas informáticos que permiten: calcular la reflectividad radar de un objeto, realizar el diseño de una plataforma naval y llevar a cabo los cálculos correspondientes de estabilidad y resistencia al avance, y por último, representar dicho diseño en planos.

1.2.1 Siemens NX

Se trata de un software diseñado para aplicaciones de ingeniería en multitud de aplicaciones desarrollado por Siemens PLM Software. Nos permite abordar todos los procesos que requieren el desarrollo industrial desde las aplicaciones CAD (*Computer Aided Design*) para su diseño, hasta el diseño del módulo de fabricación gracias a su módulo CAE (*Computer Aided Engineering*). Permite además análisis de tensiones con distintas aplicaciones como la simulación FEM (*Finite Elements Method*).

En el desarrollo del trabajo se utilizarán los módulos de diseño y de análisis de elementos finitos (FEM), mediante los que se establecerá la estructura del USV así como se realizarán los cálculos FEM pertinentes.

1.2.2 Matlab

Se trata de un software matemático que mediante un lenguaje de programación propio ofrece un entorno de desarrollo integrado. El software incluye entre sus prestaciones básicas: implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario, la representación de datos y funciones y la comunicación con otros lenguajes y dispositivos hardware.

En este trabajo se utiliza específicamente la herramienta POFACETS, una aplicación de carácter libre desarrollada por el Naval Postgraduate School para la obtención de la sección radar de los objetos mediante técnicas de óptica física. Esta aplicación ofrece un entorno de simulación fácil de utilizar e

intuitivo que no requiere de ordenadores con grandes potencias para la realización de cálculos y que permite importar archivos CAD.

Una vez abierta esta aplicación, se muestra la pantalla de inicio que se observa en la Ilustración 1-3, donde se pueden escoger las siguientes funciones:



Ilustración 1-3 - Menú inicio Pofacets

-Design Model Manually: se utiliza para el desarrollo de diseños sencillos mediante el editor de modelos incorporado en la aplicación. Esta opción, Ilustración 1-4, es la utilizada en el trabajo para la realización y estudio del blanco radar seleccionado.



Ilustración 1-4 - Diseño de modelo manual

-Design Model Graphically: mediante esta opción se pueden importar modelos, así como utilizar modelos ya almacenados en la aplicación.

-Calculate Monostatic RCS: mediante esta función, la aplicación nos permite realizar un cálculo en el que el emisor y el receptor se encuentran en el mismo dispositivo. Permittendonos realizar el análisis en función de la frecuencia o los ángulos de incidencia. Es la opción utilizada en el cálculo realizado en este trabajo.

-Calculate Bi-static RCS: mediante esta función, el cálculo se realiza para una una situación en la que el receptor y el emisor se encuentran en diferentes posiciones, y al igual que en el cálculo

monoestático, nos permite seleccionar entre cálculos con respecto a los ángulos de incidencia o a la frecuencia.

-Utilities: esta última opción, permite al usuario importar o exportar modelos, editar la base de materiales que posee la aplicación o seleccionar una de las versiones de esta. Ilustración 1-5.

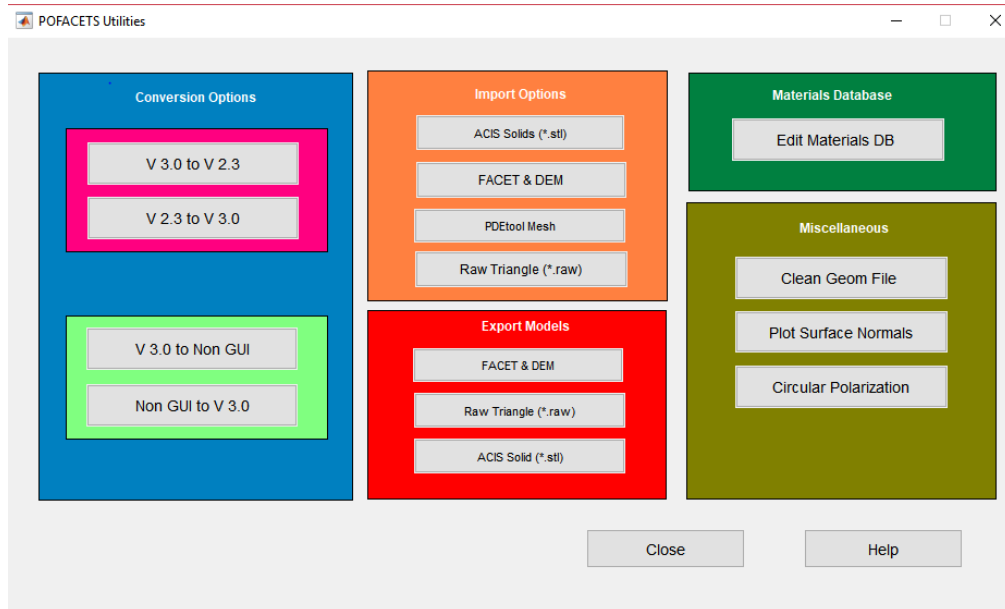


Ilustración 1-5 - Opciones ofrecidas por POFACETS

1.2.3 Maxsurf

Se trata de un software de ingeniería y arquitectura naval desarrollado por la empresa Bentley que proporciona la capacidad de realizar el diseño completo de una plataforma naval ya que mediante sus diferentes módulos permite: el diseño del casco del buque, el cálculo de estabilidad y resistencia, la predicción de resistencia y movimientos y el diseño estructural inicial y análisis de resistencia estructural.

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado los siguientes módulos:

- Maxsurf Modeler Advanced: mediante el que se modela el casco del buque.
- Maxsurf Stabilitiy Advanced: mediante el que se realizan los cálculos de estabilidad, obteniendo las curvas hidrostáticas así como las gráficas de brazo adrizante.
- Maxsurf Resistance: mediante el que se realizan los cálculos de resistencia ofrecidos por el buque y la potencia necesaria para alcanzar las distintas velocidades.

1.2.4 Ardupilot

Se trata de un software de código abierto diseñado para el control de una gran variedad de vehículos autónomos como drones de ala fija, drones VTOL (*Vertical Take-Off Landing*), Rovers, USV, etc. Diseñado inicialmente por aficionados del aeromodelismo, ha evolucionado considerablemente, convirtiéndose en un software de gran desarrollo y fiable utilizado por gran número de empresas y organizaciones.

Se basa en un software de navegación, ubicado en el autopiloto del vehículo y denominado *firmware*. En tierra una estación de control dispondría de un software para la monitorización y control del vehículo.

Mission Planner [2] es una estación de control en tierra que implementa todas las funciones de pilotaje ofrecidas por Ardupilot para todo tipo de vehículos autónomos, tanto UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), como USV o vehículos de superficie (USV o Rover). Misión Planner permite:

- Cargar el software correspondiente al tipo de plataforma empleado en la controladora del vehículo autónomo.
- Configurar, actualizar y optimizar la configuración del vehículo autónomo.
- Planear, guardar y cargar misiones autónomas en el autopiloto simplemente mediante la selección de los puntos en Google u otros mapas.
- Descargar y analizar los registros de la misión creados por el autopiloto.
- Posee una interfaz con un simulador de vuelo.
- Con un adecuado hardware de telemetría permite:
 - o Supervisar el estado del vehículo durante el desarrollo de una misión
 - o Registrar datos.
 - o Ver y analizar los registros de telemetría.
 - o Operar el vehículo en FPV (*First Person View* o vista en primera persona).

1.2.5 Autodesk Fusion 360

Es un software de modelado 3d CAD, CAE y CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Conecta todo el proceso de producción y desarrollo de un producto en una única aplicación que opera en la nube [3].

Este programa se ha utilizado para la realización de los planos.

1.3 Estructura de la memoria

Siguiendo el índice reflejado al inicio del trabajo, se aborda en primer lugar, el estado del arte actual del desarrollo de los USV, tanto en el ámbito civil como en el ámbito militar, posteriormente se realiza un análisis del polígono de tiro Bárdenas Reales, cuyas limitaciones han motivado el desarrollo de este trabajo. A continuación, se hace un estudio de todos los fundamentos teóricos y técnicos empleados en el desarrollo del proyecto, así como los métodos de análisis empleados para la comprobación de la estructura del USV.

Ya en el desarrollo del trabajo, se detallan los cálculos y simulaciones realizadas para justificar el diseño alcanzado así como los planos del USV. Finalmente, se expone un presupuesto del coste material del proyecto, así como los objetivos alcanzados. Por último se realiza un análisis de posibles futuras aplicaciones y mejoras del USV.

2 ESTADO DEL ARTE

Este apartado permite conocer la situación de los USV en la actualidad, su desarrollo técnico y su cada vez más extendido uso en diferentes ámbitos, así como las condiciones del polígono de tiro de Bárdenas Reales, cuyas limitaciones han sido determinantes para el desarrollo del proyecto.

2.1 USV

2.1.1 Definición de USV

Como establecen sus siglas en inglés, *Unmanned Surface Vehicle*, un USV es un vehículo autónomo de superficie, es decir, se trata de un barco no tripulado que se desplaza por la superficie del agua, y no por debajo de ella.

Puede desplazarse gracias a una ruta o programación realizada con anterioridad o de manera autónoma respondiendo a ciertos estímulos.

2.1.2 Estado del arte de los USV en la actualidad

El desarrollo de los vehículos no tripulados está creciendo a pasos agigantados en la actualidad. La presencia cada vez mayor de drones aéreos, tanto con fines comerciales como recreativos, y su presencia en unidades militares tanto extranjeras como nacionales, como la 11ª escuadrilla de aeronaves de la Armada Española, nos demuestran la importancia y auge de esta tecnología. No sólo se trata de vehículos aéreos, el desarrollo de UGV (*Unmanned Ground Vehicle*) y su aplicación en el ámbito civil y militar está extendido desde hace ya bastante tiempo, prueba de ello es la cantidad de vehículos existentes, como por ejemplo y centrándonos en el ámbito militar aquellos destinados a la desactivación de explosivos.

Por su parte, la tecnología USV ha experimentado un desarrollo menor con respecto a los UGV o los UAV, sin embargo, en los últimos años ha conseguido un gran avance tanto a nivel internacional como nacional. En el ámbito internacional las compañías noruegas Yara International ASA y Kongsberg Gruppen ASA han confirmado estar en la última fase final de fabricación de su próximo buque ‘Yara Birkeland’ Ilustración 2-1, un buque de carga que será botado en 2018 y que, según los planes de desarrollo será capaz de navegar de forma autónoma en 2020 [4].



Ilustración 2-1 - Yara Birkeland (fuente [4])

Por otro lado, en el ámbito nacional cabe destacar el desarrollo de un USV que está realizando la empresa INDRA con el apoyo de la Xunta de Galicia y con la Universidad de Vigo y el Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Galicia (Gradient). Este vehículo (Ilustración 2-2) que puede ser controlado remotamente y que posee la posibilidad de embarcar tripulación está basado completamente en tecnología nacional y posee un gran futuro gracias a la gran cantidad de aplicaciones que puede desarrollar: apoyar labores de búsqueda, rescate, y salvamento marítimo; lucha contra incendios en el mar; vigilancia, mantenimiento de puertos, instalaciones offshore y parques eólicos marinos; vigilancia aduanera, de pesca y protección medioambiental; investigación oceanográfica, etc [5].



Ilustración 2-2 - USV desarrollado por Indra (fuente [5])

El gran desarrollo que ha experimentado este campo se debe al continuo avance tecnológico y a las ventajas que esta tecnología puede ofrecer, tales como:

- Ahorro espacio habitabilidad y sus respectivos costes.
- Reducción riesgo error humano.
- Optimización de recursos mediante una gestión de la navegación establecida mediante cálculos matemáticos basados en datos de maquinaria, meteorología, disponibilidad puertos,...
- Eliminación riesgo de pérdidas de vidas humana.

Todo esto ha llevado a la Unión Europea a desarrollar el proyecto MUNIN (*Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks*) [6]. Se trata de un proyecto de colaboración que ha sido financiado con fondos de la UE. Su objetivo ha sido desarrollar una idea para el transporte marítimo gracias a cargueros guiados por un sistema autónomo inteligente de toma de decisiones y un control y

vigilancia llevada a cabo por operadores desde estaciones en tierra. Todo ello llevaría a reducir costes y el impacto ambiental del transporte marítimo. Para llevar a cabo la navegación el sistema se basa en [7]:

- Módulo de sensores avanzado: combinando y procesando los datos obtenidos por los sistemas de navegación como los radares o AIS, y los obtenidos por cámaras.

- Sistema autónomo de navegación: siguiendo una ruta predeterminada a la que se le añade cierto grado de libertad para reaccionar a los cambios de situación que se encuentre durante la navegación.

- Sistema de monitorización y control autónomo del motor: permite obtener la mayor eficiencia energética y prevenir posibles averías.

- Centro de control en tierra: controla y monitoriza el buque. Debe estar formado por un operador que supervise varios buques, un ingeniero encargado de cuestiones técnicas y un equipo de navegación que tomará el control del buque en caso necesario.

2.1.3 USV en el ámbito militar

La tecnología USV presenta grandes beneficios para el desarrollo de operaciones militares. Cada vez más ejércitos incluyen esta tecnología entre sus medios. Israel fue el primer estado en contar con esta tecnología gracias al modelo Protector USV, Ilustración 2-3, desarrollado por la empresa Rafael Advanced Defense Systems [8]. Se trata de un vehículo de combate naval con un alto grado de independencia destinado a cumplir una gran variedad de misiones: seguridad marítima, misiones antiterroristas, medidas contra minas, etc.



Ilustración 2-3 - Protector USV (fuente [8])

El armamento de este USV en sus distintas versiones puede variar desde ametralladoras o lanzagranadas a un lanzador de misil SPYKE o un cañón de agua. Todos ellos son controlados remotamente por el operario junto a la navegación gracias a los distintos sistemas de mando y control que porta el vehículo.

Otro de los buques insignia de los USV en el ámbito militar es el CUSV (Ilustración 2-4) desarrollado por Textron Systems [9]. Se trata de un vehículo desarrollado para los buques de combate litoral de la Marina de los Estados Unidos destinado al cumplimiento de un amplio espectro de misiones como: reconocimiento y vigilancia, inteligencia, relé de comunicaciones, etc. Se trata por tanto de un vehículo con un equipamiento modular. Es autoadrizante, posee la capacidad de establecer comunicaciones vía satélite y cumple el *NATO Standardization Agreement* (STANAG) 4586. Su gran capacidad de carga y su modularidad le permite albergar módulos de inteligencia, vigilancia y reconocimiento, armas no letales, sonar de rastreo lateral o neutralización de minas. Su autonomía puede alcanzar más de 20 horas y es capaz de navegar a más de 20 nudos.



Ilustración 2-4 - CUSV (fuente [9])

En el caso de España, hay que nombrar el programa SIRAMICOR (Sistema de RASTreo de MInas de Influencia por COntrol Remoto) [10]. El programa consiste en un sistema para operaciones de rastreo/explosión de minas formado por vehículos no tripulados capaces de remolcar una rastra de influencia. Para ello, se constituye de 3 subsistemas: Sistemas de control, navegación y comunicaciones (CNC), Rastras y USV. Su funcionamiento se basa en un USV monocasco que remolca las rastras, capaces de emular las firmas acústicas, eléctricas y magnéticas de los buques para así detonar las minas Ilustración 2-5.

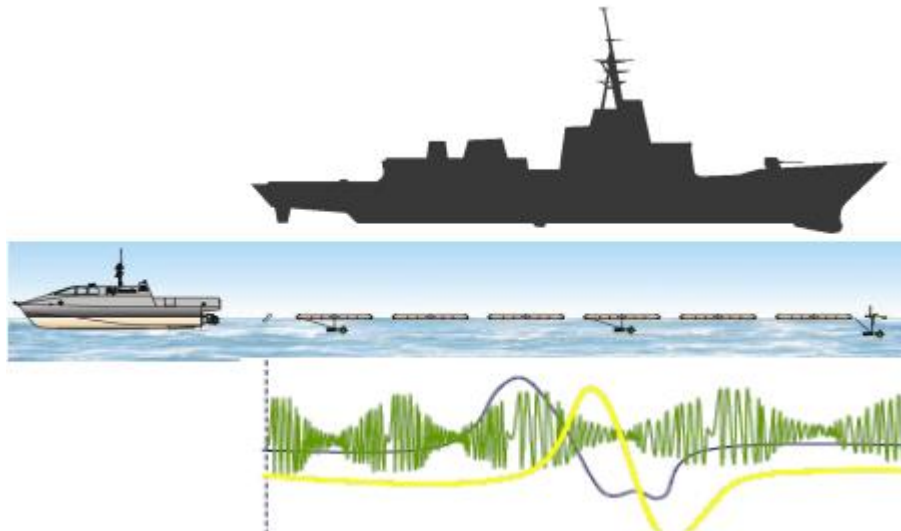


Ilustración 2-5 - Concepto de emulación de firmas (fuente [10])

Todo este proceso deberá ser controlado por el CNC, que debe permitir tanto un control remoto como una programación donde se incluyan rutas de tránsito y rutas de rastreo así como actuaciones en caso de emergencia.

El programa SIRAMICOR fue congelado en 2013 debido a los recortes económicos a la espera de nuevas partidas presupuestarias que permitan continuar con las fases de desarrollo [11].

2.1.4 USV como blanco naval

La versatilidad que ofrece esta tecnología permite que sea utilizada con una gran cantidad de aplicaciones para operaciones navales. Así, la empresa Embetioén ha desarrollado un blanco móvil de superficie, SPAYK USV que puede verse en la Ilustración 2-6.

Con un sistema autónomo que integra un autopiloto equipado con sensores IMU (*Inertial Measurement Unit*, en español unidad de medición inercial) y GPS, siendo capaz de realizar una navegación precisa de rutas autónomas predefinidas. Posee una autonomía de 3 horas y alcanza velocidades de 30 nudos. Es capaz de remolcar un blanco a una distancia de 50 metros que implemente subsistemas compatibles como: amplificadores de radar, generadores de humo, señales visuales, etc.

Gracias a sus sistema de cámaras y sistema de autopiloto Veronte, es capaz de realizar funciones avanzadas como “follow me” o ser controlado remotamente [12].



Ilustración 2-6 - SPAYK USV (fuente [12])

2.2 Acuartelamiento Aéreo de Bárdenas.

2.2.1 Historia

Se crea en 1951 siendo Ministro del Aire el Teniente General Lacalle Larraga tras el arrendamiento del terreno a la Comunidad de Bárdenas Reales de Navarra [13]. En la década de los 70 y al amparo de los acuerdos bilaterales de 1953 con Estados Unidos, la USAF (*United States Air Force*) construye infraestructuras fijas y modernas que bajo el control y supervisión de España, será utilizado por ambas fuerzas aéreas.

En 1983 se produce un atentado de la banda terrorista ETA destruyendo prácticamente la totalidad de las instalaciones del acuartelamiento. Posteriormente, en 1987, es declarado Unidad Independiente y en 1991 se produce la retrocesión de la USAF, por lo que la USAF sólo dará uso a las instalaciones de forma esporádica.

En el año 1992 se remodela el Polígono de Tiro, modernizando las instalaciones, equipos y zonas de blancos con el fin de adecuarlo a las necesidades de adiestramiento de las dotaciones del Ejército del Aire. El 21 de diciembre de 2008 se firma un nuevo acuerdo de arrendamiento para el Campo de Instrucción y Adiestramiento Aéreo de Las Bardenas Reales, Ilustración 2-7, por 20 años más.



Ilustración 2-7 - Campo de Instrucción y Adiestramiento Aéreo de Las Bardenas Reales (fuente [13])

2.2.2 Misión

La misión principal del polígono es la formación de los pilotos de combate del Ejército del Aire en el tiro aire-tierra. Ofrece una capacidad de 100 operaciones diarias, de la que actualmente se utiliza un 20%. El funcionamiento de la unidad depende del trabajo de 100 personas entre las que se encuentran 6 Oficiales, 18 Suboficiales, 74 Militares Profesionales de Tropa y 5 son personal civil [13].

Utilizada normalmente por los F-18 del Ala 12, Torrejón de Ardoz (Madrid), Ala 15, Zaragoza, Ala 46, Gando (Canarias); y los F-5 del Ala 23, Talavera la Real (Badajoz). Es utilizada en ocasiones por los Harrier AV-8B de la 9ª Escuadrilla de la Armada y por aviones de países aliados como los F-16 de la USAF.

El adiestramiento proporcionado para el tiro aire-tierra no es el único que proporciona esta instalación, ya que también se realizan ejercicios de ametrallamiento con cañones de 20 milímetros pertenecientes a los F-18 (Ilustración 2-8). Otros despliegues para adiestramiento que se realizan en el campo de adiestramiento son:

- Ejercicios CSAR de búsqueda y rescate en zona de combate llevados a cabo por los helicópteros Súper Puma del 803 Escuadrón del SAR basados en Cuatro Vientos (Madrid).
- Ejercicios de iluminación de blancos mediante designación láser llevados a cabo por el Escuadrón de Zapadores Paracaidistas (EZAPAC) basados en Alcantarilla (Murcia).
- Ejercicios de despliegue de artillería antiaérea de corto alcance llevados a cabo por la sección SHORAD del EADA (Escuadrón de Apoyo al Despliegue Aéreo), basados en Zaragoza.



Ilustración 2-8 - Blanco para ametrallamiento (fuente [13])

2.2.3 Limitaciones

Debido al armamento de precisión utilizado por la Novena Escuadrilla de la Armada, y a las dimensiones del polígono, la utilización de este solo puede llevarse a cabo en las condiciones de alcance mínimo efectivo de las armas. Esta limitación viene impuesta por la precisión del lanzamiento y la posible zona de caída de la bomba, que es menor cuanto más bajo y cercano al objetivo se realice el lanzamiento. Así, se observa en la Ilustración 2-12, que la torre de control se encuentra dentro de la huella de impacto para una GBU-38 lanzada a máximo alcance ya que la zona de blancos se encuentra a una distancia de 1,35 millas de la torre de control.

En condiciones de lanzamiento limitado a mínimo alcance, Ilustración 2-9, se aprecia como la huella de seguridad, representando por la línea naranja, Ilustración 2-10, que expresa la zona de posible caída queda dentro de la zona de impacto autorizada, representada por las líneas amarillas.

Analysis Report

Route

Route	Route11.j82	Attk Mode	Pre-planned	CUPC Version	4.0.0.2
Variant	J82	Weather	Standard Day	A/C LAR Version	Not Available
Planner	Piloto	Valid	Computed As Planned	LARBB Version	5.4.1.1

Target

Name	Route11.j82 Target	Length	0FT
Latitude	N 42 11.767	Width	0FT
Longitude	W 001 27.333	Height	0FT
Elevation	961FT MSL	Azimuth	000M
Grid	30TXM2751572705	Hardness	Medium
Horizontal TLE	23FT	CE50 (CEP) JAM	22FT
Vertical TLE	23FT	CE50 (CEP) UNJ	16FT
		CE90 JAM	40FT
		CE90 UNJ	29FT

Terminal \ Offset \ Launchpoint

Target Type	Horizontal	OFS Bearing	000M	Latitude	N 42 14.338
Req. Impact Angle	65	OFS Range	0FT	Longitude	W 001 29.795
Actual Impact Angle	65	OFS Elevation	0FT	Altitude	12000FT MSL
Minimum Velocity	500 fps	Vel at Target	868 fps		
Req. Impact Heading	145M	TOR	16:53:23	Speed	420T
Actual Impact Heading	145M	TOF	00:00:32	Heading	145M
Fuze Type	FMU-139/DSU33	TOT	16:53:55	FPA	-10
Fuze Delay	0 msec	Cross Range	-46M	Down Range	5842M
Fuze Arm	10 sec				

Ilustración 2-9 - Condiciones lanzamiento a mínimo alcance (fuente [1])

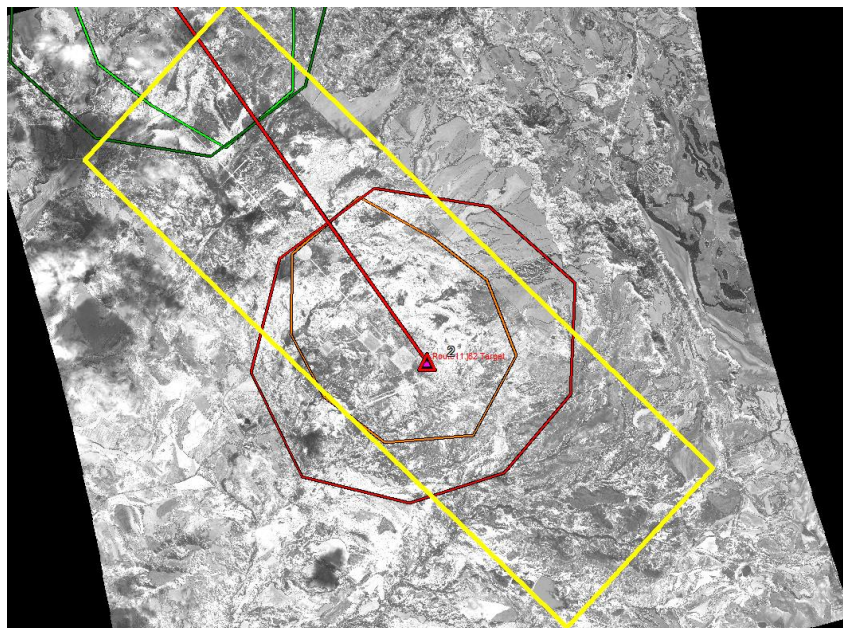


Ilustración 2-10 - Impacto en condiciones de lanzamiento a mínimo alcance (fuente [1])

En el caso del lanzamiento a máximo alcance, Ilustración 2-11, se aprecia como la huella de caída es mayor y queda fuera de los límites autorizados, Ilustración 2-12.

Analysis Report					
Route					
Route	Route 1.j82				
Variant	J82	Attck Mode	Pre-planned	CUPC Version	4.0.0.2
Planner	Piloto	Weather	Standard Day	A/C LAR Version	Not Available
		Valid	Computed As Planned	LARBB Version	5.4.1.1
Target					
Name	Route 1.j82 Target			Length	0FT
Latitude	N 42 11.77			Width	0FT
Longitude	W 001 27.33			Height	0FT
Elevation	961FT MSL			Azimuth	000M
Grid	30TXM2751672706			Hardness	Medium
Horizontal TLE	23FT			CE50 (CEP) JAM	39FT
Vertical TLE	23FT			CE50 (CEP) UNJ	14FT
				CE90 JAM	70FT
				CE90 UNJ	26FT
Terminal \ Offset \ Launchpoint					
Target Type	Horizontal	OFS Bearing	000M	Latitude	N 42 16.58
Req. Impact Angle	85	OFS Range	0FT	Longitude	W 001 33.46
Actual Impact Angle	85	OFS Elevation	0FT	Altitude	30000FT MSL
Minimum Velocity	500 fps	Vel at Target	1110 fps		
Req. Impact Heading	137M	TOR	10:36:09	Speed	480T
Actual Impact Heading	137M	TOF	00:01:03	Heading	137M
Fuze Type	FMU-139	TOT	10:37:12	FPA	0
Fuze Delay	0 msec	Cross Range	-89M	Down Range	12269M
Fuze Arm	10 sec				

Ilustración 2-11 - Condiciones de lanzamiento a máximo alcance (fuente [1])

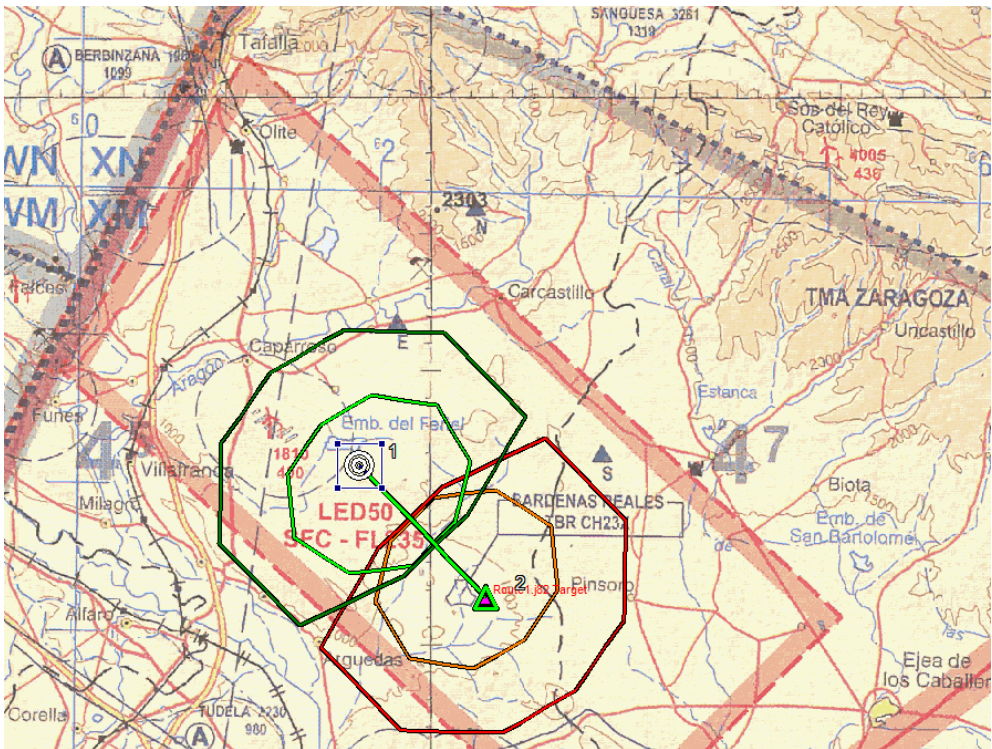


Ilustración 2-12 - Impacto en condiciones de lanzamiento a máximo alcance (fuente [1])

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Blanco de alta RCS

3.1.1 Reflectores en esquina

Un reflector en esquina es un elemento metálico pasivo que al ser iluminado por una onda electromagnética, la refleja con una intensidad función de la estructura. Los reflectores en esquina se parametrizan en función de su RCS (*Radar Cross Section*), dato que nos permite conocer la reflectividad del reflector al ser iluminado por una onda electromagnética.

Existen varios modelos de reflector en esquina que difieren en diseño tanto en el número de caras (diedros, triedros, etc.), como en las formas de éstas (rectangulares, triangulares, semiésfericas, etc.). Como se aprecia en la Ilustración 3-1, cada uno de los distintos diseños poseerá una reflectividad distinta.

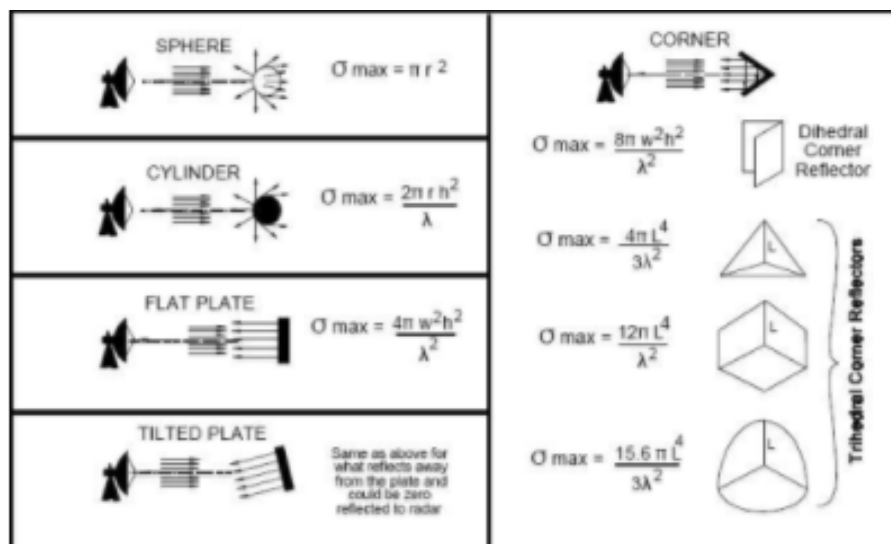


Ilustración 3-1 - Geometría y reflectividad de los Corner Reflector (fuente [14])

El diseño más utilizado actualmente es el triedro de caras triangulares ya que es el más insensible a errores de apuntamiento, por lo que será el diseño elegido para la realización de este proyecto. Su diseño se basa en los siguientes parámetros:

-Ángulo de elevación (theta, θ): como el formado entre el eje +z y la dirección de incidencia.

-Ángulo de Azimuth (ϕ , Φ) como el formado entre el eje +x y la proyección de la dirección de incidencia sobre el plano XY.

-Longitud de la Arista (l).

La utilización de los reflectores en esquina está ampliamente extendida y son utilizados en multitud de aplicaciones, entre las que destacan la calibración de sistemas Radar o el proceso de georreferenciación en sistemas SAR (*Synthetic Aperture Radar*) [15]. En el ámbito naval son utilizados por embarcaciones de pequeño tamaño y materiales poco reflectivos como la fibra de vidrio para así ser detectados por los radares de otras embarcaciones.

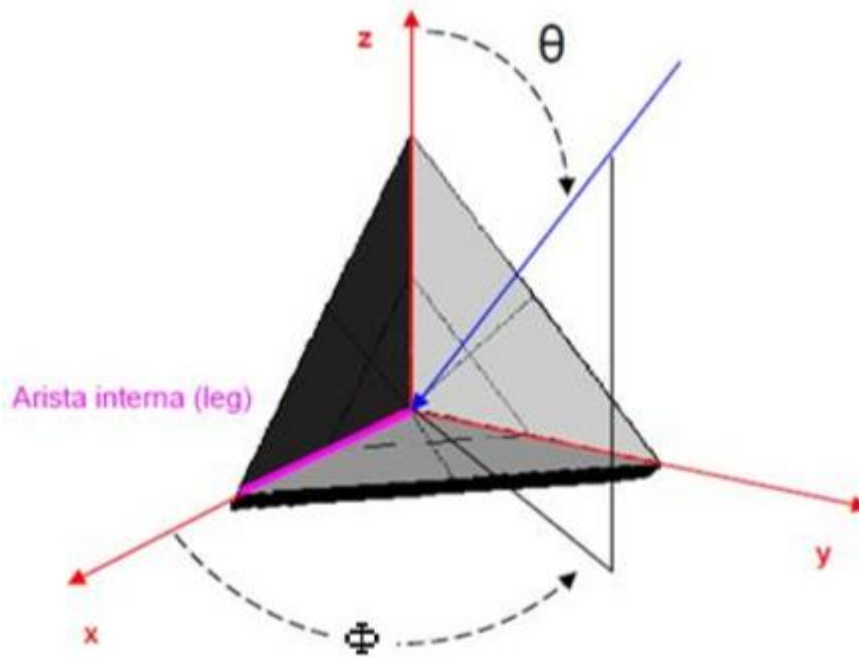


Ilustración 3-2 - Esquema Corner Reflector con forma de triedro [15]

La RCS de un reflector en esquina con forma de triedro puede ser calculada mediante la siguiente ecuación [16]:

$$\sigma(\theta, \phi) \approx \frac{4\pi}{\lambda^2} l^4 [\cos \theta + \sin \theta (\sin \phi + \cos \phi) - 2[\cos \theta + \sin \theta (\sin \phi + \cos \phi)]^{-1}]^2$$

Esta fórmula es una simple aproximación y, en general, será necesario la utilización de herramientas de simulación electromagnética como POFACETS para alcanzar un resultado más exacto.

3.1.2 Radar Cross Section (RCS)

La RCS es el ratio entre la intensidad de la señal que refleja un blanco y la que reflejaría una esfera de 1m² de área de sección transversal. Ilustración 3-3.

La RCS de la esfera tiene un comportamiento isótropo, es decir, refleja la radiación incidente de igual forma en todas las direcciones. Su valor es [15]:

$$\sigma_{esfera} = \pi r^2$$

$$\sigma_{\text{objetivo}} = \frac{\sigma_{\text{Intensidad reflejada del objetivo}}}{\sigma_{\text{esfera}}}$$

$$RCS_{\text{objetivo}} = 10 \log \sigma_{\text{objetivo}} \text{ (dBms)}$$

Ecuación 1: RCSobjetivo

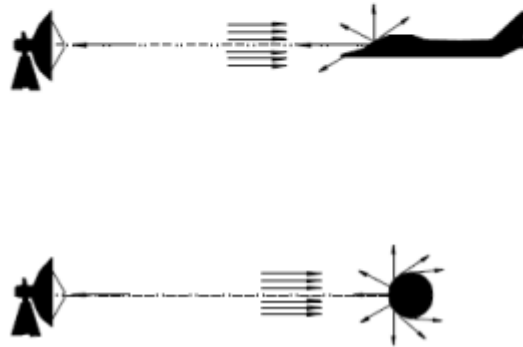


Ilustración 3-3 - Concepto RCS (fuente [15])

La RCS de un blanco depende en gran medida de la frecuencia de trabajo, llegándose a distinguir tres zonas de trabajo: zona de baja frecuencia o zona Rayleigh, región de resonancia o zona Mie y región de alta frecuencia o Zona óptica. Ilustración 3-4.

-Zona Rayleigh: en esta zona de trabajo, el tamaño del objeto es pequeño en comparación con la longitud de onda. Por lo que si la longitud del blanco es L , entonces $kL \ll 1$ donde K se define como:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Siendo λ la longitud de onda. En esta región la forma del objeto no es importante y los cuerpos tienden a comportarse de forma isotrópica.

-Zona de Resonancia: en esta zona de trabajo, $kL \approx 1$. La corriente inducida en el blanco varía en fase a lo largo del objeto y la RCS oscila con la frecuencia.

-Zona óptica: el tamaño del objeto es grande en comparación con la longitud de onda, es decir, $kL \gg 1$. Esta zona, que es en la que se ha diseñado en el reflector en esquina de este trabajo, se caracteriza por su alta dependencia con el ángulo de incidencia [16].

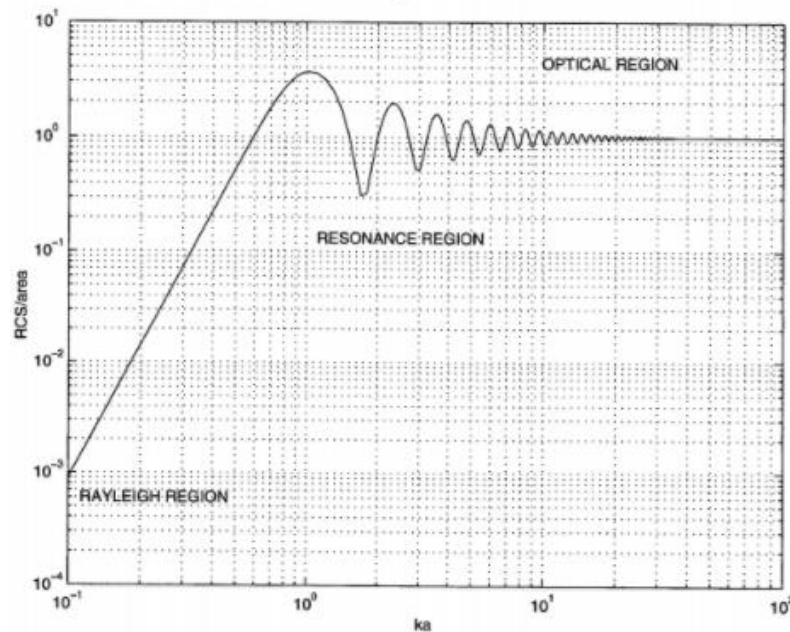


Ilustración 3-4 - RCS de una esfera en función de la zona de trabajo (fuente [16])

3.2 Plataforma Naval

3.2.1 Flotabilidad.

El principio de Arquímedes nos indica que todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo. A raíz de este enunciado, y puesto que el peso es igual a la masa de un objeto multiplicada por la gravedad, podremos determinar que la fuerza de empuje que experimenta un cuerpo en el agua será igual al volumen sumergido de este, multiplicado por la densidad del agua y por la gravedad. Así:

$$E = V \times \rho \times g$$

Donde E es el empuje que experimenta el cuerpo, V el volumen sumergido, ρ la densidad del fluido en el que se sumerge y g la constante de gravedad en la Tierra.

Así, se llega a la conclusión que un cuerpo flotará cuando:

$$E = P$$

Donde P es el peso del objeto, siendo este:

$$P = m \times g$$

En lo que se refiere al diseño naval, es necesario incluir el término de desplazamiento, D, que se define como el volumen de objeto sumergido por la densidad del agua.

$$D = V \times \rho$$

3.2.2 Estabilidad

Se define estabilidad de un buque con la tendencia del mismo a recuperar su posición de equilibrio cuando ha sido separado de ella. [17]

Es necesario para el estudio de la estabilidad conocer los conceptos de centro de carena y centro de gravedad.

Centro de carena: se conoce como centro de carena o centro de presión “B” al punto donde la fuerza de empuje del agua desalojada por la carena actúa, situándose este en el centro geométrico del

volumen sumergido. Cuando un buque se balancea el centro de carena describirá una curva para cada calado cuya forma dependerá de la propia forma del buque.

Centro de gravedad: es el punto “G” donde se considera aplicado el peso del buque y la carga que contiene. Cuando el buque está adrizado el centro de gravedad se encuentra en crujía. No coincide con el centro geométrico del volumen total del buque y suele situarse sobre el centro de carena. No varía con el movimiento del buque. Ilustración 3-5.

Cuando un buque se encuentra en equilibrio, sobre aguas tranquilas, el centro de carena y el centro de gravedad se encuentran en la misma vertical, anulándose los efectos de la fuerza aplicados en ellos.

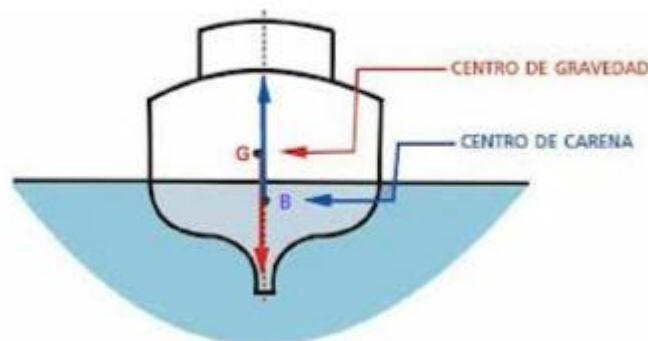


Ilustración 3-5 - Representación del centro de gravedad y centro de carena (fuente [17])

Cuando el buque escora, este equilibrio de fuerzas se ve alterado, ya que el centro de carena se ve desplazado y las líneas de acción de la fuerza de empuje y del peso del buque se separen. Si el buque es capaz de volver a su posición de equilibrio cuando cesa la acción perturbadora es estable, mientras que por el contrario si el buque continúa escorándose hasta dar la vuelta es inestable. Esta capacidad de volver a su posición de origen es causada por el momento generado por las fuerzas de empuje y del peso, conocido como “Par de adrizamiento” cuyo brazo (distancia entre las dos) se denomina “Brazo adrizante”. Ilustración 3-6.

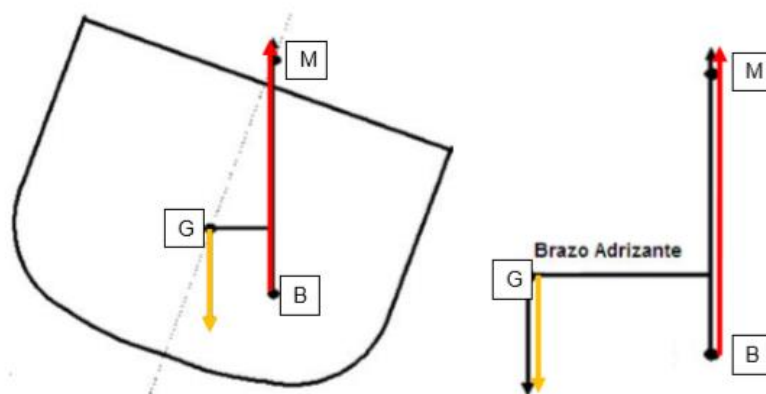


Ilustración 3-6 - Par de fuerzas y brazo adrizante (fuente [17])

El momento de adrizamiento vendrá dado por el producto de una de las fuerzas por la separación que existe entre ambas.

$$M_{to\ AD} = W \cdot GZ$$

En el momento en el que el buque se escora, el centro de carena debe estar situado fuera de la vertical de G, apareciendo en ese momento el par de adrizamiento, y por tanto, el buque es estable. Si por el contrario, el centro de carena se encuentra entre la línea vertical del centro de gravedad y la línea de crujía aparece un par escorante. Ilustración 3-7.

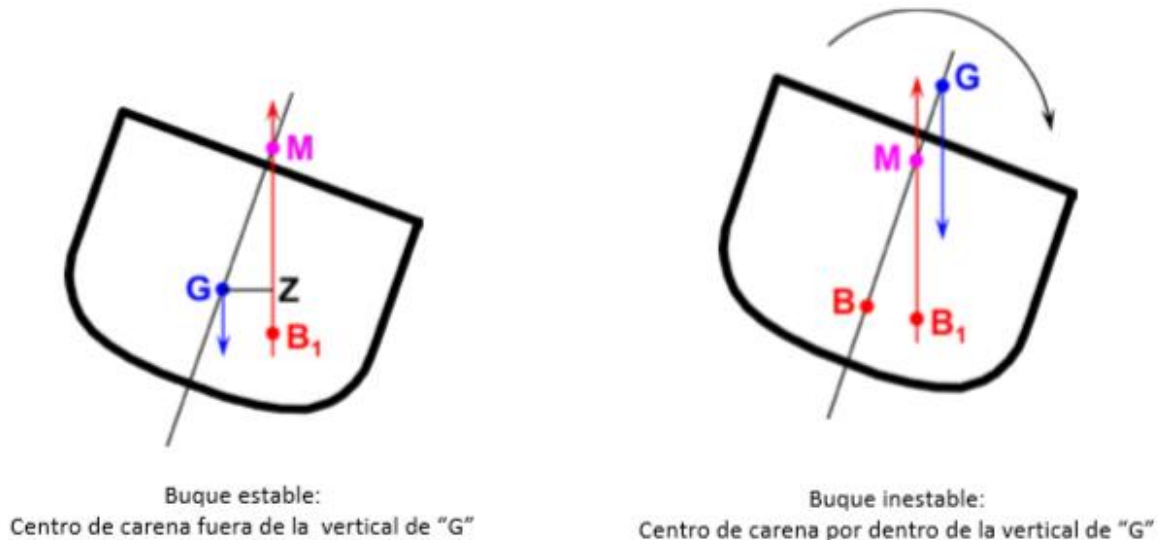


Ilustración 3-7 - Situación de estabilidad e inestabilidad (fuente [17])

Se conoce como estabilidad inicial cuando los buques tienden a adrizarse por si mismo en situaciones en la que la escora es pequeña, hasta 10° . El desplazamiento del centro de carena es una trayectoria curva, que da lugar a la existencia de un punto geométrico instantáneo, conocido como Metacentro, definido como el punto de intersección de dos líneas de acción sucesivas de la fuerza de empuje al escorar el buque un ángulo muy reducido a desplazamiento constante, o como el centro de curvatura del lugar geométrico de los centro de carena para escoras próximas entre sí, a desplazamiento constante. La trayectoria descrita por los distintos metacentros instantáneos recibe el nombre de evoluta metacéntrica. Ilustración 3-8.

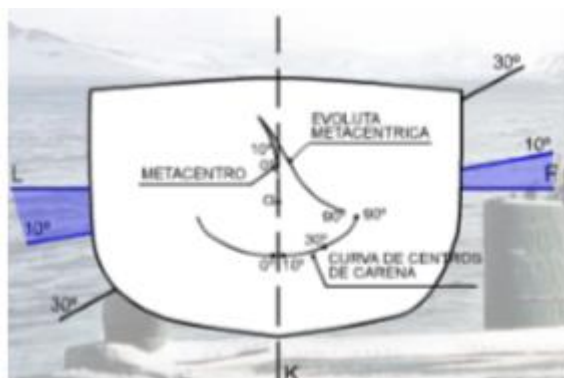


Ilustración 3-8 - Metacentro, evoluta metacéntrica y curva de centros de carena (fuente [17])

En la mayoría de los buques la variación de la posición del metacentro para escoras comprendidas entre 7 y 10 grados es muy pequeña y este se encuentra muy próximo a la línea de crujía, por lo que se considera un punto fijo "M", siempre para desplazamientos constantes. La distancia entre el centro de carena y el metacentro se denomina radio metacéntrico "BM". En el caso de hablar de la distancia entre el centro de gravedad y el metacentro, se determina la altura metacéntrica "GM".

En el caso en el que el ángulo de escora “ θ ” sea muy pequeño, se formará un triángulo rectángulo GZM, Ilustración 3-9, en el que la relación entre GZ y GM viene definida por:

$$GZ = GM \text{ sen } \theta$$

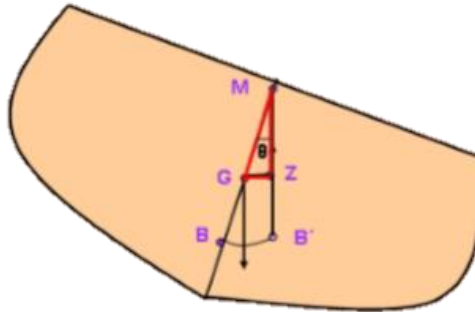


Ilustración 3-9 - Situación de equilibrio en ángulos de poca escora (fuente [17])

Dado que el momento de adrizamiento se define por:

$$M_{to AD} = W \times GZ$$

Se obtiene que:

$$M_{to AD} = W \times GM \text{ sen } \theta$$

Se establece por tanto que cuando el metacentro se encuentre por encima del centro de gravedad, GM será positivo, el buque tenderá a mantenerse adrizado gracias a la existencia de los momentos adrizantes.

Si por el contrario, es el centro de gravedad el que se encuentra por encima del metacentro, GM es negativo, y ante una mínima perturbación el buque dejara de flotar adrizado por la aparición de momentos escorantes. De igual manera que se ha establecido un metacentro para la estabilidad transversal, existe un metacentro longitudinal para los valores de escora longitudinales, sin embargo, y debido a que la eslora suele ser mucho mayor que la manga de un buque, la estabilidad crítica de un buque será la estabilidad transversal.

El uso del valor de GM como factor determinante de la estabilidad solo debe utilizarse en pequeños ángulos de escora, es decir, en la situación de estabilidad inicial.

La distancia entre el metacentro transversal y el centro de carena se denomina radio metacéntrico transversal. Este radio se calcula mediante la siguiente formula:

$$BM = \frac{I}{V}$$

I = Momento de inercia de la superficie de la flotación con respecto a la línea de crujía del buque.

V = Volumen de carena.

Para el cálculo del momento de inercia de la superficie de flotación se divide la superficie en pequeños rectángulos para posteriormente calcular el momento de inercia de cada uno de ellos. Ilustración 3-10.

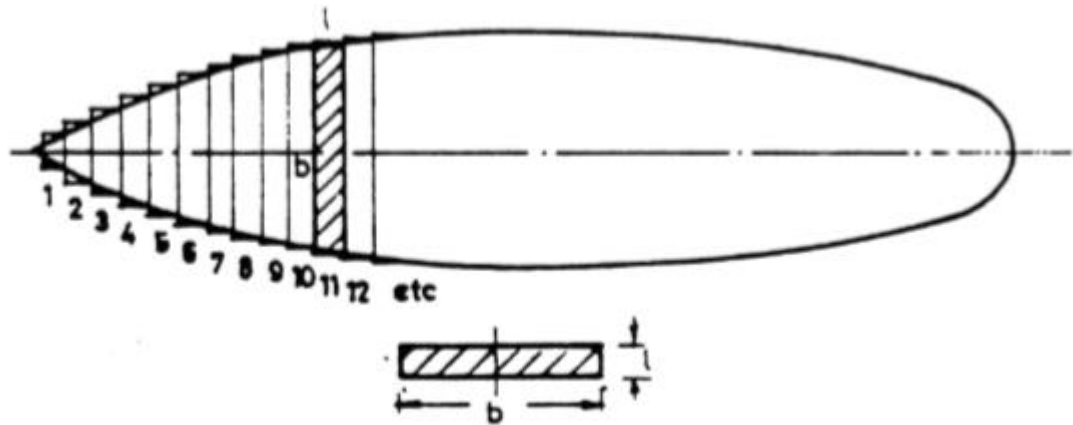


Ilustración 3-10 - División de superficie para cálculo de momentos de inercia (fuente [17])

$$i = \frac{b^3 l}{12}$$

En la que: i = Es el momento de inercia de cada uno de los rectángulos.

b = Manga de los rectángulos.

l = Eslora de los mismos.

Con el cálculo de los momentos de inercia parciales, solo resta integrar para obtener el momento de inercia total " I ", y el radio metacéntrico.

$$BM = \int \frac{i}{V}$$

3.2.3 Curvas hidrostáticas

Las curvas hidrostáticas permiten estimar el comportamiento de un buque, en función de su casco, lo que permite aproximar como se comportará un buque en función de su calado independientemente de su obra muerta. Son curvas que dependen por tanto de la geometría del casco y que poseen como punto de partida el calado, es decir, el desplazamiento que posea el buque en cada circunstancia. [18]

Dentro de las curvas hidrostáticas, podemos destacar:

-Curvas de atributos de carena derecha: son calculadas en condición de buque adrizado. De ella podemos obtener una gran cantidad de información como se aprecia en Ilustración 3-11.

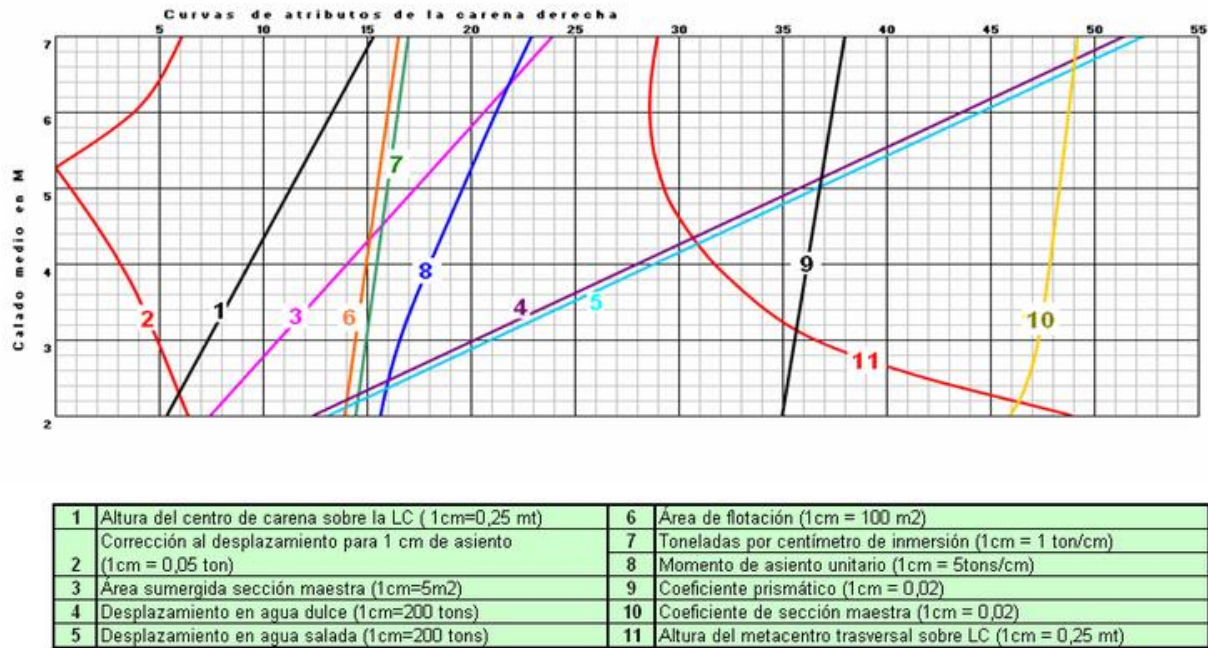


Ilustración 3-11 - Curva de atributo de carena recta (fuente [17])

-Curvas cruzadas: contienen la proyección de un gráfico tridimensional (Ilustración 3-12) que indica el valor del Brazo de adrizamiento GZ (o KN) en función del desplazamiento y del ángulo de escora. Para la realización de estos gráficos se debe establecer un centro de gravedad fijo. Esta gráfica permitirá por tanto, obtener una curva de estabilidad estática inicial para diferentes desplazamientos.

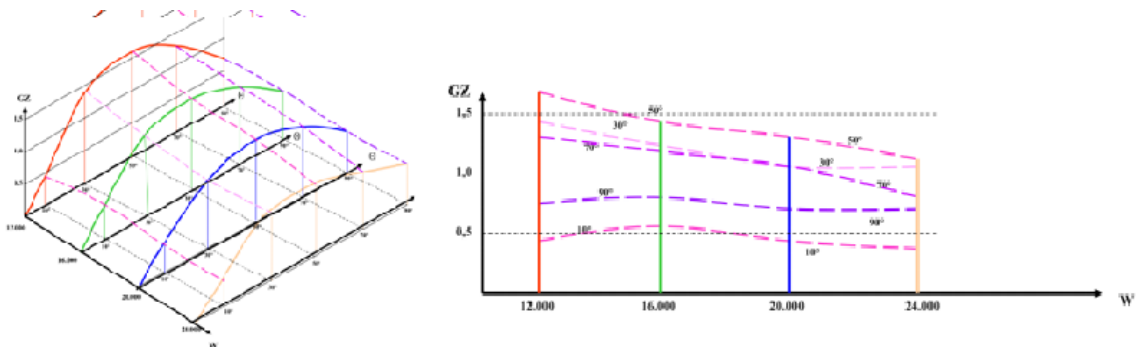


Ilustración 3-12 - Representación tridimensional y gráfico de curvas cruzadas (fuente [18])

-Curvas de momentos adrizantes y brazos de adrizamiento: este gráfico se utiliza para conocer la estabilidad del buque en situación de grandes escoras. Así, nos proporcionan los brazos de adrizamiento y momentos adrizantes en una situación de carga determinada. Son el mejor método para presentar una representación de la estabilidad para un desplazamiento específico. Este tipo de curvas nos proporciona el valor de momento o brazo de adrizamiento en función del ángulo de escora y para variar de la curva de brazos de adrizamiento a la curva de momentos adrizantes basta con cambiar la escala del eje de ordenadas al multiplicar los brazos por el desplazamiento. Normalmente, la curva de brazos de adrizamiento es la empleada para realizar la medida de la estabilidad ya que se obtienen directamente de las curvas transversales de estabilidad. De esta curva de estabilidad estática, podremos obtener la estabilidad inicial, el máximo brazo o momento de adrizamiento, el ángulo correspondiente al máximo brazo o momento de adrizamiento, así como el margen de estabilidad y la estabilidad dinámica total. Ilustración 3-13.



Ilustración 3-13 - Curva de brazos de adrizamiento (fuente [17])

3.2.4 Método Slender-Body

Este método [19] es utilizado para calcular la potencia que debe aplicarse a un cuerpo sumergido en un fluido para alcanzar una velocidad determinada, así como la resistencia al avance ejercida por el fluido. Es un método que asume el casco como esbelto, es decir, posee una relación eslora manga elevada. Es por tanto el método más indicado para embarcaciones tipo catamarán.

3.3 Análisis de esfuerzos en la estructura

Para llevar a cabo el análisis de los esfuerzos sufridos por la estructura y la viabilidad de construcción se utiliza el método de elementos finitos [20] a través del programa Siemens NX. Es un método de aproximación de problemas continuos, de forma que:

- El cuerpo continuo se divide en un número finito de partes, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a unos puntos característicos denominados “nodos”.

- La resolución del conjunto sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo se forma por ensamblaje de los elementos.

- Las incógnitas del problema pasan a ser el valor de las funciones en los nodos en lugar de funciones matemáticas.

- El comportamiento en el interior de cada elemento se define por tanto a partir del comportamiento de los nodos gracias a las funciones de interpolación o funciones de forma.

El FEM o MEF se basa por tanto en la transformación de un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discretizado aproximado, mediante lo denominado como discretización del modelo. A través de la interpolación de los valores conocidos de los nodos se obtiene el resultado de lo contenido en el interior del modelo. Es por tanto, una aproximación basada en el conocimiento de un número determinado y finito de puntos.

4 DISEÑO DEL USV

4.1 Diseño de la estructura de alta RCS

En primer lugar, se debe conocer la frecuencia o margen de frecuencias con la que se trabaja. El blanco de alta RCS se empleará como blanco de tiro para el adiestramiento Aire-Tierra de la 9ª Escuadrilla de la Flotilla de Aeronaves de la Armada Española. Esta Escuadrilla, está formada por los aviones Harrier AV-8B Plus, dotados con un radar AN/APG-65. Se trata de un radar que opera en la banda X de frecuencias (8-12.5 GHz). El análisis de la reflectividad del blanco radar se realizará para la frecuencia central de la banda, 9 GHz, y dentro de la zona óptica de trabajo tal y como se describe en el apartado 3.1.

Una vez conocida la frecuencia de trabajo, es necesario conocer los ángulos de incidencia de la emisión radar sobre el reflector. En lo que se refiere a azimut, nos encontramos con una necesidad de trabajo en los 360°, mientras que en la elevación, debe estudiarse las condiciones en las que se realizará el enganche del blanco. Para ello, se determina la altura de vuelo del avión gracias a las condiciones de lanzamiento a máximo alcance reflejadas en la Ilustración 1-1, y la distancia de enganche gracias a la información proporcionada por los pilotos de la Escuadrilla.

Altura de vuelo (H): 30000ft. (9144m)

Distancia de enganche (D): 15 millas (27780m)

$$\tan \alpha = \frac{H}{D} = \frac{9144}{27780} = 0.32915 \quad \arctan 0.32915 \approx 18^\circ$$

Se establece por tanto el ángulo de incidencia principal en 18 grados.

En lo que respecta a la RCS, su valor deberá asimilarse al de un buque tipo patrullero, es decir, un buque con una eslora en torno a 50 metros. Gracias a la Ilustración 4-1, se determina que el valor de la RCS debe alcanzar los 1000 m² (30 dBsm).

Target Ship			Median radar cross section of target vessel, m ²										approx. min. RCS	approx. max. RCS
Type	Overall length (m)	Gross tonnage	10	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000					
Inshore fishing vessel	9	5	■										3	10
Small coaster	40-46	200-250		■	■								20	800
Coaster	55	500		■	■								40	2.000
Coaster	55	500			■	■							300	4.000
Coaster	57	500				■	■						1.000	16.000
Large Coaster	67	836-1.000				■	■						1.000	5.000
Collier	73	1.570			■	■							300	2.000
Warship (frigate)	103	2000*				■	■						5.000	100.000
Cargo liner	114	5.000				■	■						10.000	16.000
Cargo liner	137	8.000				■	■						4.000	16.000
Bulk carrier	167	8.200			■	■	■						400	10.000
Cargo	153	9.400				■	■						1.600	12.500
Cargo	166	10.430			■	■	■						400	16.000
Bulk carrier	198	15.000-20.000			■	■	■						1.000	32.000
Ore carrier	206	25.400				■	■						2.000	25.000
Container carrier	212	26436**				■	■						10.000	80.000
Medium tanker	213-229	30.000-35.000				■	■						5.000	80.000
Medium tanker	251	44.700				■	■						16.000	1.600.000

Ilustración 4-1 - RCS media de barcos (fuente [21])

Una vez parametrizadas la frecuencia de trabajo, los ángulos de incidencia y la RCS necesaria, así como la forma triangular de las caras reflector en esquina, debido a que esta geometría se caracteriza por ser la más insensible a los errores de apuntamiento tal y como se determina en el apartado 3.1.1, se hace uso de la herramienta POFACETS para el diseño y simulación del reflector en esquina. Para ello se utiliza la opción de diseño manual, que sigue los siguientes pasos:

-1º Se establecen los vértices que van a constituir las distintas caras del reflector en esquina. Ilustración 4-2.

Ilustración 4-2 - Posicionamiento de vértices

-2º Se conforman las caras del cuerpo, a raíz de los vértices establecidos anteriormente, así como su capacidad para reflejar radiación electromagnética en los 360º. Ilustración 4-3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	2	6	0	0								
2	2	3	6	0	0								
3	3	4	6	0	0								
4	4	1	6	0	0								
5	5	1	6	0	0								
6	5	2	6	0	0								
7	5	3	6	0	0								
8	5	4	6	0	0								
9	7	5	6	0	0								
10	8	5	6	0	0								
11	9	5	6	0	0								
12	10	5	6	0	0								

Ilustración 4-3 - Formación de caras

-3º Se comprueba el diseño geométrico. Ilustración 4-4.

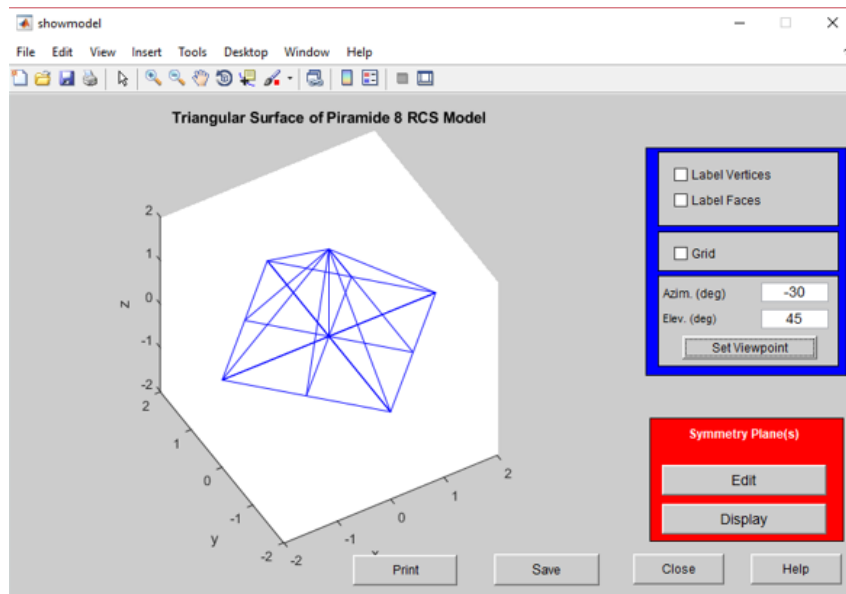


Ilustración 4-4 - Comprobación de geometría

-4º Por último, se establecen los materiales y grosor de estos. Ilustración 4-5. Para este proyecto se escoge aluminio con espesor de 1.5 mm, que corresponde con el material empleado en la construcción tanto del blanco RCS como de la plataforma naval.

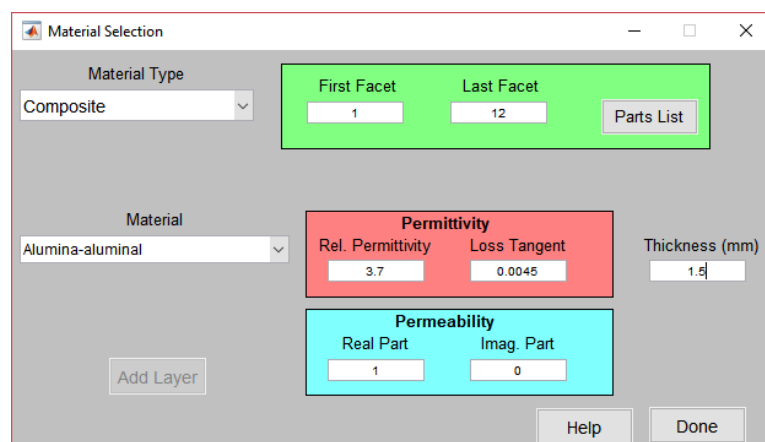


Ilustración 4-5 - Parametrización del material

Una vez establecida la geometría del blanco RCS, es necesario incluir en la herramienta POFACTS las condiciones de la simulación. Para este caso, se debe realizar un análisis monoestático mediante Calculate Monostatic RCS, ya que emisor y receptor se encuentran en el mismo punto. En

esta opción, el programa permite fijar el ángulo o la frecuencia. Se fija entonces la frecuencia en 9 GHz y se comienza la definición de la variación en ángulos. Ilustración 4-6.

Ilustración 4-6 - Parametrización de los ángulos para simulación

Una vez llegados a este punto, se introduce la frecuencia fija, así como la existencia de un plano de tierra XY, dado que nos encontramos a nivel de superficie en el mar, para posteriormente realizar dos simulaciones, una que varíe el azimut, fijando la elevación en 18 grados, Ilustración 4-7 - Simulación RCS elevación fija, y otra que fijando el azimut en la dirección de máxima reflexión, 0°, varíe su elevación de 0 a 20 grados. Ilustración 4-8.

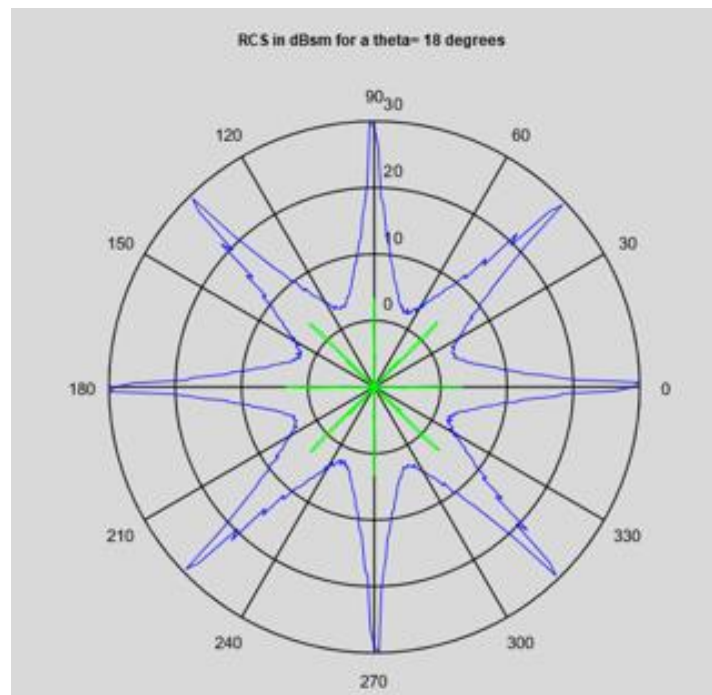


Ilustración 4-7 - Simulación RCS elevación fija

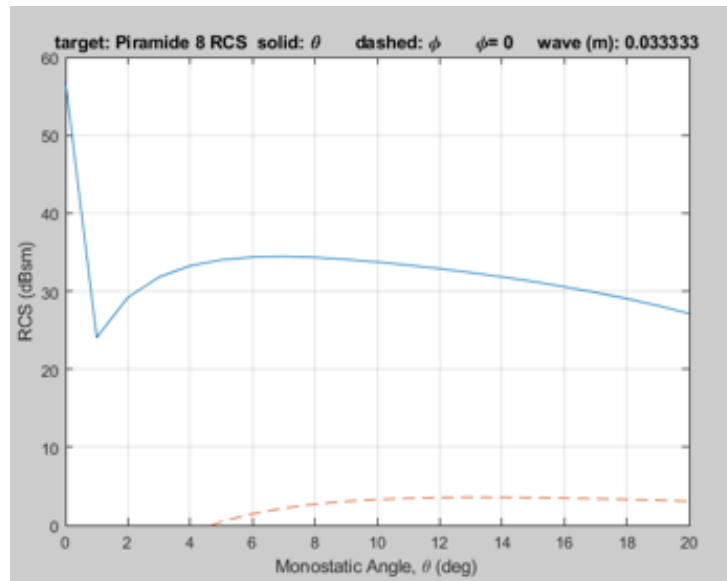


Ilustración 4-8 - Simulación RCS azimuth fijo

Se establece por tanto un reflector en esquina constituido por una pirámide de base cuadrada con 2 metros de longitud de lado y 2 metros de altura, formada por 8 caras triangulares separadas entre sí 45° y que proporciona una RCS aproximada de 30 dBsm en 8 direcciones principales.

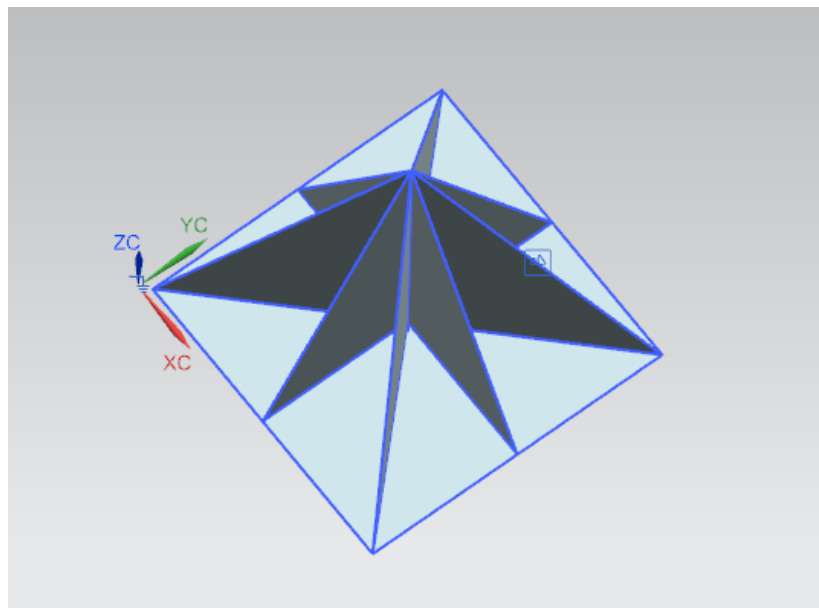


Ilustración 4-9 - Reflector en esquina

4.2 Diseño de la plataforma naval

Para el diseño de la plataforma naval, primero debe determinarse que tipo de buque se va a diseñar. A raíz de las condiciones establecidas por la Flotilla de Aeronaves se establece que la plataforma idónea es un buque multicasco tipo catamarán, ya que, este tipo de buques necesita una menor cantidad de material en la fabricación de su casco; al poseer dos cascos separados, el impacto en uno de ellos no influirá en el otro y permitirá a la embarcación mantener la flotabilidad en caso que las dimensiones de cada patín así la aseguran; y por último, un barco tipo catamarán posee una gran estabilidad transversal gracias a la manga que ofrece con los dos cascos separados sin la penalización que sufriría un monocasco a la hora de necesitar aumentar la eslora.

Una vez establecido el tipo de barco a construir, será necesario parametrizar la eslora y la manga de buque. La manga viene determinada por el blanco de alta RCS, así, y gracias a los cálculos realizados en el apartado 4.1, se determina una manga con una longitud aproximada de 2 metros. En lo que respecta a la eslora, se realiza un estudio de catamaranes comerciales con una manga en torno a 2 metros, como el Hobie Miracle 20, que nos permite aproximar la medida de una eslora que asegure la estabilidad longitudinal. Se obtiene así, una medida de eslora similar a 6 metros.

Para la construcción de ambos cascos se utilizara planchas de aluminio de 1.5 mm de espesor en la aleación Magnealtok 45 – EN AW 5083, la cual esta específicamente indicada para construcción naval [22]. Estas planchas serán utilizadas a su vez para la construcción del reflector en esquina.

Una vez establecido el material de construcción y las medidas aproximadas del buque, comienza la fase de diseño a través de Siemens NX.

En primer lugar, se diseña la estructura responsable de portar el reflector en esquina así como de mantener unidos los patines del catamarán. Esta estructura estará formada por perfiles modulares Aluskit pertenecientes a la empresa Alu-Stock. Mas concretamente, por perfiles cuadrados de la serie 30 con 4 canales que se extruyen en la aleación AW 6106 (Tabla 4-1). Estos perfiles han sido seleccionados gracias a la modularidad y facilidad de instalación que ofrecen, por su bajo precio, y por tratarse de una empresa nacional con capacidad de distribución a todos los arsenales de la Armada Española ubicados en la Península [23].

Límite Elástico Rp 0,2 (MPa)	Carga de Rotura Rm (MPa)	Carga de Rotura a cizalladura Rg (MPa)	Alargamiento a la rotura A5 (%)	Dureza HB
190	225	140	14	75

Tabla 4-1 - Propiedades perfiles rauurados de aluminio (fuente [21])

Así, la estructura resultante, Ilustración 4-10, es una estructura cuadrada de 2 metros de lado formada por dos perfiles longitudinales responsables de unir la estructura a los patines y 4 perfiles transversales, responsables de proporcionar la robustez necesaria a la estructura así como de unir ambos patines. La unión de los perfiles con los patines y el reflector en esquina se realizará mediante soldadura TIG. Esta soldadura, es la recomendada por el fabricante tanto para los perfiles como para las planchas de aluminio utilizadas en los patines y el reflector en esquina por lo que la unión de los distintos componentes de estos se realizará mediante el mismo proceso. En el caso de la unión entre los distintos perfiles, se llevará a cabo con los elementos de unión proporcionados por el propio fabricante, en este caso, mediante escuadras de aluminio extruido de 90x90 con 4 agujeros y tornillería Allen M8x20.

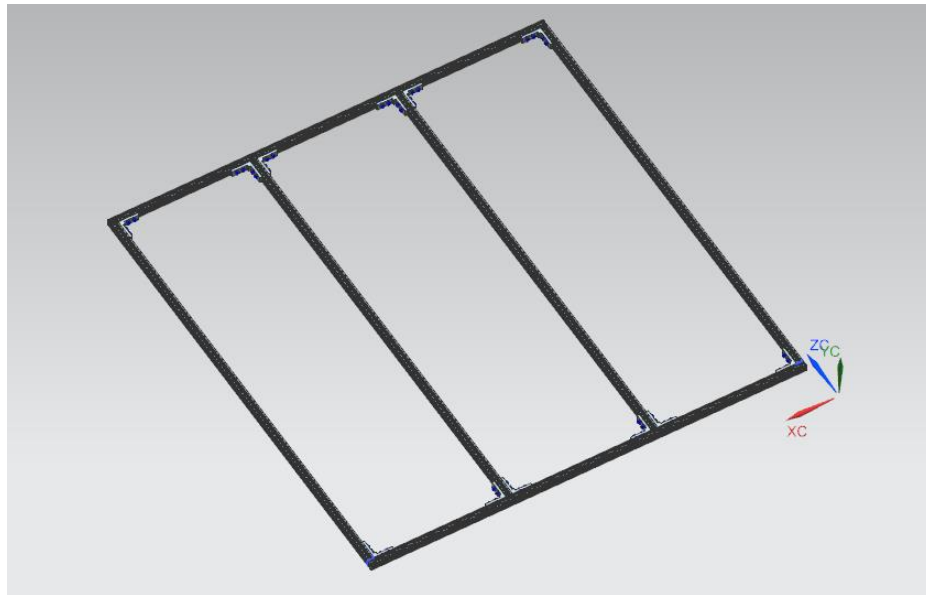


Ilustración 4-10 - Estructura de perfiles ranurados

Una vez determinada la estructura de perfiles, se continúa con el diseño de los patines del vehículo autónomo. Dichos patines poseen una estructura formada por cuadernas de planchas de aluminio a lo largo de toda la eslora, lo que proporciona la rigidez necesaria a los patines para soportar tanto el peso de la estructura del reflector en esquina como para soportar el peso de su propia estructura a la hora de ser izado y arriado. Esta estructura de cuadernas, Ilustración 4-11, no sólo proporciona rigidez sino que a su vez crea secciones estancas dentro de los patines por lo que, en caso de ser alcanzados por metralla, éstos pueden mantener la flotabilidad. Así, y como se refleja en el Anexo VI: planos, se obtiene un buque de 6.165 metros de eslora y 2.220 metros de manga.

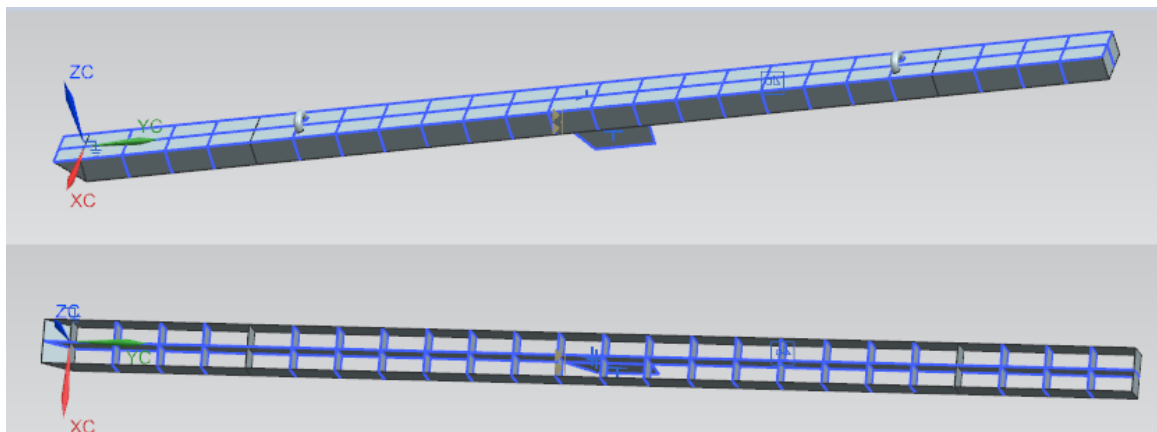


Ilustración 4-11 - Patín y estructura de cuadernas

Por último, es necesario asegurar la viabilidad de izado y arriado del vehículo. Para ello, se colocan unos anclajes constituidos por 4 codos de 180° en aluminio 5083, y que se unirán a sus respectivos patines mediante soldadura TIG. El medio de izado y arriado estudiado es la grúa GH 230 instalada en los BAM. Esta grúa, Ilustración 4-12, es la suministrada por la Factoría Naval de Puerto Real de Navantia [24] a los Buques de Acción Marítima. Está diseñada para servir a botes auxiliares, realizar operaciones de movimiento de cargas en puerto, ayudar en operaciones de mantenimiento del helicóptero, y permite levantar y descender cargas de hasta 2 toneladas.

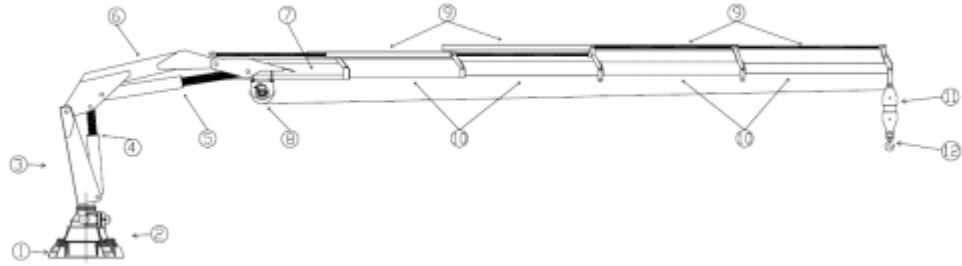


Ilustración 4-12 - GH 230 (fuente [24])

Nº	Componente	Nº	Componente
1	Base	7	2º brazo
2	Sistema de giro	8	Winche
3	Columna	9	Extensiones cilindros
4	Cilindro 1º brazo	10	Extensiones
5	Cilindro 2º brazo	11	Aparejo de izado
6	1º brazo	12	Gancho

Tabla 4-2 - Componentes GH 230 (fuente [20])

Los componentes principales de la grúa y las características técnicas de esta se reflejan en la Tabla 4-2 y en la Tabla 4-3 respectivamente. En cuanto a su cabrestante, posee un cable de tracción antigiratorio de 4 capas con un diámetro de 12mm y con una capacidad de 40 metros.

Característica	Magnitud
Voltaje	440 V
Frecuencia	60 Hz
Fase	III
Capacidad de elevación	2000kg para un alcance de 4m. 1500kg para un alcance de 8m. 1000kg para un alcance de 12m
Alcance mínimo	2,5m
Ángulo de rotación	0 a 360°
Recorrido del gancho	8.1m sobre el nivel de cubierta a máximo alcance 3m por debajo del nivel de cubierta a mínimo alcance

Velocidad de izado	De 0 a 20m/min
Velocidad de giro	De 0 a 2 rpm.
Tipo de control de maniobra	Control remoto con palancas

Tabla 4-3 - Característica técnicas de la GH 230 (fuente [20])

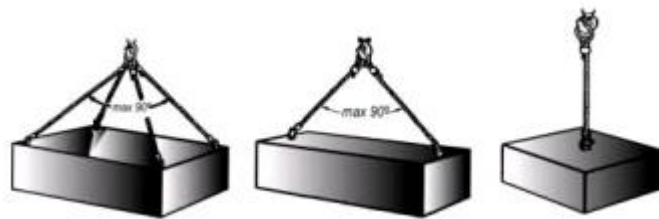
La grúa es capaz de operar desde su mínimo alcance hasta 8 metros sin problemas con las cargas de diseño en la combinación de condiciones siguientes, y produciéndose éstas simultáneamente:

- Balanceo babor-estribor: hasta +/- 10°.
- Cabeceo popa-proa: hasta +/- 5°.
- Ángulo permanente de balanceo: +/-15°.
- Ángulo permanente de cabeceo: +/- 3°.

En el rango de 8 a 12 metros, para una carga de 1000 kg, la combinación de situaciones simultáneas que soporta el equipo son:

- Balanceo babor-estribor: hasta +/- 10°.
- Cabeceo popa-proa: hasta +/- 5°.
- Ángulo permanente de balanceo: +/-10°.
- Ángulo permanente de cabeceo: +/- 3°.

En lo que se refiere a la sujeción de la carga al gancho de la grúa, y cuando se trate de diversos anclajes, el ángulo formado entre cualquiera de estos con respecto al gancho no debe superar 90°. (Ilustración 4-13).

**Ilustración 4-13 - Anclajes de sujeción GH 230 (fuente [24])**

Para adaptarse a estos requerimientos, la distancia entre codos cruzados se ha establecido en 3.89m. Esto hace que teniendo en cuenta la altura del reflector en esquina de 2m de arista, el ángulo de las eslingas o cables de anclaje para realizar el izado o arriado se mantenga por debajo de 90 grados.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\frac{3.89}{2}}{h}\right) = \arctan\left(\frac{1.945}{2}\right) = 44.2^\circ$$

$$\beta = 2\alpha = 88.4^\circ$$

Donde β es el ángulo formado por los cables de anclaje enganchados a codos cruzados, es decir, los que presentarán un mayor ángulo de abertura, y h la altura mínima a la que se podría ubicar el gancho de la grúa para izar el vehículo autónomo.

Con un peso de 130 Kg calculado mediante la herramienta de medición de cuerpo proporcionada por Siemens NX y un ángulo máximo de abertura de cables de izado de 88.4°, se asegura la viabilidad de izado y arriado del USV gracias a los datos proporcionados en la Tabla 4-3 y la Ilustración 4-13.

Para asegurar su identificación visual la estructura puede ser pintada siempre y cuando no se trate de una pintura con características absorbentes radar.

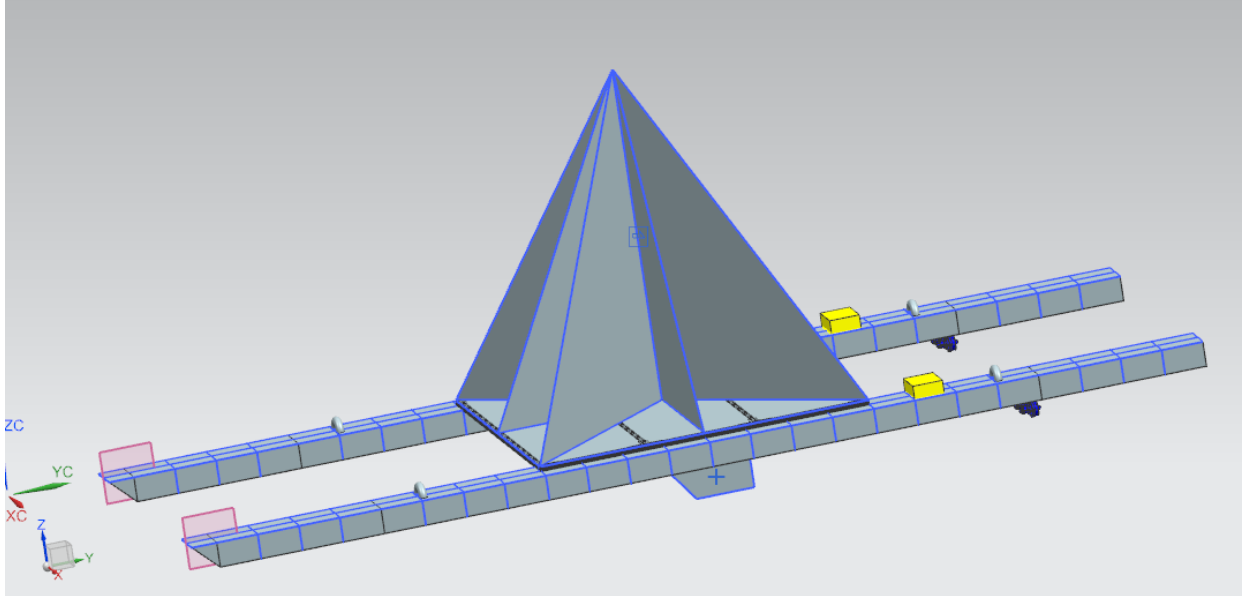


Ilustración 4-14 - USV

4.2.1 Análisis de resistencia estructural

Para realizar el análisis de resistencia estructural del catamarán se decide realizar el estudio de 3 situaciones. Una primera situación de carga sobre un perfil de aluminio ranurado que se encuentra fijo y que representa el perfil que se une a los patines. Un segundo estudio de un perfil ranurado empotrado en un extremo y con una carga extremo opuesto unido a una presión en su superficie superior, que representa los perfiles que unen los patines y soportan tanto el peso de la estructura de alta RCS como el peso del otro patín en una condición límite, y un tercer estudio realizado sobre un patín bajo una situación de carga a presión que representa el izado o arriado del USV. Para ello, los 3 estudios se realizan mediante la herramienta de análisis NX Nastran que implementa el análisis FEM. En todos ellos se utilizará un mallado tetraédrico 3D de 10mm, para realizar un análisis estructural con solución estático lineal (SOL 101- restricciones globales) y gracias a la utilización de un proceso de cálculo iterativo de elementos.

En el primer caso, se realiza una restricción fija en la cara inferior del perfil, para posteriormente aplicar una presión de 3N/cm², Ilustración 4-15. Lo que representa:

$$\frac{3N}{cm^2} \times (3cm - 0.82cm) \times 200cm = 1308N$$

$$\frac{1308N}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 133.33 Kg$$

Como resultado de esfuerzo estructural máximo a través del criterio de Von Misses se obtiene un esfuerzo máximo de 4.128 Mpa, muy por debajo de los 225 Mpa de rotura. Lo que nos permite afirmar que el perfil puede soportar todo el peso de la estructura en esta situación.

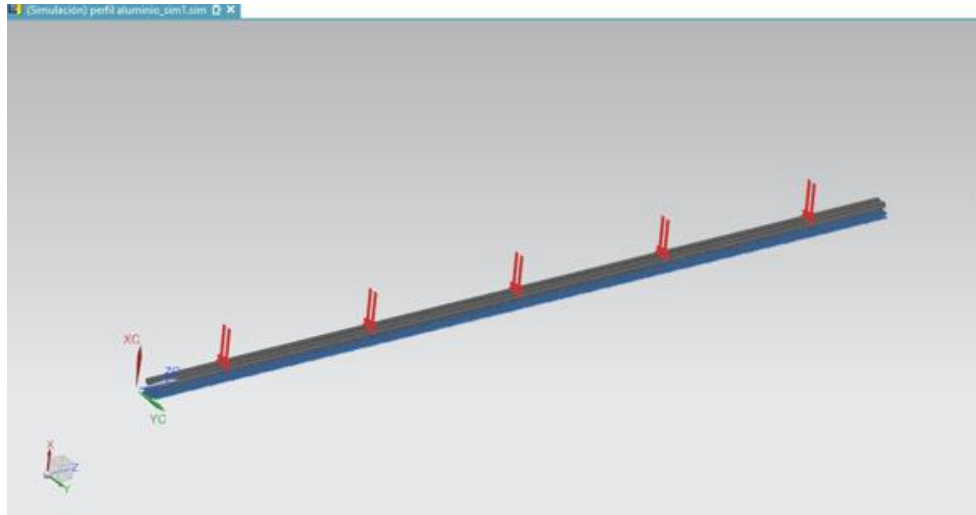


Ilustración 4-15 - Análisis estructural 1

A continuación se realiza el análisis del perfil empotrado, aplicándole un esfuerzo de 0.375 N/cm^2 , lo que proporciona un peso aproximadamente igual al que soporta cada uno de los perfiles horizontales debido a la estructura (65 Kg) y una carga en el extremo no empotrado de 6.25 kg. Ilustración 4-16.

$$\frac{0.375 \text{ N}}{\text{cm}^2} \times (3 \text{ cm} - 0.82 \text{ cm}) \times 194 \text{ cm} = 158.595 \text{ N}$$

$$\frac{158.595 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 16.17 \text{ Kg} \quad 16.17 \text{ Kg} \times 4 \approx 65 \text{ Kg}$$

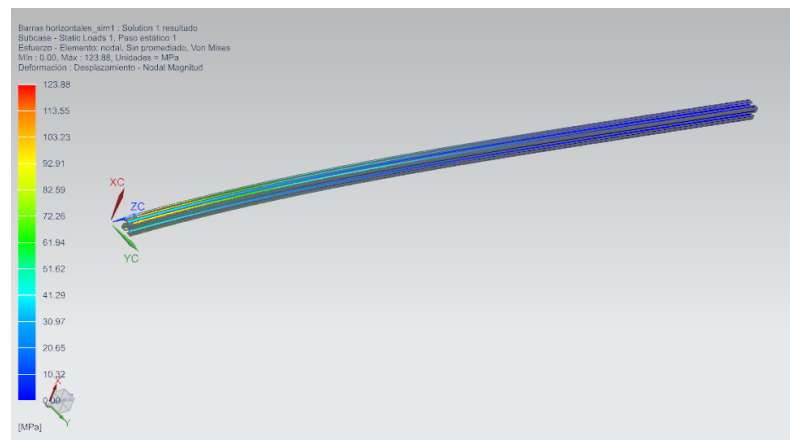


Ilustración 4-16 - Análisis estructural 2 (tensiones)

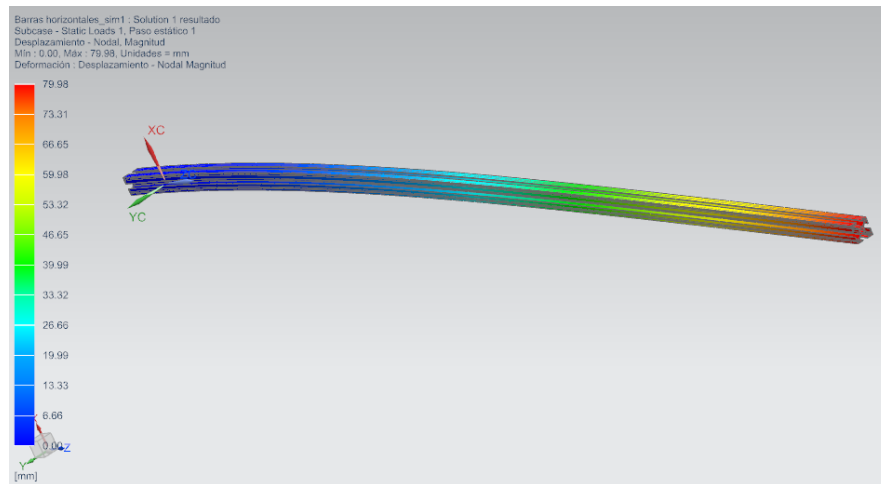


Ilustración 4-17 - Análisis estructural 2 (flecha)

En este caso, y a través del análisis nodal mediante Von mises, se obtiene una tensión máxima de 123.88 Mpa y una flecha máxima de 79.98 mm. Este análisis describe un caso límite e irreal, en el que uno de los extremos se encuentra empotrado, no permitiendo así el movimiento del conjunto. En la realidad, parte de la energía causante de la deformación del perfil ranurado se transformaría en energía cinética, devolviendo así el catamarán a su posición de estabilidad y reduciendo la tensión y deformación sufrida por el perfil. Este análisis nos permite asegurar que la estructura posee la resistencia necesaria ya que en ningún caso la tensión alcanzada en la realidad será superior a la obtenida en la simulación de este caso límite.

En el último caso se realiza un análisis estructural del patín. Para ello, y tras establecer las condiciones de adhesión de caras en la simulación que nos permiten analizar un ensamble, se colocan dos restricciones fijas a los codos existentes y una presión sobre toda la superficie superior del patín con un valor de 0.2 N/cm².

$$\frac{0.2 \text{ N}}{\text{cm}^2} \times 25 \text{ cm} \times 615.15 \text{ cm} = 3075.75 \text{ N}$$

$$\frac{3075.75 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 313.53 \text{ Kg}$$

Se obtiene como resultados un desplazamiento nodal máximo de 0.68 mm y una esfuerzo estructural máximo atendiendo al criterio de Von mises de 34.34 Mpa, muy por debajo de la tensión de rotura. Con un coeficiente de seguridad de valor superior a 10, se puede asegurar que los patines resistirán el esfuerzo derivado del izado y arriado del USV tanto para las condiciones de diseño como para posibles utilizaciones futuras del vehículo donde el peso sopotado sea mayor.

Como conclusión se determina que el punto crítico a nivel de resistencia estructural se encuentra en la estructura responsable del soporte del reflector en esquina, así como de la unión de ambos patines.

4.2.2 Análisis de estabilidad

Una vez completado el diseño y comprobada su resistencia frente a esfuerzos, es necesario determinar la estabilidad del buque. Para ello y a través del módulo de modelado de Maxsurf, Maxsurf Modeler Advanced, se importa la geometría del casco desde Siemens NX como archivo DXF. Una vez importada la geometría, será necesario crear las superficies en Maxsurf mediante el comando "Create 4 Sided Patch", para posteriormente realizar un movimiento transversal de 1.1m, consiguiendo

así determinar la geometría de los patines en la manga adecuada. También es necesario establecer el tipo de buque a modelar, en este caso, catamarán.

Una vez conseguida la geometría adecuada, es necesario establecer el sistema de referencia a utilizar, estableciendo el origen de referencias, así como el calado (DWL), Ilustración 4-18, que viene determinado por el desplazamiento del buque. El cálculo de dicho calado se realiza a través del principio de Arquímedes y gracias a los datos ofrecidos por Siemens NX. Para establecer la masa del buque en rosca, se ha añadido un peso estimado de 5 Kg en cada patín, que representan el peso añadido que suponen tanto el sistema de control como el sistema de propulsión. El cálculo y desarrollo de dichos sistemas se realiza en los próximos apartados 4.2.3 y 4.2.4

Masa del buque en rosca = 130 kg

$$V_{\text{sumergido}} = \frac{130 \text{ kg}}{\text{Densidad agua de mar}} = 0.126582 \text{ m}^3$$

Donde:

Densidad agua de mar= 1027 kg/m³

Así:

$$2 \times V1 + 2 \times V2 + 2 \times V3 = 0.123902 \text{ m}^3$$

Donde:

Volumen rectángulo principal de cada patín=V1 = 2 × (6 × 0.25 × h)

Volumen apéndice de proa = V2 = $\frac{h^2}{2} \times 0.25$

Volumen de la orza= V3= 1.275 × 10⁻⁴ m³

h= calado del buque desde la unión de la orza con el casco = 0.04m.

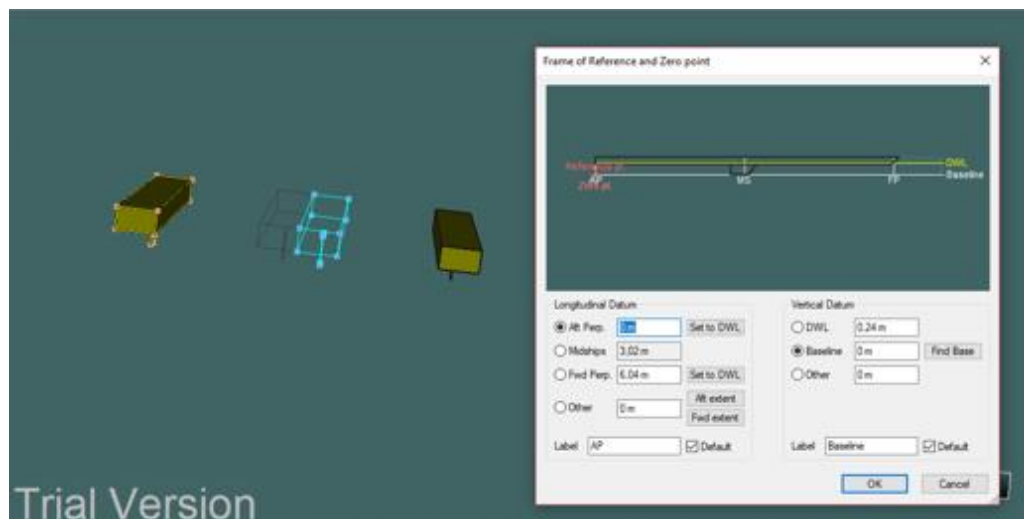


Ilustración 4-18 - Diseño de geometría y establecimiento de sistema de referencia

Una vez establecida la geometría del catamarán y su sistema de referencia, es necesario abrir el archivo en el módulo dedicado a realizar los cálculos de estabilidad, Maxsurf Stability Advanced. Ya en este módulo, se establecen las secciones en las que se divide el buque y sobre las que se realizarán las posteriores simulaciones. Así, Ilustración 4-19, se establece una división de 100 secciones.

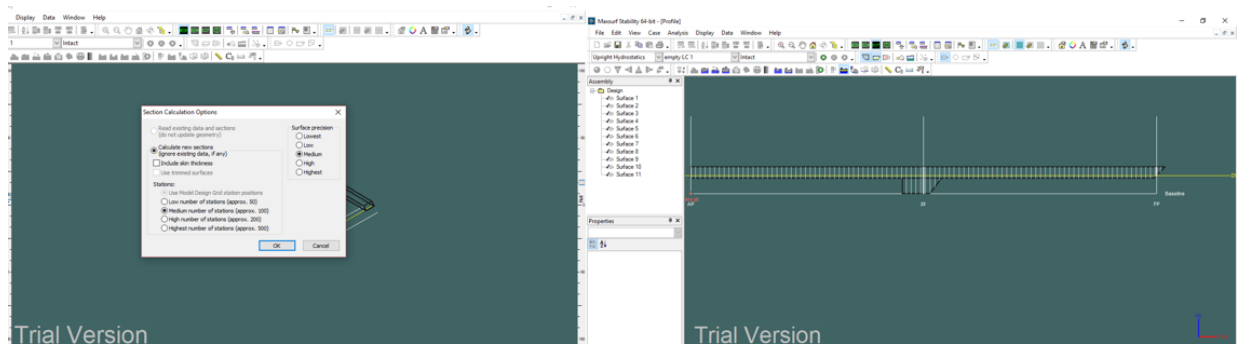


Ilustración 4-19 - División de secciones para cálculos de estabilidad

Una vez parametrizada la geometría del buque, se establecen las condiciones de las distintas simulaciones que realizará el programa y que nos permitirán obtener los criterios de estabilidad inicial, y la representación de las curvas hidrostáticas, las curvas cruzadas KN y las curvas de brazo adrizante.

El primer análisis a realizar es el que nos permite asegurar la estabilidad inicial, es decir, la estabilidad para ángulos de escora pequeños, por debajo de 10°. Para ello, se realiza una simulación en condiciones específicas con el peso en rosca del buque y estableciendo la situación del centro de gravedad gracias al análisis realizado por Siemens NX. Ilustración 4-20.

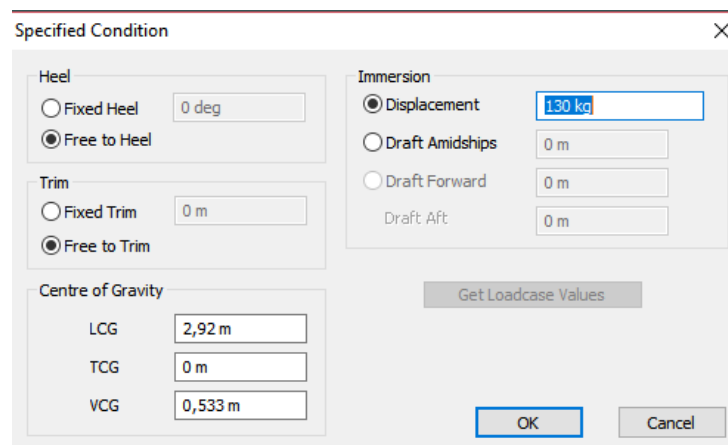


Ilustración 4-20 - Condiciones de análisis de estabilidad inicial

Característica	Valor	Característica	Valor
Draft Amidships m	0,242	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	2,92
Displacement kg	130	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,019
Heel deg	0	KB m	0,221
Draft at FP m	0,239	KG m	0,533
Draft at AP m	0,246	BMt m	22,755
Draft at LCF m	0,242	BML m	72,339
Trim (+ve by stern) m	0,007	GMt m	22,443
WL Length m	6,039	GML m	72,027
Beam max extents on WL m	2,2	KMt m	22,976

Wetted Area m ²	4,385	KML m	72,56
Waterpl. Area m ²	3,019	Immersion (TPC) tonne/cm	0,031
Prismatic coeff. (Cp)	0,92	MTc tonne.m	0,016
Block coeff. (Cb)	0,173	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) kg.m	50,918
Max Sect. area coeff. (Cm)	1	Max deck inclination deg	0,0675
Waterpl. area coeff. (Cwp)	1	Trim angle (+ve by stern) deg	0,0675

Tabla 4-4 - Resultado análisis estabilidad inicial

A raíz de los resultados obtenidos reflejados en la Tabla 4-4 , se puede determinar que el objeto posee una estabilidad inicial positiva, dado que su distancia entre centro de gravedad y metacentro es positiva, tanto en el plano longitudinal (GML=72,027m), como en el plano transversal (GMt=24,144m). A raíz de los resultados obtenidos se puede determinar que, como era predecible, el buque posee una mayor estabilidad longitudinal que transversal, estableciéndose esta como crítica y centro de las simulaciones.

Una vez establecida la estabilidad inicial, se obtiene la curva de atributos de carena derecha, que nos permitirá prever el comportamiento del buque para distintos desplazamiento en condición de buque adrizado.

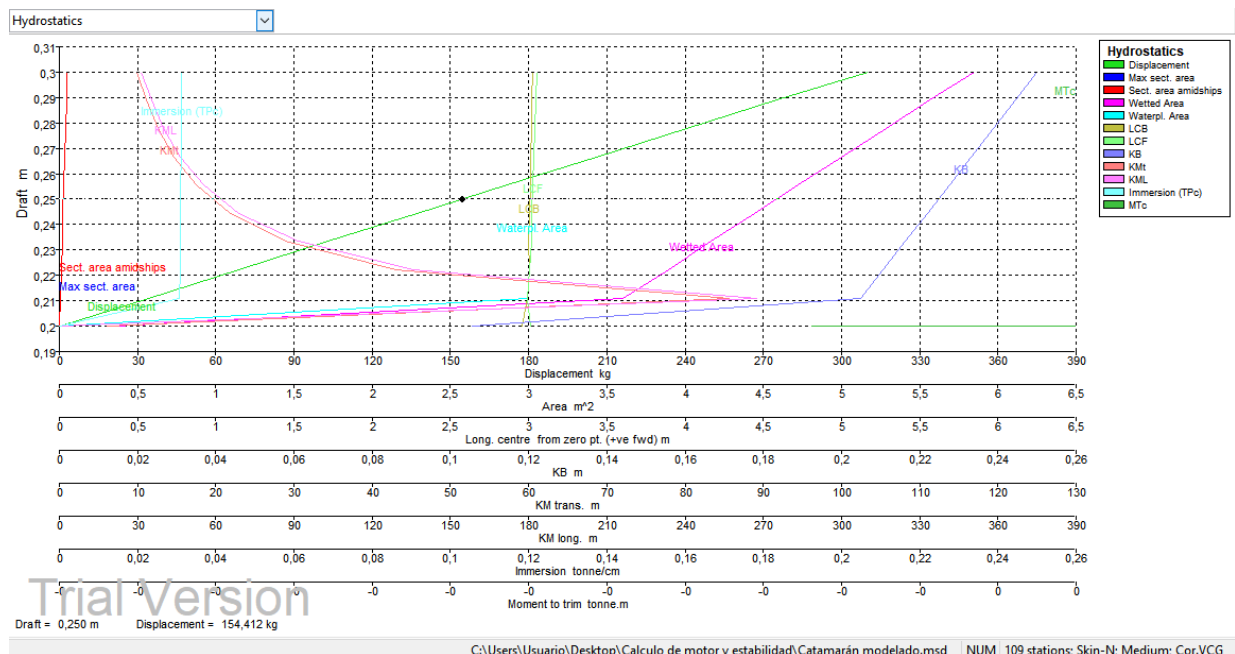


Ilustración 4-21 - Curvas de atributo de carena derecha

A continuación, se obtienen las curvas cruzadas (Ilustración 4-22) que indican el valor del Brazo de adrizamiento GZ (o KN) en función del desplazamiento y del ángulo de escora. Para la realización de estos gráficos se debe establecer un centro de gravedad fijo. Esta gráfica permitirá por tanto, obtener una curva de estabilidad estática inicial para diferentes desplazamientos.

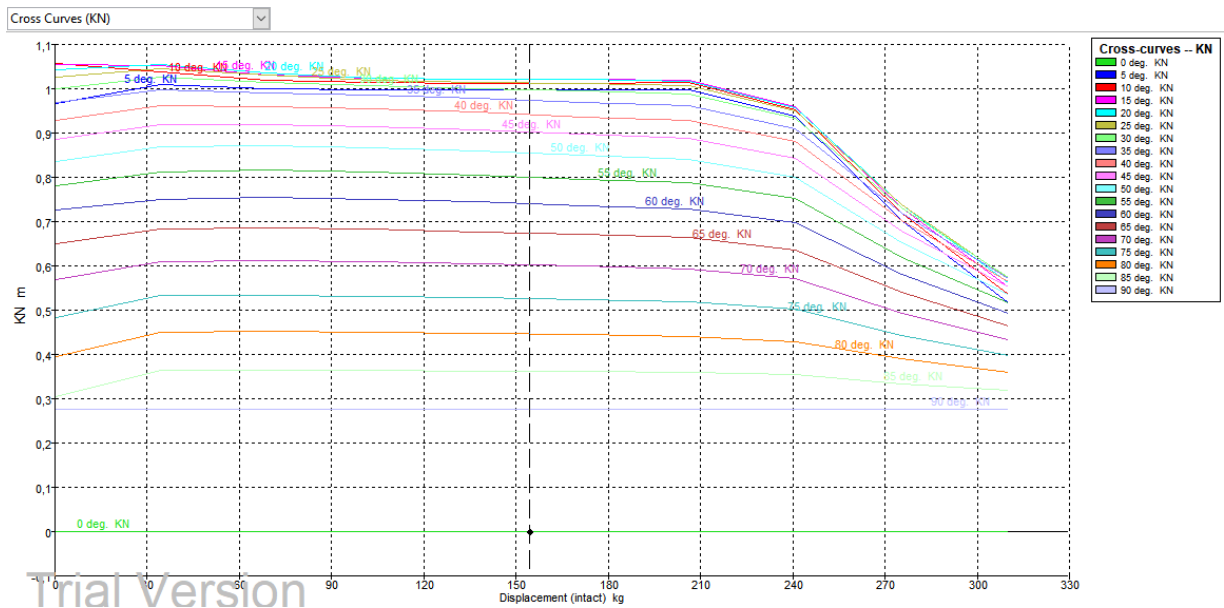


Ilustración 4-22 - Curvas cruzadas.

Por último, se obtiene la curva de brazo adrizante en la situación de peso en rosca para momentos de grandes escoras, que nos permite conocer cuántos ángulos de eslora puede soportar la embarcación sin perder la estabilidad y cuál es su máximo valor (Ilustración 4-23).

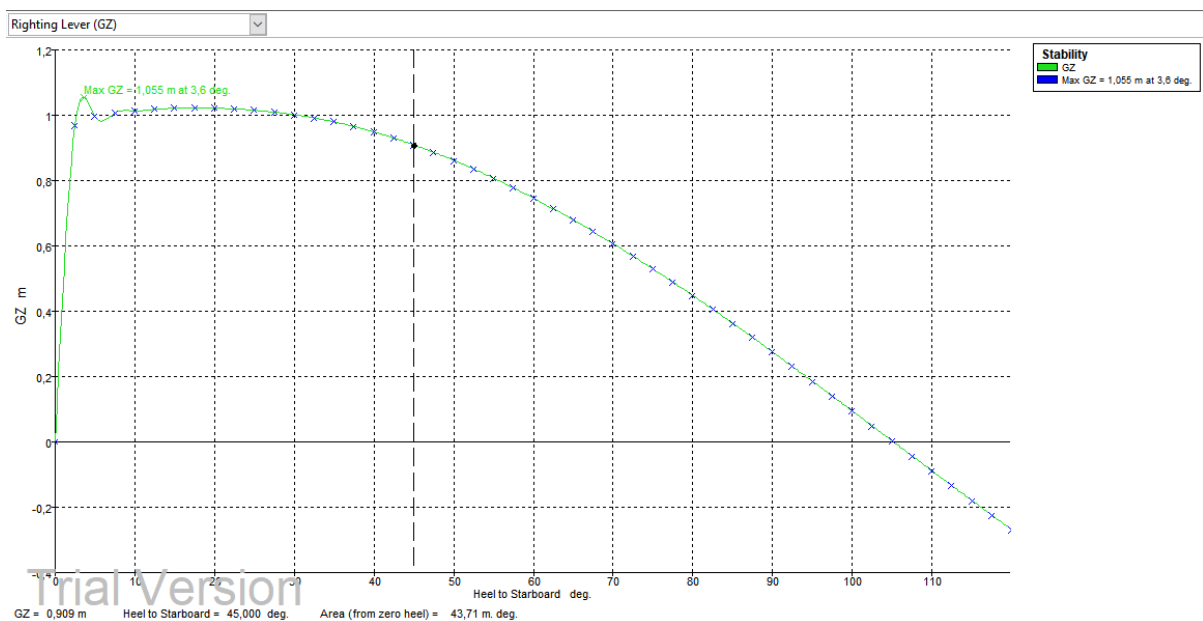


Ilustración 4-23 - Curva de brazo adrizante

A raíz de los datos obtenidos podría afirmarse que el barco es estable hasta un ángulo de escora de aproximadamente 105 grados, sin embargo, es necesario incluir en este análisis la influencia del viento. Para ello, y atendiendo a las condiciones de mar establecidas por la Flotilla de Aeronaves, sería necesario determinar la magnitud de la fuerza del viento para las condiciones de mar 2 (Ilustración 4-24) con una velocidad de 10 nudos, aplicando un margen de seguridad de 1,5 hasta alcanzar los 15 nudos (7,72 m/s).

VIENTO - ESCALA DE BEAUFORT			NIVEL DE NAVEGACIÓN A VELA	MAR - ESCALA DE DOUGLAS		
Velocidad (nudos)	Fuerza	Denominación		Altura (metros)	Grado	Denominación
Hasta a 1	0	Calma		0	0	Llana
1 a 3	1	Ventolina		0 a 0,25	1	Rizada
4 a 6	2	Flojito				
7 a 10	3	Flojo		0,25 a 0,5	2	Marejadilla
11 a 16	4	Moderado		0,5 a 1,25	3	Marejada
17 a 21	5	Fresquito		1,25 a 2,5	4	Fuerte marejada
22 a 27	6	Fresco		2,5 a 4	5	Gruesa
28 a 33	7	Frescachón		4 a 6	6	Muy gruesa
34 a 40	8	Temporal		6 a 9	7	Arbolada
41 a 47	9	Fuerte temporal				
48 a 55	10	Temporal duro		9 a 14	8	Montañosa
56 a 63	11	Temporal muy duro				
más de 64	12	Temporal huracanado		más de 14	9	Enorme

Ilustración 4-24 - Relación Escala de Beaufort - Escala de Douglas (fuente [25])

Para conocer por tanto el momento generado por el viento sobre la obra muerta, materializada principalmente por el reflector en esquina, se establece como superficie de presiones un triángulo de dos metros de base “b” y dos metros de altura “h”.

$$\text{Superficie de presiones} = \frac{b \times h}{2} = 2 \text{ m}^2$$

Una vez establecida la superficie de presiones, se determina el centro de presiones donde ejercerá su influencia la fuerza resultante y cuya distancia al centro de gravedad de la estructura determinará el momento escorante provocado por el viento.

Al tratarse la superficie de presiones de un triángulo isósceles, el centro de presiones se encontrará en la perpendicular a la base que pasa por el punto medio de esta y a un tercio de la altura total del triángulo, por lo que:

$$H \text{ centro de presiones} = \frac{2}{3}m + 0.1815m + 0.2m = 1.048m$$

En lo que se refiere al módulo de la fuerza [26]:

$$F = P \times A$$

Donde “F” es la fuerza resultante, “P” es la presión ejercida por el viento y “A” es el área de presiones.

$$P = 1,22 \times V^2$$

Donde “V” es la velocidad del viento en metros por segundo.

$$F = 1.22 \times 7.72^2 \times 2 [N] = 145.42 N$$

Puesto que la altura del centro de gravedad es 0.548m, el momento escorante debido al viento se establece como:

$$M = (1.048 m - 0.533m) \times 145.42 N = 74.89 Nm$$

Por lo que el brazo escorante debido al viento “Be”, al igual que el brazo de adrizamiento es igual al momento del par adrizante dividido por el desplazamiento, es igual a:

$$Be = \frac{M}{D} = 0.6$$

Se establece por tanto que el barco tenderá a adrizarse para un ángulo de escora de 70°. Una vez establecida la escora límite, se realiza un análisis estático del buque para conocer la escora sufrida bajo la influencia de una ola de altura igual a 0.5m.

Establecida una manga de 2 metros entre los puntos medios de cada uno de los patines, y con una altura diferencia de altura entre ellos de 0.5 metros, se establece que:

$$\text{Escora causada por una ola de } 0.5m = \arcsin \frac{0.5}{2} = 14.47^\circ$$

Se comprueba por tanto que la estabilidad del buque no se ve comprometida bajo condiciones de mar 2, ya que $14.47^\circ \ll 70^\circ$.

4.2.3 Análisis de la propulsión

Una vez establecida tanto la seguridad estructural de la plataforma, como su estabilidad, hay que determinar la potencia necesaria para que la plataforma alcance la velocidad definida en los requerimientos de diseño.

Este análisis se realizará con el módulo Maxsurf Resistance, para ello, simplemente hay que cargar el buque modelado en Masurf Modeler Advanced en el citado módulo, comprobar que la geometría diseñada coincide con la analizada por el módulo y seleccionar el método de simulación correcto según el tipo de buque. En este caso, el método más apropiado para realizar un estudio de resistencia generada por el avance por los patines por el agua es el método Slender Body [27] .

Una vez establecidas las condiciones de análisis, condiciones de peso en rosca, se establecen como velocidades de estudio las comprendidas entre 0 y 15 nudos.

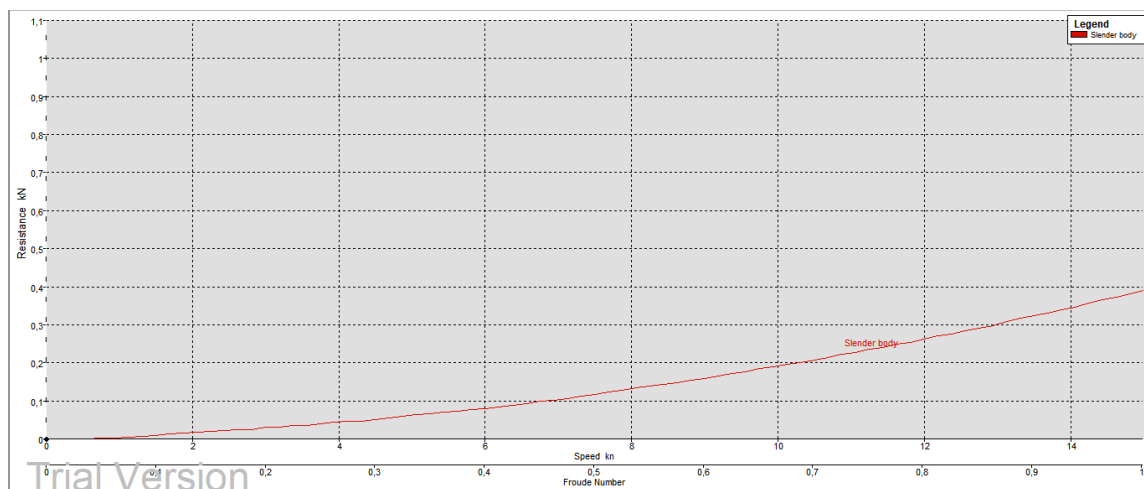


Ilustración 4-25 - Gráfica de resistencia generada por el avance del buque.

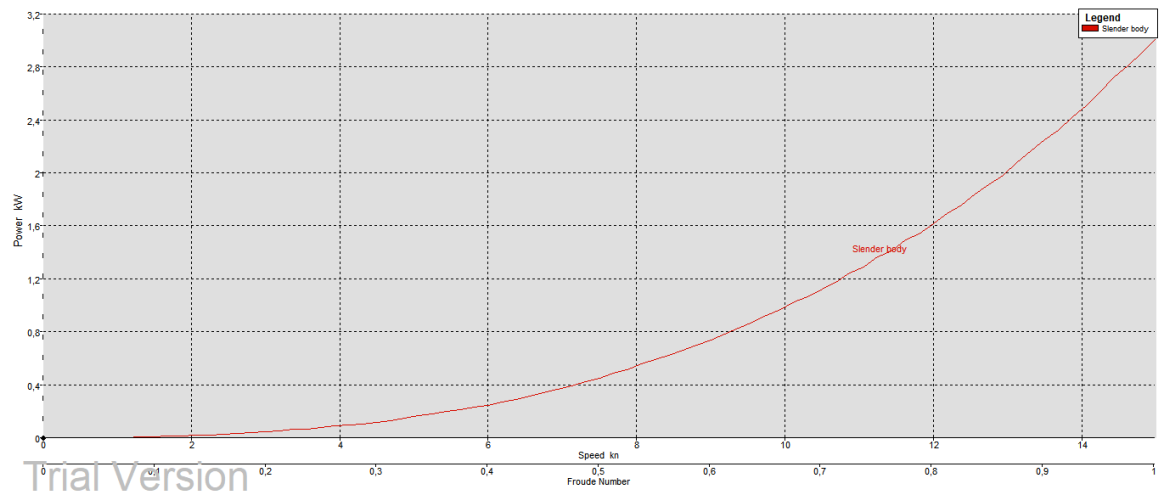


Ilustración 4-26 - Gráfica de potencia necesaria frente a velocidad

Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Slender body Resist. (kN)	Slender body Power (kW)
0	0	0	--	--
0,375	0,025	0,088	0	0
0,75	0,05	0,175	0	0,001
1,125	0,075	0,263	0	0,002
1,5	0,1	0,351	0	0,008
1,875	0,125	0,438	0	0,014
2,25	0,15	0,526	0	0,022
2,625	0,175	0,614	0	0,032
3	0,201	0,701	0	0,046
3,375	0,226	0,789	0	0,062
3,75	0,251	0,877	0	0,076
4,125	0,276	0,964	0	0,099
4,5	0,301	1,052	0,1	0,116
4,875	0,326	1,14	0,1	0,151
5,25	0,351	1,227	0,1	0,18
5,625	0,376	1,315	0,1	0,209
6	0,401	1,403	0,1	0,247
6,375	0,426	1,49	0,1	0,287
6,75	0,451	1,578	0,1	0,341
7,125	0,476	1,666	0,1	0,389
7,5	0,501	1,753	0,1	0,451
7,875	0,526	1,841	0,1	0,515
8,25	0,551	1,929	0,1	0,588
8,625	0,577	2,016	0,1	0,658
9	0,602	2,104	0,2	0,738
9,375	0,627	2,192	0,2	0,828
9,75	0,652	2,279	0,2	0,926
10,125	0,677	2,367	0,2	1,025
10,5	0,702	2,454	0,2	1,121
10,875	0,727	2,542	0,2	1,246
11,25	0,752	2,63	0,2	1,365
11,625	0,777	2,717	0,2	1,492
12	0,802	2,805	0,3	1,613
12,375	0,827	2,893	0,3	1,759
12,75	0,852	2,98	0,3	1,91
13,125	0,877	3,068	0,3	2,077
13,5	0,902	3,156	0,3	2,253
13,875	0,927	3,243	0,3	2,421
14,25	0,953	3,331	0,4	2,612
14,625	0,978	3,419	0,4	2,809
15	1,003	3,506	0,4	3,015

Ilustración 4-27 - Resultados simulación de resistencia al avance

Una vez realizado el análisis de la resistencia generada por el avance de los buques, Ilustración 4-25 e Ilustración 4-26, es necesario aplicar la resistencia generada por el viento, para ello, nos situaremos en el caso crítico en el que el viento es opuesto a la dirección de avance del buque con una

intensidad de 15 nudos, y el buque avanza a una velocidad de 10 nudos, por lo que el viento relativo alcanza una intensidad de 25 nudos (12,86 m/s).

Para calcular dicha resistencia, es necesario aplicar la siguiente fórmula [28]:

$$Ra = Ka \times Sp (V + Va \times \cos\alpha)$$

Donde Ra es la resistencia al avance causada por el viento.

Ka es un coeficiente que depende de la forma aerodinámica y su valor se encuentra entre 0.025 y 0.05. En nuestro caso, tomaremos el valor más crítico, en este caso, 0.05.

Sp es el área donde ejerce influencia el viento, en este caso, 2m².

V es la velocidad del buque.

Va es la velocidad del viento.

Cos α es el ángulo formado por la dirección del viento y la dirección del buque. En el caso analizado, se encuentran completamente opuestos por lo que la suma de ambas velocidades dará como resultado la velocidad relativa.

$$Ra = 2.5 \text{ Kg} = 0.025 \text{ KN}$$

Lo que sumado a la resistencia generada por el casco del buque a una velocidad de 10 nudos, nos da una resistencia total de 0.25 KN, por lo que una potencia de 1.121 KW es necesaria para asegurar una velocidad de 10 nudos.

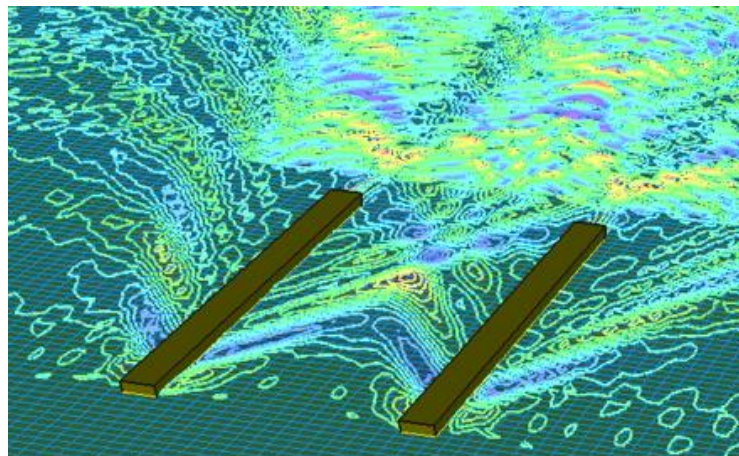


Ilustración 4-28 - Simulación de oleaje generado por el buque a una velocidad de 5 nudos

Una vez determinada la potencia necesaria para alcanzar los 10 nudos, y tras analizar el mercado en busca de posibles propulsores para el USV, se establece que los propulsores T200, Ilustración 4-29, de la empresa Blue Robotics son los más adecuados para incorporar al diseño debido a que han sido específicamente diseñados para su empleo en vehículos autónomos, a su pequeño tamaño y peso y a la potencia que son capaces de proporcionar. Para facilitar el acople de estos es necesario utilizar el soporte de montaje proporcionado por Blue Robotics.



Ilustración 4-29 - T200 thruster (fuente [29])

Características	Valor
Prestaciones	
Empuje máximo hacia delante 16V	5.1 kgf
Empuje máximo hacia atrás 16V	4.1 kgf
Empuje máximo hacia delante 12V	3.55 kgf
Empuje máximo hacia atrás 12V	3.0 kgf
Empuje mínimo	0.01 kgf
Velocidad de rotación	300-3800 rev/min
Electricas	
Voltaje de trabajo	6-20 volts
Corriente máxima	25 Amps
Potencia máxima	350 Watts
Resistencia de fase	0.18 +/- 0.01 Ohms
Inductancia de fase (@ 1 kHz)	0.077 +/- 0.008 mH
Físicas	
Longitud (without BlueESC)	113 mm
Longitud (with BlueESC)	131 mm

Díametro	100 mm
Peso en aire (con 1m de cable)(sin BlueESC)	344 g
Peso en aire (con 1m de cable)(con BlueESC)	422 g
Peso en agua (con 1m de cable)(sin BlueESC)	156 g
Peso en agua (con 1m de cable)(sin BlueESC)	210 g
Diámetro de la hélice	76 mm
Tipo de tornillo en la placa de montaje	M3 x 0.5
Espaciado entre agujeros en la placa de montaje.	19 mm
Longitud de cable	1.0 m
Longitud de diámetro	6.3 mm

Tabla 4-5 - Prestaciones y características T200 (fuente [26])

A raíz de los datos proporcionados por la empresa Blue Robotics, se determina que es necesario instalar cuatro T200 para alcanzar la velocidad de 10 nudos.

A continuación, se debe calcular la alimentación de dichos motores. Como viene reflejado en la Ilustración 4-31, cada motor necesita aportar la máxima potencia posible para alcanzar las especificaciones deseadas por lo que atendiendo al criterio de máxima corriente (25 Amperios), es necesario proporcionar 50 Amperios a cada pareja de motores, una pareja por cada patín. Por lo que cada pareja de motores necesitaría unas baterías capaces de proporcionar 50 Ah para asegurar la máxima velocidad durante un periodo de 60 minutos.

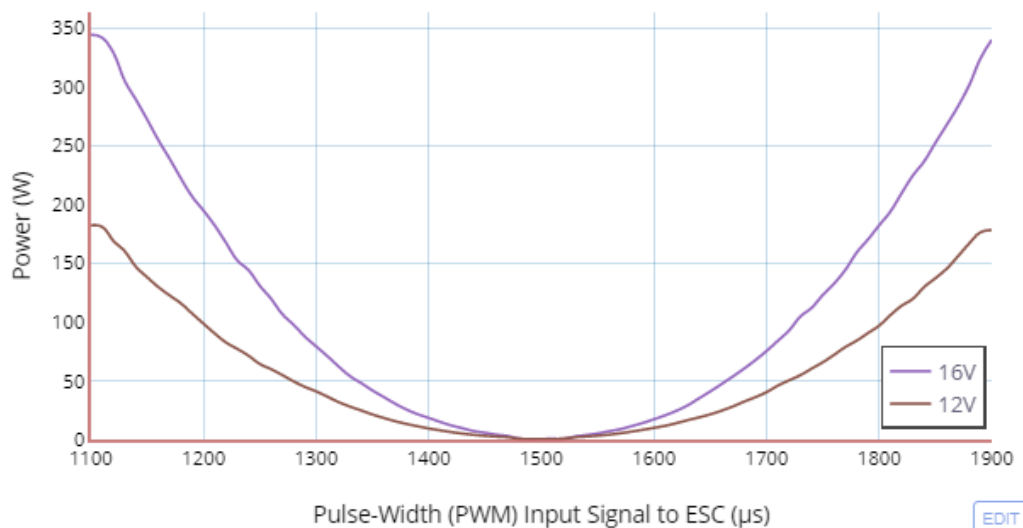


Ilustración 4-30 - Relación Potencia-Voltaje T200 (fuente [29])

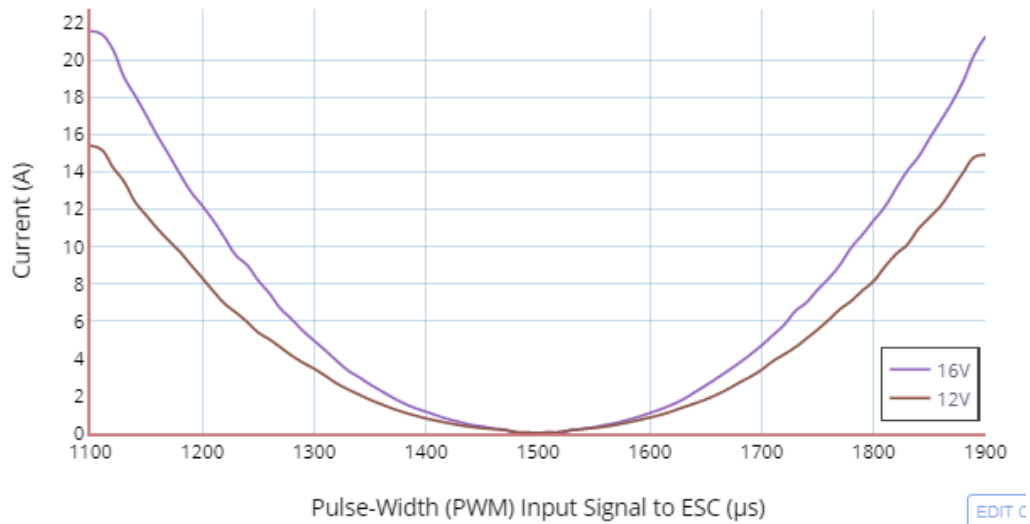


Ilustración 4-31 - Relación Corriente-voltaje T200 (fuente [29])

Para proporcionar la potencia necesaria se ha seleccionado la batería Multistar High Capacity 16000mAh 4S 10C Multi-Rotor Lipo Pack XT90, esta batería, consigue proporcionar 16.8V gracias a sus 4 células de 4.2V. Así, y colocando dos baterías en paralelo por cada pareja de motores:

$$\frac{32000mAh}{50000mAh} = 0.64$$

El uso estas baterías en paralelo permite al buque navegar a una velocidad de 10 nudos durante 38 minutos. Este tiempo, aunque inferior a 60 minutos, permite determinar que el USV será capaz de mantener una posición GPS establecida ya que, el consumo de baterías para mantener la posición GPS es mucho menor que el necesario para navegar a 10 nudos.

4.2.4 Sistema de control

Una vez finalizado el diseño y establecidas las necesidades de potencia, es necesario determinar el sistema de navegación que controlará el vehículo. Para ello, se propone Ardupilot. El *Firmware* a utilizar será el correspondiente a un Rover, el cual adaptaremos a un USV utilizando la configuración de dos motores independientes, formados cada uno por una pareja de T200 en cada uno de los patines. Este sistema de control está formado por [2]:

-Pixhawk: es el autopiloto, se basa en un procesador 32-bit ARM Cortex M4 core con 256 KB de RAM. Posee un sistema de sensores formado por un acelerómetro y giróscopo principal MPU6000, apoyado por un giróscopo ST Micru 16-bit y por un acelerómetro ST Micro 14-bit, así como un barómetro MEAS. Sus conectores se reflejan en la Ilustración 4-32 y en la Ilustración 4-33. Es necesario para su funcionamiento la conexión de un Buzzer (zumbador) que permite conocer el estado de operación del dispositivo según el sonido que emita, y un pulsador, que permite armar y desarmar el autopiloto de manera manual.

-Sistema GPS-Compass: proporcionará al vehículo su orientación y posición GPS. Para ello, será necesario instalar un sistema similar al UBlox GPS + Compass Module.

-SIK telemetry radio: se trata de un sistema de telemetría radio entre la estación de control en tierra y el autopiloto. Permite establecer una conexión en un alcance superior a 300 metros. La frecuencia de uso del sistema de telemetría y su potencia transmitida deben ser acordes con la normativa existente en la región geográfica en la que el vehículo autónomo va a utilizarse. El sistema de telemetría permite controlar el USV desde una estación de control en tierra móvil mediante un PC, un dispositivo móvil tipo Tablet, etc. a través del software Mission Planner.



Ilustración 4-32 - Conectores Pixhawk (fuente [2])

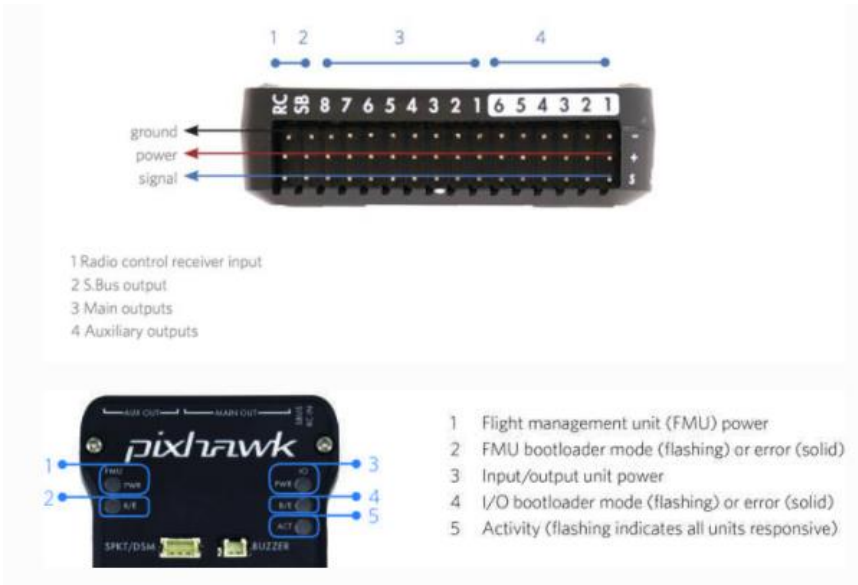


Ilustración 4-33 - Conectores e indicadores Pixhawk (fuente [2])

Para alimentar la Pixhawk, y así, los distintos periféricos, es necesario incluir en el montaje un módulo de potencia (*Power Module*), en este caso, 3DR Power Module, lo que nos permitirá conectar la Pixhawk a las baterías que proporcionan alimentación a los motores y tener un control preciso de consumo en términos de tensión y corriente suministrada.

Se determina así el montaje del Hardware de control sobre la Pixhawk. Ilustración 4-34.

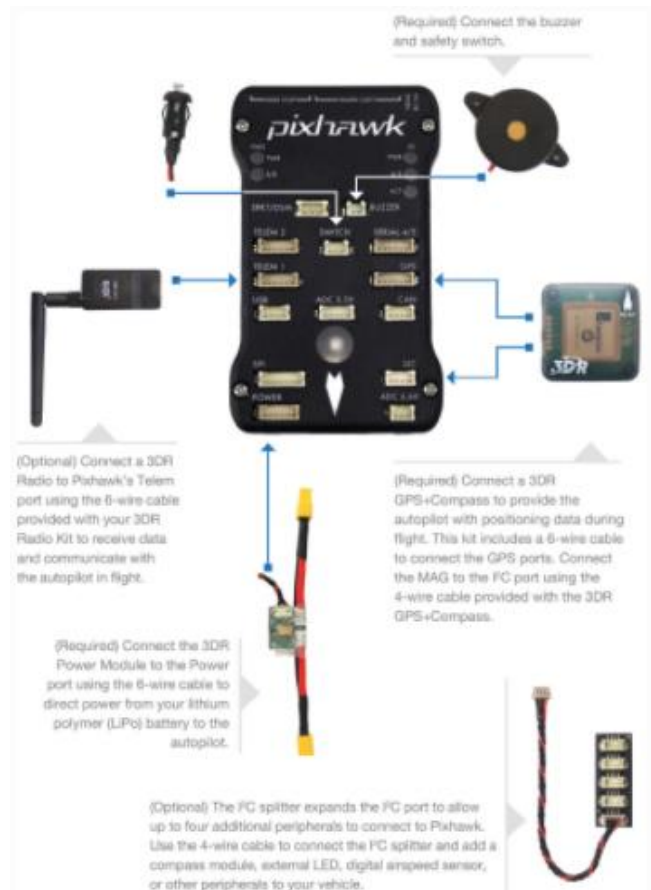


Ilustración 4-34 - Montaje Hardware del sistema de control (fuente [2])

Una vez establecido el montaje del Hardware, es necesario conectar los motores al sistema de control. Para ello, deben conectarse como si se tratase de un Rover del tipo “skid steering”. Ilustración 4-35.

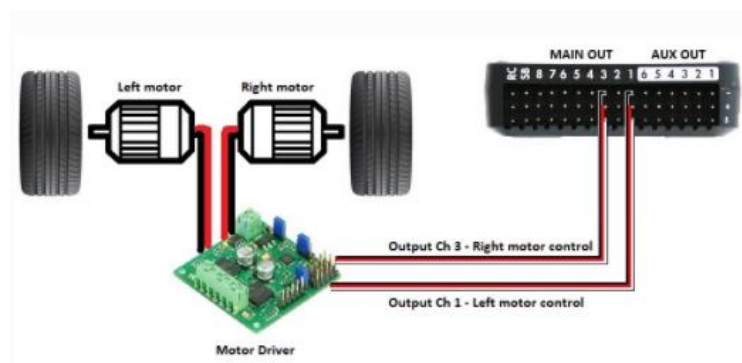


Ilustración 4-35 - Conexión de T200 a Pixhawk (fuente [2])

Esta conexión se realizará gracias a los controladores de velocidad Basic ESC R3 (*driver*) proporcionados por Bluerobotic, Ilustración 4-36. Debe conectarse un controlador a cada uno de los motores. Los controladores de una misma banda se conectarán en paralelo al autopiloto permitiéndose así un control centralizado de cada una de las bandas.

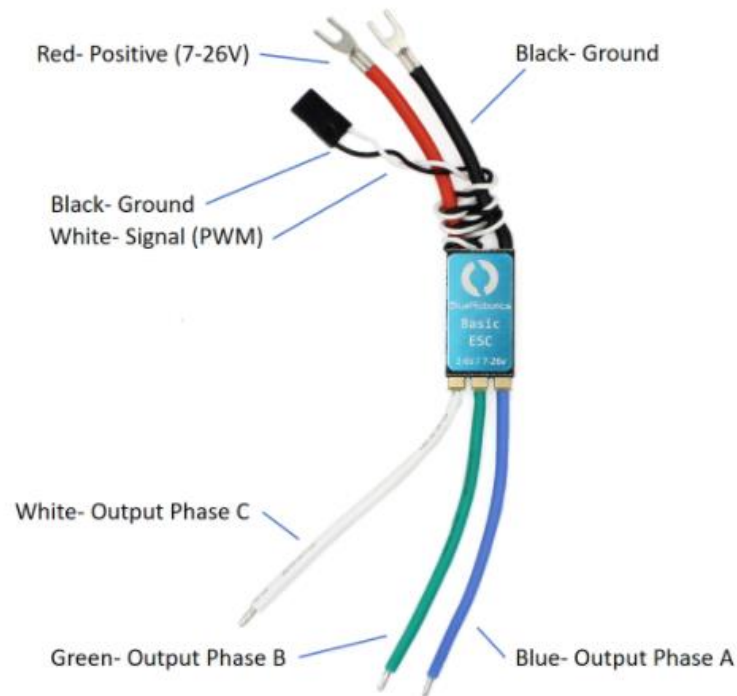


Ilustración 4-36 - Blue ESC (fuente [29])

Cabe reseñar que este sistema de control se ubicará en una caja IP55, Ilustración 4-37, que a su vez albergará las baterías y mantendrá la circuitería protegida. Se colocará una caja en cada una de las bandas para albergar las baterías correspondientes a cada pareja de motores, de tal forma que el peso quede repartido de forma equitativa en ambos patines. Deberán colocarse a una distancia de 25 cm de la estructura de alta RCS. A raíz de lo expuesto, se ubicará el sistema controlador en una de las bandas y una conexión entre ambas cajas IP55 será necesaria.

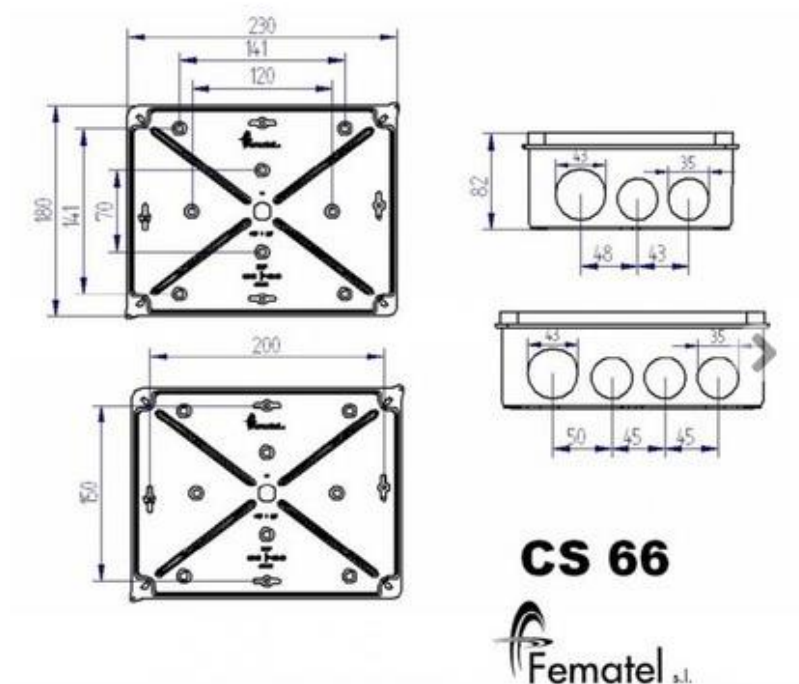


Ilustración 4-37 - Caja IP55 (fuente [30])

Así, el diagrama de conexiones para el sistema de control se muestra en la Ilustración 4-38.

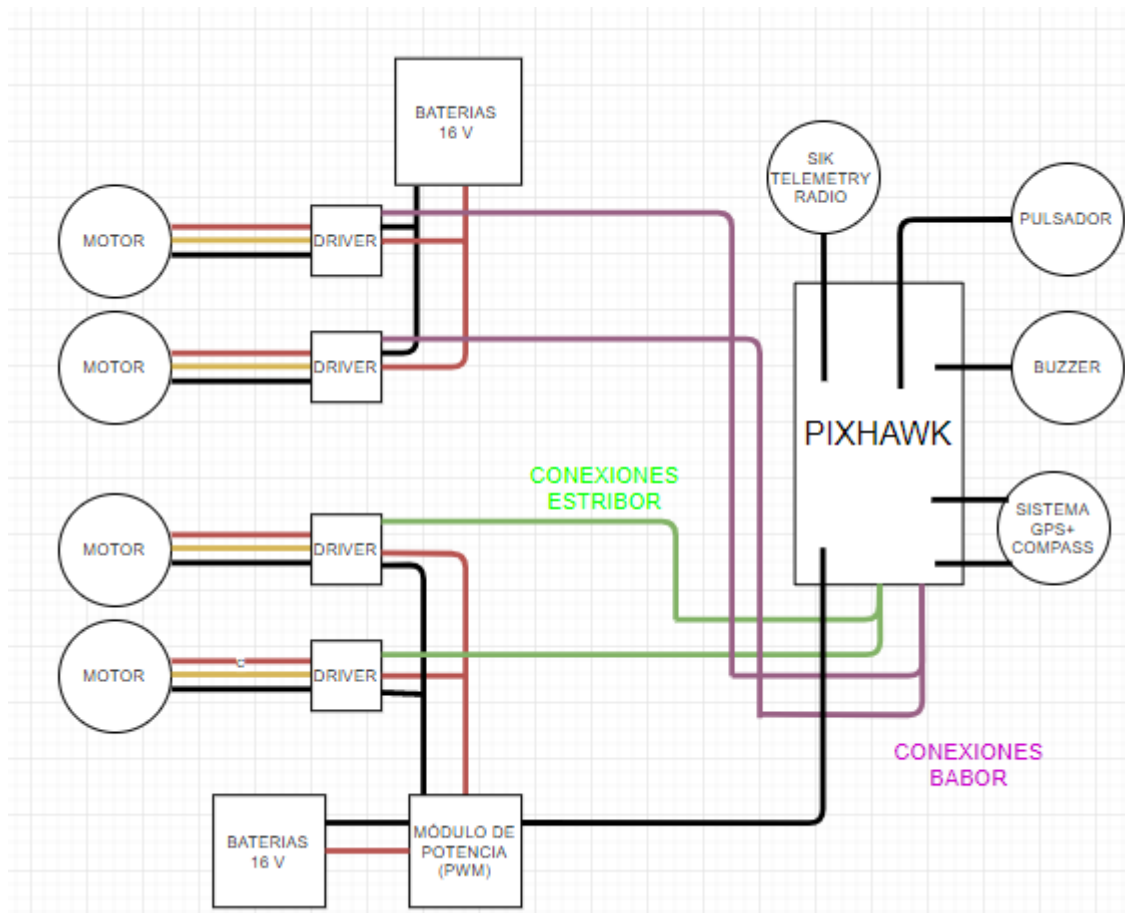


Ilustración 4-38 - Diagrama de conexiones del sistema de control

Una vez determinado el hardware necesario para constituir el sistema de control, es necesario configurarlo mediante el software Mission Planner. Una vez descargado el software, se realiza la configuración inicial, en la que debemos indicar el tipo de firmware a utilizar, en este caso, el de un Rover. Esta acción puede realizarse bien mediante una conexión USB de la Pixhawk al ordenador o gracias al controlador radio instalado. A continuación, es necesario realizar las calibraciones iniciales, Ilustración 4-39, entre las que encontramos la calibración del control radio, la calibración de los sensores como el acelerómetro o el sensor de dirección, la configuración del motor, especificando en este caso la configuración “Skid Steering”, y por último, dado que el caso de estudio es un USV debemos establecer el parámetro “FRAME_CLASS” con un valor de 2, lo que permitirá al USV mantener una posición.

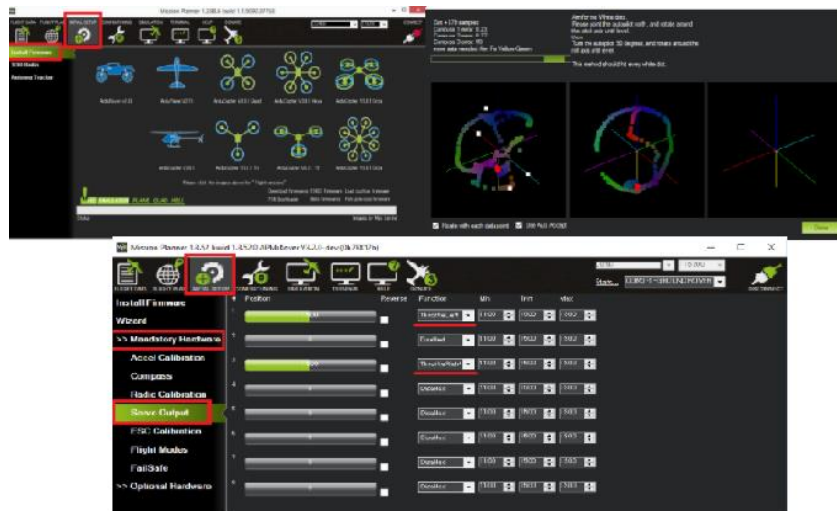


Ilustración 4-39 - Configuración inicial (fuente [2])

Una vez establecida la configuración inicial, el programa nos permite elegir varios sistemas de funcionamiento Acro, Auto, Guided, Hold, Learning, Manual, RTL, Steering y Smart RTL. De todos ellos, los más adecuados para el USV diseñado son:

-Auto: en el que el USV seguirá una misión programada gracias al establecimiento de waypoints.

-Guided: en el que podremos establecer en tiempo real el próximo way point del vehículo clicando sobre el mapa que aparece en Mission planner, para utilizar este modo se recomienda la instalación de antenas de mayor ganancia y transmisores de mayor potencia, los cuales, están limitados por ley.

-Hold: donde el USV alcanzará una posición y se mantendrá en ella.

-RTL: al activar este modo mediante la señal radio, el vehículo volverá en línea recta a la posición inicial en la que comenzó su misión. En el caso de Smart RTL, el vehículo volverá a su posición inicial siguiendo el mismo camino que utilizó para llegar a su punto actual.

Es necesario incluir el concepto de armado y desarmado para configurar de forma adecuada las misiones del USV. El vehículo sólo comenzará a moverse y pondrá sus motores en funcionamiento en caso de encontrarse “armado”. Se trata de una medida de seguridad en la que el usuario puede establecer parámetros de misión y manipular el vehículo autónomo sin riesgo de que este se ponga en marcha. Existen dos posibilidades de “armar” el USV: actuando directamente sobre el interruptor de armado del autopiloto o mediante un comando desde la estación de control en tierra. Para “desarmar” el vehículo es necesario que este se encuentre modo Manual, Hold, Learning o Steering. Una vez seleccionado uno de estos modos, el USV puede ser “desarmado” desde la estación en tierra. Otra de los parámetros que Mission planner nos permite configurar es las condiciones en las que el vehículo realizará los cambios de rumbo o giro, siendo posible establecer velocidades y aceleraciones máximas, así como la distancia al waypoint en la que se comienza a realizar el giro. Ilustración 4-40.



Ilustración 4-40 - Armado/desarmado y configuración de giro (fuente [2])

En lo que respecta al diseño de la misión a seguir por el USV, Mission planner nos proporciona varias opciones para su configuración, como memorizar una ruta que estamos realizando con el vehículo, o mediante un control gracias a una cámara integrada. Sin embargo, el diseño de misión más apropiado para el vehículo diseñado es indicando los diversos waypoints que el vehículo debe seguir y así como qué debe hacer una vez alcanzado ese punto, Ilustración 4-41. En el caso concreto de éste USV, simplemente hay que indicar la posición GPS que el vehículo debe ocupar y el tiempo que debe mantener esta posición.

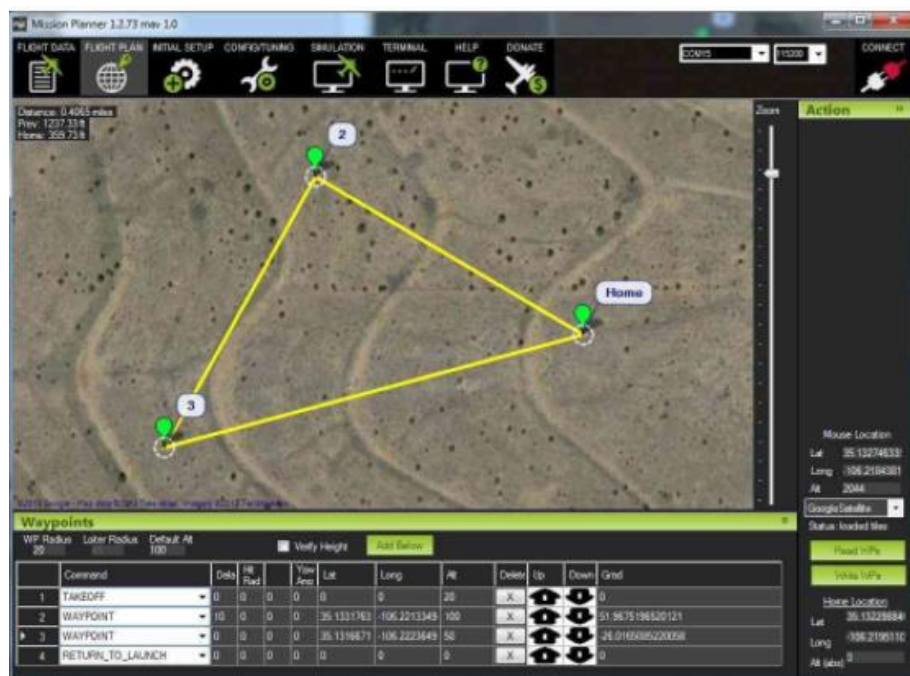


Ilustración 4-41 - Diseño de misión mediante establecimiento de waypoints (fuente [2])

4.3 Presupuesto.

Debido a la imposibilidad de conseguir un presupuesto por parte de la empresa Alu-stock, se realiza un estudio de mercado de materiales de características similares a las presentadas en el diseño para así poder conseguir un presupuesto aproximado del coste material del USV. Para ello, se recurre a la empresa Sacor [31], para los perfiles ranurados, los juegos de tornillos y tuercas M8, y las escuadras responsables de unificar los perfiles ranurados; a la empresa Lumetal para las planchas de aluminio en aluminio 5745 H111 [32]; a la empresa Fejota para los codos de aluminio anodizado de 180° [33]; a la empresa Bluerobotics para el sistema de propulsión [29]; y a Hobbyking [34], Robotshop [35], JDrones [36], y Manoamano [30], para los componentes del sistema de control y la caja IP55 que los protegerá

Así, y tal como se refleja en la Tabla 4-6, el coste total del material aproximado para realizar el proyecto asciende a un total de 2079.37 €, impuestos incluidos.

Grupo	Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Plataforma	Perfil 30x30 básico. Medida de tramo 2000mm Referencia: 005.505010 [31]	6	16.16 €	96.96 €
	Tornillo cabeza martillo+ tuerca. Largo 20mm. Referencia: 005.50250 [31]	50	0.34 €	17 €
	Escuadra 81x81x30. Referencia: 005.505302 [31]	12	2.82 €	33.84 €
	Plancha de aluminio 5754H111 3000x1500 e=1.5 [32]	7	67.82 €	474.74 €
	Codo aluminio anodizado 180° Referencia: SM02013 [33]	4	28.25 €	113 €
Sistema de propulsión	T200 Thruster [29]	4	169 \$	676 \$
	Mounting bracket (placa de montaje para el T200) [29]	4	5 \$	20 \$
	Thruster Cable (3 conductors, 18AWG) 3 metros [29]	1	14 \$	21 \$
	Basic ESC R3 [29]	4	25 \$	100 \$

Sistema de control	Pixhawk autopilot. 3DR PX4 Pixhawk Advanced Autopilot (w/ GPS). [35]	1	299 €	299 €
	Contiene: GPS uBlox NEO-7 w/ compass, APM2.5 power unit, Buzzer y Safety Switch.			
	Multistar High Capacity 16000mAh 4S 10C Multi-Rotor Lipo Pack XT90 [34]	4	82.83 €	331.32 €
	HKPilot Transceiver Telemetry Radio Set V2 (915Mhz) [34]	1	28.15 €	28.15 €
	Caja Estanca 230x180x85 mm PC 2x 4.95 [30]	2	4.95 €	9.90 €
Coste de material total			2079.37 €	

Tabla 4-6 - Presupuesto coste de material

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.

5.1 Conclusiones.

Una vez concluido el diseño, se evalúa el cumplimiento de los requerimientos establecidos por la flotilla de aeronaves. Se establece para ello una matriz de puntuación en la que se asigna una puntuación de 1 a 4 en función del éxito alcanzado en satisfacer el requerimiento, asignando un valor de 4 si se ha cumplido el requerimiento completamente, y un valor de 1 en caso de no haberse cumplido. Así, los criterios a evaluar son la identificación del blanco vía radar y los sensores a bordo del avión, así como de forma visual, la capacidad de mantener la posición y navegar durante 60 minutos, estabilidad en condiciones de mar 2 y el bajo coste de fabricación del USV.

Criterio	Identificación radar/visual	Mantener posición GPS	Estabilidad	Bajo coste	Cumplimiento global
Puntuación asignada	3	4	4	4	3

Tabla 5-1 - Matriz de evaluación

- Identificación radar/visual: a raíz de los datos reflejados en la Ilustración 4-1, podemos establecer que el valor de RCS proporcionado por el reflector cumple con los requerimientos establecidos al encontrarse en el orden de magnitud de buques de una eslora superior a 50 metros, sin embargo, y debido a la propia naturaleza de los reflectores en esquina, esta RCS de valor 30 dBsm o 1000 m² es proporcionada en 8 direcciones principales y no en todas las direcciones. Incrementar la RCS en todas direcciones implicaría un diseño de un tamaño mucho mayor y costoso, ya que es precisamente la existencia de direcciones de sacrificio lo que permite aumentar en gran medida la RCS de un blanco que por tamaño corresponde con un valor mucho menor. Este aumento de tamaño supondría no solo un aumento de coste en material, si no que también comprometería el cumplimiento del resto de los requerimientos. El aumento del tamaño de la arista conlleva un incremento de la manga y, a su vez, un aumento mucho mayor de la eslora, y en consecuencia la imposibilidad de ser izado o arriado desde un buque. Paralelamente, este aumento del tamaño supondría un aumento de la resistencia al avance generada por el buque, es decir, un mayor gasto en sistemas de propulsión y la alimentación de estos. Por último, un reflector en esquina de mayor tamaño generaría una mayor resistencia al viento lo que se traduce en un mayor brazo escorante debido a la

influencia de este y en consecuencia un buque con menor estabilidad. Por otro lado, y con las medidas establecidas en el diseño, el USV posee el tamaño suficiente para ser visible a una distancia de 3 millas, tal como establecen los requerimientos establecidos.

- Mantener posición GPS: gracias al sistema Ardupilot se pueden realizar una gran variedad de misiones. El vehículo posee una gran capacidad de maniobra debido a la independencia de funcionamiento de los motores de ambas bandas y las potencia que estos poseen, así como una autonomía mayor de 60 minutos si no se navega a máxima velocidad.
- Estabilidad: tal y como refleja el apartado 4.2.2, la estabilidad del buque está asegurada en condiciones de mar 2, y gracias al gran par adrizante que posee el catamarán, el USV podrá emplearse en condiciones de mar más adversas.
- Bajo coste: con un presupuesto material de 2079.37 €, se establece como una opción de bajo coste para reaizar el adiestramiento de la 9ª Escuadrilla de la Flotilla de Aeronaves de la Armada Española.

5.2 Líneas futuras.

Una vez analizado el cumplimiento de requerimientos del proyecto, debe determinarse que posibles líneas de desarrollo puede seguir el diseño realizado.

A raíz de los resultados de estabilidad obtenidos, puede determinarse que las condiciones meteorológicas de uso pueden ser mucho más adversas, permitiendo que el USV pueda ser utilizado en un mayor número de escenarios. Además, el diseño alcanzado permite poseer una carga útil, payload, mucho mayor, lo que nos proporciona una gran oportunidad a la hora de plantear posibles usos para la plataforma naval:

-Aumentar su uso como blanco naval: el diseño desarrollado se conforma en torno a un reflector en esquina de alta RCS para su localización radar y posterior destrucción mediante bomba GBU. Esta utilidad como blanco naval no debe limitarse a este tipo de proyectiles. El montaje de diversos módulos, como por ejemplo elementos radiantes de calor o emisores de radio frecuencia, permitirían al USV funcionar como blanco para una mayor variedad de armamento, entre los que podemos encontrar aquellos guiados por firma térmica.

-Sistema de vigilancia: la implementación de sistemas de telemetría de mayor capacidad, junto con la instalación de cámaras y sistemas optoelectrónicos, permitirían ejercer un control vía radio del vehículo, que permitiría utilizarlo como sistema de vigilancia económico para zonas de pequeña extensión o donde buques de mayor tamaño no puedan acceder debido a su calado.

-Adiestramiento unidades de superficie: su gran modularidad y maniobrabilidad permiten al USV integrarse como otro medio en el adiestramiento de otros buques. Puede utilizarse para comprobaciones y pruebas de equipos de guerra electrónica y radar, además, puede remolcar blancos para realizar tiro de superficie y mejorar así el adiestramiento de las unidades.

-Medio de decepción: destacar el USV en una zona de influencia del enemigo permitiría engañar al enemigo, forzándolo a realizar movimientos que o bien pueden ir en favor de nuestra maniobra o bien pueden engañar al enemigo.

-Relé de comunicaciones: eliminar el Corner Reflector de alta RCS, sustituyendo el reflector en esquina por elementos de retransmisión puede suponer una gran ventaja táctica ya que permitiría utilizar la plataforma como relé de comunicaciones en diferentes situaciones, como por ejemplo, para establecer comunicaciones entre la fuerza avanzada y los buques en una operación anfibia, sin necesidad de aproximar los buques a la línea de horizonte permitiendo que no sean detectados de forma visual.

-Uso científico: el uso de vehículos autónomos con fines científicos esta extendido a una gran multitud de campos. La eliminación del reflector en esquina permitiría la instalación de un gran número de equipos de obtención de información, unido a la gran superficie que proporciona los patines

para la instalación de paneles solares, permitiría al USV realizar proyectos de obtención de información durante largos periodos de tiempo.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. M. R. Giner, «Blancos de superficie para armas guiadas GPS/Laser,» 2017.
- [2] Ardupilot. [En línea]. Available: <http://ardupilot.org/>. [Último acceso: 2 Marzo 2018].
- [3] «Autodesk,» [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>. [Último acceso: 1 Marzo 2018].
- [4] «Xataka,» [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/vehiculos/noruega-ya-esta-fabricando-el-tesla-de-los-mares-su-primer-barco-autonomo-impulsado-por-energias-renovables>. [Último acceso: 22 Enero 2018].
- [5] «Indra,» [En línea]. Available: <https://www.indracompany.com/es/noticia/indra-realiza-vigo-demostracion-embarcacion-opcionalmente-tripulada-desarrollo-pionero-situa>. [Último acceso: 18 Enero 2018].
- [6] CORDIS. [En línea]. Available: http://cordis.europa.eu/result/rcn/181600_en.html. [Último acceso: 25 Enero 2018].
- [7] «CORDIS,» [En línea]. Available: http://cordis.europa.eu/result/rcn/181600_en.html. [Último acceso: 24 Enero 2018].
- [8] «Rafael,» [En línea]. Available: <http://www.rafael.co.il/5670-2676-EN/Marketing.aspx>. [Último acceso: 19 Enero 2018].
- [9] «Textron Systems,» [En línea]. Available: <https://www.textronsystems.com/what-we-do/unmanned-systems/CUSV>. [Último acceso: 19 Enero 2018].
- [10] «Ministerio de Defensa,» [En línea]. Available: <http://www.defensa.gob.es/Galerias/documentacion/ficheros/DGT-doc-boletin24.pdf>. [Último acceso: 3 Febrero 2018].
- [11] «INFODEFENSA,» [En línea]. Available: <http://www.infodefensa.com/es/2013/04/26/noticia-el-siramicor-de-navantia-se-queda-en-puerto-por-falta-de-presupuesto.html>. [Último acceso: 23 Enero 2018].
- [12] «EMBENTION,» [En línea]. Available: <https://www.embention.com/es/proyectos/spayk-usv/>. [Último acceso: 16 Enero 2018].

- [13] «Ejercito del Aire,» [En línea]. Available: <http://www.ejercitodelaire.mde.es/ea/pag?idDoc=BF2D8E6AF330C0E6C12570DD00429FF&idRef=F64CCD9E9A52EF79C12574590025EE6C>. [Último acceso: 19 Enero 2018].
- [14] «El método Fernan,» [En línea]. Available: <https://elmetodofernan.wordpress.com/2013/08/20/stealth-parte-2-seccion-recta-radar-i/>. [Último acceso: 2 Febrero 2018].
- [15] A. C. Pedrero, «Trabajo Fin de Grado-Diseño y estudio de “Corner-reflectors” para sistemas radar utilizando la herramienta software POFACETS».
- [16] E. I. Keroglou, «ANALYSIS AND DESIGN OF RETROREFLECTORS».
- [17] I-CP-03 (A) Estabilidad del buque.
- [18] B. L. G. B., «Curvas hidroestáticas».
- [19] B. P. Casino, «Análisis de la forma de la obra viva del barco como resultado de las distintas resistencias al avance.».
- [20] E. F. Valero, «Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos».
- [21] P. Williams, H. Cramp y K. Curtis, : Experimental study of the radar cross section of maritime targets.
- [22] «Alu-Stock,» [En línea]. Available: <http://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/construccion-naval/>. [Último acceso: 2 Febrero 2018].
- [23] «Alu-Stock,» [En línea]. Available: <http://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-modulares-aluskit/perfiles-aluskit-serie-30/>. [Último acceso: 7 Febrero 2018].
- [24] Navantia, «Análisis técnico de mantenimiento. Grúa electrohidráulica cubierta de trabajo. PROGRAMA BAM».
- [25] «Barcelona World Race,» [En línea]. Available: <http://www.barcelonaworldrace.org/ca/educacio/programa-educatiu/explora/planeta-mar/oceanografia/corrents-marins/escala-de-douglas>. [Último acceso: 26 Febrero 2018].
- [26] «Full mecánica,» [En línea]. Available: <http://www.fullmecanica.com/definiciones/f/1214-fuerza-del-viento-presion-del-viento>. [Último acceso: 26 Febrero 2018].
- [27] «Maxsurf,» [En línea]. Available: <https://www.bentley.com/es/products/product-line/offshore-structural-analysis-software/maxsurf>. [Último acceso: 26 Enero 2018].
- [28] F. J. M. Rivas, «Resistencia al avance del buque».
- [29] «BlueRobotics,» [En línea]. Available: <https://www.bluerobotics.com/store/thrusters/t200-thruster/>. [Último acceso: 14 Marzo 2018].
- [30] «Mano a mano,» [En línea]. Available: <https://www.manomano.es/catalogue/cajas-de-derivacion/caja-estanca-230x180x85-mm-pc-5125750#product-description>. [Último acceso: 19 Febrero 2018].
- [31] «Sacor,» [En línea]. Available: <https://frs-cnc.com/>. [Último acceso: 18 Enero 2018].

- [32] «Lumetal,» [En línea]. Available: <http://www.lumetalplastic.com/ç>. [Último acceso: 20 Febrero 2018].
- [33] «Fejota,» [En línea]. Available: <http://www.fejota.es/>. [Último acceso: 23 Febrero 2018].
- [34] «Hobbyking,» [En línea]. Available: <https://hobbyking.com/>. [Último acceso: 28 Febrero 2018].
- [35] «RobotShop,» [En línea]. Available: <https://www.robotshop.com/eu/en/>. [Último acceso: 27 Febrero 2018].
- [36] «Jdrones,» [En línea]. Available: <http://store.jdrones.com/default.asp>. [Último acceso: 28 Febrero 2018].

ANEXO I: PROPIEDADES ALUMINIO 5083

-5083- (ALUMINIO-MAGNESIO 4,5%)

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo				0,40	4,00	0,05			Zi + Total	
Máximo	0,40	0,40	0,10	1,00	4,90	0,25	0,25	0,15	Ti 0,15	El resto

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Estado	Características a la tracción				Dureza		
	Carga de rotura Rm. N/mm ²	Límite elástico Rp 0,2. N/mm ²	Alargamiento A 5,65%	Límite a la fatiga N/mm ²	Resistencia a la cizalladura τ N/mm ²	Brinell (HB)	Vickers
0/H111	300	145	23	250	175	70	
HX2	330	240	17	280	185	90	
HX4	360	275	16	280	200	100	
HX6	380	305	10		210	105	
HX8	400	335	9		220	110	
Hx9	420	370	5		230	115	

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Módulo elástico N/mm ²	Peso específico g/cm ³	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1/10 ⁻⁶ K	Conductividad térmica W/m K	Resistividad eléctrica a 20°C - $\mu\Omega$ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
71,000	2,66	580-640	23,8	117	6,0	28,5	-0,86

APTITUDES TECNOLÓGICAS

SOLDADURA

A la llama
Al arco bajo gas argón
Por resistencia eléctrica
Brazado



MECANIZACIÓN

Fracmentación de la viruta
Brillo de superficie



Estado: H116/H32



COMPORTAMIENTO NATURAL

En ambiente rural
En ambiente industrial
En ambiente marino
En agua de mar



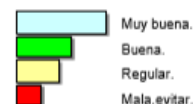
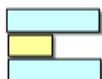
RECUBRIMIENTO

Lacado
Galvanizado
Níquel químico



ANODIZADO

De protección
Decorativo
Anodizado duro



RADIOS DE PLEGADO

Estado	0,4<e<0,8 mm,	0,8<e<1,6 mm	1,6<e<3,2 mm,	3,2<e<4,8 mm,	4,8<e<6 mm,	6<e<10 mm,	10<e<12 mm,
0 – H111	0,5	1	1	1,25	1,5	2	-
H116	-	2	2,25	3	3	-	-

Multiplicar el coeficiente por el espesor (e) de la chapa

-5083- (ALUMINIO - MAGNESIO 4,5%)

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
0	405	165	36	295	145	30	290	145	27	290	145	25	275	145	36

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
0	215	130	50	150	115	60	115	75	80	75	50	110	41	29	130

Rm N/mm² ; Rp N/mm² ; A 5,65 %

Según normas A.A.

TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO

Intervalo de temperatura de forja: 350° – 480°C

Recocido total: De 30 minutos a 2 horas entre 345°C - 380°C.

Recocido parcial: 240°C

1 kg / mm² = 9,81 N/mm²; 1N/mm² = 1MPa

APLICACIONES

Construcciones navales en general, cascos de barcos, veleros deportivos, ferrys, puertos deportivos, pantalanés, plataformas petrolíferas, silos, cisternas para G.L.P., gasolinas, estructuras, volquetes, plataformas de camión, etc.

OBSERVACIONES

Aleación de alta resistencia mecánica y a la corrosión, especialmente al agua de mar, muy buena soldabilidad, sensible a la corrosión intercrystalina y fisurante debido a tratamientos térmicos inapropiados. Por la soldadura, no usar a mas de 65°C durante largo tiempo si se va a exponer a contaminación o ambientes agresivos.

ANEXO II: PROPIEDADES ALUMINIO 6060

-6060- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO)

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo	0,30	0,10			0,35				Total	
Máximo	0,60	0,30	0,10	0,10	0,60	0,05	0,15	0,20	0,15	El resto

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Estado	Características a la tracción				Resistencia a la cizalladura τ N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura Rm. N/mm ²	Límite elástico Rp 0,2, N/mm ²	Alargamiento A 5,65%	Límite a la fatiga N/mm ²		
0	100	50	27	110	70	25
T1	150	90	25		95	45
T4	160	90	20		105	50
T5	220	185	13	160	140	75
T6	245	215	13	160	150	85

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Módulo elástico N/mm ²	Peso específico g/cm ³	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal $1/10^{-6}$ K	Conductividad térmica W/m K	Resistividad eléctrica a 20°C - $\mu\Omega$ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
69,500	2,70	610-655	23,4	T1-195 T5-209	T1-3,5 T5-3,2	T1-49,5 T5-54	-0,8

APTITUDES TECNOLÓGICAS

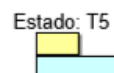
SOLDADURA

A la llama
Al arco bajo gas argón
Por resistencia eléctrica
Braseado



MECANIZACIÓN

Fragmentación de la viruta
Brillo de superficie



COMPORTAMIENTO NATURAL

En ambiente rural
En ambiente industrial
En ambiente marino
En agua de mar



RECUBRIMIENTO

Lacado
Galvanizado
Níquel químico



ANODIZADO

De protección
Decorativo
Anodizado duro



-6060- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO)

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T1	235	110	44	180	105	36	165	95	34	150	90	33	150	95	20
T5	255	165	28	250	150	24	195	150	23	185	145	22	165	140	18
T6	325	250	24	260	230	20	250	220	19	240	215	16	215	195	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T1	145	105	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105
T5	140	125	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105
T6	145	140	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105

Rm N/mm² ; Rp N/mm² ; A 5,65 %

Según normas A.A.

TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO

Estado	Tratamiento de puesta en solución T°C	Medio de temple	Tratamientos de maduración artificial. Mantenimiento a T° en horas	Maduración natural.
T4	530°C± 5 °C	Aire forzado		8 días mínimo
T5	530°C± 5 °C	Aire forzado	8 horas a 175± 5°C ó 6 horas a 185± 5°C	
	505°C± 5 °C	Agua fría máx. a 40°C	8 horas a 175± 5°C ó 6 horas a 185± 5°C	

Intervalo de temperatura de forja: 400° – 480°C

Recocido total: 420°C, con enfriamiento lento hasta 250°C

Recocido contra acritud: 340°C

1 kg / mm² = 9,81 N/mm²; 1N/mm² = 1MPa

APLICACIONES

Perfiles para arquitectura, puertas, ventanas, muros cortina, mobiliario, estructuras, escaleras, peldaños, barandillas, verjas enrejadas, barreras, cercados, disipadores de calor, módulos electrónicos, carcasas para motores eléctricos, sistemas de ensamblado, remaches, elementos especiales para maquinaria, carrocerías de camión, instalaciones neumáticas, tubos de riego, calefacción y refrigeración.

OBSERVACIONES

Aleación de buena conformabilidad especialmente en los estados T1 y T4, es muy utilizada para extruir perfiles con secciones complicadas, aleación tratable con características medias y con resistencia inferior a la 6005 A,

ANEXO III: TABLA RESULTADOS CURVAS DE ATRIBUTO DE CARENA DERECHA

Draft Amidships	0,2	0,211	0,222	0,233	0,244	0,256	0,267	0,278	0,289	0,3
m										
Displacement kg	0,2726	34,37	68,78	102,8	137,2	171,6	206,2	240,7	275,4	310,1
Heel deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Draft at FP m	0,2	0,211	0,222	0,233	0,244	0,256	0,267	0,278	0,289	0,3
Draft at AP m	0,2	0,211	0,222	0,233	0,244	0,256	0,267	0,278	0,289	0,3
Draft at LCF m	0,2	0,211	0,222	0,233	0,244	0,256	0,267	0,278	0,289	0,3
Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL Length m	0,5	6,011	6,022	6,033	6,044	6,056	6,067	6,078	6,089	6,1
Beam max extents on WL m	1,951	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Wetted Area m ²	0,357	3,602	3,896	4,165	4,443	4,723	5,003	5,284	5,566	5,848
Waterpl. Area m ²	0,002	2,995	3,009	3,017	3,022	3,028	3,033	3,039	3,044	3,05
Prismatic coeff. (Cp)	0,887	0,906	0,951	0,963	0,97	0,974	0,977	0,979	0,98	0,98
Block coeff. (Cb)	0,887	0,053	0,1	0,142	0,181	0,216	0,249	0,278	0,305	0,331
Max Sect. area coeff. (Cm)	1	0,058	0,105	0,148	0,187	0,222	0,254	0,284	0,312	0,337
Waterpl. area coeff. (Cwp)	1,118	0,997	0,999	1	1	1	1	1	1	1
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	2,958	2,995	3,008	3,001	3,006	3,01	3,013	3,016	3,02	3,023
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,013	2,995	3,009	3,017	3,022	3,028	3,033	3,039	3,044	3,05
KB m	0,106	0,205	0,211	0,216	0,222	0,228	0,233	0,239	0,244	0,25
KG m	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533
BMt m	5,994	85,391	42,854	28,749	21,584	17,283	14,416	12,368	10,832	9,637
BML m	0,164	267,155	135,277	91,238	68,75	55,254	46,257	39,831	35,011	31,263
GMt m	5,567	85,063	42,532	28,433	21,273	16,978	14,116	12,074	10,543	9,354
GML m	-0,263	266,827	134,954	90,922	68,439	54,948	45,957	39,536	34,723	30,98
KMt m	6,1	85,596	43,065	28,966	21,806	17,511	14,649	12,607	11,076	9,887
KML m	0,27	267,36	135,487	91,455	68,972	55,481	46,49	40,069	35,256	31,513
Immersion (TPc) tonne/cm	0	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
MTc tonne.m	0	0,015	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) kg.m	0,026	51,017	51,056	51,013	50,931	50,856	50,787	50,725	50,669	50,62
Max deck inclination deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO IV: TABLA RESULTADOS CURVAS CRUZADAS

Displacement (intact)	Draft Amidships	Trim (+ve by stern)	LCG	TCG	Assumed VCG	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
kg	m	m	m	m	m	0,0 deg.	5,0 deg.	10,0 deg.	15,0 deg.	20,0 deg.	25,0 deg.	30,0 deg.	35,0 deg.	40,0 deg.	45,0 deg.
0,2726	0,2	0,000 (fixed)	2,974	0	0	0	0,967	1,057	1,054	1,044	1,026	1	0,968	0,929	0,885
34,37	0,211	0,000 (fixed)	2,995	0	0	0	1,008	1,038	1,053	1,054	1,045	1,026	0,998	0,962	0,919
68,78	0,222	0,000 (fixed)	3,008	0	0	0	1	1,019	1,031	1,035	1,03	1,015	0,991	0,959	0,919
102,8	0,233	0,000 (fixed)	3,001	0	0	0	0,997	1,015	1,023	1,025	1,019	1,007	0,986	0,955	0,915
137,2	0,244	0,000 (fixed)	3,006	0	0	0	0,997	1,013	1,021	1,021	1,015	1	0,978	0,947	0,907
171,6	0,256	0,000 (fixed)	3,01	0	0	0	0,997	1,013	1,021	1,021	1,012	0,995	0,97	0,937	0,897
206,2	0,267	0,000 (fixed)	3,013	0	0	0	0,997	1,013	1,019	1,017	1,007	0,988	0,962	0,929	0,889
240,7	0,278	0,000 (fixed)	3,016	0	0	0	0,939	0,953	0,959	0,957	0,949	0,933	0,91	0,88	0,844
275,4	0,289	0,000 (fixed)	3,02	0	0	0	0,702	0,72	0,732	0,738	0,738	0,732	0,72	0,702	0,68
310,1	0,3	0,000 (fixed)	3,023	0	0	0	0,517	0,536	0,552	0,563	0,57	0,573	0,57	0,563	0,552

Displacement (intact)	Draft Amidships	Trim (+ve by stern)	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
kg	m	m	50,0 deg.	55,0 deg.	60,0 deg.	65,0 deg.	70,0 deg.	75,0 deg.	80,0 deg.	85,0 deg.	90,0 deg.
0,2726	0,2	0,000 (fixed)	0,835	0,782	0,726	0,649	0,568	0,483	0,395	0,306	0,275
34,37	0,211	0,000 (fixed)	0,869	0,812	0,75	0,682	0,61	0,532	0,45	0,364	0,275
68,78	0,222	0,000 (fixed)	0,872	0,817	0,755	0,687	0,613	0,534	0,451	0,365	0,275
102,8	0,233	0,000 (fixed)	0,868	0,813	0,751	0,683	0,61	0,532	0,449	0,364	0,275
137,2	0,244	0,000 (fixed)	0,86	0,805	0,744	0,677	0,605	0,528	0,447	0,362	0,275
171,6	0,256	0,000 (fixed)	0,85	0,796	0,736	0,671	0,6	0,524	0,444	0,361	0,275
206,2	0,267	0,000 (fixed)	0,842	0,788	0,729	0,664	0,594	0,52	0,441	0,36	0,275
240,7	0,278	0,000 (fixed)	0,801	0,752	0,697	0,637	0,572	0,503	0,43	0,354	0,275
275,4	0,289	0,000 (fixed)	0,652	0,619	0,582	0,54	0,494	0,444	0,39	0,334	0,275
310,1	0,3	0,000 (fixed)	0,536	0,516	0,492	0,464	0,432	0,397	0,359	0,319	0,275

ANEXO V: TABLA RESULTADOS CURVA DE BRAZO ADRIZANTE

Heel to Starboard deg	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30
GZ m	0	0,969	0,997	1,006	1,013	1,018	1,021	1,022	1,022	1,019	1,015	1,009	1,002
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0	1,3667	3,9408	6,4167	8,949	11,4865	14,0365	16,5911	19,1466	21,6983	24,2417	26,7727	29,2867
Displacement kg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Draft at FP m	0,239	0,237	0,195	0,152	0,108	0,064	0,019	-0,027	-0,075	-0,124	-0,175	-0,228	-0,283
Draft at AP m	0,246	0,244	0,202	0,159	0,116	0,071	0,026	-0,02	-0,067	-0,116	-0,167	-0,22	-0,275
WL Length m	6,039	6,085	6,091	6,097	6,102	6,108	6,114	6,12	6,126	6,132	6,138	6,145	6,15
Beam max extents on WL m	2,2	2,112	2,084	2,094	1,095	1,09	1,083	1,075	1,066	1,054	1,042	1,026	1,005
Wetted Area m^2	4,385	3,378	2,804	2,739	2,72	2,72	2,721	2,721	2,721	2,722	2,722	2,725	2,752
Waterpl. Area m^2	3,019	2,005	1,524	1,532	1,542	1,556	1,574	1,594	1,618	1,645	1,677	1,706	1,68
Prismatic coeff. (Cp)	0,921	0,938	0,953	0,951	0,95	0,949	0,948	0,946	0,945	0,944	0,942	0,941	0,941
Block coeff. (Cb)	0,173	0,179	0,291	0,291	0,292	0,292	0,292	0,291	0,291	0,291	0,291	0,29	0,294
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	2,921	2,962	2,976	2,976	2,976	2,976	2,976	2,976	2,975	2,975	2,975	2,975	2,977
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,019	2,794	3,035	3,037	3,038	3,039	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	3,048	3,068
Max deck inclination deg	0,0664	2,5009	5,0004	7,5003	10,0002	12,5002	15,0001	17,5001	20,0001	22,5001	25,0001	27,5001	30,0001
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0664	0,0665	0,0667	0,067	0,0674	0,068	0,0687	0,0696	0,0707	0,0719	0,0733	0,0749	0,0767

Heel to Starboard deg	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50	52,5	55	57,5	60
GZ m	0,992	0,98	0,965	0,949	0,93	0,909	0,886	0,861	0,835	0,807	0,777	0,746
Area under GZ curve from zero heel m.deg	31,7786	34,243	36,6744	39,067	41,4152	43,7138	45,9579	48,1425	50,2633	52,3157	54,2957	56,1993
Displacement kg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Draft at FP m	-0,341	-0,402	-0,466	-0,536	-0,61	-0,69	-0,778	-0,875	-0,983	-1,103	-1,239	-1,396
Draft at AP m	-0,333	-0,393	-0,458	-0,526	-0,6	-0,681	-0,768	-0,864	-0,971	-1,091	-1,226	-1,382
WL Length m	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15
Beam max extents on WL m	0,974	0,943	0,911	0,879	0,847	0,814	0,78	0,745	0,71	0,674	0,637	0,599
Wetted Area m^2	2,78	2,796	2,797	2,798	2,799	2,799	2,8	2,801	2,801	2,802	2,802	2,803
Waterpl. Area m^2	1,641	1,586	1,496	1,417	1,348	1,288	1,235	1,189	1,148	1,112	1,08	1,052
Prismatic coeff. (Cp)	0,942	0,944	0,946	0,948	0,95	0,952	0,954	0,955	0,956	0,957	0,958	0,959
Block coeff. (Cb)	0,309	0,337	0,367	0,4	0,435	0,473	0,514	0,558	0,607	0,661	0,719	0,737
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	2,979	2,982	2,985	2,988	2,991	2,993	2,995	2,997	2,999	3	3,001	3,003
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,065	3,04	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036
Max deck inclination deg	32,5001	35,0001	37,5001	40	42,5	45	47,5	50	52,5	55	57,5	60
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0787	0,0811	0,0837	0,0867	0,0901	0,0939	0,0983	0,1033	0,1091	0,1158	0,1236	0,1328

Heel to Starboard deg	62,5	65	67,5	70	72,5	75	77,5	80	82,5	85	87,5	90
GZ m	0,713	0,679	0,643	0,606	0,568	0,529	0,489	0,448	0,406	0,363	0,319	0,275
Area under GZ curve from zero heel m.deg	58,0225	59,7619	61,414	62,9754	64,4432	65,8145	67,0865	68,2569	69,3234	70,2838	71,1364	71,8794
Displacement kg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Draft at FP m	-1,578	-1,794	-2,054	-2,375	-2,784	-3,324	-4,075	-5,194	-7,05	-10,748	-21,812	n/a
Draft at AP m	-1,563	-1,777	-2,035	-2,354	-2,761	-3,297	-4,043	-5,154	-6,996	-10,667	-21,652	n/a
WL Length m	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15
Beam max extents on WL m	0,561	0,522	0,483	0,443	0,402	0,361	0,32	0,278	0,236	0,194	0,152	0,15
Wetted Area m^2	2,803	2,804	2,804	2,804	2,805	2,805	2,806	2,806	2,806	2,807	2,807	2,807
Waterpl. Area m^2	1,027	1,005	0,986	0,969	0,955	0,943	0,933	0,925	0,919	0,914	0,912	0,911
Prismatic coeff. (Cp)	0,96	0,96	0,961	0,962	0,962	0,962	0,963	0,963	0,963	0,964	0,964	0,964
Block coeff. (Cb)	0,754	0,772	0,79	0,807	0,825	0,844	0,862	0,881	0,901	0,921	0,942	0,964
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,004	3,005	3,006	3,006	3,007	3,008	3,008	3,009	3,009	3,01	3,01	3,01
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,036	3,036	3,036	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035
Max deck inclination deg	62,5	65	67,5	70	72,5	75	77,5	80	82,5	85	87,5	90
Trim angle (+ve by stern) deg	0,1438	0,1571	0,1735	0,1941	0,2208	0,2566	0,3068	0,3824	0,5087	0,7618	1,522	-1, #IND

Heel to Starboard deg	92,5	95	97,5	100	102,5	105	107,5	110	112,5	115	117,5	120
GZ m	0,231	0,186	0,14	0,095	0,049	0,003	-0,043	-0,089	-0,134	-0,18	-0,225	-0,269
Area under GZ curve from zero heel m.deg	72,5116	73,0318	73,4391	73,7326	73,9118	73,9763	73,9261	73,7612	73,4822	73,0896	72,5843	71,9675
Displacement kg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Draft at FP m	-22,363	-11,297	-7,6	-5,744	-4,625	-3,874	-3,334	-2,925	-2,604	-2,344	-2,128	-1,946
Draft at AP m	-22,202	-11,217	-7,546	-5,704	-4,593	-3,847	-3,311	-2,905	-2,586	-2,327	-2,113	-1,932
WL Length m	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15
Beam max extents on WL m	0,15	0,25	0,207	0,22	0,251	0,293	0,335	0,377	0,418	0,459	0,499	0,539
Wetted Area m^2	2,808	2,723	2,676	2,65	2,646	2,646	2,647	2,647	2,647	2,648	2,648	2,649
Waterpl. Area m^2	0,912	0,922	0,924	0,929	0,933	0,943	0,955	0,969	0,986	1,005	1,027	1,052
Prismatic coeff. (Cp)	0,964	0,963	0,963	0,963	0,963	0,963	0,962	0,962	0,962	0,961	0,961	0,961
Block coeff. (Cb)	0,942	0,827	0,837	0,834	0,862	0,844	0,826	0,808	0,79	0,773	0,755	0,737
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,011	3,011	3,011	3,011	3,011	3,011	3,011	3,011	3,011	3,011	3,011	3,01
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,035	3,034	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035
Max deck inclination deg	92,5	95	97,5	100	102,5	105	107,5	110	112,5	115	117,5	120
Trim angle (+ve by stern) deg	1,522	0,7618	0,5087	0,3824	0,3068	0,2566	0,2208	0,1941	0,1735	0,1571	0,1438	0,1328

ANEXO VI: PLANOS

Este anexo incluye los planos del USV diseñado en el siguiente orden:

Hoja nº1: Placa base reflector RCS.

Hoja nº2: Perfil octogonal reflector RCS.

Hoja nº3: Triángulo reflector RCS.

Hoja nº4: Base patín.

Hoja nº5: Orza.

Hoja nº6: Cuaderna.

Hoja nº7: Orza.

Hoja nº8: Paredes patín.

Hoja nº9: Tapa patín.

Hoja nº10: Placa de proa.

Hoja nº11: Perfil transversal.

Hoja nº12: Perfil longitudinal.

Hoja nº13: T200.

Hoja nº14: Placa montaje T200.

Hoja nº15: Codo.

Hoja nº16: Conjunto escuadra y tornillería.

Hoja nº17: Conjunto reflector RCS.

Hoja nº18: Explosionado reflector RCS.

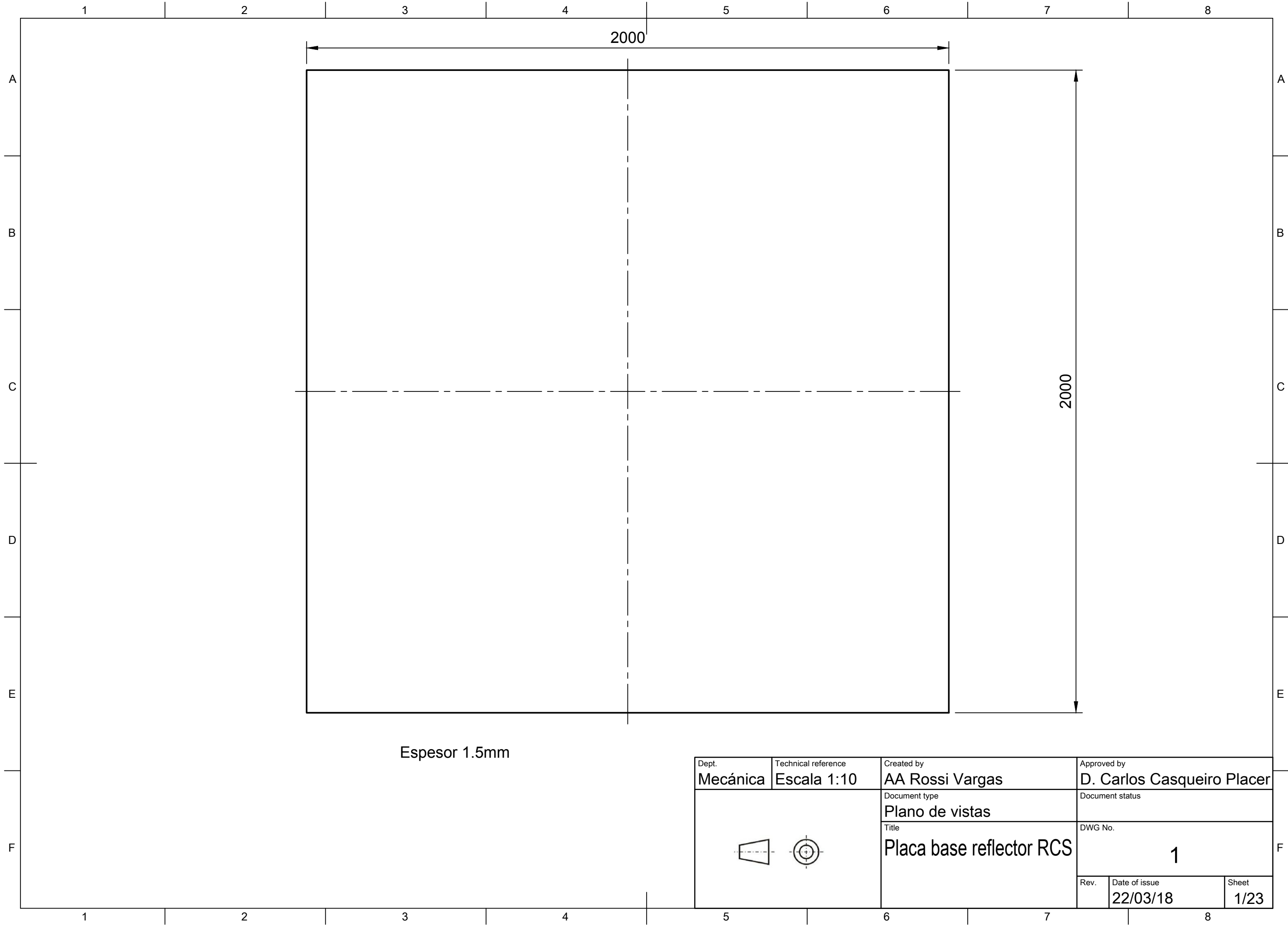
Hoja nº19: Conjunto estructura y reflector RCS.

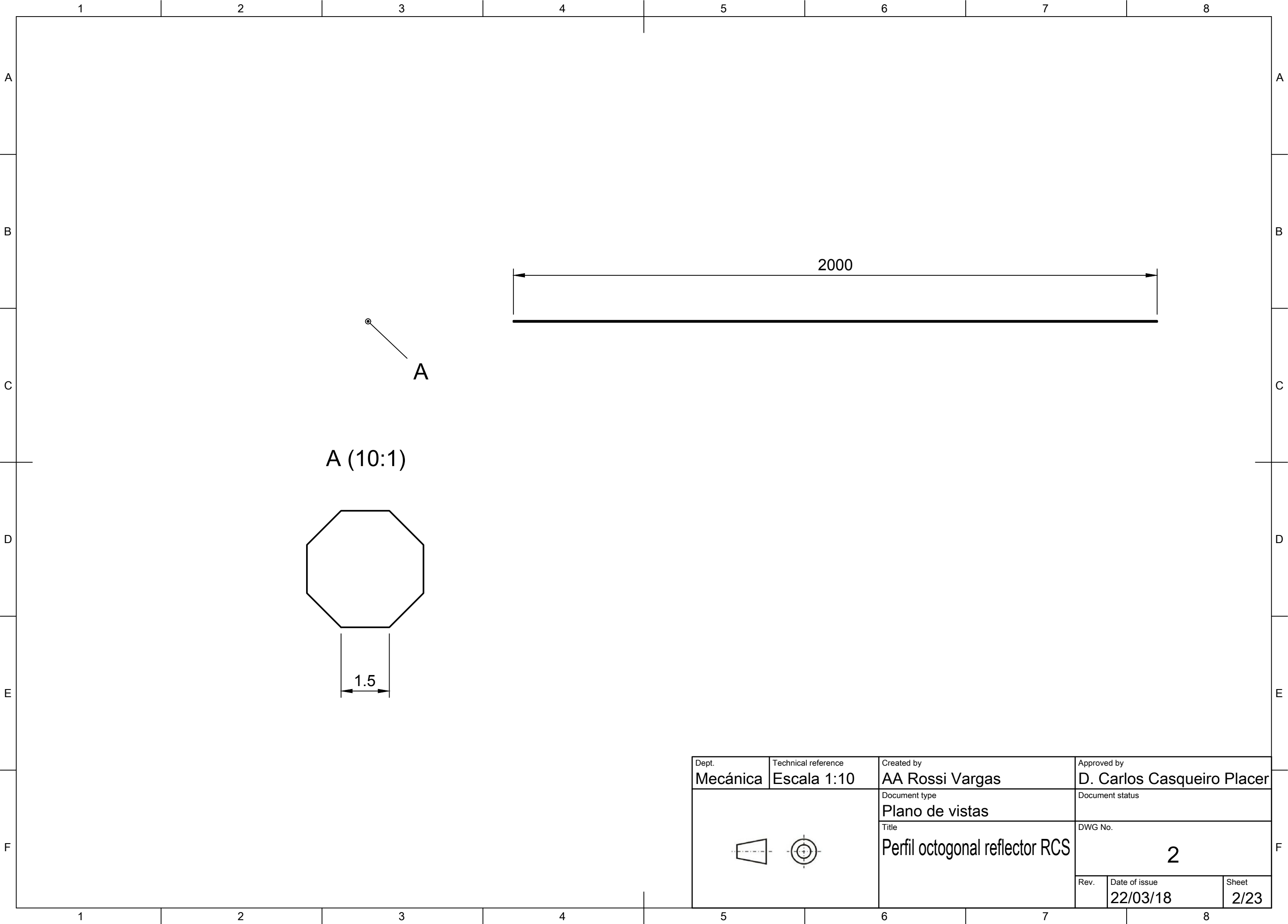
Hoja nº20: Conjunto patín.

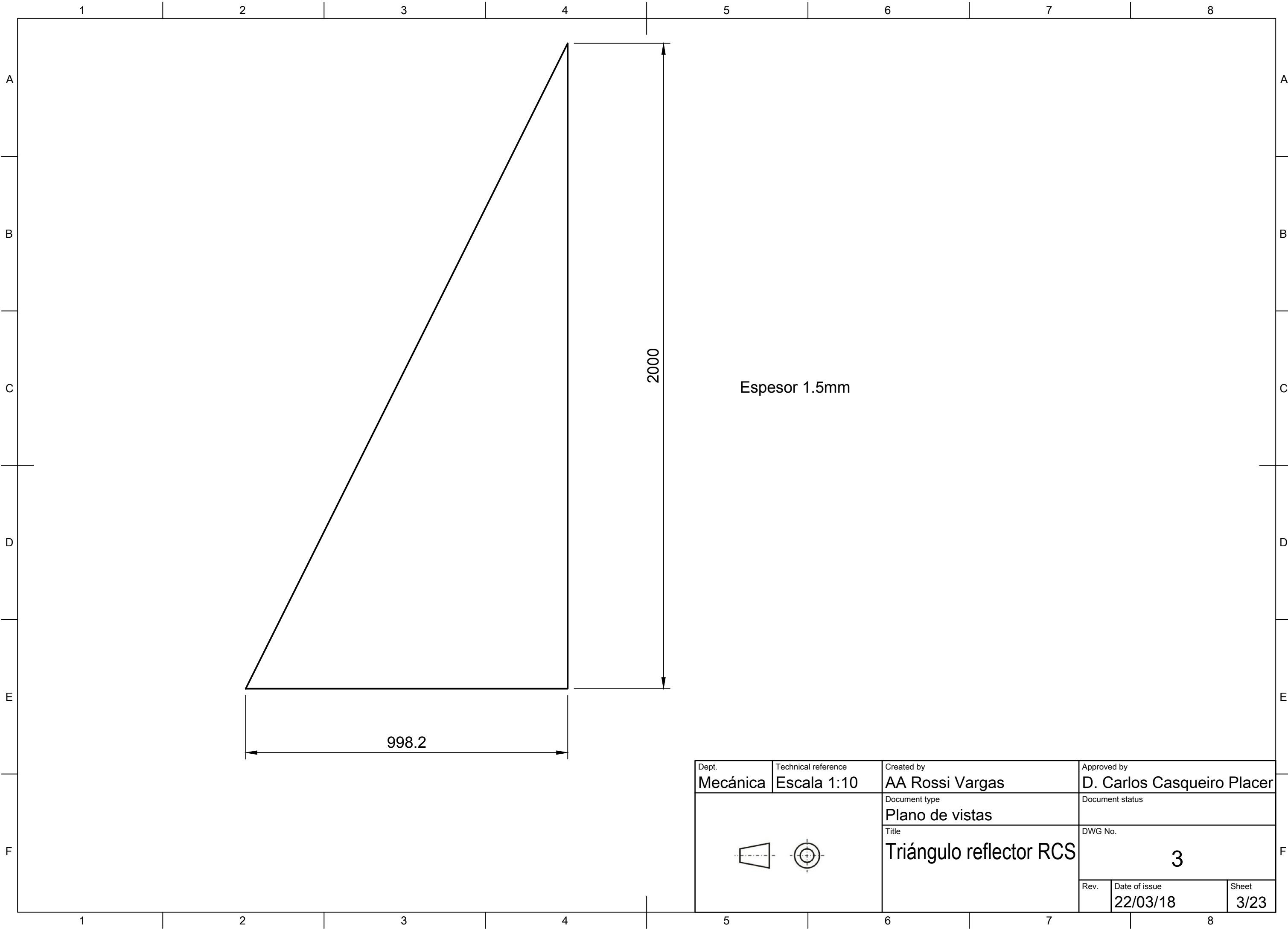
Hoja nº21: Explosionado conjunto patín.

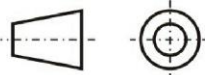
Hoja nº22: Conjunto USV.

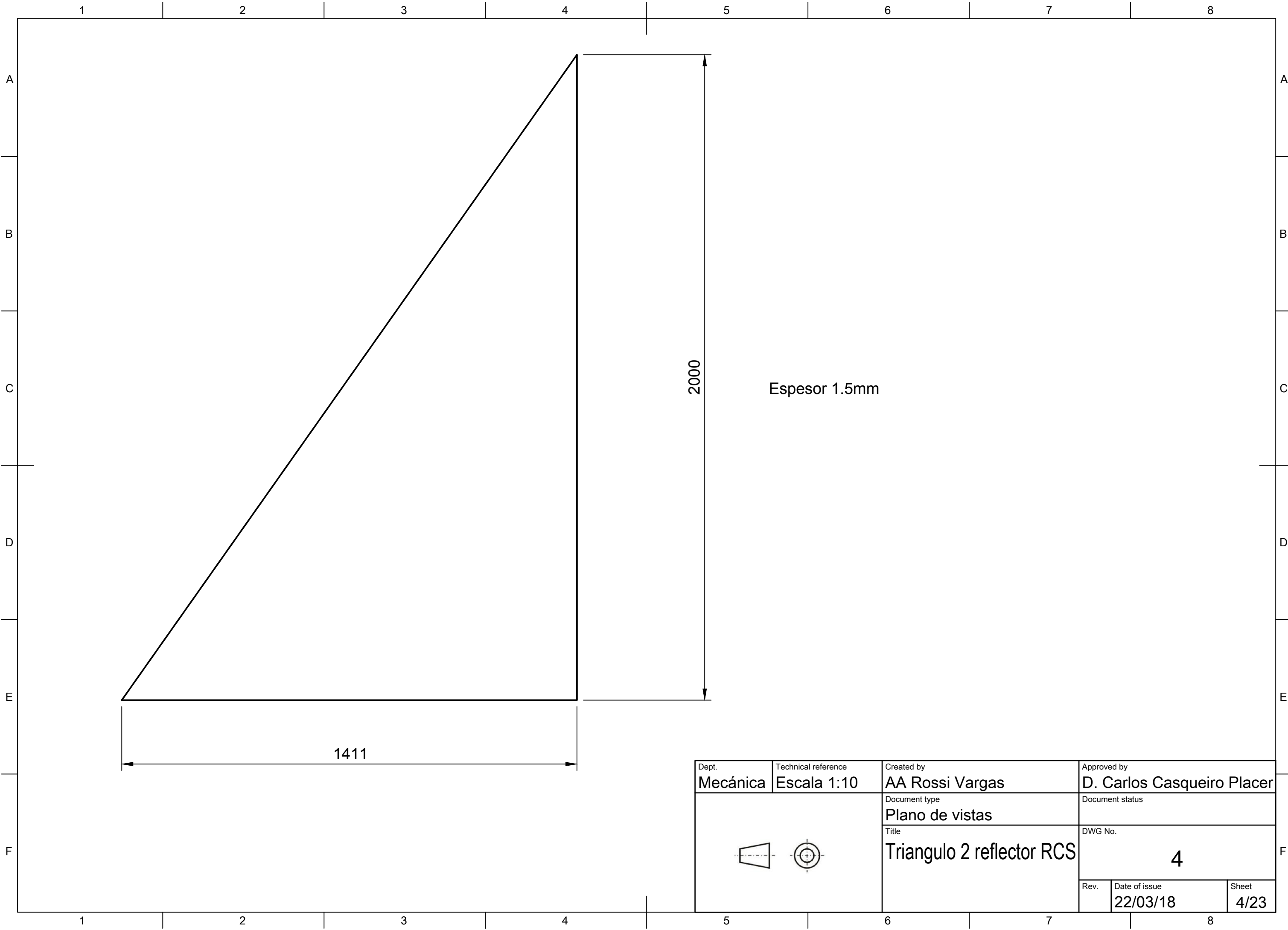
Hoja nº23: Explosionado conjunto USV.

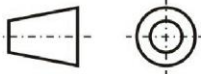


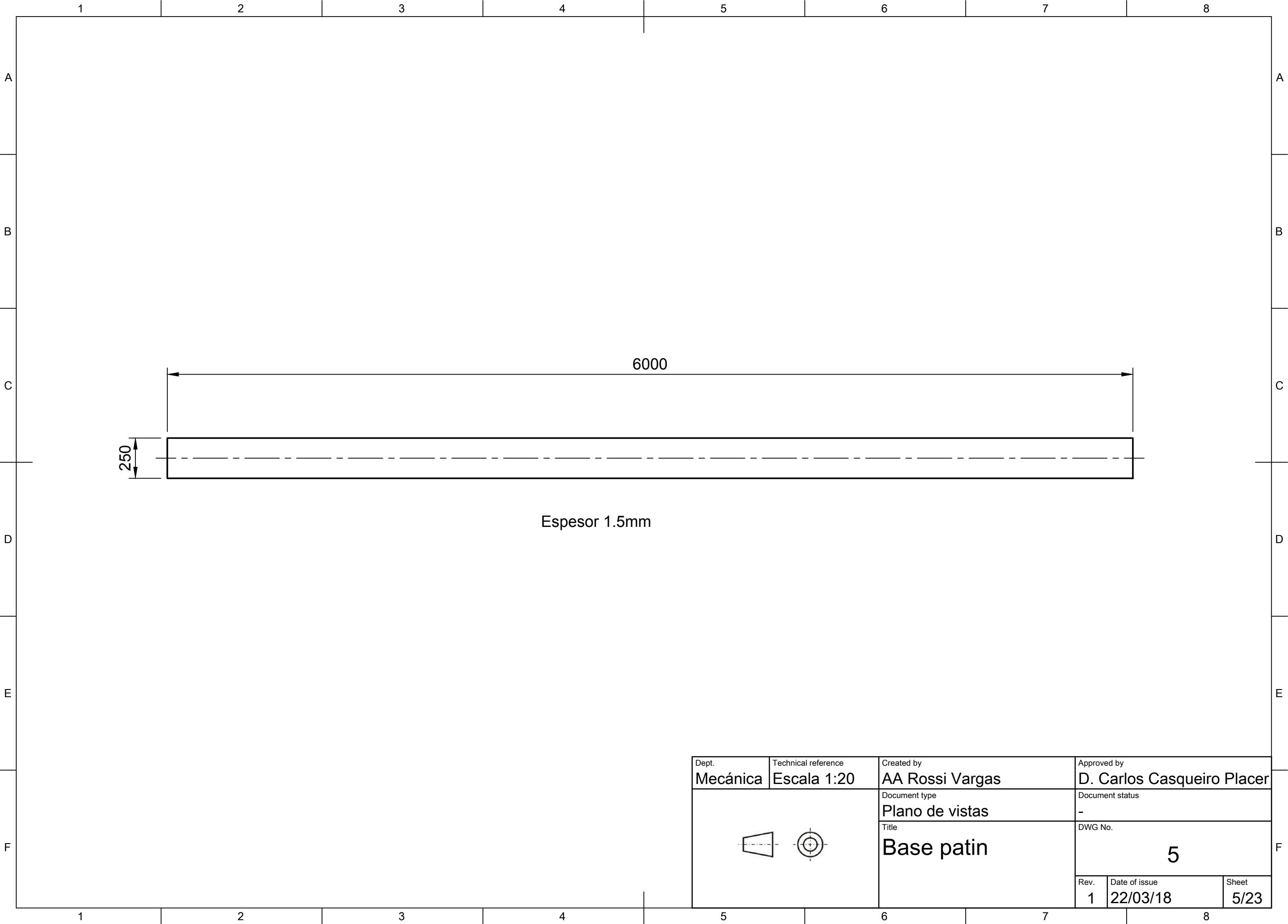


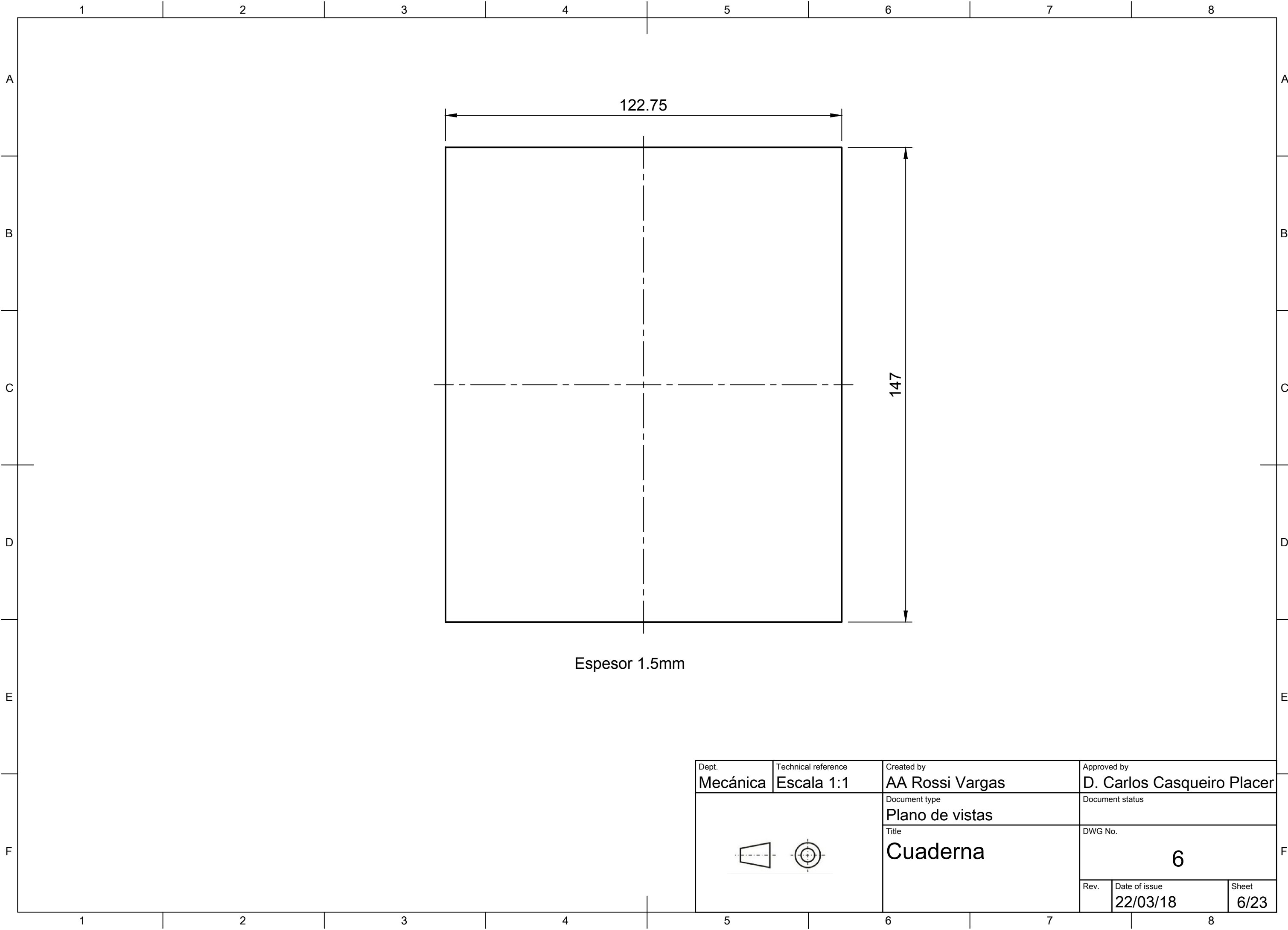


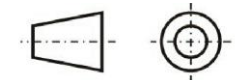
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:10	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placer		
		Document type Plano de vistas	Document status		
		Title Triángulo reflector RCS	DWG No. 3		
			Rev.	Date of issue 22/03/18	Sheet 3/23

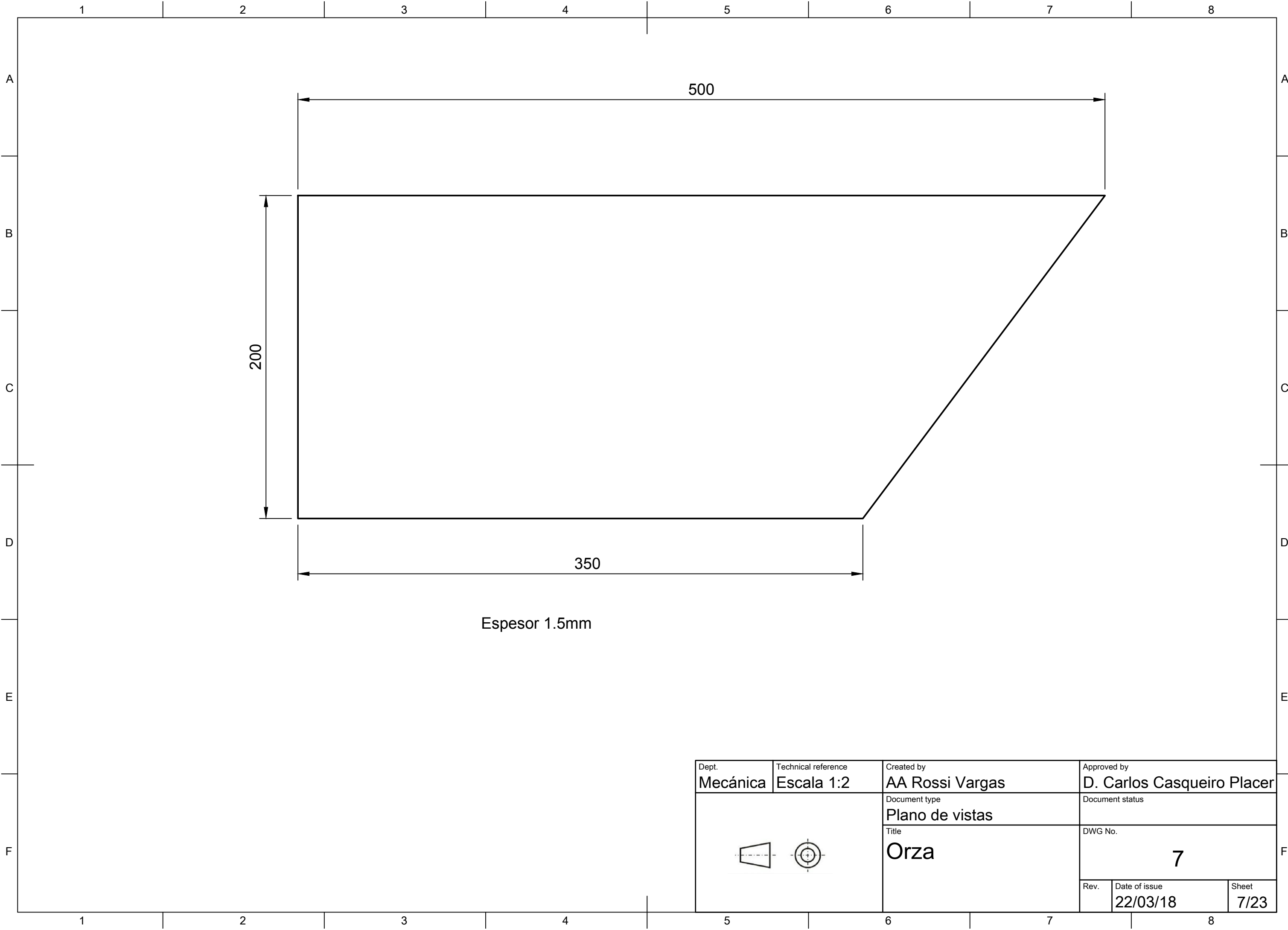


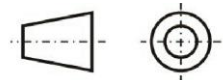
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:10	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placer	
		Document type Plano de vistas	Document status	
		Title Triangulo 2 reflector RCS	DWG No. 4	
			Rev.	Sheet
			22/03/18	4/23

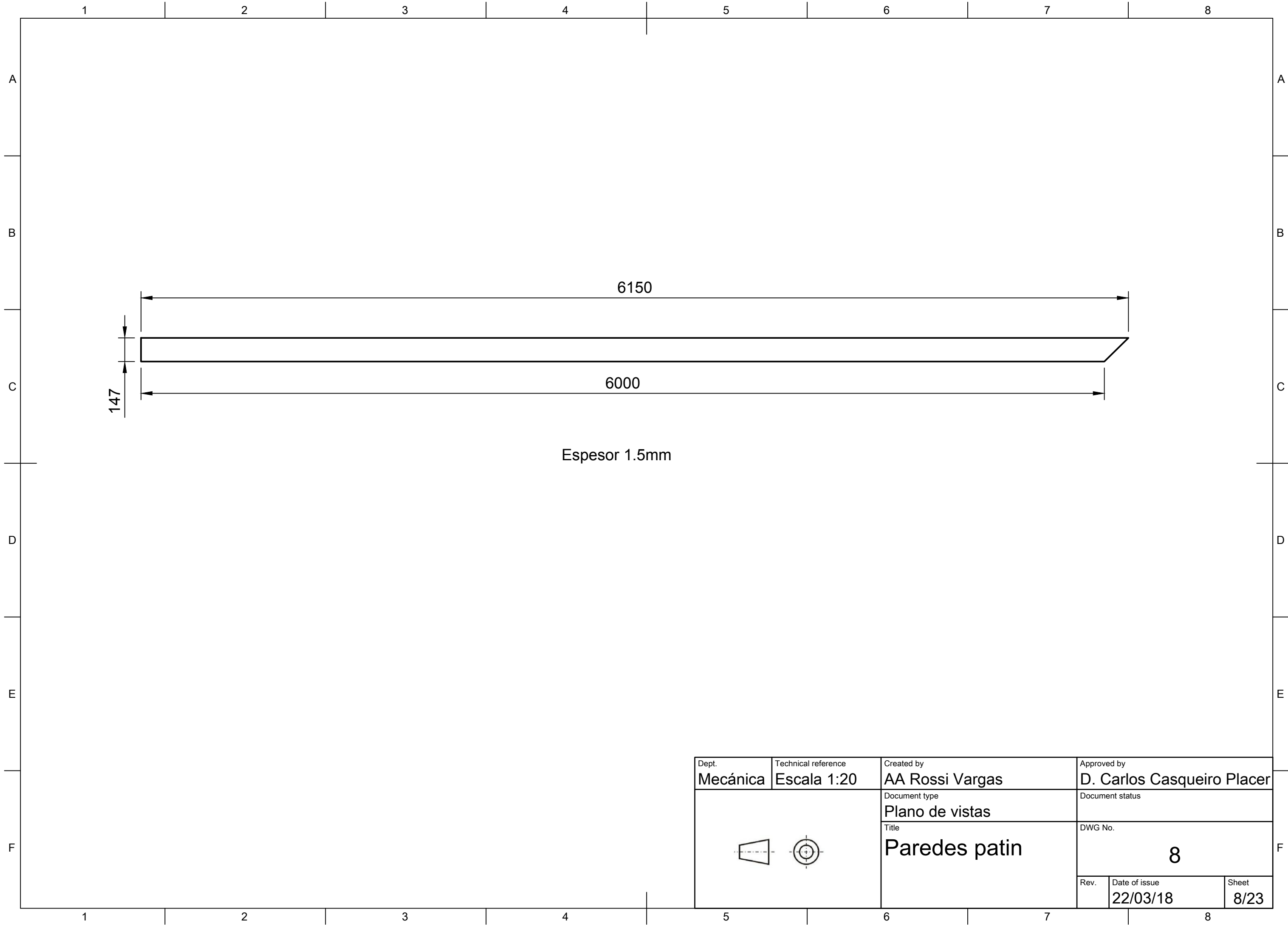


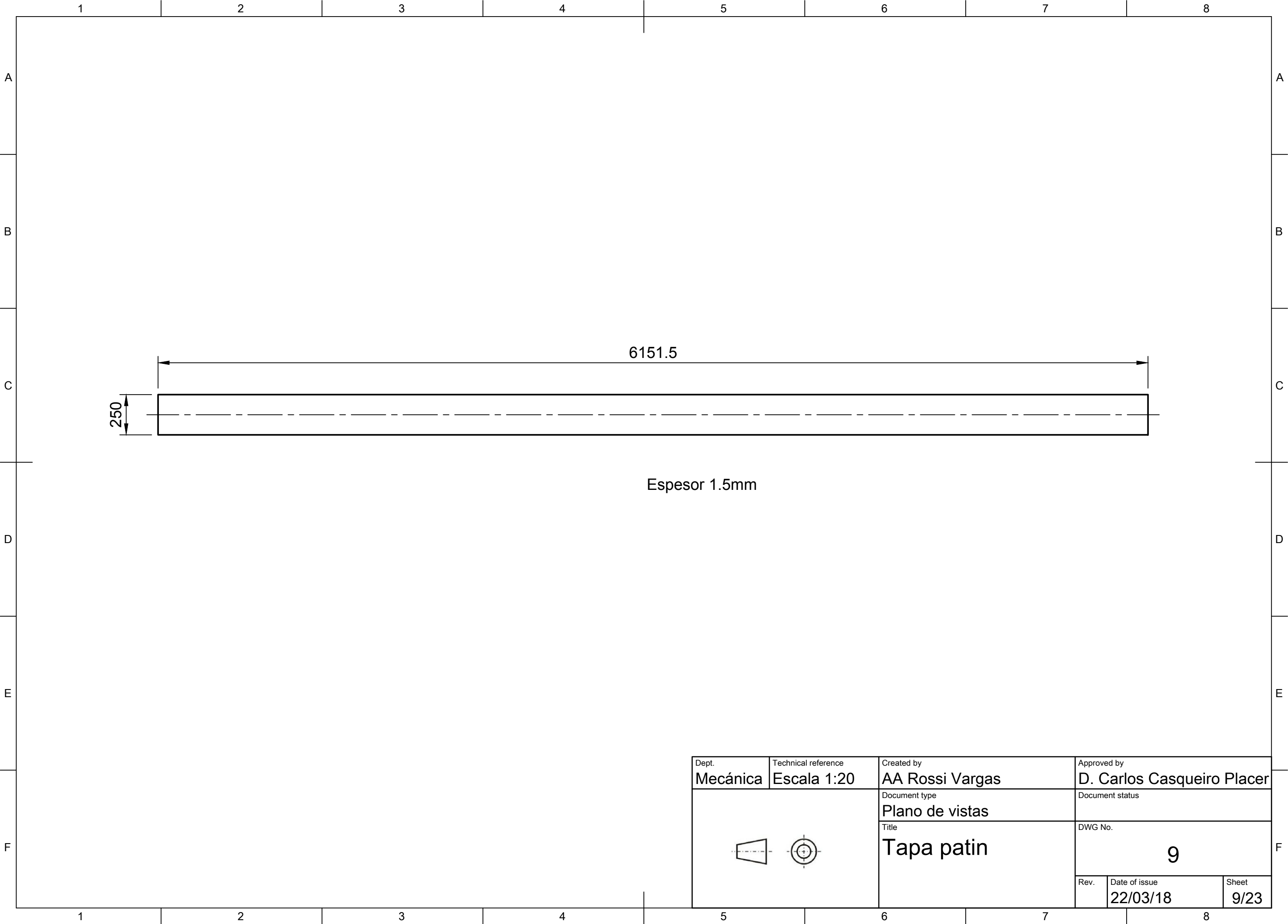


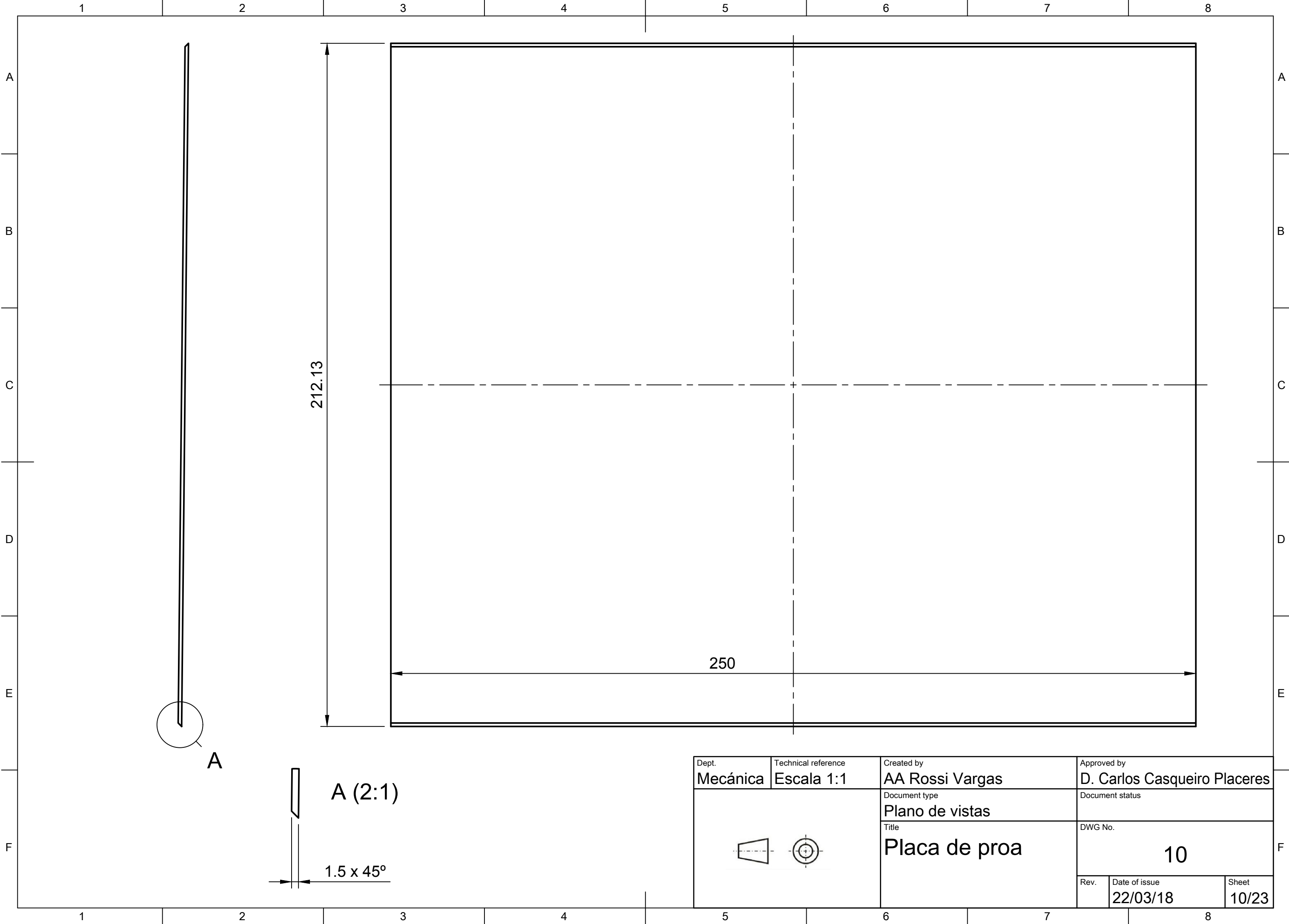
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:1	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placer		
		Document type Plano de vistas	Document status		
		Title Cuaderna	DWG No. 6		
		Rev.	Date of issue 22/03/18	Sheet 6/23	



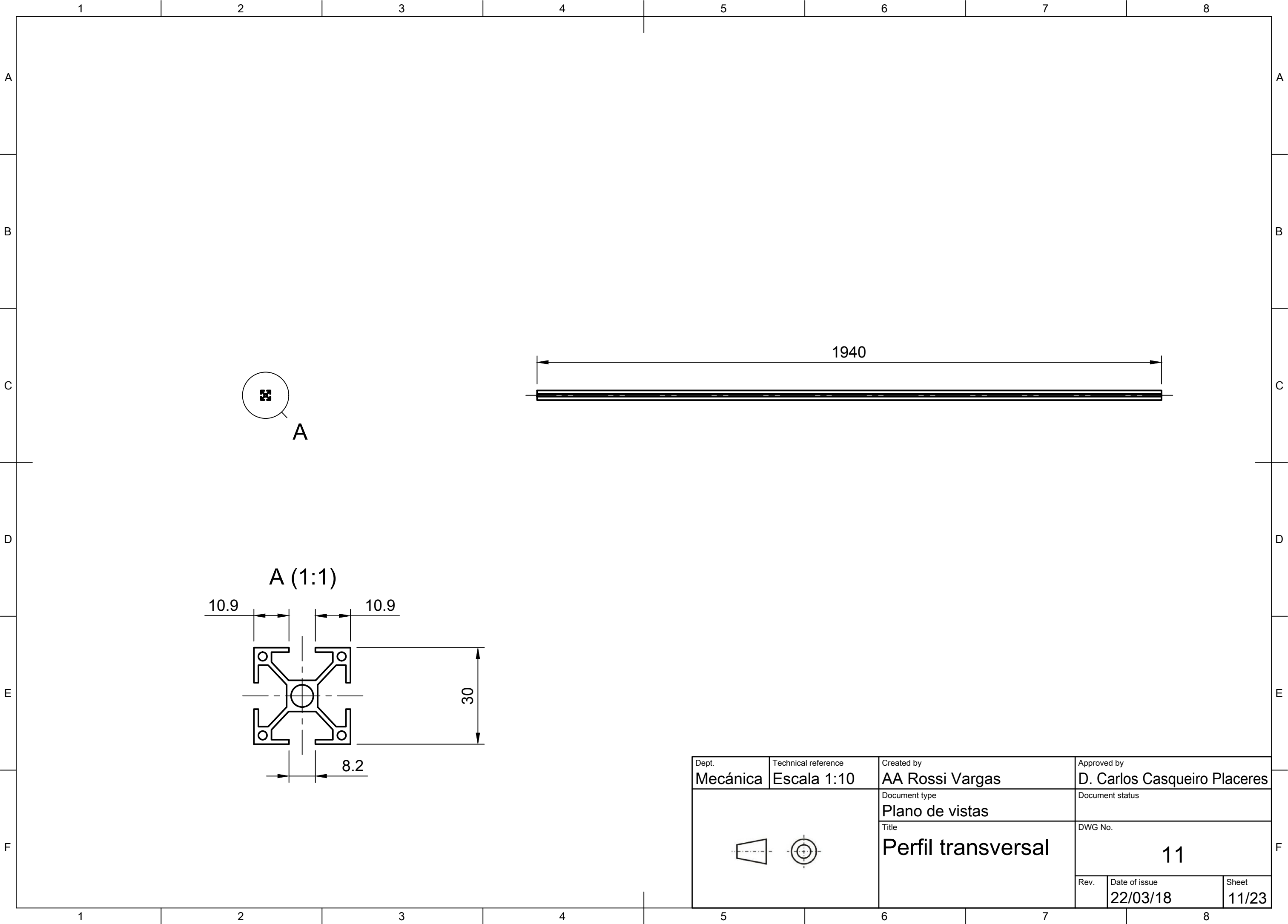
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:2	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placer		
		Document type Plano de vistas	Document status		
		Title Orza	DWG No. 7		
			Rev.	Date of issue 22/03/18	Sheet 7/23

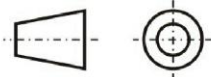


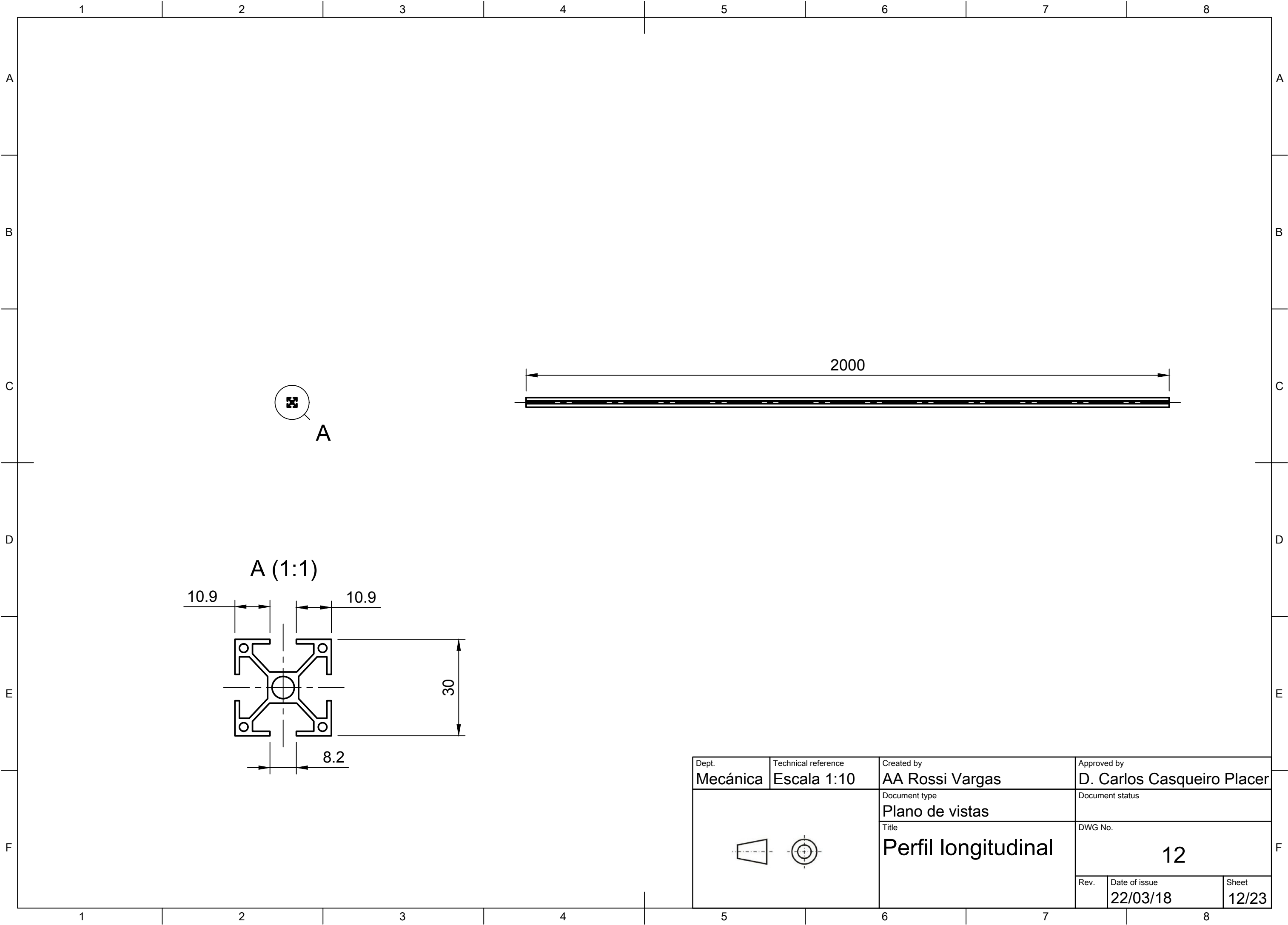




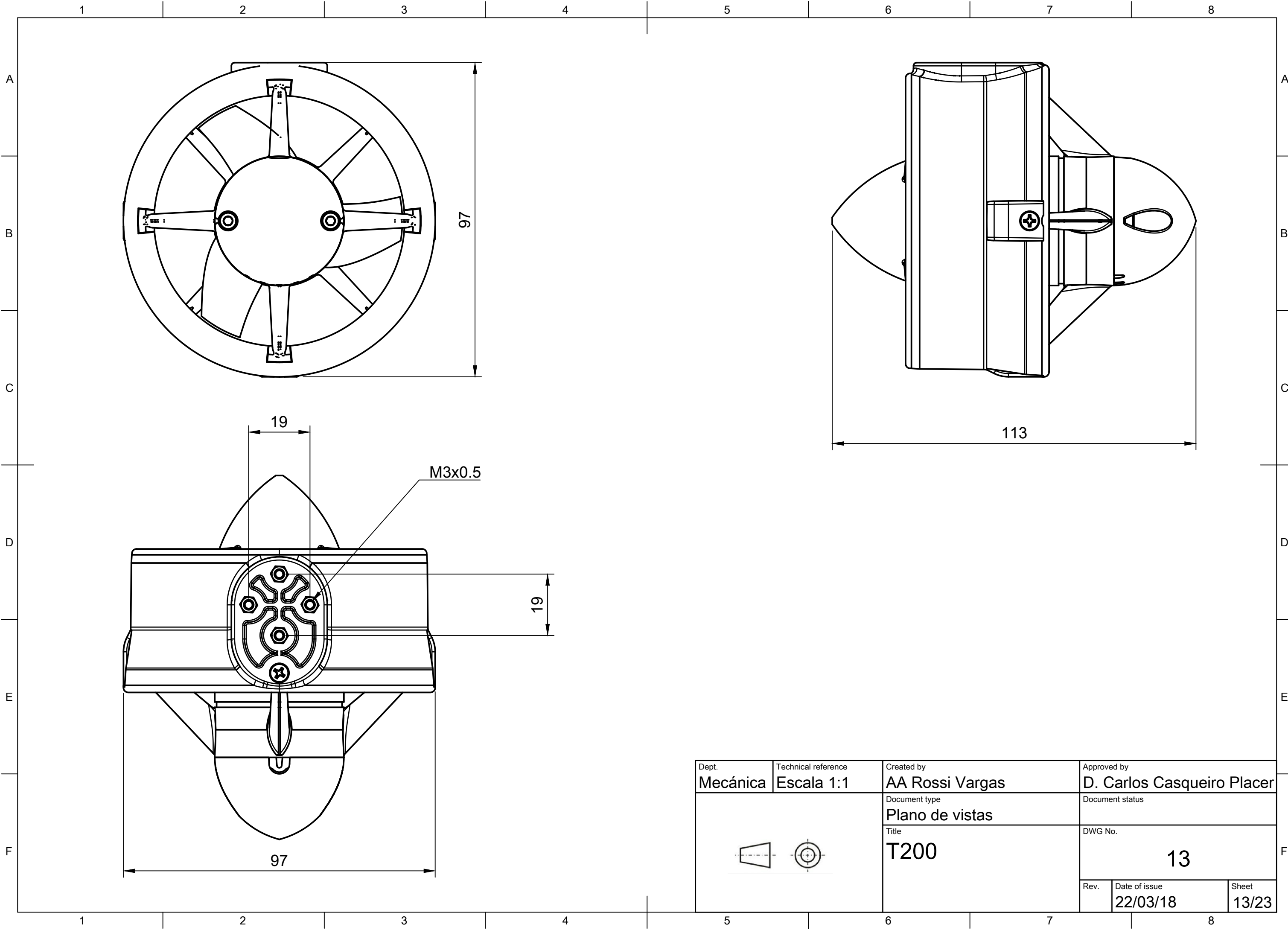
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:1	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placeres	
		Document type Plano de vistas	Document status	
		Title Placa de proa	DWG No. 10	
		Rev.	Date of issue 22/03/18	Sheet 10/23

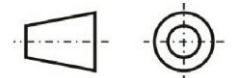


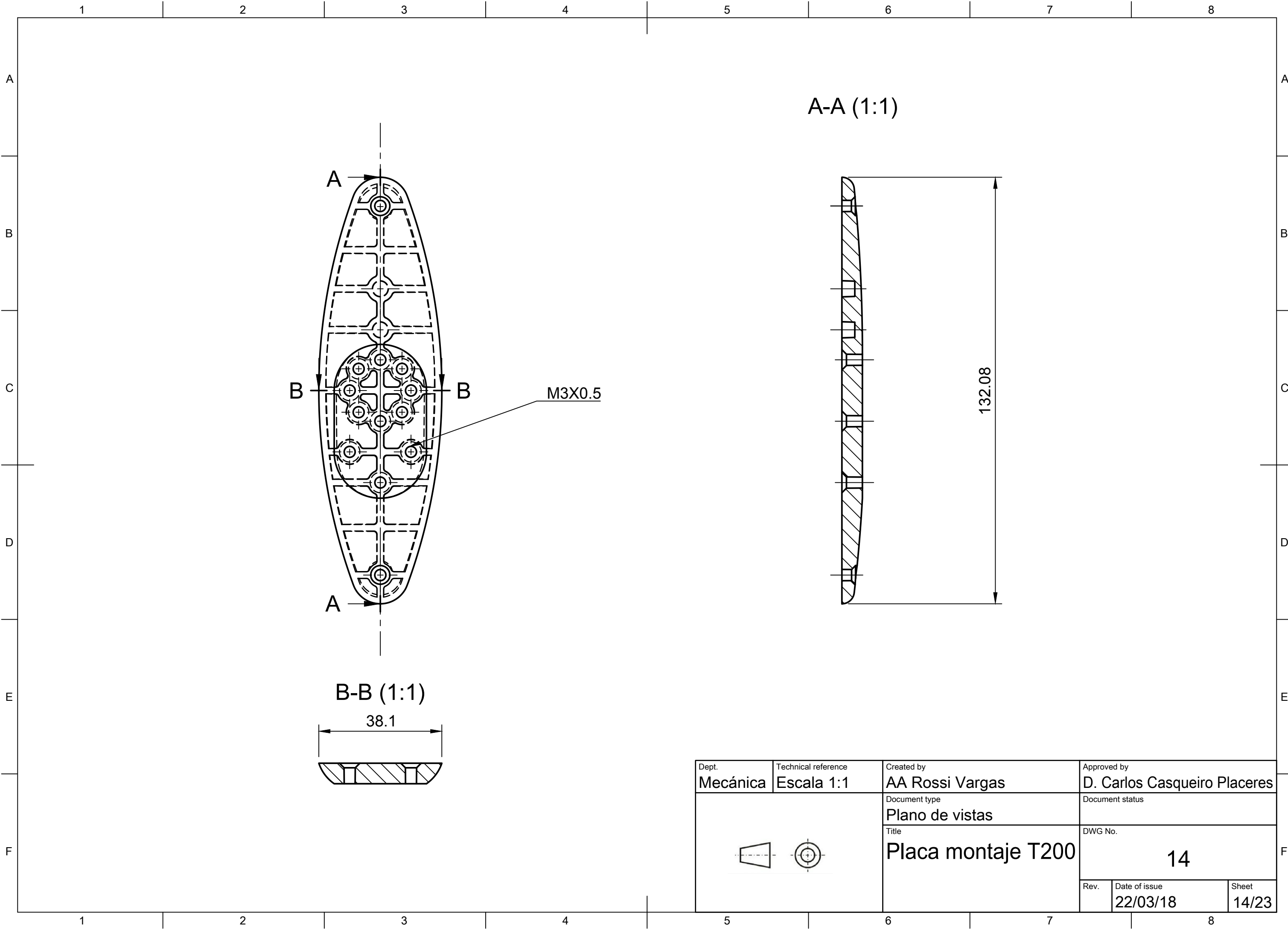
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:10	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placeres		
		Document type Plano de vistas	Document status		
		Title Perfil transversal	DWG No. 11		
			Rev.	Date of issue 22/03/18	Sheet 11/23



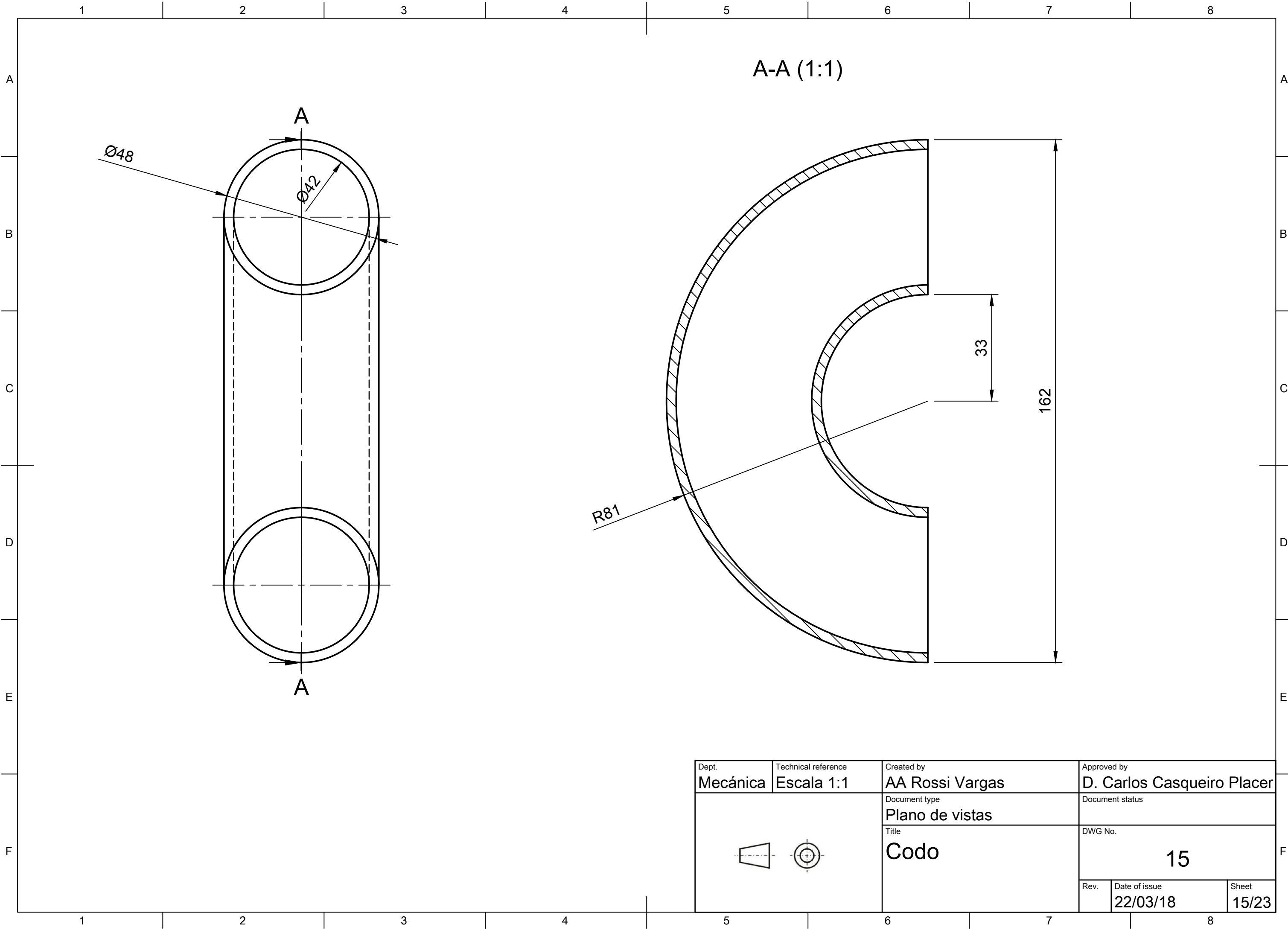
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:10	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placer	
		Document type Plano de vistas	Document status	
		Title Perfil longitudinal	DWG No. 12	
			Rev.	Date of issue 22/03/18
				Sheet 12/23

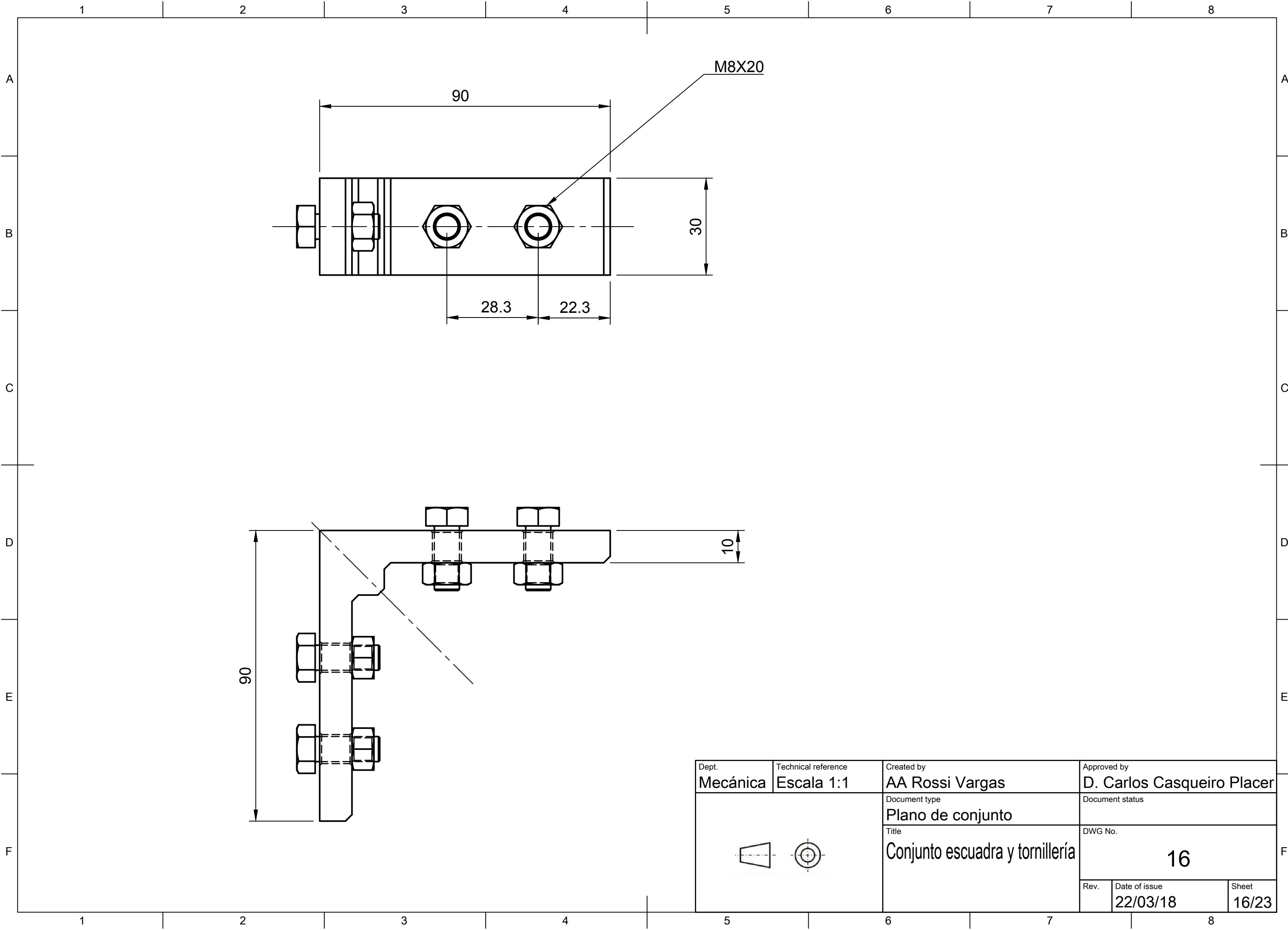


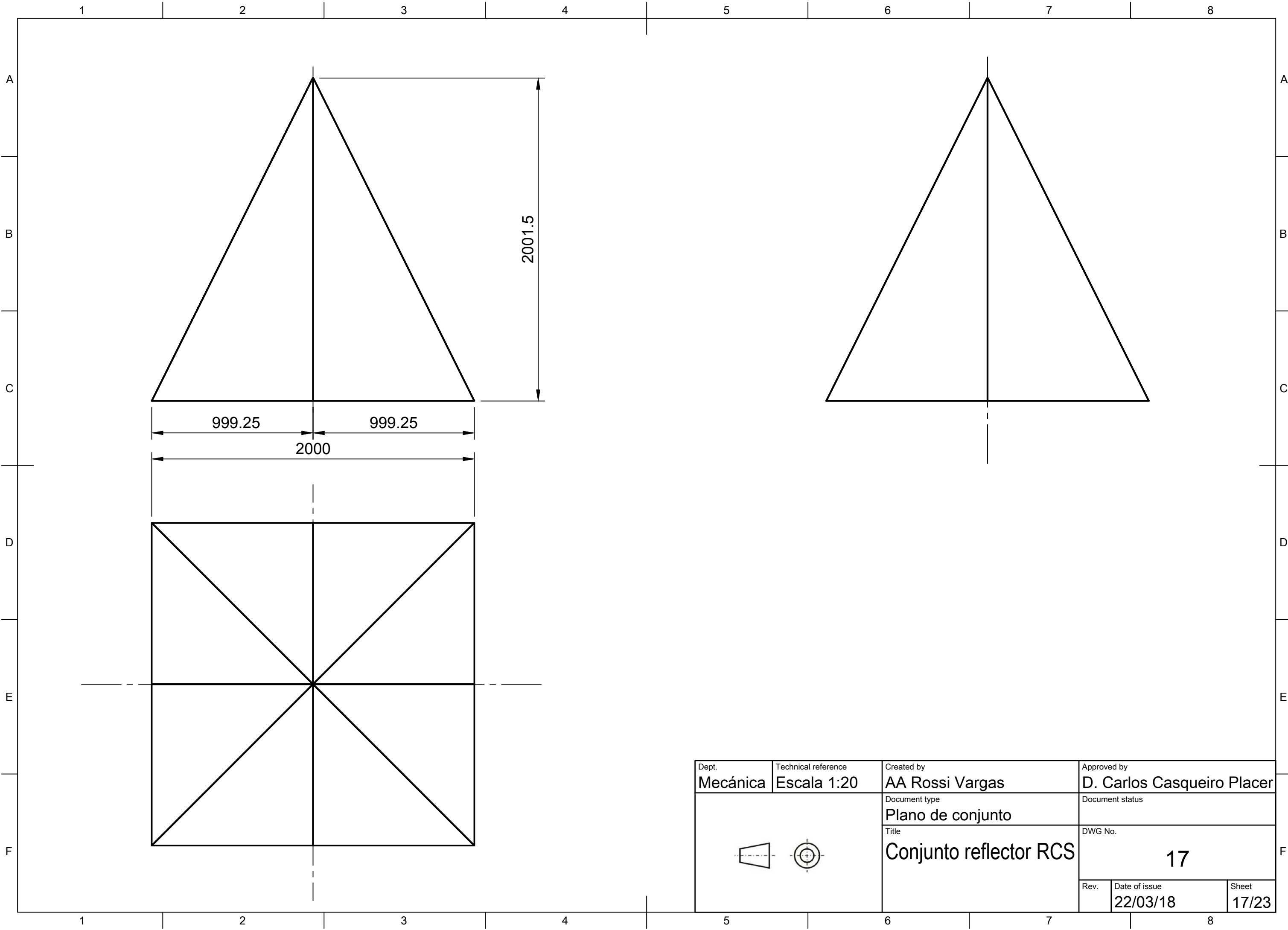
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:1	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placer		
		Document type Plano de vistas	Document status		
		Title T200	DWG No. 13		
		Rev.	Date of issue 22/03/18	Sheet 13/23	

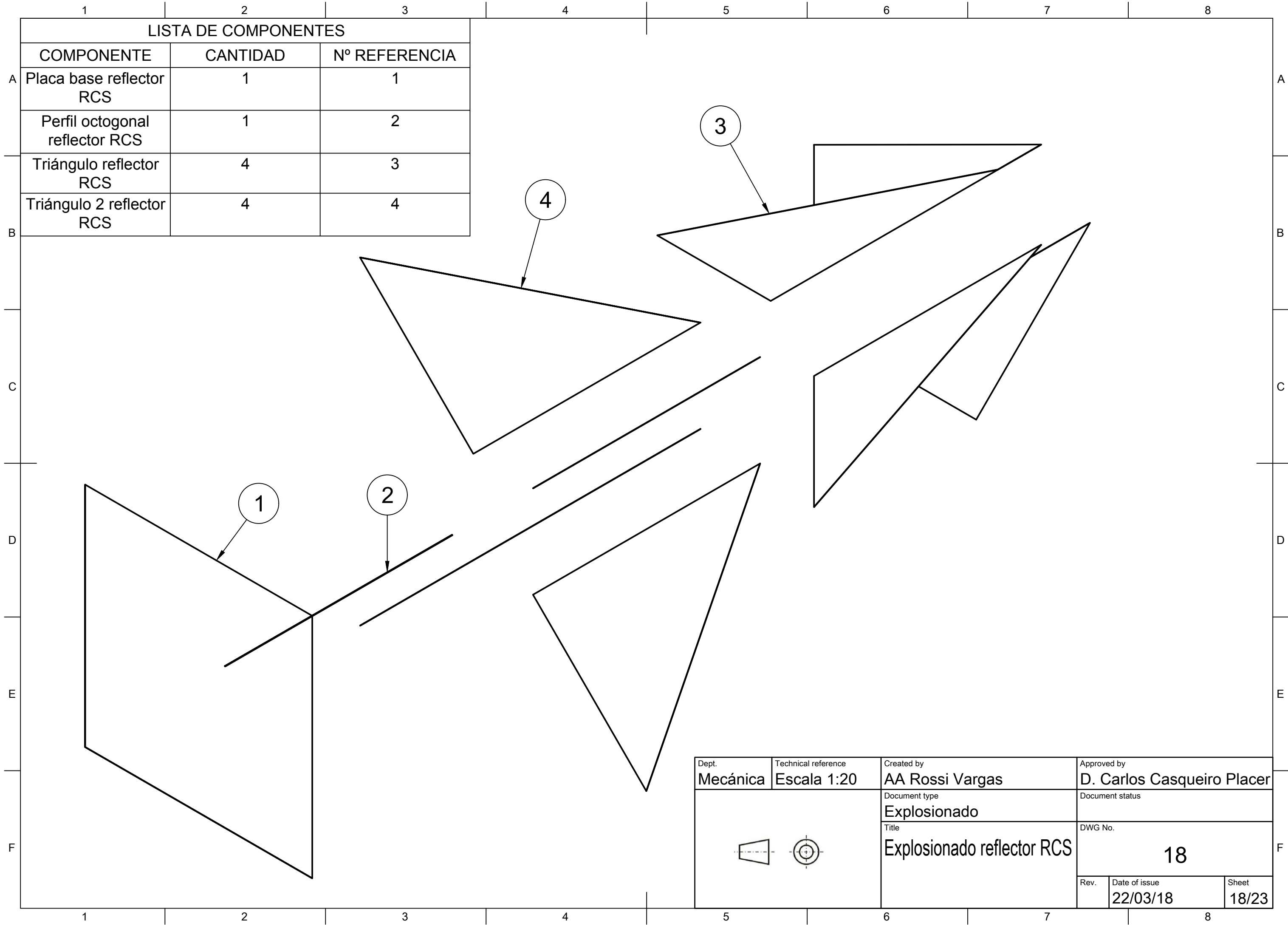


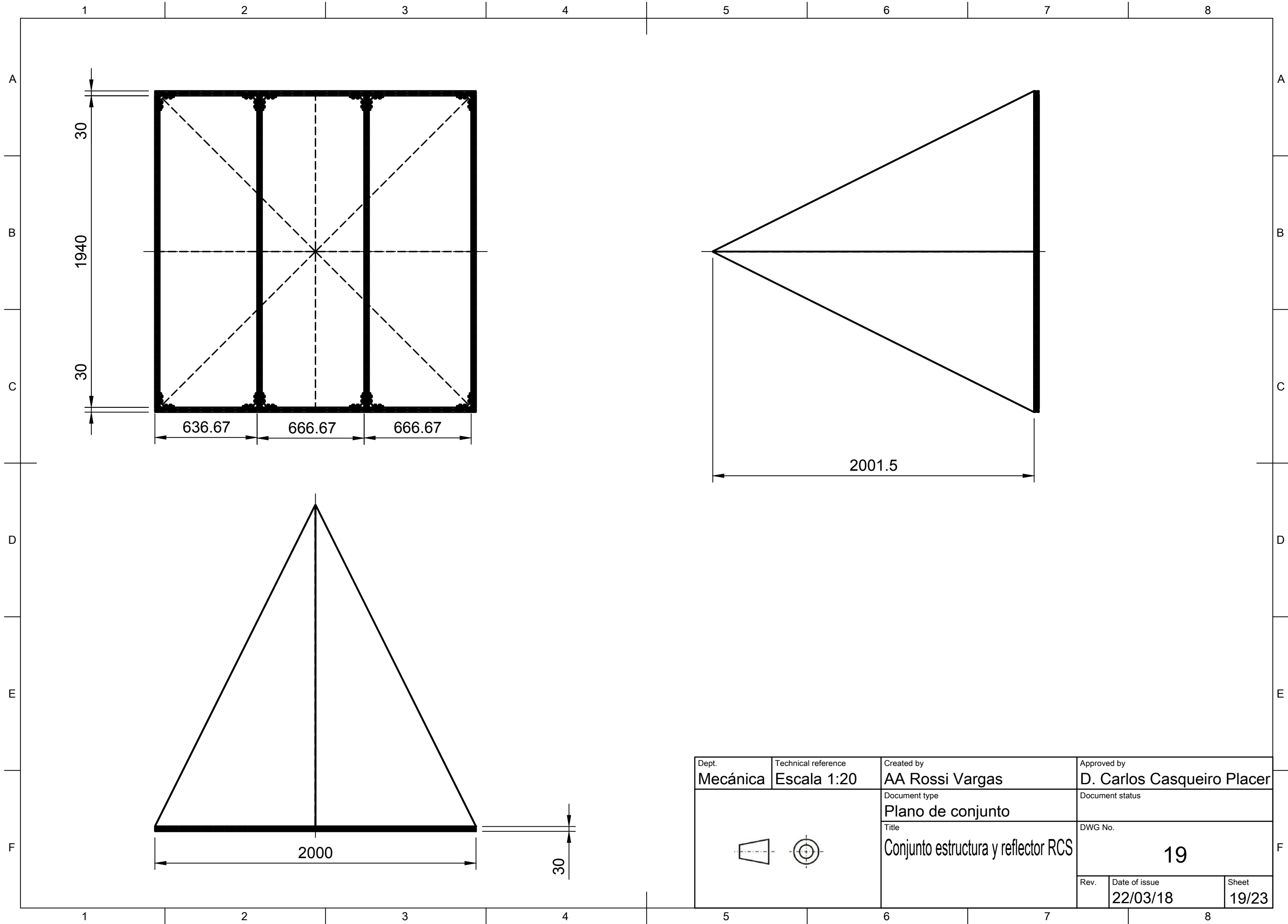
Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:1	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placeres	
		Document type Plano de vistas	Document status	
		Title Placa montaje T200	DWG No. 14	
			Rev.	Date of issue 22/03/18
				Sheet 14/23

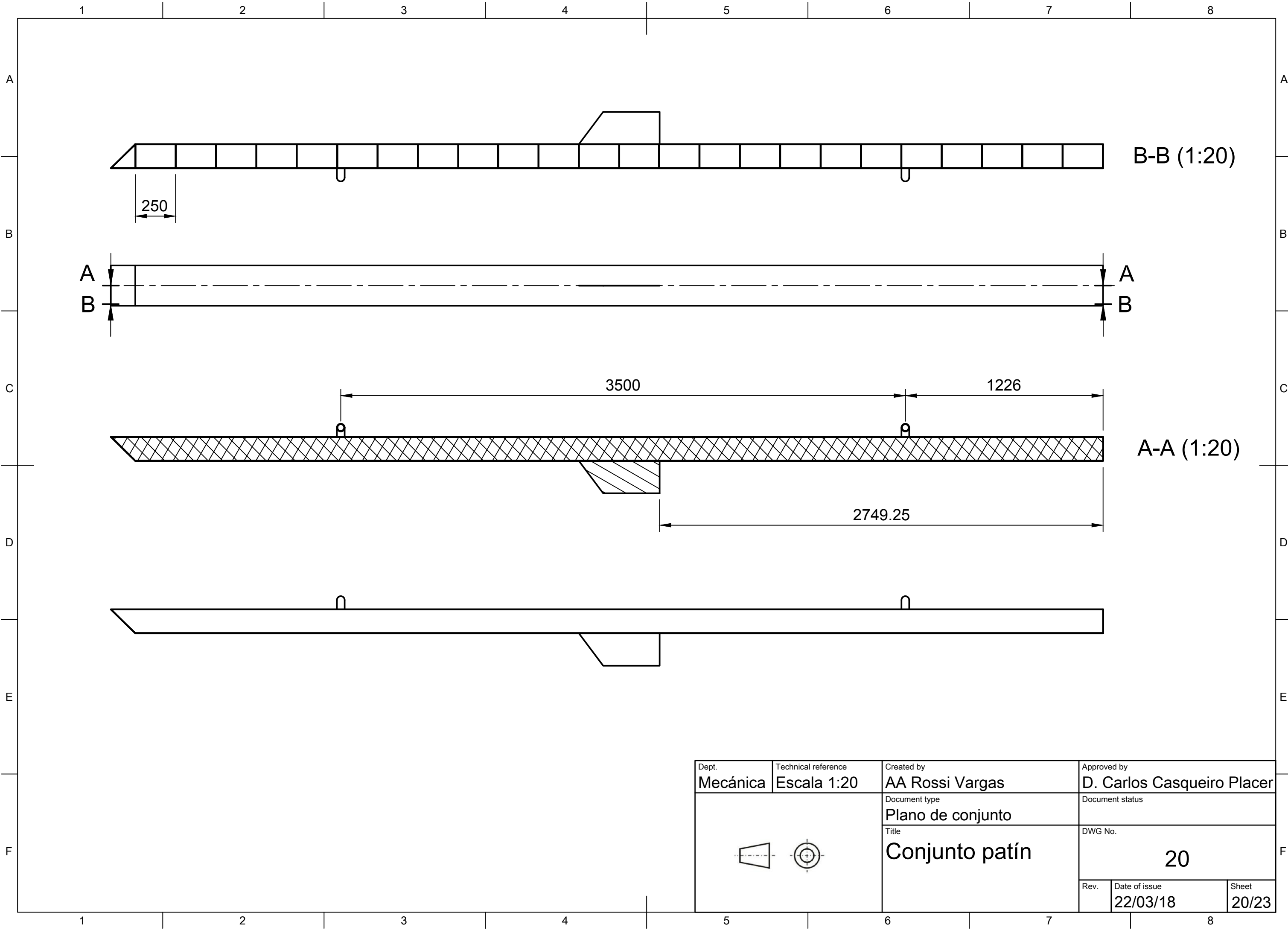


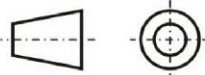


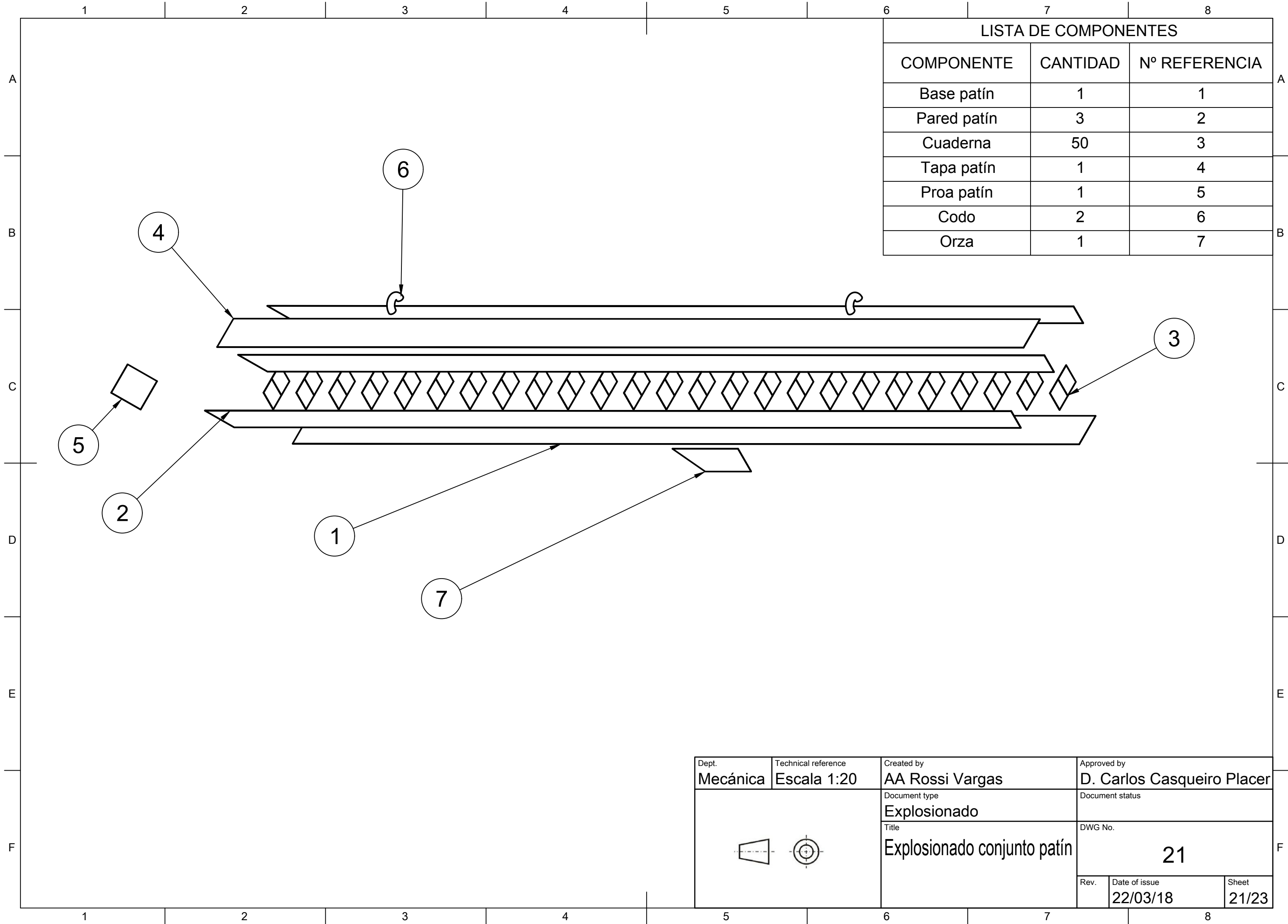


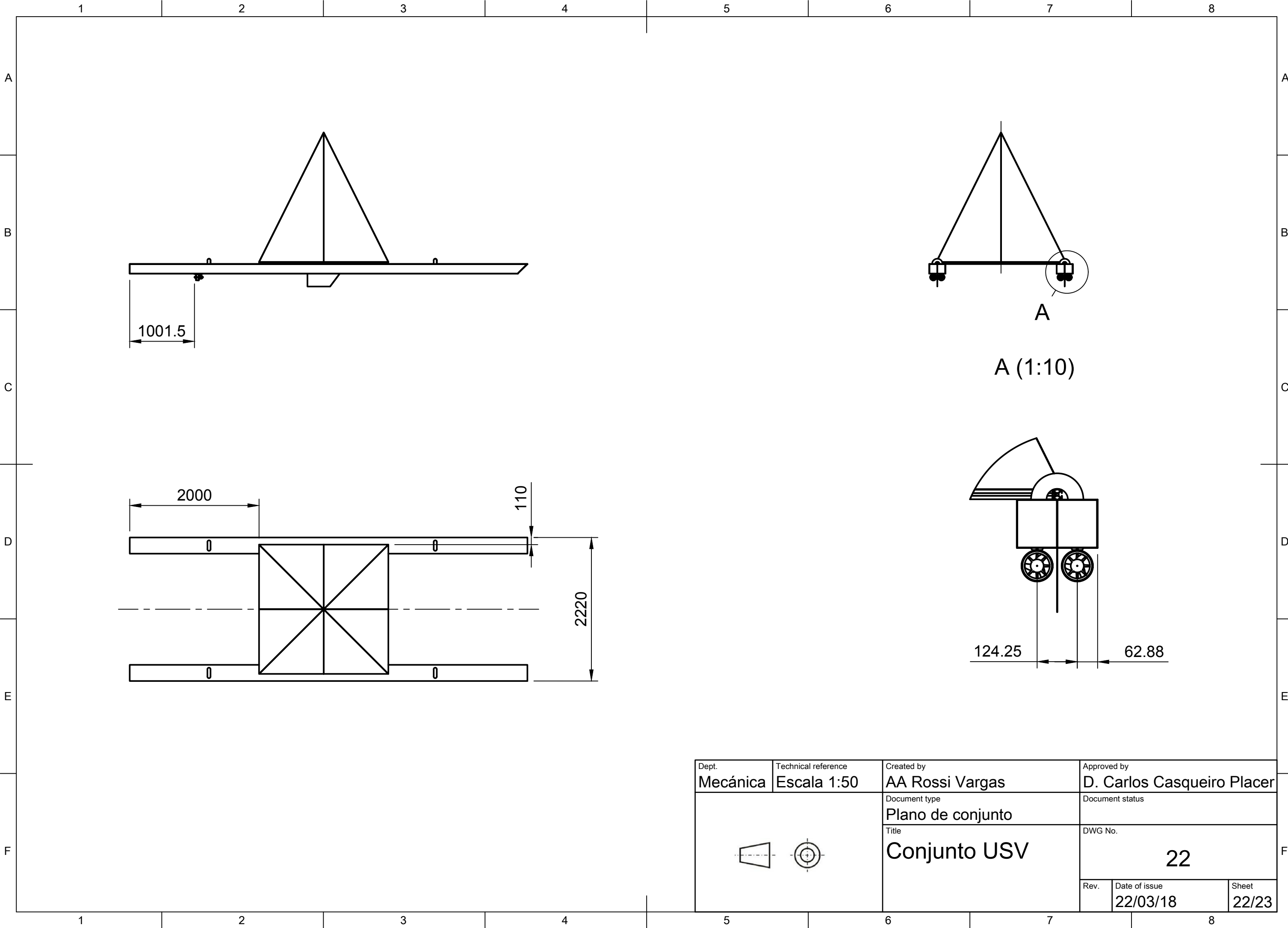


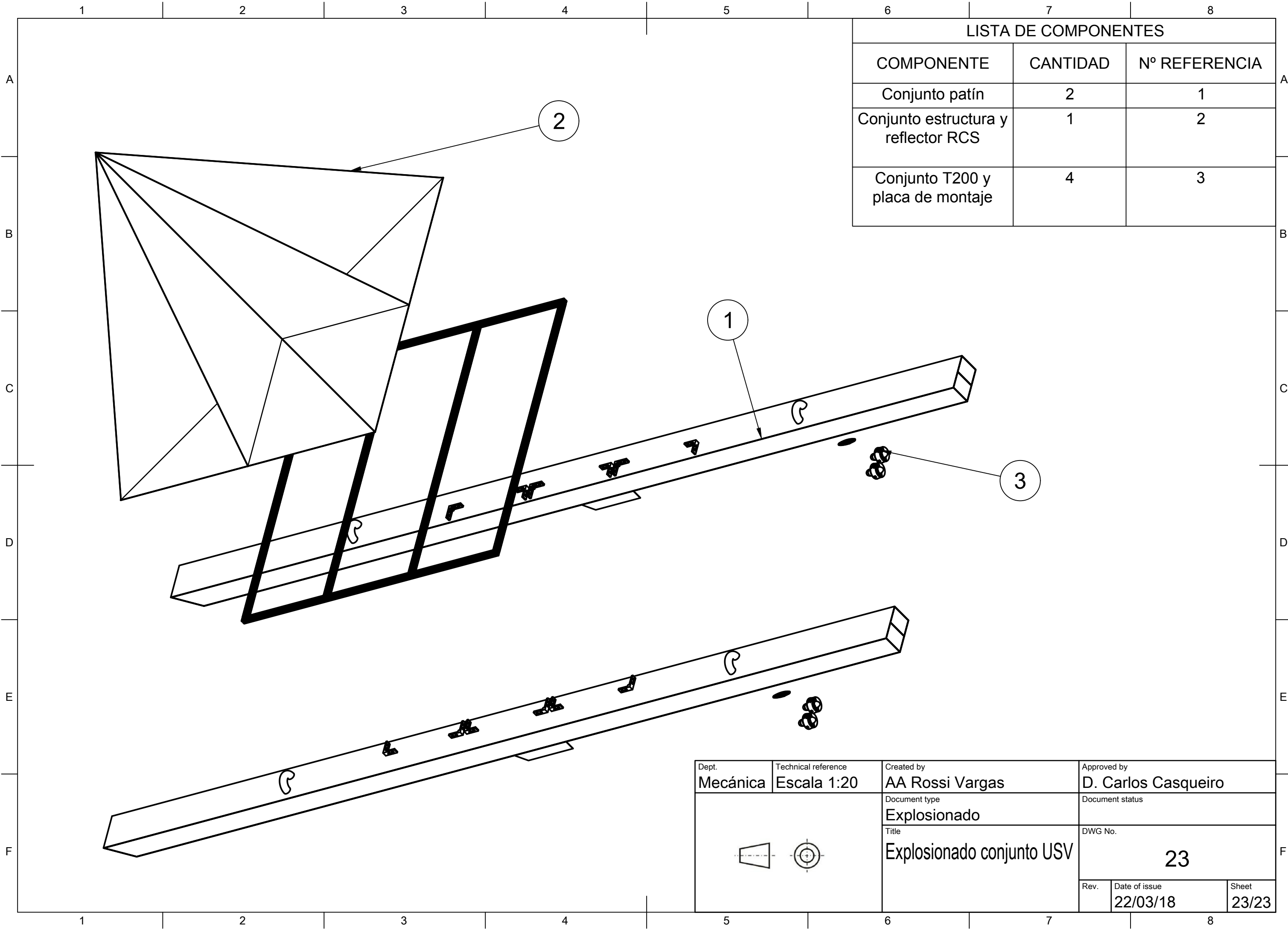




Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:20	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro Placer		
		Document type Plano de conjunto	Document status		
		Title Conjunto patín	DWG No. 20		
		Rev.	Date of issue 22/03/18	Sheet 20/23	







LISTA DE COMPONENTES		
COMPONENTE	CANTIDAD	Nº REFERENCIA
Conjunto patín	2	1
Conjunto estructura y reflector RCS	1	2
Conjunto T200 y placa de montaje	4	3

Dept. Mecánica	Technical reference Escala 1:20	Created by AA Rossi Vargas	Approved by D. Carlos Casqueiro	
		Document type Explosionado	Document status	
		Title Explosionado conjunto USV	DWG No. 23	
			Rev.	Sheet 23/23
			Date of issue 22/03/18	