



Trabajo de Fin de Grado

GIM

CONTROL DE UNA MAQUETA DE
AVION RADIOCONTROL CON
ARDUINO

Autor:

García Olivares, David

Tutor:

Capilla Lladró, Roberto

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS-----	3
LISTA DE TABLAS-----	5
RESUMEN -----	6
LISTA DE SÍMBOLOS -----	7
1. AEROMODELISMO -----	9
2. REQUISITOS -----	10
3. DISEÑO -----	11
3.1. MORFOLOGÍA -----	11
3.2. DIMENSIONADO DEL ALA -----	12
3.2.1. RELACION DE ENVERGADURA Y CUERDA-----	12
3.2.2. CONSIDERACIONES PERFIL DE ALA -----	14
3.2.3. POSIBLES PERFILES -----	14
3.2.4. ANÁLISIS DEL PERFIL -----	15
3.2.5. COMPARATIVA DE VELOCIDADES -----	17
3.2.5.1. VELOCIDAD DE 60 Km/h -----	17
3.2.5.2. VELOCIDAD DE 40 Km/h -----	18
3.2.5.3. VELOCIDAD DE 30 Km/h -----	18
3.2.5.4. VELOCIDAD DE 20 Km/h -----	18
3.3. CONSIDERACIONES PERFIL COLA -----	19
3.4. MATERIALES -----	20
3.5. RESISTENCIA DEL ALA -----	22
3.5.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON INVENTOR -----	22
3.5.2. CONCLUSIONES SIMULACIÓN -----	25
3.5.3. ENSAYO NO DESTRUCTIVO -----	25
3.6. CÁLCULOS DE VUELO -----	26
3.6.1. VELOCIDAD DE PERDIDA -----	26
3.6.2. RATIO DE DESCENSO -----	26
3.6.3. ANGULO DE MÁXIMA ELEVACIÓN -----	27
3.6.4. MÍNIMO ÁNGULO DE GIRO -----	29
3.6.5. VELOCIDAD MÁXIMA -----	30
3.7. ESTABILIDAD -----	32
3.7.1. ESTABILIDAD ESTÁTICA -----	32
3.7.1.1. ESTABILIDAD LONGITUDINAL -----	32
3.7.1.2. ESTABILIDAD DIRECCIONAL -----	33
3.7.2. ESTABILIDAD DINÁMICA -----	34
3.7.2.1. RATIO DE ELEVACIÓN -----	34
3.7.2.2. RATIO DE INCLINACIÓN -----	35
3.7.2.3. RATIO DE GIRO-----	36
3.7.3. CONCLUSIONES ANÁLISIS ESTABILIDAD -----	36
4. PLANOS -----	37
5. CONTROL POR ARDUINO -----	62
5.1. COMPONENTES -----	
5.1.1. MONTAJE DE LOS COMPONENTES -----	63

5.1.2. FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES -----	64
5.2. CÓDIGO FUNCIONAMIENTO -----	65
5.2.1. CÓDIGO EMISOR -----	65
5.2.2. CÓDIGO RECEPTOR -----	66
6. FABRICACIÓN -----	70
7. MODELOS SIMILARES EN EL MERCADO -----	72
8. PRESUPUESTO -----	74
BIBLIOGRAFÍA -----	77

LISTA DE FIGURAS

3.1 CONCEPTO FINAL-----	12
3.2 DIMENSIONES GENERALES-----	13
3.3. PERFIL CLARK Y. EXTRADIDO DE AIRFOILTOOLS.ORG-----	14
3.4. PERFIL NACA 2424. EXTRADIDO DE AIRFOILTOOLS.ORG-----	14
3.5. PERFIL EPPLER 222. EXTRADIDO DE AIRFOILTOOLS.ORG-----	15
3.6. PERFIL S1010. EXTRADIDO DE AIRFOILTOOLS.ORG-----	15
3.7. PERFIL NACA 6409. EXTRADIDO DE AIRFOILTOOLS.ORG-----	15
3.8. PERFIL NACA 2412. EXTRADIDO DE AIRFOILTOOLS.ORG-----	15
3.9. PERFIL E520 GRAFICA CL/CD V ALPHA -----	19
3.10 PERFIL E297 GRAFICA CL/CD V ALPHA-----	19
3.11 RELACION DE RESISTENCIA SEGÚN DENSIDAD DEL POREXPAN. EXTRAIDO DE IMT.MX/ARCHIVOS-----	20
3.12. PUNTO MEDIO DE APLICACIÓN SIN REFUERZO -----	22
3.13. PUNTO MEDIO DE APLICACIÓN CON REFUERZO -----	23
3.14. FUERZAS EN EL ALA SIN REFUERZO -----	23
3.15. FUERZAS EN EL ALA CON REFUERZO -----	23
3.16. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL ALA SIN REFUERZO -----	24
3.17. DIAGRAMA DE TENSIONES EN EL ALA SIN REFUERZO-----	24
3.18. DIAGRAMA DE TENSIONES EN EL ALA CON REFUERZO-----	25
3.19. DIAGRAMA DE FLECHA EN EL ALA CON REFUERZO-----	25
3.20. CL/CD MAX-----	27
3.21. ASCENSO-----	28
3.22. RÁDIO DE GIRO-----	30
3.23. VELOCIDAD MÁXIMA-----	31
3.24. COEFICIENTES DEL MOMENTO DEL ALA, TIMÓN DE PROFUNDIDAD Y MAQUETA COMPLETA-----	33
3.25. COEFICIENTE DEL MOMENTO DE LA COLA VERTICAL-----	34
3.26. ÁNGULO DE ELEVACION SOBRE EL EJE X-----	35
3.27. ÁNGULO DE GIRO SOBRE EL EJE Z-----	35

3.28. ÁNGULO DE GIRO SOBRE EL EJE Y-----	36
5.1. ESQUEMA DE CONEXIONADO ELÉCTRICO. EMISOR. EXTRAÍDO DE FRITZING---	63
5.2. ESQUEMA DE CONEXIONADO ELÉCTRICO. RECEPTOR. EXTRAÍDO DE FRITZING-----	63
7.1. AVION ELECTRICO SOLIUS RR. Extraído de todohobby.net-----	71
7.2. AVION ELECTRICO HERON RR. Extraído de todohobby.net-----	71
7.3. AVION ELECTRICO SKY SURFER. Extraído de hobbyplay.net-----	72

LISTA DE TABLAS

3.1 RELACION DIMENSIONAL -----	13
3.2. CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES A 60 KM/H -----	15
3.3. CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES A 40 KM/H -----	15
3.4. CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES A 30 KM/H -----	16
3.5. CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES A 20 KM/H -----	16
3.6 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE Balsa-----	21
8.1 COSTE UNITARIO -----	74
8.2 COSTE DE DISEÑO -----	75
8.3 COSTE MAQUINARIA -----	75
8.4 COSTE DE FABRICACIÓN -----	75
8.5 COSTE TOTAL -----	76

Resumen

Este documento detalla todos los procesos seguidos para diseñar, calcular, construir y controlar mediante el microcontrolador Arduino una maqueta de avión. Este informe comienza con una introducción teórica sobre las características que deben tener las maquetas de aerodelismo. Seguidamente, explicarán los pasos seguidos para diseñar el modelo y se concluye qué geometría presenta mayores beneficios con relación a las condiciones de vuelo establecidas.

Una vez esta fase del diseño haya sido analizada, el documento procede a explicar la programación utilizada para el control por módulos wifi de los componentes electrónicos utilizados para dirigir el modelo.

Por último, se incluyen los apartados correspondientes al proceso de fabricación, una comparación del modelo con otros aeroplanos disponibles en el mercado y al presupuesto.

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Valor	Unidad	Descripción
c		m/s	Ratio de descenso
Cd_{cruise}	0.013	-	Coefficiente de arrastre de la maqueta en el vuelo
Cd_{wing}	0.055	-	Coefficiente de arrastre del ala
Cd,climb	0.148	-	Coefficiente de arrastre durante el despegue.
Cdi_{climb}	0.093	-	Coefficiente de arrastre inducido durante el despegue
(Cl/Cd)_{max}	74.7	-	Máxima relación entre empuje y arrastre
Cl_{max}	1.336	-	Máximo coeficiente de empuje
D	3.91	N	Fuerza de arrastre
e	0.87	-	Numero de eficiencia de Oswald
g	9.81	N/kg	Fuerza gravitacional
m_{aircraft}	2.5	kg	Masa estimada de la maqueta
n	4.4	-	Factor de seguridad de acuerdo con CS-23
r_{min}	10.5	m	Mínimo radio de giro
S	0.3645	m ²	Area del ala
T	19.62	N	Fuerza del motor
TAS		m/s	Velocidad verdadera
V_{Takeoff}	9.03	m/s	Velocidad de despegue
V_{max}	38.5	m/s	Velocidad máxima
V_{stall}	9.07	m/s	Velocidad de pérdida
ρ	1.225	kg/m ³	Densidad del aire
γ_{max}	43.1	°	Ángulo máximo de despegue
CG		m	Centro de gravedad
Cl,w,l		-	Coefficiente de empuje del ala
Cl,t,l		-	Coefficiente de empuje del timón de profundidad
Cm,cg,vt		-	Coefficiente del momento del timón de dirección
Cm,cg,w		-	Coefficiente del momento del ala
Cm,cg,t		-	Coefficiente del momento del timón de profundidad
Cm,ac,w		-	coeficiente del momento en el centro aerodinámico
Cm,cg		-	Total moment coefficient around CG
ct	0.175	m	Cuerda de la cola horizontal
cvt	0.15	m	Cuerda de la cola vertical
cw	0.27	m	Cuerda del ala
h_{ac,w}	0.17	%	Centro aerodinámico sobre la cuerda
hw	0.06	%	Centro de gravedad sobre la cuerda
hn	0.67	%	Punto neutro sobre la cuerda
M_{cg,vt}		Nm	Momento producido por la cola vertical
M_{cg,t}		Nm	Momento producido por la cola horizontal
M_{cg,w}		Nm	Momento producido por el ala sobre el CG
q		N/m ²	Presión dinámica
S_w	0.4	m ²	Área del ala

S_t	0.07	m ²	Superficie del timón de profundidad
S_{vt}	0.03	m ²	Superficie del timón de dirección
b	270	mm	Cuerda de la parte central del ala
b_l	202	mm	Cuerda de la parte final del ala
b₀	175	mm	Cuerda de la cola
Cd_{flat}	1.28		Coefficiente de arrastre de una superficie plana
Cl_{tail,wing}	0.53		Coefficiente de empuje del perfil de la cola
d	25	mm	Altura del perfil del ala
dt	20	mm	Altura del perfil de la cola
D_{aileron}	1.9	N	Drag on the aileron during full extension.
De_{main,wing}	13	mm	Flecha del ala durante el ensayo no destructivo
L_{tail,wing}	1.4	N	Fuerza de empuje de la cola
ΣM_{tail,wing}	280	N.mm	Momento producido en la cola
ΣM_{aileron}	103.6	N.mm	Momento del alerón
r_{aileron}	55	mm	Longitud del alerón
S_{tail}	0.031	m ²	Área de la cola
S_{aileron}	0.021	m ²	Área del alerón
V_{cruise}	11.1	m/s	Velocidad de crucero de la maqueta
σ		N/mm ²	Tensión en el ala durante la simulación

1. Aeromodelismo

El Aeromodelismo es una conocida afición que ha derivado en un deporte, consiste en la construcción y vuelo de diferentes modelos de aeroplano, la mayoría de los aeroplanos comerciales son maquetas de aviones comerciales a escala reducida que han sido preparados para volar de forma autónoma y sin nadie como tripulante. En 1936 fue incorporado en la sección de la aviación deportiva por la «Federación de Aeronáutica Internacional», publicando un código deportivo internacional. La parte científica de este deporte se centra en el estudio de la mecánica, aerodinámica y diseños de los aviones de mayor envergadura, pero de una forma más generalizada. En cambio, la parte deportiva se centra exclusivamente el vuelo y manejo del aeroplano según las diferentes competiciones.

Al ser un deporte que cada vez gana más adeptos, las marcas de fabricantes tienden a hacer copias de los aviones más famosos, pero también es utilizado por los fabricantes de aviones comerciales para probar las características de vuelo de sus prototipos.

El aeromodelismo de competición se subdivide en diferentes categorías estipuladas por la Federación Aeronáutica Internacional (FAI) y siempre se identifican con la primera letra “F” seguida por un número que indica el tipo de propulsión o modelo y finalmente una letra que indica el tipo de vuelo de la competición.

El aeroplano que se va a diseñar entraría dentro de la categoría F5, reservada para maquetas propulsadas por motores eléctricos, y dentro de ella en la sección F5A, ya que para otras características exigiría un diseño específico para las diferentes modalidades, siendo la F5A la centrada en un vuelo estándar.

2. REQUISITOS

En este trabajo hay dos tipos de requisitos que se han de cumplir, son los requisitos propios establecidos para el diseño y construcción del modelo y por otro lado están los requisitos impuestos por la legislación tanto europea como española sobre el aeromodelismo.

2.1 REQUISITOS LEGALES

Los requisitos legales son las restricciones a las que el proyecto está sujeto debido a la legislación. Estos requisitos se pueden encontrar recogidos en la normativa europea CS-23. Los requisitos de mayor importancia para el proyecto se encuentran a continuación:

- Masa total máxima de 4 kg (RPAS).
- Ascenso: la maqueta debe tener un gradiente de ascenso de al menos 8.3% (CS 23.65 con los motores a máxima potencia)
- Resistencia del ala: El límite de carga que debe soportar el ala es el peso total con un coeficiente de seguridad de 4.4 (CS 23.337 límite de las cargas).

2.2 REQUISITOS PROPIOS

Los requisitos propios son las condiciones subjetivas puestas previamente al diseño del aeroplano, estas tienen que estar dentro de las recogidas en el apartado anterior, los requisitos propios son los siguientes:

- El coste del modelo no debe ser superior a €240.
- El peso total del modelo debe ser inferior a 3 Kg.
- La longitud total de la maqueta debe ser inferior a 2 m.
- La altura máxima del modelo será de 0,5 m.
- La maqueta debe ser controlada con un mando Nunchuck
- La envergadura será inferior a 1,80 m.
- El agarre debe permitir un despegue manual.
- La maqueta debe ser estática y dinámicamente estable

3. Diseño

La idea inicial es diseñar una aeronave bastante simple basada en un palo con un fuselaje móvil, pese a que el peso máximo permitido son 4 Kg, debido a la regulación española la velocidad máxima que puede alcanzar para ser manejada con una licencia tipo 2 Avanzada es de 150 Km/h. Esa es la principal razón de hacerlo lo más ligero posible ya que de este modo con un motor más pequeño podrá volar a grandes velocidades. El diseño siempre tendrá estos factores en mente, la ligereza, la sencillez durante la construcción y el ahorro en el presupuesto.

3.1 MORFOLOGÍA DE LA MAQUETA

- Angulo del ala: El Angulo elegido es recto, ya que de esta forma se hace en una pieza lo que evita concentradores de tensión.
- Posición del ala: El ala se situará en la parte superior por su distribución de la fuerza.
- Forma del ala: Se ha elegido una configuración con una forma recta en el centro, y una sección cónica coincidente en el ataque, en la parte externa del ala, por su mejor distribución de la tensión.
- Perfil del ala: Un perfil con la base plana por su facilidad de construcción.
- Cola: Una forma de ala convencional debido a su simplicidad y fácil manejo, también es menos propensa a vibraciones.
- Posición del motor: el motor se coloca en la parte delantera para una mayor eficiencia del propulsor, También facilita el despegue al ser lanzado.
- Posición de la cola: forma normal, ya que es la más fácil de construir.
- Punta alar: diseño simple y con el mismo perfil que el ala.
- Tren de aterrizaje: No se ha dispuesto de tren de aterrizaje ya que es posible aterrizar sin el de forma segura sobre la superficie del fuselaje.
- Fuselaje: Un fuselaje que genere el menor arrastre posible, y que tenga el mínimo espacio vacío posible, de esta forma se amoldará a las dimensiones de los componentes electrónicos. También ha de ser móvil para poder adecuarlo al CG.

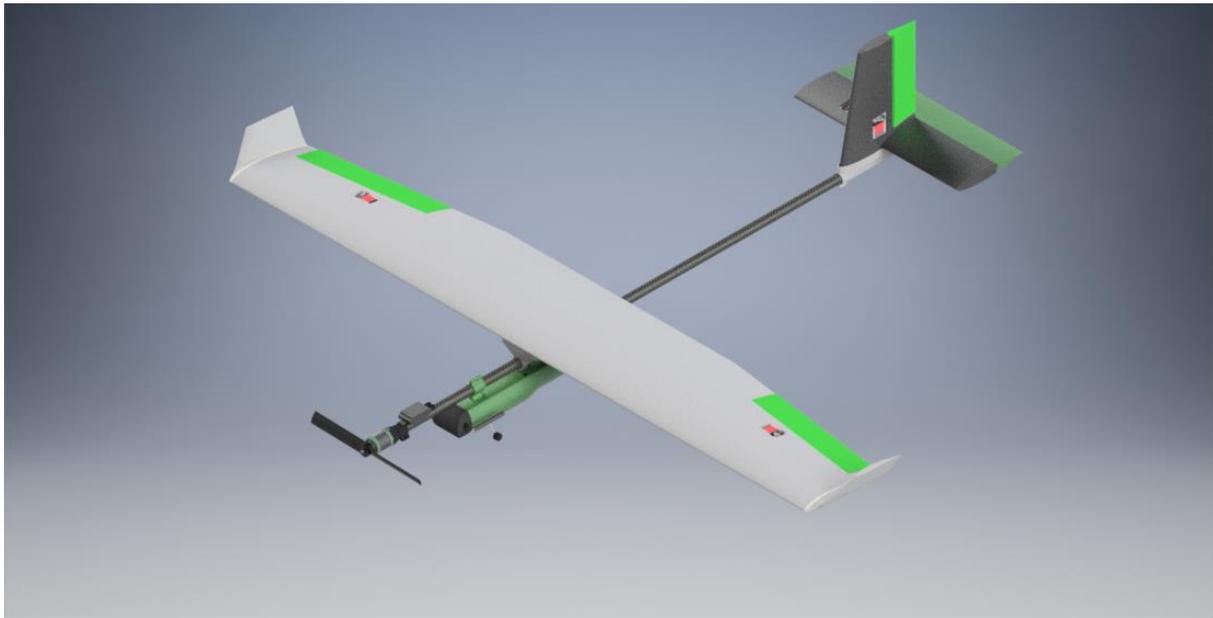


FIGURA 3.1 CONCEPTO FINAL

3.2 DIMENSIONADO DEL ALA

3.2.1 RELACIÓN DE ENVERGADURA Y CUERDA

La relación del ala se determina mirando la relación de otros aviones, por ejemplo. Un deslizador tiene una relación de 33,5, un F16 tiene una relación, de alrededor de 3 y el CESSNA 172, tiene una relación de 7,3. La relación debería de ser similar a la del CESSNA, ya que los aviones comerciales y los caseros tienen una relación entre 3,0 y 9,0. (*Aircraft design: system engineering approach*). La aeronave necesita un fácil manejo por lo que la longitud del ala no puede ser muy grande. Al mirar la tabla 1, se puede ver el tamaño para una relación de 7.

Root chord / Wing span	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
0,05	35,3	37,6	40,0	42,4	44,7	47,1
0,1	17,6	18,8	20,0	21,2	22,4	23,5
0,15	11,8	12,5	13,3	14,1	14,9	15,7
0,2	8,8	9,4	10,0	10,6	11,2	11,8
0,25	7,1	7,5	8,0	8,5	8,9	9,4
0,3	5,9	6,3	6,7	7,1	7,5	7,8
0,35	5,0	5,4	5,7	6,1	6,4	6,7
0,4	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9
0,27	6,5	7,0	7,4	7,8	8,3	8,7

TABLA 1. RELACION DIMENSIONAL

Con esta relación dimensional, la longitud del ala no es demasiado grande para el manejo, pero es estable. Longitud del ala: 1,6 m, tamaño del perfil: 0,27 m. El ala consiste en una parte central recta y una parte con forma cónica, ambas partes tienen la misma longitud. La relación cónica es de 0,7. Esto será determinado utilizando valores comunes, entre 0.5 y 1,0; por eso se utiliza un número intermedio. El ala tiene forma cónica ya que eso reduce la deformación del ala, también reduce las pérdidas aerodinámicas. La desventaja de la forma cónica no es muy importante en el diseño porque no tiene una reducción tan grande que cambie la velocidad de pérdida. Las dimensiones principales de la maqueta se pueden ver en la figura 3.2

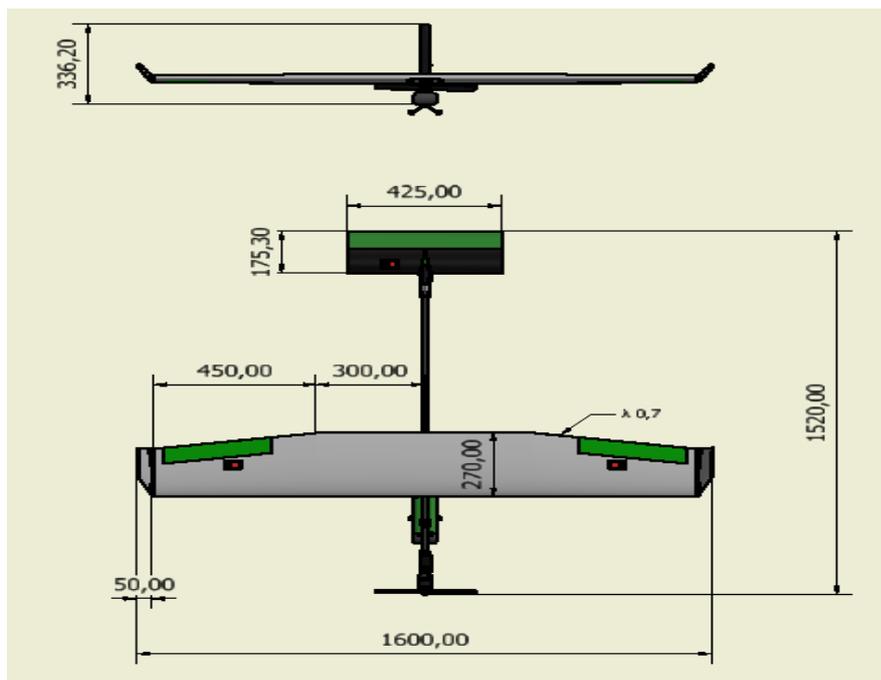


FIGURA 3.2 DIMENSIONES GENERALES

3.2.2 CONSIDERACIONES PARA EL PERFIL DEL ALA

Para determinar el mejor perfil para la maqueta, hay muchas características y valores de cada perfil, que tienen que ser valorados y analizados. De acuerdo con este proceso se puede elegir el perfil de ala más adecuado. Esto se hará con diferentes velocidades de vuelo, estas velocidades son: 5,5m/s (20 km/h), 8,33m/s (30 km/h), la velocidad de crucero determinada 11,1m/s (40 km/h) y por último 16,6m/s (60 km/h).

3.2.3 POSIBLES PERFILES

Primero se selecciona una lista con diferentes perfiles. Esta lista la componen, perfiles de ala elegidos tanto por su popularidad, complejidad o características aerodinámicas.

Perfiles de ala:

- Clark Y. Es el más popular y el más comúnmente usado como perfil de ala. Su uso principal son alas de aviones comerciales, pese a eso es fácil de construir por tener la parte inferior plana.
- NACA 2424. Es un perfil muy ancho. Se tiene en cuenta para analizar cualquier perfil de ala.
- E222. Es un perfil relativamente arqueado, con buenas características de planeo.
- S1010. Es un perfil simétrico fino.
- NACA 6409. Es un perfil fino y muy arqueado.
- NACA 2412. Es un perfil casi simétrico con una anchura media.

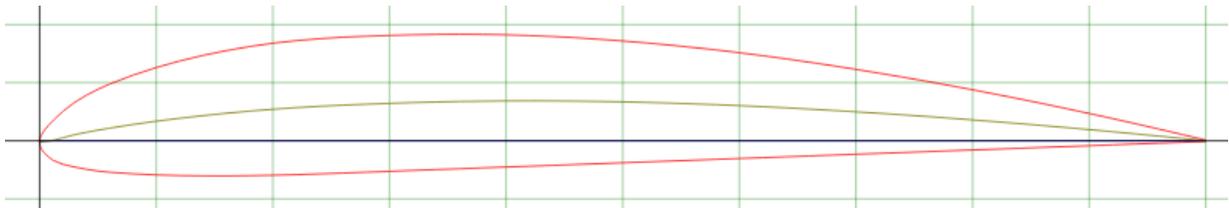


Figura 3.3 .Perfil Clark Y. extradido de airfoiltools.org

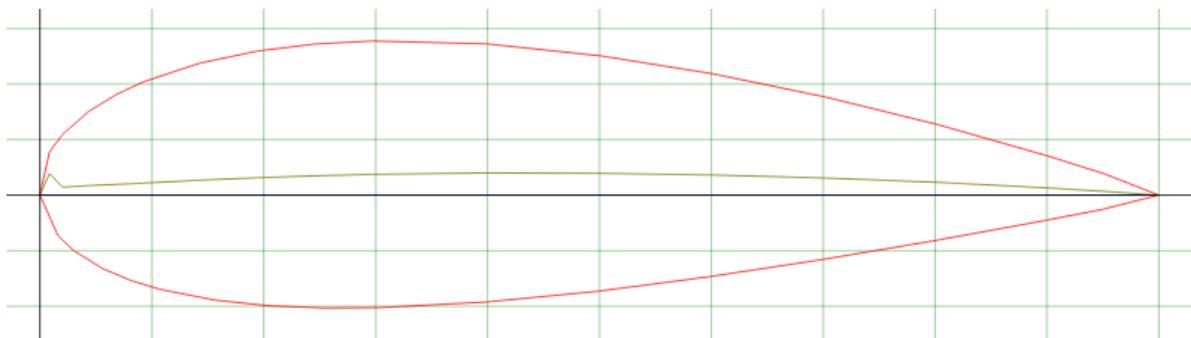


Figura 3.4 .Perfil NACA 2424. Extradido de airfoiltools.org



Figura 3.5. Perfil Eppler 222. Extradido de airfoiltools.org



Figura 3.6. Perfil S1010. Extradido de airfoiltools.org

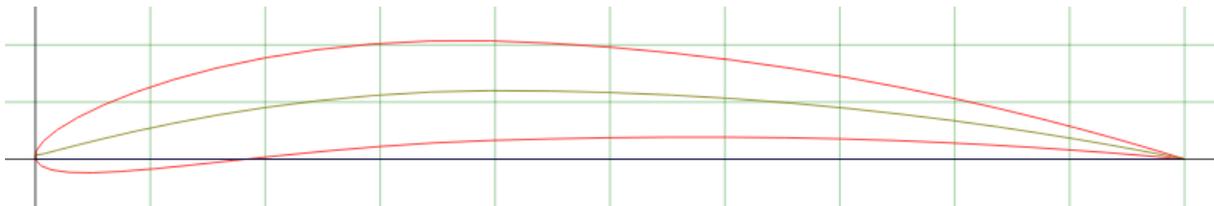


Figura 3.7. Perfil NACA 6409. Extradido de airfoiltools.org

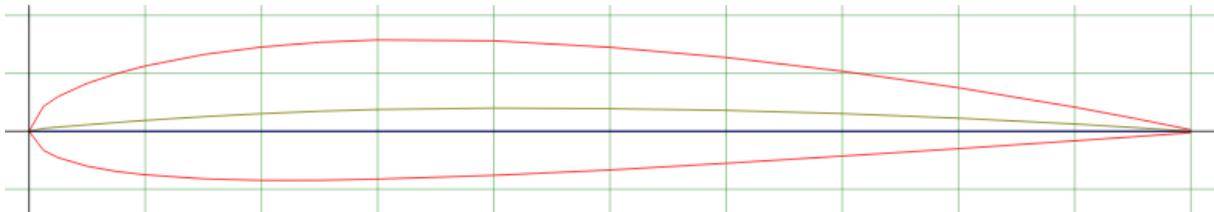


Figura 3.8. Perfil NACA 2412. Extradido de airfoiltools.org

Teniendo estos perfiles en la lista se puede elegir, entre una gran variedad de características.

3.2.4 ANÁLISIS DEL PERFIL

Los perfiles han sido analizados con el programa XFLR5. Con este programa, los perfiles de ala pueden ser analizados con distintos números de Reynolds y ángulos de incidencia. Estos números de Reynolds dependen de la velocidad de la maqueta, la viscosidad cinemática del aire y la profundidad del ala. Las velocidades que se van a utilizar en este análisis son las establecidas anteriormente, 20, 30, 40 y 60 km/h. De esta forma, casi cualquier velocidad que

vaya a tomar la maqueta durante su manejo, es tenida en cuenta. El valor de la viscosidad cinemática del aire se obtiene asumiendo una temperatura de 10°. La profundidad del ala se ha asumido que será de 0,27m. Estas suposiciones se han hecho de acuerdo con la relación total del ala.

Los valores más importantes obtenidos en el programa XFLR5 según las diferentes velocidades se muestran en las tablas siguientes (tablas de la 2 a la 5):

Profile	Optimal α (deg)	C_L/C_D max	$C_{L\ max}$ (α (deg))
Clark Y	4	90,58	1,358 (16,0)
NACA2424	10	41,85	1,070 (14,0)
E222	3	87,48	1,164 (9,0)
S1010	5	46,86	0,767 (8,0)
NACA6409	5,995	106,88	1,410 (13,0)
NACA2412	5	74,14	1,233 (13,0)

TABLA 2. CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES A 60 KM/H

Profile	Optimal α (deg)	C_L/C_D max	$C_{L\ max}$ (α (deg))
Clark Y	5	74,7	1,336 (15,0)
NACA2424	9	35,3	1,013 (9,0)
E222	3	84,46	1,164 (9,0)
S1010	5	39,23	0,759 (8,0)
NACA6409	7	86,96	1,437 (8,0)
NACA2412	5	64,46	1,181 (13,0)

TABLA 3. CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES A 40 KM/H

Profile	Optimal α (deg)	C_L/C_D max	$C_{L\max}$ (α (deg))
Clark Y	5	64,86	1,349 (15,0)
NACA2424	8	19,97	0,804 (8,0)
E222	5	66,29	1,178 (10,0)
S1010	2	31,05	0,714 (7,0)
NACA6409	8	75,36	1,438 (8,0)
NACA2412	6	59,52	1,116 (11,0)

TABLA 4. CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES A 30 KM/H

Profile	Optimal α (deg)	C_L/C_D max	$C_{L\max}$ (α (deg))
Clark Y	5	49,38	1,348 (14,0)
NACA2424	7	7,54	0,523 (7,0)
E222	6	56,34	1,159 (10,0)
S1010	3	25,84	0,705 (7,0)
NACA6409	8	58,73	1,450 (9,0)
NACA2412	6	49,28	1,103 (11,0)

TABLA 5. CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES A 20 KM/H

3.2.5 COMPARATIVA DE VELOCIDADES

Para elegir el perfil más adecuado para la maqueta, se ha tenido en cuenta que la relación C_L/C_D sea la máxima posible, buscando a su vez un C_L elevado para reducir la velocidad de parada. Por último, un perfil con la superficie inferior plana proporcional mayor facilidad para la sujeción y el ensamblado del ala.

3.2.5.1 VELOCIDAD DE 60 KM/H

Para una velocidad de 60 km/h, el NACA 2424 no es adecuado, ya que necesita un α muy elevado, lo que significa que el ala debería colocarse en la maqueta con mucha inclinación para mantenerse en el aire. A continuación, el S1010 y el NACA 2412, tampoco son adecuados

porque tienen una relación $C_L/C_{D \text{ máx.}}$ demasiado baja. Esto deja solamente tres posibilidades entre las que elegir, Clark Y, E222 y NACA 6409. El NACA 6409 es el siguiente en ser excluido de la lista, ya que tiene un α óptimo, relativamente alto, y se quiere que sea lo más bajo posible.

Finalmente, el Clark Y, es preferible respecto al E222 por su facilidad de construcción y montaje, ya que tiene la parte inferior plana. Esta facilidad de construcción permite que los costes de producción no sean tan elevados y sea más rápido de producir.

3.2.5.2 VELOCIDAD DE 40 KM/H

El NACA 2424 y el NACA 6409, son descartados por tener un α óptimo demasiado elevado. El S1010 y el NACA 2412 también son excluidos por tener una relación $C_L/C_{D \text{ máx.}}$ demasiado baja. Estas exclusiones se hacen por la misma razón, que las realizadas en el caso de una velocidad de 60 km/h.

Finalmente, es preferible el Clark Y respecto al E222 por las mismas razones que en la velocidad de 60 km/h, además tiene un valor de $C_{L \text{ máx.}}$ más elevado para una menor velocidad de pérdida.

3.2.5.3 VELOCIDAD DE 30 KM/H

Para una velocidad de 30 km/h, el NACA 2424 y el NACA 6409, son descartados por tener un α óptimo demasiado elevado. El S1010 y el NACA 2412 también son excluidos por tener una relación $C_L/C_{D \text{ máx.}}$ demasiado baja. Estas exclusiones se hacen por la misma razón, que las realizadas en los casos de una velocidad de 40 y 60 km/h.

Finalmente se vuelve a optar por el Clark Y sobre el E222 como en los casos anteriores ya que los valores con respecto a 40 km/h no cambian de manera significativa.

3.2.5.4 VELOCIDAD DE 20 KM/H

A una velocidad de 20 km/h, el NACA 2424 y el S1010, son excluidos por tener una α óptima demasiado elevada y un valor $C_L/C_{D \text{ máx.}}$ demasiado bajo para la relación. El NACA 6409 también se excluye por tener una α demasiado elevada. Esto deja tres posibilidades, el Clark Y, E222 y NACA 2412 como mejores opciones para esta velocidad. Se vuelve a preferir el Clark Y respecto al resto, porque su valor máximo de C_l es mayor, lo que significa mejores características en la velocidad de parada.

Como se puede observar el Clark Y es, con diferencia, el perfil más adecuado para la maqueta, ya que es el mejor en las diferentes velocidades.

El siguiente perfil que se aproxima al Clark Y en características aerodinámicas, es el E222, pero su mayor desventaja en comparación con el Clark Y, es su valor de C_l máximo, por eso el Clark Y puede volar a velocidades más bajas.

3.3 CONSIDERACIONES DEL PERFIL DE ALA EN LA COLA

El perfil de ala en la cola es necesario, para contribuir a la estabilidad longitudinal de la maqueta. Lo que significa que cualquier alteración, por ejemplo, un movimiento de inclinación vertical, que sea contrarrestado con el estabilizador horizontal, produciendo el movimiento contrario.

Por esto y dada la configuración de la cola, el perfil ideal sería uno simétrico.

Se han elegido dos posibles perfiles simétricos:

- EPPLER 297
- EPPLER 520

El E297 y el E520 tienen características muy similares, debido a su forma. Sin embargo, el E520 es más fino que el E297 lo que le permite tener mayores ángulos de incidencia que el E297, por eso se ha elegido cómo la mejor opción para el perfil de la cola, de la maqueta. Las siguientes gráficas muestran los valores de C_l/C_D .

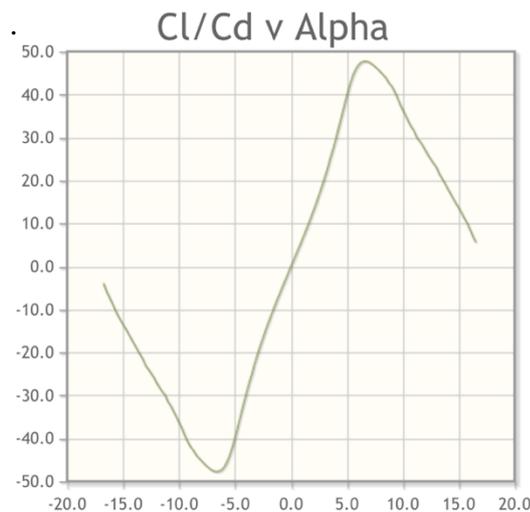


FIGURA 3.9. PERFIL E520 GRAFICA C_l/C_D V ALPHA

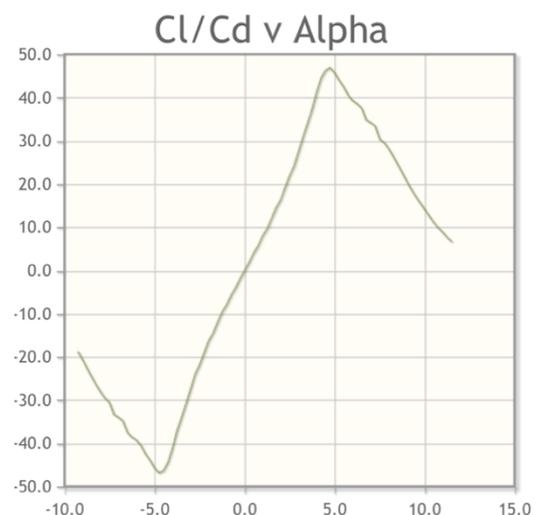


FIGURA 3.10 PERFIL E297 GRAFICA C_l/C_D V ALPHA

3.4 Materiales

Para la selección de los materiales, se han tenido en consideración los diferentes usos y tensiones que iban a recibir cada elemento, así para las alas o los controles, se ha optado por un material con una densidad muy reducida, pero que fuese rígido. Por esto se ha elegido el poliestireno expandido, en adelante porexpan como el material principal.

Porexpan

El poliestireno expandido también conocido como porexpan es un tipo de plástico ligero generalmente utilizado como aislamiento en la construcción por su reducida densidad, entre 10 kg/m^3 y 35 kg/m^3 .

Este material tiene un muy buen comportamiento a la compresión, por lo que es adecuado para darle una forma ligera y consistente al ala, en cambio, tiene muy poca resistencia a un momento flector. Estos datos se pueden observar en la figura

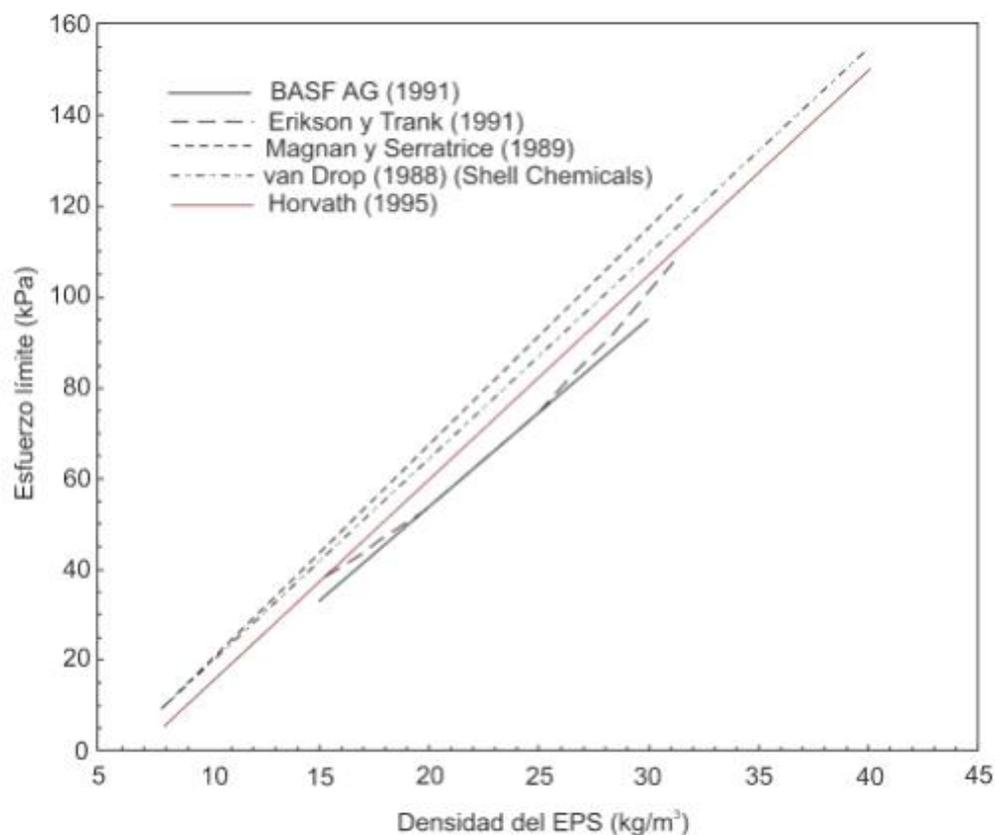


FIGURA 3.11 RELACION DE RESISTENCIA SEGÚN DENSIDAD DEL POREXPAN

El porexpan también es conocido por tener una baja resistencia térmica, lo que permite cortarlo con un alambre caliente y darle la forma necesaria, esta será la técnica utilizada durante el proceso de fabricación

Madera de balsa

La madera balsa es una madera tropical con características óptimas para su fácil trabajabilidad. Presenta el peso más liviano entre todas las maderas tropicales y del mundo, entre 100 a 200 kg/m³. Esta madera es conocida por poseer una resistencia mecánica relativamente elevada en relación con su peso liviano. La madera balsa puede ser cortada y cepillada con facilidad mediante herramientas cortantes delgadas y agudas, volviéndose afelpada o desmoronadiza si los filos de las herramientas son muy gruesos o se encuentran embotados. Esta madera responde bien al encolado, siendo esta la manera óptima de fijar esta madera.

Flexión Estática	ELP	120.7	Kg/cm ²
	MOR	213.5	Kg/cm ²
	MOE	43.7	Ton/cm ²
Compresión paralela	ELP	101.5	Kg/cm ²
	MOR	133.7	Kg/cm ²
	MOE	53.7	Ton/cm ²
Compresión perpendicular	ELP	8.5	Kg/cm ²
	MOE	1.75	Ton/cm ²
Dureza	Lados	267	Kg
	Extremos	417	Kg

TABLA 6 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE BALSA

Filamento de impresión 3D

Para la impresión 3D se ha optado por utilizar filamentos de PLA, este material es un polímero termoplástico que es el más utilizado en este tipo de impresoras. Este polímero tiene un buen acabado tras la impresión, sin embargo, debido a su fragilidad al ser un polímero no permite el taladrado posterior.

3.5 RESISTENCIA DE ALA

Para comprobar que el diseño del ala cumple los requisitos expuestos anteriormente, se han realizado diferentes tipos de comprobación:

3.5.1 Análisis estructural con Inventor

Para el análisis estructural, se ha utilizado el mismo programa que el usado para el diseño 3D, ya que permite aislar la parte correspondiente al ala para analizarla.

Se han estudiado dos posibles configuraciones del ala, una formada exclusivamente por el poliestireno y otra con una plancha de madera de balsa en el interior del ala a modo de refuerzo.

Para ambos estudios el proceso ha sido el mismo descrito a continuación:

En primer lugar, se ha medido el punto medio de aplicación de la fuerza a cada lado respecto al centro de ala que se ha supuesto como fijo, este punto coincide con el centro de gravedad de cada lateral.

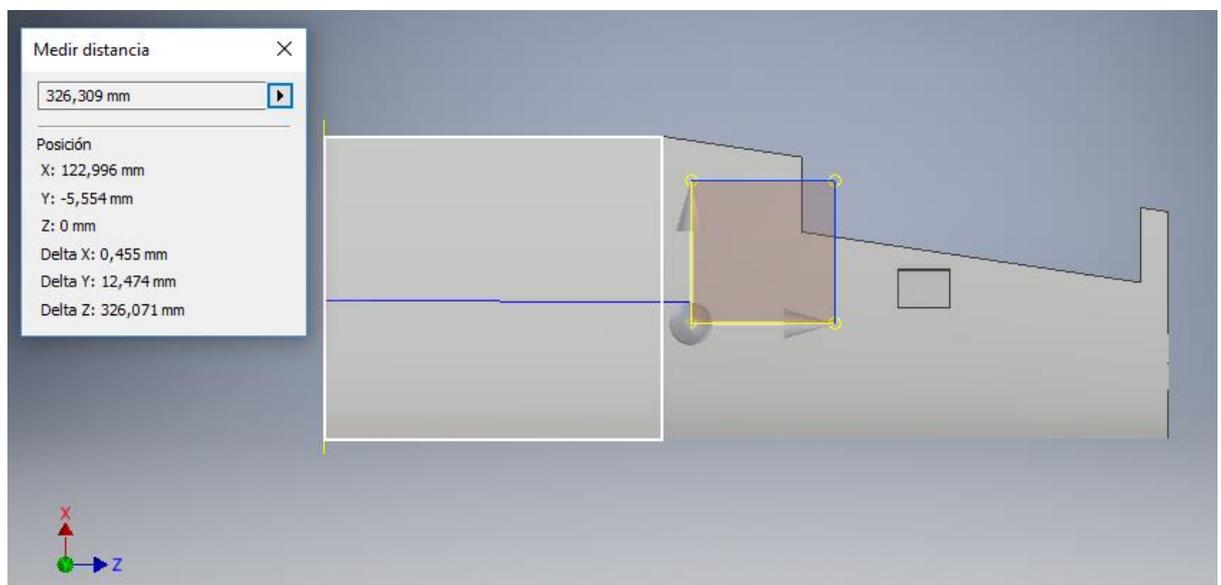


FIGURA 3.12. PUNTO MEDIO DE APLICACIÓN SIN REFUERZO

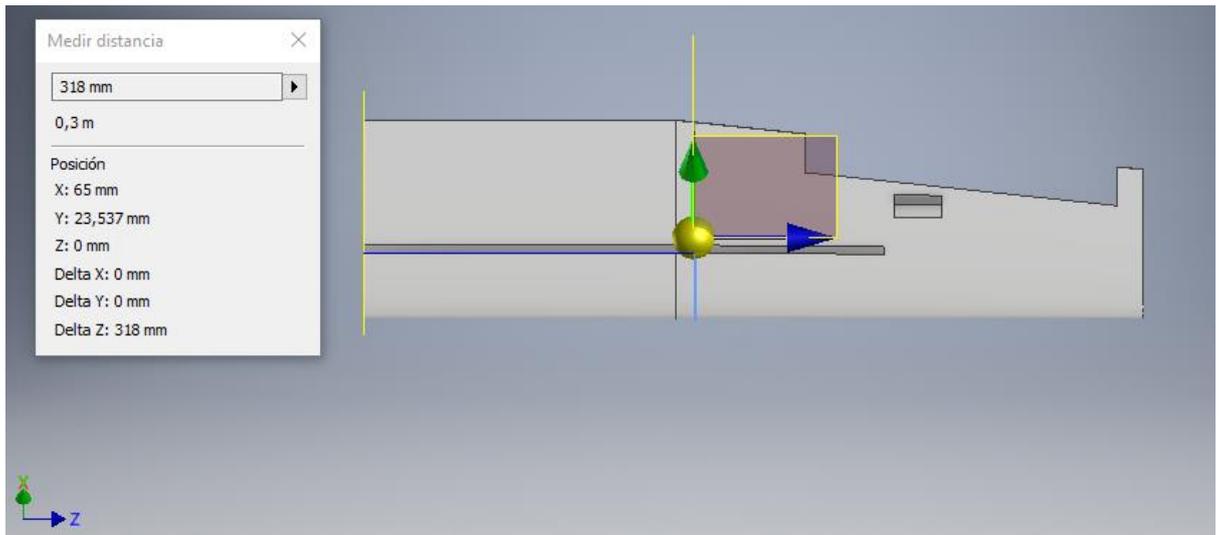


FIGURA 3.13. PUNTO MEDIO DE APLICACIÓN CON REFUERZO

Una vez conocida la distancia del punto medio de aplicación, se ha añadido una fuerza de 53,955 N en cada lateral como se puede ver en la figura 3.13, esta fuerza se ha calculado asumiendo un peso de 2,5 Kg, y un factor de seguridad de 4 ver formula

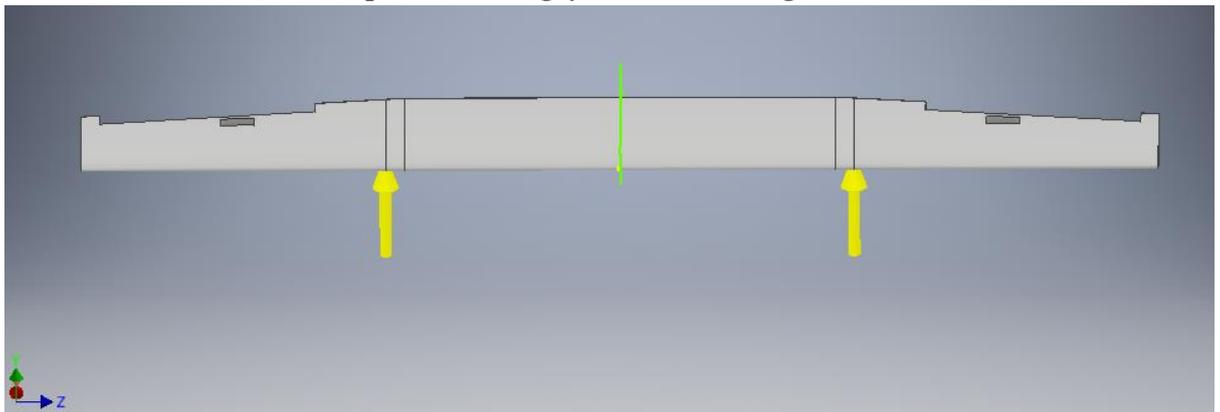


FIGURA 3.14. FUERZAS EN EL ALA SIN REFUERZO

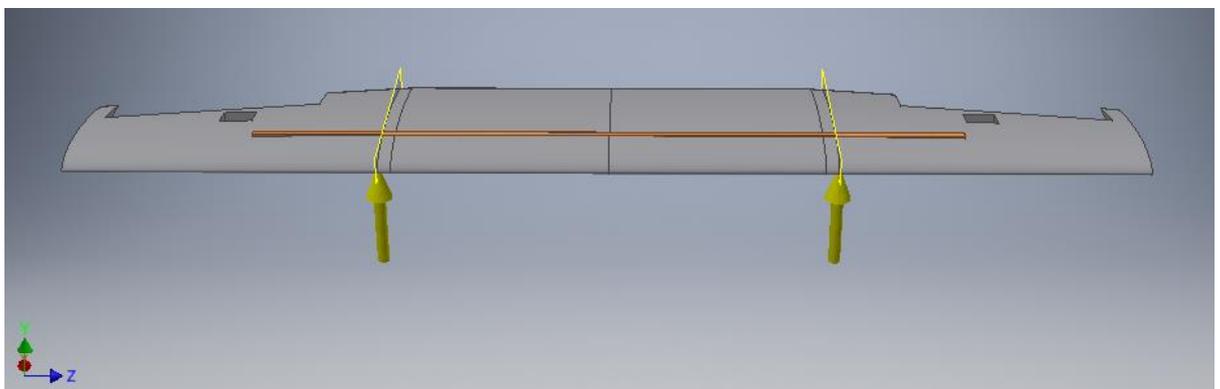


FIGURA 3.15. FUERZAS EN EL ALA CON REFUERZO

Una vez realizadas las dos simulaciones se han obtenido los valores de la tensión y deformación máxima, el valor de la tensión se encuentra en el centro del ala en ambos casos,

En el primer caso, el del ala sin el refuerzo se puede observar que la tensión es mucho menor que en la que tiene el refuerzo, pero esta tensión es aplica a lo largo del ala, y pese a ser tan reducida es bastante para producir una rotura ver figura 3.17 por tanto no es una opción viable.

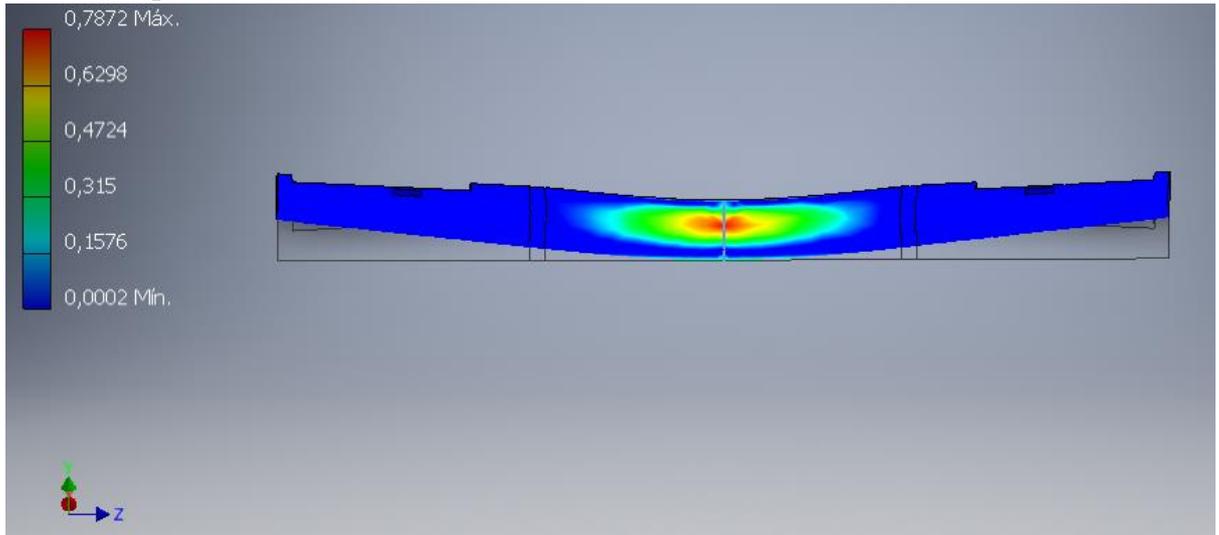


FIGURA 3.16. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL ALA SIN REFUERZO

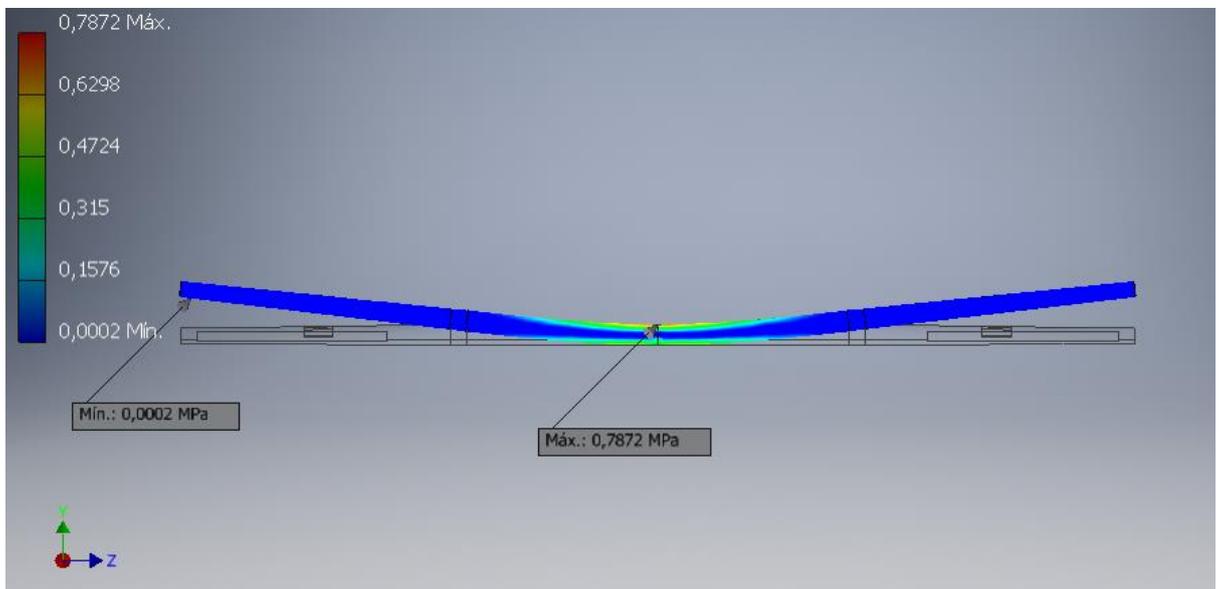


FIGURA 3.17. DIAGRAMA DE TENSIONES EN EL ALA SIN REFUERZO

Una vez realizada la simulación con la plancha figuras 3.18 y 3.19, se han obtenido los valores de la tensión y deformación máxima, el valor de la tensión se encuentra en el centro del ala, y es absorbido completamente por la plancha de madera de balsa que se ha situado en medio del ala para aportar mayor rigidez y resistencia, ya que de otra forma la tensión habría producido la rotura del porexpan.

El valor de la flecha máxima también se ha visto reducido por la madera, este punto se encuentra en la parte más externa, con un valor de 0,7545mm.

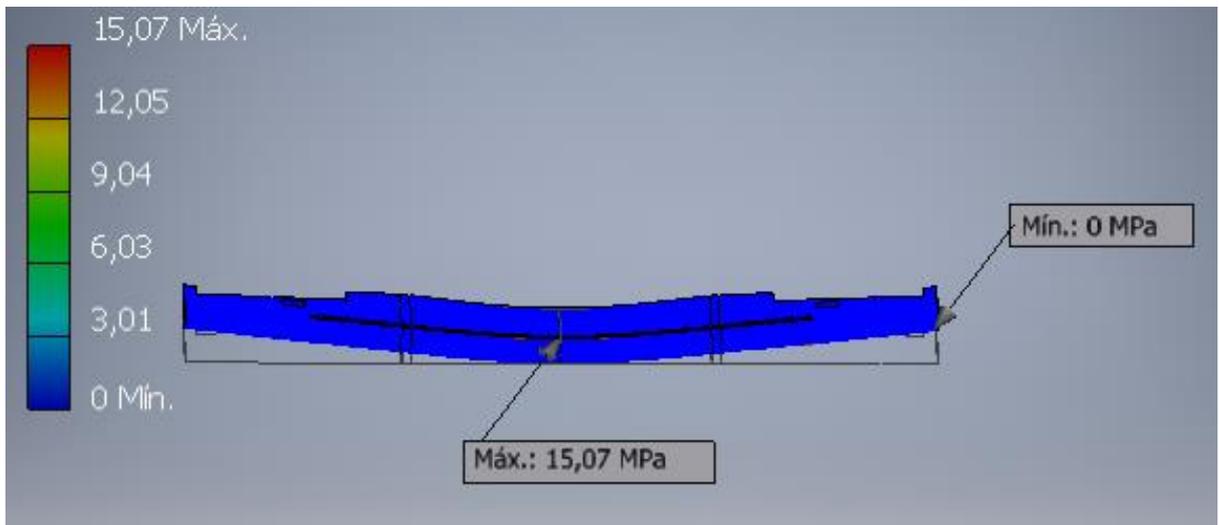


FIGURA 3.18. DIAGRAMA DE TENSIONES EN EL ALA CON REFUERZO

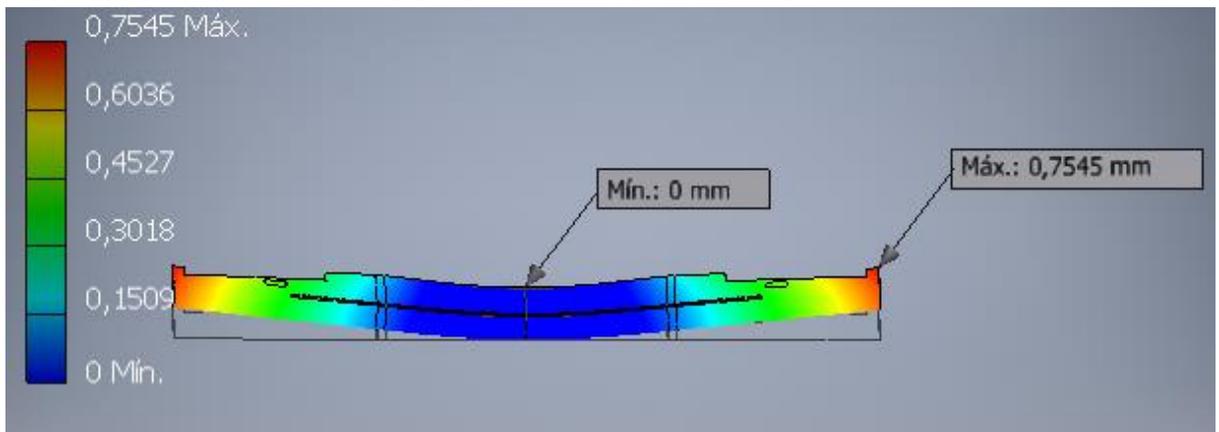


FIGURA 3.19. DIAGRAMA DE FLECHA EN EL ALA CON REFUERZO

3.5.2 Conclusión de la simulación

La tensión a la que se ve sometida el ala es insuficiente para producir rotura o deformación permanente en el ala debido a la resistencia de la tabla de madera de balsa, por esto se ha elegido esta configuración ya que de esta manera el diseño puede soportar las cargas de elevación.

3.5.3 Ensayo no destructivo

Para el ensayo no destructivo, se ha construido una simulación del ala y se han aplicado las fuerzas correspondientes al vuelo para comprobar los resultados teóricos, ya que

de esta forma no se ha podido medir la tensión en los puntos sí que se ha comprobado que el ala no rompe y que la flecha producida es mayor a la calculada teóricamente en el ensayo práctico ha sido de 30mm.

3.6 CÁLCULOS DE VUELO

En este apartado se examinan de forma teórica el comportamiento de la maqueta durante el vuelo, estudiando la velocidad de pérdida, o la pérdida de altura en forma de planeo.

3.6.1 VELOCIDAD DE PERDIDA

Velocidad de pérdida (stall) o velocidad mínima de vuelo estable en la que la aeronave es controlable para una configuración específica. V_{stall} se calcula con la formula 3.1.

$$V_{stall} = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot C_{l_{max}} \cdot S}} = 9.07 \frac{m}{s} = 17.6 \text{ kts} \quad (3.1)$$

Teniendo en cuenta:

$C_{l_{máx}}$ se obtiene de los valores del perfil Clark Y: 1.336

No se tiene en cuenta el C_l del fuselaje y la cola ya que son despreciables con respecto al del ala.

3.6.2 RATIO DE DESCENSO

Para comprobar la ratio de descenso, se han obtenido los datos del Merlin simulator, con esos datos, se ha generado una gráfica, figura 3.20, de la velocidad de descenso con respecto al TAS, se puede observar que dependiendo de la velocidad varía el gradiente de descenso de la maqueta, Sin embargo, el valor medio de estos descensos es de 0,75m/s esto sería en una configuración completamente horizontal.

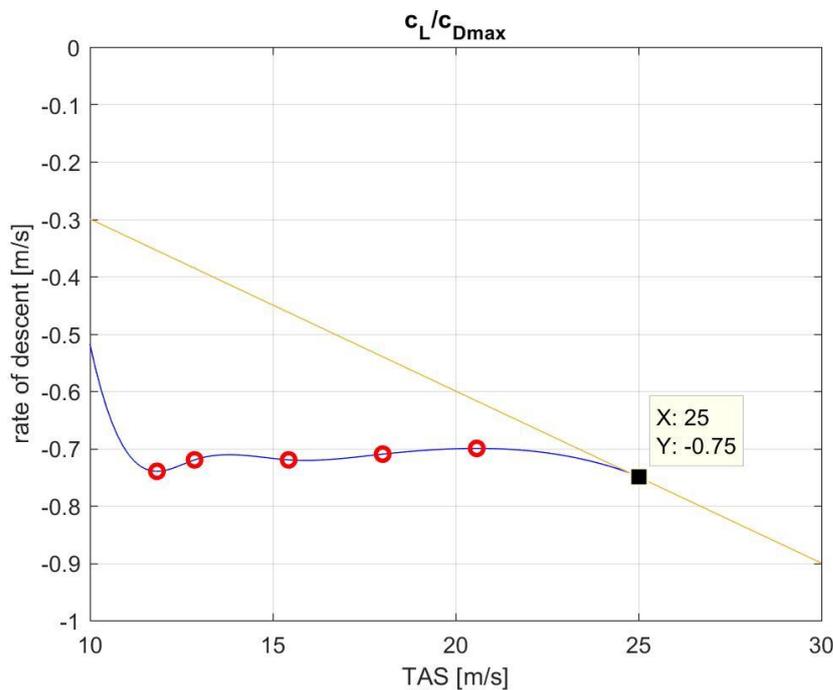


FIGURA 3.20. CL/CD MAX

3.6.3 Ángulo de máximo ascenso

El ángulo de subida máximo se calcula con la fórmula, para esto se necesita saber la fuerza de arrastre, la cual se puede obtener con la fórmula. El valor de la velocidad de despegue se va a asumir que es 1,2 veces la velocidad de pérdida. El C_d utilizado para el despegue es el de toda la maqueta, este se puede calcular con la fórmula, para ello se necesita el C_{di} , fórmula 3.2. También se emplea el módulo de adecuación de Oswald, que estimará de 0.87 al ser similar al de los aviones comerciales

$$C_{di} = \frac{C_{l_{max}}^2}{\pi \cdot A \cdot e} \quad (3.2)$$

$$C_{d_{climb}} = C_{d_{wing}} + C_{di} = 0.148 \quad (3.3)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{takeoff}^2 \cdot S \cdot C_d = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot 9.03^2 \cdot 0.37 \cdot 0.148 = 3.91 \text{ N} \quad (3.4)$$

La fuerza de empuje del motor es de $2 \text{ kg} \cdot 9.81 = 19.62 \text{ N}$, el peso son 24.5 N la fuerza de arrastre es igual a 3.91 N .

$$\sin(\gamma) = \frac{T-D}{W} \quad (3.5)$$

$$\gamma_{\max} = \sin^{-1}\left(\frac{T-D}{W}\right) = 39.8^\circ \quad (3.6)$$

Tras este cálculo, en el que se ha utilizado una versión simplificada se obtiene un ángulo que se utilizará para obtener una velocidad de despegue más precisa, por tanto mediante una iteración se obtendrá el valor real del ángulo de despegue máximo con la fórmula 3.6 usada anteriormente.

$$V_{\text{takeoff}} = \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot \cos(\gamma)}{\rho \cdot C_{l\max} \cdot S}} \quad (3.7)$$

$$\text{final } \gamma_{\max} = 43.1^\circ \quad (3.8)$$

El ángulo obtenido no difiere mucho del obtenido previamente a la iteración, pero este ángulo es consideradamente elevado. Esto se debe a la ligereza de la maqueta ya la potencia máxima del motor, que sería excesiva. Sin embargo, si el peso de la maqueta el ángulo se reduciría considerablemente.

En la figura 3.21, se puede ver una gráfica que muestra la altura, TAS y altitud con respecto al tiempo. La medida de esta grafica se ha realizado desde el despegue para poder observar el ángulo de despegue obtenido por el simulador, que ha sido de entorno a 43° y una velocidad de 21 nudos, lo que se corresponde con los datos obtenidos de forma teórica, lo que refuerza la veracidad de estos resultados.

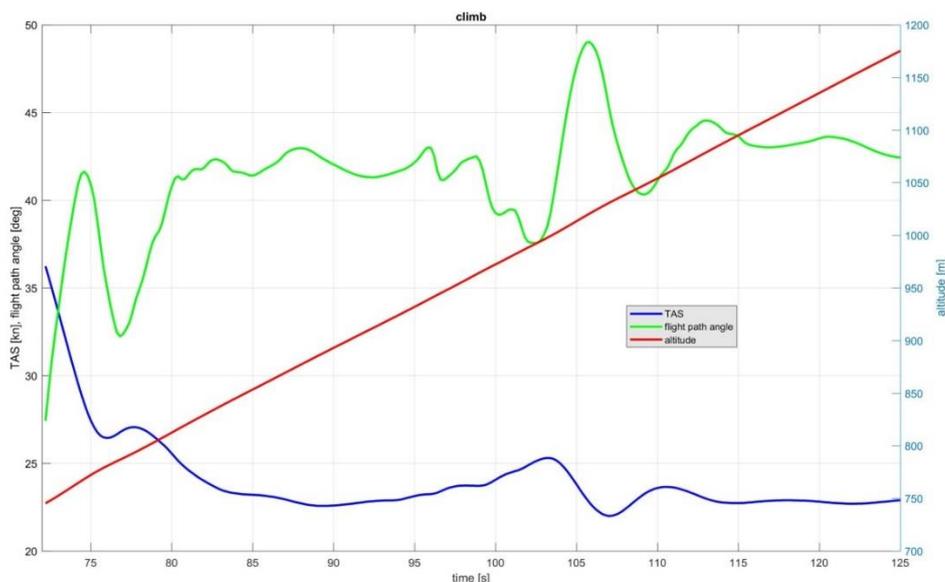


FIGURE 3.21. ASCENSO

3.6.4 MÍNIMO RADIO DE GIRO

El ángulo de inclinación puede ser calculado con la formula 3.9. el factor de carga es 4.4, es un valor marcado en los requisitos por la normativa CS-23(European Aviation Safety Agency, 2015).

Minimum turn radius can be calculated with formula 5.11. The load factor n is 4.4 because of the requirement of the CS-23 (European Aviation Safety Agency, 2015). With that n , the bank angle can be calculated with formula 5.12.

$$n = \frac{1}{\cos(\varphi)} = 4.4 \quad \varphi = \cos^{-1}\left(\frac{1}{n}\right) = 76,7^{\circ} \quad (3.9)$$

El Angulo de inclinación obtenido, $76,7^{\circ}$ puede usarse para obtener el radio de giro con la formula 3.10, que, en este caso, será el mínimo que pueda efectuar la maqueta.

$$r_{min} = \frac{2 \cdot W}{g \cdot S \cdot Cl_{max} \cdot \sin(\varphi)} = 10.5 \text{ m} \quad (3.10)$$

En la figura 3.22 se puede observar el giro de la maqueta, el radio de giro es cada vez mas pequeño, en los valores de las coordenadas, se puede observar una diferencia de 30m. Sin embargo, en estos casos el ángulo de giro no es el mínimo, por lo que el valor real del giro ha de estar entre los valores de 30 y 10,5m.

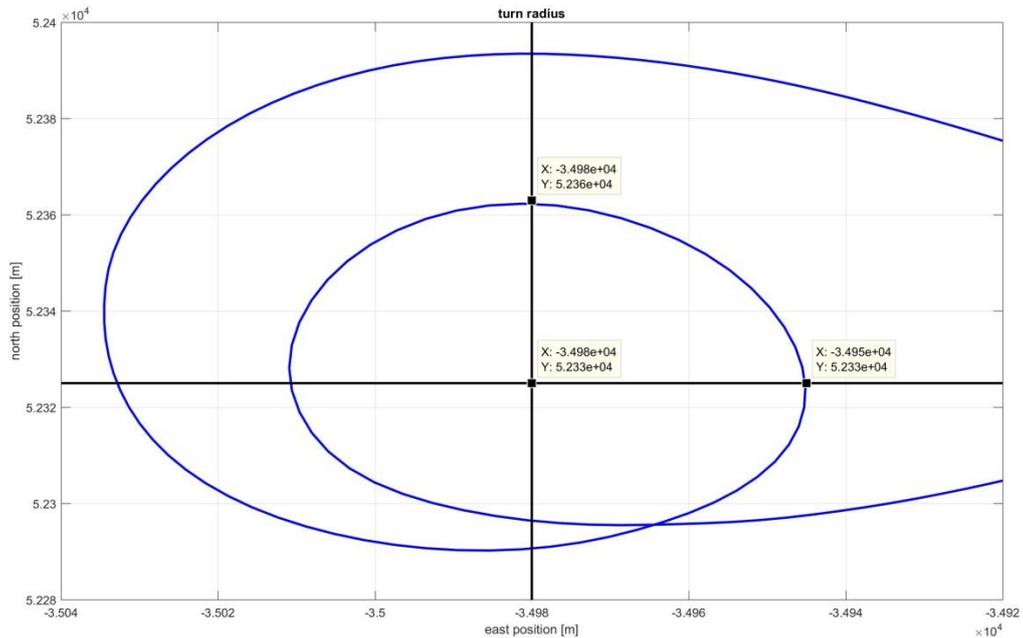


FIGURE 3.22. RÁDIO DE GIRO

3.6.5 VELOCIDAD MÁXIMA

La velocidad máxima se calcula con la fórmula del arrastre 3.11. Para la velocidad máxima ha de utilizarse la potencia máxima del motor que se supone de 11N, la cual se iguala al arrastre para mantener una velocidad constante. Otra consideración es que el Cd debe ser de todo el avión, por tanto se suman los valores de arrastres del ala, de la cola y el asumido por el fuselaje, proporcionando el valor de Cdtotal. Dicho valor se estima que es 0.05932

$$T = D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{max}^2 \cdot S * Cd_{cruise,UAV} \tag{3.11}$$

Despejando la velocidad de la formula 3.11 se obtiene el valor de $V_{max} = 28.8 \text{ m/s} = 56.0\text{kts}$.

En la figura se puede observar una gráfica de la variación de la velocidad dependiendo de la fuerza del motor.

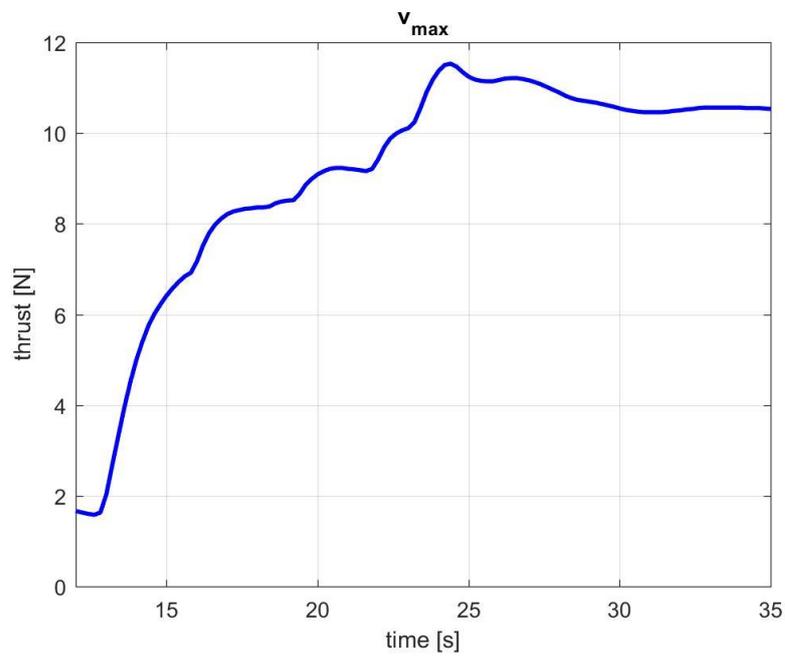


FIGURA 3.23. VELOCIDAD MÁXIMA

3.7. ESTABILIDAD

El análisis de la estabilidad se divide en dos secciones: estabilidad estática y estabilidad dinámica. La parte estática se ha calculado utilizando Matlab, y la parte dinámica se ha calculado con un simulador de vuelo.

3.7.1 ESTABILIDAD ESTÁTICA

Esta parte del análisis se centra en el posicionamiento del centro de gravedad y los diferentes puntos neutros de la maqueta y los momentos resultantes que se producirán con dichas configuraciones.

3.7.1.1 ESTABILIDAD LONGITUDINAL

Para comprobar la estabilidad longitudinal se han de calcular los valores del coeficiente del momento producido por las fuerzas de empuje en el ala, por el timón de profundidad y el producido por todo el aeroplano.

Para el momento producido por las fuerzas de empuje del ala se utilizará la fórmula 3.12:

$$C_{M,cg,w} = \frac{M_{cg,w}}{q * S_w * c_w} \quad (3.12)$$

Para el momento producido por las fuerzas de empuje del timón de profundidad se utilizará la fórmula 3.13:

$$C_{M,cg,t} = \frac{M_{cg,t}}{q * S_t * c_t} \quad (3.13)$$

Para el momento total producido en el aeroplano se utilizará la fórmula 3.14:

$$C_{M,cg} = C_{M,ac,w} + C_{L,w,l} * (h_w - h_{ac,w}) - V_H * C_{L,t,l} \quad (3.14)$$

Las gráficas de los tres cálculos se pueden ver en la figura 3.24 (el eje x corresponde al ángulo de ataque, utilizado en cada cálculo).

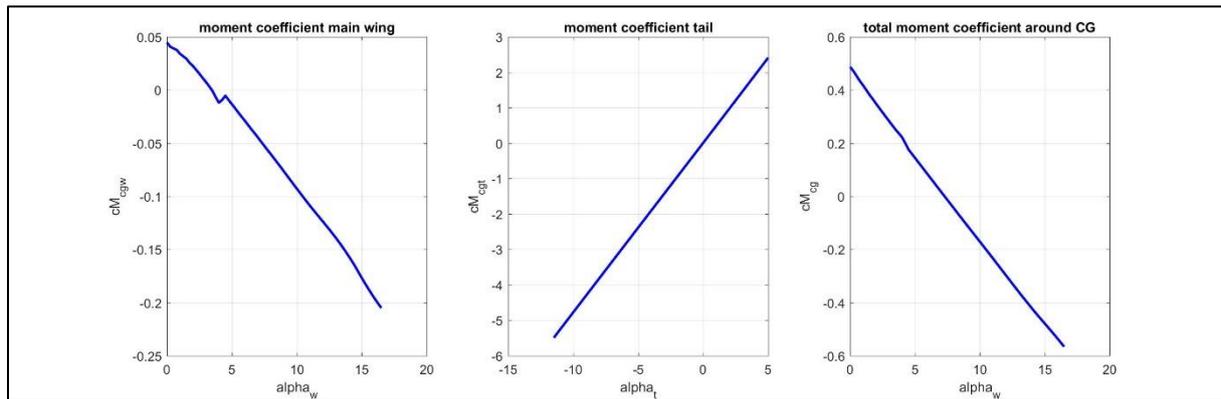


FIGURA 3.24. COEFICIENTES DEL MOMENTO DEL ALA, TIMÓN DE PROFUNDIDAD Y MAQUETA COMPLETA

Con estos cálculos se puede concluir que la configuración de la maqueta tiene estabilidad longitudinal, también se puede observar que con un ángulo de ataque cero, la maqueta tiende a elevarse.

Otra forma de comprobar la estabilidad de la maqueta es ver la posición del margen estático, si el centro de gravedad se encuentra por delante del punto neutro, el avión será estable. Para comprobar estos valores, se utilizarán las fórmulas 3.15 y 3.16:

$$h_n = h_{ac,w} + \frac{a_t}{a_w} * V_H = 0.67 \tag{3.15}$$

$$static\ margin = h_n - h_w = 0.61 \tag{3.16}$$

3.7.1.2 ESTABILIDAD DIRERCCIONAL

El momento total producido por el estabilizador vertical sobre el CG se ha calculado con la fórmula 3.17:

$$C_{M,cg,vt} = \frac{M_{cg,vt}}{q * S_{vt} * c_{vt}} \tag{3.17}$$

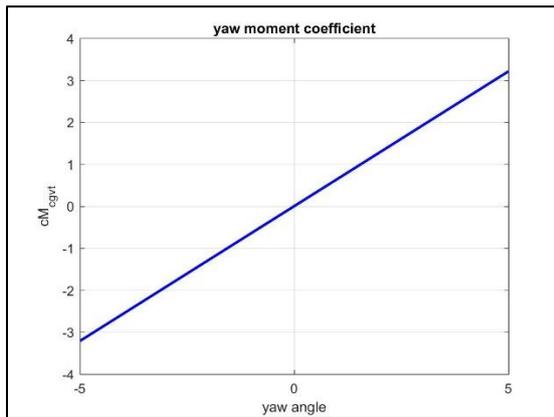


FIGURA 3.25. COEFICIENTE DEL MOMENTO DE LA COLA VERTICAL

Para poder ser direccionalmente estable, se necesita que la tendencia del giro sea positiva, esto significa que la gráfica del ángulo de giro tiene que ser positiva. También significa que en el momento que el giro es cero, el ángulo no debe variar.

3.7.2 ESTABILIDAD DINÁMICA

La parte de estabilidad dinámica se centra en las fuerzas que intervienen en el vuelo

El ángulo de ataque de la cola se calcula asumiendo que todo el empuje esta producido por el ala, por tanto, el empuje de la cola debe compensar el momento creado por esta.

Para calcular el empuje producido se emplea la fórmula 3.18:

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 C_l S \quad (3.18)$$

Con esto se obtiene un valor de 26,98 N de empuje producidos en el ala. Conociendo la distancia entre el CG y el centro dinámico del ala, y la distancia entre el CG y el centro dinámico de la cola, Se calcula el momento producido por ambas fuerzas. Que deben anularse entre sí.

$$L_w * l = L_t * l \quad (3.19)$$

Despejando L_t y sustituyéndolo en la fórmula 3.19 se obtiene un valor de 0,866N lo que corresponde a un ángulo de -1.5° , pero al ser una fuerza de compensación el sentido debe ser el contrario, por lo que el ángulo de ataque se la cola pasaría a ser de $+1.5^\circ$.

3.7.2.1 RATIO DE ELEVACIÓN.

Para calcular la estabilidad longitudinal dinámica del cuerpo, se ha elevado todo lo posible y a continuación se ha devuelto a punto murto. La reacción se puede ver en la figura 3.26, la

reacción se puede observar que es estable, pero el amortiguamiento es lento, ya que tarda más de 20s en recuperar la normalidad.

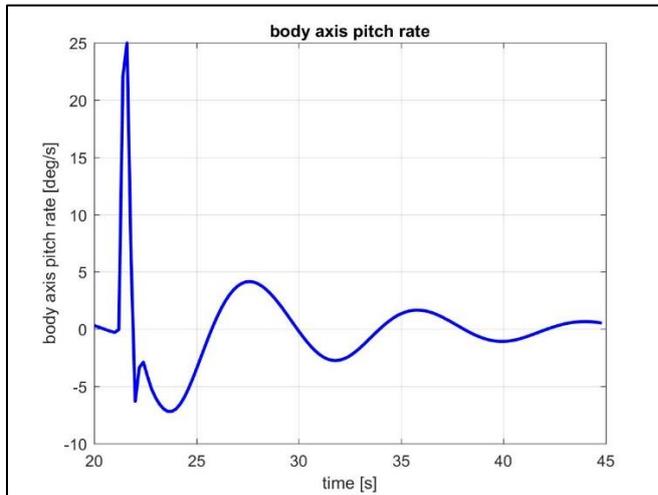


FIGURA 3.26. ÁNGULO DE ELEVACION SOBRE EL EJE X

3.7.2.2 RATIO DE INCLINACIÓN

Para calcular la estabilidad lateral, se ha realizado la misma prueba que en la elevación, pero inclinando la maqueta. Como se puede observar en la figura 3.27, tiene una leve respuesta en sentido contrario, pero después de 20s se ha recuperado completamente.

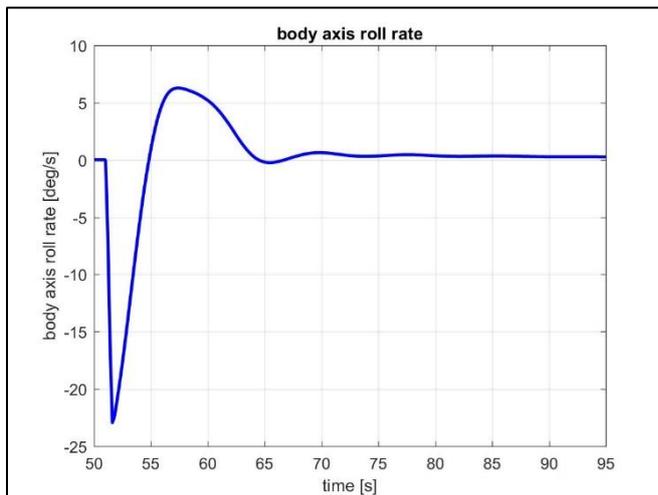


FIGURA 3.27. ÁNGULO DE GIRO SOBRE EL EJE Z

3.7.2.3 RATIO DE GIRO

La estabilidad direccional se ha analizado con un giro del timón de dirección hacia la izquierda. En la figura 3.28, se puede observar el comportamiento de la maqueta y su tendencia a amortiguar el giro, aunque esta amortiguación es pronunciada al principio se vuelve de una progresión lenta.

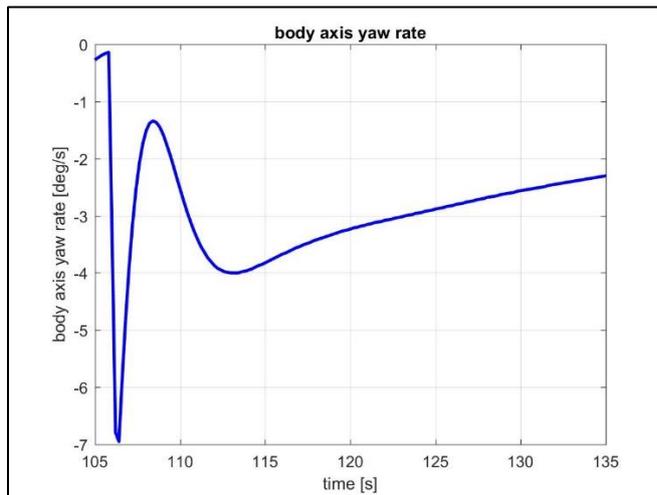
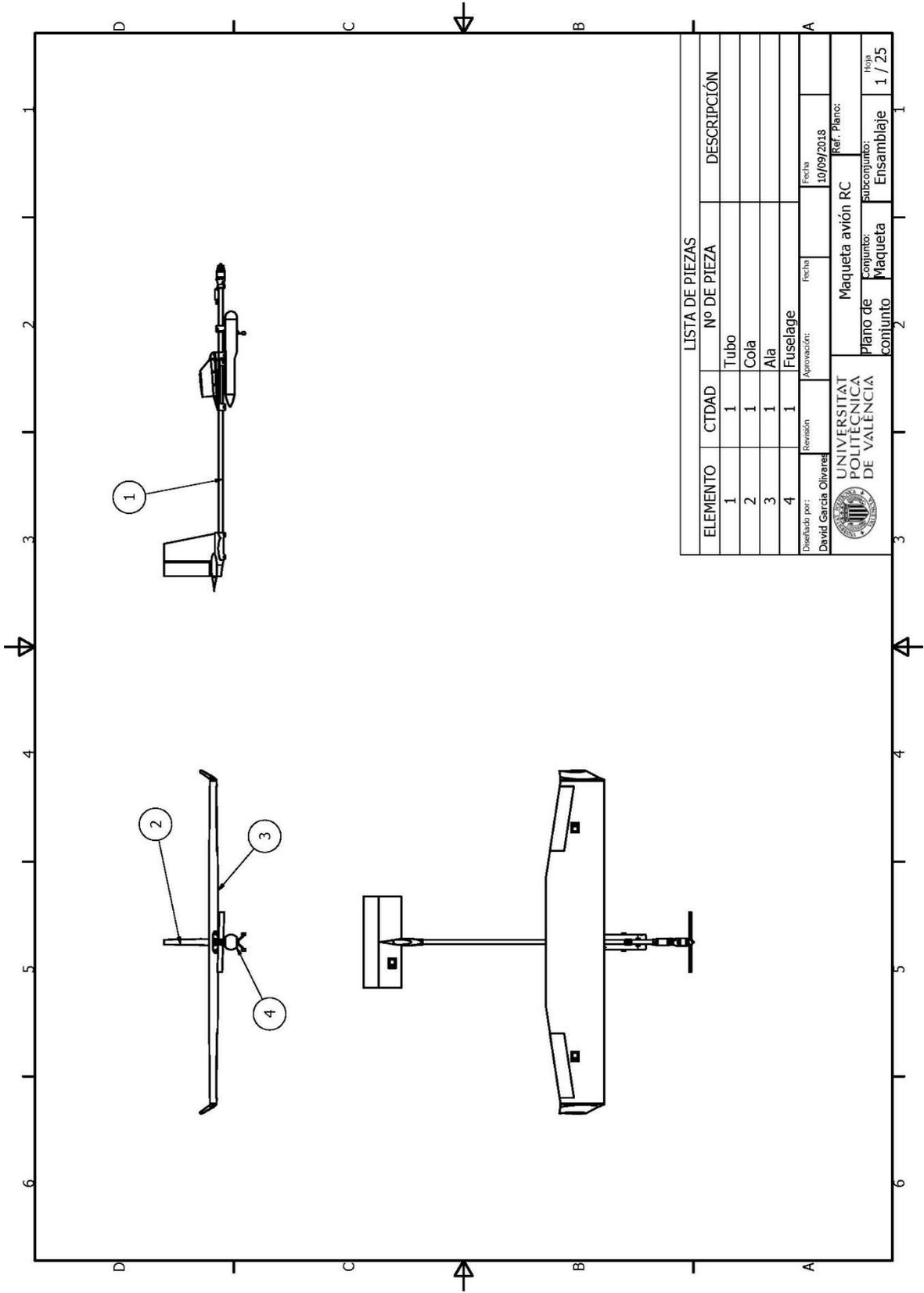


FIGURA 3.28. ÁNGULO DE GIRO SOBRE EL EJE Y

3.7.3 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

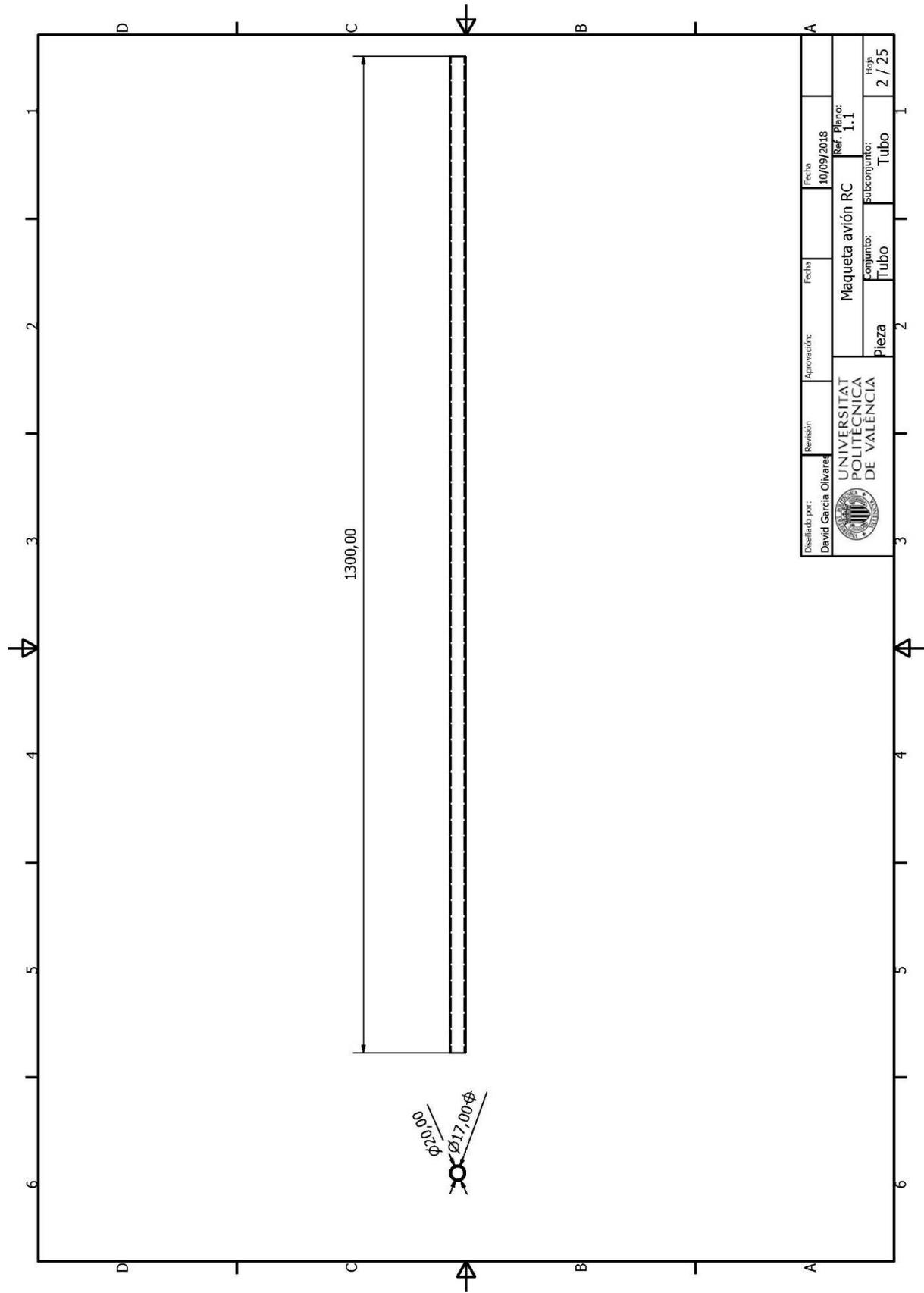
Se puede comprobar que la maqueta es estable, en el caso de una inestabilidad producida por la posición del centro de gravedad, se solucionaría con la facilidad de desplazamiento del fuselaje.

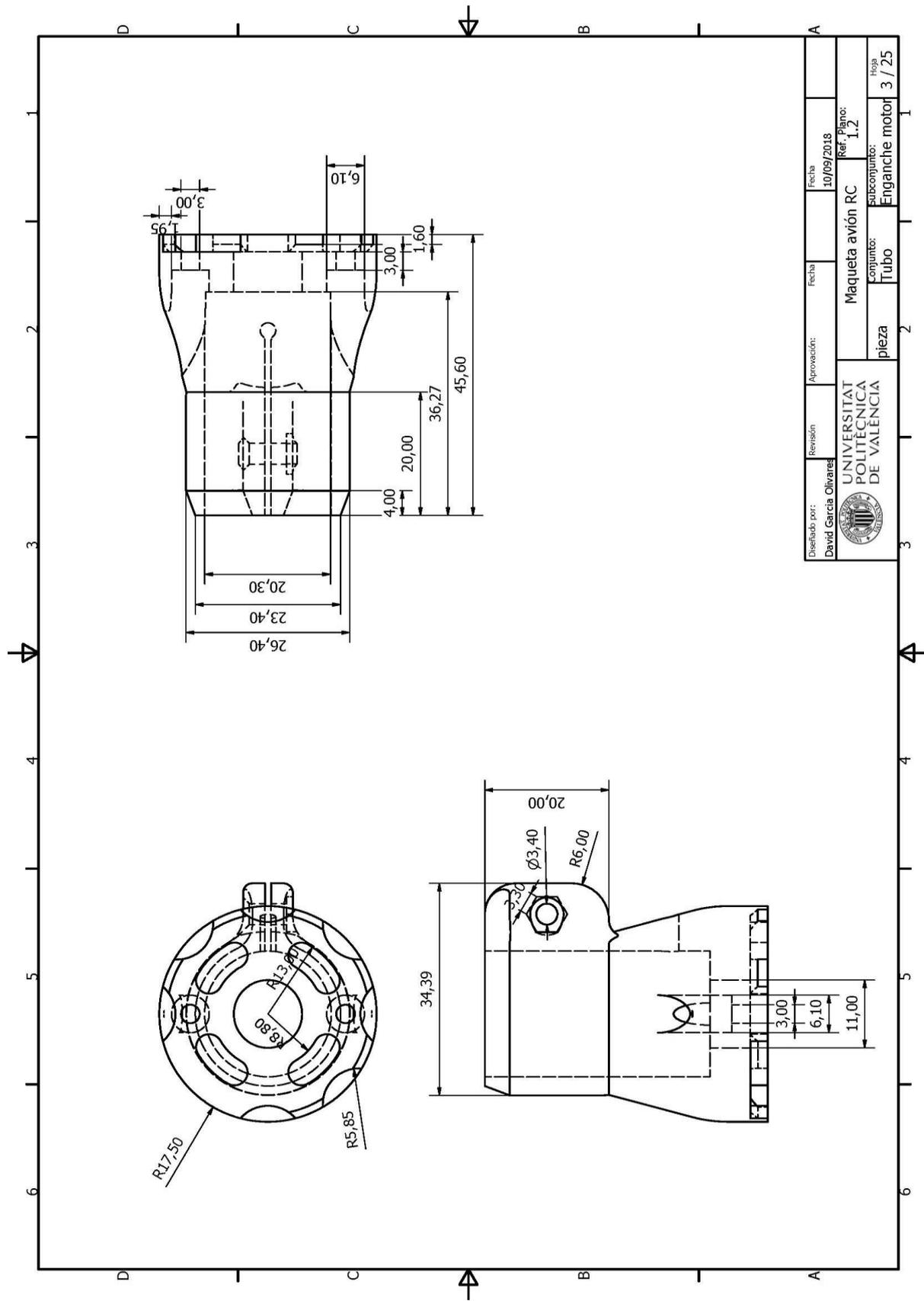
4. PLANOS

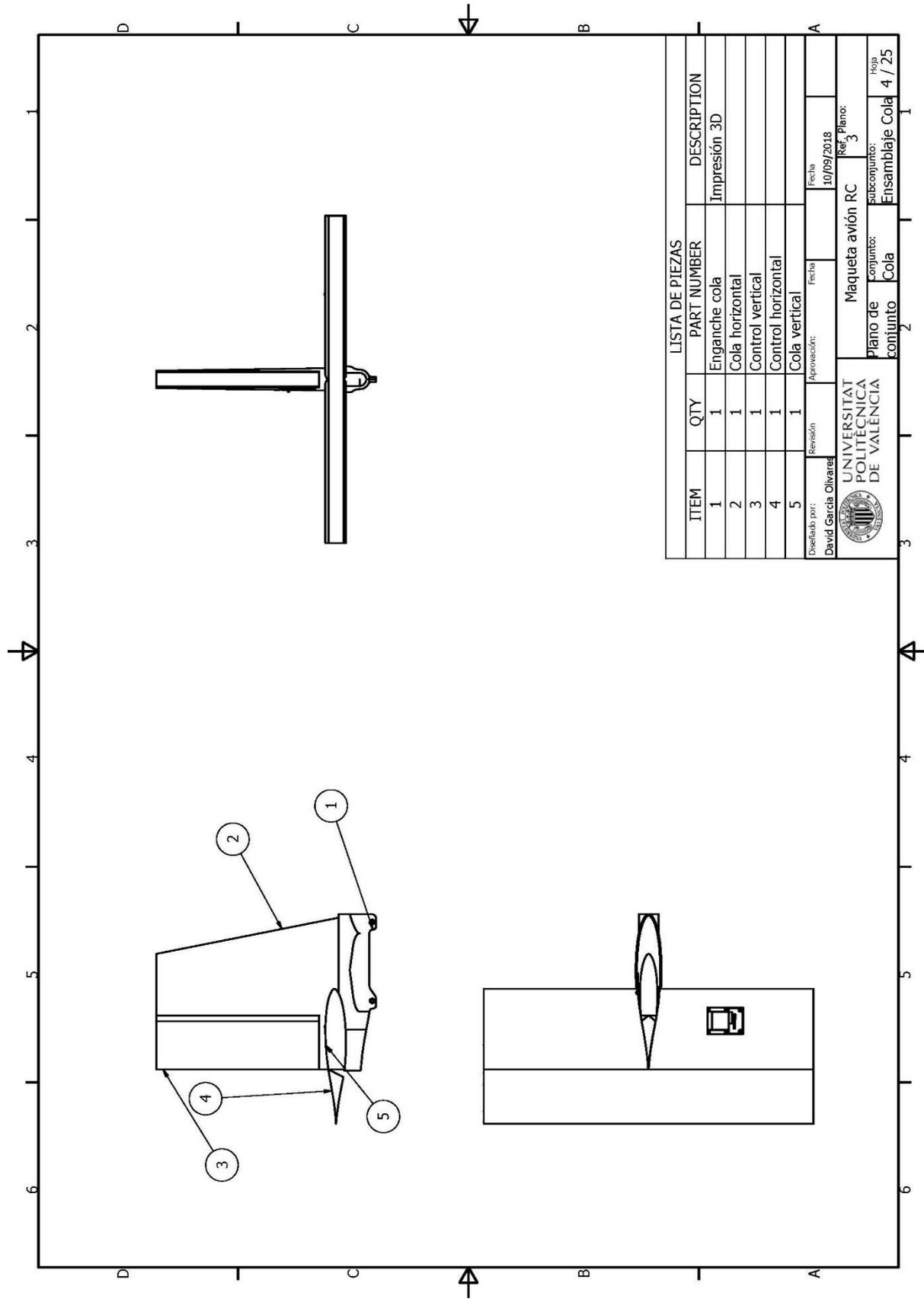


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Tubo	
2	1	Cola	
3	1	Ala	
4	1	Fuselaje	

Diseñado por: David García Olivares	Revisión:	Aprobación:	Fecha: 10/09/2018
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Maqueta avión RC	
		Plano de conjunto:	Ref: Plano:
		Maqueta	Ensamblaje
		2	1 / 25

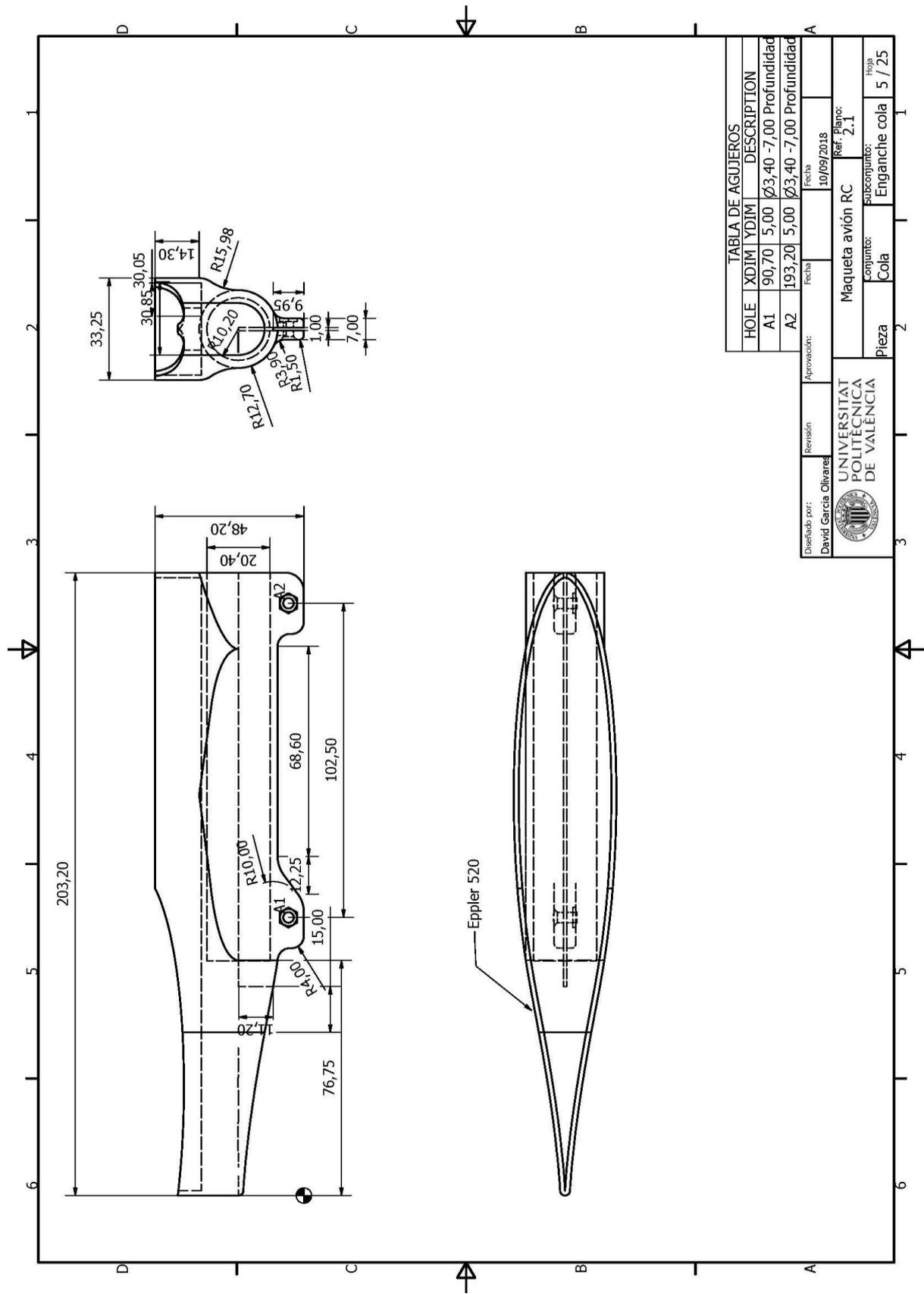


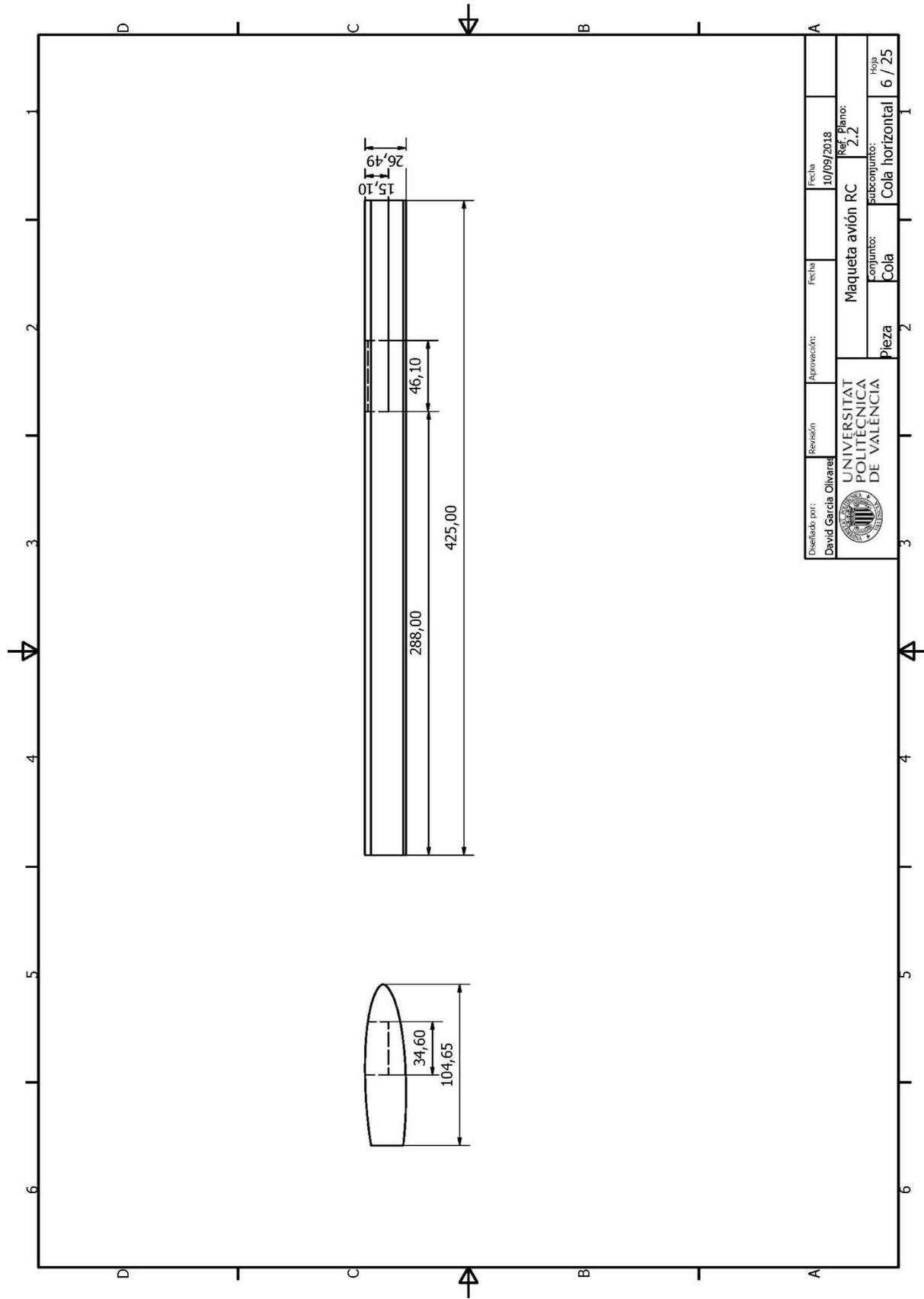


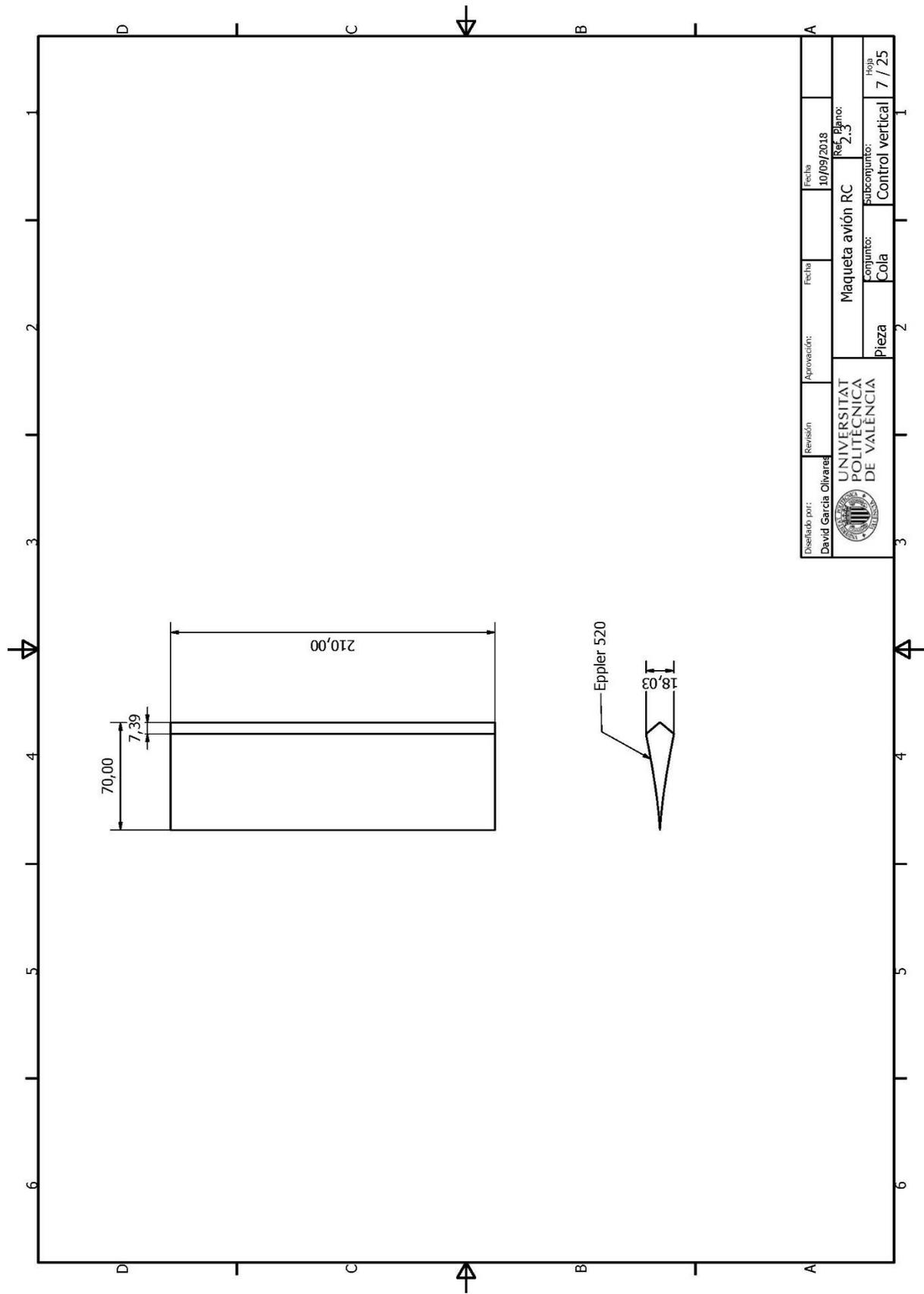


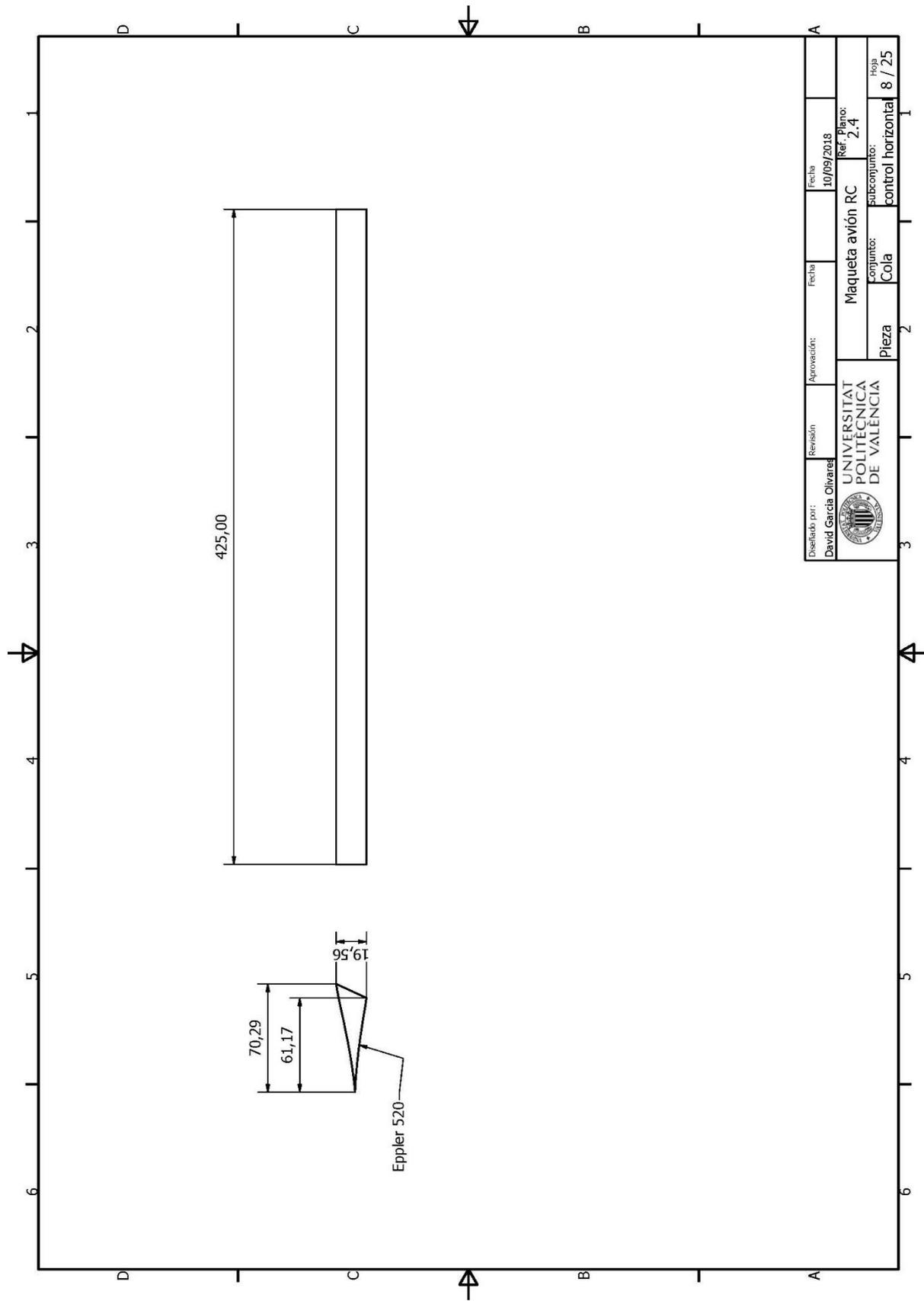
LISTA DE PIEZAS			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Enganche cola	Impresión 3D
2	1	Cola horizontal	
3	1	Control vertical	
4	1	Control horizontal	
5	1	Cola vertical	

Diseñado por: David García Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha 10/09/2018
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Maqueta avió RC Ref. Plano: 3	
Plano de conjunto: Cola		subconjunto: Ensamblaje Cola	
Hoja 4 / 25			

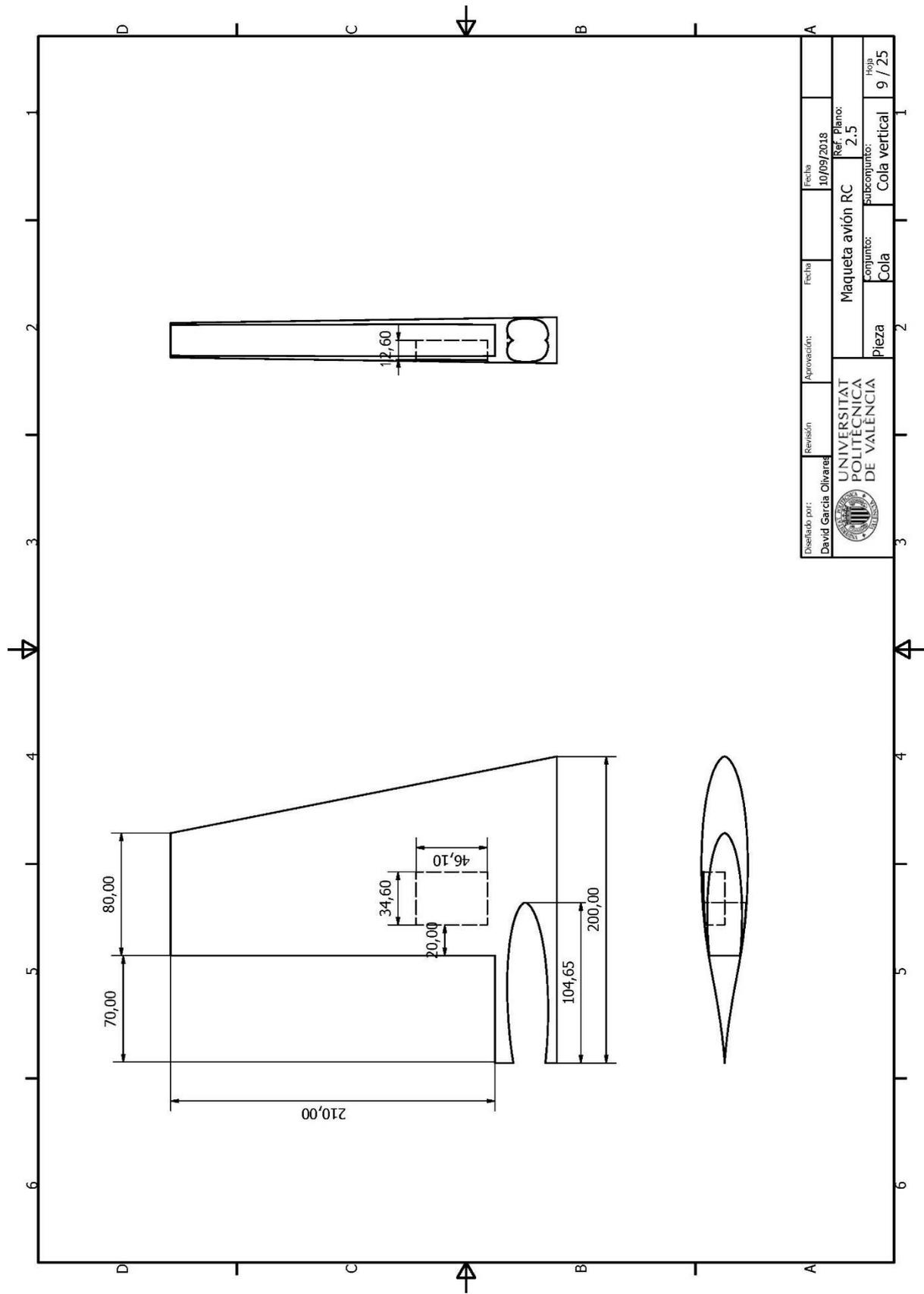




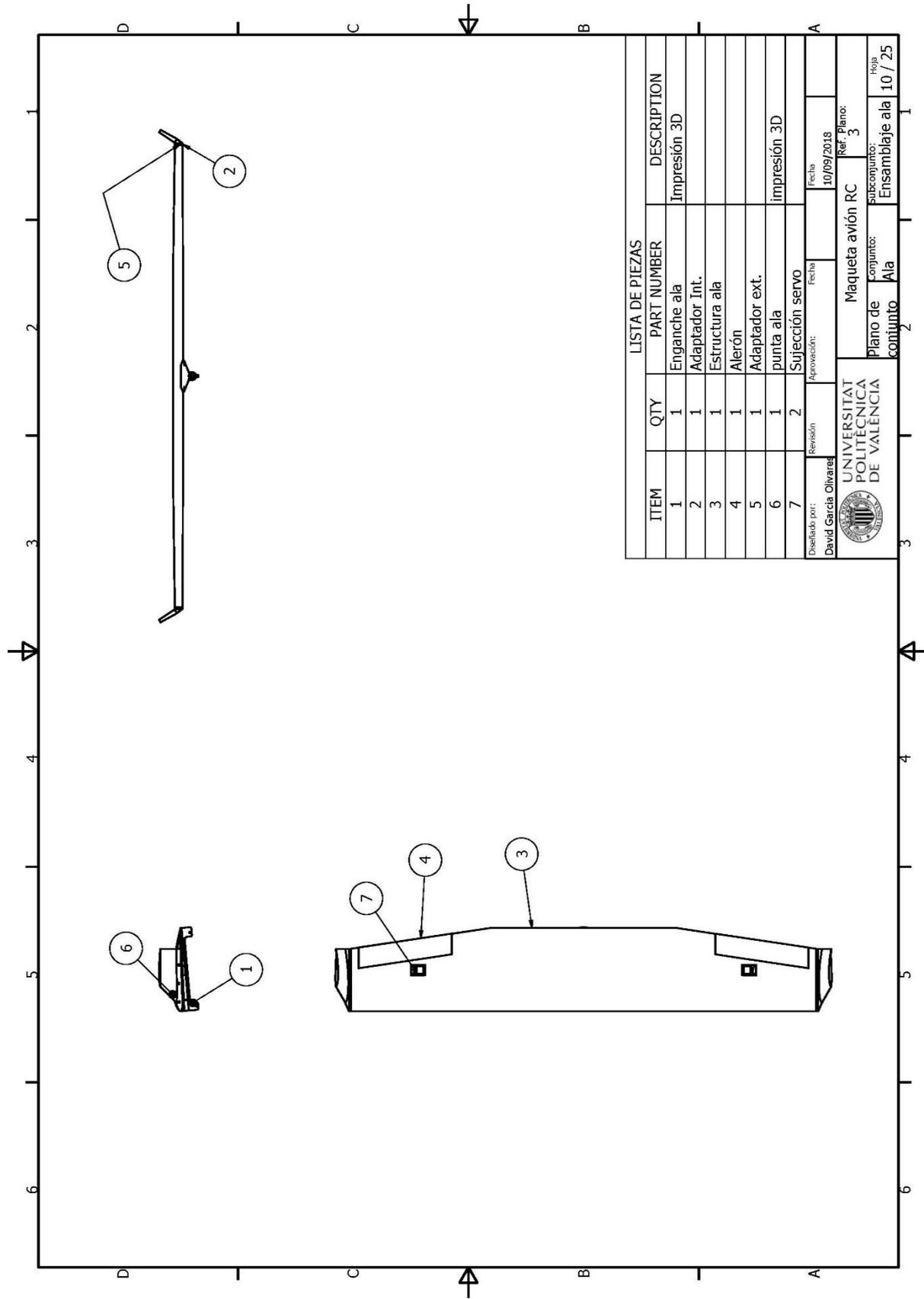


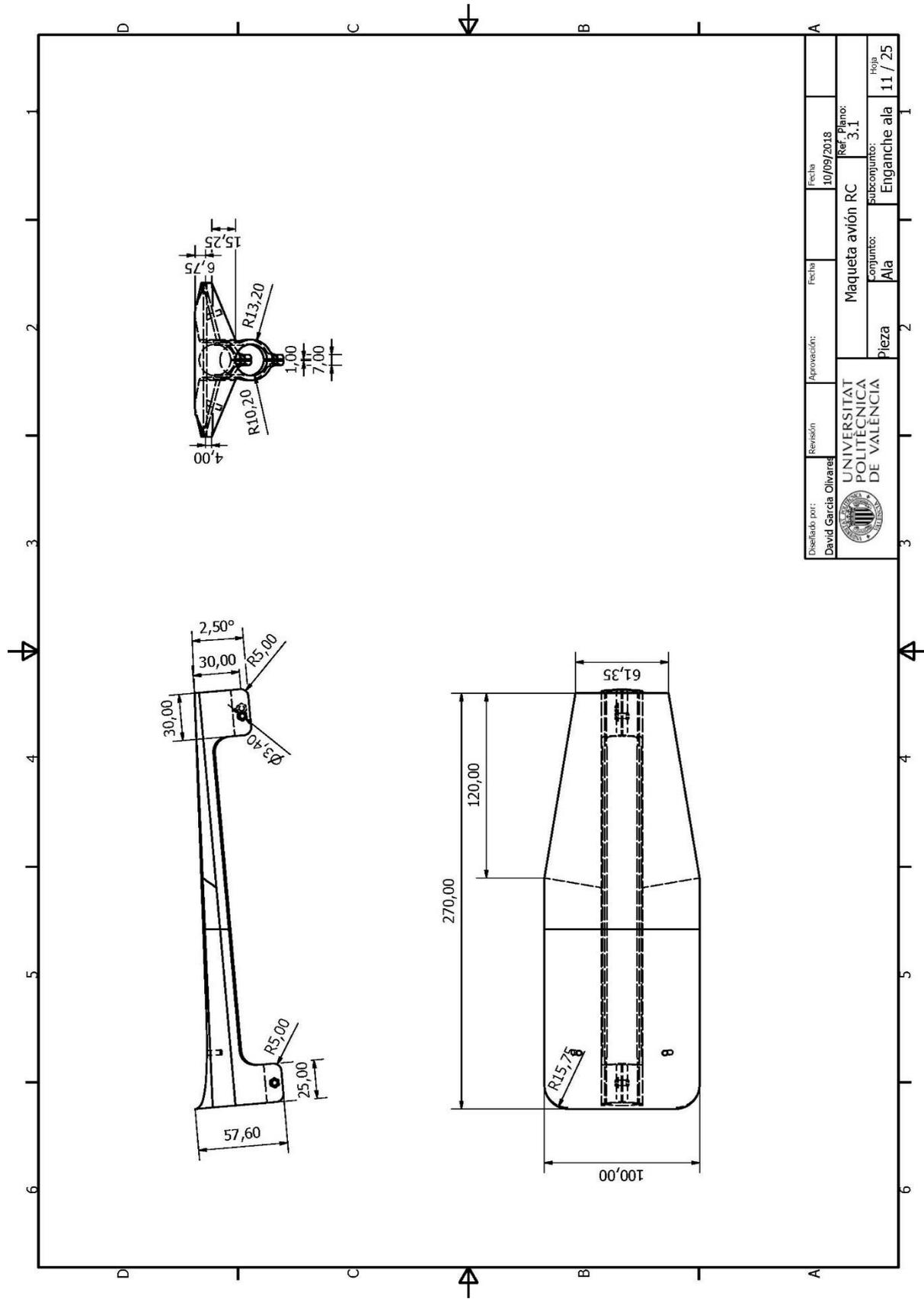


Disñado por: David García Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha	Fecha
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Maqueta avió RC		
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Ref. Plano: 2.4		Hoja 8 / 25
Pieza		Conjunto: Cola		subconjunto: control horizontal

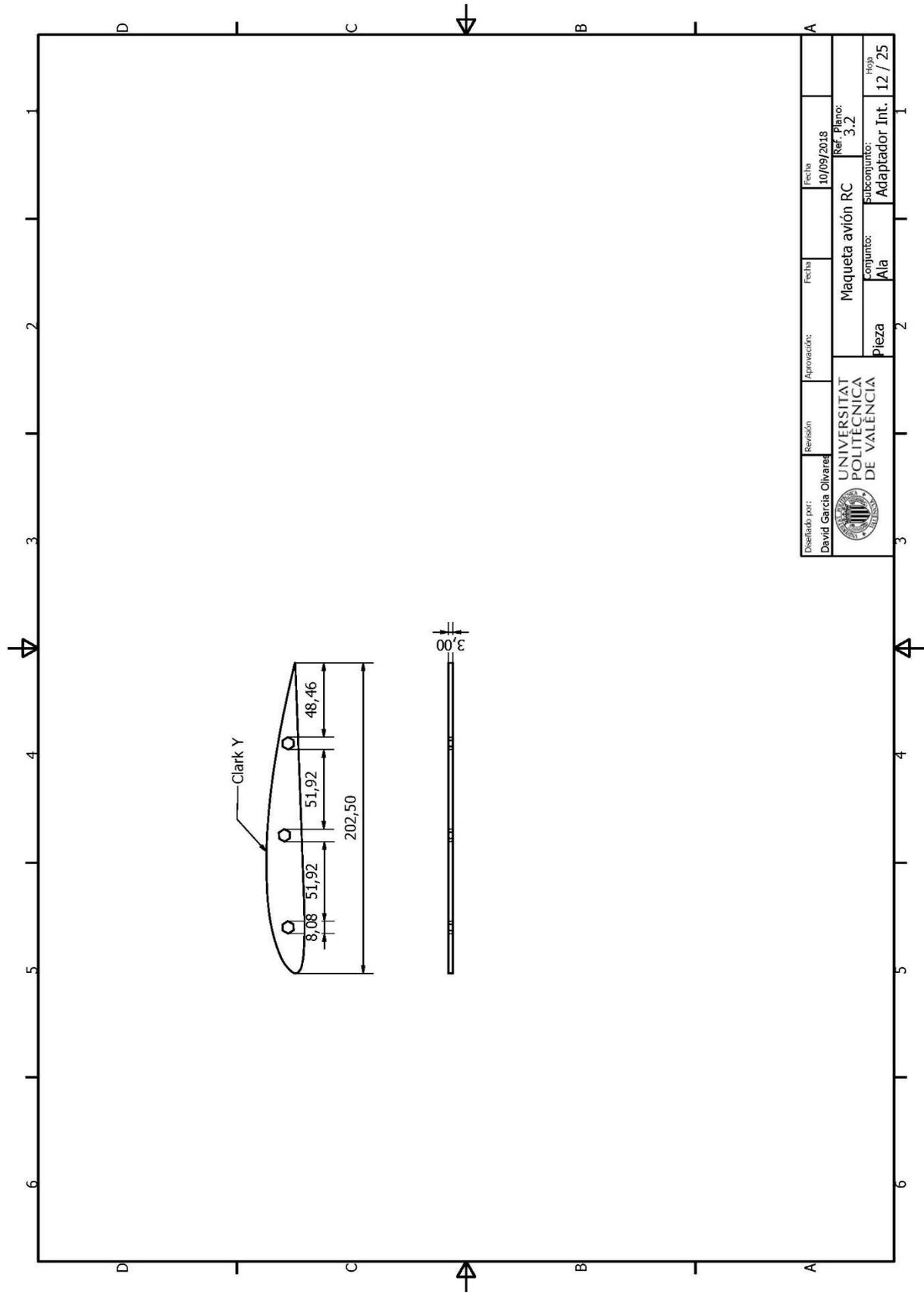


Disñado por: David García Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha	Fecha	Fecha
					
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA			Maqueta avió RC		
			Ref. Plano: 2.5		Hoja 9 / 25
			Conjunt: Cola		subconjunt: Cola vertical
			Pieza		

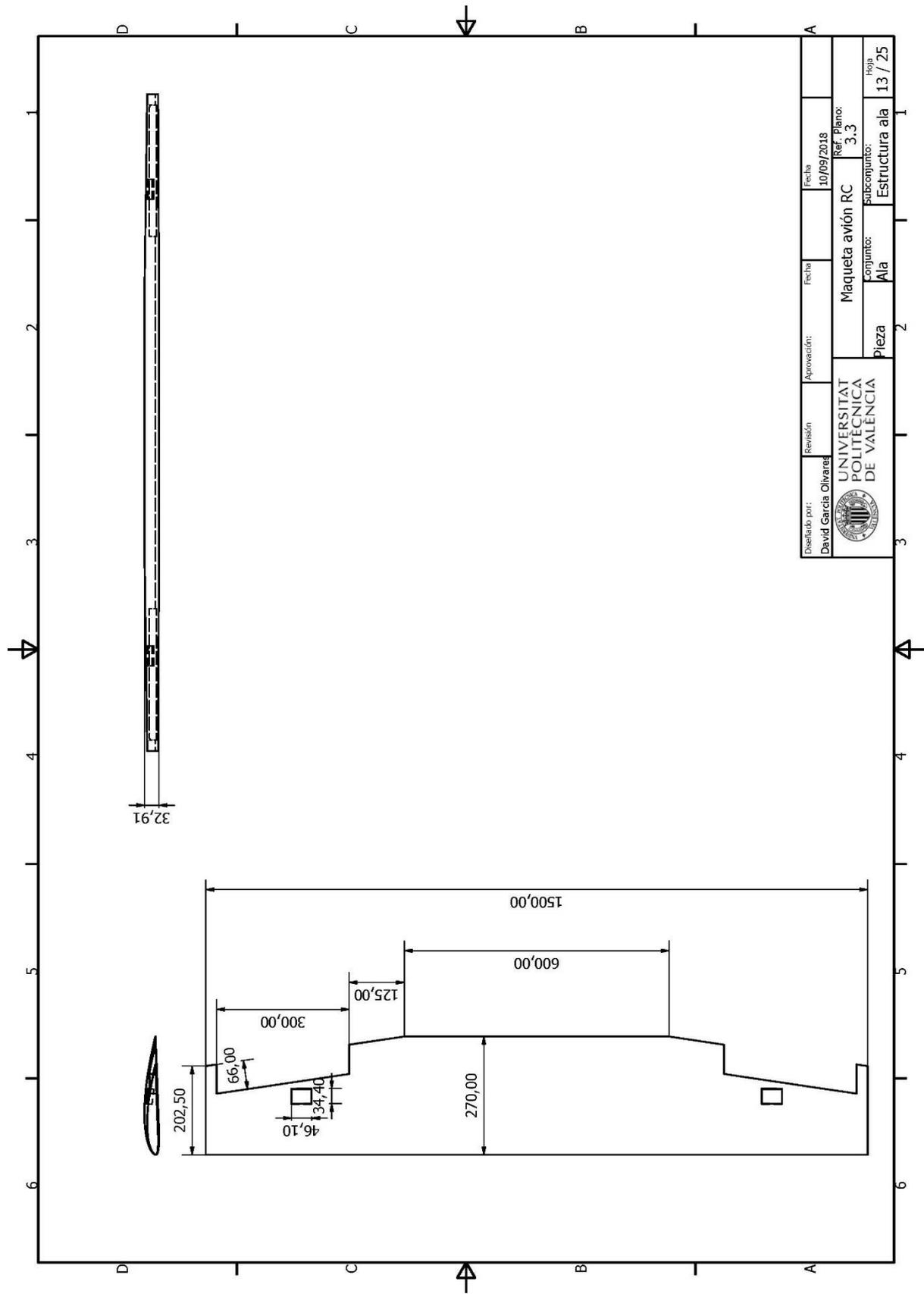




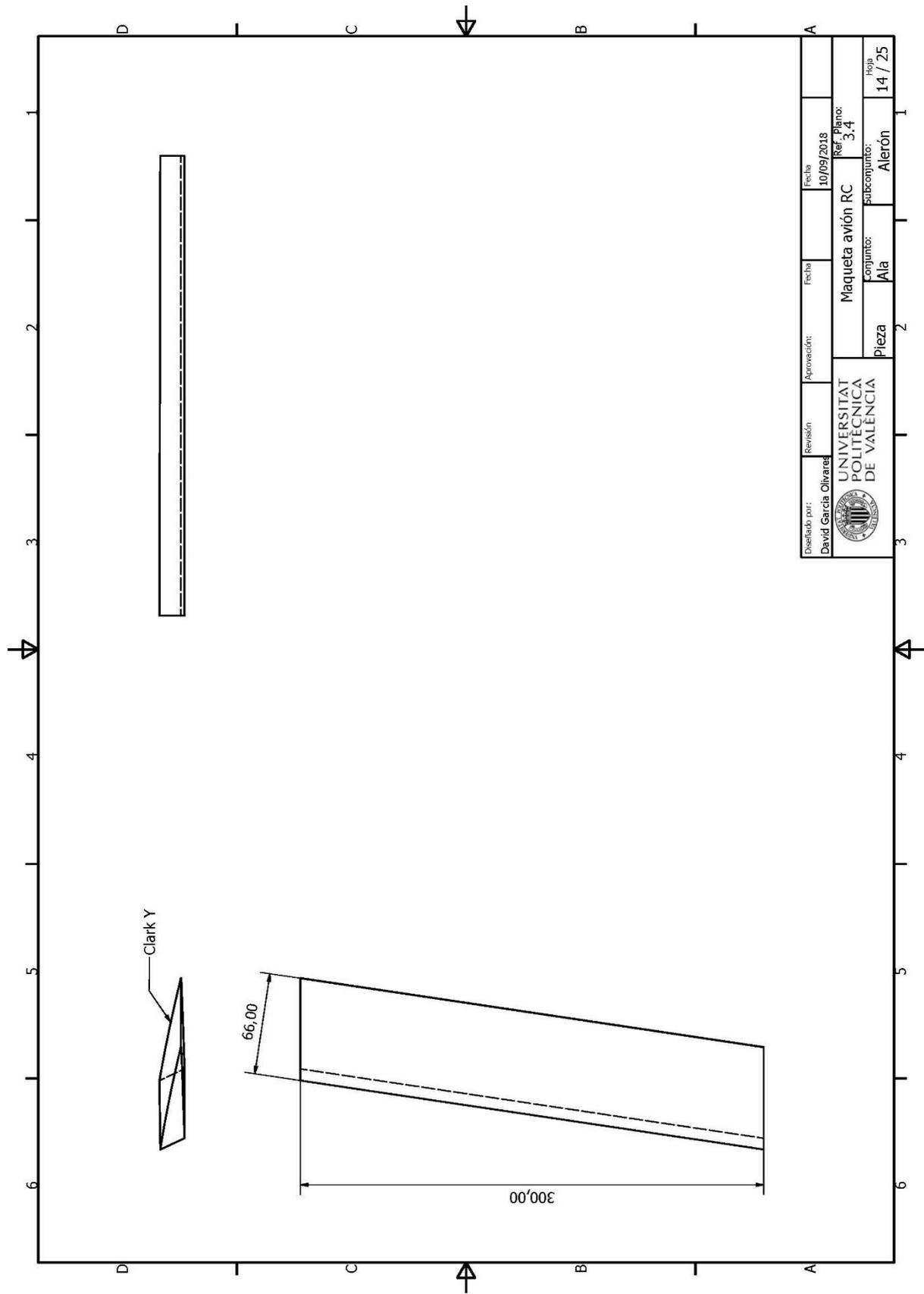
Disñado por: David García Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha	Fecha	Fecha
			10/09/2018		
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA			Maqueta avió RC		
			Ref. Plano: 3.1		
			subconjunto: Enganche ala		
			Pieza Ala		
			Hoja 11 / 25		

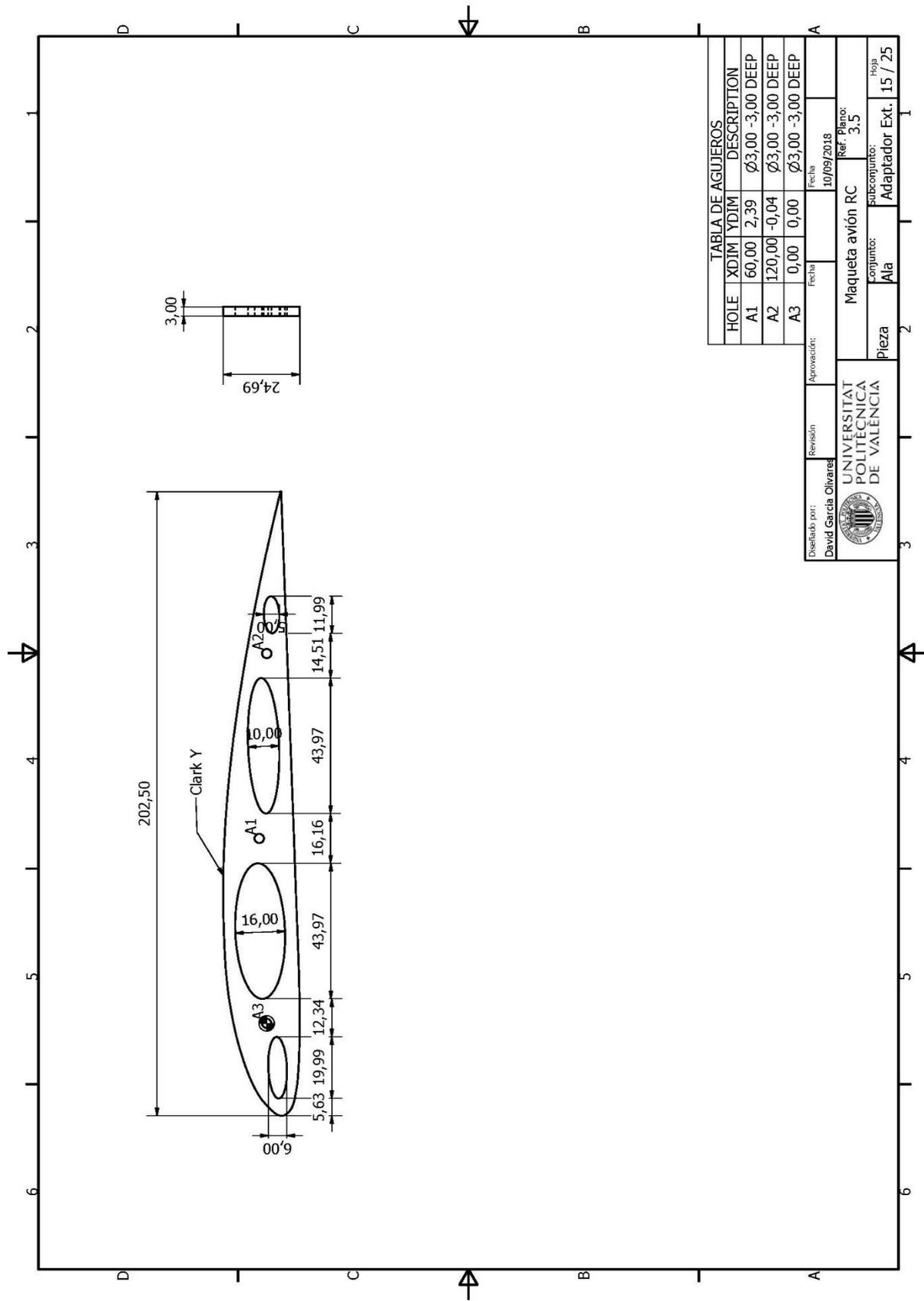


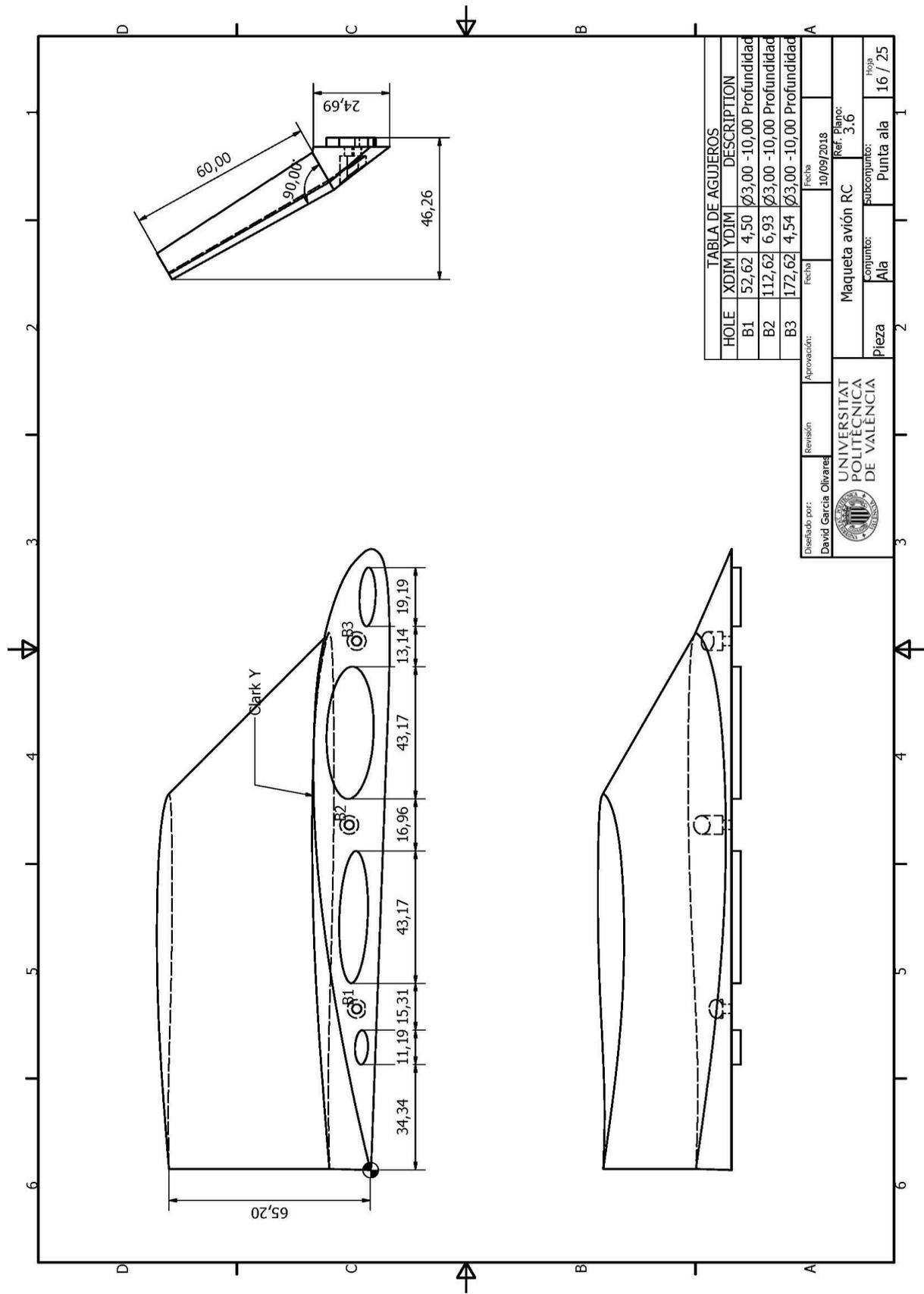
Disñado por: David García Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha	Fecha
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Maqueta avió RC		
Ref. Plano: 3.2		Ref. 10/09/2018		
subconjunto: Ala		subconjunto: Adaptador Int.		
Pieza		Hoja 12 / 25		

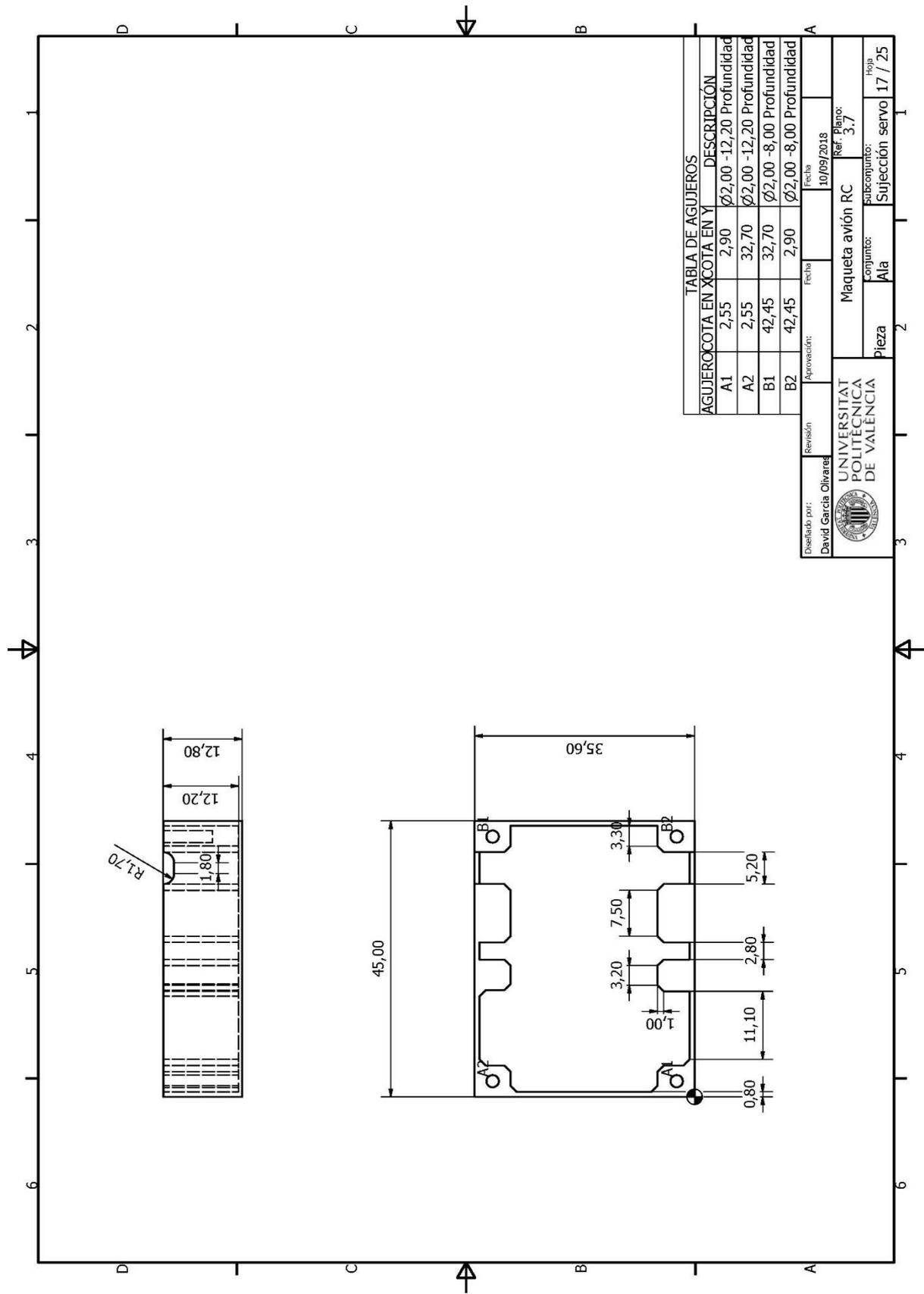


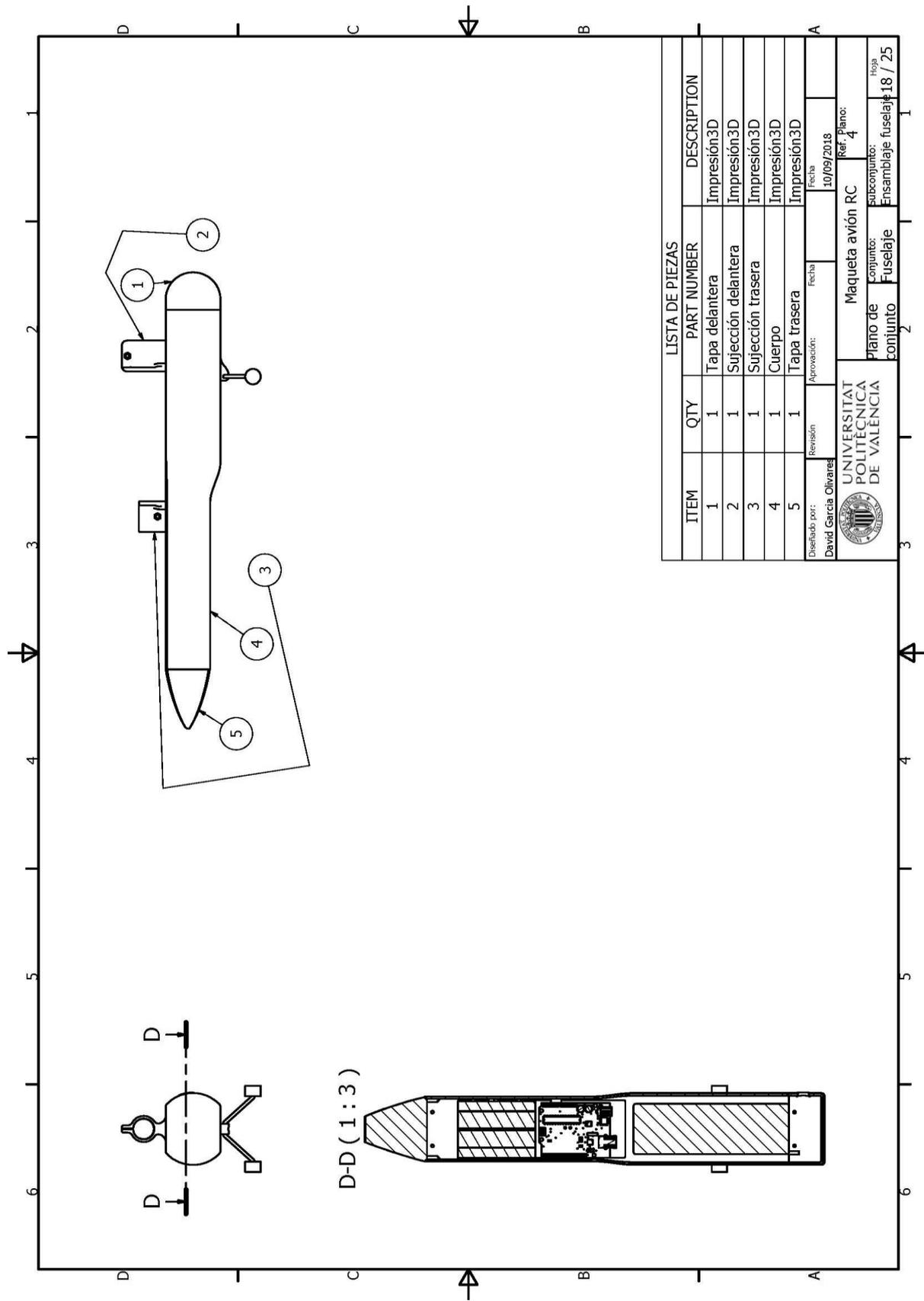
Disñado por: David García Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha	Fecha
			10/09/2018	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Maqueta avió RC		
		Ref. Plano: 3.3		
		Conjunt: Ala		
		subconjunt: Estructura ala		
				Hoja 13 / 25

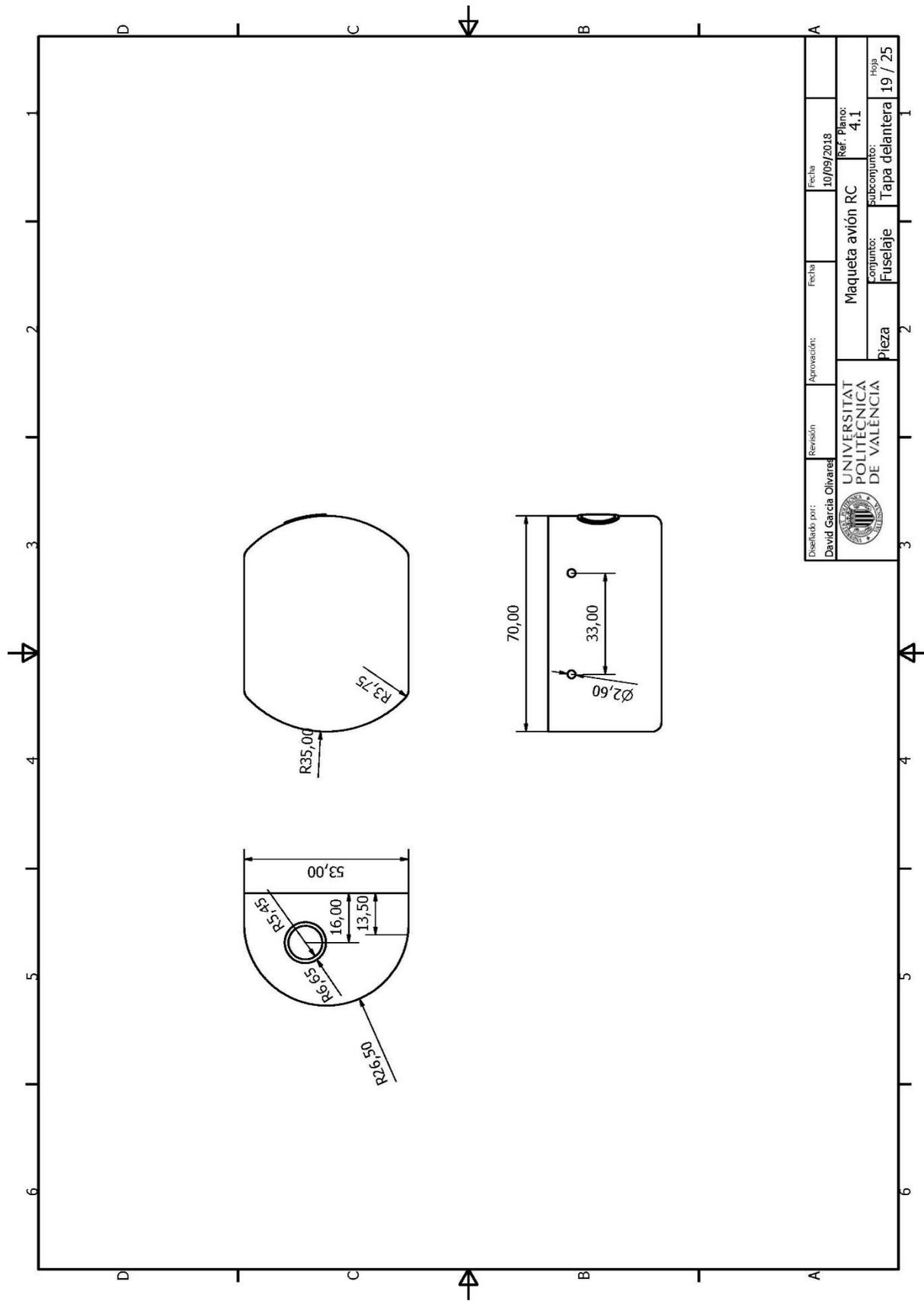




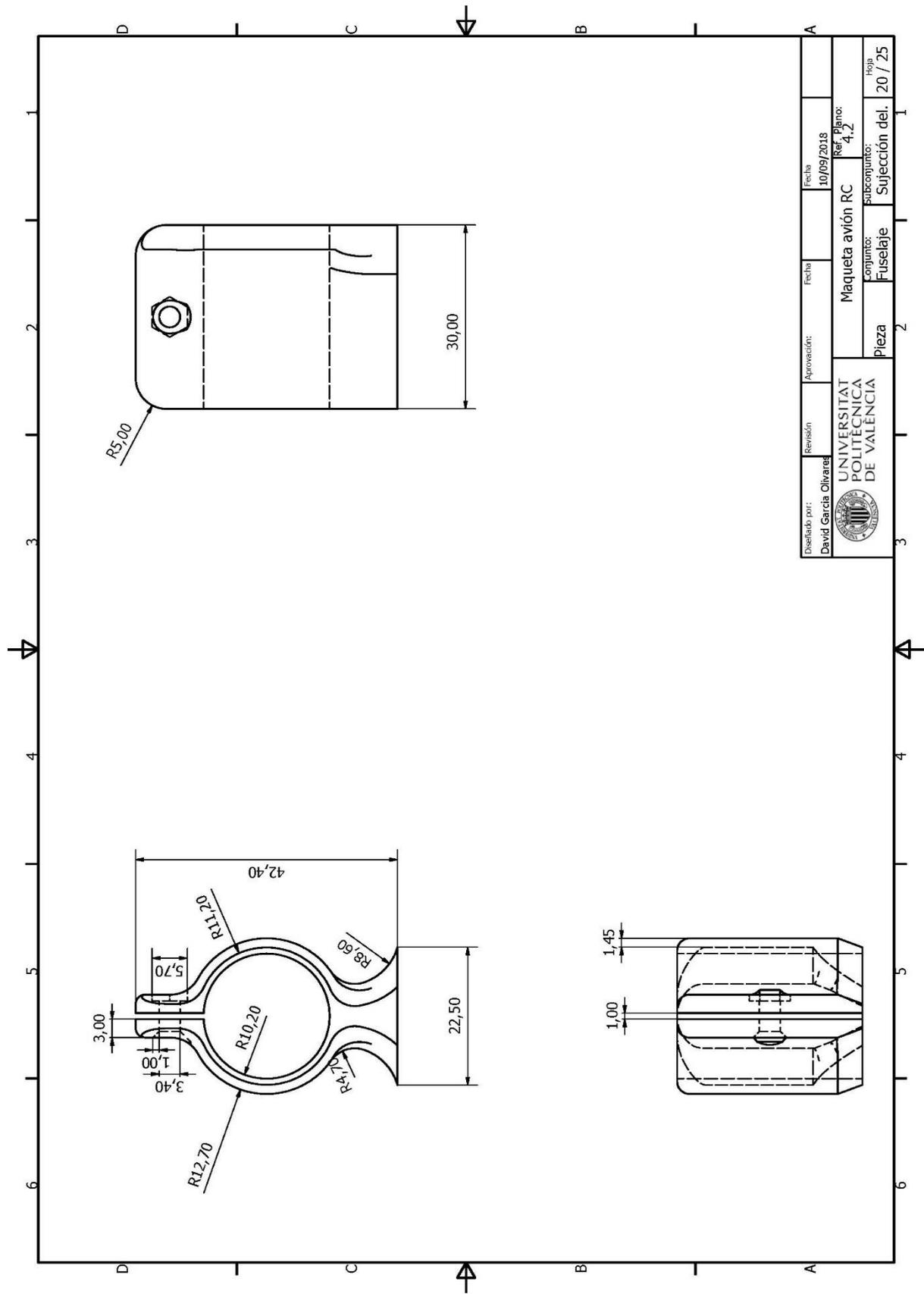




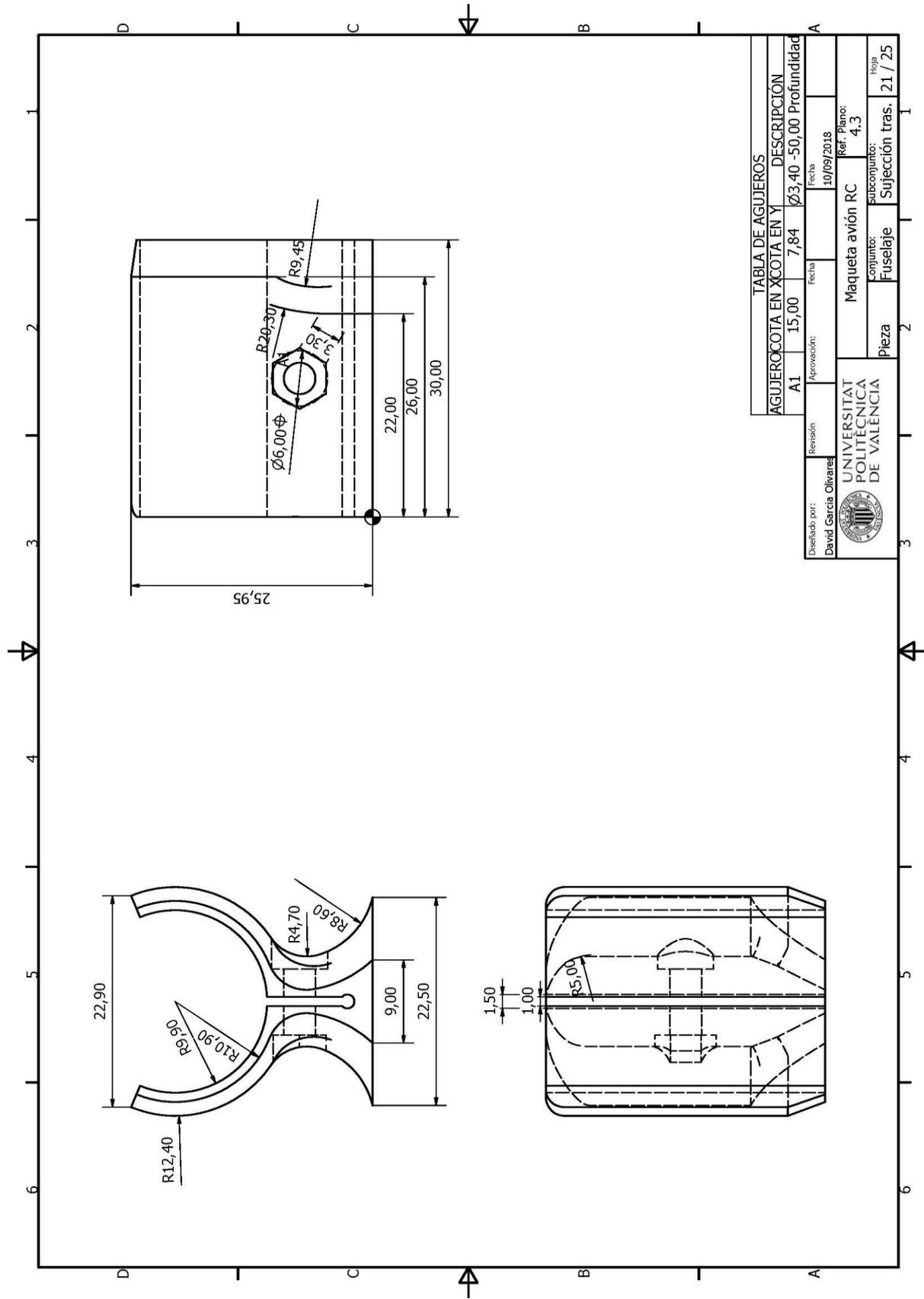


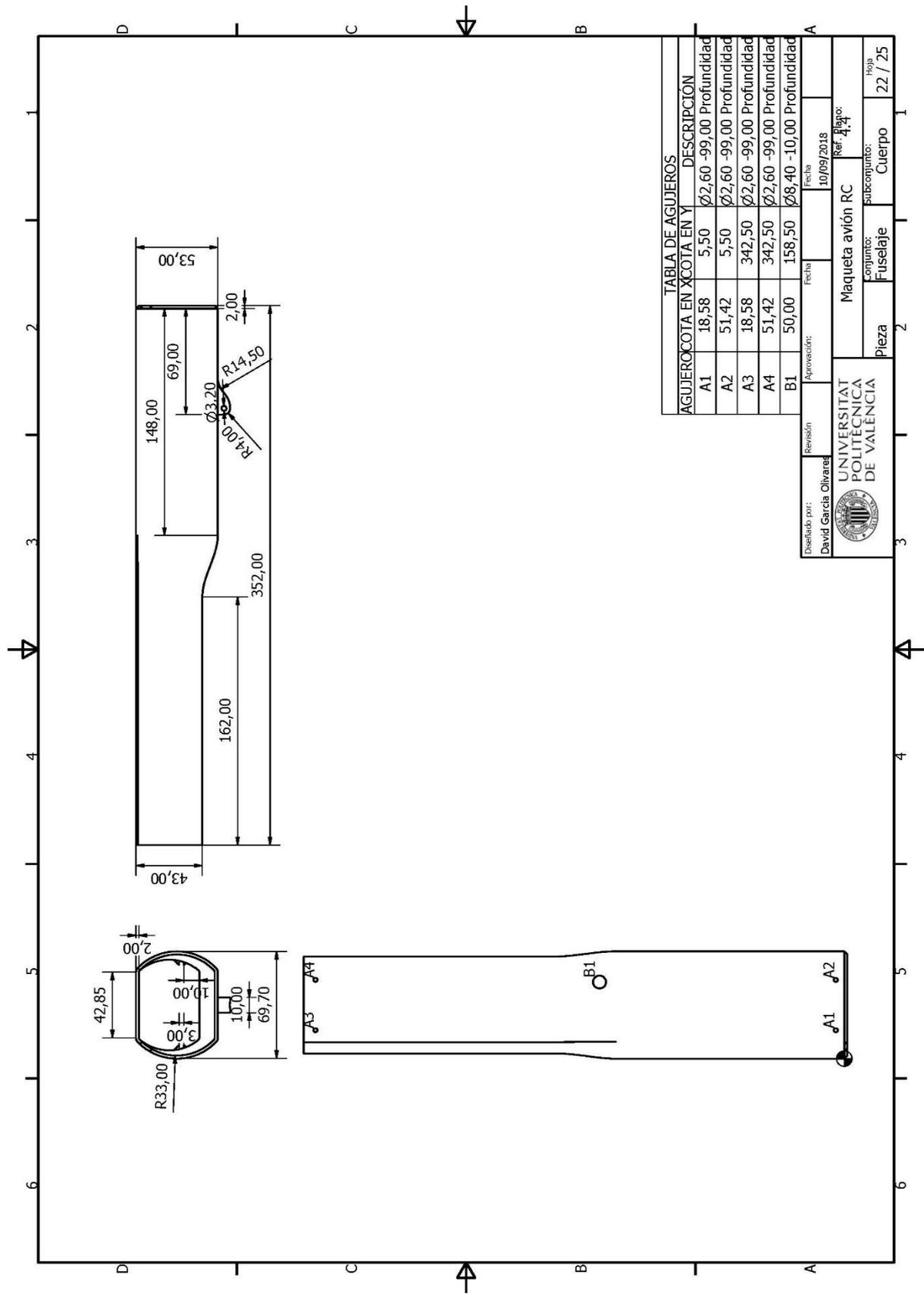


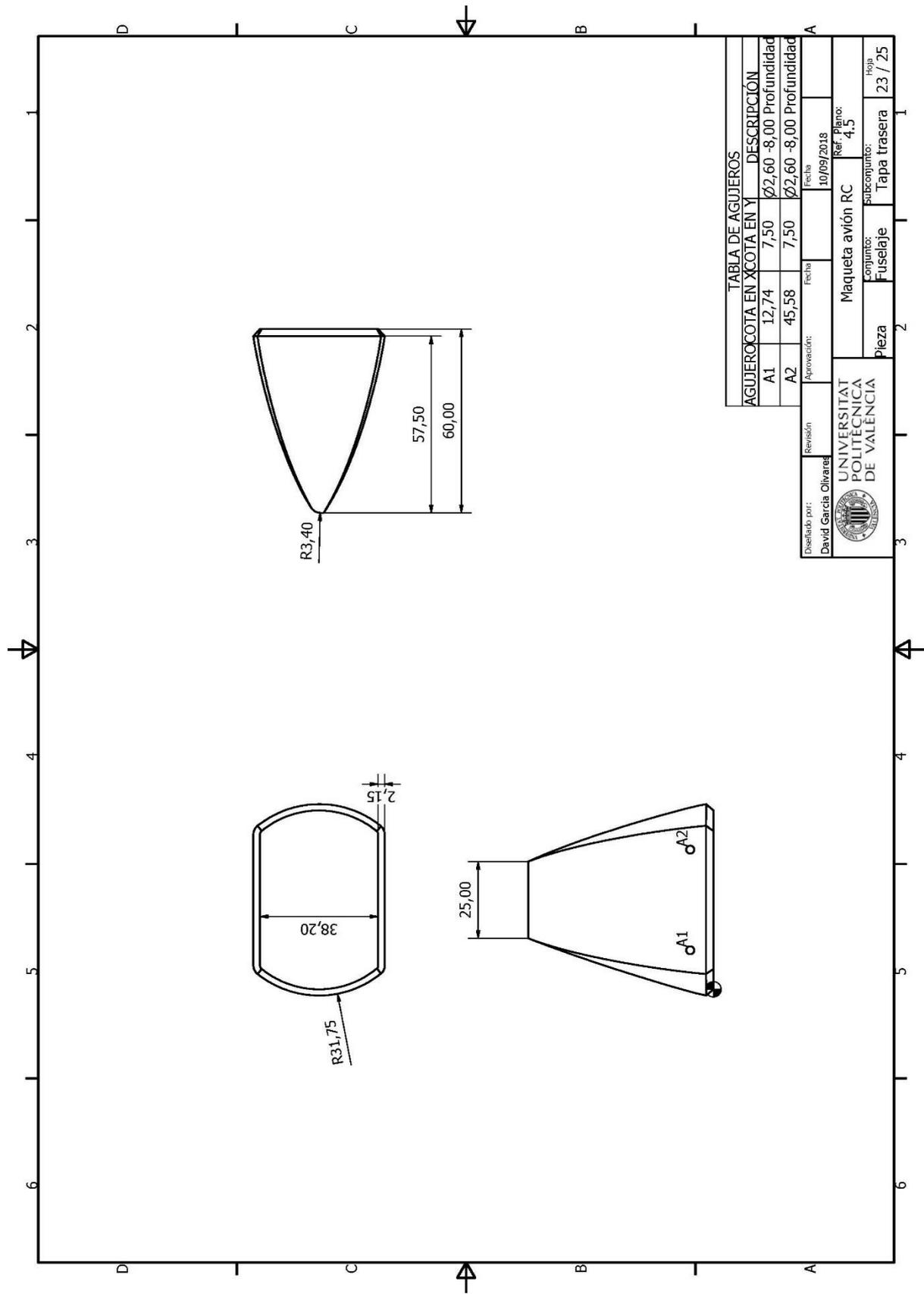
Disñado por: David García Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha	Fecha
			10/09/2018	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Maqueta avió RC		
		Ref. Plano: 4.1		
		Conjunt: Fuselaje		
		subconjunt: Tapa delantera		
				Hoja 19 / 25

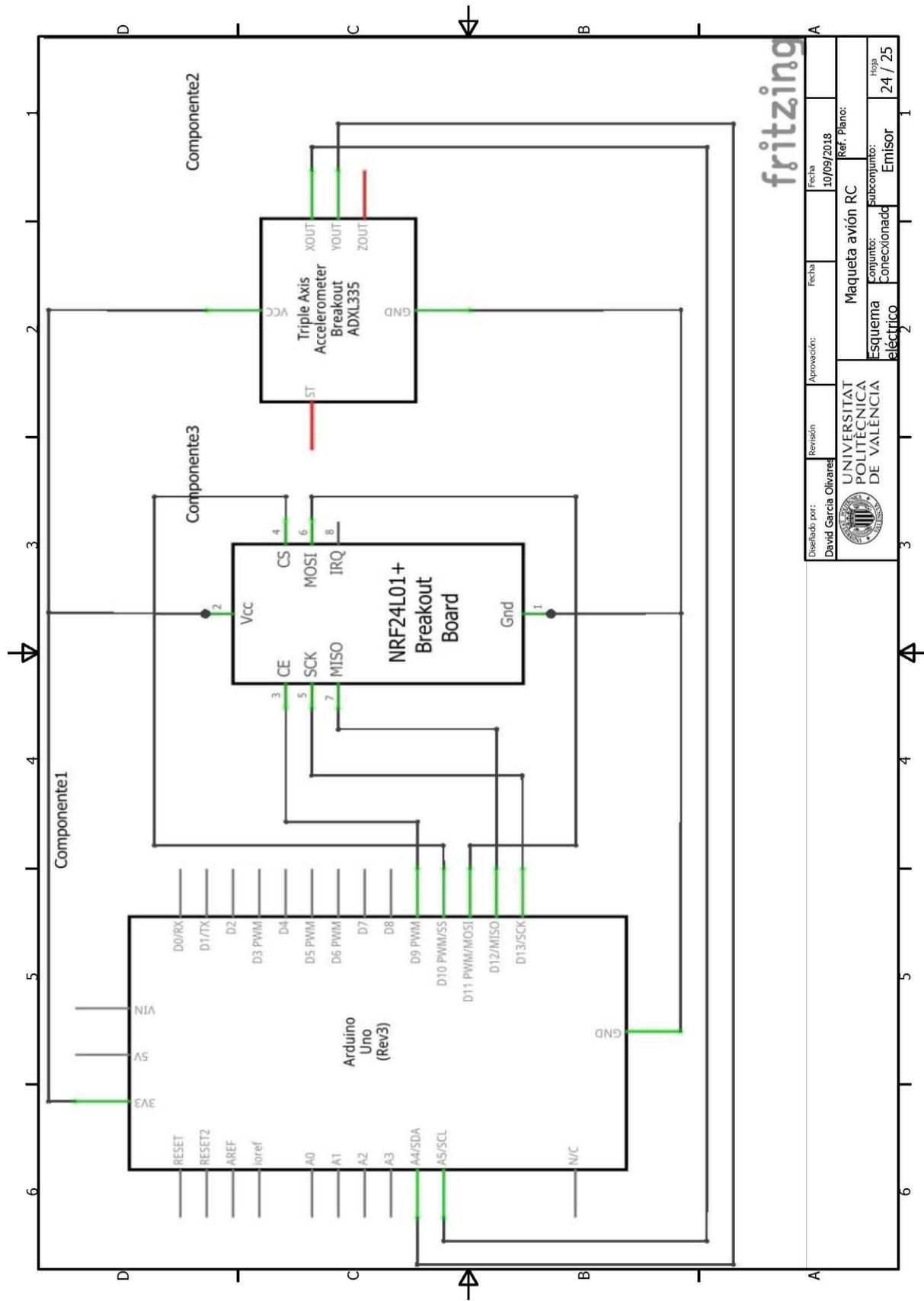


Disñado por: David García Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha	Fecha	Fecha
				10/09/2018	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA			Maqueta avió RC		
			Ref. Plano: 4,2		
			Conjunt: Fuselaje		
			Subconjunt: Sujección del.		
			Hoja 20 / 25		

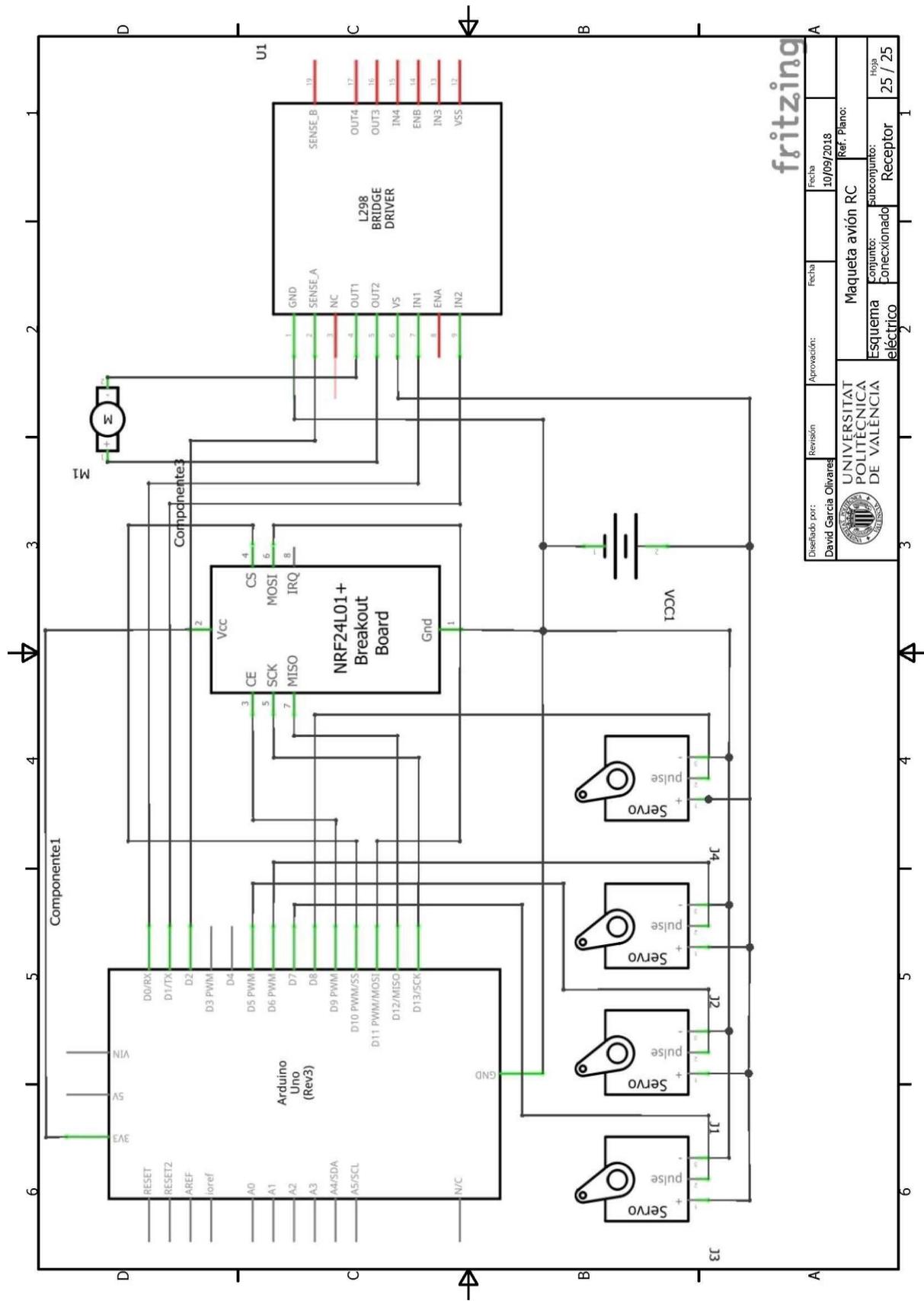








Disenado por: David Garcia Olivares	Revisión	Aprobación:	Fecha
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA			10/09/2018
Maqueta avióon RC			
Esquema eléctrico		Conjuntio: Conecxionado	subconjunto: Emisor
			Hoja 24 / 25



5. Control por Arduino

Esta parte del proyecto es la responsable de controlar la maqueta utilizando el lenguaje Arduino, y todos los componentes electrónicos utilizados para este fin.

Se ha elegido utilizar el microcontrolador Arduino uno, por tener un tamaño reducido, lo que permite reducir el tamaño del fuselaje y por ser un sistema de lenguaje libre y sencillo de programar.

Otra opción posible habría sido utilizar Raspberry pi, que también es un microcontrolador de lenguaje libre, pero al ser una programación un poco más compleja y no haberla utilizado durante la carrera, se ha optado por no utilizarla.

El mando para el control manual de la maqueta es un mando Nunchuck de la Wii, puesto que, al tener un joystick y acelerómetro en un mismo componente, se puede controlar todas las funciones necesarias.

5.1 componentes

- Arduino UNO
- Driver dual L298N
- Módulos Wi-Fi ESP8266 ESP01
- Mando Wii Nunchuck
- Servomotores
- Motor de corriente continua
- Alimentación externa

El sistema consta de dos partes:

- **Emisor.** El conjunto emisor consiste en un mando Wii Nunchuck y un módulo de wifi conectados al controlador Arduino. De esta forma se recabarán constantemente los datos recibidos por el mando. Estos valores se almacenarán en un vector de datos que será enviado posteriormente del módulo de radio al módulo del conjunto receptor.
- **Receptor.** La parte receptora está compuesta por un controlador Arduino del cual salen conexiones hacia otro módulo de wifi y hacia el controlador del motor. Su función es recibir todos los datos del emisor y transmitir a la maqueta cuanto han de moverse los servos y a qué velocidad debe girar el motor gracias al controlador.

5.1.2 Montaje de los componentes

El montaje de la parte del emisor es el correspondiente al mando para este solo se necesitan el mando Nunchuck, el Arduino y uno de los módulos Wi-Fi, puesto que el Arduino es capaz de alimentar ambos componentes, no haría falta una fuente de alimentación externa

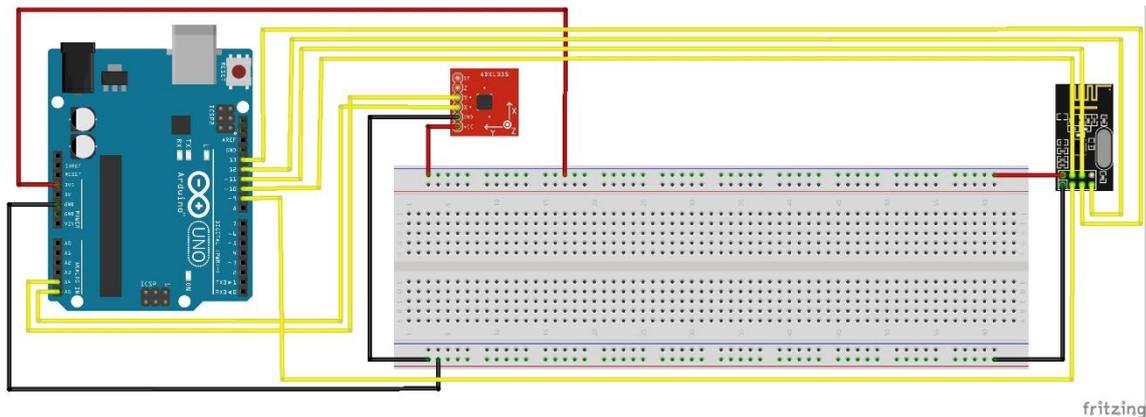


FIGURA 5.1. ESQUEMA DE CONEXIONADO ELÉCTRICO. EMISOR. EXTRAÍDO DE FRITZING

EL montaje del Receptor es el correspondiente a los componentes que se encontrarían tanto en el interior del fuselaje de la maqueta como en la cola o el ala, este se compone de otro Arduino, los servomotores, el driver que controla el motor, el propio motor t un modulo Wi-Fi que actúe de receptor. En este caso al haber diferentes servomotores y un motor, elementos que consumen mucha corriente para la que es capaz de proporcionar el Arduino, es necesaria una fuente de alimentación externa, que en caso de vuelo sería una batería LI-PO.

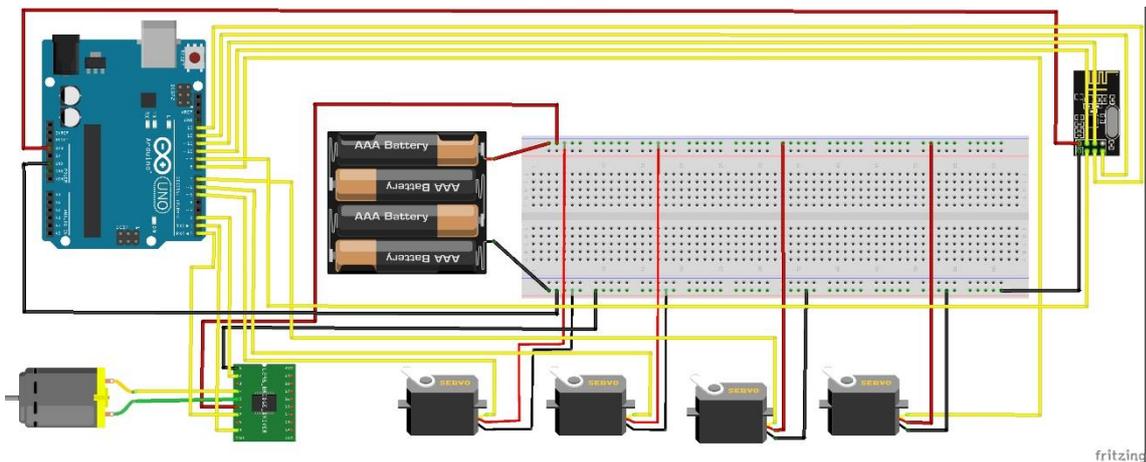


FIGURA 5.2. ESQUEMA DE CONEXIONADO ELÉCTRICO. RECEPTOR. EXTRAÍDO DE FRITZING

5.1.3 Funcionamiento de los diferentes componentes

- Módulos Wi-Fi

Se ha elegido este tipo de conexión inalámbrica por el reducido tamaño del módulo, el ESP8266 es un Sistema Wi-Fi completo que es posible de usar en pequeños aparatos y microcontroladores que no disponen de una red inalámbrica, este módulo puede actuar tanto de receptor como de emisor por lo que es ideal para el manejo con Arduino

- Driver L298N

Este es un módulo que sirve para poder controlar 2 motores de corriente continua, o un motor paso a paso. Controla tanto el sentido como la velocidad de giro con las señales TTL recibidas desde el controlador, en este caso Arduino, El driver tiene la posibilidad de ser alimentado con 5V o 12V, estos voltajes sirven tanto para las señales como para el motor, en caso de utilizar un mayor voltaje para el motor, el puerto de 5V debe estar conectado independientemente al Arduino.

- Mando Nunchuck

Esta pieza es parte del sistema de control de la consola Wii de Nintendo, pero también puede ser utilizada para el control de la maqueta con el Arduino. Está formada por un acelerómetro de tres ejes, un joystick y dos botones.

- Servomotores

Un servomotor es un motor de corriente continua que permite tener una posición fija del eje móvil, este solo puede girar un número limitado de grados. La fijación del eje es posible mediante una serie de engranajes colocados en el interior del servo que actúan como una caja de cambios, al reducir la intensidad de la corriente que recibe el servo, el motor no tiene potencia suficiente para avanzar más de los grados establecidos, el giro se regula variando la intensidad de la corriente.

- Motor de corriente continua

El motor de corriente continua es un aparato que produce el giro de un eje móvil mediante la acción de un campo magnético en su interior, este campo magnético lo produce el paso de la corriente por un solenoide situado entre dos imanes.

5.2 Código de funcionamiento

5.2.1 Código del emisor

```

#include <SPI.h> //Librería para poder trabajar con emisores externos
#include <RF24.h> //Librería para poder trabajar con el módulo wifi
#include <Wiichuck.h> //Incluye librería para poder trabajar con el mando Nunchuck
#include <Wire.h> //Incluye librería para poder trabajar con aparatos I2C / TWI

Wiichuck wii;
int AccX; //Definición de variables que se usarán
int JoyX, JoyY;
int BotC, BotZ;

const int pinCE = 9; //Se define el pin 9, especial para el uso del receptor-emisor wifi
const int pinCSN = 10; //Se define el pin 10, especial para el uso del receptor-emisor wifi
RF24 radio(pinCE, pinCSN); //Comando usado para poder operar con los canales de los pines 9 y 10

const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL; //Se define el canal wifi por el que va a emitir la señal.
//Este canal ha de ser el mismo para el receptor

float data[5]; //Define un vector de floats donde se registrarán los datos a emitir
void setup()
{
  wii.init(); //Inicia la funcionalidad de recepción del mando Wii
  wii.calibrate(); //Calibra el mando Wii
  radio.begin(); //Inicia la funcionalidad de radio wifi
  radio.openWritingPipe(pipe); //Abre el canal de comunicación
}

void loop()
{
  if (wii.poll()) { //Si se reciben datos del mando Wii

    data[0]=wii.joyX(); //Se guarda en la posición 0 del vector el valor del Joystick X
    data[1]=wii.joyY(); //Se guarda en la posición 1 del vector el valor del Joystick Y
    data[2]=wii.accelX(); //Se guarda en la posición 2 del vector el valor del acelerómetro X
    data[3]=wii.buttonC(); //Se guarda en la posición 3 del vector el valor del botón C
    data[4]=wii.buttonZ(); //Se guarda en la posición 4 del vector el valor del botón Z

    radio.write(data, sizeof data); //Envía por el emisor el vector de datos.
    //Es necesario definir tanto el vector como su tamaño
    delay(100); //Retrasa la repetición del bucle 100 ms
  }
}

```

}

5.2.2 CÓDIGO DEL RECEPTOR

```

#include <SPI.h> //Librería para poder trabajar con emisores externos
#include <RF24.h> //Librería para poder trabajar con el módulo wifi
#include <Servo.h> //Librería para poder trabajar con servomotores

const int pinCE = 9; //Se define el pin 9, especial para el uso del receptor-emisor wifi
const int pinCSN = 10; //Se define el pin 10, especial para el uso del receptor-emisor wifi
RF24 radio(pinCE, pinCSN); //Comando usado para poder operar con los canales de los pines 9 y 10
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL; //Se define el canal wifi por el que va a entrar la señal.
//Este canal debe coincidir con el del emisor

float data[5]; //Define un vector de floats donde se guardaran los datos recibidos por wifi

// Se define el nombre de los servos que se van a utilizar
Servo izquierda;
Servo derecha;
Servo vertical;
Servo horizontal;

//Se define las salidas que controlan la potencia del motor
int M31 = 0;
int M32 = 1;
int POT3 = 2;

//Definición de variables que se usaran en el programa
float JoyY, JoyX;
int AccX, BotC, BotZ;

void setup() { //Función en el que se definen los pines de entrada y salida
  radio.begin(); //Inicia la funcionalidad de radio
  Serial.begin(9600); //Inicia la salida de datos por pantalla
  radio.openReadingPipe(1, pipe); //Abre el canal de recepción
  radio.startListening(); //Empieza a tratar de recibir señal
  pinMode (POT3, OUTPUT); // Declara el pin 2 como salida para el valor de potencia del motor
  pinMode (M31, OUTPUT); // Declara el pin 0 como salida para el valor de la dirección del motor
  // (horario)
  pinMode (M32, OUTPUT); // Declara el pin 1 como salida para el valor de la dirección del motor
  // (antihorario)
  izquierda.attach(8); // Declara el pin 8 como salida para el valor de giro del servo izquierdo
  derecha.attach(7); // Declara el pin 7 como salida para el valor de giro del servo derecho
  vertical.attach(6); // Declara el pin 6 como salida para el valor de giro del servo vertical
  horizontal.attach(5); // Declara el pin 5 como salida para el valor de giro del servo horizontal

```

```

}

void loop()                                     //Función de bucle de control de la maqueta
{
  Serial.flush();                               //Limpia los datos remanentes
  if (radio.available())                       //Si detecta una señal de radio con el número de canal correcto,
                                              //inicia el programa
  {

    radio.read(data, sizeof data);            //Recoge el vector de datos según su tamaño
    Serial.print(" JoyX= ");                  //Muestra por pantalla el valor del Joystick-X
    Serial.print(data[0]);
    JoyX = data[0];                           //Guarda el valor de la posición 0 del vector en la variable JoyX
    Serial.print(" JoyY= ");                  //Muestra por pantalla el valor del Joystick-Y
    Serial.print(data[1]);
    JoyY = data[1];                           //Guarda el valor de la posición 1 del vector en la variable JoyY
    Serial.print(" AccX= ");                  //Muestra por pantalla el valor del acelerómetro X (roll)
    Serial.print(data[2]);
    AccX = data[2];                           //Guarda el valor de la posición 2 del vector en la variable AccX
    Serial.print(" BotC= ");                  //Muestra por pantalla el valor del botón C
    Serial.print(data[3]);
    BotC = data[3];                           //Guarda el valor de la posición 3 del vector en la variable BotC
    Serial.print(" BotZ= ");                  //Muestra por pantalla el valor del botón Z
    Serial.print(data[4]);
    BotZ = data[4];                           //Guarda el valor de la posición 4 del vector en la variable BotZ
    Serial.println("");

    izquierda.write(60);                     //Da un valor inicial de 60 grados al servo izquierdo
    derecha.write(60);                        //Da un valor inicial de 60 grados al servo derecho
    horizontal.write(60);                     //Da un valor inicial de 60 grados al servo horizontal
    vertical.write(90);                       //Da un valor inicial de 90 grados al servo vertical

    if (BotZ == 0) {                          //Pone la condición de que el botón Z no ha de estar pulsado
      if (BotC == 1) {                          //En caso de que el botón Z no este pulsado y el botón C sí,
                                              // da potencia al motor
        digitalWrite (M31, HIGH);              //Indica que se enviará la señal a la conexion IN1
                                              //del módulo controlador 2
        digitalWrite (M32, LOW);               //Indica que no se enviará la señal a la conexion IN2
                                              //del módulo controlador 2
        analogWrite (POT3, 255);               //Se indica la potencia de giro del motor
      }
    }
    else {                                      //En caso de que el botón Z no este pulsado y el botón C no,
                                              // quita la potencia del motor
      digitalWrite (M31, LOW);                 //Indica que se enviará la señal a la conexion IN1
                                              //del módulo controlador 2

```

```

digitalWrite (M32, LOW);          //Indica que no se enviará la señal a la conexión IN2
                                   //del módulo controlador 2
analogWrite (POT3, 255);          //Se indica la potencia de giro del motor
                                   //pero al estar ambos sentidos en LOW el motor no girará
}
}
else {
    //Cierra la condición de que el botón Z no esté pulsado
    //Si el botón Z está pulsado, permite el movimiento de los servos,
    //esta condición permite que el botón Z actúe como botón del hombre muerto
    if(BotC ==1){
        //En caso de que el botón Z esté pulsado y el botón C sí,
        // da potencia al motor
        digitalWrite (M31, HIGH);    //Indica que se enviará la señal a la conexión IN1
                                       //del módulo controlador 2
        digitalWrite (M32, LOW);     //Indica que no se enviará la señal a la conexión IN2
                                       //del módulo controlador 2
        analogWrite (POT3, 255);     //Se indica la potencia de giro del motor,
                                       //al ser en vuelo es mas reducida que la inicial
    }
    if(BotC ==0){
        //En caso de que el botón Z esté pulsado y el botón C no,
        // quita la potencia del motor
        digitalWrite (M31, LOW);     //Indica que se enviará la señal a la conexión IN1
                                       //del módulo controlador 2
        digitalWrite (M32, LOW);     //Indica que no se enviará la señal a la conexión IN2
                                       //del módulo controlador 2
        analogWrite (POT3, 255);     //Se indica la potencia de giro del motor
                                       //pero al estar ambos sentidos en LOW el motor no girará
    }
    if(JoyX < 120){
        //Indica el valor máximo de JoyX
        //a partir del cual debe girar el servo a 0 grados
        vertical.write(0);           //nuevo valor del servo vertical
    }
    if(JoyX > 130){
        //Indica el valor mínimo de JoyX
        //a partir del cual debe girar el servo a 180 grados
        vertical.write(180);        //nuevo valor del servo vertical
    }
    if (JoyY < 110){
        //Indica el valor máximo de JoyY
        //a partir del cual debe girar el servo a 180 grados
        horizontal.write(180);      //nuevo valor del servo horizontal
    }
    if (JoyY > 130){
        //Indica el valor máximo de JoyY
        //a partir del cual debe girar el servo a 0 grados
        horizontal.write(0);        //nuevo valor del servo horizontal
    }
    if (AccX < 420){
        //Si el giro del acelerómetro es hacia la izquierda,
        //los servos de las alas deben girar en sentidos opuestos
        if (AccX < 350){
            //Si el giro es muy pronunciado,

```

```

//los servos girarán a la posición máxima
izquierda.write(0); //nuevo valor del servo izquierdo
derecha.write(180); //nuevo valor del servo derecho
}
else{ //En caso que no lo sea, girarán la mitad para hacer un giro menos agresivo
  izquierda.write(30); //nuevo valor del servo izquierdo
  derecha.write(120); //nuevo valor del servo derecho
}
}
if (AccX > 560){ //Si el giro del acelerómetro es hacia la izquierda,
//los servos de las alas deben girar en sentidos opuestos
  if (AccX > 630){ //Si el giro es muy pronunciado,
//los servos girarán a la posición máxima
    izquierda.write(180); //nuevo valor del servo izquierdo
    derecha.write(0); //nuevo valor del servo derecho
  }
  else{ //En caso que no lo sea, girarán la mitad para hacer un giro menos agresivo
    izquierda.write(120); //nuevo valor del servo izquierdo
    derecha.write(30); //nuevo valor del servo derecho
  } //Cierra los bucles abiertos previamente
}
}
}
delay (100); // Retrasa la repetición del bucle durante 100ms
} //Cierra el bucle de repetición, a partir de aquí se vuelve a repetir de manera constante
//hasta que el Arduino pierde la corriente

```

6. Fabricación

El proceso de fabricación se puede separar en diferentes partes, la de selección de materiales, la de corte de dichos materiales o la de ensamblaje.

Para la fabricación de la maqueta se utilizará una impresora 3D y una máquina de corte con alambre caliente

Para el corte con alambre caliente se utilizará una máquina programable de corte cónico, lo que permite fabricar tanto la cola como el ala en secciones separadas, para ello solo son necesarias las cotas y el perfil en un archivo dxf. El corte se ha realizado en el taller de la ETSID.

Una vez cortadas las diferentes piezas del ala se cortarán de manera manual la parte de los controladores, el hueco para el enganche de los servos y la plancha de madera de balsa en el ala principal, en la cola se tendrá que cortar también el hueco para poder unir las piezas vertical y horizontal. Para unir las piezas del ala se debe utilizar una cola adhesiva no corrosiva, que tampoco ha de ser caliente debido a la poca resistencia térmica del porexpan.

La madera de balsa se cortará una pieza de 10 mm de ancho de un listón al ser una madera muy blanda, se puede cortar fácilmente, una vez cortada la pieza, se ha realizará una incisión en el perfil del ala también con alambre caliente, para poder insertar la pieza de madera de balsa y pegarla.

Hecho esto se han de realizar los huecos para colocar las sujeciones de los servos, para el ensamblaje se ha de colocar la cola en la sujeción de la cola y fijarla con adherente, lo mismo con el ala. Finalmente, ha de pasar el tubo que une la cola el ala y el fuselaje por los huecos de las sujeciones y atornillarlas en la posición calculada previamente.

7. Modelos similares en el mercado

Puesto que este trabajo ha consistido en el diseño de un aeroplano radiocontrol, se ha hecho una búsqueda de productos en el mercado del aeromodelismo similares al diseñado aquí. Para de esta forma poder comparar precios y características de estos.

Estos son los modelos más similares que se han encontrado:

AVION ELECTRICO SOLIUS RR MULTIPLEX



- Envergadura: 2100mm
- Longitud: 1100mm
- Peso: 1450g
- Canales: 4

PRECIO: 305,00€

FIGURA 7.1. AVION ELECTRICO SOLIUS RR. Extraído de todohobby.net

AVION HERON RR MULTIPLEX



- Envergadura: 2400mm
- Longitud: 1100mm
- Peso en vuelo para ladera: 1300g
- Peso en vuelo versión eléctrica: 1500g
- Funciones: 5
- Funciones RC: Profundidad, timón, alerones, Flaps y motor

PRECIO: 375,00€

FIGURA 7.2. AVION ELECTRICO HERON RR. Extraído de todohobby.net

Sky Surfer 1400mm EPO PNP red V2



- Envergadura 1400 mm
- Peso del vuelo: ca. 625 g
- Material: EPO
- Longitud: 925 mm

PRECIO: 149,90€

FIGURA 7.3. AVION ELECTRICO SKY SURFER. Extraído de hobbyplay.net

Para esta comparación se ha tenido en cuenta principalmente la disposición de los elementos y la forma básica del diseño, al no incluir ninguno de los aeroplanos disponibles en el mercado, ni batería ni mandos con los que controlarlos, el diseñado en este proyecto es considerablemente más económico en cuanto a materiales.

También hay que tener en cuenta que en este trabajo se han utilizado como conectores radiocontrol unos módulos Wi-Fi que tienen muy corto alcance para un aeroplano, por eso en caso de vuelo real habría que utilizar un emisor-receptor de señal mucho más potente.

8. PRESUPUESTO

En este apartado se ha desglosado la relación de costes en la realización de este proyecto. Se han separado los gastos según su finalidad, los gastos de los materiales de la fabricación de la maqueta, los gastos de diseño y los gastos en maquinaria.

A continuación, se enumeran los conceptos del presupuesto separados según su finalidad:

- Gastos de diseño
 - Estudiante de ingeniería
 - Licencia Autodesk Inventor
 - Licencia Matlab Student
 - Licencia Arduino
 - Licencia Ultimate Cura
 - Licencia Microsoft Office

- Gastos de maquinaria
 - Impresora 3D
 - Termocortadora CNC
 - Impresión en reprografía

- Gastos de producción
 - Porexpan
 - Madera balsa
 - Filamento impresión 3D
 - Tubo de madera
 - Tornillería
 - Arduino Uno
 - Protoboard
 - Servomotores
 - NFR24L01
 - L298N
 - Motor
 - Propulsor
 - Cables

El tiempo que se ha considerado para el desarrollo de este proyecto ha sido de 12 ECTS, el equivalente de 1ECTS son 25 horas, por lo tanto, el tiempo empleado en el desarrollo del proyecto ha sido de 300 horas, para utilizar este dato se han obtenido el coste unitario por horas de las licencias, ya que son conceptos que se adquieren anualmente.

También se ha considerado que un año laboral cuenta con 1760 horas. Usando la fórmula 8.1, se obtienen los diferentes costes unitarios en la tabla 8

$$\text{Coste unitario} = \frac{\text{Coste anual}}{\text{Horas anuales}}$$

(8.1)

Coste unitario de las licencias

Concepto	Coste anual	Coste unitario
Licencia Autodesk Inventor	2.613,60€	1,485€
Licencia Arduino	GRATUITO	GRATUITO
Licencia Ultimate Cura	GRATUITO	GRATUITO
Licencia Microsoft Office	69€	0,039€
Licencia Matlab Student	42,35€	0,024€

TABLA 7. COSTE UNITARIO

Coste total de los gastos de diseño

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Importe
Licencia Autodesk Inventor	1,485€	300	445,5€
Licencia Arduino	GRATUITO	300	0€
Licencia Ultimate Cura	GRATUITO	300	0€
Licencia Microsoft Office	0,039€	300	11,7€
Créditos proyecto	19,19€	12	230,28€
Licencia Matlab Student	0,024€	300	7,2€

TABLA 8. COSTE DE DISEÑO

Subtotal: 694,68€

Coste total de los gastos de maquinaria

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Importe
Impresora 3D	150€	1	150€
Termocortadora CNC	3.300€	1	3.300€
Impresión reprografía	20€	1	20€

TABLA 9. COSTE MAQUINARIA

Subtotal: 3470€

Coste total de los gastos en materiales de fabricación

Componente	Precio	Cantidad	Coste final
Porexpan	2,61 €/pieza	4	10,44€
Madera balsa	1,49€/plancha	1	1,49€
Filamento impresión 3D	33,08€/kilo	400g	13,25€
Tubo de madera	3,39€/pieza	1	3,39€
Tornillería	1,59€/paquete	1	1,59€
Arduino Uno	7,19€	2	14,38€
Protoboard	1,80€	2	3,60€
Servomotores	2,54€	4	10,16€
NFR24L01	3,25€	2	6,50€
L298N	2,95€	1	2,95€
Motor	16,50€	1	16,50€
Propulsor	7,50€	1	7,50€
Cables	0,07	38	2,66€

TABLA 10. COSTE DE FABRICACIÓN

Subtotal: 93,81€

Resumen del total de los costes

Concepto	Presupuesto
Costes de diseño	696,68€
Costes de maquinaria	3470€
Costes de fabricación	93,81€

TABLA 11. COSTE TOTAL

Subtotal: 4258,49€**IVA 21% 894,28€****Coste total de proyecto: 5152,77€**

Finalmente, el coste total del proyecto asciende a:

CINCO MIL CIENTO CINCUENTA Y DOS EUROS CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS

Bibliografía

- [ref. 1] <https://naylorlampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html>
- [ref. 2] <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt476.pdf>
- [ref. 3] http://www.ecobalsa.com/descargar/FICHA_TECNICA_DE_LA_MADERA_BALSA.pdf
- [ref. 4] <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=e520-il>
- [ref. 5] <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=clarky-il>
- [ref. 6] <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca2424-il>
- [ref. 7] <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca2412-il>
- [ref. 8] <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=n6409-il>
- [ref. 9] <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=e222-il>
- [ref. 10] https://hobbyking.com/es_es/turnigy-nano-tech-6000mah-4s-25-50c-lipo-pack-xt-90.html
- [ref. 11] <http://www.hobbyplay.net/electricos2/sky-surfer-1400mm-epo-pnp-red-v2>
- [ref. 12] <http://www.todohobby.net/es/aviones-electricos/31630-avion-el-heron-rr-multiplex.html>
- [ref. 13] <http://www.todohobby.net/es/aviones-electricos/42291-avion-el-solius-multiplex.html>
- [ref. 14] European Aviation Safety Agency. (2015, July 15). *CS-23 / Amendment 4*.
<https://www.easa.europa.eu/document-library/certification-specifications/cs-23-amendment-4>
- [ref. 15] Hall, N. (2015, May 05). *Shape effect on drag*.
- [ref. 16] <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/shaped.html>
- [ref. 17] M. Nita, D. S. (2012). *Estimating the Oswald Factor from Basic Aircraft Geometrical Parameters*. Hamburg, Germany: Hamburg University of Applied Sciences.