

DOVETHOPTER

Trabajo realizado por:

Sergio León Doncel

Álvaro García Lora

Ángel Márquez Rodríguez

Pedro Tomás Martínez Flores

Pablo Ruíz Valero

Miguel Ángel Díaz Montero

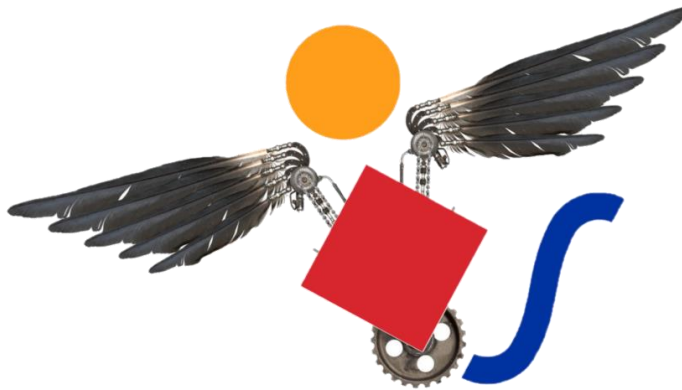
Gonzalo Triano Garrote

José Ignacio López Flores

Asignatura:

Proyectos Integrados

3º GIERM



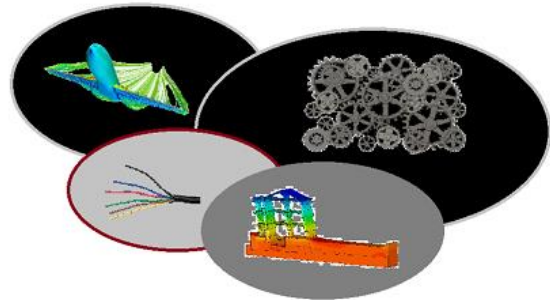
Contenido

Introducción	2
Subsistemas	2
Alas	2
Funcionamiento general de las alas	2
Desarrollo de las alas	3
Conclusión y estado actual	6
Desarrollo de la Cola	7
Planteamiento diseño de cola	7
Especificaciones y prestaciones de cola	7
Cálculos y dimensionamiento	8
Materiales empleados	10
Imágenes cola finalizada	11
Transmisión	11
Engranajes	11
Mecanismo 4 Barras	12
Construcción	13
Electrónica	14
Motor	14
ESC	15
Receptor RF	15
Servomotores	16
INTEGRACIÓN	17
Subsistemas de transmisión y alas	17
Subsistema de electrónica y cola:	17
Subsistemas de electrónica y transmisión:	17
Presupuesto	18
CONCLUSIÓN	20
Anexo I. Referencias	21
Anexo II: Planos	22

Introducción

El objetivo de este documento es el de representar de forma fiel el estado definitivo del proyecto, así como reflejar los objetivos alcanzados y pendientes, y detallar el plan de trabajo y las estrategias de solución a los problemas de ingeniería que supone el desarrollo del ornitóptero.

Se trata de un trabajo que engloba distintos ámbitos: estudio aerodinámico, electrónica de potencia y de control, mecanismos de transmisión, cálculo de resistencia de estructura, y diseño del cuerpo y acople de piezas.



El proyecto se plantea con el objetivo principal de conseguir crear una estructura con movimiento capaz de volar y permitir cierto control sobre éste. No obstante, otro de los enfoques fundamentales es el de adentrarse en este nuevo y poco estudiado mundo de los ornitópteros, aprendiendo de lo ya descubierto por equipos de investigadores, y ser capaces de aportar soluciones propias y mejoras, realizando adaptaciones, de forma que puedan ser de utilidad para futuros estudios dentro de este ámbito.

ESQUEMA DE CAMPOS DE LA INGENIERÍA APLICADOS

Subsistemas

Alas

Funcionamiento general de las alas

Las alas basan su funcionamiento en dos efectos principales.

El primero es el más sencillo y el que hace la mayor contribución a la sustentación. Consiste simplemente en que la superficie del ala se mueve a una cierta velocidad con un cierto ángulo respecto a la horizontal haciendo que el aire que se encuentra a su paso aplique una fuerza hacia arriba. Esto implica que el pájaro requiere de un impulso inicial y que la sustentación dependerá directamente de la velocidad.

El segundo efecto es más complejo. Las alas están compuestas por una superficie con una zona más rígida y otra más flexible, distribuidas de modo que, al aletear, la flexión de las alas se acopla con el propio aleteo provocando un efecto de abanico. Este efecto empuja aire hacia atrás siendo la fuente principal de empuje para el robot.

La combinación de estos dos efectos es lo que mantiene el pájaro en el aire, la sustentación evita que el pájaro caiga y el empuje evita que pierda velocidad y por tanto que pierda sustentación. [1]

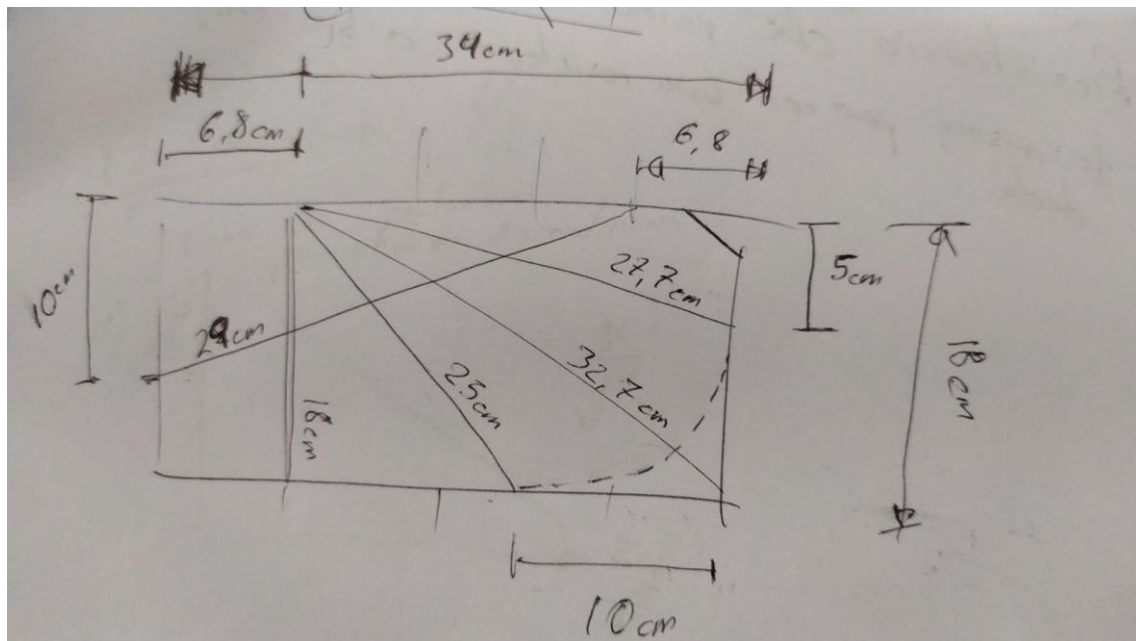
Para conseguir esta distribución de la rigidez tan concreta se usan varillas de distintas secciones.

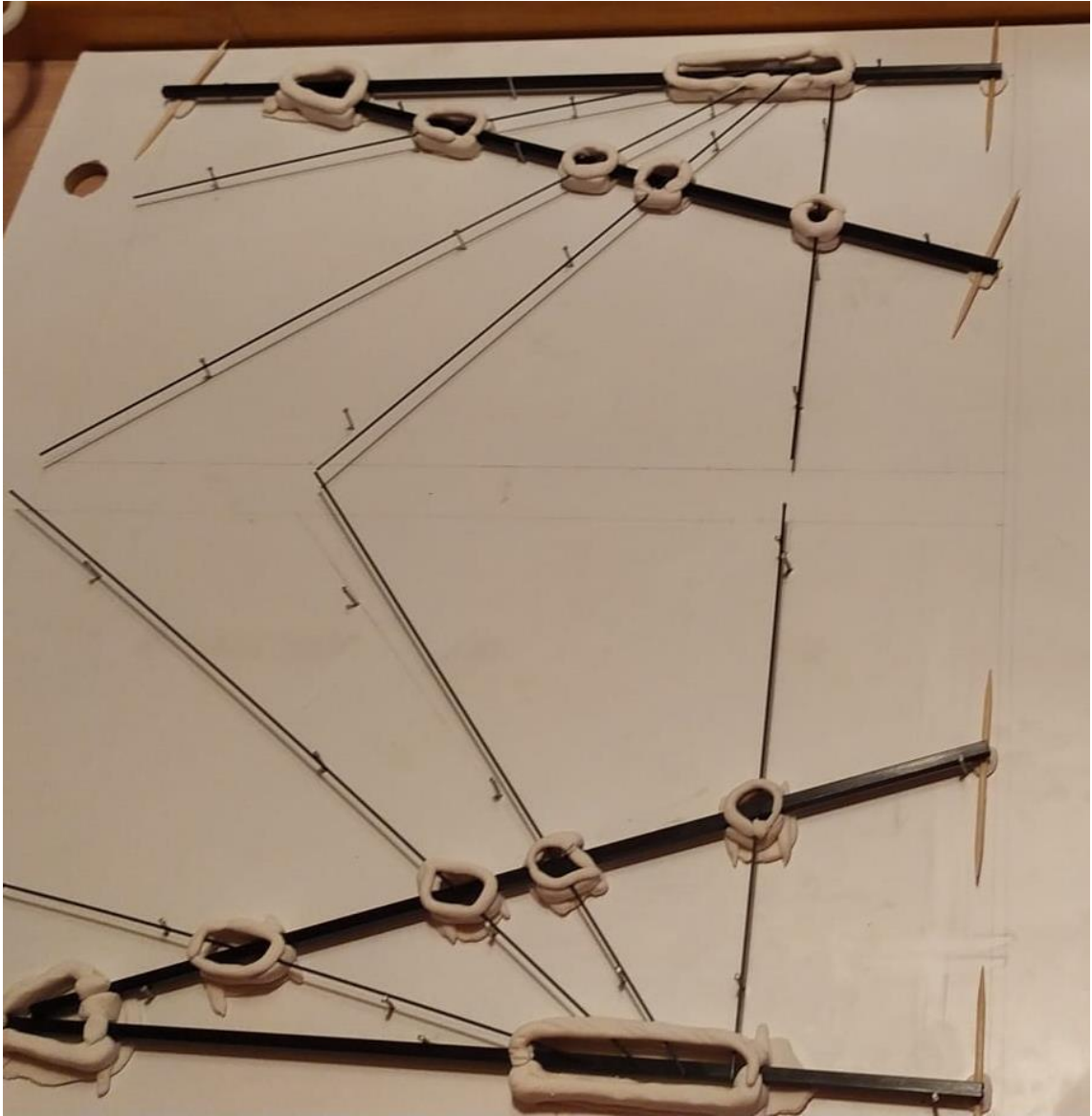
Para resolver las secciones de las barras de fibra de carbono se intentó tirando de conocimientos de cursos anteriores de resistencia de materiales. Esta primera aproximación al problema tuvimos que descartarla debido a que el modelo de resistencia de materiales tenía las hipótesis de pequeños desplazamientos y la de isotropía, válidas para vigas de acero, pero no para nuestras varillas flexibles de material compuesto. Finalmente se tomó una sección para las varillas finas en base a la investigación, vimos que había una relación entre el tamaño del ornitóptero y sus varillas flexibles por lo que determinamos que la sección debía de ser de 1mm de diámetro aproximadamente [2]. A partir de aquí, pudimos obtener una sección para las barras principales dado que sabíamos los pesos de los materiales y el peso total esperado del ala. Esto fue especialmente problemático porque un parámetro de las ecuaciones era la amplitud de la flexión de las varillas y al no tener este dato teníamos que ceñirnos aún más al diseño original para poder aplicar las gráficas experimentales de comportamiento.

La distribución completa de las barras se resolvió a partir del dato de la envergadura y de las imágenes. Comparando la envergadura con el resto de las distancias podíamos hacernos una idea de las medidas reales del pájaro.

Por último, como solución para las uniones se propuso en un primer momento construirlas a partir de plástico reciclado pero debido a la imposibilidad de tener una precisión suficiente se optó por usar resina epoxi. Tras muchas pruebas se optó por este método por encima de otros como la impresión 3D porque, era más barato (teníamos de antes) y porque nos aseguraba que las varillas quedarían como queríamos sin problemas de que no encajasen bien por tolerancias. Para la aplicación de la resina se montó un tablero con soportes para las varillas y se hicieron moldes de plastilina. Una vez seco, se retiró la plastilina y se limó excedentes de material.

Un problema adicional que hemos tenido es que el material del que se compone la superficie del diseño de ala original (tela de cometa) no se adquirió porque no conseguimos encontrar un proveedor que nos lo proporcionase con un plazo de entrega y un precio razonable. Actualmente disponemos de múltiples alternativas (tanto plásticas como tejidas) listas para ser probadas.





Conclusión y estado actual

Finalmente, la construcción del ala ha quedado robusta, se han encontrado varios materiales para el recubrimiento de los que ya disponemos y que son buenos candidatos para cumplir con su función.

Cabe destacar que finalmente hemos tenido un poco de sobrepeso, de unos 12g en total, debido a un posible sobredimensionamiento de las barras (una de ellas podría ser adelgazada) y también a considerar el peso de las uniones como un peso menor.

Debido a la situación global del proyecto las únicas pruebas que se han podido hacer son de abanicar a mano. Pruebas que, a pesar de haber sido positivas, carecen del rigor necesario para determinar si las alas cumplen o no su función final.

Cabe destacar que la construcción actual del ala se prestaría mucho a realizar ajustes sobre ella, tanto del contorno exterior como adelgazar la barra central y las uniones entre barras.

Desarrollo de la Cola

Planteamiento diseño de cola

Para abordar el desarrollo y diseño de la cola se decidió seguir dentro de los posible el diseño del ornitóptero asociado al artículo de investigadores asiáticos que tomamos como referencia, sin embargo, debido a la falta de información (tanto a nivel construcción como técnica y matemática) que recoge dicho artículo sobre la cola, se ha decidido desarrollar una cola de las propuestas en el artículo específico de colas de ornitópteros [3].

Ha sido escogida la cola tipo V debida sus características ya que consta de dos piezas independientes controladas cada una por uno de los servomotores de forma independiente permitiéndonos un mejor control sobre el movimiento del sistema robótico.

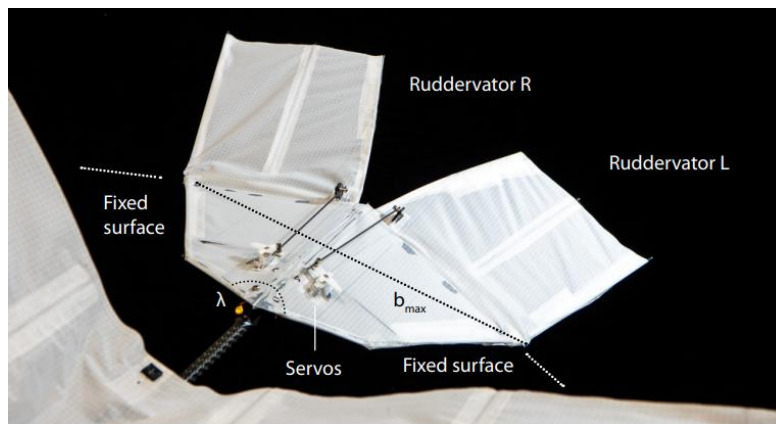


Imagen cola V [3]

Además, a nivel prestaciones, apoyándonos en la comparación entre las tres colas realizada en el artículo [3], se determina que la cola en V permite maniobrar y controlar la trayectoria más de forma efectiva y a nivel construcción y diseño es una opción más viable que cualquiera de las otras ya que involucran acoplamiento entre servomotores y estructuras relativamente complejas de unión entre ellos.

Especificaciones y prestaciones de cola

La cola en V consta de una parte fija y dos 'timones' móviles conectado a con los servomotores. El diseño es en forma de V inversa para permitir el giro con un cierto ángulo de cada timón para permitirnos giros en distintos ángulos de navegación (pitch, yaw, roll).

Para conseguir la funcionalidad deseada en el sistema de cola se determina la necesidad de conseguir ángulos negativos y positivos de los timones móviles los cuales permitirán que nuestro sistema modifique su dirección de movimiento, así como ascender y descender para controlar la altura de vuelo.

Estas variaciones en los ángulos se consiguen mediante un sistema 4 barras controlado mediante un servomotor y varillas de fibra de carbono de 1mm unidos al brazo del servomotor con adaptadores específicos para permitir la rotación.

Se determina que, con las dimensiones de nuestro sistema y restricciones en el rango de los servomotores gobernados por el sistema de control radio, se podría conseguir un ángulo negativo aproximadamente de 35° y ángulo positivo de 20°.

Con la finalidad de aumentar la estabilidad del sistema se añade un estabilizador vertical sobre la parte fija permitiendo movimientos y cambios de dirección más estables.

Como restricción clave para el desarrollo de la cola nos centraremos en el peso ya que este no debe superar los 40 gramos y así cumplir con la restricción de peso del ornitóptero una vez integrados todos los subsistemas

Cálculos y dimensionamiento

Para los cálculos y dimensionamiento de la cola se usa la base planteada en el artículo referente a las colas [1] que nos permite calcular de forma aproximada y tener una orientación sobre la envergadura de la cola (para el resto de las colas se emplea el término envergadura o 'tail span' pero para el caso de cola V se emplea la envergadura máxima que difiere de la anteriormente mencionada y se detallará más tarde).

Para este cálculo, comienza basándose en el equilibrado de momentos en el eje y:

$$M_{Y_w} + L_w \cos \alpha x_w - L_t \cos \alpha x_t = 0$$

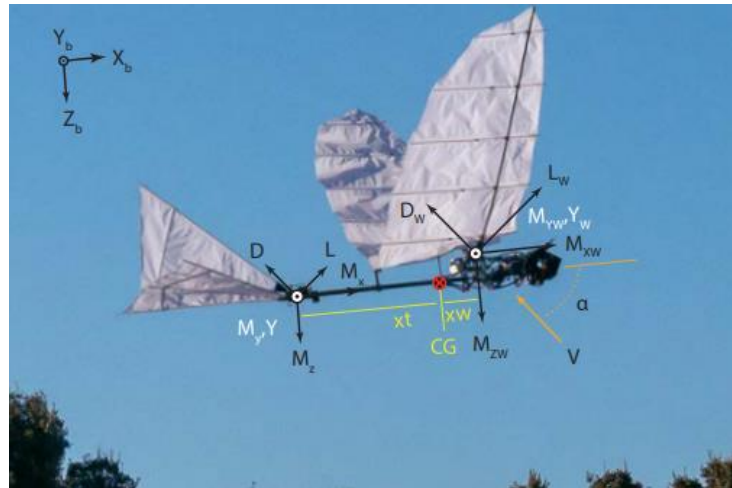


Imagen ornitóptero junto a momentos y fuerzas [3]

Mediante simplificaciones sucesivas se llegan a una serie de ecuaciones las cuales nos permitirán despejar el área total de la cola y envergadura haciendo uso de coeficientes aerodinámicos de cola y alas, así como distancias de cada subsistema al centro de gravedad del ornitóptero:

$$c_{L_w} \frac{x_w}{c} - c_{L_t} \frac{x_t S_t}{cS} = 0, \quad c_{L_w} + c_{L_t} \frac{S_t}{S} = \frac{mg}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (1)$$

$$\mu = 2\pi \frac{AR}{AR+2} \alpha_{trim} + \frac{\pi}{2} \alpha_{trim} \frac{b_t^2}{S}, \quad (2)$$

$$4 \frac{AR}{AR+2} \frac{x_w}{c} - \frac{b_t^2}{S} \frac{x_t}{c} = 0 \quad (3)$$

Donde α_{trim} es el ángulo de ataque y μ es definido como parámetro adimensional de masa: $\mu = \frac{mg}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$

El resto de los parámetros quedan definidos mediante su expresión como:

Coefficientes aerodinámicos de ala y cola

$$c_{kw} = 2\pi\alpha \frac{AR}{AR+2} \text{ and } c_{Lt} = \frac{\pi}{2}\alpha AR_t$$

Ratios de aspecto de ala y cola

$$AR = \frac{b^2}{S} \quad AR_t = \frac{b_t^2}{S_t}$$

Dado que es complejo determinar a priori todos los parámetros para obtener un modelo exacto y que se aproxime a la realidad, se ha obtenido la expresión que depende de los parámetros externos (según tipo de ala, distribución de peso...) para los ajustes necesarios.

Se implementa el código para dimensionamiento en EES:

```
xw=0,1      "distancia de alas al centro de gravedad [m]"
S=(0,1224)   "superficie de alas [m^2]"
AR=(0,68^2)/(S) "Ratio de aspecto de alas"

m=0,3      "masa total del sistema [Kg]"
alfa=25*(pi/180) "ángulo de ataque [rad]"
ro=1,225   "densidad aire [Kg/m^3]"
V=4        "velocidad relativa del aire [m/s]"

mu = (m*9,8)/(0,5*ro*S*V^2)      "expresion mu"
mu = (alfa^2*pi*AR/(AR+2)) + (pi*alfa*(bt^2))/(2*S)
(4*(AR)/(AR+2))*(xw)-(((bt^2)*xt)/(S))=0

bmax=sqrt(1,08*Stail)      "envergadura máxima de cola en V invertida"
Stail=(sqrt(((bt)^2-((bt/2)^2))*bt)/2 "superficie total de cola bajo suposición de triángulo equilátero"

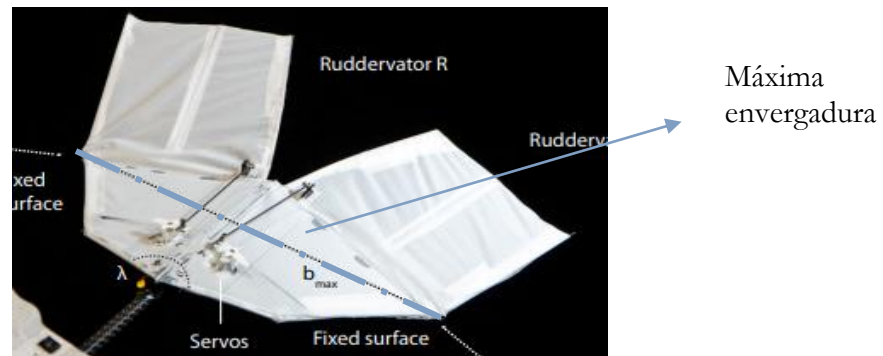
Smovil=Stail*(61,67/100)   "Superficie asociada al porcentaje de la superficie total destinada a aletas móviles"
Sfija=Stail*(38,33/100)    "Superficie asociada al porcentaje de la superficie total destinada a parte fija"
```

Código EES para
dimensionamiento de cola

El valor de distancia de las alas al centro de masa es una estimación que se aproximará teniendo en cuenta que las alas se ubicarán cerca de la transmisión, batería y módulo RF. Dicha distancia se denomina xw y se aproxima como 10 cm.

El ángulo de ataque influye también en el diseño por lo que se ha escogido un valor de 25°. Cabe destacar que una velocidad excesiva (superior a 5 m/s o buscar un ángulo de ataque excesivo podría dificultar el diseño y en casos de valores extremos de viento o ángulo de ataque, imposibilitaría el correcto desarrollo del sistema de cola.

En un caso más realista en el que buscásemos un ascenso real por ejemplo con ángulo de ataque del ángulo escogido y una velocidad media supuesta para el cálculo, obtenemos un valor de Stt de unos 500cm cuadrados. Aunque obtenemos el parámetro de ‘envergadura’ de cola, nos interesa la envergadura máxima con una relación de 1.08 para conseguir movimientos suaves y estables. El valor máximo de dicha envergadura (b_{max}) sería de unos 23cm en total siendo la mayor longitud de la parte fija.



Envergadura máxima [3]

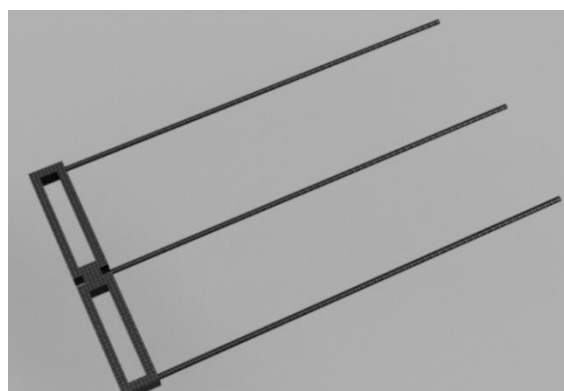
Para la partición entre parte fija y móvil se seguirá el criterio del ejemplo del artículo [3] escogiendo la misma proporción para sistema fijo y móvil, es decir, de los aproximadamente 500cm cuadrados que conforman la cola, el 61,67% (Unos 314cm cuadrados) irán para la parte móvil mientras que un 38,33% (Unos 195 cm cuadrados) irán a la parte fija que se dividirá en las dos piezas colocadas en ángulo formando la ‘V inversa’ por lo que cada parte tendrá un área aproximada de 98 cm cuadrados.

Los valores estimados son la superficie, pero el nylon anti-desgarro que se empleará para la fabricación de la cola debe ir sobre una base o estructura más rígida y con el menor peso y cantidad de material posible.

Materiales empleados

Para el desarrollo del sistema se ha optado por el uso de policarbonato para el desarrollo de la estructura tanto fija como móvil. Este material nos aporta la rigidez y resistencia necesaria para la estructura y tanto un peso como coste reducido lo que lo ha convertido en una opción viable para ser empleado en la fabricación de la cola.

Por último, la parte móvil se conforma de una unión de policarbonato para dar rigidez en el punto de unión de bisagra entre parte fija y móvil junto a 3 varillas de 1mm de diámetro sobre la cual se instalará la tela de anti-desgarro. De este diseño se plantea el modelo 3D aproximado de la pieza a desarrollar con orificios para las varillas:

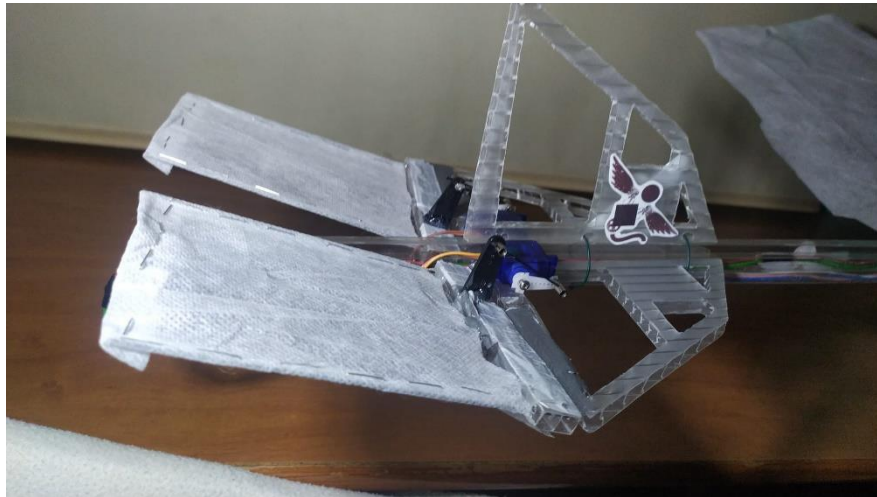


El área de la tela en cada parte móvil será de 157 cm cuadrados y para conseguir esta área las varillas deben ser de 14cm (de los cuales 6mm estarán dentro del soporte diseñado y 13,4cm sobresaldrán formando el soporte para la tela).

Para realizar la unión entre las partes móviles y fijas se empleará cinta americana a modo de bisagra.

Imágenes cola finalizada

Se adjunta la imagen del sistema finalizado donde se aprecia el sistema 4 barras para controlar el ángulo de la parte móvil de cola.



Transmisión

Una de las partes más importantes del proyecto es la transmisión, pues es la que permite que el DoveThopter pueda mover las alas y realice el vuelo.

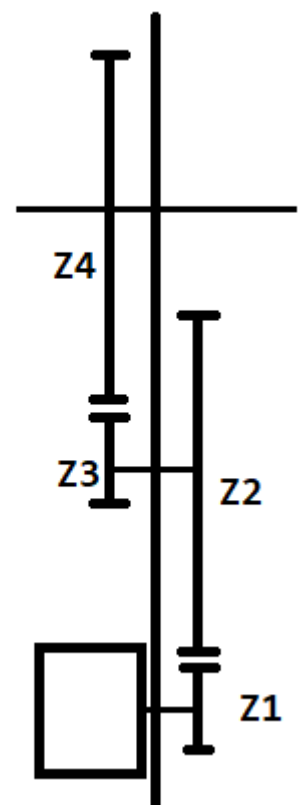
Esto es indispensable, pues permite desplazar el volumen de aire suficiente como para crear una fuerza de sustentación que venza el efecto de la gravedad. Por esto mismo, es muy importante tener controlado el peso de todo el conjunto, para que funcione correctamente.

Engranajes

Para que las alas funcionen correctamente, se necesita una frecuencia de aleteo de 10HZ [Ref. Chinos] Esto se corresponde con unos 600RPM. Conociendo esta velocidad, y las velocidades que podemos alcanzar con el motor, es posible diseñar una cadena de engranajes que ajuste las velocidades del motor a las requeridas por las alas. En este caso, el motor girará a 16100RPM (2300kv*7V), dejando claro que se necesita una reducción de:

$$\frac{16100 \text{ RPM}}{600 \text{ RPM}} = 26.83 \approx 26$$

Por otro lado, podemos calcular el par que genera el motor con la potencia y las velocidades de giro.



CADENA DE ENGRANAJES

$$\tau = \frac{P}{\omega} = \frac{V \cdot I}{\omega[RPM] \cdot \pi/30} \approx 0.05Nm$$

$$\tau_{ala} = \tau \cdot 26 \approx 1.36 Nm$$

Par suficiente para mover las alas [1].

Una vez decidido la reducción del mecanismo, se diseñan los engranajes para obtenerlo.

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{15 \cdot 77}{15 \cdot 77} = 26.36$$

En este caso se ha decidido que solo haya 2 tipos de engranajes (de 15 y 77 dientes) para facilitar el diseño y el montaje de la transmisión.

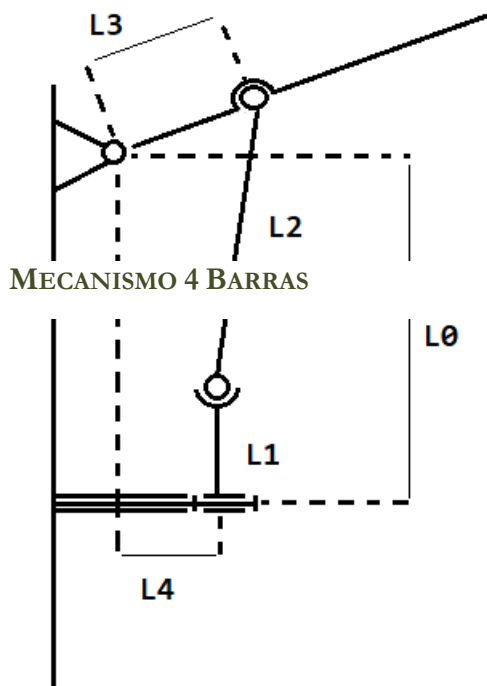
Crear una inclinación en los dientes de los engranajes proporciona, además de menor ruido en el funcionamiento, mejoras en el desgaste y la fricción, reduciendo el calor generado y la transmisión de fuerzas.

Por otro lado, el diseño de los engranajes se ha llevado a cabo con unos dientes demasiado pequeños, lo que impide la correcta transmisión de fuerzas. Al aumentar la velocidad de estos, es posible que no engranen correctamente, provocando que el sistema deje de funcionar.

Mecanismo 4 Barras

Sabiendo a qué se obtiene la velocidad y fuerzas requeridas en las alas, es necesario transmitir este movimiento de rotación en un vaivén. Para esto se diseña un mecanismo de 4 barras.

El eslabón final, el ala, debe de tener una amplitud de movimiento de entre -20° y 40° con respecto a la horizontal [Ref. Chinos] Para eso, se diseña un mecanismo que permita esta holgura.



Finalmente, se obtiene los siguientes valores de barras:

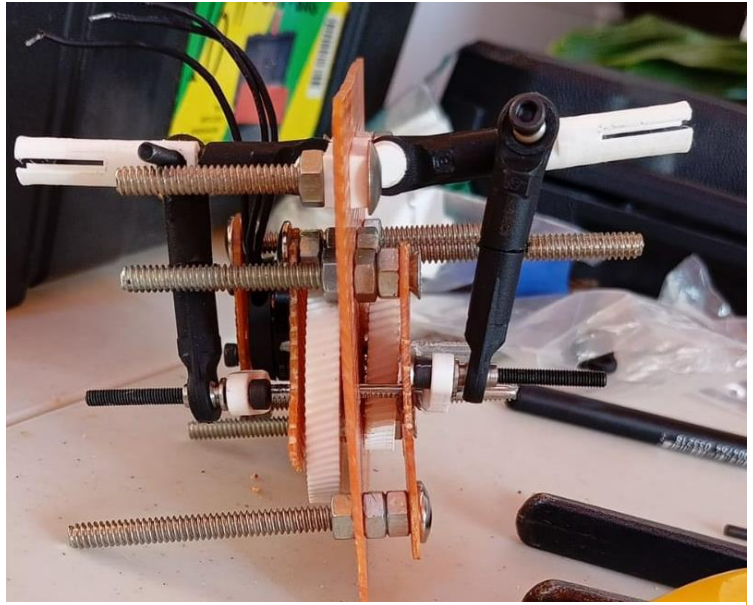
<i>Símbolo</i>	<i>Valor (mm)</i>
<i>L0</i>	37
<i>L1</i>	10
<i>L2</i>	40
<i>L3</i>	20
<i>L4</i>	18

Construcción

Para la creación de los engranajes se ha decidido imprimirlos en 3D, proporcionándonos una forma fácil y barata de obtener los engranajes que necesitamos exactamente. Una desventaja de estos es que, al ser de plástico (PLA), podría no soportar correctamente el calor producido por el rozamiento de los dientes. Por eso, se decide imprimir de más, para tener repuestos de las piezas.

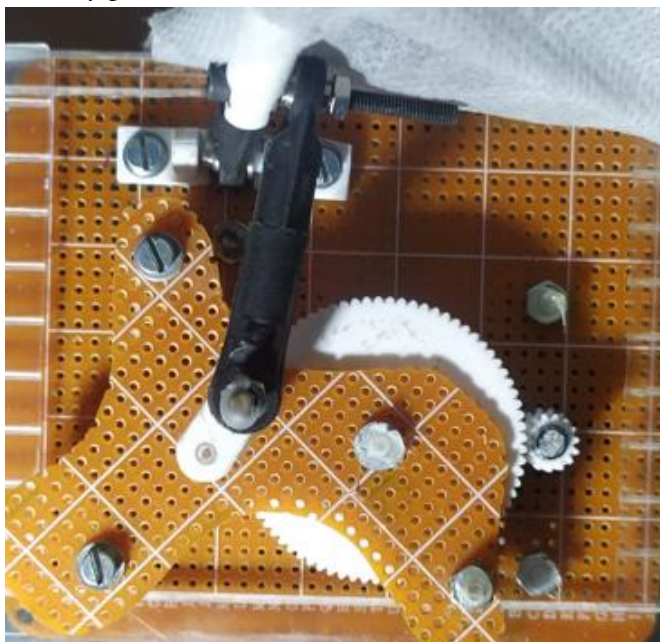
Para los ejes de los engranajes se ha usado eslabones de plástico resistentes. El cuerpo de la transmisión está hecho de baquelita perforada [Ref. Chinos] perforada (PCB). El motivo de la elección de baquelita perforada es su fácil acceso y su bajo coste, además de su buena relación densidad-resistencia.

Las uniones de las barras del 4 barras se han usado una serie de rótulas esféricas necesarias para el correcto movimiento del sistema completo. Estas rótulas han tenido que ser recortadas para ajustarse a la longitud necesaria establecida anteriormente. Por otro lado, se han aprovechado estas mismas rótulas para crear el eje de giro del ala sobre la placa central.

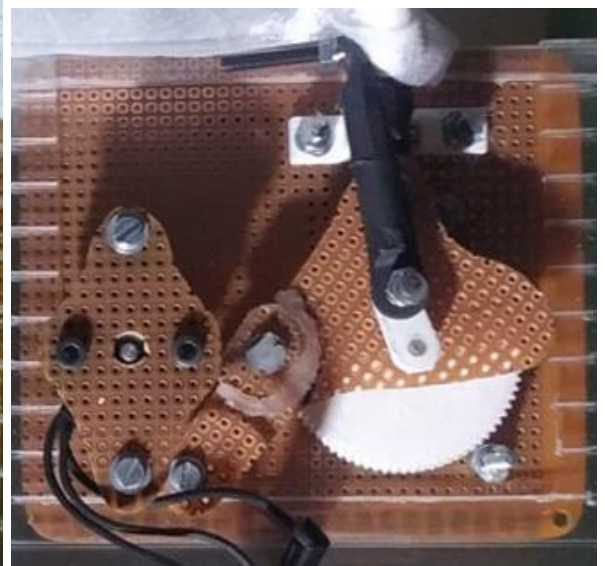


PRIMER MODELO DE TRANSMISIÓN

Finalmente, la sujeción del ala a la transmisión se realiza gracias a una pieza diseñada e impresa en 3D, que permite unir la rótula anteriormente mencionada con el 4 barras y dejando un hueco para que el ala encaje en un lado. Al principio, se usaron varios tornillos de gran tamaño y peso para la unión de los distintos niveles de la transmisión. Con las distintas iteraciones, el diseño en general y los tornillos han ido mejorando, disminuyendo su tamaño y peso, además de refinando la forma final de la transmisión en general.



LATERAL TRANSMISIÓN: SIN MOTOR



LATERAL TRANSMISIÓN: MOTOR



**FRONTAL DE LA TRANSMISIÓN:
MECANISMO DE 4 BARRAS**

Electrónica

La parte electrónica sirve para el funcionamiento general del DoveThopter. Desde que recibe la señal vía Radio hasta el movimiento de los servos de la cola.

Motor

Se ha decidido utilizar un motor Brushless de 2300Kv de la marca ReadyTosky, donde los 2300Kv implican 2300RPM por cada voltio de alimentación al motor.

Al ser un motor sin escobillas, es necesario el uso de un ESC o variador de velocidades, que permite controlar la velocidad y dirección de giro del motor. Este variador funciona con el mismo protocolo de señales que un Servo motor, con lo cual, es fácil de implementar ya que el receptor de radiofrecuencias permite el fácil control de estos a distancia.



MOTOR BRUSHLESS [4]

ESC

El variador seleccionado es un RUIZHI Bidireccional de 20^a, intensidad suficiente como para proporcionar la potencia necesaria para que el motor gire.



VARIADOR ESC [5]

Al ESC se le conecta la batería de 3 celdas de 3.7V y 600mAh, proporcionando una tensión de 11.1V. Por otro lado, se conecta a las 3 entradas del motor para su movimiento. Finalmente, Se controla gracias a un cable de control. Este cable va acompañado de una salida de 5 V que sirve para alimentar el receptor RC, extrayendo la energía directa de la batería.

El hecho de que el ESC pueda ser controlado por el receptor nos ahorra necesitar un

microcontrolador a bordo del DoveThopter para el control de la velocidad de giro de este.

Receptor RF

Con el fin de enviar información al DoveThopter y guiarlo en una dirección deseada es necesario un dispositivo receptor de ondas RF capaz de recoger las señales emitidas por un control remoto, y posteriormente enviarlas a los servos que correspondan.

Para ello se ha realizado una búsqueda de distintos receptores compatible con el mando de control a utilizar (T16SZ) y que cumpliesen con las siguientes especificaciones: 3 o más canales, protocolo compatible con la emisora FUTABA , liviano en peso y económico. El tamaño reducido del componente nos permite la fácil integración en el cuerpo del robot

El receptor escogido es el Jumper SF410 4CH 2.4 Ghz.



El receptor tiene las siguientes características técnicas:

Características de hardware:

- 4 canales de PWM en modo normal. El 4º canal puede funcionar como SBUS en el modo especial, los 3 restantes siguen siendo PWM.

Características de conmutación:

- Retardo de la señal de entre 13.6 ms y 20.4 ms, dependiendo del modo que se utilice.
- Distancia efectiva: >1.8 km

Características eléctricas:

- Tensión de trabajo: [3.6 ~ 7.6] V
- Corriente de trabajo: [45 ~ 60] mA

Características físicas:

- Peso: 6.8 g

Servomotores

Para la variación en los ángulos de la cola se desarrolló un mecanismo 4 barras conectado a las fijaciones en la parte móvil de cola y unido con una varilla de 1mm de fibra de carbono al brazo del servomotor.

Los servomotores empleados son modelo SG90 con un peso de 9 gramos y rango de barrido de 90° al ser conectados y controlados a los puertos PWM mediante el receptor RF.



INTEGRACIÓN

Subsistemas de transmisión y alas:

Ambos subsistemas se han hecho trabajar conjuntamente de manera que la transmisión transmite y entrega el suficiente par al conjunto de las dos alas para la ejecución de la batida.

Las etapas de engranajes transmiten el movimiento de rotación de los engranajes a un mecanismo de biela manivela, diseñado de tal forma que convierte la rotación en un movimiento alternativo en torno al anclaje de las alas con el cuerpo del ornitóptero. Siendo la velocidad de giro de los engranajes constante, la frecuencia de batida de las alas lo es también, directamente proporcional.

Subsistema de electrónica y cola:

El control de la posición de la cola se ejerce a través de dos servos, cada uno dirigiendo la inclinación de cada cola. Por parte del subsistema de electrónica se genera una señal PWM, cuyos valores corresponden de forma directa con los valores de la posición angular del servo.

La correspondencia entre la posición angular del servo y la inclinación de las alas se ha implementado a través de un mecanismo de 4 barras, en el cual la barra de entrada es el propio aspa del servo, que, con un rango de $[+45^\circ, -45^\circ]$ y a través de una barra intermedia de transmisión, mueve la barra de salida, unida de forma directa al ala.

Subsistemas de electrónica y transmisión:

El conjunto de las etapas es movido por un motor, cuyo eje se mueve a velocidad angular constante para que la batida de alas tenga frecuencia de igual carácter, constante. Esto se ha conseguido alimentando el motor a voltaje fijo desde el bloque de alimentación de las baterías LiPo.

Presupuesto

El presupuesto fijado para el proyecto fue de 80 €; sin embargo, nos hemos excedido en el presupuesto final, ya que se hicieron compras para tener material extra en caso de emergencia. Además, los componentes electrónicos han resultado especialmente caros.

A continuación, se mostrará mediante una tabla el presupuesto planteado inicialmente por cada material:

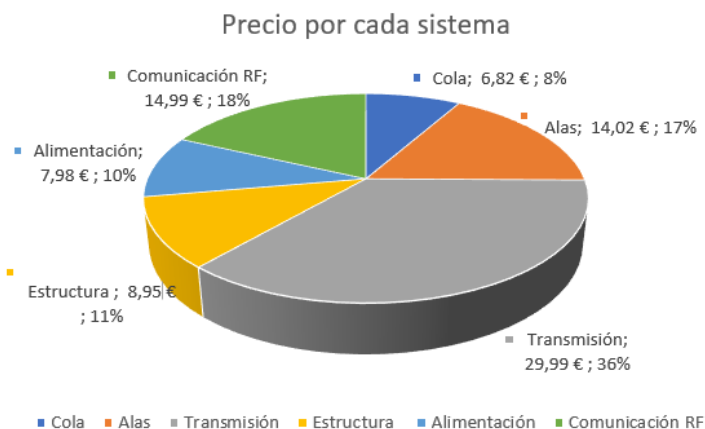
Material	Cantidad	Coste [euros/ud. o euros/metro]
Servomotores SG90	2	2,10
Receptor RF	1	14,99
Motor Brushless ReadyToSky M2204 2300KV	1	8,00
Fibra Nylon anti-desgarro 0.5x1.5m	1	2,25
Batería LiPo 3.7 V 600mAh	2	3,99
Engranajes y transmisión	1	10,99 (*)
Baquelita perforada 150x180mm	1	3,85
Juntas esféricas	4	1,5
1 metro tubo cuadrado de carbono 4x4mm hueco	1	6,80
1 metro varilla fibra de carbono 2 mm grosor	1	1,75
1 metro varilla carbono 1mm diámetro	2,5	2,34
1 metro tubo cuadrado de carbono 8x8mm hueco	0,5	10,20
ESC 2-4S 2ª 5V	1	13,99

Total [€]	82,76 (*)
-----------	-----------

El proyecto inicialmente disponía de algunos materiales mencionados en la tabla, concretamente: los servomotores SG-90 y otros elementos auxiliares como cinta americana, Loctite o bridas. Por tanto, el total resultaría de 78,56€.

(*) En un principio quedó por determinar el precio de “Engranajes y Transmisión”, es por eso que no se tuvo en cuenta en el presupuesto inicial. Además de que se barajó la posibilidad de obtenerlo por impresión 3D. Hecho que finalmente sucedió.

Representación de coste aproximado por subsistema



Una vez realizado el proyecto se ha hecho balance del presupuesto con los materiales que finalmente se han comprado.

Presupuesto final del proyecto:

Material	Coste Total [€]
Receptor RF	14,99
Motor Brushless ReadyTosky M2204 2300KV	16,00
Batería LiPo 3.7 V 600mAh	14,00
Engranajes y transmisión	10,99
Baquelita perforada 150x180mm	4,99
Juntas esféricas	9,77
1 metro tubo cuadrado de carbono 4x4mm hueco	8,84
1 metro varilla fibra de carbono 2 mm grosor	1,13
1 metro varilla carbono 1mm diámetro	6,18
ESC 2-4S 2ª 5V	13,99

Total [€]	100,88
-----------	--------

CONCLUSIÓN

Dando una visión general, el equipo se encuentra satisfecho con los resultados obtenidos. Si bien es cierto que se han tenido que realizar cambios en el plan de trabajo para adaptarse a un objetivo final realista, se han aportado soluciones de interés que se han implementado en un prototipo con fallos, pero controlando los aspectos a corregir para que estos puedan llegar a subsanarse y alcanzar los objetivos iniciales (eso sí, ya fuera del plazo de tiempo y techo presupuestario).

Recapitulando lo detallado con anterioridad, destacamos: un ajuste fácil de la distancia entre cola y alas para mover el centro de gravedad, desacople rápido y sencillo de la transmisión mediante encapsulación en ficha de acople, cableado ordenado y protegido por estructura tubular utilizado como esqueleto del pájaro y material del cuerpo en policarbonato, de gran resistencia y baja densidad, ideal para su uso en estos proyectos.

Respecto a los objetivos:

OBJ.1: No se ha conseguido la capacidad de vuelo del robot. No obstante, el diseño del prototipo de éste se ha realizado, y se tiene constancia de los problemas a solucionar para poder cumplirlo.

OBJ.2: Alas y cola en tela blanca. El objetivo era de los más sencillos. En nuestro caso, las telas usadas para las alas y la cola cumplen con las características necesarias como para funcionar, además de ser blancas y estilizar la forma del DoveThopter

OBJ.3: Objetivo logrado. Como se ha explicado previamente, las pruebas con el mando radiocontrol de Futaba sincronizaron correctamente con el receptor, y transmitieron la señal necesaria para obtener el movimiento deseado en el mecanismo de la cola con los ángulos designados. No obstante, queda pendiente de que en vuelo el control ofrecido sea suficiente como para controlar la dirección del robot.

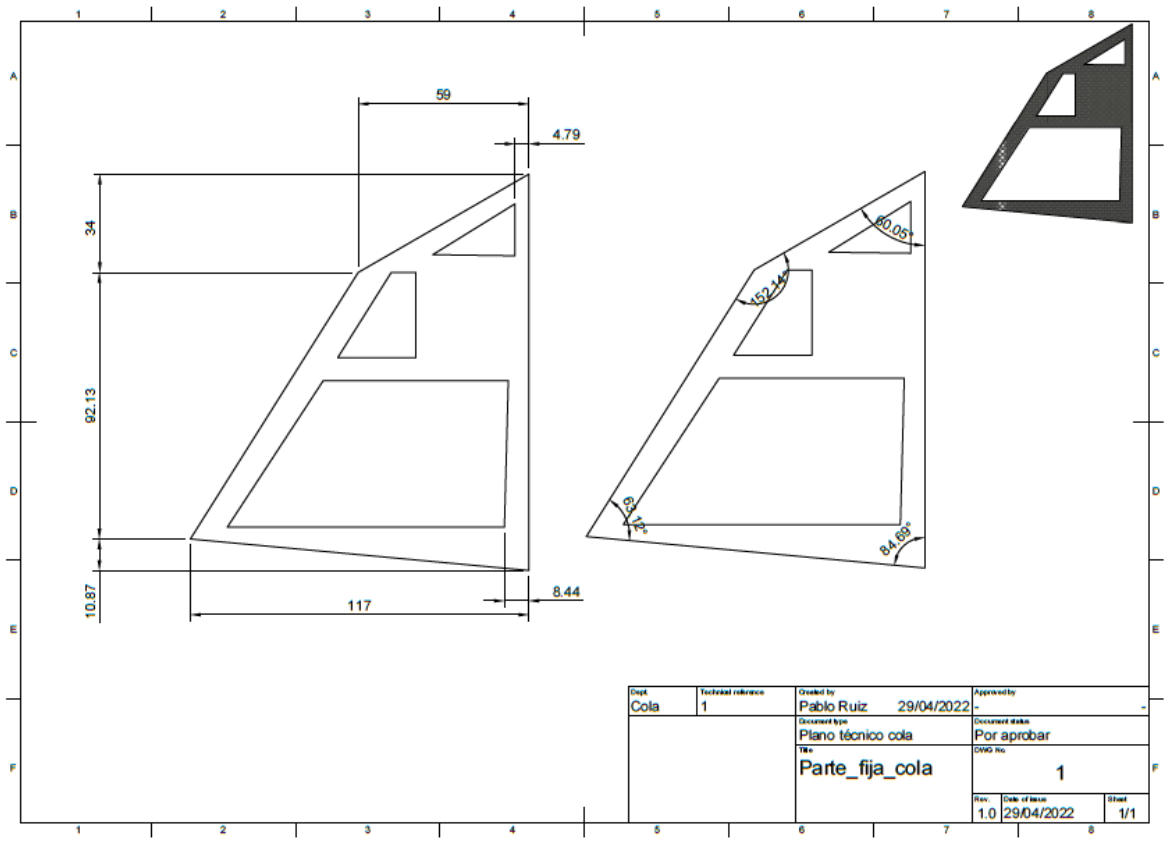
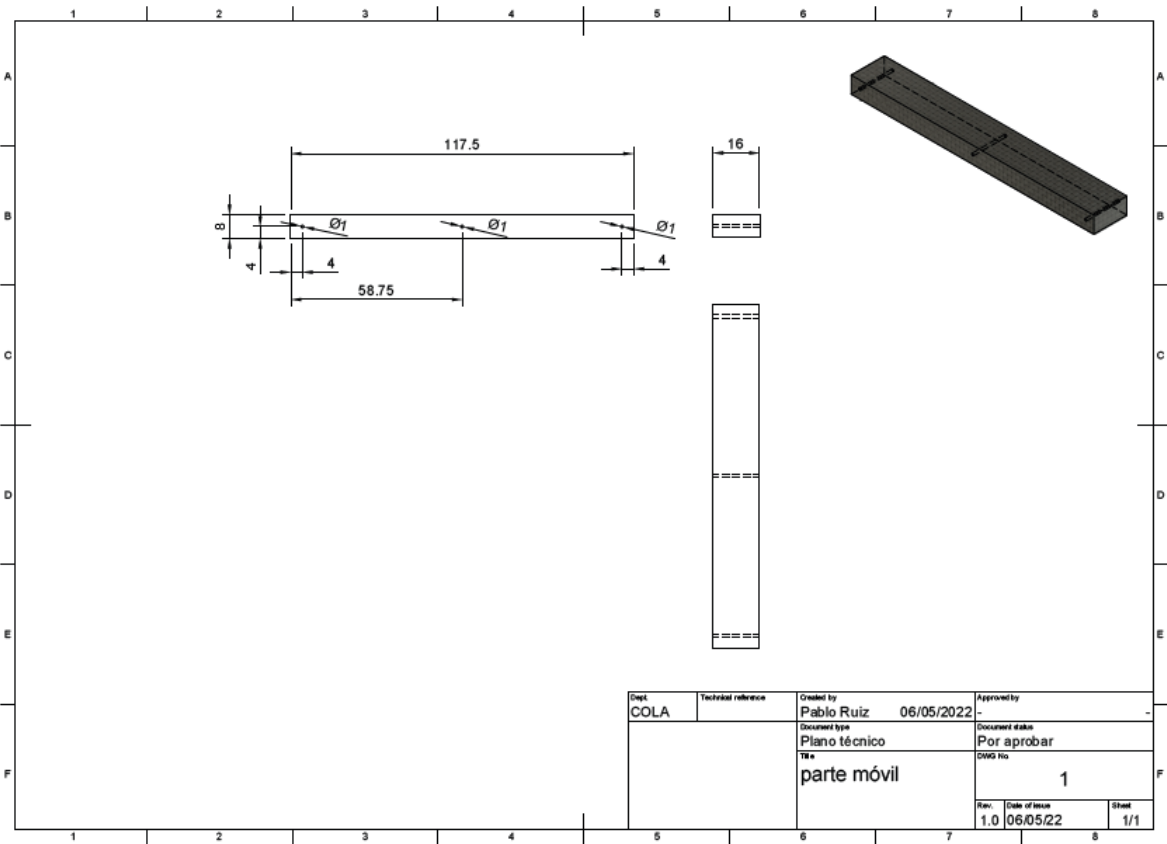
En resumen, el objetivo final realista propuesto y conseguido, es el de ofrecer un prototipo barato y casero en el que basarse y coger ideas ingeniosas que desarrollar más a fondo.

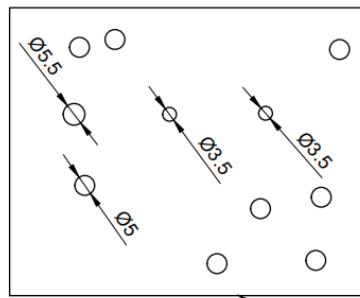
Anexo I. Referencias

- [1] W. Sun, J. Yu, G. He, and Y. Cai, “Study on Transmission Mechanism and Flexible Flapping Wings of an Underactuated Flapping Wing Robot,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 104, no. 2, p. 19, Mar. 2022, doi: 10.1007/s10846-021-01551-7.
- [2] K. Mazaheri and A. Ebrahimi, “Experimental study on interaction of aerodynamics with flexible wings of flapping vehicles in hovering and cruise flight,” *Archive of Applied Mechanics*, vol. 80, no. 11, pp. 1255–1269, Nov. 2010, doi: 10.1007/s00419-009-0360-8.
- [3] M. M. Guzman *et al.*, “Design and comparison of tails for bird-scale flapping-wing robots,” 2021. doi: 10.1109/IROS51168.2021.9635990.
- [4] “Brushless Motor.” <http://electronicarc.com/catalogo/readytosky-m2204-2300kv-cwccw-motor-para-mini-micro-drone-p-1738.html> (accessed Jun. 05, 2022).
- [5] “Ruizhi ESC.” https://www.amazon.es/RUIZHI-Bidireccional-Escobillas-Brushless-Electr%C3%B3nico/dp/B098P958JK/ref=sr_1_7?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=3171DITQK5WIZ&keywords=esc&qid=1649848358&prefix=esc%2Caps%2C186&sr=8-7 (accessed Jun. 05, 2022).

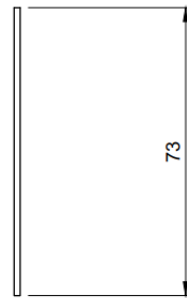
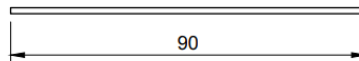
Anexo II: Planos

Se muestra una previsualización de los planos empleados para el diseño de las piezas fijas, así como de la parte móvil con 3 orificios.

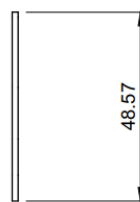
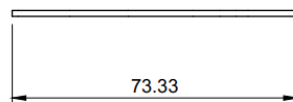
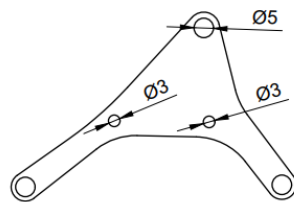




Parte Superior de la Paloma



Dept.	Technical reference	Created by Pedro Tomás Martínez Flores 01/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Base PCB	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by Pedro Tomás Martínez Flores 01/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Tapa no Motor	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1

