



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Linterna bioinspirada autónoma para bicicletas

Autonomous bioinspired torch for bicycles

Autor/es

Alba Sarvisé Biec


Director/es

Ignacio López Forniés

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2022



*Linterna bioinspirada
autónoma para bicicletas*

Autonomus bioinspired

torch for bicycles

**Autora: Alba Sarvisé Biec
Director: Ignacio López Forniés**

Trabajo Fin de Grado

**Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto
Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA)
Curso 2021/2022**



**Mi agradecimiento al profesor
D. Ignacio López Forniés por
la ayuda y el seguimiento
continuado en la elaboración de
este Trabajo Fin de Grado.**

0.1. Resumen

Linterna bioinspirada autónoma para bicicletas.

El proyecto realizado consiste en el **diseño y prototipado** de un foco frontal para bicicletas que se **abastezca de forma autónoma** mediante un generador eólico cuyas **hélices están inspiradas en las sámaras**. Las sámaras son un recurso que emplean ciertos árboles en la naturaleza para proyectar sus semillas lejos de su origen.

Este proyecto se ha dividido en **cuatro fases**. La primera consiste en la **recopilación de información** sobre los tipos de sámara que se pueden encontrar. Al ser un mecanismo de diseminación empleado por diversas especies en la naturaleza se encuentran diversas formas de aplicarlo. Dentro de esta fase se investiga otros proyectos que se hayan basado en estos mismos principios aplicándolos a diversos ámbitos.

En la **segunda fase** se lleva a cabo el **diseño de las palas del generador** basándose en la información encontrada en la fase anterior. Para comprobar la eficacia de las hélices se han probado en el túnel de viento del edificio Betancourt de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza. En este apartado se han realizado ensayos con diferentes motores con el fin de encontrar el más adecuado al proyecto.

El **desarrollo del circuito eléctrico** se da en la **tercera fase**. Se exponen varias propuestas contempladas para poder sustentar el LED de la linterna mientras no reciba carga del generador hasta llegar al diseño definitivo con sus componentes.

En la **última fase** se concreta el **diseño formal del foco de la bicicleta**, se realiza el prototipo con el montaje del circuito eléctrico y los ensayos finales.

Este proyecto se ha llevado a cabo con la meta de encontrar **una solución más sostenible** a las linternas actuales para bicicleta buscando cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7.1, 7.2, 7.3, 9.1, 9.b y 12.5.

0.2. Índice

Resumen.....	4
Índice.....	5
Planificación.....	7
Introducción.....	8
Fase 1	
Estudios Previos.....	11
Estudio de Mercado.....	20
Normativa.....	21
Conclusiones.....	22
Fase 2	
Diseño de las palas.....	24
Fase 3	
Circuito eléctrico.....	46
Fase 4	
Prototipado.....	54
Diseño Final.....	58
Conclusiones Finales.....	60
Bibliografía	
Bibliografía.....	63

0.2. Índice

Índice de los Anexos

Estudios Previos

Estudios de Mercado.....	4
Encuesta.....	5
Análisis Estructural.....	6
Normativa.....	7

Componentes

Componentes.....	9
------------------	---

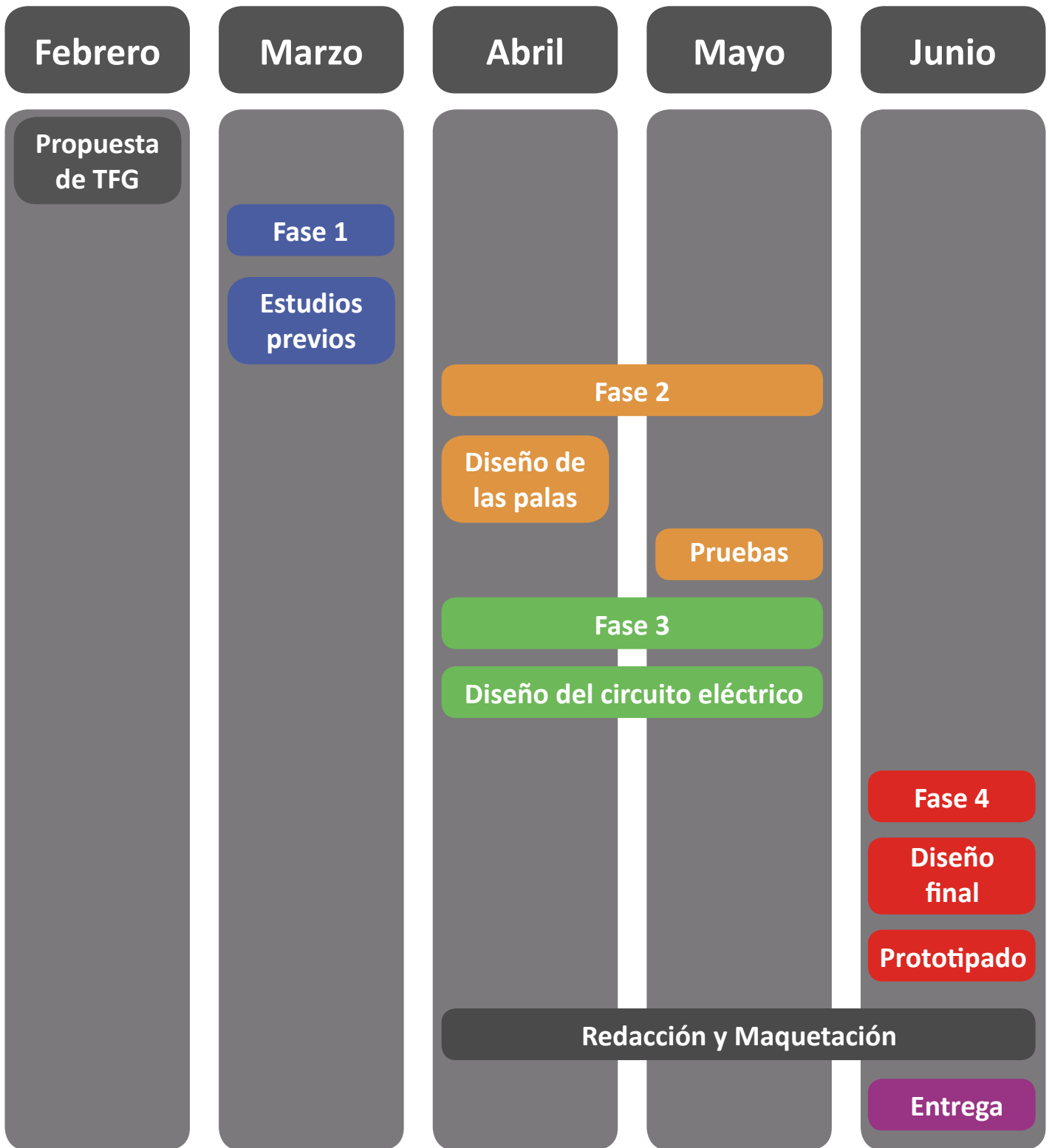
Impresora

Impresora.....	15
----------------	----

Renders

Renders.....	17
--------------	----

0.3. Planificación



0.4. *Introducción*

OBJETIVO

El desarrollo sostenible está cada vez más presente en la vida diaria, al tratar de buscar nuevas fuentes de energía que no dependan de los recursos percederos del planeta aparecen las energías renovables. Gracias a ellas se es capaz de producir una energía que no dependa de una fuente limitada.

Al trasladar este principio al proyecto que se presenta se plantea como objetivo **el diseño de una linterna para bicicleta que sea autónoma gracias a la energía eólica**. Como se sirve de energía eólica es necesario una pala o unas hélices que lo impulsen. Para el diseño de estas hélices se busca **inspiración en la naturaleza**. Empleando las mecánicas del vuelo de la sámara se trata de crear un nuevo diseño con la aplicación de esos principios en las palas de las hélices. El objetivo es hacer que esta **nueva hélice resulte más eficiente** generando más energía que las aspas genéricas.

ALCANCE

Durante la **primera fase** se llevará a cabo una investigación de los tipos de sámaras que se hallan en la naturaleza. Una vez identificados los tipos se realizará un estudio de los principios que emplean para poder desplazarse y sobre las fuerzas que actúan sobre ellas. También se buscarán estudios que se hayan basado en este tipo de semillas para aplicarlas en diferentes ámbitos. Estos estudios conforman la parte del diseño bioinspirado de la investigación.

Como se va a diseñar una linterna se realizará un estudio de mercado sobre los tipos que se pueden encontrar y una encuesta a usuarios de bicicletas para averiguar cuáles son sus necesidades y las cualidades que valoran en una linterna.

En la **segunda fase** es donde se desarrollarán los diseños de las palas del generador basadas en las sámaras. Para comprobar la eficacia y si es posible emplearlas como hélices, se acudirá a un túnel de viento con las hélices a comprobar y los diversos motores de los que se disponen. En esta fase se van a definir algunos componentes del circuito eléctrico para comprobar si serían adecuados en el diseño final.

0.4. *Introducción*

La siguiente fase, **la fase tres**, consistirá en definir los componentes del circuito eléctrico que empleará la linterna y explorar las opciones que se tienen para aplicar un circuito eléctrico en el prototipo.

La **última fase** define la carcasa final de la linterna. Incluye su exploración formal y su amarre al manillar de la bicicleta.

METODOLOGÍA

La metodología a seguir en este proyecto es similar a la empleada en otros proyectos realizados a lo largo del grado. Se comienza con una fase de investigación en la que se buscarán documentos científicos relacionados con las semillas voladoras.

A continuación se diseñará la hélice del rotor y su eficacia será comprobada en un túnel de viento. En él se verificará qué diseño es el óptimo.

Una vez se ha conseguido el diseño de la pala se procede al diseño del circuito eléctrico y a la exploración formal del diseño exterior de la linterna.

HERRAMIENTAS

Las herramientas empleadas para realizar este proyecto son software de maquetación de documentos, software de modelado 3D, software de preparación de archivos para impresión 3D y de renderizado de modelados 3D. Para imprimir las hélices y la carcasa se ha empleado una impresora 3D.

CONTENIDO

En la memoria se recoge la descripción de los procesos del proyecto, desde las conclusiones de las investigaciones previas hasta la recopilación de diseños finales de la linterna.

En los anexos se recogen las características técnicas de los componentes eléctricos, las características de la impresión 3D empleada, y la normativa que afecta a este proyecto.

The background features several overlapping, semi-transparent blue shapes in the upper half, creating a layered effect. In the lower right, there are three thick, curved lines in shades of blue and grey that sweep across the page.

FASE 1:
Estudios previos

1.1.

Estudios previos

SEMILLAS VOLADORAS

Las semillas voladoras son un **recurso utilizado** por ciertos tipos de árboles para **poder reproducirse** y que los frutos no prosperen en las cercanías del árbol original evitando la competición por el espacio. Usando el viento como medio de desplazamiento, estas semillas, conocidas como **sámaras**, **rotan sobre sí mismas** para crear una deceleración en su caída desde el árbol auto-estabilizándose.



Fig.1: Semillas voladoras de arce

Aunque su aspecto varía, estas sámaras suelen estar compuestas de **dos partes**: el ala y la semilla. Generalmente las que poseen una configuración más simple suelen mostrar los mejores resultados, como por ejemplo **las de arce y pino negro**. Estas sámaras al estar formadas por tan solo la semilla y un ala presentan las características ideales para el desplazamiento: **baja velocidad de descenso** a pesar del ancho del ala lo que provoca una **velocidad de giro alta** y un **ángulo de inclinación bajo** (Azuma~ y Yasuda~ 1989).

La velocidad de descenso, así como la de auto rotación y los ángulos de inclinación adoptados por estas semillas dependen de sus características físicas como el centro de masas, la envergadura de sus alas o la posición de la semilla.

En el estudio de Azuma y Yasuda de 1989 se analizaron diez tipos de sámaras diferentes buscando la sámara que tuviera la auto rotación óptima. Este ensayo dividió los ejemplares en dos tablas, en la primera se encontraban las más similares en cuanto a geometría, teniendo una única ala plana con la semilla en un extremo de ésta. En la segunda tabla los ejemplares presentaban varias alas o diferentes aspectos. Realizaron los experimentos en un túnel de viento vertical obteniendo resultados dispares en cuanto a los ejes de rotación dependiendo de las sámaras. Las semillas del fresno y del tulípero presentan un eje de rotación adicional.

En cuanto a su **velocidad al descender**, la mayoría de las semillas mantienen una velocidad similar de **1 m/s**. Las semillas que tienen un **descenso más lento son capaces de volar en un ambiente más estable**.

1.1. Estudios previos

La aerodinámica de las sámaras crea en el extremo de la semilla una **carga de aire concentrada en la punta** y el peso de ésta **ayuda a reducir el ángulo de inclinación** provocando que se aumente el área del ala para proporcionar una mayor superficie a la fuerza horizontal.

El mismo estudio de Azuma y Yasuda proporciona los datos de **las velocidades de giro** de los diez tipos de semillas que estudiaron así como sus ángulos de inclinación y su velocidad de descenso. Los datos que más nos pueden servir para averiguar en **qué tipo de semilla nos interesa basarnos** para hacer las aspas de la linterna es su **velocidad de giro**, pues el objetivo es que consiga aportar potencia suficiente para hacer funcionar a un motor, y su velocidad de descenso.

Como se puede ver en la Tabla 1 y Tabla 2 **las sámaras de arce y de pino negro** son las que mayores velocidades alcanzan, con unos ángulos de entre 15° y 27°. Los ángulos sirven de orientación para decidir la inclinación de las palas en este proyecto.









Items	Species	Maple			Black pine <i>Pinus Thunbergii</i> <i>Parlatore</i>
		<i>Acer diabolicum</i> <i>Blume</i>	<i>Acer palmatum</i> <i>Thunb. var. Matsumurae</i> <i>Makino</i>	<i>Acer palmatum</i> <i>Thunb.</i>	
Plan view					
Profile at $r/R = 0.75$					
Rotational speed, n Spinning axis (rpm)		977.0	1101.5	1805.8	1472.8
Feathering axis		—	—	—	—
Rate of descent, V (m/sec)		0.82	1.04	1.09	0.98
Coning angle, β (deg)		23.7	27.6	15.0	20.8
Pitch angle at $0.75R$, θ (deg)		-1.17	-1.39	-0.90	-1.43

Tabla 1: Tabla del estudio de Azuma y Yasuda mostrando las semillas con sus velocidades y los ángulos.

1.1.

Estudios previos













Santalaceae <i>Buckleya Joan Makino</i>	Linden <i>Tilia Miqueliana Maxim.</i>	Hornbeam <i>Carpinus Tschonoskii Maxim.</i>	Phoenix tree <i>Firmiana platanifolia Schott et Endl.</i>	Ash tree <i>Fraxinus japonica Blume</i>	Tulip tree <i>Liriodendron tulipifera L.</i>
					
					
1517.8 — 1.58 15.6 -1.34	832.6 — 1.34 16.5 —	965.0 — 1.02 12.9 -2.16	717.7 — 1.14 17.2 -2.67	888.7 877.4 1.72 31.7 —	498.3 493.9 1.19 34.2 —

Tabla 2: Segunda tabla del estudio de Azuma y Yasuda mostrando las semillas con sus velocidades y los ángulos.

A raíz de la información encontrada en estos estudios se decidió **centrar la búsqueda** de información en **las sámaras del arce y el pino negro o que tuvieran formas geométricas similares**. La forma geométrica que va a dictar la forma del aspa para la bicicleta consiste en un ala alargada y fina que en un extremo posee una parte más pesada donde se encuentra la semilla. La razón de seguir con esta forma es, como se ha mencionado anteriormente, es su reducción de velocidad de descenso hacia el suelo mientras se produce la rotación comparada con la velocidad de la caída libre y su estabilidad a la hora de rotar.

Para estudiar el comportamiento de estas sámaras se han realizado simulaciones con diferentes números de Reynolds (Arranz et al. 2018). Su propósito es investigar la auto-rotación con un número de Reynolds menor al que se encuentra en la naturaleza para observar los cambios en las fuerzas aerodinámicas.



Fig.2: Semilla de Tipa Blanca

Para poder apreciar los cambios y evitar tener parámetros que varían, se realiza una **simplificación del aspecto de la sámara del Tipuana Tipu conocido como Tipa Blanca** debido a la alta disparidad entre sus semillas. En la Fig.2 se puede ver un ejemplo de este tipo de sámara.

1.1. Estudios previos

La forma simplificada está compuesta **por cuatro elipses tangentes entre sí**. Para llegar a esta forma la investigación se ha apoyado en el estudio de los modelos de las alas de insecto de Pedersen y Żbikowski (2006) puesto que se apreciaron similitudes entre estas y las sámaras (Norberg 1973).

Todas sus medidas **se basan en relación a la medida c** . Una vez se define esta dimensión se obtienen todas las demás. La relación es:

$$-b/c = 1.9$$

$$-bte/c = 1.32$$

$$-rc/c = 0.3$$

Las equivalencias de estas medidas se encuentran reflejadas en la Fig.3 obtenida del estudio de Arranz. En el extremo izquierdo de la sámara es donde se sitúa la semilla y por tanto es donde se colocarán las semicircunferencias para simularla. Se asume que la **semilla tiene una densidad constante** y que el ala es completamente plana tal y como se muestra en la Fig.4 y su espesor está también relacionado con la medida c :

$$-t = 0.005c$$

Gracias a estas medidas es posible saber el centro de gravedad del diseño de la sámara. Indicado en la Fig.5.

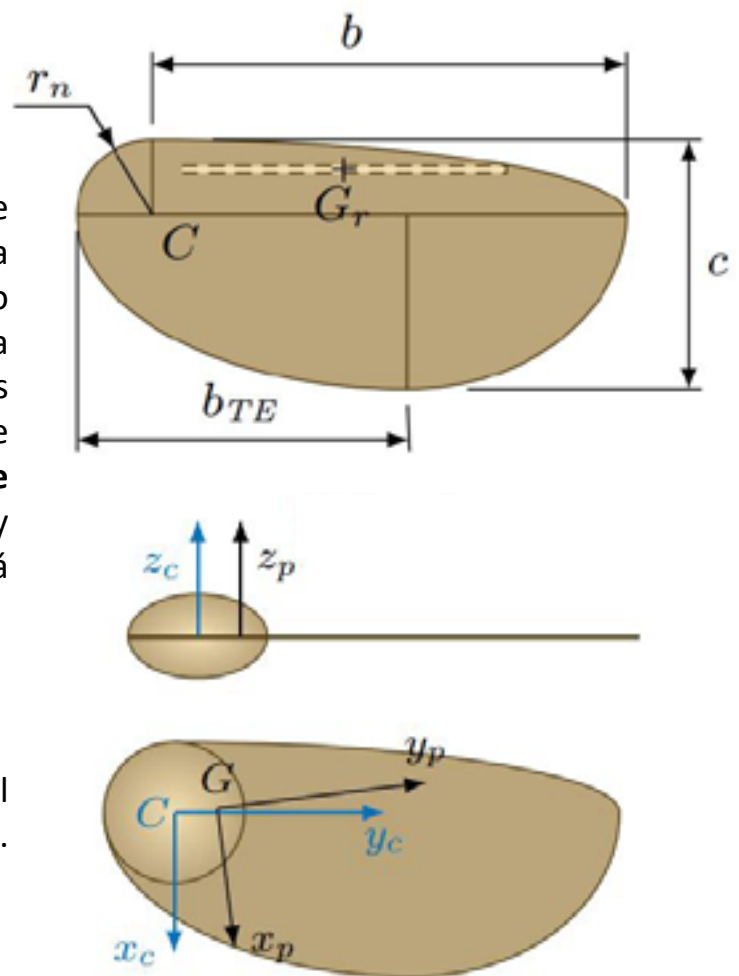


Fig.3: Simplificación de la semilla por el estudio de Arranz con las medidas.

Fig.4: Simplificación de la semilla por el estudio de Arranz vista de perfil.

Fig.5: Simplificación de la semilla por el estudio de Arranz indicando el centro de gravedad.

1.1. Estudios previos

Los experimentos restringen la posibilidad de mover el centro de gravedad en una dirección vertical pero lo dejan libre en el plano horizontal, dando como resultado un movimiento que es análogo a la configuración natural de la sámara. Cuando se sitúa la réplica de la sámara en esta posición sólo es necesario variar el número de Reynolds del ambiente para apreciar el comportamiento de la simulación.

Los **números de Reynolds (Re) empleados son: 80, 160 y 240**. Estos Re se encuentran en el **límite inferior de lo que es habitual en la naturaleza** (Azuma~ y Yasuda~ 1989). Con estos números se procede a observar la auto-rotación de la simulación.

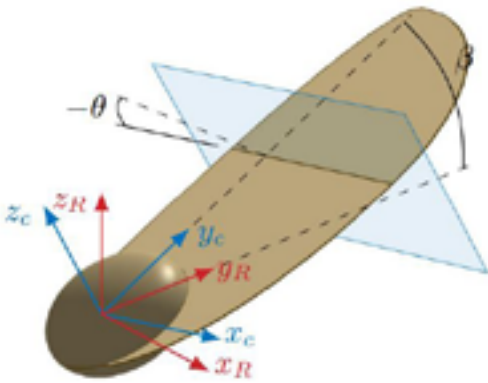


Fig.6: Ángulos de la semilla por el estudio de Arranz.

La mejor forma de apreciar el efecto que tiene el Re sobre el movimiento de la semilla es el **cambio del ángulo de ataque (θ) y de calado (β)**. El ángulo de calado es la inclinación de la semilla respecto al plano horizontal. Los dos ángulos pueden verse reflejados en Fig.6.

En la Tabla 3 se ve como **al aumentar el Número de Reynolds ambos ángulos disminuyen** haciendo que la sámara adopte una posición casi horizontal, pero hace que aumente su velocidad de giro. Al incrementar el Re también incrementa el movimiento de la sámara en el plano horizontal. El eje vertical de rotación no sigue una trayectoria recta, sin embargo, la distancia del centro

de gravedad de la semilla a este eje permanece constante.

Otro resultado de aumentar el número de Reynolds es la **distribución de las fuerzas en la hoja**, los componentes horizontales sufren un detrimento a favor de los componentes verticales.

Re	\widehat{Re}	$\langle \dot{\Omega} \rangle$	$\langle \beta \rangle$	$-\langle \theta \rangle$
80	63	0.91	15.72	24.77
160	126	1.35	11.49	15.82
240	188	1.58	10.06	13.06

Tabla 3: Variación de los ángulos según el número de Reynolds.

1.1. Estudios previos

Este estudio proporciona una simplificación de la forma de las sámaras que presentaban más velocidad identificadas en el anterior estudio (Azuma~ y Yasuda~ 1989).

Siguiendo con la investigación de **las sámaras de arce** se busca comparar los datos del mismo tipo de sámara pero **con variaciones de forma**. (Zakaria et al. 2019).

De los resultados cabe destacar que **la velocidad de las sámaras con una menor masa es la mitad que la de las sámaras con una mayor masa**. De la misma forma el ángulo de ataque se ve incrementado con una menor masa (Zakaria et al. 2019).

Con los datos observados en este estudio se establece la importancia entre el peso de la sámara y sus propiedades aerodinámicas. Las sámaras más ligeras y reducidas presentan vórtices de succión en el borde rígido, en su centro, lo que las hace ser las que peor vuelo de descenso tienen. Además gracias a la aplicación del método de cuadrículas de vórtice inestable para predecir la carga aerodinámica de la hoja se puede apreciar como las sámaras con un borde recto tienen una mejor distribución de fuerzas que las sámaras con el borde del ala curvo. Gracias a este método **el empleo de este tipo de diseño en dispositivos de una sola hélice es altamente recomendable**.

ESTUDIOS DONDE SE HA APLICADO ESTE TIPO DE DISEÑO

Varios estudios han decidido aplicar este tipo de **diseño a las aspas o a las alas de drones** para comprobar su eficacia.

Comienzan basándose en **el vórtice** que se encuentra en la superficie del extremo de la semilla. Las fuerzas verticales aerodinámicas facilitan que la presión de este vórtice en la superficie sea menor. El papel de las fuerzas vectoriales es reducir la velocidad de descenso de la sámara. Otro factor que condiciona la velocidad de descenso es la relación sustentación-resistencia ya que la resistencia reduce la velocidad de rotación (Sunada et al. 2015).

El estudio de Sunada emplea **dos hojas como rotor y una barra de carbono en su eje de rotación**. Realiza seis variaciones del modelo variando su radio y su eje de inclinación. La masa total del rotor varía entre 3, 4 y 5 gr. La hoja está compuesta por un rectángulo, cuyas medidas permanecen inalterables pero posee una doblez realizada longitudinalmente la cual le proporciona al rotor la inclinación necesaria para realizar los experimentos. **Los ángulos probados para estos modelos son 10º y 20º.**

En el otro extremo de la barra de carbono se añade un pequeño peso para facilitar su equilibrio en la rotación de descenso.

Las conclusiones que se obtuvieron con este tipo de modelo de rotor fueron que las **velocidades de descenso y de rotación del modelo incrementan** cuando la **masa del rotor se aumenta** o cuando se reduce el radio. El ángulo de inclinación afecta de tal manera que si este se incrementa la velocidad de descenso se incrementa pero la velocidad de giro decrece. Esta conclusión se tendrá en cuenta en el proceso de diseño del proyecto.

En los experimentos realizados también se tuvo en cuenta el **número de Reynolds** relacionándolo con el ángulo de ataque que adoptaba el rotor. La correlación que se estableció entre estos dos valores fue que al **augmentar el Re el ángulo de ataque incrementa** a su vez.

Siguiendo con el estudio de los vórtices en los bordes de ataque, un **rotor de tres hélices** fue diseñado con el objetivo de igualar la velocidad de la sámara y su ángulo de ataque. Este modelo se basa en aprovechar los vórtices en sus bordes de ataque para proporcionarle **estabilidad durante un viento constante** (El Makdah et al. 2020). En nuestro proyecto se aplican las 3 y 5 hélices para disminuir las vibraciones.

1.1.

Estudios previos

Un viento variable tiende a reducir la eficiencia de los rotores resultando en incrementos de energía cuando la corriente aumenta. Sin embargo, con un diseño inspirado en la forma de las semillas auto-rotantes puede **ayudar a reducir los problemas provocados por las velocidades de viento variables**. La particularidad de las sámaras es que les es posible mantener una **auto-rotación estable cuando su velocidad decrece**. Esto se debe a la formación de vórtices estables en los bordes los cuales generan un empuje que mantiene a la semilla en el aire.

El modelo creado por este estudio se puede ver en Fig.7. Identificando los mecanismos de la sámara que permiten la formación de estos vórtices es posible extrapolarlos a un rotor para mejorar su comportamiento. Uno de estos mecanismos es la distribución del ángulo de ataque a lo ancho de la hoja que lleva a un crecimiento y estabilización del vórtice (El Makdah et al. 2020). El **ángulo de ataque** elegido para el rotor inspirado en la sámara es de 27° y con un diámetro de 30 cm.

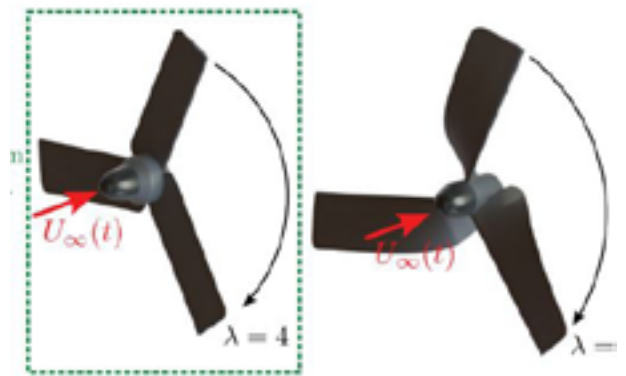


Fig.7: Modelo de hélice del estudio de El Makdah

Los experimentos se realizaron dentro de un rango de $60.000 - 300.000$ Re. Ambos números muy superiores con los que se había operado anteriormente. Comparando los resultados con los de un rotor similar pero no bioinspirado mostraron que el rotor de la sámara presentaba un vórtice estable mientras que el vórtice del rotor de referencia era inestable y no era capaz que rotar por sí mismo sin una ayuda externa (El Makdah et al. 2020).

Al **incrementar las rachas de viento** el rotor de sámara tiene una **velocidad más estable** y no incrementa tanto como el rotor de referencia. Al **reducir la velocidad** del viento el rotor bioinspirado **baja a valores menores** que su velocidad inicial pero **es capaz de recuperarse** y volver a alcanzar sus velocidades iniciales. Gracias a estas comparaciones se prueba que el **rotor de sámara es capaz de mantener una relación estable entre la velocidad del viento y la velocidad de sus aspas** y es capaz de conservar una **eficiencia óptima** en condiciones inestables sin necesidad de emplear otros mecanismos. Con estas conclusiones se puede emplear una hélice bioinspirada que unida a un generador proporcione una tensión más estable.

1.1.

Estudios previos

El diseño de un rotor bioinspirado no es el único modelo al que se le han aplicado los principios del vuelo de las sámaras. También se ha estudiado emplear su forma **como un ala para un dispositivo giróptero** que recree las características auto-rotativas de la sámara proporcionándole la capacidad de vuelo libre.

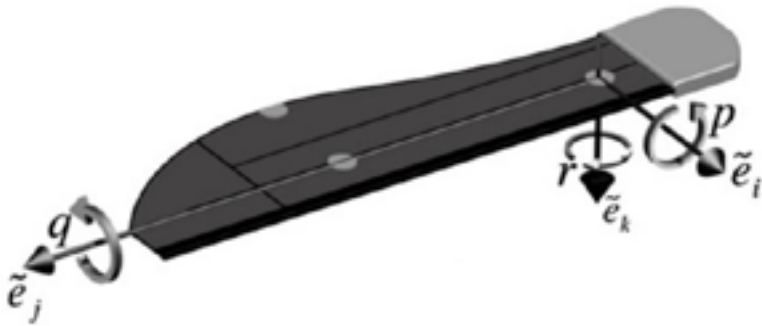


Fig.8: Modelo de ala realizado por el estudio de Ulrich, Pines y Humbert.

Para el diseño del ala se tiene en consideración su centro de masas puesto que es una parte fundamental que puede provocar que la rotación sea ineficiente si está mal calibrado. El dispositivo **consiste en varias partes**. La primera, el ala inspirada en la sámara, que es ligeramente más grande que la propia semilla. La siguiente parte es una estructura rígida que une esta ala y el servo empleado para propulsar el vuelo. Fig.8.

Este dispositivo es capaz de **auto-rotar y desplazarse variando su altitud y de trasladarse según las indicaciones que se le den**. Además es capaz de realizar un **aterrizaje en velocidad límite sin sufrir ningún daño** y en el caso de que el motor falle y no pueda funcionar, el **vehículo auto-rotata hasta alcanzar el suelo** (Ulrich, Pines y Humbert 2010).

Los tamaños de estas sámaras van desde la más pequeña con 75 mm, la siguiente con 180 mm y una masa de 38 gr y la mayor de 270 mm y 125 gr. Una vez realizadas las pruebas con estos dispositivos se llegó a la siguiente conclusión: **este tipo de dispositivos es más eficiente cuando se está desplazando que cuando está simplemente flotando**. Esa propiedad se debe a que el viento incide en mayor medida cuando se está desplazando lo que provoca un aumento en la relación sustentación-resistencia.

LINTERNAS PARA BICICLETA

El objetivo del estudio de mercado de las linternas de bici es observar la situación actual del mercado para saber qué tipo de productos se encuentran actualmente en él.

Las linternas que interesan comparar con el proyecto son las que tienen la **capacidad de recargarse o de generar su propia energía**. Las principales formas de carga de estas linternas son mediante **USB o pilas**. Hasta ahora no se ha aplicado el principio de generar la energía de la batería mientras se pedalea por la incomodidad de los mecanismos que se deben de aplicar y el peligro de los cables.

Tras investigar el mercado y basándonos en estudio de mercado realizado para el proyecto “SmartLamp” llevado a cabo para la asignatura Gestión de Proyectos, se llegó a las siguientes conclusiones relativas a los productos:

- Los **cableados entre los juegos de luces son incómodos** y para muchos usuarios inaceptables
- Los **métodos de carga** que exigen tener la bici cerca de la fuente de energía no son considerados cómodos.
- La batería de las linternas recargables **no tiene una gran autonomía** funcionando a máxima intensidad.
- La luz trasera suele ser poco visible en muchos modelos ya que suelen estar diseñadas para ciudad y no tienen en cuenta a los usuarios que van por el campo o la carretera, donde estas son mucho más importantes (por si se cruzan con todoterrenos, tractores, motos u otras bicicletas).
- La **ausencia de productos auto-generadores** de energía puede abrir un nicho de mercado en él.
- Mucha información causa distracciones y aumenta la complejidad y menos información obliga al usuario a llevar elementos complementarios.
- El **peso de las bicicletas de carretera es crítico**, llegando a pagar grandes sumas de dinero por reducir el peso de los elementos y mejorar su aerodinamismo. En montaña las bicicletas y aparatos son más robustos, por lo que el peso no es tan importante.
- Hay ciclistas que salen por el campo o montaña de **noche o en días oscuros**, por ello necesitan de **luces especialmente potentes y direccionables** (para lo que normalmente utilizan una combinación de luz fija y luz en la cabeza para poder moverla).

1.3. Normativa

NORMATIVA DE LAS LUCES DE BICICLETA

Al diseñar un producto conviene conocer la normativa que se le aplica. En el caso de las luces que debe llevar una bicicleta está legislado en el Real Decreto 339/2014, de 9 de mayo, por el que se establecen los requisitos para la comercialización y puesta en servicio de las bicicletas y otros ciclos y de sus partes y piezas, y por el que se modifica el Reglamento General de Vehículos, aprobado por Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre. Publicado en el BOE núm. 124 de 22 de mayo de 2014.

- La intensidad luminosa (en candelas) está comprendida entre **4 y 60 Cd para los faros delanteros**
- La intensidad luminosa está comprendida entre **4 y 12 candelas para los faros traseros.**

Estas medidas se aplican en la **dirección del eje.**

Además cualquier catadióptrico debe estar homologado de acuerdo al Reglamento nº3 de la Comisión Económica para Europa de la Organización de las Naciones Unidas (CEPE/ONU) Disposiciones uniformes para la homologación de dispositivos catadióptricos para vehículos de motor y sus remolques publicado en DOUE núm. 323 de 6 de diciembre de 2011. (Referencia DOUE-L-2011-82556). Este reglamento hace referencia a la homologación de los catadióptricos, especificando los ensayos y pruebas que deben pasar para poder ser comercializados.

CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- Las **semillas de arce y de pino negro** son las que **mejores** propiedades presentan para desplazarse por el ambiente.
- Al **incrementar la velocidad de auto rotación** de la sámara es capaz de desplazarse a una distancia mayor.
- La velocidad de sámaras de **menor masa** es menor que las semillas con una mayor masa.
- El **rotor bioinspirado** en la sámara muestra una **mayor eficiencia** a la hora de mantener la velocidad de rotación durante rachas de viento inestables que un rotor genérico. Al decrecer el viento el rotor también decrece pero es capaz de recuperar su velocidad inicial.
- El rotor de la sámara se aprovecha del **vórtice** creado en el borde de su superficie para continuar funcionando de **forma constante**. El rotor genérico al crear un vórtice inestable es incapaz de generar este fenómeno.
- Los dispositivos que emplean un ala basada en la semilla para proporcionarles estabilidad son capaces de realizar un aterrizaje cuando **el motor deja de funcionar y no sufrir daños** al entrar en contacto con el suelo.
- Un giróptero con el ala de sámara bioinspirada es más eficiente cuando está siendo empleado **para desplazarse vertical u horizontalmente** que cuando está flotando.
- En otro rotor sin un motor unido a él cuando se aumenta la masa se reduce su velocidad de giro.
- Una simulación de las sámaras **es capaz de auto rotar** cuando el número de Reynolds del ambiente se encuentra entre 80 y 240 manteniendo la inercia y su velocidad constantes.
- Conforme **se aumenta el número de Reynolds** del ambiente sus ángulos de inclinación necesarios para rotar decrecen.
- El estudio de Arranz proporciona **una sámara simplificada** con relaciones entre sus medidas que pueden ajustarse a cualquier tamaño. Proporciona también los ángulos de inclinación empleados para cada número de Reynolds.



FASE 2:
Diseño de las palas

2.1. Diseño de las palas

DISEÑO DE LAS PALAS DEL GENERADOR

Basándose en **los principios del vuelo de la sámara** se van a diseñar unas aspas que cumplan con la misma función que las de un aerogenerador. Gracias al **impulso del viento** mientras se circula en la bicicleta las hélices son capaces de **impulsar el motor que actúa como generador** para proporcionar energía al LED. En los estudios encontrados durante la investigación se identificaron varias formas que pueden adoptar: **desde la simplificación de la sámara**(Arranz et al. 2018) **hasta el rotor bioinspirado**(El Makdah et al. 2020).

Durante la investigación se observaron los dispositivos de una sola ala que la empleaban para auto estabilizarse (Ulrich, Pines y Humbert 2010) pero como la función de ésta difiere de lo que se busca en el proyecto, **su forma no se va a considerar** a la hora de realizar los diseños.

Los dos modelos que mejor encajan en este proyecto son la **forma de sámara simplificada y el rotor inspirado en la sámara**. El rotor tiene un diámetro de 30 centímetros. En el documento **no viene especificada ninguna otra medida** que pueda servir para replicarlo a una escala más apropiada. En las imágenes se muestran dos formas del motor, se dice que la segunda es la forma empleada para hacer los experimentos pero **no se dan indicaciones** de las inclinaciones y de las medidas que tienen las aspas. Por ello **no se va a seguir este modelo de hélice para la linterna autosuficiente**. Aunque de haberse proporcionado una información más amplia sobre su estructura se podría haber realizado algún diseño con el rotor como modelo.

En cambio en el estudio de Arranz se proporcionan **los datos para construir una réplica de la simulación empleada**. Como se ha indicado en la Fase 1 de este proyecto las medidas están relacionadas en función de c . Una vez se establece c , el resto de medidas de la simulación de la sámara se pueden obtener con las siguientes fórmulas:

- $b/c = 1.9$
- $bte/c = 1.32$
- $rc/c = 0.3$

La forma de la sámara está **simplificada mediante cuatro elipses tangentes entre ellas**, su forma se puede ver en la Fig.9. Su **eje de rotación sería su centro de masas** y no el centro de la circunferencia de la parte de la semilla.

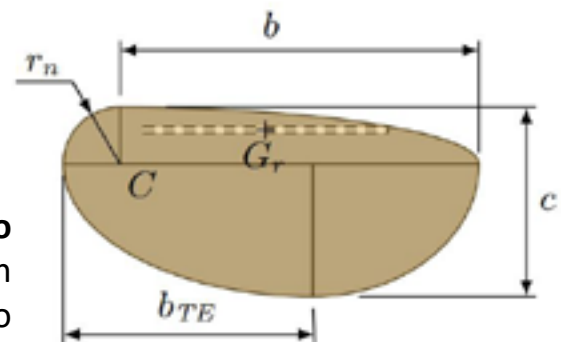


Fig.9: Simplificación de la semilla por el estudio de Arranz con las medidas.

2.1. Diseño de las palas

PRUEBAS CON LAS MEDIDAS

Para saber con exactitud qué tamaño de aspa podía corresponder mejor al proyecto se realizaron varias pruebas con **tamaños distintos de c**. Las denominaciones de estos tamaños surgen de los valores asignados a *c*, por ejemplo **el aspa C1 corresponde a la medida c=1 centímetro**. (Todas las medidas que se muestran a continuación están en centímetros)

	<i>b</i>	<i>bte</i>	<i>rc</i>
C1	1'9	1'32	0'3
C1'5	2'85	1'98	0'45
C2	3'8	2'64	0'6
C2'5	4'75	3'3	0'75
C3	5'7	3'96	0'9

Tabla 4: Valores correspondientes a cada medida en función de *c*.

Para saber con exactitud la medida que mejor puede adecuarse a las hélices para el generador se ha realizado **una reconstrucción con cada una de las medidas**. Esta comparación se puede ver en la Fig.10. En ella se comprueba como **C1 y C1'5 son demasiado pequeños** para poder generar bastante par en el motor y poder proporcionar energía a la batería y al LED. Observando el tamaño de C2 también se decidió descartar por las mismas razones que C1 y C1'5: **no se considera lo suficientemente grande** para dar el par necesario.

En cuanto al aspa **C3** se consideró que su **diámetro ocuparía demasiado espacio** y sería demasiado aparatoso para la bicicleta. Por ello, **la medida de C2'5 fue seleccionada para seguir con el diseño y realizar las pruebas**.

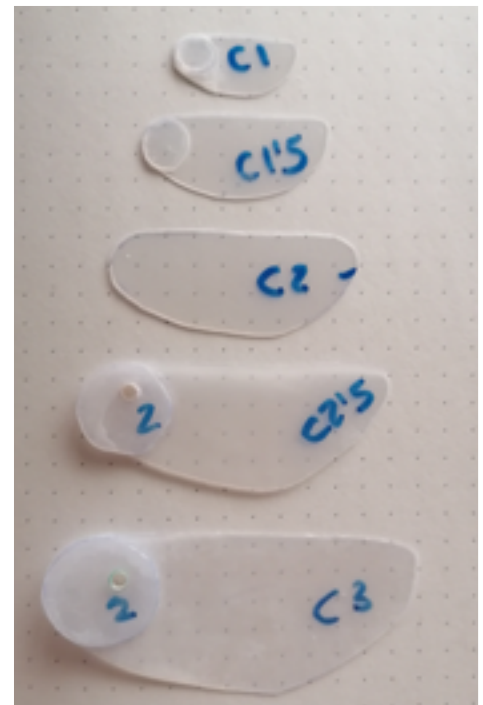


Fig.10: Reconstrucción de todos los tamaños de aspa

2.1. Diseño de las palas

Para el **espesor y el volumen** de la parte de la semilla **no se adoptó la medida** dada por el valor de c . La razón para esta decisión fue que **el resultado era demasiado fino como para poder realizar un prototipo por problemas de durabilidad y de resistencia del material**. En su lugar, con el programa SolidWorks se modeló la forma de la simulación de la semilla y empleando el centro de masas como referencia se alcanzó el punto ideal para el diseño.

Aunque se toma como base el modelo del estudio de Arranz se ha incluido una modificación siguiendo el estudio de Zakaria. En su **borde superior fue diseñado un nervio** para reforzar su estructura, para potenciar su eficiencia y para equilibrar el centro de masas, colocarlo más cercano al indicado en la simulación. Además de ser necesario para evitar que se rompa dado el espesor de la hoja

A pesar de que el aspa solo ofrece una de sus caras al viento se ha considerado **construir el modelo simétrico para compensar el peso** ya que no se sabe cómo va a actuar nuestro diseño en un túnel de viento. El modelo puede verse en la Fig. 11.

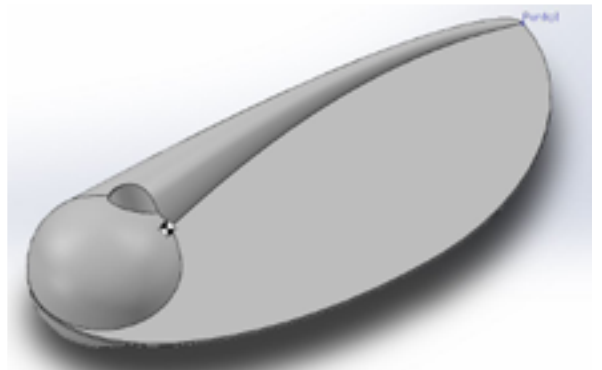


Fig.11: Modelado del aspa del prototipo a ensayar.

Una vez el modelo está definido falta decidir **los ángulos de inclinación** que debe de tener la hélice. Como el modelo está tomado de un estudio en el que se proporcionaban **los ángulos de ataque (θ) y calado de la semilla (β)** se van a adoptar estos ángulos para experimentar con el diseño. El estudio proporcionaba los ángulos **en función del número de Reynolds (Re)** del ambiente, **el menor de estos es 80**. Se considera esta la medida del ambiente menos turbulento así que las primeras pruebas serán con los ángulos indicados para **$Re=80$** . Los ángulos son:

$$-\theta = 24'77^\circ$$

$$-\beta = 15'72^\circ$$

Estos **ángulos serán aplicados en el eje de rotación** de la semilla que coincide con el **centro de masas de la simulación**. Para comprobar qué ángulo influye más cuando se produce la rotación se van a diseñar tres tipos de aspas diferentes:

-A – $\theta\beta$: esta aspa posee la combinación de los dos ángulos aplicados al eje de giro.

-A – θ : Esta aspa posee sólo el ángulo θ .

-A – β : Esta aspa posee sólo el ángulo β .

2.1. Diseño de las palas

Una vez se tienen estas tres pruebas modeladas con el programa SolidWorks se imprimirán con una impresora 3D. La impresora utilizada es una **ArtillerySidewinder X1 con el material PLA**. Este material tiene un filamento de 1,75 milímetros y para su boquilla de expulsión se va a emplear un diámetro de 0,32 mm. Para poder imprimirlo será necesario **añadirle soportes** al modelo. Para que estos soportes no provoquen alguna posible imperfección que disminuya la eficacia de la hélice irán colocados en la cara que el aspa no ofrece al viento tal y como se muestra en Fig.12.

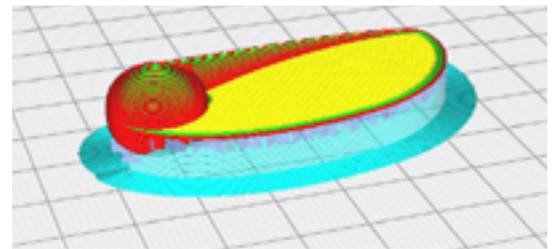


Fig.12: Modelo de aspa mostrado como se va a imprimir con el programa Cura.

Para comprobar la eficiencia de estas aspas inspiradas en sámaras se realizarán **ensayos en un túnel de viento** del taller de mecánica de fluidos en el edificio Betancourt de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza. El aspecto del túnel puede verse en la Fig.13. Este túnel proyecta aire en línea recta hacia un soporte en forma de L que se empleará para dar apoyo a las aspas a ensayar. **Tiene hasta 10 posiciones de velocidad del viento**. La máxima, 10, corresponde a **13'4 m/s o 48'24 km/h**. La séptima posición equivale a **9'8 m/s o 35'28 km/h**.

Como la **máxima velocidad que puede alcanzar una bicicleta en ciudad es de 30 km/h**, para los ensayos se empleará la **posición séptima junto con la décima** para comprobar la eficacia de las hélices.

Para la realización de las pruebas en el túnel de viento conté con el asesoramiento y la ayuda del director de este TFG el profesor D. Ignacio López. Y con la colaboración del profesor del laboratorio D. Javier Blasco quienes permanecieron todo el tiempo en las sucesivas pruebas y a quienes les agradezco enormemente su ayuda.



Fig.13: Túnel de viento de la EINA.

2.1. Diseño de las palas

PRUEBA 1

En la primera prueba se utilizaron **tres tipos de hélice** citados anteriormente:

- A – $\theta\beta$: esta aspa posee la combinación de los dos ángulos aplicados al eje de giro.
- A – θ : Esta aspa posee sólo el ángulo θ .
- A – β : Esta aspa posee sólo el ángulo β .

Estas aspas se **colocaron directamente sobre el soporte** del túnel tal y como se muestra en Fig.15 y se procedió a encender el túnel **colocándolo a la máxima velocidad** para los primeros ensayos. Esta velocidad se mantuvo constante durante toda la prueba.



Fig.14: Los tres modelos de aspas impresas en 3D

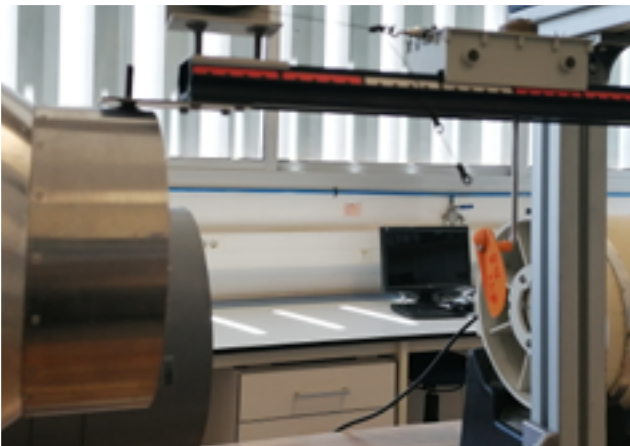


Fig.15: Aspa colocada en el soporte del túnel de viento.

Los resultados fueron los siguientes: por observación directa se comprobó que **el aspa que mejor rotaba era la A – θ** seguida de A – $\theta\beta$. Ambas aspas ofrecían una fuerza de 0.39N contra el viento. **Por el contrario el aspa A – β no giraba**, se le trató de proporcionar un impulso inicial manualmente pero no se consiguió resultado positivo.

Con estos resultados se pasó a la siguiente prueba en la que se probaría también **un posible motor con el que dar energía al circuito eléctrico**.

2.1. *Diseño de las palas*

PRUEBA 2

Como se ha dicho en esta prueba se va a añadir **un motor sin escobillas** para averiguar si se produce la potencia suficiente para **que funcione el LED del circuito y almacenar energía en la batería recargable.**

El motor posee las siguientes **características:**

- Voltaje: 3-24V
- Corriente: 0.1-1^a
- Potencia: 0.5-12W
- Velocidad: 300-6000 r.p.m.



Fig.16: Motor en el bastidor.

Con estas características **se espera que el motor sea capaz de producir 1W** para iluminar el LED.

A fin de colocar el motor en el soporte del túnel se construyó **un bastidor** que se imprimió también con la impresora 3D. Este primer modelo de bastidor se puede ver en Fig.16. El motor se une a él gracias a unos tornillos que roscan el bastidor.

Con objeto de realizar estas pruebas **se imprimió un nuevo set de aspas** para que encajaran con el eje del motor. Estas aspas siguen en la línea de las anteriores sin realizar cambios Fig.17:

- M1 – $\theta\beta$** : esta aspa de una sola hélice tiene la combinación de los dos ángulos θ y β .
- M2 – θ** : esta aspa de una sola hélice tiene solo el ángulo θ .
- M3 – β** : esta aspa de una sola hélice tiene solo el ángulo β .



Fig.17: Modelos de aspas para la segunda prueba.

2.1. *Diseño de las palas*

El motor tiene **incluido un LED de poca potencia** para comprobar su funcionamiento y su constancia. Gracias a un **polímetro se medirá el voltaje producido**. Para medir las revoluciones por minuto se va a emplear un **tacómetro** con un reflectante colocado en el metal protector del motor. También se realizarán **pruebas con resistencias que van del rango de los 100 Ω a 1 Ω** . La **velocidad del túnel se coloca en su punto máximo** para comprobar cuál podía ser la máxima potencia que se le puede extraer al motor.

Con todo preparado se procedió a realizar los ensayos. En primer lugar se probó el aspa **M1** con el LED colocado en el enlace, **se obtuvieron 300 r.p.m. y 0.15 V**. Al retirar la carga el aspa comenzó a **girar a 1.500-1.600 r.p.m.**, esto se produce porque el LED actúa como una carga frenando el motor e impidiendo la libre rotación del aspa. Una vez se comprobó el LED éste se cambió por una resistencia de 25 Ω . **Al conectar la resistencia el aspa se paró** y ni con la ayuda de un impulso manual fue capaz de volver a rotar. Al observar este efecto de la resistencia en el motor se optó por probar **una resistencia más baja de 1 Ω** . Cuando se colocó esta resistencia volvió a ocurrir lo mismo que con la anterior, **el motor no era capaz de moverse con esa carga añadida**.

Con estos resultados se estimó concluir los ensayos con el aspa M1. A continuación se prosiguió con **el aspa M2**.

El aspa M2 fue capaz de girar a 435 r.p.m. con el LED conectado y de sacar un voltaje de 0.4V, lo que supone un aumento considerable comparado con la anterior y confirma que las primeras pruebas, a pesar de no contar con un instrumento de medida de la velocidad, dieron los mismos resultados. Durante esta prueba **el LED demostró una mayor consistencia en la iluminación**. Para la siguiente parte el LED fue retirado para comparar los resultados con los anteriores. Sin el LED colocado, **el aspa alcanzaba una velocidad de 1.500-1.600 r.p.m.** igual que en el aspa M1.

En ambos casos las hélices mostraban una medida de fuerza de 0'59N.

Tras ensayar las dos aspas se colocó el **aspa M3**. Esta aspa en la prueba anterior no había sido capaz de girar con la velocidad del viento. En este caso siguió dando el mismo resultado. **El aspa no se movía**. Se probó a invertir el ángulo para comprobar si se obtenía un resultado diferente pero la hélice no rotaba.

PRIMERAS CONCLUSIONES

Tras estas dos primeras pruebas se llegó a las siguientes conclusiones:

- **El aspa que mejor puede funcionar es la que tiene solamente el ángulo θ .**
- El ángulo β deja pasar el aire y no impulsa el aspa lo que provoca que no gire.
- **El motor no es capaz de generar la suficiente potencia para encender el LED** bien ya sea como consecuencia de que las aspas no le proporcionan bastante par o porque él mismo no es capaz de generar más.
- **El motor se frena bastante** aunque se le añada una pequeña carga pasando de 1.500 r.p.m. a 300 o 400 r.p.m.

Se han buscado **soluciones a los problemas** que se han encontrado durante las primeras pruebas. Varias de las opciones pueden consistir en:

- Hacer **pruebas con el motor en solitario** conectándole otro motor para comprobar la potencia, corriente y voltaje que es capaz de generar.
- **Reducir la impedancia de las resistencias usadas.**
- **Aumentar el tamaño de la pala** para que el motor tenga mayor par.
- Hacer pruebas con **otros motores.**
- Añadir más palas creando **una hélice.**

Con estas soluciones sobre la mesa se procedió a realizar una tercera prueba.

2.1. Diseño de las palas

PRUEBA 3

Tras los resultados de las primeras pruebas se decidió **hacer nuevos modelos de hélice**. Manteniendo el modelo empleado se pasó de tener una sola aspa **a tener un modelo de 2 y 3 aspas**. En la Fig.18 y Fig.19 se pueden ver los resultados de estos nuevos modelos.



Fig.18: Modelo de dos aspas.



Fig.19: Modelos de tres aspas.

Como anteriormente ya se había decidido **que el ángulo θ era el óptimo** se les aplicó este ángulo a ambas hélices. En el anterior modelo se había colocado el eje de giro coincidente con el centro de masas, en este nuevo **se tiene que descartar este formato** ya que, de lo contrario, no estaría equilibrado al ser simétrico. Las dos nuevas palas tienen esta denominación:

- H3 –C2'5: modelo de 3 aspas con la medida de $c=2'5$ cm.
- H2 –C2'5: modelo de 2 aspas con la medida de $c=2'5$ cm.

El resto de modelos se mantienen iguales.

También se realizaron **cambios en el bastidor** para permitir pasar al flujo del aire, creando unos huecos en la parte más cercana al motor. Fig.20.



Como se ha comentado antes, **estaba la opción de realizar pruebas con un motor diferente**. Para ello se cogió **un motor de secador con escobillas**. Este motor al haber sido obtenido de un secador **no se disponía de sus especificaciones técnicas** más allá de lo indicado en su borde:

Fig.20: Nuevo bastidor con huecos.

- Voltaje: 36 V
- Velocidad: 19.000 r.p.m.

2.1. *Diseño de las palas*

Una vez se definieron las nuevas palas y el nuevo motor se procedió a las pruebas.

Primer ensayo

En primer lugar se probó **el motor sin escobillas** de la prueba anterior con el modelo **H3 – C2'5**. Se empezó con el **túnel de viento al 7** (velocidad de 9'8 m/s). En esta velocidad y con este modelo **el motor era muy inestable** y daba resultados muy dispares, pasaba de medir **3'4 mV a -4'7 mV**. La velocidad sin el LED colocado estaba entre **3.360 r.p.m. y 3.400 r.p.m.** Al aumentar **la velocidad al 10** (velocidad de 13'2 m/s) **las revoluciones no varían y el voltaje permanece igual**.

Se decidió hacer la prueba de comprobar cómo se comportaba cuando la velocidad era más baja que lo que se estaba probando. Al rebajar el túnel de viento al **nivel 5** el eje siguió girando a **menor velocidad 1.000 r.p.m.**

Segundo ensayo

Para el segundo ensayo que se realizó se decidió **cambiar el motor** dada la alta inestabilidad y las bajas corrientes que estaba generando el primer motor. Así que el siguiente ensayo se realizó con **el motor de secador con escobillas** anteriormente descrito. Para medir la velocidad en este motor no se disponía de una superficie amplia como en el anterior así que el reflector se colocó en las hélices. Hay que decir que al colocar en esa posición el reflector las medidas pueden no ser tan precisas como en las pruebas anteriores.

A este motor se le colocó el modelo **H2 –C2'5**. Al colocar el túnel en **el nivel 7** de potencia del túnel de viento el motor era capaz de **generar 6V y llegar a las 10.000 r.p.m.** Esto ya supone un gran aumento y una diferencia considerable con el motor anterior. Al subir el túnel de viento **al punto 10**, el motor marcaba **12'3V y alcanzaba una velocidad de 20.000 r.p.m.**

Para poder comparar mejor los resultados también se realizó el ensayo con el modelo **3H– C2'5**. Al **nivel 5 del túnel** de viento el motor proporcionaba **2'2V** y tenía una **velocidad de 1.200 r.p.m.** Al **nivel 7** el **voltaje era 6'4 V y la velocidad 3.500 r.p.m.** Al **nivel 10** eran **12'3V y 6.800 r.p.m. de velocidad**. Este motor tenía **mucha más estabilidad que el anterior**, su voltaje apenas variaba mientras se tomaban las medidas.

2.1. *Diseño de las palas*

Tercer ensayo

Como este motor era con el que mejor resultados se habían obtenido se procedió a hacer el siguiente ensayo con él. Se trataba **de colocar dos resistencias en serie y un LED para medir la corriente que genera el motor**. Las resistencias empleadas eran de **200 Ω y 220 Ω** , al ponerlas en serie suman una resistencia **total de 420 Ω** . Con esto se obtuvieron las siguientes medidas: al poner el túnel de viento en **el nivel 10** el polímetro **marcaba 50 mA** y al poner el túnel de viento al **nivel 7 caía a 20 mA**. Cabe destacar que al medir estos valores y cambiar la escala en el polímetro **daban resultados no coherentes**, se mantenía en todo momento el valor de 50 o 20. En futuros ensayos se buscará corregir la medición de la corriente suministrada.

Cuarto ensayo

Con la intención de obtener más datos con los que comparar se obtuvo **un tercer motor similar a uno de scalextric pero sin escobillas**. De este motor **no se conocía ningún dato**. Se realizó la prueba con ambos modelos de hélices resultando en estos datos:

- Con el túnel de viento al nivel 6 y H2 –C2'5: 0'43 V y 3.500 r.p.m.
- Con el túnel de viento al nivel 7 y H2 –C2'5: 0'5 V y 12.000 r.p.m.
- Con el túnel de viento al nivel 10 y H2 –C2'5: 0'96 V y 7.600 r.p.m.

- Con el túnel de viento al nivel 6 y H3 –C2'5: 0'41 V y 3.350 r.p.m.
- Con el túnel de viento al nivel 7 y H3 –C2'5: 0'52 V y 4130 r.p.m.
- Con el túnel de viento al nivel 10 y H3 –C2'5: 0'89 V y 7250 r.p.m.

De estas medidas destaca **“Con el túnel de viento al nivel 7 y H2 –C2'5”** por su **inconsistencia en la velocidad** con el resto de medidas que le acompañan y por no seguir una progresión lineal. Esto lo achacamos **a un error de medición** con el tacómetro mientras se hacían las pruebas.

SEGUNDAS CONCLUSIONES

De estas pruebas sacamos las **siguientes conclusiones**:

- El **primer motor sin escobillas no es lo suficientemente constante** ni llega a producir el voltaje necesario para iluminar el LED. De hecho se queda en unos **valores extremadamente bajos**.
- El **motor de secador con escobillas funciona especialmente bien** llegando a los valores necesarios.
- En las **mediciones de corriente** es posible que se produjese un **fallo en la medida** y se intentará obtener una mejor medida en ensayos futuros.
- Viendo los resultados de las **hélices ambas son capaces de obtener valores similares de voltaje a la misma velocidad del viento**, pero la hélice H3 –C2'5 parece girar más lento.
- En un **futuro ensayo habría que comprobar si efectivamente la hélice H3 –C2'5 gira a menores revoluciones que H2 –C2'5**.
- Hay que buscar una manera de colocar el reflectante en el eje del motor para asegurar la fiabilidad de las mediciones.

Puesto que en estas pruebas no se obtuvieron conclusiones precisas sobre si el generador iba a ser capaz de proporcionar la energía suficiente al LED, se decidió realizar un **ensayo diferente**.

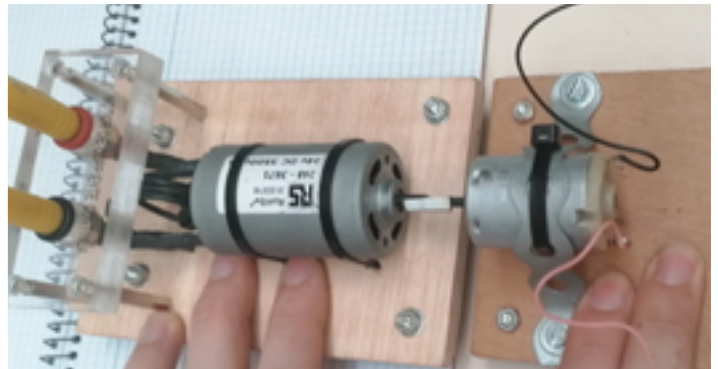
2.1. Diseño de las palas

PRUEBA 4 (MOTOR)

En esta prueba se va a ensayar la **capacidad del motor sin las hélices que se le han diseñado**. Para ello se le va a **conectar otro motor diferente** que se encargará de mover nuestro motor de secador con escobillas.

Este **nuevo motor alcanza sólo hasta las 3.500 r.p.m.** así que solo se podrá comprobar la eficiencia del motor **hasta esas velocidades**. Como en la prueba anterior se obtenían 6'4 V a esas velocidades es posible que con eso sea suficiente para saber si llegaría a iluminar el LED.

Para **unir los dos motores** se emplea un tubo termorretráctil y sobre este se coloca una pieza reflectante para medir la velocidad. El montaje de los motores puede verse en la Fig.21. El primer ensayo que se realiza es **sin carga para comprobar la tensión y hasta qué velocidad se puede forzar el motor conductor**.



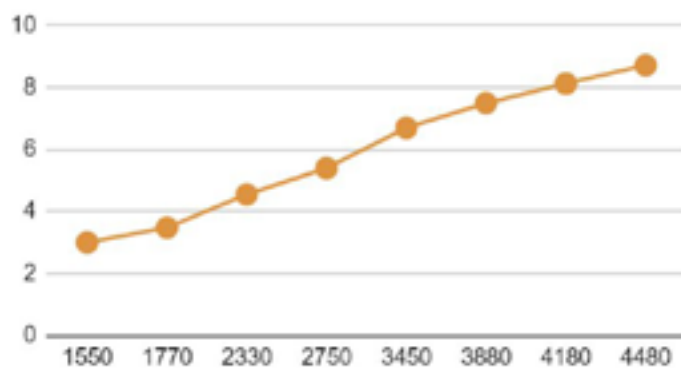
En la Tabla 5 se puede ver como **al aumentar las revoluciones la tensión va aumentando**. Se ha conseguido llegar a un máximo de **4.480 r.p.m. con el motor conductor y nuestro motor llega hasta los 8'72V**.

Fig.21: A la izquierda en motor nuevo, a la derecha nuestro motor unidos por un termorretráctil.

Tensión (V)	Velocidad del motor (r.p.m.)
3	1550
3'48	1770
4'55	2330
5'4	2750
6'7	3450
7'5	3880
8'13	4180
8'72	4480

Tabla 5: Valores obtenidos de tensión con sus velocidades correspondientes.

Con estos datos se ha obtenido una gráfica para realizar una mejor evaluación de la evolución de la tensión.



Gráfica1: Tensión (V) respecto la velocidad del motor (r.p.m.)

2.1. *Diseño de las palas*

Una vez hechos los ensayos en vacío se pasa a **colocar resistencias para medir la corriente además del voltaje y velocidad**. Una vez se tengan estos datos será posible **calcular la potencia** del motor gracias a la fórmula:

$$P = V \cdot I$$

La **primera resistencia** con la que se realizó el ensayo **era de 100 Ω** . El montaje del circuito puede verse en la Fig.22. Para medir la corriente se empleó un amperímetro colocado en el cable de salida del motor. Los resultados se recogen en la Tabla 6.

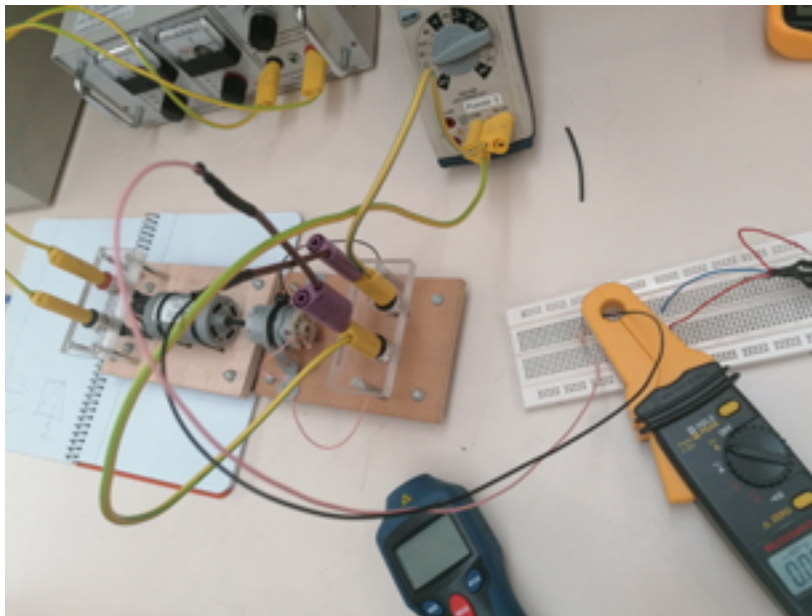


Fig.22: Montaje del circuito empleado para las pruebas.

2.1.

Diseño de las palas

	Tensión (V)	Corriente (mA)	Velocidad del motor (r.p.m.)	Potencia (mW)
Resistencia de 100 Ω	2,62	25	1477	65,5
	4,87	48	2738	233,76
	5,75	57	3273	327,75
	6,57	65	3770	427,05
	7,2	73	4159	525,6

Tabla 6: Resultados de la primera prueba con una resistencia de 100 Ω .

	Tensión (V)	Corriente (mA)	Velocidad del motor (r.p.m.)	Potencia (mW)
Resistencia de 50 Ω	2,3	43	1450	98,9
	3,5	69	2230	241,5
	5,2	103	3333	535,6
	6,1	120	3881	732

Tabla 7: Resultados de la siguiente prueba con una resistencia de 50 Ω .

	Tensión (V)	Corriente (mA)	Velocidad del motor (r.p.m.)	Potencia (mW)
Resistencia de 25 Ω	1,9	80	1420	152
	2,9	120	2150	348
	4,3	175	3206	752,5
	5,1	208	3871	1060,8

Tabla 8: Resultados de la siguiente prueba con una resistencia de 25 Ω .

	Tensión (V)	Corriente (mA)	Velocidad del motor (r.p.m.)	Potencia (mW)
Resistencia de 9,75 Ω	2,25	54	1446	121,5
	3,4	87	2230	295,8
	5	126	3313	630
	5,8	147	3840	852,6

Tabla 9: Resultados de la siguiente prueba con una resistencia de 9'75 Ω .

2.1. *Diseño de las palas*

Como se puede ver en la Tabla 6 a la máxima velocidad se alcanza 0'525 W. Para poder iluminar el LED se necesitaría llegar a 1W y 3V.

Para comprobar cuál sería la resistencia óptima se va a seguir bajando el valor de la resistencia hasta ver cuál es el punto máximo de la potencia. Si se sigue bajando el valor llegará a un punto donde la potencia ya no aumente más sino que empezará a decrecer.

Para el siguiente la resistencia que se va a emplear es de **50 Ω** . Al no tener una de esa impedancia exacta se ha optado por **colocar dos de 100 Ω en paralelo**.

En la Tabla 7 se observa **como la corriente sigue aumentado al igual que la potencia** pero aún no alcanza los valores que se necesitarían.

Se vuelve a cambiar la resistencia, **esta vez cambia a 25 Ω** . Se ha conseguido de la misma forma poniendo 4 resistencias de 100 Ω en paralelo. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Con esta resistencia de 25 Ω se ve que **por fin se alcanza el vatio de potencia con 3.871 r.p.m., 5'1 V y 208 mA**. Con esta medida se comprueba que **el motor es capaz de iluminar el posible LED** para la linterna. Mirando los resultados de las pruebas anteriores en la **PRUEBA 3** al emplear este motor con el modelo **3H –C2'5** se llegó a los **3.500 r.p.m. y 6'4V**. La velocidad es similar a la obtenida en esta última tabla y su voltaje también.

A pesar de haber encontrado una medida con la que hacer funcionar el LED se va a realizar **otro ensayo para comprobar si es posible sacarle más rendimiento al motor**. En este ensayo se usa una resistencia de **9'75 Ω juntando 4 resistencias de 39 Ω en paralelo**. En la Tabla 9 están los resultados.

Esta vez se ve como **la potencia del motor ha disminuido**, lo que indica que su resistencia óptima se encontrará alrededor de los 25 Ω .

Una vez se ha encontrado este punto en el motor no se van a llevar a cabo más ensayos puesto que **se ha comprobado que es posible llegar a una potencia de 1 W con las resistencias adecuadas**.

2.1.

Diseño de las palas

Las conclusiones de esta prueba son:

- El motor a pesar de no poder haber sido probado a 20.000 r.p.m. **es capaz de proporcionar 1W a velocidades mucho más bajas.**
- La **resistencia se encontrará entre los 25 Ω y 30 Ω .**

Una vez se ha comprobado que el motor tiene capacidad de iluminar el LED se va a volver al túnel de viento para probarlo con las hélices y las resistencias adecuadas.

Como es posible que **el motor no tenga par suficiente** se ha hecho **nuevos modelos de hélices** siguiendo en la dinámica de los anteriores. Se ha **imprimido uno de 5 hélices** y se han hecho **nuevos modelos aumentando ligeramente el tamaño de la pala.**

2.1. Diseño de las palas

PRUEBA 5

En esta quinta prueba se van a emplear los siguientes modelos:

- H5 –C2'5: modelo de 5 aspas con la medida de $c=2'5$ cm.
- H3 –C2'5: modelo de 3 aspas con la medida de $c=2'5$ cm.
- H2 –C2'5: modelo de 2 aspas con la medida de $c=2'5$ cm.
- H5 –C3: modelo de 5 aspas con la medida de $c=3$ cm.
- H3 –C3: modelo de 3 aspas con la medida de $c=3$ cm.
- H2 –C3: modelo de 2 aspas con la medida de $c=3$ cm.
- D2-5: modelo genérico de aspas de un dron con un diámetro de 5 cm.



Dos de estos modelos son **repeticiones de la PRUEBA 3** pero se quiere comprobar su eficacia en las mismas condiciones que sus semejantes y con el mismo circuito eléctrico. Se ha añadido un **modelo de aspas de dron genérico** obtenidas de la página web cults3D con el fin de comprobar si el **nuevo diseño es mejor** en comparación con otros ya fabricados.

Fig.23: Todos los modelos de hélices para ensayar en la prueba 5.

El **circuito montado** para esta prueba **es similar al de las anteriores**, la energía producida por el motor alimenta un LED después de pasar por una resistencia. Se van a **medir** los siguientes parámetros:

- Voltaje (V)
- Corriente (mA)
- Velocidad (r.p.m.)

2.1. Diseño de las palas

Una vez se tengan estos datos se calculará los vatios que se producen. Para las resistencias se van a emplear las mismas que la prueba anterior de 220, 56 y 25 Ω . El LED empleado se va a sustituir por el LED que se prevé utilizar en el prototipo final y uno similar de más potencia. Para consultar las características de los LED dirijase a los Anexos apartado 2.1. Componentes eléctricos.

La prueba practicada con los leds, resistencias y hélices descritos aportó los siguientes resultados:

Hélice	Velocidad túnel	Resistencia	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Velocidad (r. p.m.)	Potencia (mW)	LED
Dron	10	-	7.5-7.35	-	3930-4030	-	LED AZUL 5W
	9	-	5.3-5.10	-	2804	-	
	10	220	6,7	18	3720	120,6	
		56	5,28	44	3090	232,32	
		39	4,87	50	2860-2900	243,5	
		20	4,05	55	2460-2480	222,75	
		9.75	3,56	58	2220-2200	206,48	
	9	9.75	2,85	18	1640-1650	51,3	

Tabla 10: Resultados del ensayo con las aspas genéricas de dron.

Hélice	Velocidad túnel	Resistencia	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Velocidad (r. p.m.)	Potencia (mW)	LED	Valor porcentual
H2-C2'5	8	9.75	3,9	78		304,2	LED AZUL 5W	0,44
H2-C3	10	220	12,05	40	7250	482		0,69
			11,2	40	6740	448		0,64
H3-C2'5			10,5	40	6770	420		0,60
H3-C3			10,9	44	6530	479,6		0,69
H5-C2'5			11,60	60	7014	696		1,00
H5-C3			11,1	60	6765	666		0,96

Tabla 11: Resultados del ensayo con la resistencia de 220 Ω .

Hélice	Velocidad túnel	Resistencia	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Velocidad (r. p.m.)	Potencia (mW)	LED	Valor porcentual
H2-C2'5	10	56	8,2	90	5350	738	LED AZUL 5W	0,65
H2-C3			9,25	105	6076	971,25		0,86
H3-C2'5			9,78	55	6400	537,9		0,48
H3-C3			9,6	60	-	576		0,51
H5-C2'5			8,91	100	5950-6000	891		0,79
H5-C3			9,4	120	-	1128		1,00

Tabla 12: Resultados del ensayo con la resistencia de 56 Ω .

2.1. Diseño de las palas

Hélice	Velocidad túnel	Resistencia	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Velocidad (r. p.m.)	Potencia (mW)	LED	Valor porcentual
H2-C2'5	10	25	7,24	142	5075	1028,08	LED AZUL 5W	0,82
H2-C3			8,38	70	2854	586,6		0,47
H3-C2'5			7,2	107	5370	770,4		0,62
H3-C3			7,94	121	5810	960,74		0,77
H5-C2'5			7,6	131	5851	995,6		0,80
H5-C3			7,8	160	5762	1248		1,00

Tabla 13: Resultados del ensayo con la resistencia de 25 Ω .

Hélice	Velocidad túnel	Resistencia	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Velocidad (r. p.m.)	Potencia (mW)	LED	Valor porcentual
H2-C2'5	10	25	6,15	120	7070	738	LED BLANCO DE 1W	0,75
H2-C3			8,20	120	5870	984		1,00
H3-C2'5			7,08	125	4825	885		0,90
H3-C3			7,88	100	5160	788		0,80
H5-C2'5			7,26	130	5300-5500	943,8		0,96
H5-C3			7,7	125	7000	962,5		0,98

Tabla 14: Resultados del ensayo con la resistencia de 25 Ω y el LED de 1W.

En las tablas se ha añadido **el valor en tanto por uno en función de la máxima potencia** para ver cuál es la hélice idónea para el prototipo. Comparando todas las tablas se observa que la hélice que **mejor rendimiento tiene es la H5-C3, por lo tanto es la que se escoge para el diseño final.**

En el ensayo con las **aspas del dron D2-5** se probaron todas las resistencias que se tenían para controlar la corriente **pero con ninguna se logró alcanzar las potencias** que se lograron con el resto de hélices.

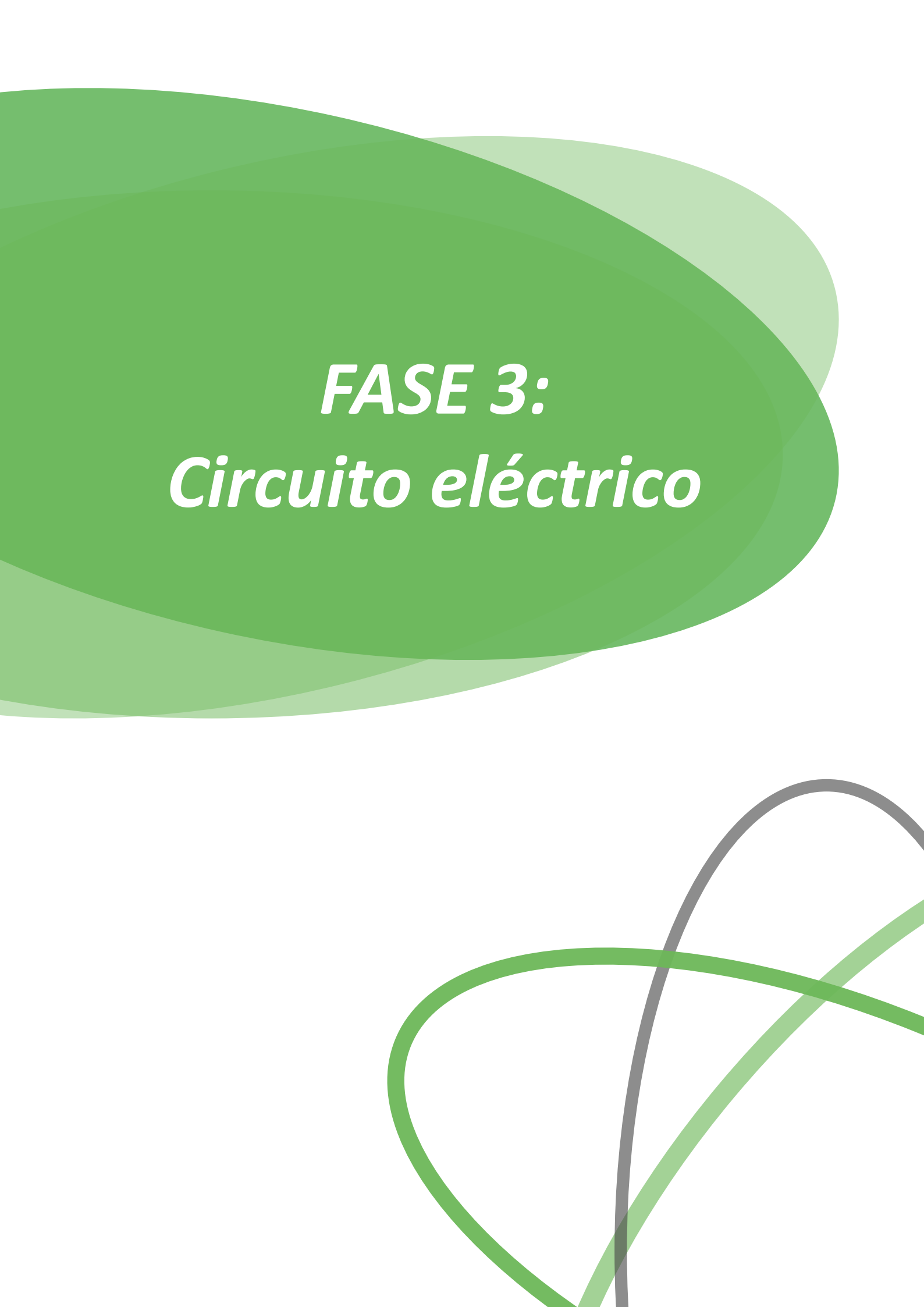
CONCLUSIONES FINALES

La hélice elegida es H5-C3, esta hélice tiene 5 aspas, la medida $c=3$ y un radio de 5'5 centímetros. En las primeras pruebas al contar solo con un aspa no se tenía suficiente par como para hacer funcionar el circuito así que al añadir más aspas se consiguió que el motor generase la energía suficiente.

Esta hélice, a falta de tener el resto del circuito, **puede hacer funcionar el LED elegido** con la resistencia asignada proporcionando una iluminación más que suficiente para la tarea que se le requiere.

Durante las pruebas en el túnel de viento **se realizaron grabaciones** tanto del montaje del circuito como del funcionamiento de las hélices con los diferentes parámetros. A continuación **se adjunta un enlace a Google Drive** donde se encuentran los vídeos ordenados en carpetas correspondientes a cada prueba.

https://drive.google.com/drive/folders/1svZyJCqFTySOS14i1ASA5UNg5_TcB2TO?usp=sharing

The background features several overlapping, rounded green shapes in various shades of green, creating a layered effect. In the bottom right corner, there are three thick, curved lines: one in a dark grey color and two in shades of green, overlapping each other.

FASE 3:
Circuito eléctrico

3.1. Circuito eléctrico

DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

Para el diseño del circuito eléctrico se comenzó **consultando páginas** como la de *instructables* para ver **qué soluciones habían hecho otras personas** a funciones como la que se quiere implementar en la linterna.

En un principio se busca que la linterna **tenga una batería recargable** que se cargue gracias a **la fuerza del viento cuando se está pedaleando en la bici y la linterna no está encendida.**

En las soluciones de otras personas se planteaba el circuito **con un puente de diodos** para corregir la corriente del motor. También se añade **un transistor y un regulador para controlar el voltaje.** Un ejemplo del **primer borrador del circuito** para la linterna está en Fig.24.

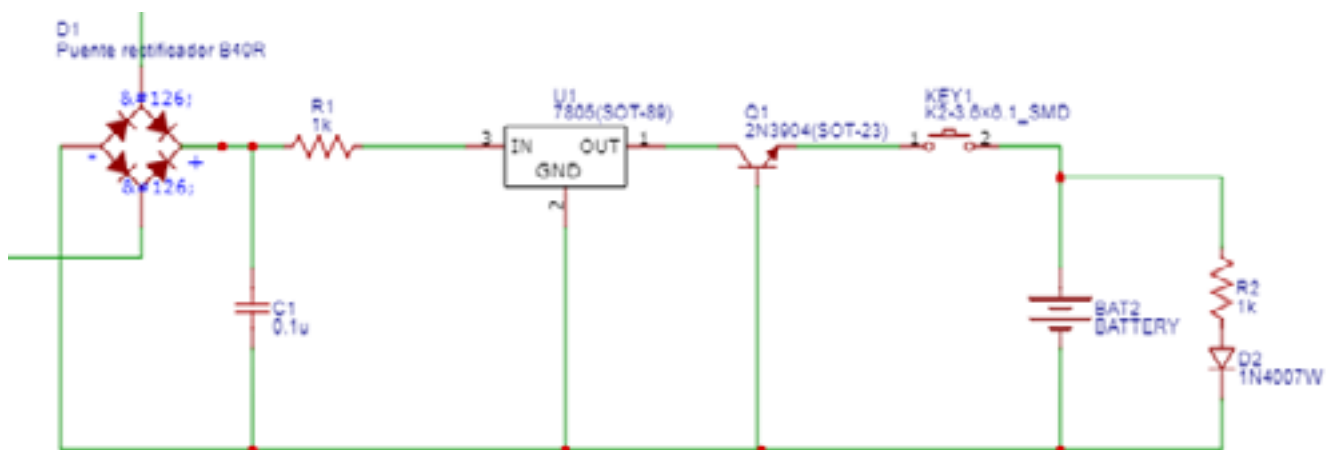


Fig.24: Primer borrador del circuito.

Al no encontrar una solución definitiva y satisfactoria se **consultó al profesor de Tecnología Eléctrica y Electrónica D. Juan Antonio Tejero**, a quien agradezco la ayuda prestada. Él recomendó **eliminar el puente de diodos** puesto que los motores que teníamos eran **de corriente continua** y por lo tanto **no se necesitaba el puente.** También **se eliminó el regulador** puesto que no sabíamos la cantidad de voltaje que iba a producir el motor y sería contraproducente regular un voltaje que se desconoce. Para cambiar esto se **emplea en su lugar un diodo zener combinado con un transistor.**

3.1. Circuito eléctrico

Para poder cargar una batería y que el LED siga luciendo cuando la bici esté parada se le **coloca una batería que se irá cargando cuando el LED no esté en funcionamiento**. Este LED lleva una **resistencia adicional** para evitar su sobrecarga.

Para **seleccionar el LED** apropiado para la linterna **se consultó la normativa que se aplica a este tipo de dispositivos**. En este caso se aplica el Real Decreto 339/2014, de 9 de mayo por el que se establecen los requisitos para la comercialización y puesta en servicio de las bicicletas y otros ciclos y de sus partes y piezas. Publicado en el BOE núm. 124 de 22 de mayo de 2014. Esta normativa establece que la intensidad luminosa medida en candelas para los faros delanteros debe de estar comprendida entre 4 y 60 Cd.

La medida de candelas no es una unidad que se suele emplear en la medida de los LED ya que depende del ángulo de apertura que se le aplique. La medida del **flujo luminoso de los LED son los lúmenes**. A la hora de elegir el LED a emplear en la linterna, **se va a comprobar cuál es el mayor flujo luminoso que puede tener el LED, al combinarlo con diversos ángulos de apertura, sin llegar a sobrepasar las candelas permitidas**.

Los ángulos de apertura para los que se van a realizar las combinaciones **son 30, 45, 60 y 90 grados**. Considerando que lo que interesa es iluminar el espacio central delantero de la bici no es necesario añadir ángulos de mayor o menor apertura. Una vez establecidos los ángulos se harán pruebas **con intensidades lumínicas de 4, 40 y 60 candelas para comprobar qué lúmenes se obtienen**.

Ángulo	Candelas	Lúmenes	Ángulo (rad)
90	4	7,361209476	1,570796327
60	4	3,367148858	1,047197551
45	4	1,913116012	0,7853981634
30	4	0,8563773905	0,5235987756
90	40	73,61209476	1,570796327
60	40	33,67148858	1,047197551
45	40	19,13116012	0,7853981634
30	40	8,563773905	0,5235987756
90	60	110,4181421	1,570796327
60	60	50,50723287	1,047197551
45	60	28,69674017	0,7853981634
30	60	12,84566086	0,5235987756

Tabla 15: Tabla con las intensidades lumínicas combinadas con los ángulos para obtener los lúmenes.

3.1. Circuito eléctrico

Como se puede ver en la Tabla 15 el **máximo número de lúmenes que se pueden obtener con estos datos es 110 lm con una apertura de 90º y un máximo de 60 Cd.**

Gracias a estas comparaciones se buscará un LED que tenga un **flujo luminoso de cerca 110 lm.**

Observando los tipos de LED disponibles en el mercado que fuesen adecuados para el proyecto **se decidió optar por uno de 100 lm** ya que si se elevaban los lúmenes mucho más **se requería mucha más potencia y voltaje y no era seguro que se fuera a conseguir con los motores de los que se disponía.**

El LED cuenta con las siguientes características:

- Voltaje: 3V
- Potencia: 1W
- Corriente: 350 mA
- Flujo luminoso: 100 lm

Gracias a la PRUEBA 4 mencionada en la Fase 2. Diseño de las palas, se obtuvieron datos para poder **aproximar el valor de la resistencia que debía de ir adjunta al LED.** Con la Prueba 5 se probaron las hélices con el LED seleccionado y la resistencia de 25 Ω . **Con este valor se consiguió llegar a cumplir los requisitos que pide el LED para poder lucir con 100 lm.**

Puesto que es conocida la corriente que consume el LED **se buscará una batería que le pueda proporcionar la corriente suficiente para garantizar cierta autonomía.** Las opciones que se manejaban para la **batería eran una de 3'7V y 1.800 mAh de polímero litio y otra batería recargable de 3'6V y 700 mAh de NiMH.** En un principio se pensaba emplear la primera batería de 1.800 miliamperios hora puesto que proporcionaba más de 5 horas de autonomía a la linterna. Al investigar más en profundidad este tipo baterías de descubrió que a menos que fueran alimentadas por una fuente estable pueden tener un malfuncionamiento y provocar un incendio, así que, **en favor de la seguridad del usuario se optó por una línea más segura aunque no durase tanto.**

Siguiendo con este razonamiento **la batería escogida fue la de 3'6V y 700 mAh que le proporciona una autonomía de dos horas cuando el generador no esté funcionando.**

3.1. Circuito eléctrico

CIRCUITO 1

Una vez definidas las partes más básicas del circuito se comenzó a plantear el resto. **La primera propuesta consiste en que el generador sea un generador de corriente continua.** Para conseguir lograr esto se emplean **un diodo zener** combinado con un **transistor PNP** y **dos resistencias**. De esta manera el circuito quedaría de esta forma:

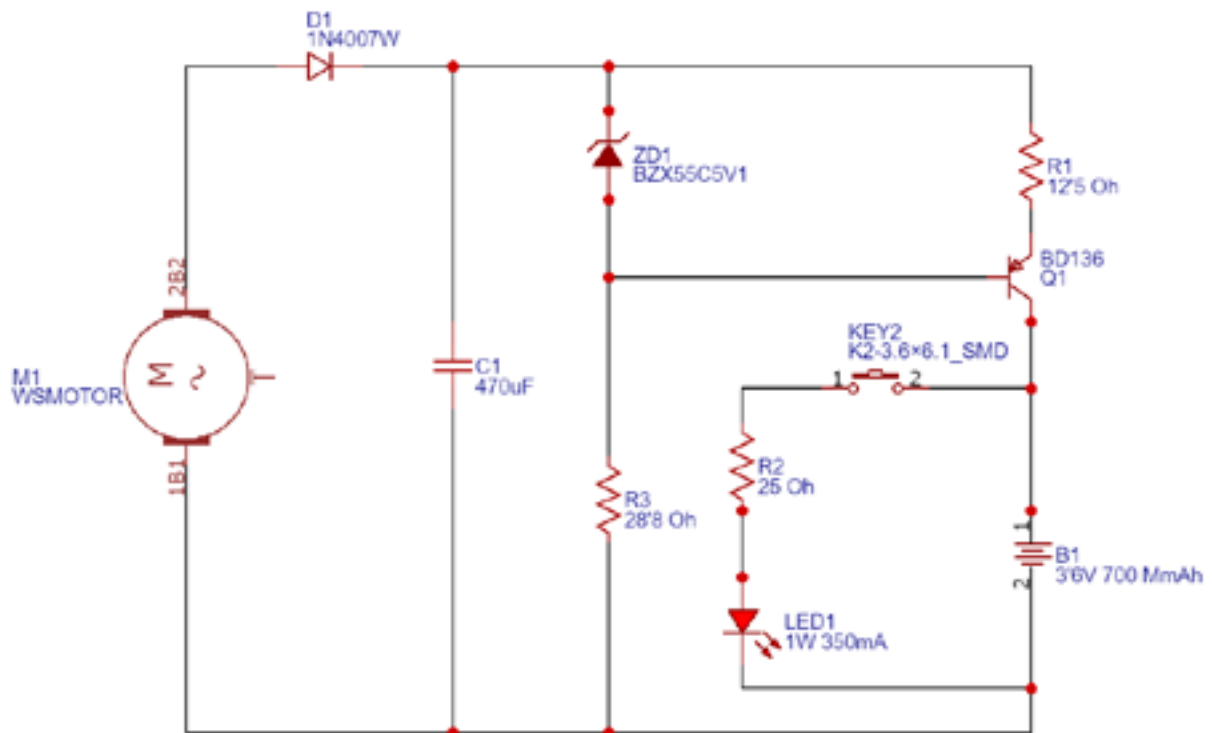


Fig.25: Propuesta para el primer circuito.

Al elegir la hélice H5-C3 se sabe que la tensión que genera está en **7,7 V** y la corriente **alrededor de 125 mA**. Gracias a estos valores podemos emplear la Ley de Ohm y hallar los valores de las resistencias R3 y R1. El valor de la resistencia R2 se ha determinado con las pruebas del túnel de viento, **siendo este 25 Ω** .

3.1. Circuito eléctrico

La primera resistencia que se **calcula es R1**. Como el LED necesita una **corriente de 350 mA** para iluminar con los 100 lm de máximo se tomará esa corriente para hacer los cálculos. El **voltaje** que ha de pasar por esa resistencia será la **diferencia entre el voltaje del diodo zener y la tensión base en el transistor**. La tensión del zener viene dada según el **tipo de diodo escogido, en este caso es de 5,1 V**. En los transistores siempre cae la **misma tensión, 0,7 V**. Por lo tanto la operación será la siguiente.

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R1} \quad I_{R1} = \frac{V_Z - V_{BE}}{R1} \quad 0'35 = \frac{5'1 - 0'7}{R1} \quad R1 = 12'5 \Omega$$

Para el cálculo de R3 se emplea el mismo procedimiento. Esta vez como la corriente está regulada viene dada por el fabricante del diodo zener. **En el caso de este diodo son 90 mA**. Se necesita también la tensión que hay de diferencia entre los dos extremos de la resistencia, en un lado tiene la que se obtiene del zener, 5,1 V, y en el otro la diferencia entre la tensión que sale del generador y la mencionada del diodo. **Este resultado da 2,6 V**. Con estos datos se puede aplicar la Ley de Ohm y obtener la resistencia.

$$I_{R3} = I_Z = \frac{V_{R3}}{R3} \quad 0'09 = \frac{2'6}{R3} \quad R3 = 28'8 \Omega$$

Con estas operaciones ya se tendrían definidas las resistencias y el diodo zener que se emplea. **Al comprobar la potencia que pasa por las resistencias**, para saber si necesitan una mayor protección para evitar el sobrecalentamiento, **se obtiene que pierde más de un vatio en la resistencia R1**.

$$P = R \times I^2 \quad P = 12'5 \times 0'35^2 \quad P = 1'5W$$

Esto llevó a la posibilidad de realizar **un nuevo planteamiento del circuito** que no tuviera tantas pérdidas aunque no se controlase la corriente de una forma tan precisa.

3.1. Circuito eléctrico

CIRCUITO 2

Se planteó un segundo tipo de circuito que **no tuviese tanto componente eléctrico para minimizar las pérdidas dentro del circuito.**

En este diseño **se retiran las dos resistencias R1 y R3, el diodo zener y el transistor.** A cambio de estos componentes se añade un **limitador de corriente** que permita hacer llegar al LED una corriente constante a costa de no tener controlada la tensión. El no controlar la tensión y que ésta llegue a la batería y al LED con picos **puede acortar la vida útil** de estos pero a cambio **se obtiene un circuito con muchas menos pérdidas.**

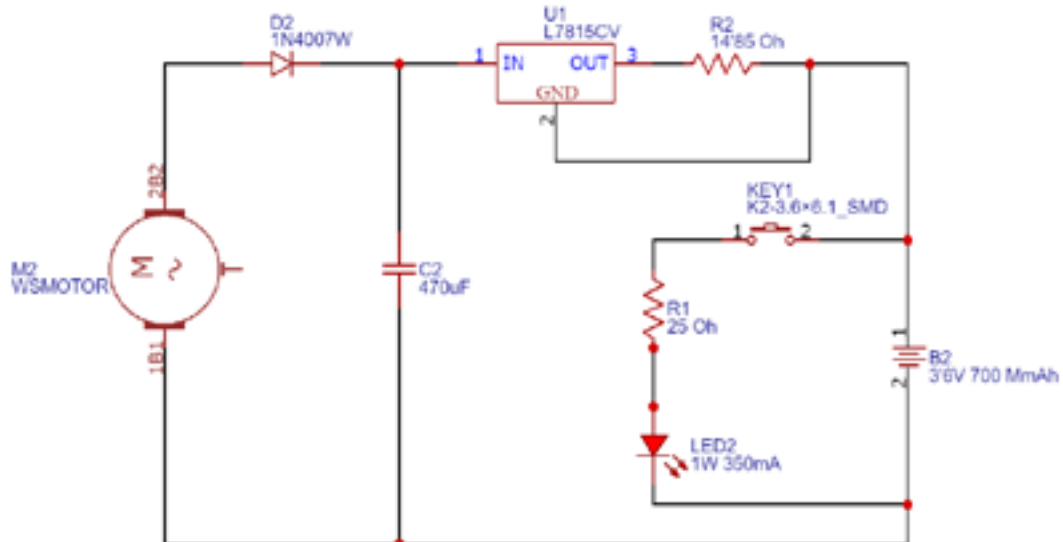


Fig.26: Segunda propuesta para el circuito.

En el circuito se ha instalado el **limitador de corriente** para evitar que el LED **no se quemé** si le llega un pico de corriente más elevado de lo que permiten sus características. La parte del **circuito de LED, batería y resistencia se mantiene igual en ambos circuitos.**

En ambos circuitos se coloca un **condensador en paralelo de 470 microfaradios** para modular los picos de tensión que pueda tener el generador.

Otro elemento que es invariable en ambos casos es el diodo 1N4007. Se trata de un elemento para impedir que cuando el motor no esté produciendo energía **no emplee la batería para hacer girar la hélice y por lo tanto descargar la batería.**

3.1. Circuito eléctrico

CONCLUSIONES

En este apartado se trataba de definir el circuito y sus componentes para poder hacer lucir la linterna. En el proceso **se han planteado dos tipos de circuitos** que tienen sus ventajas y desventajas. Al final la elección de cuál emplear **depende de qué se quiera priorizar**, el **circuito 2 puede que tenga una vida útil más corta que el circuito 1 pero a cambio garantiza una mayor eficacia y que el LED luzca con una mayor potencia.**

En **un principio se va a elegir emplear el circuito 2** ya que como el generador no va a ser constante **no se tiene la garantía de que con el circuito 1 se consiga un adecuado rendimiento** del LED y la batería. La mayor simplicidad en los componentes, así como la garantía de una mayor eficiencia favorecen la decisión de elegir el Circuito 2.

Para consultar las especificaciones de todos los componentes mencionados diríjase al apartado *2.1. Componentes eléctricos de los Anexos.*

The background features several overlapping, semi-transparent red organic shapes in the upper half. In the lower right, there are three thick, curved lines: one red and two grey, overlapping each other.

FASE 4:
Prototipado y
Diseño Final

4.1. Prototipado

Una vez se tienen definidos los componentes eléctricos y la hélice que se va a emplear, se procede a construir el **prototipo y diseñar el modelo final**.

Al tener que incorporar una hélice de **11 centímetros** de diámetro la linterna tendrá un tamaño y unas características formales ajustados a dicha hélice y a los componentes del circuito que es necesario incluir. El **aspecto de la hélice** se puede ver en la Fig.27. Se comienza realizando una **exploración formal** del posible aspecto de la linterna, teniendo en cuenta que hay que **colocar el motor, la batería y la lente con el LED**.



Fig.27: Hélice impresa en 3D

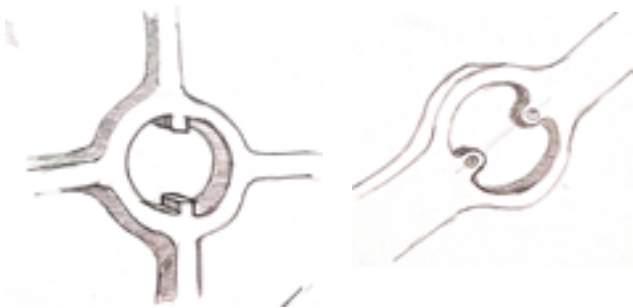


Fig.28, 29, 30 31: Bocetos de la fijación del motor.

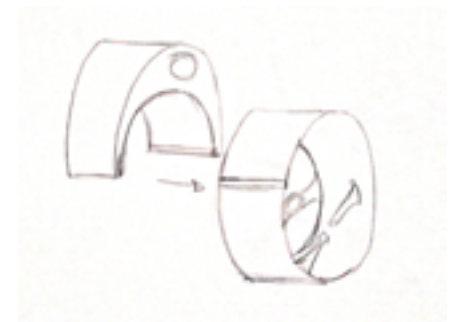
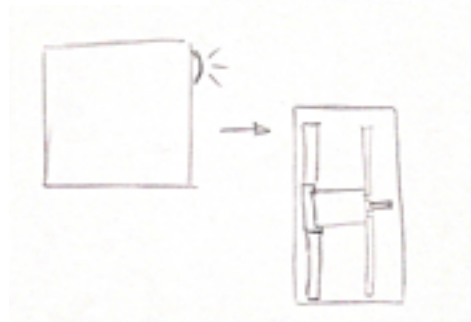
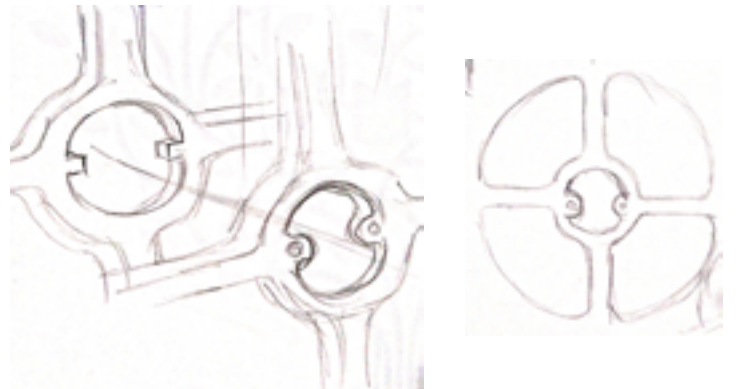


Fig.32,33: Exploraciones de la forma de la linterna.

4.1. Prototipado



Fig.34,35,36: Más exploraciones de la forma de la linterna.

Tras explorar diversas formas de cómo ajustar el motor que se emplea se decide por esta **última opción para el prototipo** Fig.34,35,36.

El prototipo tiene una forma rectangular debido a las **limitaciones en su construcción** y la necesidad de espacio en su interior, además, la impresora 3D puede no ser capaz de reproducir formas tan orgánicas como las del modelo final que más adelante se especifica. Para más detalles en la impresora 3D empleada consulte el punto 3.1. *Impresora* en Anexos.

PROTOTIPO

Para fabricar el prototipo se emplea la misma impresora con la que se han fabricado las hélices. Como es necesario que disponga de un espacio en el interior en el que colocar el circuito se va a **dividir en dos partes** que posteriormente se puedan fijar. Fig.37.

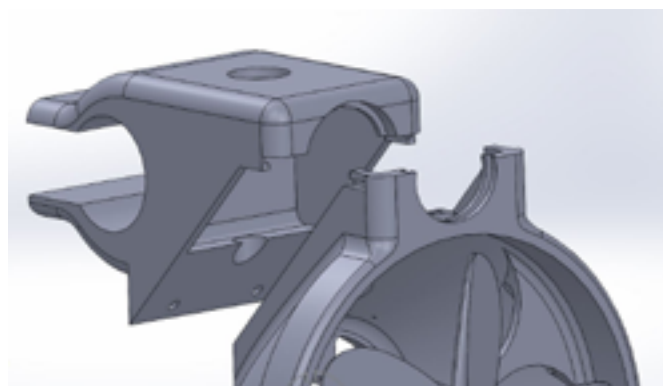


Fig.37: Modelado del prototipo, dividido en dos partes.

4.1. Prototipado

Para colocar el motor se añaden **sujeciones en sus extremos que se aprovechan de la geometría** del motor para fijarlo. En su parte trasera se le han realizado unos huecos para permitir el flujo del aire y que el motor no impida su paso. Para llevar los cables del motor al circuito se le ha añadido un agujero en su parte superior. Fig.38.

En la **zona superior** de la linterna se encuentra todo el circuito eléctrico y su amarre a la bicicleta. **El amarre** está dimensionado de forma que pueda colocarse en los manillares más grandes. Fig.39. Se añade un **agujero pasante** entre los extremos del hueco cilíndrico para poder insertar un tornillo con una tuerca que asegure que la linterna no se caiga cuando se va en la bici.

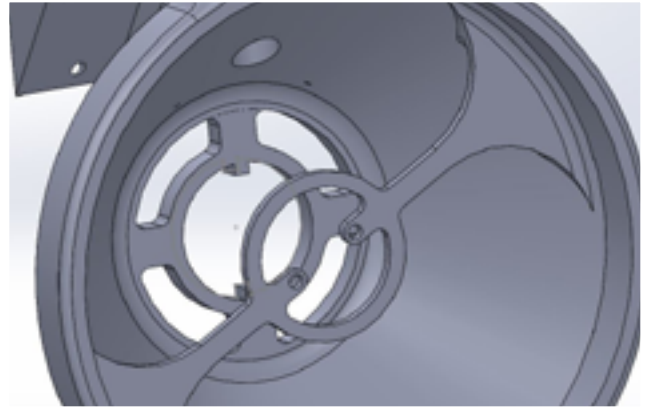


Fig.38: Fijaciones para el motor en el prototipo.



Fig.39: Amarre para el manillar.

Con el objetivo de **poder fijar el led**, se ha diseñado un pequeño hueco detrás de la zona de sujeción de la lente. Fig.40.

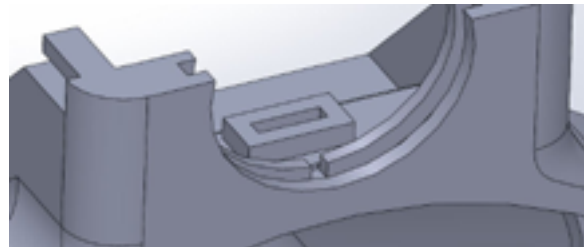


Fig.40: Hueco para el LED.

Se emplea **una lente para concentrar el haz de luz** y conseguir un ángulo de 90 grados como se había establecido en la Fase 3. Fig.41.



Fig.41: Lente empleada en el prototipo

4.1. Prototipado

El circuito a construir es el **Circuito 2** como se ha especificado en la Fase 3 anterior. Primero se monta en **una protoboard** para saber cómo conectar los elementos. El circuito se puede ver en la Fig.42.

A continuación se construye una PCB casera para poner los componentes dentro de la linterna. Fig.43

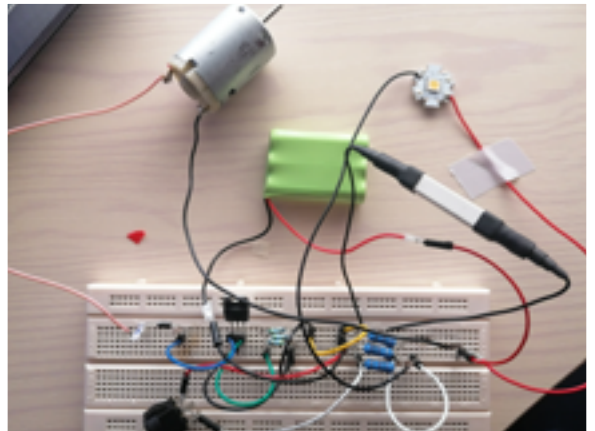


Fig.42: Circuito colocado en una protoboard.

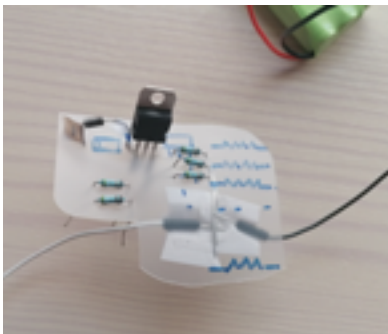


Fig.43: Circuito montado para el prototipo.

En las imágenes que se encuentran a continuación se puede ver el **aspecto final del prototipo**. Fig.,44-48.



Fig.44: Prototipo con el motor colocado.



Fig.45: Parte superior del prototipo.



Fig.46: Lente colocada.



Fig.47 Motor sujetado por las fijaciones.



Fig.48: Parte trasea.

4.2. *Diseño Final*

DISEÑO FINAL

Como para el prototipo se tenían ciertas limitaciones en la forma, se propone un **diseño final ligeramente diferente al prototipo**. Haciendo uso del programa Wings3D se le da una forma más **suave y orgánica** para que esté más en consonancia con el resto del diseño. En la Fig.49 se puede ver la aplicación.



Fig.49: Modelado introducido en el programa Wings3D.

En su parte superior se encuentra **el interruptor** para encender la linterna. Al colocarse en la bicicleta con la zona de la hélice en su parte inferior, este botón queda al alcance de usuario para accionarlo sin dificultad.

Una vez se tiene el modelo definitivo se emplea el programa KeyShot para aplicar **texturas y obtener renders**. Fig.50-55.



Fig.50: Render del diseño final.

4.2. *Diseño Final*



Fig.51: Explosionado de las piezas.



Fig.52: Vista de la hélice.



Fig.53: Vista en planta con el botón de encendido.



Fig.54: Detalle del logo aplicado.

El logo empleado en la bicicleta representa una forma de lince, haciendo alusión a los orígenes de la naturaleza.

Para más renders consúltense el punto 4.1. *Renders de Anexos*

Fig.55: Parte trasera.



4.3.

Conclusiones finales

La elección de este proyecto surgió tras haber cursado la asignatura de Diseño Bioinspirado y querer profundizar más en la materia. Tras contactar con D. Ignacio López Forniés, profesor de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, me propuso este Trabajo Fin de Grado y me pareció interesante poder realizar un proyecto de este estilo.

La **investigación de la semilla** de sámara me descubrió datos y conceptos de la naturaleza curiosos que desconocía y que me permitió realizar un diseño adecuado a las necesidades del trabajo. Todos estos estudios estaban plagados de investigaciones matemáticas que no fueron necesarias al final pero que hubo que discernir a través de ellas para encontrar las soluciones adecuadas al proyecto.

La parte de la **realización de las pruebas** me pareció sin duda la más atractiva por el desconocimiento de los resultados que iba a obtener y el porqué algunas de mis hélices diseñadas exhibían esos comportamientos. La experimentación practicada llevó a conclusiones que ayudaron en la toma de decisiones para introducir modificaciones que permitieron a su vez nuevas experimentaciones. El **túnel de viento** de la EINA me proporcionó la gran oportunidad de ensayarlas, cosa que de otra manera no hubiera sido capaz de comprobarlas.

En el **diseño del circuito eléctrico** es sin duda donde encontré una mayor dificultad. En mi carrera la profundidad de los conocimientos de tecnología eléctrica no llegaba a cubrir lo que necesitaba para el proyecto, así que tuve que recurrir a la ayuda del profesor D. Juan Antonio Tejero a instancias de mi tutor, D. Ignacio López. Su colaboración me resultó de suma ayuda y se consiguió hacer un circuito funcional.

El **diseño final** de la linterna no era la parte principal de este proyecto pero debía de ir en consonancia con los temas tratados a lo largo del proyecto. Por ello su diseño es más orgánico y difiere del prototipo fabricado.

Este proyecto está sustentado en la aplicación de soluciones encontradas en la naturaleza y dada esta situación es lógico que se valga de una energía limpia y renovable como la eólica para hacerlo funcionar. De esta forma se diseña mirando hacia un futuro donde este tipo de fuentes de energía sean las predominantes.

4.3.

Conclusiones finales

El proyecto da respuesta a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**: 7 energías renovables, 9 Innovación en infraestructura e industria y 12 mejora en el consumo responsable. Así mismo estos ODS están relacionados con la economía circular en cuanto a la reducción del consumo y producción desmesurada, la transición hacia fuentes de energía renovables. Siendo la economía circular la herramienta para alcanzar los ODS.

Este proyecto ha diseñado un producto prosumer, donde el usuario interviene en el proceso de diseño y fabricación del producto que disfruta. De esta manera el proyecto queda abierto a futuras aportaciones de otros usuarios.



Bibliografía

5.1. Bibliografía

Artículos

- ARRANZ, G., MORICHE, M., UHLMANN, M., FLORES, O. y GARCÍA-VILLALBA, M., 2018. Kinematics and dynamics of the auto-rotation of a model winged seed. *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 13, no. 3. ISSN 17483190. DOI 10.1088/1748-3190/aab144.
- AZUMA~, A. y YASUDA~, K., 1989. Flight Performance of Rotary Seeds. *J. theor. Biol. S.I.:*
- EL MAKDAH, A.M., SANDERS, L., ZHANG, K. y RIVAL, D.E., 2020. The stability of leading-edge vortices to perturbations on samara-inspired rotors: A novel solution for gust resistance. *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 15, no. 1. ISSN 17483190. DOI 10.1088/1748-3190/ab5549.
- NORBERG, R.A., 1973. Autorotation, self stability, and structure of single winged fruits and seeds (Samaras) with comparative remarks on animal flight. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 48, no. 4. ISSN 14647931. DOI 10.1111/j.1469-185X.1973.tb01569.x.
- SUNADA, S., IDE, A., HOSHINO, Y. y OKAMOTO, M., 2015. A study of autorotating plant seeds. *Journal of Theoretical Biology*, vol. 386, pp. 55-61. ISSN 10958541. DOI 10.1016/j.jtbi.2015.08.027.
- ULRICH, E.R., PINES, D.J. y HUMBERT, J.S., 2010. From falling to flying: The path to powered flight of a robotic samara nano air vehicle. *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 5, no. 4. ISSN 17483182. DOI 10.1088/1748-3182/5/4/045009.
- ZAKARIA, M.Y., DOS SANTOS, C.R., DAYHOUM, A., MARQUES, F.D. y HAJJ, M.R., 2019. Modeling and prediction of aerodynamic characteristics of free fall rotating wing based on experiments. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. S.I.: Institute of Physics Publishing, DOI 10.1088/1757-899X/610/1/012098.

Normativa

- Reglamento nº 3 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE/ONU)- Disposiciones uniformes para la homologación de dispositivos catadióptricos para vehículos de motor y sus remolques. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2011-82556>
- Real Decreto 339/2014, de 9 de mayo, por el que se establecen los requisitos para la comercialización y puesta en servicio de las bicicletas y otros ciclos y de sus partes y piezas, y por el que se modifica el Reglamento General de Vehículos, aprobado por Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre. <https://www.boe.es/boe/dias/2014/05/22/pdfs/BOE-A-2014-5399.pdf#page=9>

5.1. Bibliografía

Trabajos

- Roche, A., Miedes, M., Peris, D., Tudó, A., Redondo, J., Sarvisé, A., (2019) *Proyecto SmartLamp*. Gestión de Proyectos de Diseño. Universidad de Zaragoza.

Referencias

- Spiraling maple tree seeds inspire world's smallest single-winged rotocraft. [en línea]. Disponible en: <https://newatlas.com/worlds-smallest-single-winged-rotocraft/13160/>.
- Tornado-like Spinning Increases Seed Dispersion — Biological Strategy — AskNature. [en línea]. Disponible en: <https://asknature.org/strategy/tornado-like-spinning-increases-seed-dispersion/>.
- World's first controllable MAV monocopter, Robotic Samara (maple seed) - YouTube. [en línea]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=u23Hqq8QbeE&ab_channel=Evan.
- Exploding plants disperse their seeds with high pressure bursts | The Kid Should See This. [en línea] Disponible en: <https://thekidshouldseethis.com/post/exploding-plants-spread-their-seeds-with-high-pressure-bursts>.

Circuitos

- Make a Powerful Generator From a Dead BLDC Motor: : 3 Steps (with Pictures) - Instructables. [en línea]. Disponible en: <https://www.instructables.com/Make-a-Powerful-Generator-From-a-Dead-BLDC-Motor/>.
- GENERADOR ELECTRICO CON MOTORES BRUSHLESS : 9 Steps - Instructables. [en línea]. Disponible en: <https://www.instructables.com/GENERADOR-ELECTRICO-CON-MOTORES-BRUSHLESS/>.
- Dynamo Powered LED Bike Lights : 7 Steps - Instructables. [en línea]. Disponible en: <https://www.instructables.com/Dynamo-powered-LED-bike-lights/>.
- Cargador de batería de 12 voltios para auto - Electrónica Unicrom. [en línea]. Disponible en: <https://unicrom.com/cargador-de-bateria-de-12-voltios/>.
- Alimentando motores brushless con corriente de casa - YouTube. [en línea]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=V7XZluPN7Q&ab_channel=JoyplanesRC.