



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**DISEÑO ELECTRÓNICO Y MECÁNICO DE UNA TURBINA  
EÓLICA DE EJE HORIZONTAL DE BAJA POTENCIA**



**Memoria y Anexos**

**Autor/a:** Martín Ribas, Alexis  
**Director/a:** Rolán Blanco, Alejandro  
**Convocatoria:** Junio 2023



## Resumen

El presente trabajo de final de grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática tiene como aspecto general diseñar la electrónica de una turbina eólica de baja potencia, contando también con en el diseño mecánico utilizando tecnología de impresión en 3D. Este proyecto se verá afectado por las limitaciones de presupuesto y tiempo, por lo que se busca encontrar la solución más eficiente y rentable para construir una turbina eólica funcional, capaz de cargar una batería para así aprovechar la energía producida más adelante.

En cuanto a la parte electrónica, se evaluarán diferentes técnicas y estrategias para lograr una optimización en el rendimiento de la turbina. Se investigarán los distintos tipos de controladores, sensores y circuitos que se pueden utilizar para controlar el movimiento y la velocidad de la turbina, así como la generación y almacenamiento de energía eléctrica, teniendo en cuenta la eficiencia energética y el bajo costo.

En cuanto al diseño mecánico, se utilizará tecnología de impresión 3D para la fabricación de los componentes mecánicos, lo que permitirá una mayor precisión y control en la fabricación de los mismos. Además, se prestará especial atención a la resistencia y durabilidad de los componentes a través de su diseño, para asegurar un funcionamiento óptimo y una larga vida útil de la turbina.

Se llevarán a cabo diferentes pruebas y simulaciones para evaluar el rendimiento de la turbina en diferentes condiciones de viento, y se realizarán ajustes en su diseño en caso de ser necesario, con el fin de maximizar la eficiencia y reducir los costos.

En resumen, este proyecto de final de grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática se enfoca en el diseño electrónico de una turbina eólica de baja potencia y en el diseño mecánico utilizando tecnología de impresión 3D.

## Resum

El present treball de final de grau en Enginyeria en Electrònica Industrial i Automàtica té com a aspecte general dissenyar l'electrònica d'una turbina eòlica de baixa potència, comptant també en el disseny mecànic utilitzant tecnologia d'impressió en 3D. Aquest projecte es veurà afectat per les limitacions de pressupost i temps, per la qual cosa es busca trobar la solució més eficient i rendible per construir una turbina eòlica funcional, capaç de carregar una bateria per aprofitar l'energia produïda més endavant.

Pel que fa a la part electrònica, s'avaluaran diferents tècniques i estratègies per aconseguir una optimització en el rendiment de la turbina. S'investigaran els diferents tipus de controladors, sensors i circuits que es poden utilitzar per controlar el moviment i la velocitat de la turbina, així com la generació i emmagatzematge d'energia elèctrica, tenint en compte l'eficiència energètica i el baix cost.

Pel que fa al disseny mecànic, s'utilitzarà tecnologia d'impressió 3D per a la fabricació dels components mecànics, el que permet una major precisió i control en la fabricació dels mateixos. A més, es prestarà especial atenció a la resistència i durabilitat dels components a través del seu disseny, per assegurar un funcionament òptim i una llarga vida útil de la turbina.

Es portaran a terme diferents proves i simulacions per avaluar el rendiment de la turbina en diferents condicions de vent, i es realitzaran ajustos en el seu disseny en cas de ser necessari, amb la finalitat de maximitzar l'eficiència i reduir els costos.

En resum, aquest projecte de final de grau en Enginyeria en Electrònica Industrial i Automàtica es centra en el disseny electrònic d'una turbina eòlica de baixa potència i en el disseny mecànic utilitzant tecnologia d'impressió 3D



## **Abstract**

This final degree project in Engineering in Industrial and Automatic Electronics aims to design the electronics of a low-power wind turbine, as well as the mechanical design using 3D printing technology. This project will be affected by budget and time constraints, so the aim is to find the most efficient and cost-effective solution to build a functional wind turbine capable of charging a battery to harness energy produced later.

Regarding the electronic part, different techniques and strategies will be evaluated to optimize the turbine's performance. Various types of controllers, sensors, and circuits that can be used to control the movement and speed of the turbine, as well as the generation and storage of electrical energy, will be investigated, taking into account energy efficiency and low cost.

In terms of mechanical design, 3D printing technology will be used to manufacture the mechanical components, which will allow for greater precision and control in their production. Additionally, special attention will be paid to the resistance and durability of the components through their design, to ensure optimal operation and a long lifespan of the turbine.

Different tests and simulations will be carried out to evaluate the turbine's performance under different wind conditions, and adjustments will be made to its design if necessary, in order to maximize efficiency and reduce costs.

In summary, this final degree project in Engineering in Industrial and Automatic Electronics focuses on the electronic design of a low-power wind turbine and mechanical design using 3D printing technology.

## **Agradecimientos**

Deseo expresar mi agradecimiento al equipo de Formula Student e-Tech Racing y a todos sus miembros, en particular a los chiefs del departamento de electrónica, David Redondo y David Salinas. Ellos han sido una gran fuente de motivación en mi trayectoria en el campo de la ingeniería y siempre han estado dispuestos a ayudarme en todo momento cuando me han surgido dudas en el fascinante mundo de la electrónica.

## Glosario

- **Alternador:** dispositivo electromecánico utilizado para convertir energía mecánica en energía eléctrica. Funciona según el principio de inducción electromagnética, utilizando un campo magnético y una bobina giratoria para generar corriente eléctrica alterna.
- **Amplificador operacional:** es un dispositivo electrónico que amplifica una señal eléctrica. Se utiliza comúnmente en circuitos electrónicos para amplificar, filtrar, comparar o realizar operaciones matemáticas en señales eléctricas.
- **Comparador diferencial:** componente electrónico que compara dos señales de entrada y produce una salida que indica la diferencia entre ellas. Su función principal es determinar si una señal es mayor, menor o igual a otra señal de referencia.
- **MOSFET:** *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor* o transistor de efecto de campo semiconductor de óxido de metal. Dispositivo semiconductor utilizado ampliamente en electrónica de potencia y en circuitos de conmutación. Se trata de un transistor de efecto de campo en el que la corriente fluye a través de un canal formado por una capa semiconductor de tipo N o P, controlado por un campo eléctrico generado por una tensión aplicada en la compuerta.
- **Tuerca de inserción:** es un componente utilizado para proporcionar una rosca interna en una pieza de plástico. Está diseñada para insertarse en el plástico y permitir la sujeción de tornillos u otros elementos roscados.

# Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>2</b>
<b>Resum.....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>4</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>5</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>6</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>10</b>
1.1. Objetivos del trabajo.....	11
<b>2. Parte Mecánica.....</b>	<b>12</b>
2.1. Materiales principales.....	12
2.2. Base de la estructura.....	13
2.3. Estructura principal.....	15
2.3.1. Soporte del eje principal.....	15
2.4. Eje de rotación de la hélice.....	16
2.4.1. Junta del eje principal con el eje de la hélice.....	17
2.5. Diseño de la hélice.....	19
2.5.1. Diseño de las aspas.....	19
2.6. Cola.....	21
2.6.1. Estructura de la cola.....	21
2.7. Transmisión al motor.....	23
2.7.1. Transmisión por engranajes cónicos.....	24
<b>3. Parte de Hardware.....</b>	<b>27</b>
3.1. Batería de ácido de plomo sellada.....	27
3.1.1. Instalación de la batería.....	29
3.2. Generador de imanes permanentes.....	30
3.2.1. Rectificador trifásico.....	30
3.2.2. Principio de funcionamiento del generador de imanes permanentes.....	32
3.2.3. Importancia del número de polos en un generador.....	32
3.3. Circuito de rendimiento correcto de la turbina.....	34
3.3.1. Comportamiento del circuito.....	34
3.3.2. Instalación del CTPC.....	37
3.4. Circuito limitador de corriente.....	38
3.4.1. Comportamiento del circuito.....	39
3.4.2. Instalación del CLC.....	40
3.5. Sensor de tensión en la batería.....	41
3.5.1. Instalación BVS.....	43
3.6. Resistencia de carga.....	44
3.6.1. Cálculo de la resistencia de carga.....	44

3.6.2. Instalación resistencia de carga.....	45
3.7. Sensor de corriente.....	46
3.8. Pantalla de cristal líquido.....	48
3.8.1. Instalación de la pantalla LCD.....	50
<b>4. Programación.....</b>	<b>52</b>
4.1. Ordinograma.....	52
4.2. Definiciones previas.....	53
4.2.1. Librerías.....	53
4.2.2. Tabla de valores del SoC.....	54
4.2.3. Configuración de la pantalla LCD.....	55
4.2.4. Inputs.....	55
4.2.5. Outputs.....	56
4.2.6. Variables.....	56
4.3. Funciones.....	57
4.3.1. Función del pulsador.....	57
4.3.2. Función del CTPC.....	58
4.3.3. Muestra del estado del CTCP.....	59
4.3.4. Muestra del estado de la resistencia de carga.....	60
4.3.5. Lectura y cálculo del valor del voltaje en la batería.....	60
4.3.6. Muestra del valor del voltaje en la batería.....	61
4.3.7. Lectura y cálculo del valor de corriente en la batería.....	61
4.3.8. Muestra del valor de corriente en la batería.....	62
4.3.9. Lectura y cálculo del valor de voltaje en la turbina.....	62
4.3.10. Muestra del valor de voltaje en la batería.....	63
4.3.11. Función de interpolación lineal.....	63
4.3.12. Cálculo del SoC.....	64
4.3.13. Muestra del valor del SoC.....	65
4.3.14. Limpiar fila.....	65
4.4. Código principal.....	66
4.4.1. Secuencia de inicio.....	66
4.4.2. Bucle principal.....	67
<b>5. Análisis del impacto ambiental.....</b>	<b>70</b>
5.1. Generación de energía limpia.....	70
5.2. Uso de recursos naturales.....	72
5.3. Gestión de residuos.....	72
5.4. Evaluación del ciclo de vida.....	72
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>73</b>
6.1. Mejoras a realizar.....	73
<b>7. Planificación.....</b>	<b>74</b>
7.1. Diagrama de Gantt.....	75

<b>8. Presupuesto.....</b>	<b>76</b>
8.1. Material.....	76
8.2. Honorarios.....	78
8.3. Costes Indirectos.....	79
8.4. Costes Totales.....	79
<b>9. Estudio económico.....</b>	<b>80</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo A. Configuración Impresora 3D.....</b>	<b>83</b>
A1. Configuración genérica usada para Creality Ender-3 con Cura.....	83
<b>Anexo B. Datasheets.....</b>	<b>84</b>
B1. Diodo 1N5820.....	84
B2. Current Sensor ACS712.....	86
B3. Batería de plomo ácido recargable de 6V.....	89
B4. Convertidor Step Up de alta eficiencia 1.2MHz 2A.....	90
B5. Amplificador Operacional TL072.....	93
B6. Regulador de tensión ajustable LM317T.....	95
B7. Transistor MOSFET IRLZ24N.....	96
B8. Pantalla de Cristal Líquido 16x2.....	99
B9. Comparador diferencial cuádruple LM339.....	101
<b>Anexo C. Esquemáticos en Altium.....</b>	<b>104</b>
<b>Anexo D. Bocetos acotados en Onshape.....</b>	<b>107</b>

## 1. Introducción

El recurso eólico proporciona una fuente de energía renovable que se obtiene de aprovechar la energía cinética del aire en movimiento para generar electricidad. En los últimos años, se ha observado un creciente interés en la generación de energía eólica a pequeña y gran escala. La generación de energía eólica a pequeña escala implica el uso de turbinas eólicas de baja potencia, instaladas en entornos residenciales, comerciales o rurales. Estas turbinas pueden tener capacidades que van desde unos pocos kilovatios hasta decenas de kilovatios. Aunque la escala de generación sea menor en comparación con los parques eólicos a gran escala, esta forma de generación tiene varios beneficios significativos.

En primer lugar, la generación de energía eólica a pequeña escala permite a los usuarios individuales o comunidades locales convertirse en productores de energía, reduciendo su dependencia de las fuentes convencionales y contribuyendo a la transición hacia un sistema energético más sostenible. Además, al generar energía en el lugar de consumo, se minimizan las pérdidas en la transmisión y distribución de energía.

Otro beneficio clave de la generación de energía eólica a pequeña escala es su menor impacto visual y acústico, en comparación con las turbinas de gran tamaño. Además, al utilizar una fuente de energía limpia y renovable, se reduce la emisión de gases de efecto invernadero y se contribuye a la lucha contra el cambio climático.

Después de todas estas ventajas y conceptos es fácil preguntarse, ¿podría uno mismo construir su propia turbina eólica? Con tal de responder a esa pregunta en el siguiente trabajo se evaluará la construcción desde cero de una turbina eólica de baja potencia, para poder evaluar los pros y contras del proceso y de los resultados.

## **1.1. Objetivos del trabajo**

El objetivo principal del trabajo es aprender y realizar un proyecto de Ingeniería básica que sirva de base para futuros proyectos. Este proyecto se va a desglosar en 3 apartados de suma importancia: una parte mecánica, una parte de hardware y otra parte de software. En cada uno de estos apartados existen los objetivos particulares que se detallan a continuación.

El objetivo desde el punto de vista mecánico será el de diseñar y construir un molino lo suficientemente robusto como para soportar condiciones climáticas no muy extremas, teniendo siempre en cuenta el apartado de costes y recursos. Un punto añadido en este apartado será el acceso a procesos de impresión en 3D, ya que proporcionará velocidad, a la hora de iterar entre diseños, y calidad al proyecto.

El objetivo de la parte de hardware será el de contar con una electrónica que por sí sola sea capaz de gestionar gran parte del sistema y sea fiable y robusta, a prueba de malos funcionamientos.

El último objetivo pertenece a la parte de software y este será el de crear una interfaz que facilite la emisión de datos para que cualquier receptor pueda saber qué está sucediendo y pueda extraer información de interés referente al sistema.



## 2. Parte Mecánica

La turbina eólica, desde un punto de vista mecánico, estará formada por una base, una estructura principal estática, un eje principal sobre el cual se situará el eje de la hélice, una cola para que este eje pueda orientarse en la dirección del viento, una hélice formada por dos aspas y una transmisión formada por engranajes cónicos capaz de transmitir el par de fuerzas de la hélice a un alternador.

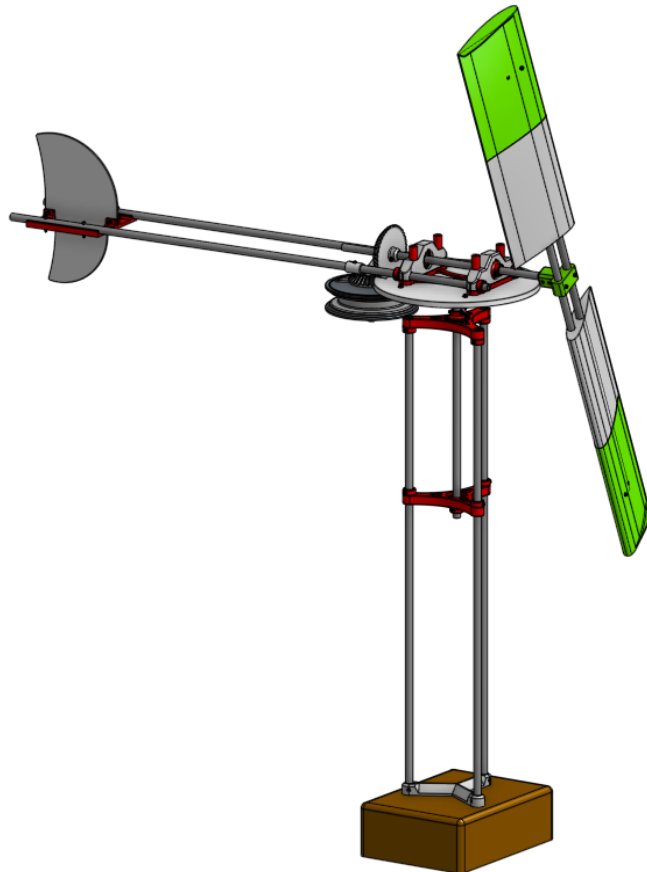


Fig 2.1.- Ensamblaje mecánico completo de la turbina eólica en Onshape [fuente: elaboración propia]

### 2.1. Materiales principales

Para la estructura de la turbina se usarán barras de tubo redondos huecos de aluminio de 13 mm de diámetro exterior y 1 mm de espesor. Este tipo de barras serán de gran utilidad para la gran mayoría de la estructura del molino, ya que aportarán rigidez y fuerza. El hecho de que sean de aluminio también será conveniente ya que se necesitarán hacer ciertos agujeros a lo largo de estos perfiles, y que sea un material maleable es de agradecer.

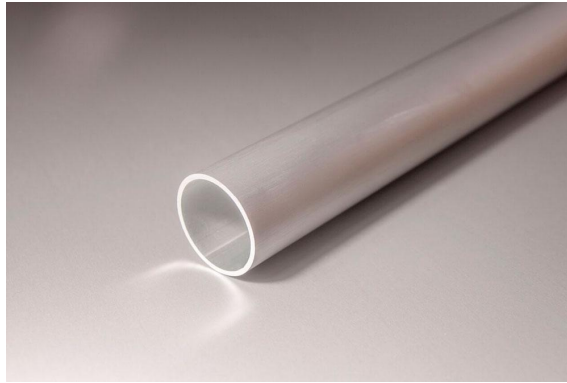


Fig 2.1.1.- Ejemplo de barra de tubo redondo hueco de aluminio [fuente: obtenido de: Hiper Aluminio S.A.]

Para juntar todos estos tubos y darle forma a la estructura se usarán piezas impresas en 3D usando tecnología aditiva con PLA (ácido poliláctico). Este material a lo mejor no es el más adecuado para estar expuesto a la intemperie, pero es más fácil y rápido de imprimir y más barato que otros materiales de impresión y, teniendo en cuenta que la estructura no deja de ser un prototipo, se considera fundamental poder prototipar de manera rápida y con bajo coste.

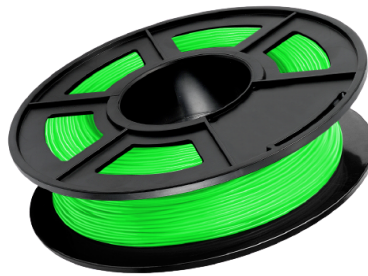


Fig 2.1.2.- Ejemplo rollo PLA genérico color verde lima [fuente: obtenido de: Winkle]

## 2.2. Base de la estructura

Para la base será necesaria una estructura robusta que pueda resistir eficazmente la fuerza generada por el viento sin que ésta produzca inestabilidad en la turbina o la haga caer. Se logrará este nivel de resistencia utilizando una sólida y pesada estructura de metal, originalmente diseñada para soportar una mesa. Dado que las placas inferiores y superiores de la estructura metálica son bastante gruesas y están hechas de un metal resistente, se prefiere instalar un bloque de madera maciza como elemento de conexión entre la estructura del molino y la base de metal.



Fig 2.2.1.- Base de metal [fuente: elaboración propia]

Este bloque de madera estará sujeto a la pata de metal gracias a 4 tuercas de cabeza hexagonal M5 de 90 mm de longitud. Como la estructura del molino se tiene planteado que estará formada por 3 barras cilíndricas, formando un triángulo, también se agujerea la pieza de madera para que pueda encajar con la estructura. A parte, el bloque de madera se pule y se barniza, para que no se estropee en la intemperie. Aunque solo con eso no se creará una conexión lo suficientemente rígida para que el molino no se tambalee debido a ciertas tolerancias con la madera, así que se diseña una pieza adicional en PLA que irá atornillada al bloque mediante tornillos avellanado para madera y pegada adicionalmente con silicona para formar una mayor unión.

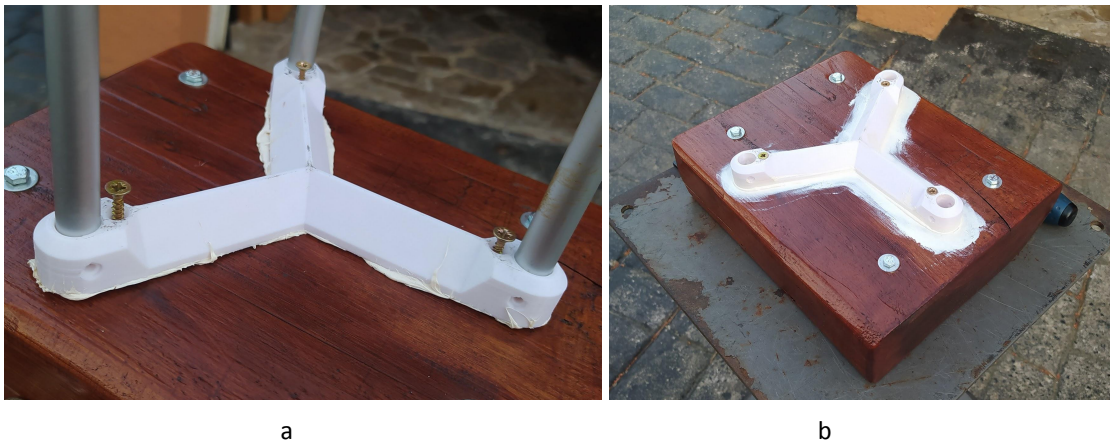


Fig 2.2.2.- Imágenes de la instalación de la junta con el bloque de madera/estructura [fuente: elaboración propia]

## 2.3. Estructura principal

Como se ha comentado anteriormente, la estructura principal estará formada por tres barras cilíndricas, paralelas entre ellas, formando un prisma con base triangular. Esta estructura se encargará de aguantar la parte superior del molino a través de un eje vertical también llamado eje principal, bloqueado de tal manera que solo pueda rotar. Esto permitirá que el eje de la hélice se pueda orientar libremente, haciendo que este tenga la posibilidad de posicionarse en la dirección del viento.

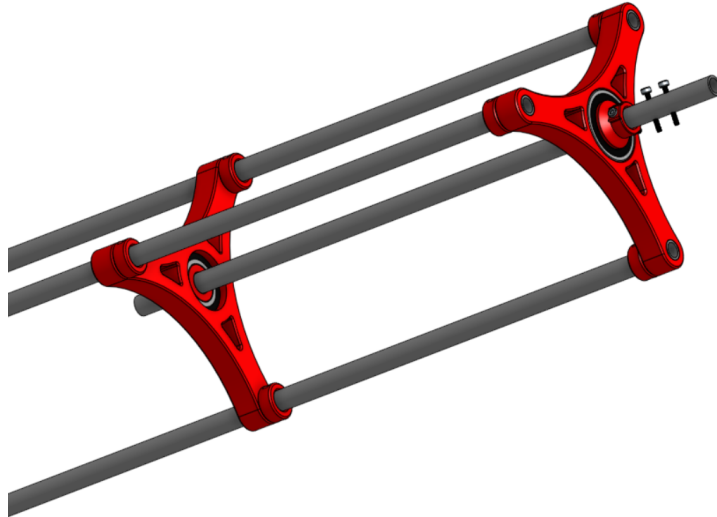


Fig 2.3.1.- Primer ensamblaje de la estructura principal en Onshape [fuente: elaboración propia]

### 2.3.1. Soporte del eje principal

Este eje principal que se ha comentado anteriormente se sustentará gracias a dos cojinetes. Estos cojinetes serán estáticos gracias a tres piezas distintas. La primera pieza tendrá una forma triangular e irá cogida a las tres barras que forman la estructura principal, encajando en la parte exterior del cojinete. Otra pieza se situará en la parte interior del cojinete e irá anclada al eje principal gracias a un tornillo M3. En el caso del cojinete inferior, la pieza en forma de triángulo fijada a la estructura principal lo sujetará verticalmente hacia abajo, mientras que la pieza fijada al eje principal lo sujetará verticalmente hacia arriba, dejando el cojinete totalmente anclado. Esto sucederá exactamente igual en el caso del cojinete superior, solo que ambas piezas intercambiarán roles.

En la figura superior también se pueden observar unos topes que bloquean el soporte del cojinete. Estos soportes irán fijados a cada barra de la estructura principal con tornillos M3 para así fijar todo el conjunto, debido a que las piezas triangulares no están diseñadas para atornillarse a las barras por cuestiones de funcionalidad.

## 2.4. Eje de rotación de la hélice

El eje respecto del cual girarán las aspas se sustentará por dos cojinetes de 47 mm de diámetro exterior, 24,9 mm de diámetro interior y 12 mm de grosor. Estos estarán sujetos por una pieza inferior, que realizará la fuerza normal sobre los cojinetes, y una parte superior, que bloqueará el movimiento de la parte exterior del cojinete en todos los demás ejes. Ambas partes irán atornilladas a una base redonda de madera, de 10 mm de espesor, con tornillos M4 de 90 mm de longitud, fabricados a partir de una varilla roscada M4 con tuercas autoblocantes.

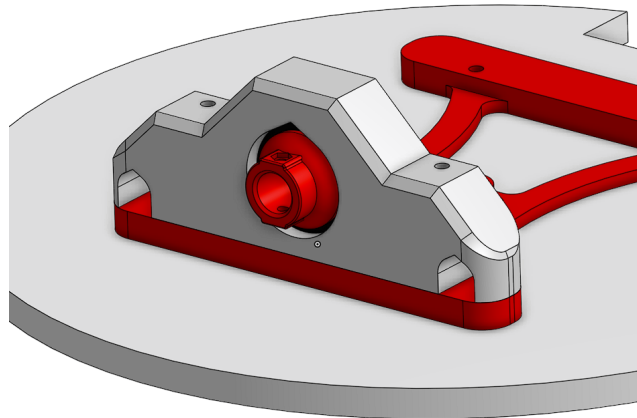


Fig 2.4.1.- Vista isométrica del ensamblaje de uno de los cojinetes del eje de rotación de la hélice en Onshape [fuente: elaboración propia]

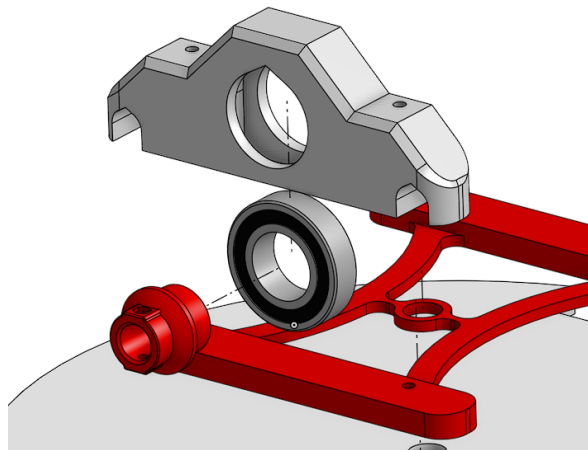


Fig 2.4.2.- Vista explosionada 1 del ensamblaje de uno de los cojinetes del eje de rotación de la hélice en Onshape [fuente: elaboración propia]

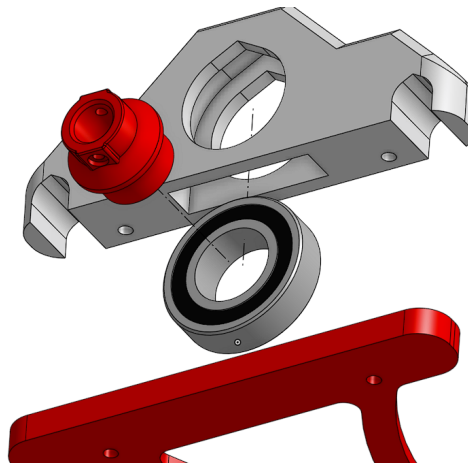


Fig 2.4.3.- Vista explosionada 2 del ensamblaje de uno de los cojinetes del eje de rotación de la hélice en Onshape [fuente: elaboración propia]

Se puede observar que uno de los objetivos que se ha buscado a la hora de diseñar, por ejemplo, la pieza superior que cubre el cojinete va dirigido a poder imprimir la pieza en 3D de la manera más eficiente posible ya que se busca usar la menor cantidad de material posible evitando usar soportes en el proceso. Por este motivo se pueden observar ciertos picos en los perfiles circulares, ya que gracias a este tipo de diseño se asegura que no haya superficies que se encuentren a más de 55° respecto a la vertical, ya que imprimir verticalmente superficies inclinadas a más de 55° respecto a la vertical implica errores de tolerancia mayores en la impresión o incluso se hace indispensable el uso de soportes, aumentando el tiempo y el coste de impresión.

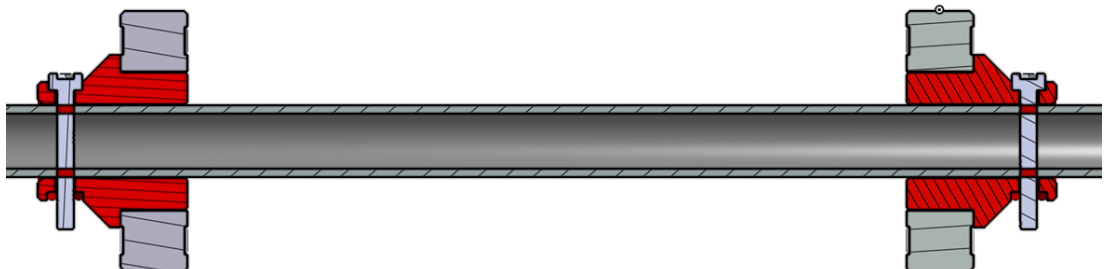


Fig 2.4.4.- Vista de sección mostrando anclaje eje-cojinete en Onshape [fuente: elaboración propia]

En la imagen superior se pueden observar las piezas que se encargan de acoplar el eje de aluminio, de 13 mm de diámetro, con la parte interior de los cojinetes, bloqueando el eje de manera transversal gracias a dos tuercas M3 para que este solo pueda rotar.

#### 2.4.1. Junta del eje principal con el eje de la hélice

La pieza de madera circular, que servirá de base para fijar los soportes de los cojinetes del eje de la hélice, irá acoplada al eje principal gracias a una nueva pieza. Esta pieza irá fijada al eje principal gracias a dos tornillos M3. Debido a que tendrá que soportar grandes esfuerzos mecánicos de

torsión, generados por el empuje del mismo viento o por la distancia entre el eje y el centro de masas de la parte superior del molino, se diseña la pieza con unos nervios de 5 mm de grosor, uno en cada brazo.

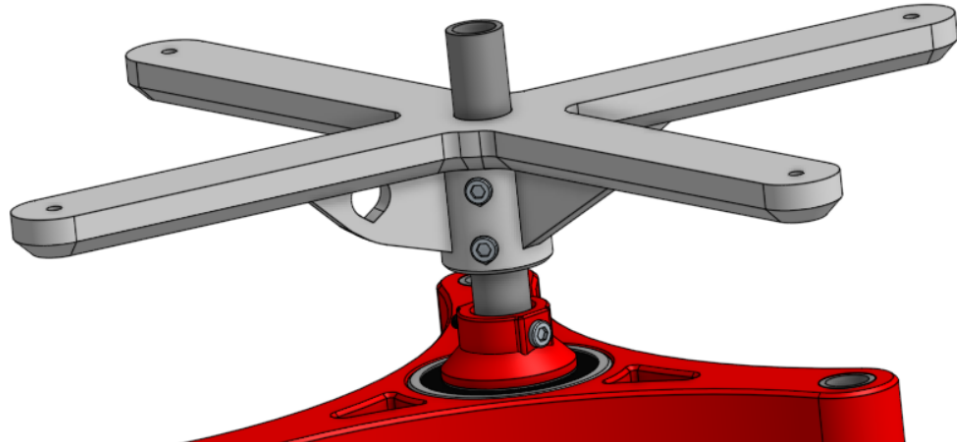


Fig 2.4.1.1.- Vista isométrica 1 del ensamblaje del soporte superior con el eje principal en Onshape [fuente: elaboración propia]

Al final de cada uno de estos brazos se encuentran unos agujeros por los cuales pasarán los tornillos M4 de 90 mm comentados en el apartado anterior. También se puede observar que uno de los nervios tiene una forma extraña con un agujero. Este diseño permite atar una cuerda elástica a algún punto estático de la estructura principal, evitando el caso hipotético en el que la parte superior donde se encuentra el eje de la hélice se ponga a dar vueltas en un único sentido sin ningún tipo de límite debido a los cambios de dirección del viento, causando de manera inevitable la ruptura del cableado que conecta el generador con la electrónica debido a un esfuerzo de torsión excesivo. Esto se debe a que no existe ningún tipo de control por hardware para direccionar la hélice en la dirección del viento, esto se produce de manera pasiva debido a la cola de la propia turbina, que será definida más adelante.

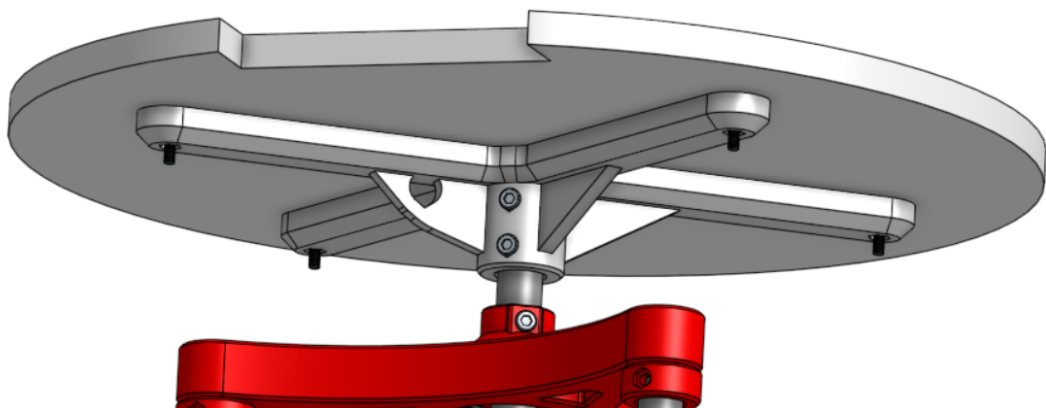


Fig 2.4.1.2.- Vista isométrica 2 del ensamblaje del soporte superior con el eje principal, con el soporte de madera visible, en Onshape [fuente: elaboración propia]



## 2.5. Diseño de la hélice

Respecto a la hélice se realizará un diseño simplificado de lo que sería una hélice convencional. Se intentará buscar un equilibrio entre eficiencia y límites en el proceso de fabricación, siguiendo ciertas pautas de diseño para lograr un resultado competente.

### 2.5.1. Diseño de las aspas

Primero de todo se definirá la geometría de las aspas que forman la hélice. Esta estará formada por dos aspas ya que facilita mucho el proceso de construcción debido a que estas compartirán ejes estructurales que irán unidos al eje de rotación de la hélice, aunque si se quisiera una geometría más eficiente y estable lo mejor sería una configuración de tres aspas. Estas tendrán una sección homogénea, con forma de perfil alar para aprovecharse del fenómeno de sustentación mientras estén rotando [1].

Después de cierta investigación se ha llegado a la conclusión que el perfil alar NACA 2418 es el que encajaría mejor en un diseño como el que se quiere realizar, ya que no es extremadamente fino y se podrán integrar los ejes estructurales de manera cómoda y robusta.

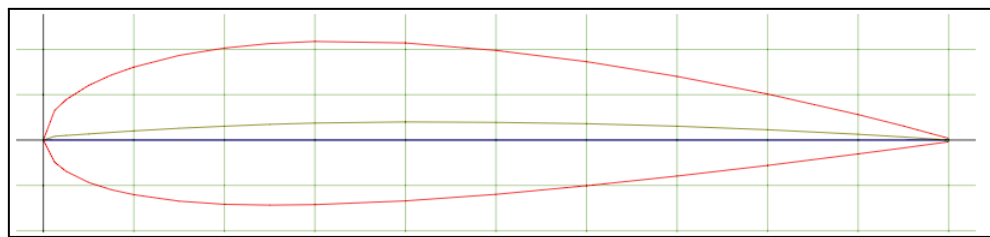


Fig 2.5.1.1.- Perfil alar NACA 2418 [fuente: obtenido de: *Airfoil Tools*] [2]

Para la implementación del perfil alar se tendrá que colocar la aspa de tal manera que genere la mayor cantidad de fuerza de sustentación posible, teniendo en cuenta que al estar estas rotando, a cierta velocidad angular, la velocidad del viento que verán no será paralela al eje de rotación del molino, sino que la velocidad del viento que verá la aspa llegará con una cierta inclinación. A esta velocidad del viento se le llama velocidad aparente.

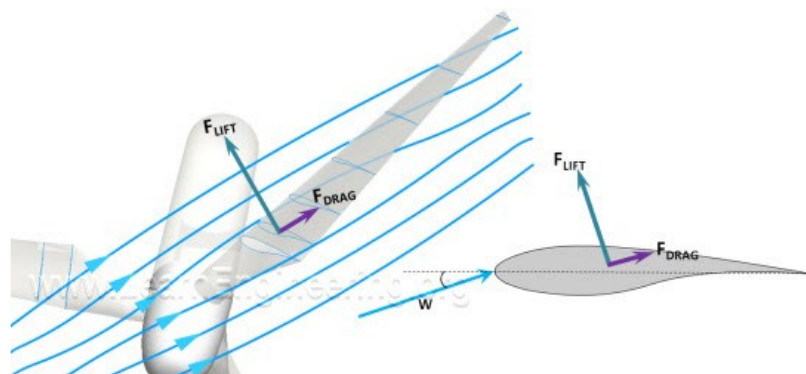


Fig 2.5.1.2.- Representación gráfica de la velocidad aparente del viento vista por la aspa [fuente: obtenido de: *LESICS*] [3]



Entonces para poder aprovechar la fuerza de sustentación generada en el perfil alar por la velocidad del viento aparente se colocarán las aspas con una inclinación muy elevada. El diseño que se implementará en el molino físico será el siguiente.

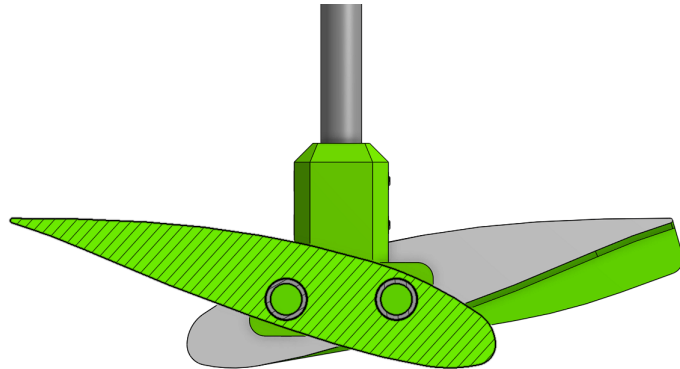


Fig 2.5.1.3.- Vista lateral del ensamblaje de la hélice con vista de sección en Onshape [fuente: elaboración propia]

Cada aspa estará formada por dos piezas impresas en 3D, las cuales contarán con dos orificios cilíndricos en su interior para albergar las barras cilíndricas que forman la estructura interna. Esta estructura quedará unida a las piezas gracias a varios tornillos M3. A continuación, en medio de las barras, se colocará una junta que unirá el eje de rotación de la hélice con la misma hélice, haciendo uso de más tornillos M3.

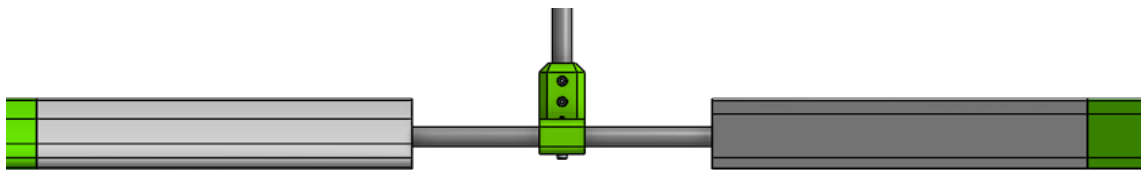


Fig 2.5.1.4.- Vista frontal del ensamblaje de la hélice en Onshape [fuente: elaboración propia]

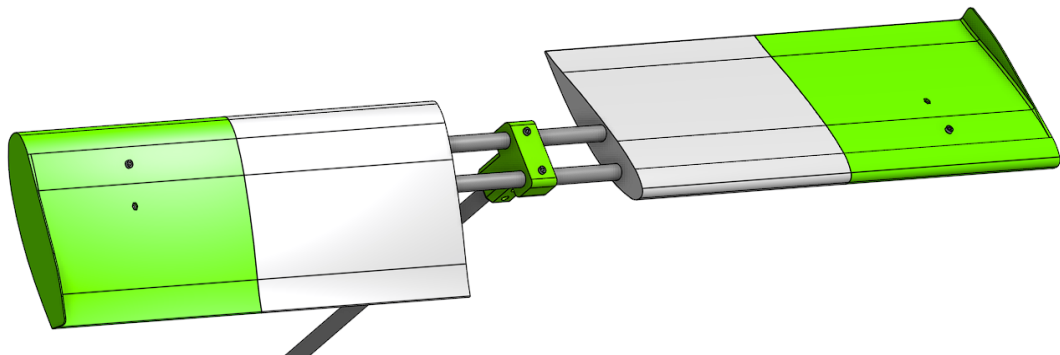


Fig 2.5.1.5.- Vista isométrica del ensamblaje de la hélice vista isométrica en Onshape [fuente: elaboración propia]

En la parte exterior de cada aspa se puede observar como un pequeño alerón, aunque este es meramente decorativo.

## 2.6. Cola

Para permitir la orientación del eje de la hélice en la dirección del viento, se requerirá un sistema de cola. Debido a la amplia superficie lateral de la cola y la longitud de las barras de su estructura, cuando el viento incida lateralmente se generará una fuerza en la pieza, lo cual se traducirá en un momento de torsión en el eje principal. Este momento será máximo cuando la superficie de la cola esté perpendicular a la dirección del viento, y será nulo cuando esté paralela a dicha dirección.

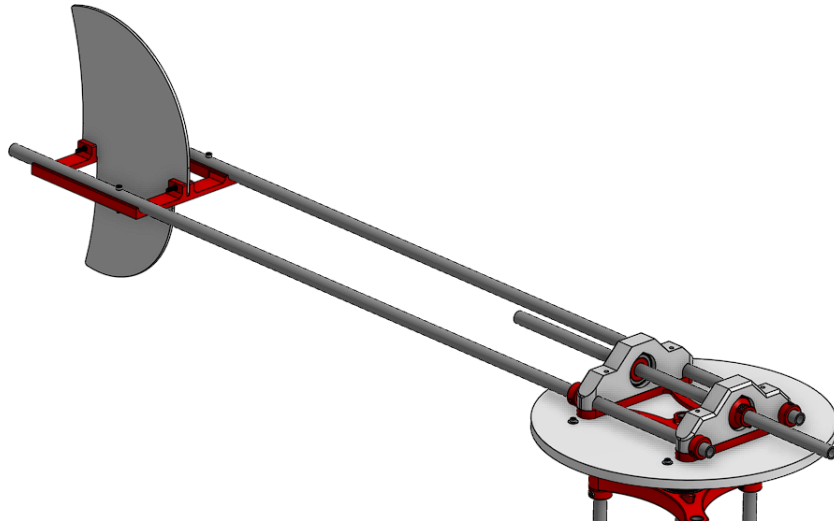


Fig 2.6.1.- Vista isométrica 1 del ensamblaje de la estructura de la cola en Onshape [fuente: elaboración propia]

### 2.6.1. Estructura de la cola

La estructura de la cola estará compuesta principalmente por dos barras cilíndricas de aluminio. Por un lado, estas barras estarán aseguradas mediante pequeñas ranuras cilíndricas en las piezas que soportan los cojinetes del eje de la hélice. A continuación, cuatro pequeñas piezas actuarán como topes para evitar el movimiento de las barras de la estructura hacia adelante o hacia atrás.

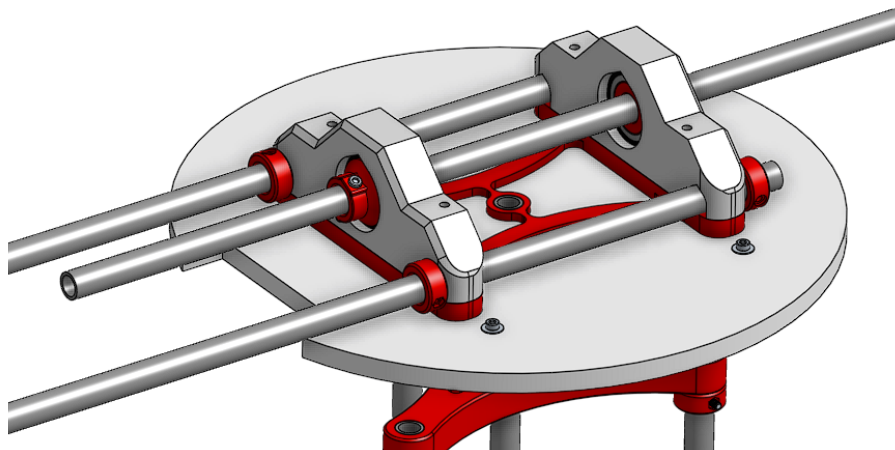


Fig 2.6.1.1.- Vista isométrica del ensamblaje de la estructura de la cola con la parte superior en Onshape [fuente: elaboración propia]

En el otro extremo se encontrará una pieza que actuará como soporte para el perfil de cola, el cual será una parte de gran superficie lateral diseñada para enfrentar el viento. Este soporte también cumplirá una función estructural y asegurará la alineación de las barras en todo momento. Esto se logrará mediante la adaptación de la pieza a la forma cilíndrica de las barras y su sujeción mediante cuatro tornillos M3.

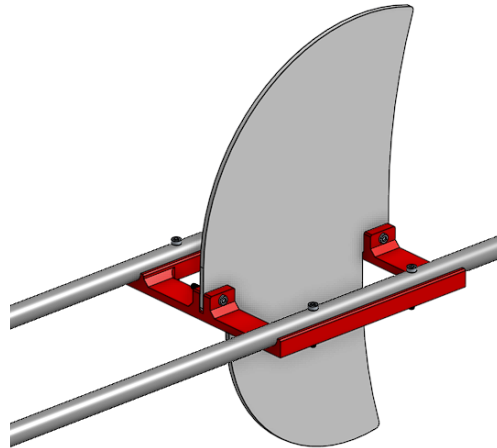


Fig 2.6.1.2.- Vista isométrica 2 del ensamblaje de la estructura de la cola en Onshape [fuente: elaboración propia]

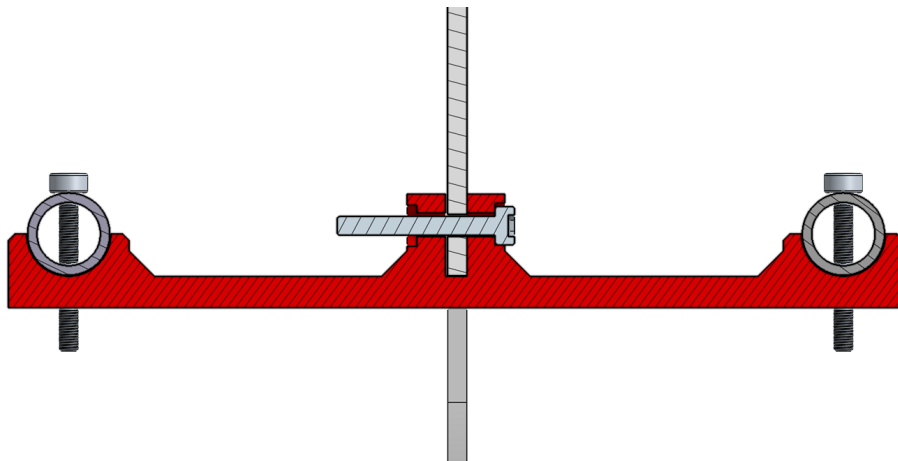


Fig 2.6.1.3.- Vista frontal del ensamblaje de la estructura de la cola con vista de sección en Onshape [fuente: elaboración propia]

## 2.7. Transmisión al motor

En la parte de hardware se hablará más sobre el motor con el que se va a trabajar como alternador, pero antes de eso se estudiará la manera de implementarlo en la turbina mecánicamente. Para ello es importante definir la forma que tiene el motor, cual es su estator y cual es su rotor.



Fig 2.7.1.- Vista isométrica del modelo 3D del motor de imanes permanentes a utilizar en Onshape [fuente: elaboración propia]

El estator es la parte fija de un motor de corriente alterna de imanes permanentes. Consiste en una estructura de metal o bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo magnético. El estator crea un campo magnético giratorio cuando se le suministra corriente eléctrica.

El rotor, por otro lado, es la parte móvil del motor. Está compuesto por imanes permanentes que generan un campo magnético fijo. Al interactuar con el campo magnético giratorio del estator, se produce un par motor que hace girar el rotor y, a su vez, impulsa el funcionamiento del motor.

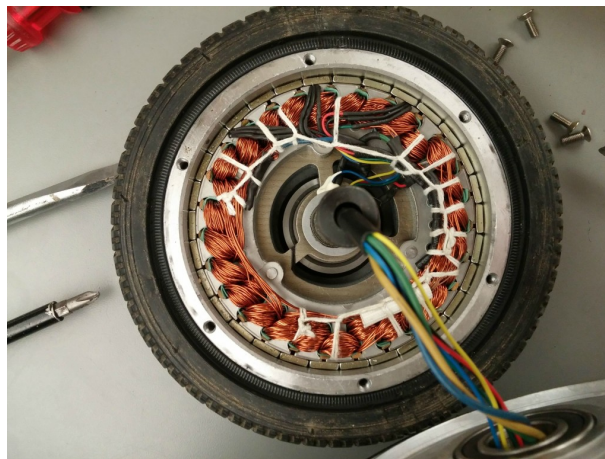


Fig 2.7.2.- Motor de patinete eléctrico desmontado [fuente: obtenido de: monocicloselectricos.org]

El rotor es generalmente una pieza cilíndrica que se encuentra dentro del estator y está montada en un eje, aunque con el motor que se va a trabajar este no será el caso. El motor que se instalará en la turbina proviene de una rueda de un patinete eléctrico de la marca china Xiaomi. En este tipo de motores el rotor se encuentra rodeando el estator, por lo que el bobinado del estator se encontrará

en el eje del motor. Esto complica mucho la implementación y limita en gran medida el tipo de transmisión que se puede aplicar entre el eje de la hélice y el rotor del motor.

Una solución compacta, y bastante rebuscada, para el problema propuesto es sujetar el motor desde su eje, con una pieza impresa en 3D con un diseño bastante específico, apoyándose sobre las barras cilíndricas que forman la estructura de la cola. Esta pieza tendrá una forma parecida a una "Y".

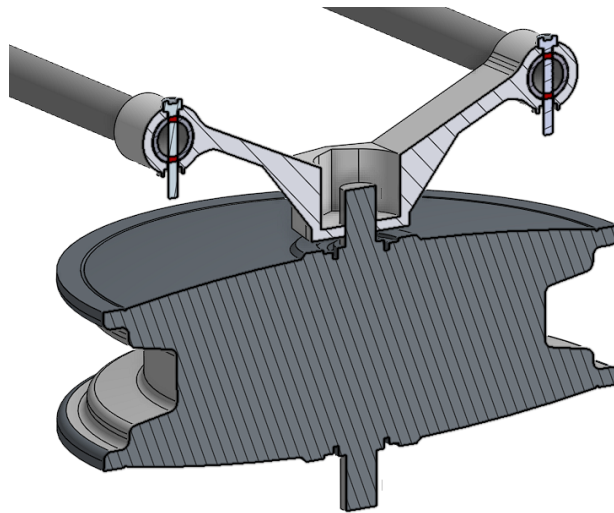


Fig 2.7.3.- Vista isométrica del ensamblaje del motor desde el estator con vista de sección en Onshape [fuente: elaboración propia]

### 2.7.1. Transmisión por engranajes cónicos

Una vez el estator está fijado a la estructura es hora de conectar el eje de la hélice con el rotor. Aquí la complicación aparece por el desfase de  $90^\circ$  que existe entre ambos ejes, concepto que se solucionará usando una transmisión de engranajes cónicos directa, formada por un engranaje conductor y un engranaje conducido.

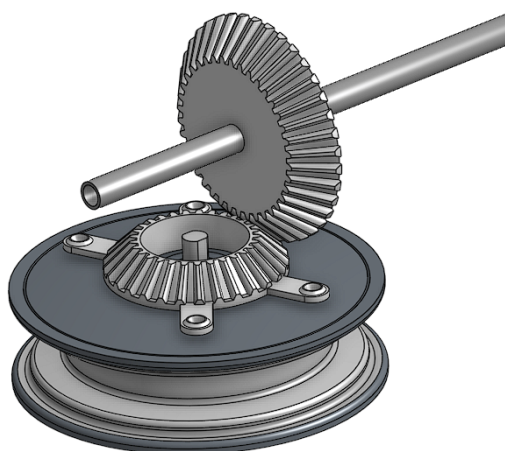


Fig 2.7.1.1.- Vista isométrica del ensamblaje de la transmisión con engranajes cónicos con el motor en Onshape [fuente: elaboración propia]

Debido al espacio limitado que existe entre el eje de la hélice y las barras de la estructura de la cola, el engranaje conductor tendrá un diámetro inferior máximo de 110 mm, y tomando ciertas tolerancias se usará un diámetro de 106,6 mm. Al ser un engranaje cónico hay que tener en cuenta que este tendrá dos diámetros: el inferior y el superior, donde el superior siempre será más pequeño que el inferior.

Como los engranajes serán fabricados a partir de PLA, usando tecnología aditiva, hay que tener en cuenta que los dientes deberán de ser bastante gruesos para evitar que sean frágiles, por lo que el número de dientes que le perteneciera al engranaje conductor será de 38 dientes, con una relación dientes/diámetro inferior = 0,35.

Debido a conceptos que se explicarán más adelante, es de interés poder hacer girar el rotor lo más rápido posible. Por esta misma razón se pueden encontrar relaciones de transmisión en turbinas eólicas del orden de 1:100, una vuelta en la hélice equivale a 100 en el rotor del alternador. Aplicar este concepto en el caso actual no será posible, ya que existen varios límites. Respecto al engranaje conducido aparece otro problema, ya que para lograr una relación que sea de interés se necesitaría un diámetro inferior del engranaje muy pequeño. Esto no se podrá conseguir ya que en el centro del alternador se encuentra la pieza que soporta el mismo alternador, que limita el mínimo diámetro superior del engranaje conducido. Teniendo en cuenta los grosores en las paredes del engranaje conducido se obtiene el diámetro superior mínimo; y teniendo en cuenta la altura y la pendiente de 45° se obtiene el diámetro inferior mínimo, que será equivalente a 82,9 mm. Con este diámetro inferior y la relación dientes/diámetro inferior del engranaje conductor se obtiene que el engranaje conducido tendrá 29 dientes.

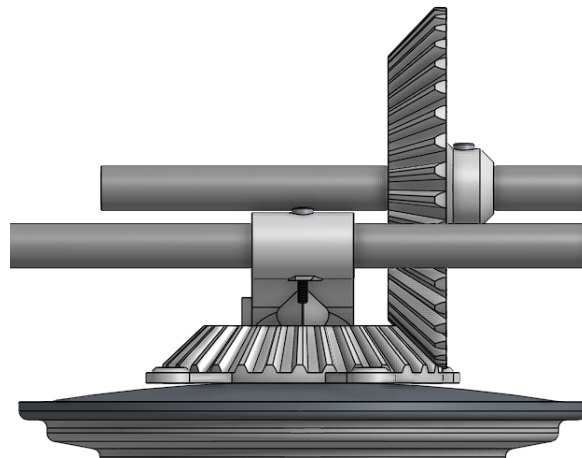


Fig 2.7.1.2.- Vista isométrica 1 del ensamblaje de la transmisión con engranajes cónicos con el alternador en Onshape [fuente: elaboración propia]

El engranaje conducido contará con cuatro brazos encargados de aprovechar unas tuercas implementadas en el mismo motor para cerrar la carcasa del rotor. El engranaje conducido irá fijado directo al eje de la hélice gracias a un tornillo M3.

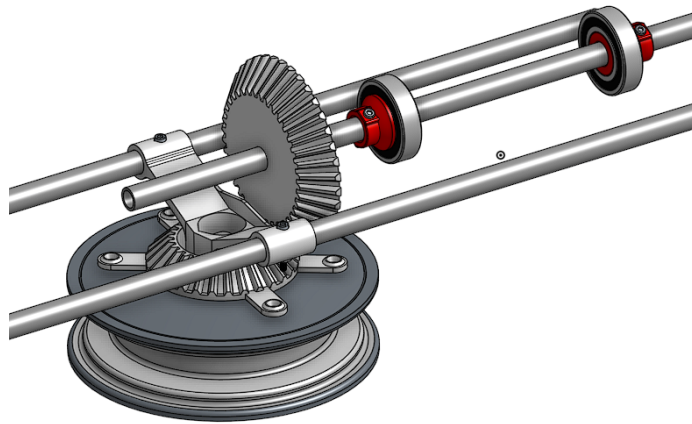


Fig 2.7.1.3.- Vista isométrica 2 del ensamblaje de la transmisión con engranajes cónicos con el alternador en Onshape [fuente: elaboración propia]

Teniendo en cuenta la relación de dientes de cada engranaje se obtiene que la relación de transmisión “*i*” equivale a:

$$i = Z_1 / Z_2 = 38 \text{ dientes} / 29 \text{ dientes} = 1,31 \quad \text{(Eq. 2.7.1.1)}$$

Por lo tanto con la configuración de engranajes propuesta se obtiene que por cada vuelta de la hélice el rotor del alternador dará 1,31 vueltas. Esto se puede considerar una desventaja ya que con esta transmisión no se obtendrán grandes velocidades en el generador, aunque teniendo en cuenta las limitaciones de espacio y recursos es una transmisión que por lo menos cumple su cometido.

### 3. Parte de Hardware

Esta parte hará referencia a toda la electrónica que se va a usar para que la energía producida por la turbina se gestione de la manera más eficiente posible. Obviamente esto excluye la electrónica del microcontrolador que se va a usar, ya que de esta placa se hablará más en la parte de software. Se verán circuitos pasivos, que lo que harán será sensar ciertas tensiones y asegurarse que nada se salga de lo normal, y luego también se tendrán circuitos más activos, capaces de limitar o incluso abrir conexiones por si algo no funciona como debería.

#### 3.1. Batería de ácido de plomo sellada

El proyecto irá gestionado por un microcontrolador, una pantalla pantalla LCD, algunos sensores, etc. Para alimentar todo esto se usará la propia energía generada por el molino, almacenada en una pequeña batería de una tensión no mucho más grande que la que pueda generar este. Para ello se usará una batería de 6 Voltios de ácido de plomo. Estas baterías son un tipo común de batería recargable utilizada en aplicaciones que requieren una fuente de energía de bajo costo y alta capacidad, como sistemas de respaldo de emergencia, sistemas de energía solar y eólica, y sistemas de telecomunicaciones.



Fig 3.1.1.- Batería de plomo de 6V [fuente: obtenido de: VELAMP]

Las baterías de ácido de plomo selladas de 6 V están diseñadas para operar a una tensión nominal de 6 V, aunque en realidad su tensión puede variar desde 6,2 V cuando están completamente cargadas hasta 5,4 V cuando están completamente descargadas. El "State of charge" (estado de carga) de una batería de ácido de plomo sellada se puede medir en términos de su densidad específica, que es la masa de ácido sulfúrico en la solución de electrolito dividida por el volumen total de la solución. A medida que la batería se descarga, su densidad específica disminuye, lo que indica que la cantidad de ácido sulfúrico en la solución de electrolito también está disminuyendo. En el proyecto actual se realizará una aproximación de la carga utilizando directamente la tensión proporcionada por la batería en sus bornes, utilizando la siguiente tabla de valores genéricos para baterías de 6 V de ácido de plomo selladas.



Tabla 3.1.1.- Tabla de voltajes para una batería de plomo de 6V [4]

Voltaje	State of Charge (SoC)
6,44V	100%
6,39V	90%
6,33V	80%
6,29V	70%
6,20V	60%
6,11V	50%
6,05V	40%
5,98V	30%
5,90V	20%
5,85V	10%
5,81V	0%

Es importante tener en cuenta que las baterías de ácido de plomo selladas deben ser cargadas correctamente para prolongar su vida útil y mantener su rendimiento óptimo. La carga inadecuada puede dañar la batería, lo que puede reducir su capacidad y provocar una falla prematura. Por ello se usará un circuito específico que se encargará de gestionar la carga de la batería sin que esta acabe perjudicada.

### 3.1.1. Instalación de la batería

La batería se sujetará a la caja de electrónica gracias a dos piezas impresas en 3D. La primera sujetará la batería desde varios lados, como si fuera una funda/soporte, e irá enganchada a la base de la caja gracias a una cinta adhesiva de doble cara situada en la parte inferior. La segunda pieza irá atornillada en la parte superior de la primera pieza, bloqueando por completo la movilidad de la batería, aunque de tal manera que la conexión de la batería con el resto del sistema siga siendo de fácil acceso.

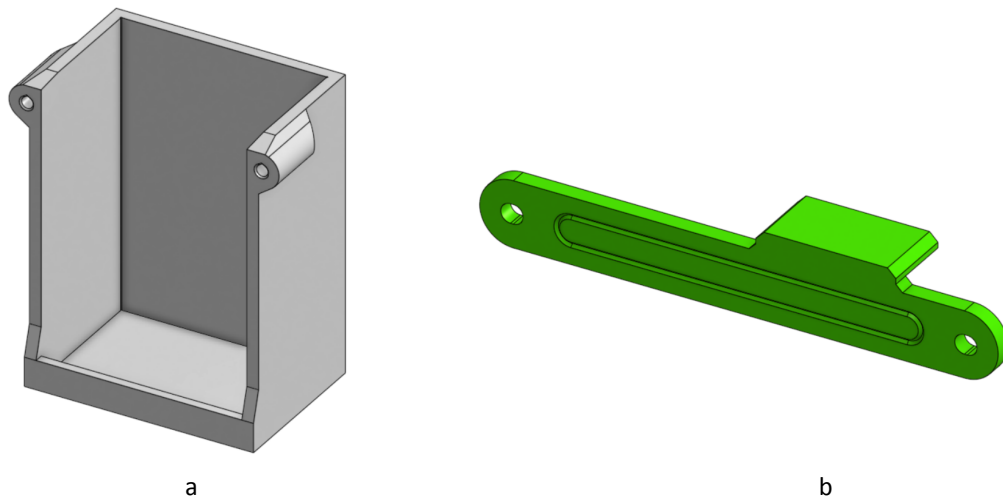


Fig 3.1.1.1.- Vistas isométricas de los soportes inferior y superior de la batería en Onshape [fuente: elaboración propia]

En las imágenes inferiores se puede observar el resultado final de la instalación, mostrando también cómo funciona mecánicamente la interacción entre la pieza que hace de soporte y la que hace de tapa.

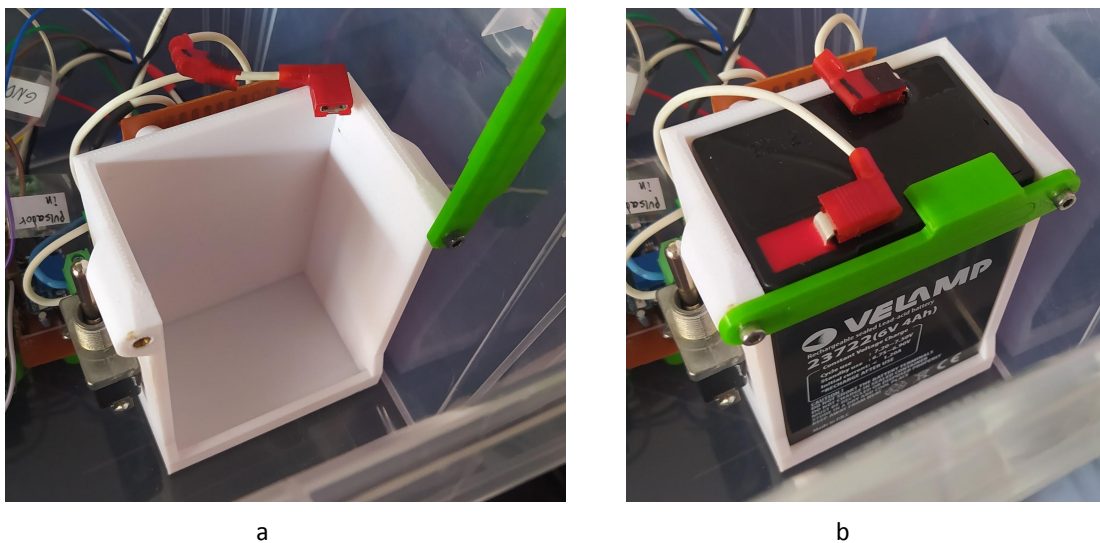


Fig 3.1.1.2.- Imágenes de la batería instalada en la caja de electrónica junto a las piezas impresas en 3D [fuente: elaboración propia]

### 3.2. Generador de imanes permanentes

Para el generador de corriente alterna que convertirá el par motor del eje de la turbina en energía eléctrica, se usará un motor trifásico de imanes permanentes sacado de un patinete eléctrico marca “Xiaomi”. Este motor en concreto está dimensionado para funcionar a 300 W, aunque obviamente no se va a poder aprovechar ese dimensionamiento de potencia ya que mecánicamente hablando, y como se ha descrito anteriormente en la parte mecánica, la relación de transmisión no es lo suficientemente elevada como para hacer girar este motor a altísimas velocidades, por lo que las expectativas energéticas serán bajas.



Fig 3.2.1- Motor 300W compatible con Xiaomi M365 [fuente: obtenido de: Iscooting]

#### 3.2.1. Rectificador trifásico

Sea como sea, lo primero que se necesita es un circuito capaz de convertir la señal trifásica que nos otorga el motor en una única señal de corriente continua, esto se consigue con un rectificador trifásico de onda completa, sin ningún tipo de control ya que se va a usar toda la energía que la turbina pueda proporcionar.

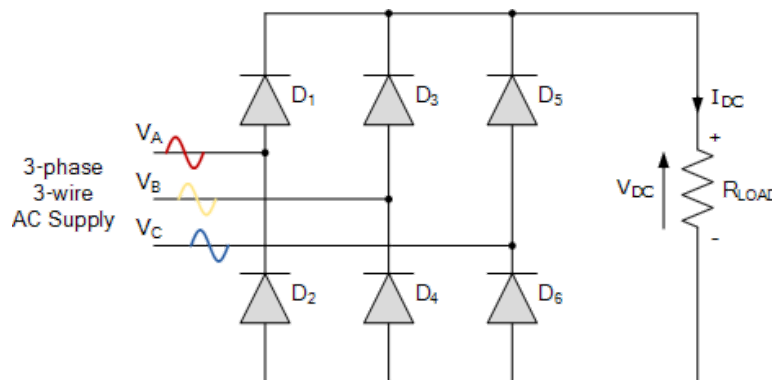


Fig 3.2.1.1.- Rectificación trifásica de onda completa [fuente: obtenido de: Electronics Tutorials] [5]

En los rectificadores trifásicos, la conducción siempre ocurre entre los diodos de la parte superior del puente y de la parte inferior del puente, cuyas tensiones de línea sean las más elevadas en sus

respectivos semiciclos. Así, a medida que las tres fases rotan a través de los terminales del rectificador, la conducción se pasa de diodo a diodo.

Cada diodo conduce durante 120 grados (un tercio) en cada ciclo de suministro, pero como se necesitan dos diodos para conducir en pares, cada par de diodos sólo conducirá durante 60 grados (un sexto) de un ciclo en un momento dado, como se muestra en la siguiente imagen.

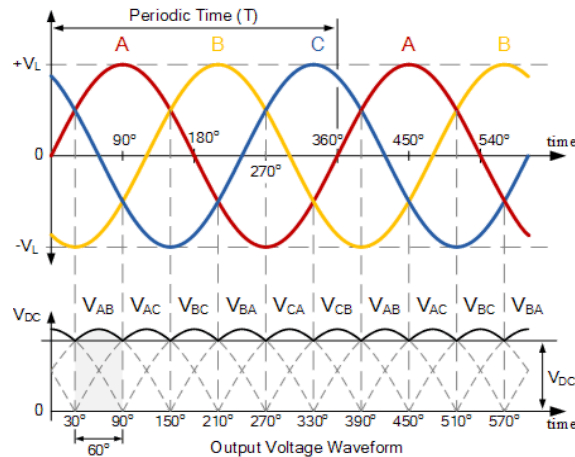


Fig 3.2.1.2.- Forma de onda de conducción del rectificador trifásico de onda completa [fuente: obtenido de: Electronics Tutorials] [5]

Por lo tanto, se puede decir correctamente que para un rectificador trifásico alimentado por "3" secundarios de transformador, cada fase estará separada por 360 grados/3, lo que requiere 2\*3 diodos. También hay que destacar que, a diferencia del rectificador de media onda, no hay una conexión común entre los terminales de entrada y salida del rectificador.

En la salida del rectificador, si se usan los ánodos de los diodos inferiores como referencia a GND, se obtiene una tensión en los cátodos de los diodos superiores con un cierto rizado, donde su valor medio será equivalente a [5]:

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} * V_S = 1,65 * V_S \quad (\text{Eq. 3.2.1.1})$$

Donde  $V_S$  es el valor pico de la forma de onda de voltaje de salida y es equivalente a  $V_{L(PEAK)} \div \sqrt{3}$ , donde a su vez  $V_{L(PEAK)}$  es el voltaje máximo medido entre dos fases del sistema trifásico ( $V_{L(RMS)} * \sqrt{2}$ ).

Todos estos resultados de tensión son teóricos, ya que una de las desventajas del rectificador trifásico es que a medida que aumenta la corriente, también lo hace la pérdida de tensión en los diodos, cosa que en los cálculos anteriores no se tiene en cuenta. Esto se debe a la caída de voltaje directo en los diodos que aumenta a medida que aumenta la corriente, lo que puede provocar una disminución en la eficiencia del circuito. Además, la pérdida de tensión en los diodos puede causar una mayor generación de calor, lo que puede afectar la vida útil de los diodos y del circuito en general. Por esta misma razón se usarán los diodos Schottky 1N5822, dimensionados a 3A. Se

usarán diodos de tipo Schottky debido a su baja caída de voltaje directo, llegando este a ser de 0,4V con una corriente de 1A. Un diodo convencional dimensionado a 1A podría tener una caída de tensión de aproximadamente 1V, siendo esto totalmente ineficiente.

### **3.2.2. Principio de funcionamiento del generador de imanes permanentes**

Con este generador de corriente alterna se pretende transformar energía mecánica en energía eléctrica. Por lo tanto, en un determinado momento se tendrá una potencia mecánica de entrada y una potencia eléctrica de salida. Esta potencia eléctrica vendrá definida por el voltaje y la corriente otorgada por el generador en un preciso instante, y siempre será menor a la potencia mecánica de entrada (debido a que el rendimiento siempre es menor al 100%).

El voltaje inducido por el generador es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor, según la Ley de Faraday. Esto significa que al aumentar la velocidad de giro en el rotor del generador, donde se encuentran los imanes que generan el campo magnético, se induce un mayor voltaje en las bobinas del estator que variará en función del tiempo. Esta tensión tendrá una forma alterna y vendrá dada por la fuerza electromotriz (FEM) causada por el cambio de flujo magnético atravesando las espiras de las distintas bobinas del estator.

La corriente será una variable que dependerá del voltaje inducido y de la carga conectada al generador. Esta corriente inducida generará una serie de pérdidas en el generador [6]:

- Se va a generar una caída de tensión en las bobinas inducidas, debido a la resistividad del propio conductor.
- Si la carga conectada es resistiva aparecerá un incremento en la caída de tensión interna y una disminución de la tensión en los bornes de salida.
- Cuanto más alta sea la corriente del inducido, más pérdidas por dispersión del flujo magnético van a aparecer, ya que habrá líneas de fuerza que no pasen por el inducido.

En conclusión, si se quiere obtener un alto rendimiento transformando la energía mecánica en energía eléctrica hay que trabajar con voltajes altos, para que la corriente inducida nunca tenga que ser elevada. Esto ya se sabe que no puede ser posible con el diseño mecánico actual, ya que para conseguir altos voltajes se necesita hacer girar el rotor a altísimas velocidades, concepto poco realista debido a limitaciones de diseño, por lo que el rotor del alternador (debido a la transmisión por engranajes de 1:1,31) girará casi a la misma velocidad angular que el eje de la hélice, por lo que solo se podrá sacar realmente partido a la energía mecánica extraída de la velocidad del viento cuando esta sea realmente elevada.

### **3.2.3. Importancia del número de polos en un generador**

La relación entre el número de pares de polos en un motor trifásico utilizado como alternador y su velocidad de giro está determinada por la frecuencia de la corriente generada por el alternador y la configuración de la máquina.

La velocidad de giro está relacionada con la frecuencia de la corriente alterna generada por el motor. La frecuencia de la corriente eléctrica generada por una máquina eléctrica rotativa es proporcional a la velocidad de giro del rotor y al número de pares de polos de la máquina.

La fórmula para calcular la frecuencia de la corriente generada por un alternador trifásico es:

$$f = \frac{p \cdot \omega}{60} \quad \text{(Eq. 3.2.3.1)}$$

Donde:

$f$  = frecuencia de la corriente alterna generada

$p$  = número de pares de polos

$\omega$  = velocidad de giro del rotor en RPM (revoluciones por minuto)

A partir de esta fórmula, se puede observar que la velocidad de giro del motor y el número de pares de polos tienen una relación directa con la frecuencia de la corriente generada. Si se mantiene constante el número de pares de polos, una mayor velocidad de giro del motor resultará en una frecuencia de corriente más alta, y una menor velocidad de giro dará como resultado una frecuencia más baja.

Por lo tanto, la relación entre el número de pares de polos y la velocidad de giro es inversa. A medida que se incrementa el número de pares de polos, la velocidad de giro necesaria para alcanzar una determinada frecuencia de corriente disminuye, y viceversa.

Por esta razón es importante escoger un generador de imanes permanentes con el mayor número de pares de polos posibles, ya que en el caso que se propone, la señal rectificadora que se obtiene del rectificador trifásico tendrá un cierto rizado, el cual será más fácil de filtrar cuanto mayor sea su frecuencia.

El generador escogido tiene 9 pares de polos (27 bobinas en total), por lo que si se genera una velocidad de giro del rotor de 60 RPM (1 revolución por segundo) se obtendrá una corriente alterna generada con una frecuencia de 9 Hz en cada línea, generando una corriente continua en la salida del rectificador trifásico con una frecuencia de rizado 6 veces mayor (tal y como se muestra en la figura 3.2.1.2), equivalente a 54 Hz.

### 3.3. Circuito de rendimiento correcto de la turbina

La turbina no se bloqueará mecánicamente en ningún momento, por lo que habrá momentos en los que el viento sea lo suficientemente potente como para mover la hélice, pero no para que esta gire lo suficientemente rápido como para generar el voltaje necesario para un correcto funcionamiento del sistema. Por eso se implementará un circuito capaz de detectar si el molino ha estado funcionando a una correcta velocidad durante un tiempo determinado. A este circuito se le llamará *Correct Turbine Performance Circuit* o CTPC.

El motivo real de crear este circuito surge de la necesidad de usar un convertidor DC-DC de tipo boost o de step-up, ya que el máximo voltaje que podrá otorgar la turbina, a la salida del rectificador trifásico, se estima que será de unos 5V mientras que la tensión de salida que se necesita para hacer funcionar el sistema debe de ser de entre 9 V y 10 V. El convertidor boost que se usará será el módulo MT3608, con tensión fijada de salida regulable de 2,9 a 28 V con una tensión de entrada de entre 2 a 24 V. Hace falta remarcar que la tensión de salida nunca será menor que la tensión de entrada, debido a esto, si se alimenta el componente con una tensión que excede el valor de tensión fijado en la salida, el componente experimentará un mal funcionamiento y no proporcionará la tensión requerida.

#### 3.3.1. Comportamiento del circuito

El circuito consta de dos comparadores, cada uno con una entrada IN+ e IN-, si la señal IN+ es la más grande de las dos, en la salida se obtendrá alta impedancia, por lo que conectando una resistencia de pull up se obtendrá 5 V. Si por el contrario la señal IN- es la más grande, en la salida se obtendrá conexión a tierra (o GND), obteniendo 0V.

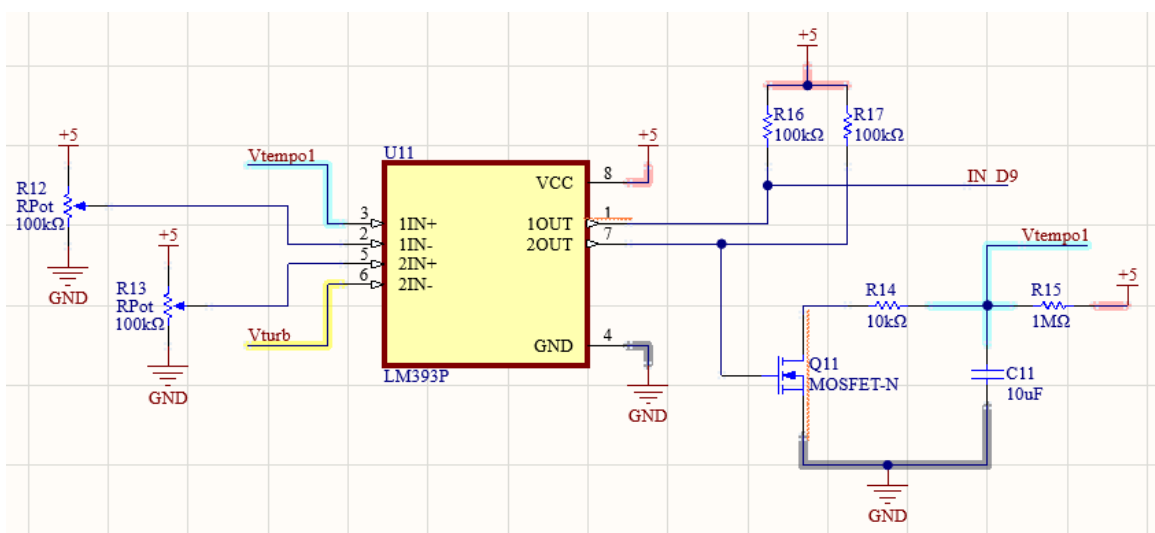


Fig 3.3.1.1.- Esquemático del circuito de rendimiento correcto de la turbina (CTPC), con esquemático del componente LM393P extraído de SnapEDA [14], en Altium [fuente: elaboración propia]

En el componente LM393 usado se pueden ver integrados los dos comparadores. El comparador número 2 se encargará de analizar en todo momento cuando la tensión de la turbina supera un cierto umbral de voltaje, este umbral se podrá modificar gracias al potenciómetro R13. A partir de aquí se generan dos escenarios que servirán para explicar todo el funcionamiento del circuito.

En el primer escenario que se plantea, la turbina no está generando suficiente voltaje en el pin 2IN-, por lo que la referencia en 2IN+ obligará a la salida 2OUT a estar en alta impedancia, obteniendo 5 V de la resistencia de pull up, cerrando así el transistor MOSFET Q11 y haciendo que el nodo "Vtempo1" se mantenga a 0 V. Al estar este nodo a 0 V, el pin 1IN+ nunca será capaz de superar la referencia de voltaje marcada por el potenciómetro R12 en 1IN-, por lo que la salida 1OUT se mantendrá a 0 V, señalando que la turbina no está lista para otorgar energía

En el segundo escenario se tiene un voltaje otorgado por la turbina que supera la referencia en 2IN+, por lo que en la salida 2OUT se obtienen 0 V, abriendo el transistor MOSFET Q11. Al abrir este transistor se puede ver que se genera un circuito RC formado por R15 y C11, con una constante de tiempo de [7]:

$$\tau = RC = 1 * 10^6 \Omega * 10 * 10^{-6} F = 10s \quad (\text{Eq. 3.3.1.1})$$

Con esta constante de tiempo, y gracias al comportamiento de los circuitos RC, se sabe que el tiempo que tardará la tensión del condensador, visible en el pin 1IN+, en superar la tensión de referencia en el pin 1IN- se ve reflejado en la siguiente ecuación [7]:

$$V_{REF} = 5V + (V_{C_0} - 5V) * e^{-\tau/t} \quad (\text{Eq. 3.3.1.2})$$

$$t = -\tau * \ln\left(\frac{V_{REF} - 5V}{V_{C_0} - 5V}\right)$$

Después de un determinado tiempo, configurable gracias al valor de tensión otorgado por el potenciómetro R12, y con la tensión en el pin 1IN+ siendo mayor que la tensión en el pin 1IN- se obtendrá alta impedancia en el pin 1OUT, dando 5 V en la salida e informando a la placa del microcontrolador que la turbina está lista para ser conectada con la batería.



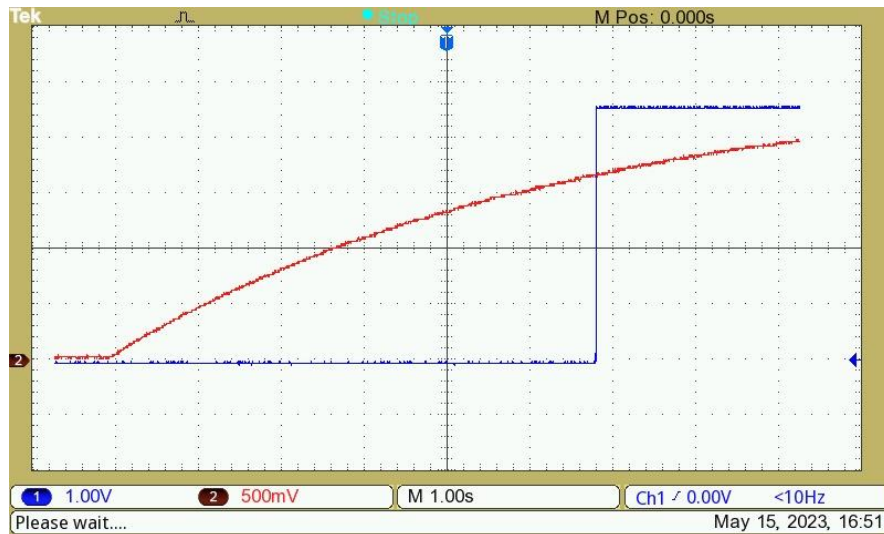


Fig 3.3.1.2.- Pantalla de un osciloscopio mostrando la señal en 1IN+ (azul) y la señal en 1IN- (rojo) [fuente: elaboración propia]

En la imagen anterior se puede observar la tensión en el condensador una vez la turbina está generando el suficiente voltaje y cuando llega a un cierto punto se observa a la señal de salida activándose y poniéndose a 5 V.

Se puede observar como la señal en rojo tiene un V/div menor que la señal en azul. Esto se debe al circuito RC y su gran impedancia, ya que en este caso se usa una resistencia de  $1\text{ M}\Omega$ . Como el osciloscopio usado para testear el circuito también cuenta con una resistencia de impedancia de  $1\text{ M}\Omega$  lo que sucede es que al medir con la sonda del osciloscopio en ese nodo se genera un divisor de tensión que divide la tensión en la salida del condensador en dos, por lo que el circuito RC no tiende a los 5V establecidos, si no que tiende a 2,5 V a la hora de medir y visualizar la señal. Esto no es un problema ya que las referencias de tensión en los comparadores son ajustables y se ha podido modificar el potenciómetro R12 para poder visualizar el correcto comportamiento del circuito.

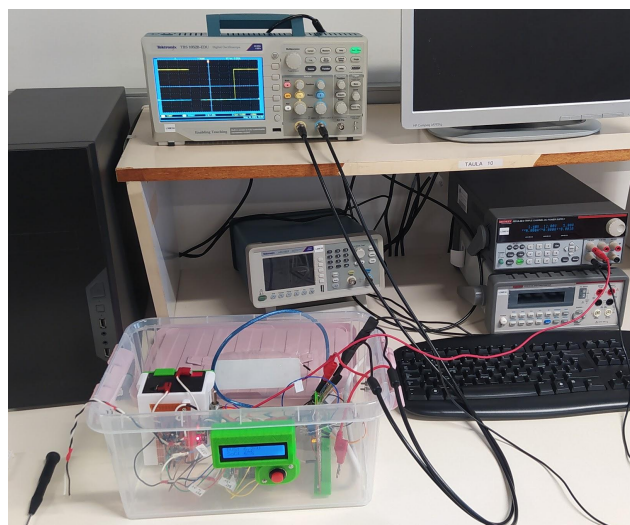


Fig 3.3.1.3.- Imagen del banco de pruebas para testear el correcto funcionamiento del CTPC [fuente: elaboración propia]

A continuación se muestra una imagen de las simulaciones del circuito, confirmando que el funcionamiento mostrado en el osciloscopio es correcto:

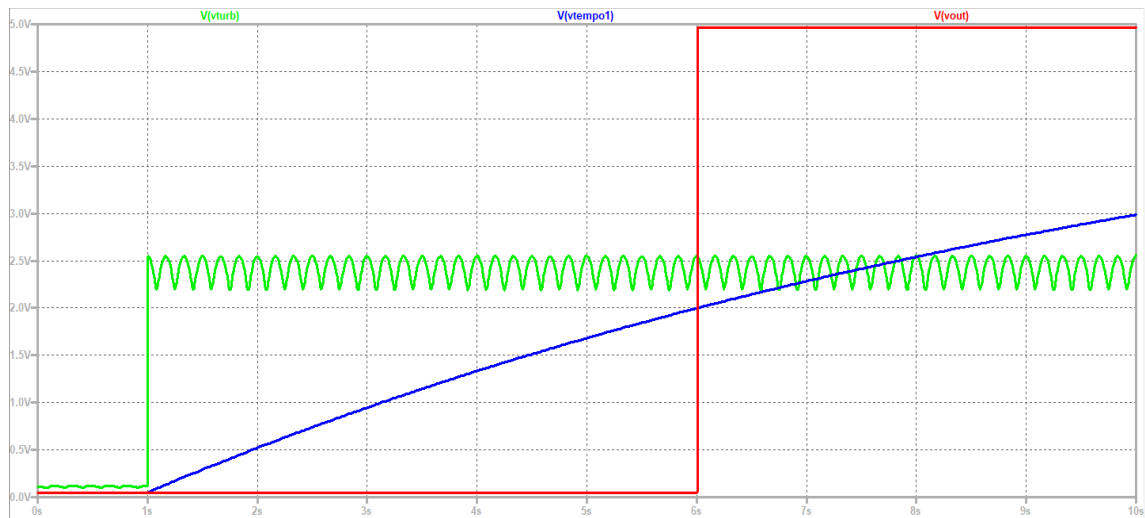


Fig 3.3.1.4.- Simulación de la señal generada por el rectificador trifásico (verde), la señal del nodo “Vtempo1” (azul) y la señal de salida del circuito (rojo) en LTSpice [fuente: elaboración propia]

### 3.3.2. Instalación del CTPC

El circuito de rendimiento correcto de la turbina será ensamblado encima de una placa de topos con el tamaño suficiente como para que haya espacio para todos los elementos, incluido el rectificador trifásico. Esta placa de topos irá enganchada a la caja de la electrónica gracias a un soporte impreso en 3D diseñado para que la placa se pueda desacoplar de la caja con 2 tornillos M3. Este soporte estará enganchado a la base de la caja de electrónica con cinta adhesiva de doble cara.

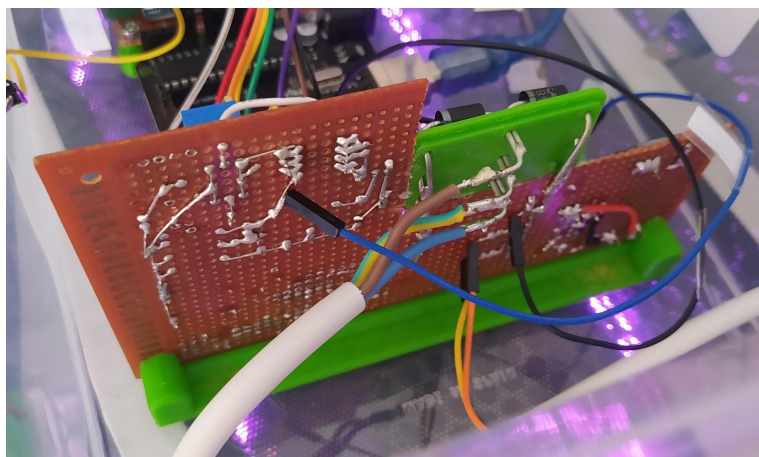


Fig 3.3.2.1- Imagen trasera de la placa de topos donde va instalada la electrónica del CTPC y el rectificador trifásico [fuente: elaboración propia]

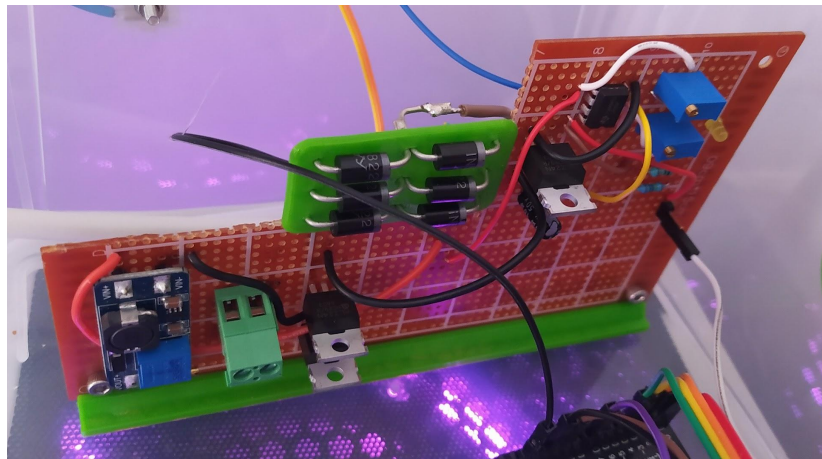


Fig 3.3.2.2.- Imagen frontal de la placa de topes donde va instalada la electrónica del CTCP y el rectificador trifásico [fuente: elaboración propia]

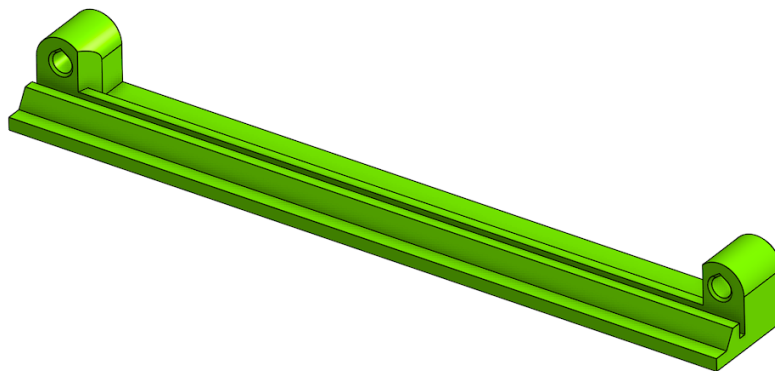


Fig 3.3.2.3.- Vista isométrica del soporte del CTCP, donde se ven las ranuras para las 2 tuercas de inserción moleteadas, en Onshape [fuente: elaboración propia]

### 3.4. Circuito limitador de corriente

En el presente proyecto se cuenta con una batería de ácido de plomo sellada que trabaja con voltajes que rondan los 6V. Según especificaciones se obtiene que la tensión de trabajo máxima de esta batería es de 7,5 V, aunque debido a la naturaleza de la batería ese sería un valor de voltaje muy elevado, por lo que se usará de referencia la tensión de trabajo máxima en *standby* de 6,9 V. Si por algún motivo la batería se descarga demasiado, se considerará que el valor crítico de tensión, antes de desconectarse del sistema, será de 5,81 V.

Una vez se tienen definidas las tensiones con las que va a trabajar la batería, es momento de diseñar la electrónica que se encargará de cargarla siguiendo ciertas restricciones. Se considera que lo más adecuado es implementar un circuito utilizando el regulador de voltaje variable LM317, ya que es una solución compacta y bastante eficiente. Este circuito se encargará de cargar la batería a una tensión determinada, pero respetando siempre que no se supere un cierto umbral de corriente.

### 3.4.1. Comportamiento del circuito

A este circuito se le pondrá el nombre de *Current Limiter Circuit* (CLC). A continuación se muestra un esquemático explicando el circuito que se va a implementar, con un diodo schottky en el nodo positivo de la batería para asegurar que la corriente solo se dirija hacia ella y no salga cuando el regulador de voltaje esté apagado.

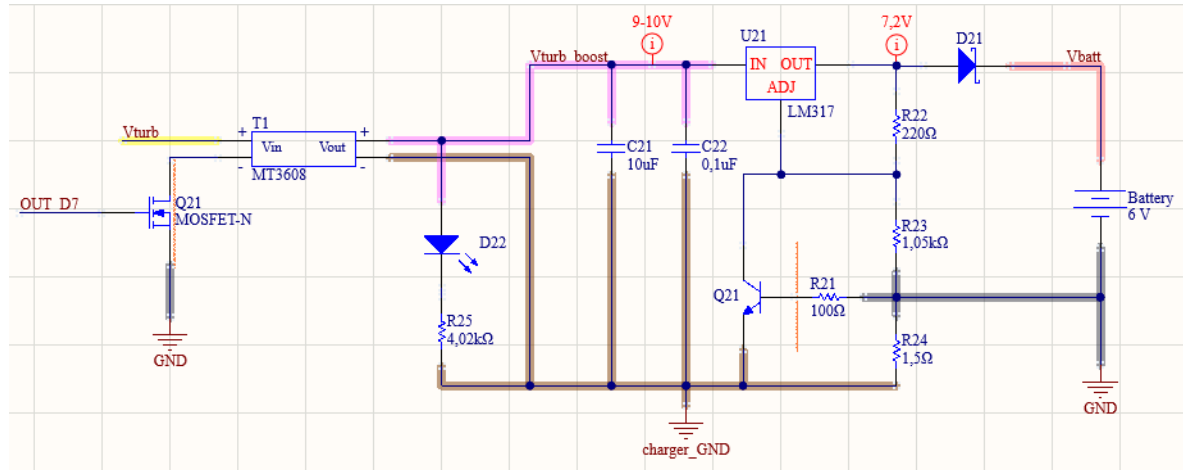


Fig 3.4.1.1.- Esquemático del circuito limitador de corriente (CLC) en Altium  
[fuente: elaboración propia]

Primero de todo es importante definir el comportamiento del regulador de tensión LM317. Este componente consta de 3 terminales: el de ajuste (ADJ), el de entrada (IN) y el de salida (OUT). Entre las patillas de ajuste y salida siempre existe una tensión diferencial de 1,25 V gracias al comportamiento interno del mismo componente, por lo que si se coloca una resistencia R2 de valor conocido entre ambas se obtiene una corriente constante de valor  $I_2 = 1,25V/R_2$ . Como el objetivo es obtener en la salida una tensión de 7,2 V (resultado de los 6,9 V a los que se quiere cargar la batería más los 0,3 V que van a caer en el diodo schottky) el divisor de tensión generado por R2 y R3 tendrá que forzar en el terminal de ajuste una tensión igual a [8]:

$$V_{adj} = 7,2V - 1,25V = 5,95V \quad (\text{Eq. 3.4.1.1})$$

Como la intensidad formada por R2 es la misma que la de R3, el valor de R3 se verá reflejado por  $R_3 = 5,95V/I_2$  y por lo tanto  $R_3 = R_2 * \frac{5,95V}{1,25V}$ . Para R2 se usará una resistencia de 220 Ω, ya que es un valor próximo al que se recomienda en la ficha técnica del componente, lo que da un valor de R3 de 1047,2 Ω ≈ 1,05 kΩ.

Por otro lado, R4 (en este caso de 1,5 Ω) se encargará de que la corriente usada para cargar la batería no sobrepase nunca un cierto umbral. Esta corriente se considerará que viene en su totalidad de la batería, ya que la corriente que atraviesa el divisor de tensión es prácticamente nula. Si esta corriente es baja, Q1 se mantendrá en corte, funcionando todo como se ha descrito previamente. Cuando en los bornes de R4 se genere una tensión lo suficientemente grande, a causa del incremento de corriente, Q1 se encargará de regular el valor en el terminal de ajuste, bajando el

valor de salida para que nunca se supere el umbral comentado anteriormente. Este umbral se define por la tensión mínima entre base-emisor que hace que el transistor Q1 empiece a entrar en su zona lineal. Como se usará un transistor 2N2222, esta tensión será de 0,6 V o 600 mV, siendo necesaria una corriente de 400 mA para generar una tensión de igual valor a través de R4. Si se quisiera aumentar este umbral sólo sería necesario disminuir el valor de R4. Por ejemplo si se quisiera limitar la corriente a 1,2 A, entonces  $R_4 = 600mV/1,2A = 0,5\Omega$ .

La función de R1 es la de limitar la corriente base-emisor por el transistor Q1, por lo que su valor será de 100 Ohms

Finalmente se colocan dos condensadores de desacoplo [9], también llamados condensadores de derivación, de valores 10 uF y 0,1 uF, que se encargarán de desacoplar posibles señales de corriente alterna (CA) de la señal de entrada en corriente continua (CC) suministrada por el convertidor DC-DC boost o step-up, para evitar ruidos y malos funcionamientos del componente LM317. Esto se debe a las altas frecuencias de conmutación a las que trabaja nuestro convertidor boost.

### 3.4.2. Instalación del CLC

La placa de topes del circuito limitador de corriente irá atornillada a la parte trasera de la pieza que hace de soporte de la batería, gracias a 2 tuercas de inserción moleteadas instaladas en esta. Los dos tornillos serán M3 y facilitarán el desacoplo del circuito si fuera necesario realizar alguna modificación.

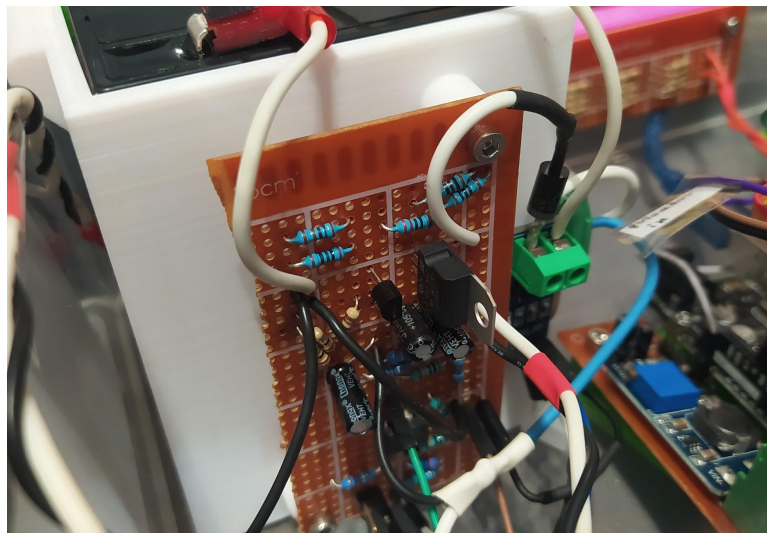


Fig 3.4.2.1.- Imagen del CLC instalado en la caja de electrónica [fuente: elaboración propia]

### 3.5. Sensor de tensión en la batería

Para obtener el estado de carga de nuestra batería es indispensable poder medir su tensión en bornes en todo momento. Para ello se tiene que considerar que la tensión de la batería es variable, por lo que tendrá un valor mínimo y un valor máximo. Con un cierto margen se cogerá un rango de entre 5 y 8 V, valores que el ADC del microcontrolador a utilizar no puede leer directamente, ya que este ADC de 10 bits (1023 intervalos) mide señales analógicas de tensión entre 0 y 5 V. Por lo tanto se necesita una electrónica capaz de aplicar un offset negativo para que el intervalo en el que se mueve la tensión de la batería se ajuste a la tensión adecuada para el ADC. No obstante, también nos interesa amplificar la señal de la batería, ya que el rango de su intervalo es de 3 V (8 - 5 V), mientras que el rango del intervalo del ADC es de 5 V. Esto se tendrá en cuenta ya que el mismo ADC de 10 bits siempre tendrá la misma precisión absoluta de 4,88 mV, y si no se respeta el rango se consigue una precisión relativa menor, ya que la gran mayoría de intervalos no se usarán. Como se puede ver a continuación usando un rango de 5 V en la entrada analógica se obtiene una precisión relativa del 0,98%, mientras que si se usa un rango de 3 V se obtiene una del 1,16%, siendo esta considerablemente peor.

$$Precisión_{abs} = \frac{rango\ ADC}{2^{10}-1} = \frac{5V}{1023\ int} = 4,88mV/intervalo \quad (\text{Eq. 3.5.1})$$

$$\frac{Precisión_{abs}}{5V} = \frac{4,88mV}{5V} = 0,98\%$$

$$\frac{Precisión_{abs}}{3V} = \frac{4,88mV}{3V} = 1,16\%$$

Para ello se utilizará un amplificador operacional configurado como un amplificador restador [10] tal y como se muestra en la imagen inferior. Lo primero que se tendrá que tener en cuenta, para los cálculos, es que al no tener disponible una fuente de alimentación negativa la tensión mínima que se podrá ver a la salida del amplificador será de 1 V más o menos, debido a la tensión mínima de saturación del propio amplificador operacional. Esto limitará el intervalo de salida de 1 a 5 V, obteniendo así un rango de 4V.

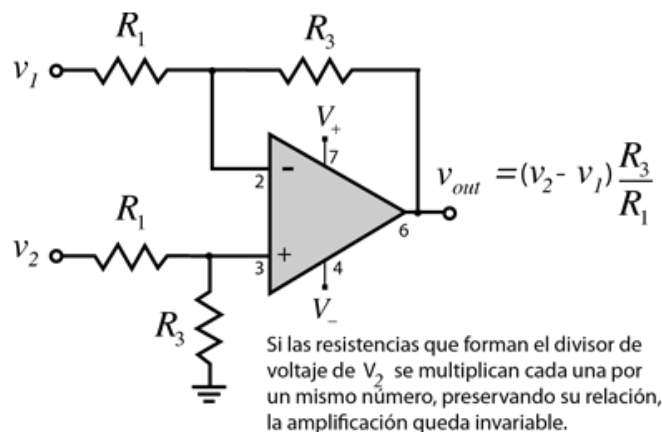


Fig 3.5.1.- Esquemático amplificador restador [fuente: obtenido de: HyperPhysics]

[10]

Con esta información se puede obtener la amplificación que se necesita con el siguiente cálculo:

$$Gain = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{4V}{3V} = 1,3 \quad (\text{Eq. 3.5.2})$$

Y con el valor de ganancia, que es equivalente a  $R_3/R_1$ , se obtiene que:

$$Gain = \frac{R_3}{R_1}; \quad R_3 = 100k\Omega \quad (\text{Eq. 3.5.3})$$

$$R_1 = \frac{R_3}{Gain} = \frac{100k\Omega}{1,3} = 75k\Omega \approx 77,4k\Omega$$

Ahora para saber el offset negativo necesario ( $V_1$ ) hará falta aislarlo de la fórmula mostrada en la figura 3.5.1, usando como valores de  $V_2$  y  $V_{out}$  los valores medios de la batería y de la salida del amplificador, respectivamente:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) * \frac{R_3}{R_1} \quad (\text{Eq. 3.5.4})$$

$$V_{out} = (V_{batt_{med}} - V_{offset_{med}}) * \frac{R_3}{R_1}$$

$$V_{offset_{med}} = V_{batt_{med}} - V_{out} * \frac{R_1}{R_3} = \frac{8+5}{2} - \frac{5+1}{2} * \frac{75}{100}$$

$$V_{offset_{med}} = 4,25V$$

Usando una resistencia  $R_1$  de 75 k $\Omega$  se obtiene una tensión de offset de 4,25 V, aunque como realmente se usará una resistencia de 77,4 k $\Omega$  (por falta de stock) la tensión de offset resultante será de 4,18 V. Para conseguirla se utilizará un divisor de tensión, entre 5 V y GND, conectado al amplificador restador a través de un seguidor de tensión, para que las resistencias que forman el divisor de tensión no interfieran con las resistencias que forman el amplificador restador. Las dos resistencias que forman el divisor de tensión serán de 20 k $\Omega$  y 100 k $\Omega$ , generando la siguiente tensión de offset:

$$V_{offset} = 5V * \frac{100}{100+20} = 4,16V \quad (\text{Eq. 3.5.5})$$



A continuación se muestra un esquemático mostrando gráficamente el conexionado del sensor de tensión de la batería, haciendo uso del componente TL082 que funciona como dos amplificadores operacionales, usando el primero como seguidor de tensión (amp. A) y el otro como amplificador restador (amp. B). Este circuito recibirá el nombre de *Battery Voltage Sensor* o BVS.

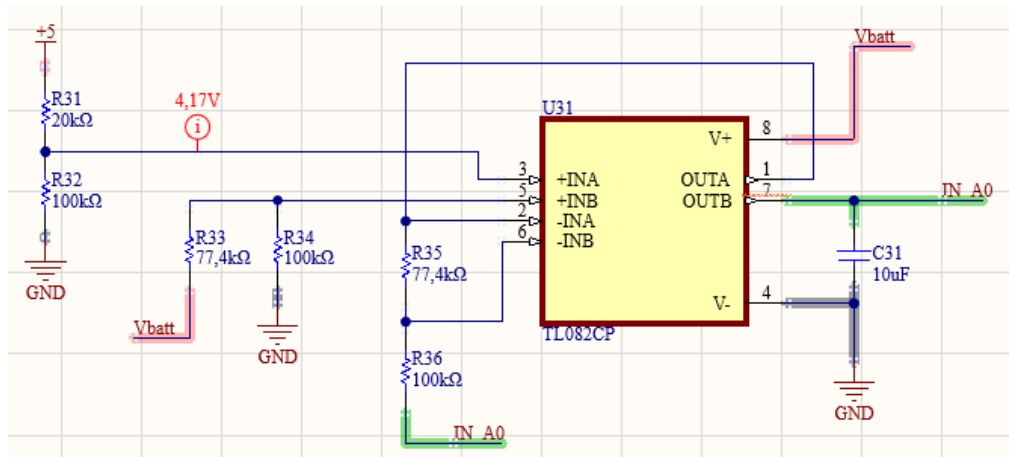


Fig 3.5.2.- Esquemático del sensor de tensión de la batería (BVS), con esquemático del componente TL082CP extraído de SnapEDA [14], en Altium [fuente: elaboración propia]

### 3.5.1. Instalación BVS

La electrónica del sensor de voltaje irá instalada en la placa de topes donde también se puede encontrar el circuito limitador de corriente (CLC), ya que es una localización que permite una gran proximidad con la misma batería, concepto muy interesante a la hora de leer la tensión de esta.

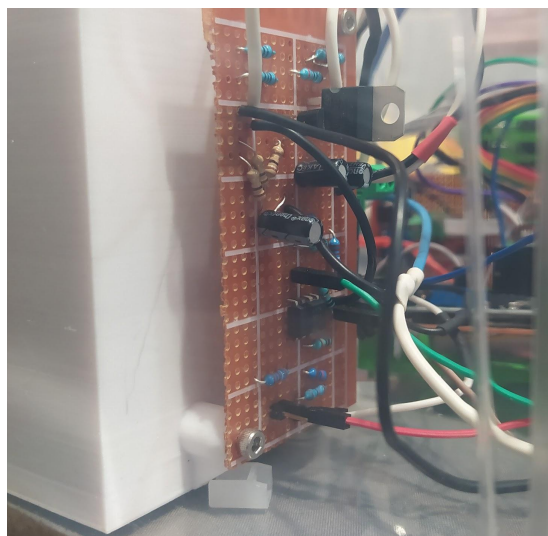


Fig 3.5.1.1.- Imagen del BVS instalado en la caja de electrónica [fuente: elaboración propia]



### 3.6. Resistencia de carga

Con el circuito de correcto funcionamiento de la turbina (CTCP) no se tendrá un control del todo correcto de la calidad de la energía otorgada por la turbina, ya que la tensión generada por esta será a carga vacía, por lo que a la que aparezca una mínima impedancia y empiece a circular corriente, se va a generar una caída de tensión en el rectificador trifásico y el alternador se frenará de manera repentina, bajando así la tensión generada por la turbina, haciendo que la señal de correcto funcionamiento de la turbina de desactive.

Por esta razón se instalará una resistencia de carga, llamada R\_LOAD, con un bajo valor para que la turbina nunca trabaje a carga vacía. Cuando la turbina realmente esté generando una tensión correcta según el CTPC, este mandará la señal al microcontrolador y este último activará la conexión entre la turbina y la batería, mientras que la resistencia de carga será desactivada.

#### 3.6.1. Cálculo de la resistencia de carga

Para calcular el valor de R\_LOAD se sabe que el voltaje que debe producir la turbina, antes de ser conectada al circuito de carga de la batería, debe de ser superior a 2 V para que el sistema pueda funcionar correctamente, por lo que con una holgura prudencial se podría considerar este valor de 3 V. También se sabe que la corriente de carga máxima que circulará por la batería será de 400 mA (definida en el apartado 3.4.1). Debido a que entre el voltaje generado por la turbina y el voltaje del circuito de alimentación de la batería existe un convertidor DC-DC (con su eficiencia del 93%), la corriente en la entrada será más elevada que la corriente en la salida del convertidor, ya que el voltaje de la turbina será de 3 V y el circuito de alimentación de la batería funcionará a 9 V.

$$0,93 * P_{in} = P_{out}; \quad 0,93 * V_{in} * I_{in} = V_{out} * I_{out} \quad (\text{Eq. 3.6.1.1})$$

$$I_{in} = V_{out} * I_{out} / (0,93 * V_{in}) = 9V * 0,4A / (0,93 * 3V)$$

$$I_{in} = 1,29A$$

La corriente dada en la ecuación anterior sería la máxima corriente a la que tendría que trabajar el alternador de la turbina, caso que no se va a dar muy a menudo. Por ello se considera un valor de corriente bastante más pequeño para calcular nuestra resistencia de carga para una tensión de 3 V en la turbina. La corriente a la que estará trabajando nuestra turbina antes de que el CTCP actúe será de 500 mA, por lo que el valor de resistencia tendrá que ser equivalente a 3 V / 500 mA, que són 6  $\Omega$ . Esta resistencia tendrá que estar dimensionada para disipar 1,5 W, resultado de multiplicar los 3 V con los 500 mA. Como se trabaja con resistencias de 1/8 W, se necesita una configuración con un mínimo de 12 resistencias.

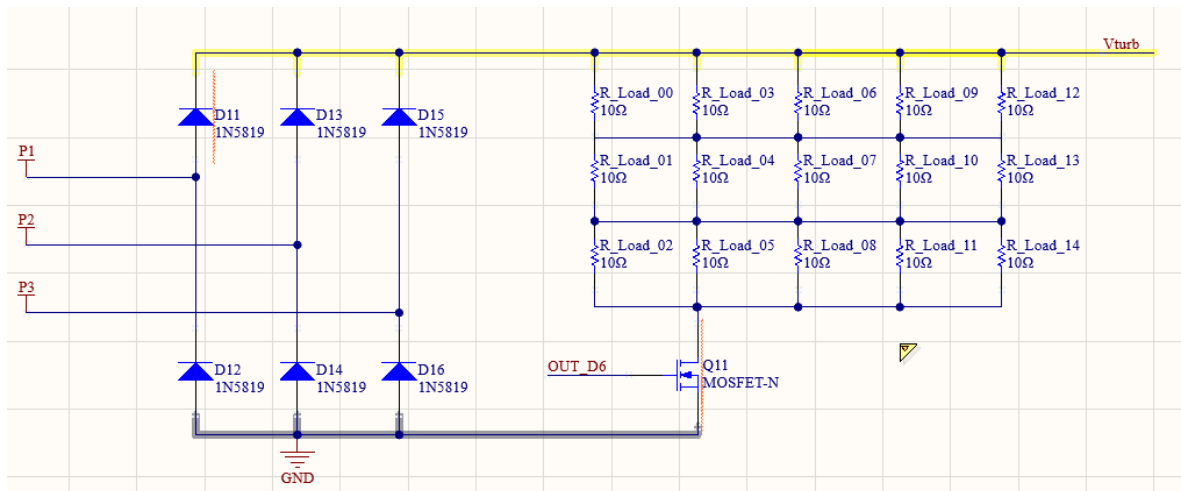


Fig 3.6.1.1.- Esquemático de la resistencia de carga (R\_LOAD) conectada a las salidas del rectificador trifásico en Altium [fuente: elaboración propia]

En la imagen anterior se puede observar una configuración con 15 resistencias de 10 Ω y 1/8 W cada una, formando una resistencia R\_LOAD equivalente de 6 Ω y pudiendo disipar un total de 1,88 W sin sobrecalentarse. Esta resistencia será activada, gracias a un pin del microcontrolador, a través del transistor MOSFET Q11.

### 3.6.2. Instalación resistencia de carga

La resistencia de carga irá instalada en una de las paredes de la caja de electrónica. Las resistencias que forman la resistencia de carga serán soldadas a una cierta distancia de la placa de topes evitando el contacto directo y facilitando al máximo posible la disipación térmica al aire. La placa de topes estará atornillada con tornillos M3 a un soporte impreso en PLA gracias a 2 tuercas de inserción moleteadas. Luego este soporte estará pegado a la pared de la caja gracias a una cinta adhesiva de doble cara.



Fig 3.6.2.1.- Resistencia de carga instalada en la caja de electrónica [fuente: elaboración propia]

### 3.7. Sensor de corriente

Para realizar un seguimiento de la corriente otorgada por la batería se colocará un sensor de efecto Hall en el borne positivo de ésta, antes que cualquier otro circuito. Así se podrá sensar la corriente en ambas direcciones, ya que en este caso la batería se estará cargando y descargando continuamente, y es indispensable saber en todo momento en que estado se encuentra a través de la corriente, ya que solo con la información que proporciona la tensión en bornes de la batería no es suficiente para sacar conclusiones útiles. A esta electrónica se le llamará *Battery Current Sensor* (BCS).

Los sensores de efecto Hall son dispositivos que permiten medir campos magnéticos mediante el efecto Hall, que consiste en la generación de una diferencia de potencial en un material cuando se somete a un campo magnético. El funcionamiento de un sensor de efecto Hall se basa en una pastilla de material semiconductor que contiene una capa de material sensible al campo magnético, generalmente una aleación de indio, galio y arsénico (InGaAs). Cuando un campo magnético perpendicular atraviesa la pastilla, se genera una tensión en los bordes opuestos de la capa sensible, que se puede medir mediante un circuito electrónico asociado al sensor. Esto permite realizar una medición precisa y cero invasiva. Además són pequeños, ligeros y de bajo consumo, por lo que són perfectos para proyectos pequeños o de baja potencia, como el que se trata en este trabajo.

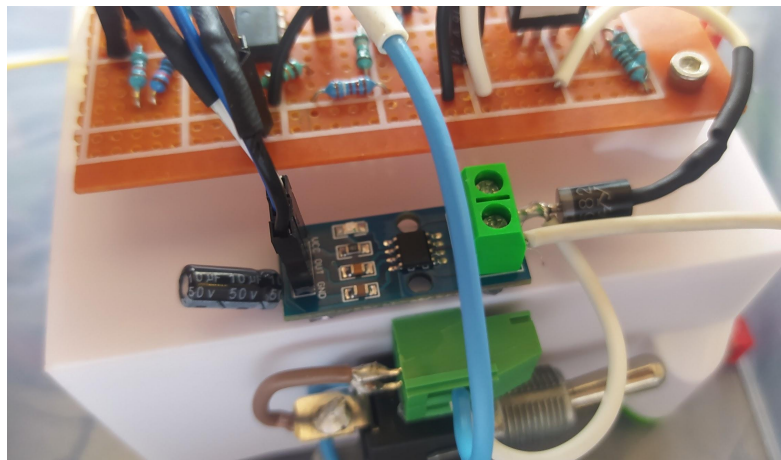


Fig 3.7.1.- Sensor Hall ACS712 de 5A instalado en la caja de electrónica [fuente: elaboración propia]

Se usará el sensor de efecto Hall ACS712, capaz de medir corrientes de 30, 20 o 5 Amperios, según el modelo. Como no se trabajará con corrientes muy elevadas (como mucho de 1 A), se considera que el modelo dimensionado a 5 A es el más correcto. Para una lectura más estable en la salida, se conectará un condensador electrolítico de 10 uF que anulará cierto ruido que puedan llegar a ser molesto a la hora de leer la señal desde el puerto analógico del microcontrolador.

Como se puede ver en la imagen este sensor irá instalado en la parte trasera de la caja de la batería gracias a cinta adhesiva de doble cara, al lado de la placa de topes donde se encuentran el CLC y el BVS. No contará con ninguna etapa de amplificación ya que no se considera necesaria debido a las

necesidades del proyecto, aunque si se requiriera hacer una medición precisa se debería de implementar obligatoriamente.

El sensor usado cuenta con una sensibilidad de 185 mV/A. Con una corriente de 0 A se obtiene una tensión de 2,5 V. Por lo tanto el valor de tensión en la salida del sensor oscilará alrededor de este valor dependiendo de si la batería se encuentra otorgando o recibiendo corriente, teniendo en cuenta el factor de sensibilidad.

Siguiendo estos conceptos, y teniendo en cuenta que el ADC de la placa del microcontrolador llega hasta 5 V, se obtiene que el mayor valor de corriente teórico que se podrá calcular será de 13,5 A. Si se tiene en cuenta que el sensor también puede sensar corriente negativa, el módulo del rango, formado por la tensión mínima y máxima, será de 27 A.

Como el ADC de la placa del microcontrolador es de 10 bits, se obtiene que la resolución obtenida de la medición directa del sensor será equivalente al módulo del rango dividido entre el número de intervalos posibles en estos 10 bits, que es de 1023. Así se consigue una resolución de 26,4 mA.

### 3.8. Pantalla de cristal líquido

Como display del sistema se usará una pantalla de cristal líquido (*Liquid Crystal Display* o LCD) de 16x2, ya que es muy usada en proyectos con placas de Arduino y su implementación en la programación es relativamente sencilla. Este display mostrará datos generales sobre el sistema, como el Soc (*State of Charge*) de la batería así como su tensión en bornes, tensión generada por la turbina, nivel de luz y cualquier otro dato relevante que se le quiera implementar al proyecto. También se piensa instalar un pulsador adicional con el fin de poder modificar los datos visibles en el display, ya que al ser de un tamaño reducido, no se podrán mostrar todos los datos en una sola pantalla.

En la primera imagen se muestra el montaje necesario para conectar la pantalla LCD a una placa Arduino UNO en una protoboard usando la aplicación *Fritzing*. En las dos imágenes posteriores se puede observar la implementación del display usando una placa de topos para que el conexionado quede compacto y sea más cómodo a la hora de manipular el equipo:

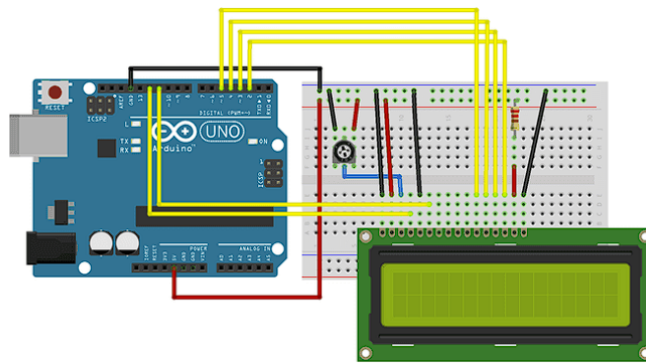


Fig 3.8.1.- Conexionado pantalla LCD con placa Arduino Uno [11]

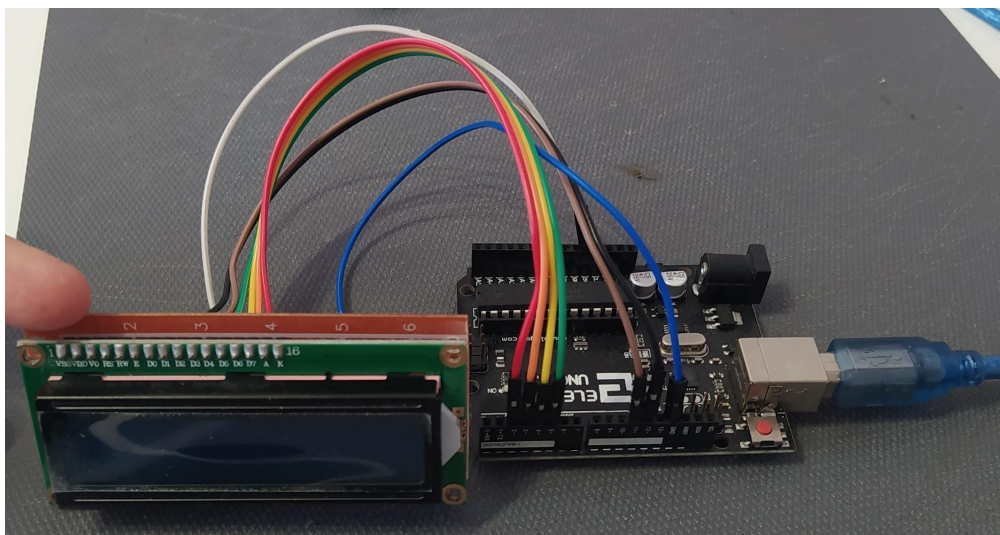


Fig 3.8.2.- Montaje frontal pantalla pantalla LCD [fuente: elaboración propia]

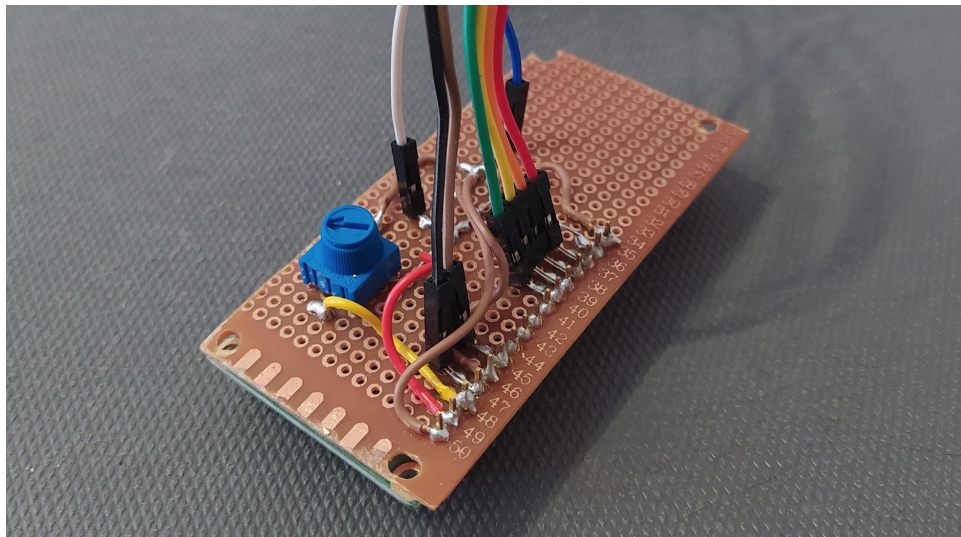


Fig 3.8.3.- Montaje trasero LCD [fuente: elaboración propia]

El conexionado consta de un potenciómetro de 10 k $\Omega$  entre +5V y GND para regular la intensidad lumínica de los caracteres mostrados en el display, una resistencia de 220  $\Omega$  a +5V para la alimentación del LED trasero, un pin de selección de registro (RS) que controla dónde en la memoria de la pantalla LCD se están escribiendo datos, un pin de lectura/escritura (R/W) que selecciona el modo de lectura o el modo de escritura, un pin de habilitación (Enable) que permite la escritura en los registros y 8 pines de datos (D0-D7), donde los estados de estos pines (alto o bajo) son los valores que se están leyendo.



### 3.8.1. Instalación de la pantalla LCD

La pantalla de cristal líquido irá sujeta a la caja de electrónica de la turbina gracias a una carcasa impresa en PLA verde fluorescente. Esta carcasa cuenta con 4 tuercas de inserción moleteadas de latón para poder ser atornillada con tornillos M3. El cableado irá por la parte trasera gracias a un agujero en la caja.

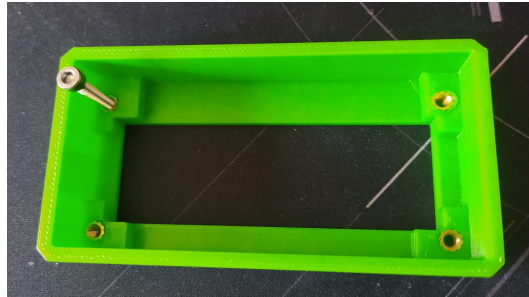


Fig 3.8.1.1.- Imágen trasera de la carcasa de la pantalla LCD, las tuercas de inserción moleteadas [fuente: elaboración propia]

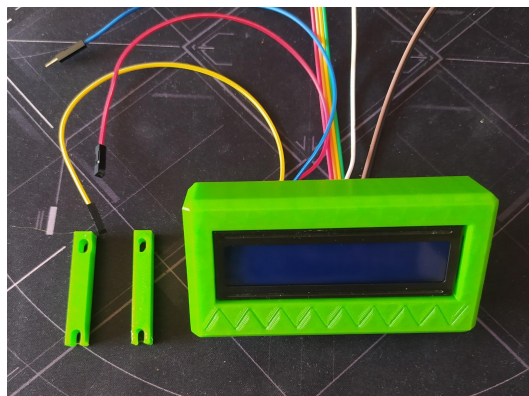


Fig 3.8.1.2.- Imágene frontal de la carcasa de la pantalla LCD, mostrando las diferentes partes que forman la carcasa [fuente: elaboración propia]

Debajo de la pantalla también se puede observar el botón con el cual se podrá navegar por el display, sujeto a la caja gracias a dos tornillos M3.

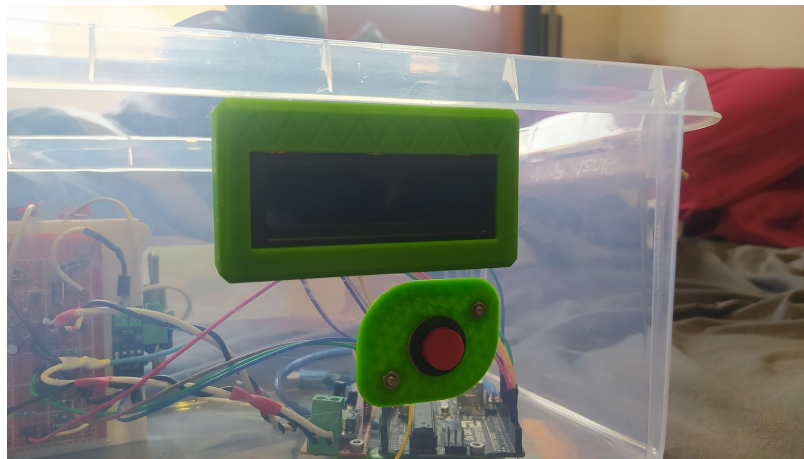


Fig 3.8.1.3.- Imágen frontal de la pantalla LCD instalado en la caja de electrónica  
[fuente: elaboración propia]

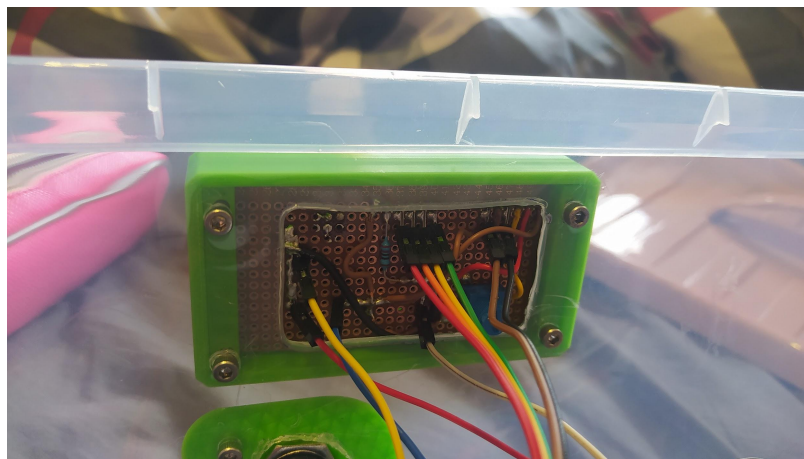


Fig 3.8.1.4.- Imágen trasera de la pantalla LCD instalado en la caja de electrónica  
[fuente: elaboración propia]



## 4. Programación

Una vez se tiene la parte mecánica y electrónica definida y completa, toca entrar en el mundo de la programación. Gracias al software y al hardware la placa del microcontrolador será capaz de leer las diferentes tensiones analógicas [13] de los distintos sensores para obtener medidas de tensión o corriente, y mediante sus pines digitales podrá leer ciertas señales, abrir o cerrar transistores y mostrar cualquier dato que se crea necesario en la pantalla de cristal líquido.

El software estará formado por un código escrito en C++, un lenguaje de programación de alto nivel ampliamente utilizado en la programación de microcontroladores como Arduino. Este código se dividirá en varias secciones y subsecciones. Por eso se irá de apartado en apartado, mostrando las líneas de código de cada uno seguidas de un texto explicativo que explique todas las funciones que desempeñen.

### 4.1. Ordinograma

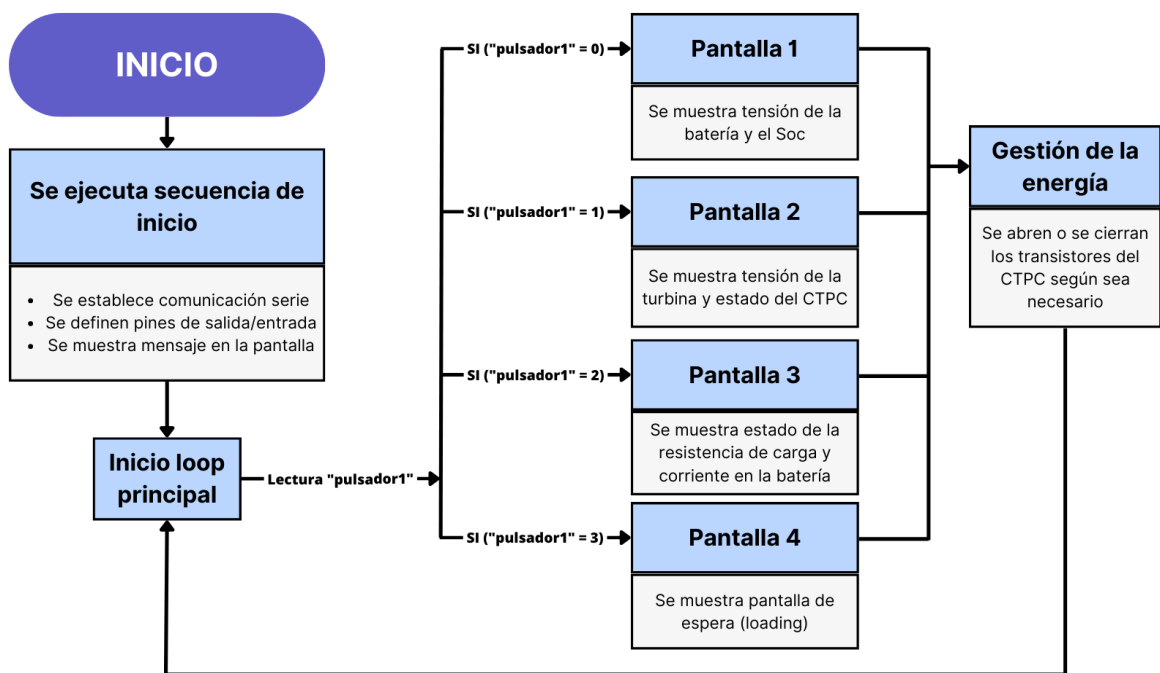


Fig 4.1.1.- Diagrama de flujo donde se muestran de manera gráfica los procesos del código en Canvas [17] [fuente: elaboración propia]

## 4.2. Definiciones previas

### 4.2.1. Librerías

```
C/C++  
////////////////////////////////////  
//LIBRARYS  
////////////////////////////////////  
  
#include <LiquidCrystal.h>
```

Esta librería se puede instalar desde el propio Arduino IDE y permite que una placa Arduino o similar controle pantallas LiquidCrystal (LCD) basadas en el conjunto de chips Hitachi HD44780, que se encuentran en la mayoría de las pantallas LCD basadas en texto. La biblioteca funciona en modo de 4 u 8 bits.

Esta biblioteca es software libre y puede redistribuirse y/o modificarse según los términos de la Licencia Pública General Reducida de la GNU, publicada por la Free Software Foundation.

#### 4.2.2. Tabla de valores del SoC

```
C/C++
////////////////////////////////////
// LOOKUP TABLE SOC
////////////////////////////////////

float V_vs_SOC[][2] = {
    {5810, 0},
    {5850, 10},
    {5900, 20},
    {5980, 30},
    {6050, 40},
    {6110, 50},
    {6200, 60},
    {6290, 70},
    {6330, 80},
    {6390, 90},
    {6440, 100},
};

#define V_vs_SOC_size 11
```

El fragmento de código proporcionado muestra una tabla de búsqueda (lookup table) que relaciona el voltaje (V) con el Estado de Carga (SoC) de una batería. Esta tabla se utiliza para realizar mapeos entre el voltaje medido y el estado de carga correspondiente.

Además, se define una constante 'V\_vs\_SOC\_size' con un valor de 11, que indica el tamaño total de la tabla, es decir, el número de filas en la matriz 'V\_vs\_SOC'.

### 4.2.3. Configuración de la pantalla LCD

```
C/C++
////////////////////////////////////
//LCD CONFIG
////////////////////////////////////

const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
```

Aquí se configura la pantalla LCD mediante la asignación de pines específicos y crea un objeto 'lcd' que permitirá interactuar con la pantalla en el programa principal. Esto es esencial para mostrar información y mensajes al usuario en el sistema.

### 4.2.4. Inputs

```
C/C++
////////////////////////////////////
//INPUTS
////////////////////////////////////

#define BVS A0
#define BHS A1
#define Vturb A2
#define puls1 8
#define turb_ok 9
```

Este fragmento de código asigna nombres simbólicos a los pines de entrada utilizados en el sistema, lo que facilita su referencia y mejora la legibilidad del código utilizando directivas de preprocesador '#define'. Esto es importante para un mantenimiento y desarrollo más eficiente del sistema en general.

#### 4.2.5. Outputs

```
C/C++
////////////////////////////////////
//OUTPUTS
////////////////////////////////////

#define load 6
#define turb 7
```

En este caso, se definen los nombres simbólicos para los pines de salida 'load' para el pin 6 y 'turb' para el pin 7.

#### 4.2.6. Variables

```
C/C++
////////////////////////////////////
//VARIABLES
////////////////////////////////////

#define V5 5020
#define bits 1023
float Voffset = V5*100.0/(100+20)
int menuDisplay = 0;
int loading;
```

En este apartado se asignan valores a ciertos nombres simbólicos, con la única diferencia que estos pueden ser variables. Primero se tiene el valor del voltaje de 5 V que proporciona el microcontrolador definido como 'V5'. Este valor puede sufrir pequeñas variaciones, por lo que si se cree necesario se puede configurar, en mV. Luego se tiene el número de intervalos presentes en el ADC del microcontrolador definido como 'bits'. Estos valores no serán variables a ojos del código, aunque por los motivos comentados se consideran como tal.

A continuación aparecen las demás variables. 'Voffset' se declara como una variable de tipo 'float', ya que se trata de una variable con decimales, y 'menuDisplay' y 'loading' como variables de tipo enteras o 'int', ya que servirán posteriormente como contadores y no para realizar cálculos, por lo que no harán falta decimales. La variable 'Voffset' también se usará más adelante ya que representa el offset aplicado al voltaje de la batería en el BVS.

## 4.3. Funciones

### 4.3.1. Función del pulsador

```
C/C++
int funcion_pulsador1(int ciclos)
{
    for (int i=0; i<ciclos; i++){
        bool estadoPulsador1 = digitalRead(puls1);
        if (estadoPulsador1 == 1){
            while (estadoPulsador1 == 1){
                estadoPulsador1 = digitalRead(puls1); delay(10);
            }
            ++menuDisplay;
            int n_menuDisplay = 4;
            if (menuDisplay < n_menuDisplay){}
            else{menuDisplay = 0;}
            clean_row(0);clean_row(1);
            i = ciclos;
            loading = 30;
        }
        delay(10);
    }
}
```

La función 'funcion\_pulsador1()' implementa la lógica para detectar y responder a un pulsador en un circuito. El parámetro 'ciclos' determina el número de veces que se ejecutará el bucle 'for'.

Dentro del bucle, se lee el estado del pulsador y se almacena en la variable 'estadoPulsador1'. Si el estado del pulsador es igual a 1, se entra en un bucle 'while' que espera a que el pulsador se suelte (cuando el estado del pulsador es diferente de 1). Una vez que el pulsador se ha soltado, se incrementa la variable 'menuDisplay', variable que se encargará de darle información al bucle principal sobre en qué menú se encuentra el sistema.

A continuación, se verifica si 'menuDisplay' es menor que 'n\_menuDisplay' (en este caso, 4). Si es así, no se realiza ninguna acción. De lo contrario, se reinicia 'menuDisplay' a 0. Se llaman a las funciones 'clean\_row(0)' y 'clean\_row(1)' para limpiar las filas de la pantalla LCD.

Finalmente, se actualiza la variable 'i' a 'ciclos' para salir del bucle 'for' y se asigna un valor de 30 a la variable 'loading'. El código utiliza la función 'delay()' para introducir un retraso de 10 milisegundos en cada iteración del bucle, el cual se considera un tiempo correcto para que exista una rápida reacción de la función en cuanto el pulsador cambie de estado.

Esta función es útil para controlar el comportamiento de un pulsador y realizar acciones específicas en respuesta a su estado.

### 4.3.2. Función del CTPC

```
C/C++
int funcion_CTPC()
{
    int SOC = SOC_read();
    bool generador = digitalRead(turb_ok);
    if (generador == 1){
        digitalWrite(turb, HIGH);
        if (SOC < 100){
            digitalWrite(load, LOW);
        }
        else{
            digitalWrite(load, HIGH);
        }
    }
    else{
        digitalWrite(turb, LOW);
        digitalWrite(load, HIGH);
    }
}
```

El código comienza obteniendo el valor del State of Charge (SoC) de la batería llamando a la función 'SOC\_read()'. Luego, se lee el estado del pin 'turb\_ok', que indica si la turbina está lista para suministrar energía.

A continuación, se realiza una verificación condicional. Si el estado del pin 'turb\_ok' es igual a 1 (alto), significa que la turbina puede suministrar energía. En ese caso, se establece el pin 'turb' en alto, lo que indica que la conexión entre la turbina y la batería está activada.

Dentro de esta condición, hay otra verificación basada en el valor del SoC. Si el SoC es menor que 100, se establece el pin 'load' en bajo, lo que significa que la resistencia de carga está desactivada. En cambio si el valor del SoC es igual o superior a 100 querrá decir que la batería ya está cargada por completo y la energía que pueda suministrar la turbina tendrá que ser disipada en forma de calor, por lo que se establece el pin 'load' en alto y se activa la resistencia de carga.

Si ninguna de las condiciones anteriores se cumple, lo que implica que la turbina no puede suministrar energía (estado del pin 'turb\_ok' igual a 0), se establece el pin 'turb' en bajo, lo que desactiva la conexión entre la turbina y la batería. Además, se establece el pin 'load' en alto, lo que activa la resistencia de carga.

### 4.3.3. Muestra del estado del CTCP

```
C/C++
int CTPC_show()
{
    bool generador = digitalRead(turb_ok);
    String state;
    if (generador == 1){
        state = "ON";
    }
    else{
        state = "OFF";
    }
    lcd.print("CTPC: "); lcd.print(state); lcd.print(" ");
}
```

En primer lugar, se lee el estado de un pin llamado 'turb\_ok' utilizando la función 'digitalRead()'. A continuación, se declara una variable de tipo 'String' llamada 'state', que se utilizará para almacenar el estado del generador en formato de texto.

A continuación, se realiza una verificación condicional para determinar el estado del generador. Si el valor del pin 'turb\_ok' es igual a 1 (alto), se asigna el valor "ON" a la variable 'state', lo que indica que el generador está encendido. Si el valor del pin 'turb\_ok' es diferente de 1 (bajo), se asigna el valor "OFF" a la variable 'state', lo que indica que el generador está apagado.

Finalmente, se muestra el estado de la conexión entre el alternador y la batería en la pantalla pantalla LCD bajo el nombre de 'CTCP'.



#### 4.3.4. Muestra del estado de la resistencia de carga

```
C/C++
int R_load_show()
{
    int SOC = SOC_read();
    bool generador = digitalRead(turb_ok);
    String state;
    if (SOC < 100 && generador == 1){
        state = "OFF";
    }
    else{
        state = "ON";
    }
    lcd.print("R_load: "); lcd.print(state); lcd.print(" ");
}
```

La función 'R\_load\_show()' se encarga de determinar el estado de la resistencia de carga en función de dos variables, 'SOC' y 'generador', y mostrar este estado en la pantalla LCD mediante un 'ON' o un 'OFF'.

#### 4.3.5. Lectura y cálculo del valor del voltaje en la batería

```
C/C++
int BVS_read()
{
    int sensor = analogRead(BVS);
    int Vout = sensor*V5/bits;
    int Vin = (Vout*77.4/100)+Voffset;
    return Vin;
}
```

La función 'BVS\_read()' se encarga de leer el valor analógico de voltaje del sensor de voltaje en la batería conectado al pin 'BVS', realizar cálculos para obtener los valores de tensión de salida 'Vout' y de entrada 'Vin' con base en ese valor leído y los parámetros de referencia establecidos ('V5', 'bits' y 'Voffset'), y devuelve el valor de 'Vin' en mV. Esto permite obtener y procesar datos de tensión del sensor para su posterior uso en el sistema.

### 4.3.6. Muestra del valor del voltaje en la batería

```
C/C++
int BVS_show()
{
    float Vbatt = BVS_read();
    lcd.print("Vbatt: ");
    if (Vbatt <= 5850){
        lcd.print("  "); lcd.rightToLeft();
        lcd.print("  "); lcd.leftToRight();
        delay(100);
    }
    lcd.print(Vbatt/1000); lcd.print("V"); lcd.print(" ");
}
```

La función 'BVS\_show()' se encarga de llamar a la función 'BVS\_read()' y se le asigna su resultado en mV a la variable 'Vbatt'. Luego existen dos alternativas. Si este valor no supera un cierto umbral de tensión (equivalente al 10% del estado de carga de la batería) se mostrará en la pantalla el valor de tensión en la batería, en Voltios, realizando un parpadeo. Si lo supera, se mostrará este valor de manera normal, ya que se ignorará el 'if' presente en el código causante del parpadeo.

### 4.3.7. Lectura y cálculo del valor de corriente en la batería

```
C/C++
int BHS_read()
{
    float sensor = analogRead(BHS);
    float Vout = sensor*V5/bits;
    float Cin = ((Vout-(V5/2))/0.185)+270;
    return Cin;
}
```

La función 'BHS\_read()' se encarga de leer el valor analógico de voltaje del sensor Hall de corriente conectado al pin 'BHS', realizar cálculos para obtener el valor de tensión de salida 'Vout' y de corriente de entrada 'Cin' basándose en el comportamiento del propio sensor, y devuelve el valor de 'Cin' en mA. Esto permite obtener y procesar datos de corriente del sensor para su posterior uso en el sistema. Se puede observar que a la hora de definir 'Cin' se le aplica un pequeño offset de 270 mA, debido a un mal funcionamiento del sensor que no se ha podido resolver por hardware.

#### 4.3.8. Muestra del valor de corriente en la batería

```
C/C++
int BHS_show()
{
    float Cbatt = BHS_read();
    lcd.print("BHS: ");
    lcd.print(Cbatt/1000); lcd.print("A"); lcd.print(" ");
}

```

La función 'BHS\_show()' se encarga de llamar a la función 'BHS\_read()' y se le asigna su resultado en mA a la variable 'Cbatt'. Luego se divide esta variable entre mil, para pasar de mA a A, y se muestra en la pantalla, con su respectivo nombre y unidad.

#### 4.3.9. Lectura y cálculo del valor de voltaje en la turbina

```
C/C++
int Vturb_read()
{
    int sensor = analogRead(Vturb);
    int V = sensor*V5/bits;
    return V;
}

```

La función 'Vturb\_read()' se encarga de devolver el valor del voltaje 'V' en la turbina, realizando una lectura directa del voltaje a través del pin analógico 'Vturb'.

#### 4.3.10. Muestra del valor de voltaje en la batería

```
C/C++
int Vturb_show()
{
    float Vturb = Vturb_read();
    lcd.print("Vturb: ");
    lcd.print(Vturb/1000); lcd.print("V"); lcd.print(" ");
}
}
```

La función 'Vturb\_show()' llama a la función 'Vturb\_read()' y se le asigna su resultado en mV a la variable 'Vturb'. Luego se divide esta variable entre mil, para pasar de mV a V, y se muestra en la pantalla, con su respectivo nombre y unidad.

#### 4.3.11. Función de interpolación lineal

```
C/C++
float interpolar(float x, float tabla[][2], int size)
{
    float y = 0.0;
    int i = 0;

    while ((i < size) && (x > tabla[i][0])){
        i++;
    }
    if (i == 0){
        y = tabla[0][1];
    }
    else if (i == size){
        y = tabla[size-1][1];
    }
    else{
        float m = (tabla[i][1]-tabla[i-1][1])/(tabla[i][0] - tabla[i-1][0]);
        float b = tabla[i][1] - m * tabla[i][0];
        y = m * x + b;
    }
    return y;
}
}
```

La función 'interpolar' se encarga de realizar una interpolación lineal para obtener el valor 'y' correspondiente a un valor 'x' dado, utilizando una tabla de valores almacenada en un arreglo bidimensional.

La función toma tres parámetros: x, que representa el valor de entrada para el cual se desea interpolar; 'tabla', que es el arreglo bidimensional que contiene la tabla de valores para la interpolación; y 'size', que indica el tamaño de la tabla.

Dentro de la función, se inicializa la variable 'y' con el valor 0.0 y se inicializa el índice i con 0. A continuación, se realiza un bucle 'while' que se ejecuta mientras i es menor que 'size' y 'x' es mayor que el valor 'x' en la tabla en la posición i. Esto permite encontrar el intervalo en el que se encuentra el valor 'x' dentro de la tabla.

Si el valor 'i' es igual a 0, significa que 'x' es menor que el valor mínimo en la tabla, por lo que se asigna a 'y' el valor correspondiente en la tabla en la posición 0. Si el valor 'i' es igual a 'size', significa que 'x' es mayor que el valor máximo en la tabla, por lo que se asigna a 'y' el valor correspondiente en la última posición de la tabla.

Si 'x' se encuentra dentro de un intervalo válido en la tabla, se calcula la pendiente 'm' y el término independiente 'b' de la ecuación de una línea recta mediante la fórmula de interpolación lineal. Estos valores se utilizan para calcular el valor 'y' mediante la ecuación de la recta. Finalmente, se devuelve el valor 'y' calculado.

#### 4.3.12. Cálculo del SoC

C/C++

```
int SOC_read()
{
    int Vbatt = BVS_read();
    int SOC = interpolar(Vbatt, V_vs_SOC, V_vs_SOC_size);
    return SOC;
}
```

La función 'SOC\_read()' comienza llamando a la función 'BVS\_read' para obtener el voltaje de la batería y lo almacena en la variable 'Vbatt'. A continuación, utiliza la función 'interpolar' para interpolar el valor de 'Vbatt' utilizando la tabla de voltajes y estados de carga 'V\_vs\_SOC' y el tamaño de la tabla 'V\_vs\_SOC\_size'. Esto proporciona una estimación del SOC correspondiente al voltaje de la batería gracias al uso de la función 'interpolar', que utiliza una tabla de referencia de voltaje vs SOC para realizar una interpolación lineal y obtener el estado de carga (SoC) aproximado de la batería.

Este tipo de aproximación del valor del estado de carga de la batería es capaz de ofrecer resultados de manera rápida y relativamente sencilla, ya que solo es necesario tener como input el voltaje en bornes de la batería.

Se podrían utilizar otros métodos más precisos para calcular el SoC, pero sería necesaria una medición de la corriente en la batería con mucha precisión y un software potente. Esto se considera excesivo ya que la aproximación actual se considera suficiente como para poder prevenir daños irreversibles por descarga total o sobrecargas, teniendo en cuenta que no se trabajará con corrientes elevadas.

Finalmente, el valor del SoC calculado se almacena en la variable 'SOC' y se devuelve como resultado de la función.

#### 4.3.13. Muestra del valor del SoC

```
C/C++
int SOC_show()
{
    int SOC = SOC_read();
    lcd.print("SoC: ");
    lcd.print(SOC); lcd.print("%"); lcd.print("  ");
}
```

La función 'SOC\_show()' se encarga de llamar a la función 'SOC\_read()' y se le asigna su resultado en tanto por ciento a la variable 'SOC'. Luego se muestra esta variable en la pantalla, con su respectivo nombre y unidad.

#### 4.3.14. Limpiar fila

```
C/C++
int clean_row(int a)
{
    lcd.setCursor(0, a);
    lcd.print("          ");
    lcd.setCursor(0, a);
}
```

Para facilitar el trabajo de limpiar la pantalla LCD si fuera necesario, se usará la función 'clean\_row' encargada de borrar los caracteres de la fila 'a', teniendo en cuenta que la pantalla LCD usada solo tiene dos filas y por lo tanto este valor de 'a' podrá tomar el valor de 0 o 1 para borrar la fila de arriba o la de abajo.

## 4.4. Código principal

### 4.4.1. Secuencia de inicio

```
C/C++
////////////////////////////////////
//SECUENCIA INICIO
////////////////////////////////////

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(puls1, INPUT);
  pinMode(load, OUTPUT);
  pinMode(turb, OUTPUT);

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("## MR. ALEXIS ##");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("## UPC EEBE ##");
  for(int i=0; i<3; i++){
    lcd.noDisplay(); delay(200);
    lcd.display(); delay(600);
  }
  clean_row(0); clean_row(1);
}
```

La función 'setup()' implementará la secuencia de inicio. En esta secuencia, se realizan varias configuraciones iniciales para que el sistema inicie de manera correcta y se muestra un mensaje de bienvenida en la pantalla LCD.

Primero se empieza iniciando la comunicación serial con una velocidad de transmisión de 9600 baudios mediante la función 'Serial.begin(9600)'.

A continuación se configuran los pines 'puls1', 'load' y 'turb' como entrada ('INPUT') y salida ('OUTPUT') respectivamente, utilizando la función 'pinMode()'. Estos pines se utilizan para leer la señal de entrada del pulsador y controlar la conexión con la resistencia de carga y la de la turbina con el circuito de carga de la batería.

Respecto a la pantalla LCD se inicializa el objeto 'lcd' para su control, especificando el número de columnas y filas del display mediante la función 'lcd.begin(16, 2)'.

Para el mensaje de bienvenida se imprimen en la pantalla LCD con las líneas de texto "## MR. ALEXIS ##" y "## UPC EEBE ##" utilizando la función 'lcd.print()'. Para darle un toque distintivo se

hace parpadear este texto mediante el encendido y apagado de la pantalla durante un período de tiempo determinado utilizando las funciones 'lcd.noDisplay()' y 'lcd.display()', junto con las funciones 'delay()' para establecer los intervalos de tiempo.

Finalmente se limpian las filas 0 y 1 de la pantalla LCD utilizando la función 'clean\_row()'.

#### 4.4.2. Bucle principal

```
C/C++
////////////////////////////////////
//CÓDIGO PRINCIPAL
////////////////////////////////////

void loop()
{
  funcion_pulsador1(100);

  if (menuDisplay == 0){
    lcd.setCursor(0,0);
    BVS_show();
    lcd.setCursor(0,1);
    SOC_show();
  }
  else if (menuDisplay == 1){
    lcd.setCursor(0,0);
    Vturb_show();
    lcd.setCursor(0,1);
    CTPC_show();
  }
  else if (menuDisplay == 2){
    lcd.setCursor(0,0);
    R_load_show();
    lcd.setCursor(0,1);
    BHS_show();
  }
  else{
    if (loading < 6){
      lcd.setCursor(1,0); lcd.print("_ _");
      lcd.setCursor(2,1); lcd.print("--");
      int cat = 5 + loading;
      lcd.setCursor(cat,1);
      lcd.print("z");
      ++loading;
    }
  }
}
```



```

}
else if (loading < 15){
  lcd.setCursor(1,0); lcd.print("0 _");
  lcd.setCursor(2,1); lcd.print("vv      ");
  ++loading;
}
else{
  loading = 0;
  lcd.setCursor(1,0); lcd.print("_ _");
  lcd.setCursor(2,1); lcd.print("vv");
}
}
funcion_CTPC();
}

```

El código principal consta de una función `loop()` que se ejecuta de manera continua en Arduino, repitiendo de manera indefinida las funciones que a continuación se van a detallar.

La función `'funcion_pulsador1(100)'` se llama para manejar la entrada del pulsador para establecer el valor de la variable `'menuDisplay'`. El valor 100 se pasa como parámetro a esta función, definiendo el número de lecturas que se quiere hacer al botón antes de seguir con el código.

El siguiente bloque de código utiliza una estructura condicional `'if-else'` para determinar qué información se mostrará en la pantalla LCD según el valor de la variable `'menuDisplay'`. Si `'menuDisplay'` es igual a 0, se muestra la función `'BVS_show()'` en la primera línea y `'SOC_show()'` en la segunda línea. Si `'menuDisplay'` es igual a 1, se muestra `'Vturb_show()'` en la primera línea y `CTPC_show()'` en la segunda línea. Si `'menuDisplay'` es igual a 2, se muestra `'R_load_show()'` en la primera línea y `'BHS_show()'` en la segunda línea.



Fig 4.4.2.1.- Imágen de la pantalla LCD en el menú 0 [fuente: elaboración propia]



Fig 4.4.2.2.- Imágen de la pantalla LCD en el menú 1 [fuente: elaboración propia]



Fig 4.4.2.3.- Imágen de la pantalla LCD en el menú 2 [fuente: elaboración propia]

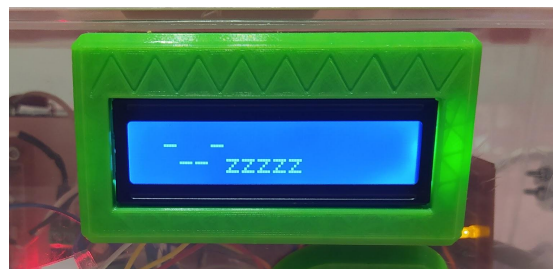


Fig 4.4.2.4.- Imágen de la pantalla LCD en el menú 3 [fuente: elaboración propia]

En el último bloque 'else', se ejecutan diferentes instrucciones en secuencia formando una animación de espera (loading) donde se muestra una figura que simula a un gato durmiendo. Esta animación está formada por varias pantallas que dependen de la variable 'loading', que aumenta de valor de manera progresiva cada vez que se reinicia el bucle principal. Este último menú no muestra ningún valor de interés, y se podría prescindir de él si fuera necesario.

Al final del loop(), se llama a la función 'funcion\_CTPC()' y el código vuelve a repetirse desde el principio.

## 5. Análisis del impacto ambiental

El proyecto de construcción de una turbina eólica de baja potencia para cargar una batería tiene implicaciones ambientales que deben ser evaluadas y consideradas. Para ello se realizará un pequeño estudio sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> que se pueden ahorrar utilizando la turbina eólica propuesta y posteriormente se evaluará el origen y la gestión de los diferentes componentes que la forman.

### 5.1. Generación de energía limpia

La implementación de una turbina eólica permite la generación de energía a partir de una fuente renovable y no contaminante, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía convencionales y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero.



Fig 5.1.1.- Imágen de la turbina eólica completa instalada en el exterior [fuente: elaboración propia]

Con la turbina eólica terminada y ensamblada se empiezan las pruebas para ver cómo se comporta en un entorno real. Las pruebas se realizarán en un camino situado al lado de un campo en Santa Eulàlia de Ronçana, a unos 160 metros de altitud respecto al nivel del mar, donde el terreno es plano y no hay vegetación ni edificios que puedan frenar o alterar la velocidad del viento. La velocidad media del viento en este lugar ronda los 4,2 m/s, con picos estables de hasta 5,4 m/s.

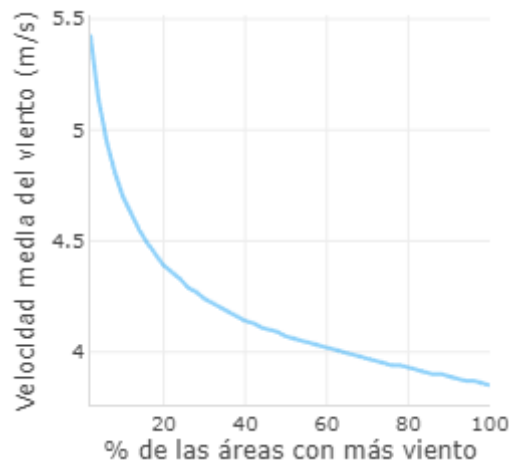


Fig 5.1.2.- Representación gráfica de la velocidad media del viento respecto al porcentaje de las áreas con más viento [fuente: obtenido de: Global Wind Atlas] [16]

Se aproxima que la turbina eólica empieza a generar energía cuando la velocidad del viento es de 4 m/s, y puede otorgar el máximo de potencia cuando se superan los 5 m/s. Para facilitar cálculos se estimará que la turbina se encontrará generando energía el 80% del tiempo que esté instalada ya que la media de la velocidad del viento se acerca mucho a la velocidad donde produce máxima potencia.

Respecto a la potencia otorgada por el sistema, se obtiene una tensión de salida de 10 V a una corriente máxima de 400 mA limitada por el CLC. Por lo que la potencia máxima otorgada por la turbina será de 4 W.

Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> ahorradas con este sistema se tendrá en cuenta las emisiones producidas por la red eléctrica. Según un portal oficial de la Generalitat de Catalunya, el mix de la red eléctrica española publicado por la CNMC en el Acuerdo sobre etiquetaje de la electricidad relativo a la energía producida en el año 2022, en fecha 3 de mayo de 2023, es 273 g CO<sub>2</sub>/kWh [18].

Si se considera un tiempo de funcionamiento de la turbina eólica de 1 año a máxima potencia, suponiendo que funciona durante el 80% de este tiempo, se obtiene un total de 7008 horas de funcionamiento con una potencia de 4 W. Por lo que la energía generada durante 1 año será equivalente a 28,03 kWh.

$$E = P * t = 4W * 7008h = 28,032kWh \quad (\text{Eq. 5.1.1})$$

Con la energía producida y un último cálculo, teniendo en cuenta los datos proporcionados por la Generalitat de Catalunya, se obtiene que la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> ahorradas durante 1 año será de 7,65 kg de CO<sub>2</sub>.

## 5.2. Uso de recursos naturales

Durante la construcción de la turbina eólica, se requiere el uso de recursos naturales, como metales, plásticos y materiales compuestos. Es importante realizar un análisis de la cantidad y procedencia de estos recursos, así como considerar prácticas de gestión adecuadas para minimizar su impacto ambiental.

En el caso propuesto se usará principalmente aluminio. El aluminio es un material altamente reciclable, por lo que es importante fomentar su reciclaje en lugar de desecharlo como residuo. Esto ayuda a ahorrar energía y recursos, reduce la necesidad de extracción de materias primas y disminuye los impactos ambientales asociados con la producción de aluminio virgen.

También se hará uso de PLA o ácido poliláctico. El PLA se produce a partir de recursos renovables, como el almidón de maíz o la caña de azúcar. Es importante asegurarse de que estas materias primas se obtengan de fuentes sostenibles, donde se apliquen prácticas agrícolas responsables y se evite la deforestación. El PLA es biodegradable y compostable en condiciones adecuadas. Es fundamental fomentar la separación de residuos y facilitar la recolección y el compostaje del PLA al final de su vida útil. Esto permite cerrar el ciclo y aprovechar sus propiedades biodegradables.

## 5.3. Gestión de residuos

Durante la construcción, operación y mantenimiento de la turbina eólica, se generarán residuos, como materiales de embalaje, aceites lubricantes y partes desechadas. Es esencial implementar un plan de gestión de residuos adecuado, que incluya la separación, reciclaje y disposición final adecuada de los mismos.

Un elemento importante a tener en cuenta sería el motor de imanes permanentes usado como alternador. Al llegar al final de su vida útil, el motor debe desmontarse de manera adecuada. Se deben separar los diferentes componentes para facilitar su tratamiento y reciclaje individual. Los materiales que componen el motor, como los imanes permanentes, el cobre del bobinado y las partes metálicas, pueden ser valiosos y reutilizables.

Algunos motores de imanes permanentes pueden contener sustancias peligrosas, como aceites o metales pesados. Es fundamental garantizar su eliminación adecuada y segura, siguiendo las regulaciones y normativas ambientales establecidas.

## 5.4. Evaluación del ciclo de vida

Es recomendable realizar un análisis del ciclo de vida de la turbina eólica, que evalúe los impactos ambientales desde la extracción de materias primas hasta el desmantelamiento y disposición final de los componentes. Esto permitirá identificar áreas de mejora y optimización en términos de eficiencia energética, durabilidad de los materiales y gestión de residuos.

En este caso como la turbina se encontraría en fase de prototipado no existe una evaluación real sobre su ciclo de vida, aunque sería indispensable de cara a un producto más terminado.

## 6. Conclusiones

Como conclusión final se puede extraer que construir una turbina a bajo coste es posible y puede salir muy rentable. En el caso de la turbina construida se obtiene una tensión de salida de 10 V a una corriente máxima de 400 mA limitada por el CLC. Por lo tanto, tiene una capacidad máxima de generación de 4 W de potencia en la salida, tal y como se ha comentado en el apartado de análisis del impacto ambiental.

Esto se puede considerar una desventaja ya que no se acaba obteniendo una potencia considerable, aunque como la energía producida se usará para cargar una batería de ácido no se necesita una potencia muy alta, ya que gran parte del proceso de carga de estas baterías se centra en la carga a voltaje constante, consumiendo muy poca corriente, traduciéndose esto a una potencia de carga baja.

No obstante se considera que la electrónica y el software elaborado en este trabajo se puede aplicar en turbinas con capacidad para generar mayores potencias, con modificaciones mínimas. Por esta razón se considera este proyecto todo un éxito debido al aprendizaje adquirido, no solo en el campo de la electrónica, sino también en el campo de la mecánica.

### 6.1. Mejoras a realizar

De la parte mecánica se considera prioritario un buen diseño de la transmisión entre el eje de la hélice y el rotor del motor. La solución más factible sería la de utilizar un motor con el rotor colocado en el centro (a diferencia del utilizado en este trabajo) para facilitar la instalación en la turbina y la implementación de una transmisión con un engranaje conducido en el rotor con un número reducido de dientes para así conseguir una relación de transmisión mucho mayor y mejorar el rendimiento con vientos de bajas velocidades. También se podría plantear el uso de un tren de engranajes para no acabar con un engranaje conductor muy grande y seguir con relaciones de transmisión elevadas.

El siguiente punto también forma parte del apartado mecánico y hace referencia al diseño de la hélice. Con 3 Aspas la hélice conseguiría una configuración más estable y eficiente. A parte se podría profundizar en el propio diseño de las aspas ya que la teoría aerodinámica detrás de su concepto es muy densa y en este trabajo no se ha considerado adecuado dedicar un gran número de recursos hacia este terreno.

Se puede identificar otro inconveniente durante el proceso de orientación de la hélice. Aunque la cola desempeña adecuadamente su función, el peso del motor y la estructura del molino provocan un desplazamiento del centro de gravedad lejos del eje principal. Esto ocasiona que la hélice tienda

a desviarse ligeramente respecto la dirección del viento, disminuyendo así la eficacia de la cola, por lo que una mayor estabilidad estructural sería también un buen punto a mejorar.

En la parte de hardware se ha podido observar que una medición de la corriente adecuada podría ser útil para obtener una medición del Soc mucho más acertada. Para ello haría falta implementar una etapa de amplificación adecuada para el sensor Hall, además de usar un ADC externo a la placa del microcontrolador, ya que el que trae el microcontrolador de serie se ha podido observar de manera experimental que no es muy preciso.

Si se instalara en el diseño mecánico un transmisión con una relación muy elevada haría falta rediseñar parte de la electrónica, ya que esta podría usarse para cargar una batería de mayor voltaje o simplemente prescindir del convertidor DC-DC de tipo boost. Incluso se podría usar un convertidor DC-DC de tipo buck para reducir y regular la tensión a una más adecuada, disminuyendo así la demanda de corriente por parte del generador y ganando mucha eficiencia.

## 7. Planificación

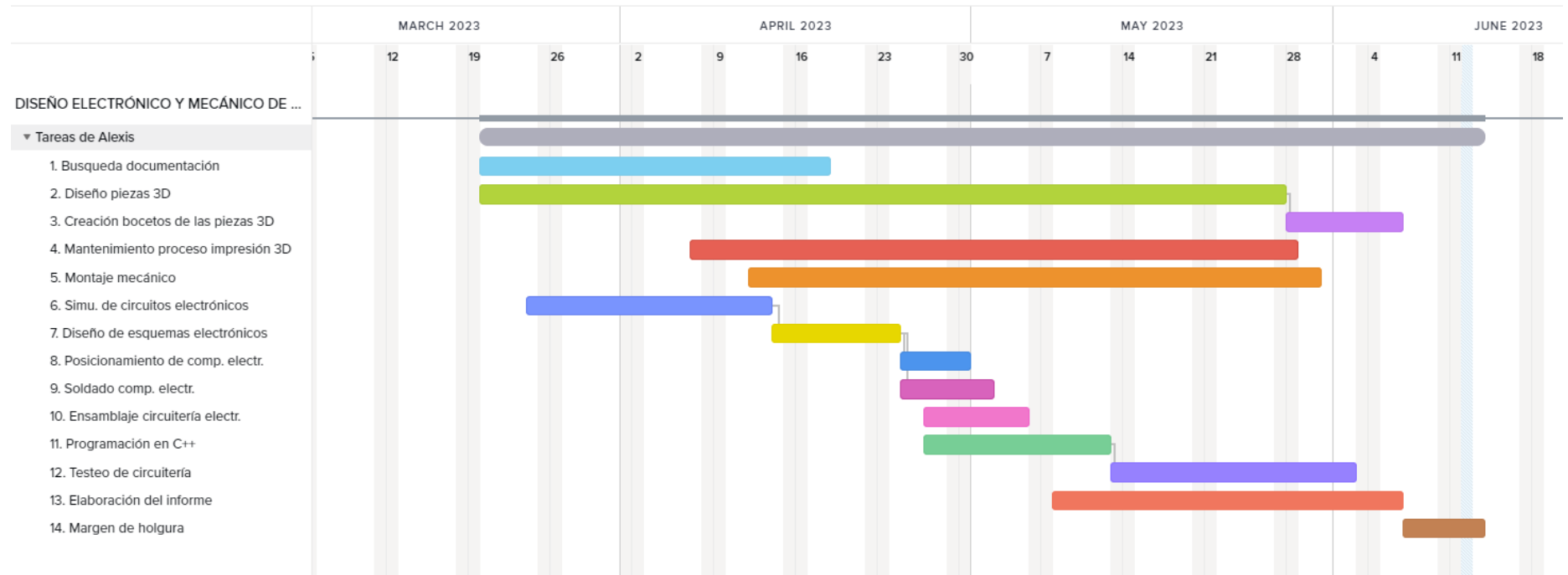
A continuación se van a definir, a grandes rasgos, las diferentes partes en las que se ha dividido el proyecto y se dará un número en horas que pueda expresar aproximadamente la dedicación individual de cada parte.

- Búsqueda de documentación: **40 horas**
- Diseño, modelado e iteraciones de las partes destinadas a impresión en 3D: **180 horas**
- Creación de bocetos de las piezas: **20 horas**
- Atención en el proceso de impresión y mantenimiento de las máquinas: **40 horas**
- Montaje mecánico del proyecto: **140 horas**
- Simulación de circuitos electrónicos: **55 horas**
- Diseño de esquemas electrónicos: **40 horas**
- Posicionamiento de componentes electrónicos en la placa de topos: **10 horas**
- Soldado de componentes y cableado: **40 horas**
- Ensamblaje de circuitería electrónica: **10 horas**
- Programación en C++: **45 horas**
- Testeo de circuitería y salidas al aire libre: **30 horas**
- Elaboración del informe: **60 horas**

## 7.1. Diagrama de Gantt

La anterior información se puede representar en un diagrama de Gantt para entender mejor los tiempos de ejecución de cada tarea. El diagrama de Gantt será un recurso visual pero no será representativo de las horas, ya que hay procesos que han durado mucho pero no se le ha dedicado todo ese tiempo.

Para realizar el diagrama Gantt se usará la herramienta online *TeamGantt* [20] ya que es intuitiva y ofrece buenos resultados para facilitar la comprensión de la información.





## 8. Presupuesto

### 8.1. Material

A continuación se muestra el coste de todos los elementos que se han usado a lo largo del trabajo. Primero se mostrarán las partes que han sido impresas en 3D, dando como información el material del filamento usado en el proceso, el tiempo de impresión y el peso de cada pieza, al igual que su precio unitario. Luego vendrán el resto de elementos como podrían ser materias primas, componentes electrónicos, cableado, etc.

Tabla 8.1.1.- Precio de todos los materiales usados en este proyecto con IVA

Nombre	Información	Cant.	Precio ud. (€)	Precio (€)
Soporte LCD	Impreso en PLA, 3h 37min, 20g	1	0,47	0,47
Junta Aspas	Impreso en PLA, 4h 24min, 29g	1	0,71	0,71
Anclaje Base	Impreso en PLA, 6h 48min, 47g	1	1,12	1,12
Anclaje Superior	Impreso en PLA, 7h 21min, 50g	1	1,2	1,2
Aspa Exterior	Impreso en PLA, 26h 43min, 191g	2	4,56	9,12
Aspa Interior	Impreso en PLA, 28h 14min, 196g	2	4,71	9,42
Engranaje Cónico Motor	Impreso en PLA, 3h 29min, 22g	1	0,53	0,53
Engranaje Cónico Rotor	Impreso en PLA, 5h 35min, 46g	1	1,1	1,1
Junta Cojinete	Impreso en PLA, 54min, 5g	4	0,12	0,48
Perfil Cola	Impreso en PLA, 8h 20min, 64g	1	1,55	1,55
Pieza Inferior Motor	Impreso en PLA, 9min, 1g	1	0,02	0,02
Separador M4 25mm	Impreso en PLA, 29min, 2g	4	0,06	0,24
Soporte Arduino & Source	Impreso en PLA, 1h 2min, 6g	1	0,13	0,13
Soporte Batería	Impreso en PLA, 10h 33min, 59g	1	1,4	1,4
Soporte Cojinete	Impreso en PLA, 6h 15min, 43g	1	1,03	1,03
Soporte Cola	Impreso en PLA, 6h 31min, 42g	1	1,0	1,0
Soporte CTPC	Impreso en PLA, 1h 37min, 10g	1	0,23	0,23
Soporte Motor	Impreso en PLA, 4h 13min, 23g	1	0,54	0,54

Soporte Pulsador	Impreso en PLA, 37min, 4g	1	0,1	0,1
Soporte Rectificador Trifásico	Impreso en PLA, 27min, 2g	1	0,06	0,06
Soporte Rotor Inferior	Impreso en PLA, 4h 45min, 35g	1	0,83	0,83
Soporte Rotor Superior	Impreso en PLA, 5h 44min, 37g	2	0,9	1,8
Tapa Soporte Batería	Impreso en PLA, 39 min, 3g	1	0,08	0,08
Tope Estructura Cojinete	Impreso en PLA, 20min, 2g	8	0,04	0,32
Soporte Load	Impreso en PLA, 1h 10min, 7g	1	0,17	0,17
Adhesivo CEYS	ESPECIAL PLÁSTICO RÍGIDO	1	4,95	4,95
CAJA nº22	Caja de electrónica, 34*22.5*15.5 cm, con asa	1	3,99	3,99
Batería de Plomo Recargable	6V, 4Ah, Initial current < 1.20A	1	7,9	7,9
Convertidor Boost, MT3608	10W, entrada 2-24V, salida 2.9-28V	2	0,71	1,42
1N5822	Diodo Schottky 3A 40V DO-201AD	7	0,07	0,49
TL082	TL082	2	0,9	1,8
LM293N	Dual voltage comparator low PW	1	0,17	0,17
LM393	Dual voltage comparator low PW	1	0,17	0,17
IRLZ24N	TRT MOSFET 55V 18A TO220	3	0,66	1,98
LM317T	REGULADOR TENSION AJUSTABLE 3P	1	0,29	0,29
BS3	REGLE. ACOPL. CI. 3CT	2	0,31	0,62
BS2	REGLE. ACOPL. CI. 2CT	5	0,218	1,09
Cable 1F	1 metro de cable monofásico	2	0,75	1,5
Cable 3F	1 metro de cable trifásico	5	1,25	6,25
Placa Elegoo	Modelo: UNO R3	1	19,9	19,9
Cableado	Valor estimado	1	5,0	5,0
Resistencias y condensadores	Valor estimado	1	5,0	5,0

Tornillería	Valor estimado	1	4,0	4,0
Placas de topes	Fibra de vidrio, 9*15cm	3	0,97	2,91
Cable de estaño	Bobina de 50g de diámetro 0.8mm	2	3,27	6,54
Tubo aluminio	Barra de tubo redondo hueco de aluminio, 13mm de diámetro exterior, 1mm de espesor y 1 metro de longitud	6	2,15	12,9
			TOTAL	122,52

## 8.2. Honorarios

En concepto de honorarios, se evaluará el coste de las horas de trabajo considerando el sueldo por hora de un ingeniero junior promedio en España, que es de 12,3 €/hora según la página web de empleo *Indeed* [15].

Tabla 8.2.1.- Coste de las horas trabajado por un ingeniero junior promedio en España

Horas de trabajo (h)	Precio hora (€/h)	TOTAL (€)
710	12,3	8733,0

### 8.3. Costes Indirectos

A lo largo del proyecto han existido una serie de costes relacionados con el acceso a cierto equipamiento o licencias de programas, reflejados en la siguiente tabla.

Tabla 8.3.1.- Costes indirectos del proyecto con IVA

Nombre	Información	Precio (€)
Ordenador personal	Precio relativo al ordenador usado para trabajar en el proyecto. Ordenador de sobremesa montado por piezas	756,85
Licencia Altium	Licencia de estudiante gratuita de Altium para diseñar los esquemáticos	0
Licencia Onshape	Licencia de estudiante gratuita de Onshape para diseñar la mecánica del proyecto en 3D	0
Impresoras 3D	Impresoras 3D: Artillery X1 y Ender 3	410,7
<b>TOTAL</b>		<b>1167,55</b>

### 8.4. Costes Totales

En la siguiente tabla se verá reflejado el coste total del proyecto teniendo en cuenta los diferentes tipos de costes comentados en los apartados anteriores y su relevancia mostrada como porcentaje respecto al coste total.

Tabla 8.4.1.- Representación de los costes relativos respecto al coste total

Tipo de coste	% del coste respecto al total	Coste relativo (€)
Material	1,22 %	122,52
Honorarios	87,13 %	8733,0
Costes Indirectos	11,65 %	1167,55
<b>COSTE TOTAL</b>		<b>10023,07</b>

## 9. Estudio económico

En el siguiente apartado se realizará un pequeño estudio capaz de cuantificar la cantidad de tiempo necesaria para amortizar el proyecto. Se calculará el tiempo de amortización teniendo en cuenta sólo los gastos materiales.

Primero de todo se necesita saber el precio promedio de la energía eléctrica en España. Según la página web de Tarifasgasluz, de Selectra [19], el día 13 de junio de 2023 se obtiene que el precio mínimo es de 0,124 €/kWh y el máximo es de 0,211 €/kWh, que junto al resto de horas del día crea una media de 0,156 €/kWh, sin impuestos.



Fig 9.1.- Precio de la energía eléctrica durante las distintas horas del día 13/06/2023 [19]

Se considera que la turbina proporcionada en este proyecto genera 4 W de potencia ( $P_t$ ) durante el 80% del tiempo que se encuentra operativa. El coste del material ( $C_m$ ) es de 122,52 € y el coste de la energía eléctrica ( $C_e$ ) es de 0,156 €/kWh. Para obtener el tiempo necesario para que esta inversión se amortice se utilizará la siguiente fórmula:

$$C_m = C_e * P_t * 10^{-3} * t * 0,8 \quad (\text{Eq. 9.1})$$

$$t = C_m / (P_t * 10^{-3} * 0,8 * C_e)$$

$$t = 122,52€ / (4 * 10^{-3} kW * 0,8 * 0,156 €/kWh)$$

$$t = 245432,69 h = 10226 \text{ días} = 28 \text{ años}$$

Así se obtiene que el tiempo aproximado de amortización, solo contando los costes materiales, es de 28 años. Obviamente no es factible ya que en este cálculo aproximado tampoco se tienen en cuenta los costes que supondría el propio mantenimiento.

Como se ha comentado en el apartado de conclusiones, este resultado no es necesariamente malo, ya que con las propuestas otorgadas de mejoras a realizar se podría conseguir una mejora notable en la producción de potencia, disminuyendo así el tiempo de amortización en gran medida.

## 10. Bibliografía

- [1] Ricardo A. Bastianon, marzo de 2008. *Cálculo y diseño de la hélice óptima para turbinas eólicas*.
- [2] Airfoil Tools. Recogido de:  
<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca2418-il>  
Fecha de última consulta: 16/03/2023
- [3] Lesics, abril de 2014. *Wind Turbine Design*. Recogido de:  
<https://www.lesics.com/wind-turbine-design.html>  
Fecha de última consulta: 14/04/2023
- [4] Alex Beale, mayo de 2022. *Lead Acid Battery Voltage Charts (6V, 12V & 24V)*. Recogido de:  
<https://footprinthero.com/lead-acid-battery-voltage-charts>  
Fecha de última consulta: 28/03/2023
- [5] Electronics Tutorials. *Three Phase Rectification*. Recogido de:  
<https://www.electronics-tutorials.ws/power/three-phase-rectification.html>  
Fecha de última consulta: 23/04/2023
- [6] Fundación Endesa. *El generador eléctrico*. Recogido de:  
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generador-electrico>  
Fecha de última consulta: 17/04/2023
- [7] Electrónica Fácil. *Carga y descarga de un condensador*. Recogido de:  
<https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Carga-descarga-condensador.html>  
Fecha de última consulta: 05/05/2023
- [8] Electrónica Unicrom, 2020. *Limitador de corriente con LM317 para cargador de batería 6V*. Recogido de:  
<https://unicrom.com/limitador-de-corriente-con-lm317-para-cargador-de-bateria-6v/>  
Fecha de última consulta: 01/05/2023
- [9] Edgar, abril de 2020. *Condensadores de ACOPLo y DESACOPLo Que son? Que Hacen? - Clase 27 Capacitores*. Recogido de:  
[https://www.youtube.com/watch?v=1KAA04Htj4&ab\\_channel=Edgar%2FYoReparo](https://www.youtube.com/watch?v=1KAA04Htj4&ab_channel=Edgar%2FYoReparo)  
Fecha de última consulta: 20/05/2023
- [10] M Olmo R Nave, HyperPhysics. *Amplificador Restador*. Recogido de:  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Electronic/opampvar6.html>  
Fecha de última consulta: 28/04/2023
- [11] Karl Söderby, Noviembre de 2021. *Liquid Crystal Displays (LCD) with Arduino*. Recogido de:  
<https://docs.arduino.cc/learn/electronics/lcd-displays>  
Fecha de última consulta: 15/03/2023

- [12] ElOsciloscopio. *Tutorial de Arduino Uno [Pinout]*. Recogido de:  
<https://elosciloscopio.com/tutorial-arduino-uno-pinout/>  
Fecha de última consulta: 27/05/2023
- [13] Luis Llamas, septiembre de 2014. *Entradas analógicas en Arduino*. Recogido de:  
<https://www.luisllamas.es/entradas-analogicas-en-arduino/>  
Fecha de última consulta: 27/05/2023
- [14] SnapEDA. *Footprint y esquemáticos de diferentes componentes, para Altium*. Recogido de:  
<https://www.snapeda.com/home/>  
Fecha de última consulta: 18/04/2023
- [15] Indeed. *Consulta del sueldo de ingeniero junior promedio en España*. Recogido de:  
<https://es.indeed.com/career/ingeniero-a-junior/salaries>  
Fecha de última consulta: 12/06/2023
- [16] Global Wind Atlas. *Energy data info*. Recogido de:  
<https://globalwindatlas.info/es/>  
Fecha de última consulta: 13/06/2023
- [17] Canvas. *Creador de diagramas de flujo de Canvas*. Recogido de:  
[https://www.canva.com/es\\_mx/pizarra-digital/diagramas-flujo/](https://www.canva.com/es_mx/pizarra-digital/diagramas-flujo/)  
Fecha de última consulta: 13/06/2023
- [18] Gencat, mayo de 2023. *Factor de emisión de la energía eléctrica: el mix eléctrico*. Recogido de:  
[https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors\\_demissio\\_associats\\_a\\_lenergia/](https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/)  
Fecha de última consulta: 13/06/2023
- [19] Tarifasgasluz by Selectra, junio de 2023. *Precio de la luz hoy*. Recogido de:  
<https://tarifasgasluz.com/comparador/precio-kwh>  
Fecha de última consulta: 13/06/2023
- [20] TeamGantt. *Free online Gantt chart maker*. Recogido de:  
<https://www.teamgantt.com/>  
Fecha de última consulta: 12/06/2023

## Anexo A. Configuración Impresora 3D


### A1. Configuración genérica usada para Creality Ender-3 con Cura

Nozzle Size:	0.4 mm	Layer Height:	0.2 mm
Initial Layer Height:	0.2 mm	Line Width:	0.4 mm
Wall Line Count:	3	Horizontal Expansion:	-0.05 mm
Initial Layer Horizontal Expansion:	-0.3	Z Seam Alignment:	Sharpest Corner
Top/Bottom Thickness:	0.8 mm	Top/Bottom Layers:	4
Skin Overlap Percentage:	25 %	Infill Density:	15 %
Infill Pattern:	Triangles	Infill line Multiplier:	1
Printing Material:	PLA	Printing Temperature:	210 °C
Printing Temperature Initial Layer:	215 °C	Build Plate Temperature:	30 °C
Infill Flow:	110 %	Print Speed:	40 mm/s
Infill Speed:	40 mm/s	Outer Wall Speed:	15 mm/s
Inner Wall Speeds:	20 mm/s	Travel Speed:	150 mm/s
Initial Layer Speed:	20 mm/s	Print Acceleration:	350 mm/s <sup>2</sup>
Build Plate Adhesion Type:	Skirt		



## Anexo B. Datasheets

### B1. Diodo 1N5820



**SEMICONDUCTOR**  
TECHNICAL SPECIFICATION

**1N5820**  
**THRU**  
**1N5822**

**SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER**


**VOLTAGE RANGE 20 to 40 Volts CURRENT 3.0 Amperes**

**FEATURES**

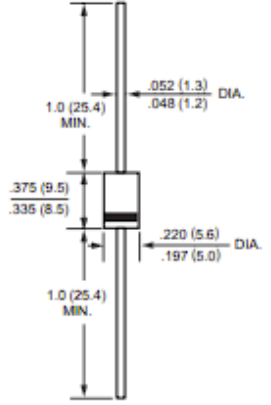
- \* Low switching noise
- \* Low forward voltage drop
- \* High current capability
- \* High switching capability
- \* High surge capability
- \* High reliability

**MECHANICAL DATA**

- \* Case: Molded plastic
- \* Epoxy: Device has UL flammability classification 94V-0
- \* Lead: MIL-STD-202E method 208C guaranteed
- \* Mounting position: Any
- \* Weight: 1.18 grams



**DO-201AD**



Dimensions in inches and (millimeters)

**MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.  
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.  
For capacitive load, derate current by 20%.

**MAXIMUM RATINGS** (At TA = 25°C unless otherwise noted)

RATINGS	SYMBOL	1N5820	1N5821	1N5822	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	VRRM	20	30	40	Volts
Maximum RMS Voltage	VRMS	14	21	28	Volts
Maximum DC Blocking Voltage	VDC	20	30	40	Volts
Maximum Average Forward Rectified Current .375" (9.5mm) lead length at TL = 95°C	IO	3.0			Amps
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	IFSM	80			Amps
Typical Thermal Resistance (Note 2)	RθJA	28			°C/W
Typical Junction Capacitance (Note 3)	CJ	250			pF
Storage and Operating Temperature Range	TJ, TSTG	-55 to + 150			°C

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (At TA = 25°C unless otherwise noted)

CHARACTERISTICS	SYMBOL	1N5820	1N5821	1N5822	UNITS
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 3.0A DC (Note 1)	VF	.475	.500	.525	Volts
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 9.4A DC (Note 1)	VF	.850	.900	.950	Volts
Maximum Average Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage (Note 1)	@TA = 25°C	2.0			mAmps
	@TA = 100°C	20			

NOTES : 1. Measured at Pulse Width 300 uS, Duty 2%.

2. Thermal Resistance (Junction to Ambient): Vertical PC Board Mounting, 0.5" (12.7mm) Lead Length.

3. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 volts.

2002-11

### RATING AND CHARACTERISTIC CURVES ( 1N5820 THRU 1N5822 )

FIG. 1 - TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

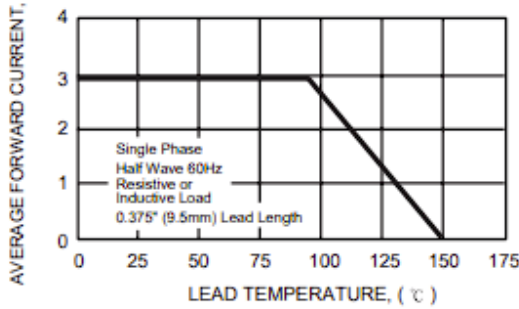


FIG. 3 - MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

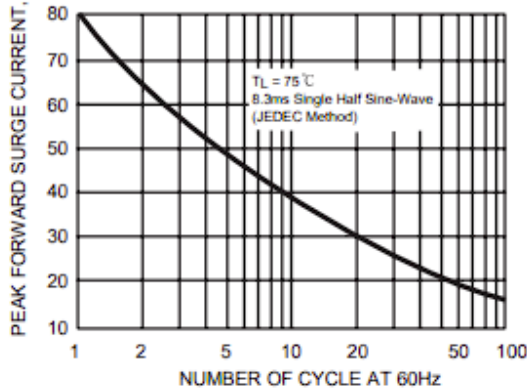


FIG. 4 - TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE

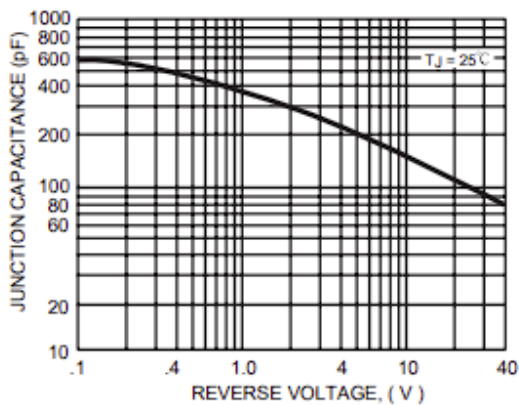


FIG. 2 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

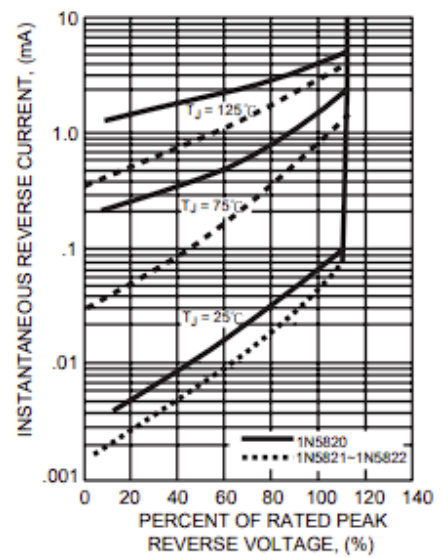
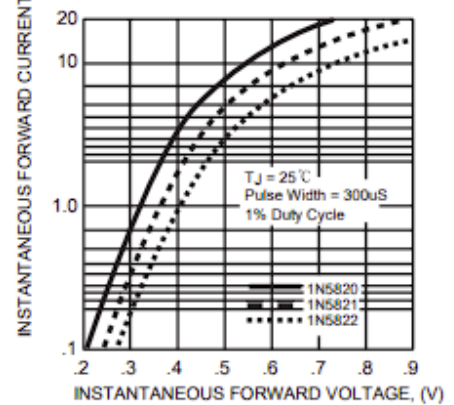
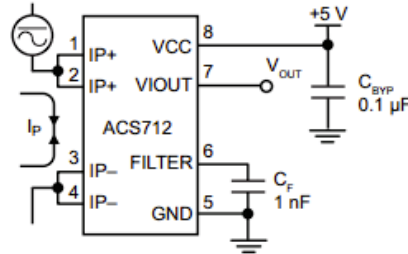


FIG. 5 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS



## B2. Current Sensor ACS712

### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{OUT}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current,  $I_P$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

### SELECTION GUIDE

Part Number	Packing*	$T_A$ (°C)	Optimized Range, $I_P$ (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

\*Contact Allegro for additional packing options.

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	$V_{CC}$		8	V
Reverse Supply Voltage	$V_{RCC}$		-0.1	V
Output Voltage	$V_{IOUT}$		8	V
Reverse Output Voltage	$V_{RIOUT}$		-0.1	V
Output Current Source	$I_{IOUT(SOURCE)}$		3	mA
Output Current Sink	$I_{IOUT(SINK)}$		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	$I_P$	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	$T_A$	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	$T_J(max)$		165	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$		-65 to 170	°C

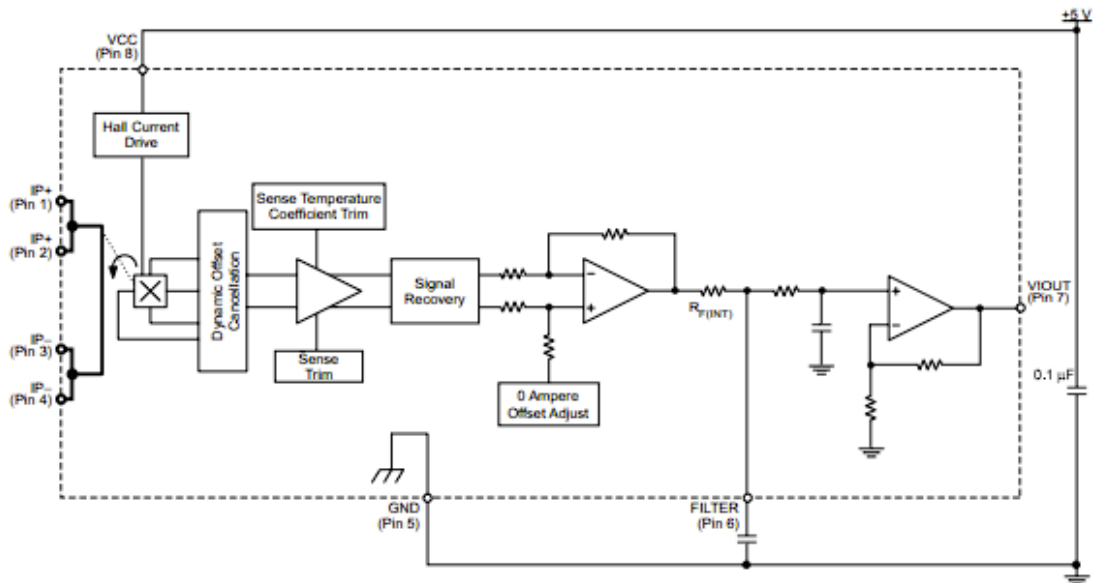
### ISOLATION CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	$V_{ISO}$	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	$V_{WFSI}$	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or $V_{pk}$
Working Voltage for Reinforced Isolation	$V_{WFRI}$	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or $V_{pk}$

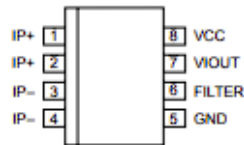
\* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



### Pinout Diagram



### Terminal List

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

**COMMON OPERATING CHARACTERISTICS** [1]: Over full range of  $T_A$ ,  $C_F = 1$  nF, and  $V_{CC} = 5$  V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	VIOUT to GND	4.7	–	–	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m $\Omega$
Rise Time	$t_r$	$I_p = I_p(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; $I_p$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_p$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_p$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(O)}$	Bidirectional; $I_p = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	$t_{PO}$	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	$\mu\text{s}$
Magnetic Coupling [2]			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance [3]	$R_{F(INT)}$			1.7		k $\Omega$

[1] Device may be operated at higher primary current levels,  $I_p$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

[2] 1G = 0.1 mT.

[3]  $R_{F(INT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

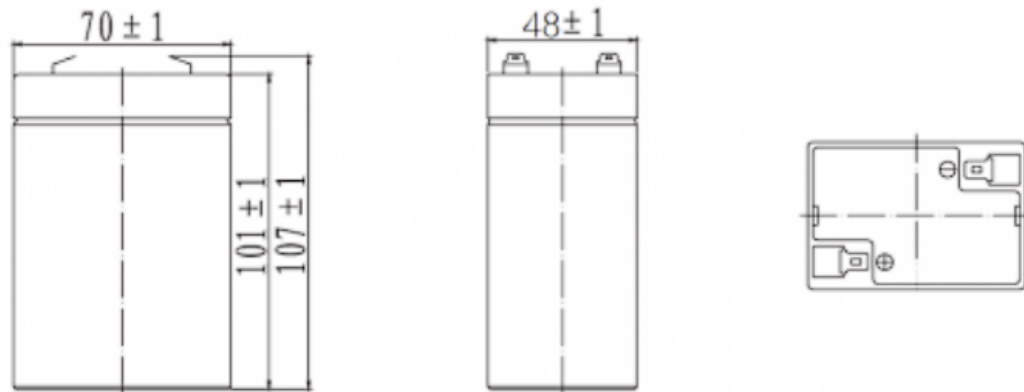
**COMMON THERMAL CHARACTERISTICS** [1]

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Value		Units	
Junction-to-Lead Thermal Resistance [2]	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board	5		$^\circ\text{C/W}$	
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board	23		$^\circ\text{C/W}$	

[1] Additional thermal information is available on the Allegro website.

[2] The Allegro evaluation board has 1500 mm<sup>2</sup> of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

### B3. Batería de plomo ácido recargable de 6V



#### DATI TECNICI / SPECIFICATION / CARACTÉRISTIQUES / CARACTERISTICAS / SPEZIFIKATIONEN

<b>Batteries included:</b>	YES
<b>Battery technology:</b>	Piombo
<b>Colour:</b>	Black
<b>Guarantee:</b>	2 ANNI
<b>Product width (mm):</b>	108
<b>Product depth (mm):</b>	71
<b>Product height (mm):</b>	48
<b>Net weight kg:</b>	0,66

#### DESCRIZIONE / DESCRIPTION / DESCRIPTION / DESCRIPCIÓN / BESCHREIBUNG

Rechargeable sealed lead Acid battery . Ideal for backup systems, for alarm systems, video surveillance, fire prevention systems, home automation systems, automatic doors and gates, backup batteries for UPS, in industry, for process continuity, surveillance and video control and in various electronics sectors. Voltage: 6V; capacity: 4Ah. Faston connectors. Long lasting use your products for a longer time.

#### DATI LOGISTICI / LOGISTIC INFORMATION / DONNEES LOGISTIQUES / DATOS LOGÍSTICOS / LOGISTISCHE DATEN

<b>Packing type:</b>	Bulk
----------------------	------

## B4. Convertidor Step Up de alta eficiencia 1.2MHz 2A



**AEROSEMI**

**MT3608**

**High Efficiency 1.2MHz  
2A Step Up Converter**

### FEATURES

- Integrated 80mΩ Power MOSFET
- 2V to 24V Input Voltage
- 1.2MHz Fixed Switching Frequency
- Internal 4A Switch Current Limit
- Adjustable Output Voltage
- Internal Compensation
- Up to 28V Output Voltage
- Automatic Pulse Frequency Modulation Mode at Light Loads
- up to 97% Efficiency
- Available in a 6-Pin SOT23-6 Package

### APPLICATIONS

- Battery-Powered Equipment
- Set-Top Boxed
- LCD Bias Supply
- DSL and Cable Modems and Routers
- Networking cards powered from PCI or PCI express slots

### GENERAL DESCRIPTION

The MT3608 is a constant frequency, 6-pin SOT23 current mode step-up converter intended for small, low power applications. The MT3608 switches at 1.2MHz and allows the use of tiny, low cost capacitors and inductors 2mm or less in height. Internal soft-start results in small inrush current and extends battery life.

The MT3608 features automatic shifting to pulse frequency modulation mode at light loads. The MT3608 includes under-voltage lockout, current limiting, and thermal overload protection to prevent damage in the event of an output overload. The MT3608 is available in a small 6-pin SOT-23 package.

### TYPICAL APPLICATION

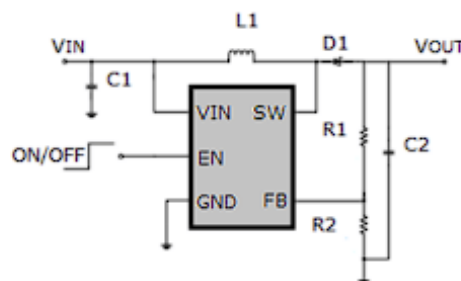


Figure 1. Basic Application Circuit

### Efficiency

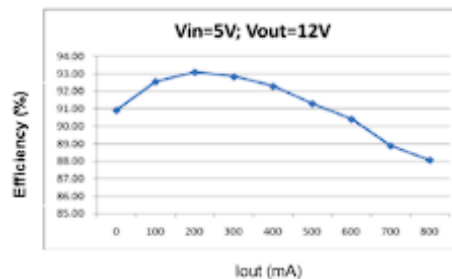


Figure 2. Efficiency Curve



( $V_{IN}=V_{EN}=5V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ , unless otherwise noted.)

Parameter	Conditions	MIN	TYP	MAX	unit
Operating Input Voltage		2		24	V
Under Voltage Lockout				1.98	V
Under Voltage Lockout Hysteresis			100		mV
Current (Shutdown)	$V_{EN}= 0V$		0.1	1	$\mu A$
Quiescent Current (PFM)	$V_{FB}=0.7V$ , No switch		100	200	$\mu A$
Quiescent Current (PWM)	$V_{FB}=0.5V$ , switch		1.6	2.2	mA
Switching Frequency			1.2		MHz
Maximum Duty Cycle	$V_{FB} = 0V$	90			%
EN Input High Voltage		1.5			V
EN Input Low Voltage				0.4	V
FB Voltage		0.588	0.6	0.612	V
FB Input Bias Current	$V_{FB} = 0.6V$	-50	-10		nA
SW On Resistance (1)			80	150	m $\Omega$
SW Current Limit (1)	$V_{IN}= 5V$ , Duty cycle=50%		4		A
SW Leakage	$V_{SW} = 20V$			1	$\mu A$
Thermal Shutdown			155		$^\circ C$

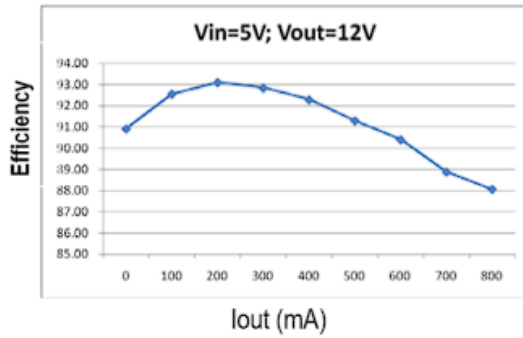
**Note:**

1) Guaranteed by design, not tested.

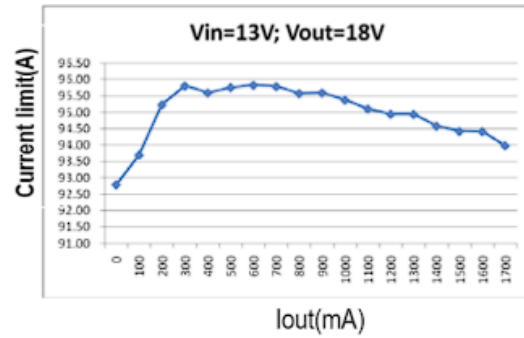


## TYPICAL OPERATING CHARACTERISTICS

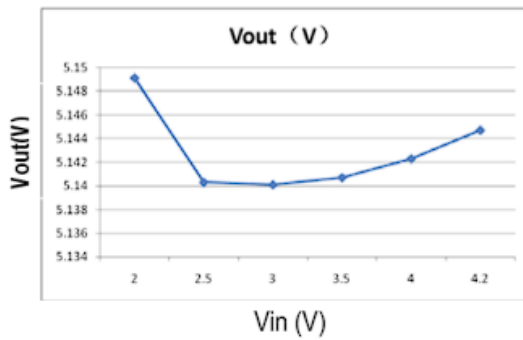
Efficiency Curve



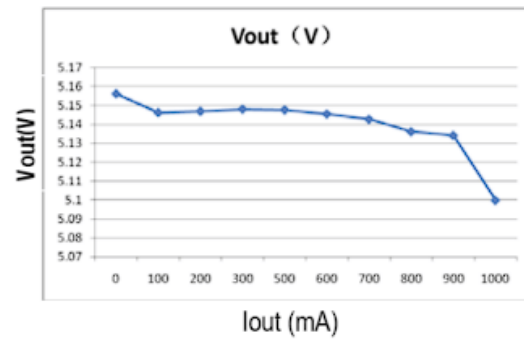
Efficiency Curve



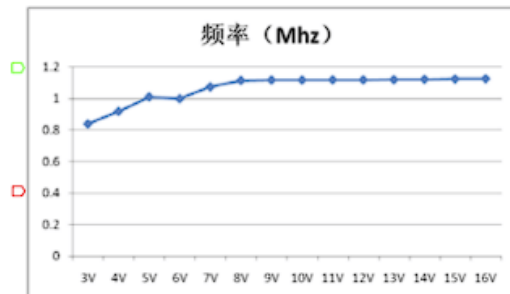
line Regulation



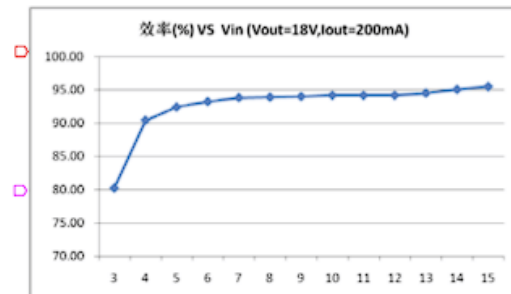
Load regulation



Freq VS Vin

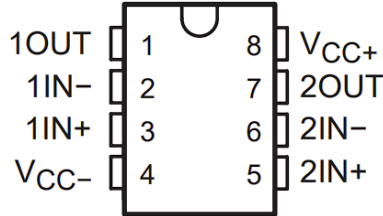


Efficiency VS Vin



## B5. Amplificador Operacional TL072

TL072, TL072A, TL072B  
D, JG, P, PS, OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



electrical characteristics,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$  (unless otherwise noted)

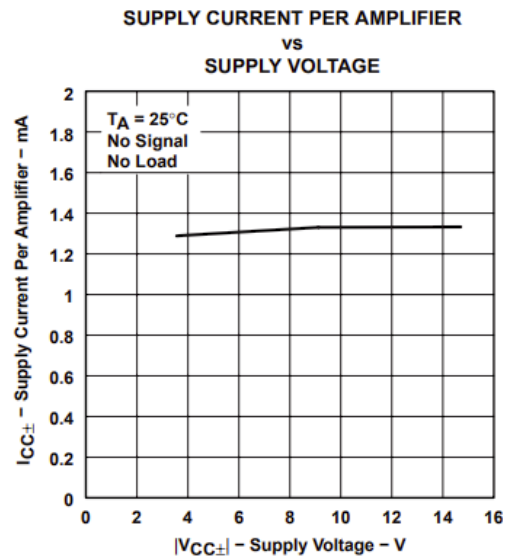
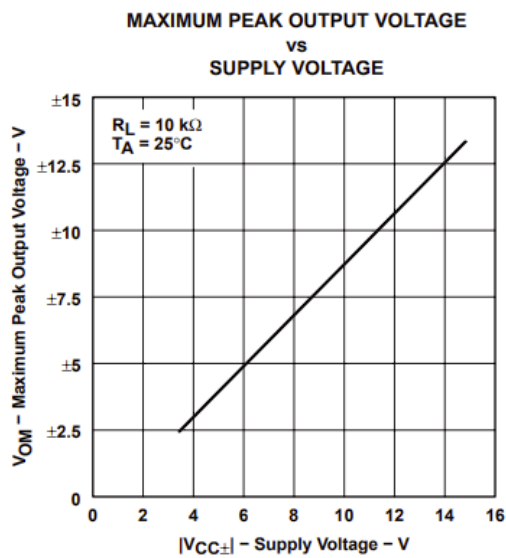
PARAMETER	TEST CONDITIONS†	$T_A$ ‡	TL071M TL072M			TL074M			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
$V_{IO}$	Input offset voltage	$V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C	3		6	3		9	mV
			Full range	9			15			
$\alpha V_{IO}$	Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	Full range	18		18			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
$I_{IO}$	Input offset current	$V_O = 0$	25°C	5	100	5	100		pA	
			Full range	20		20			nA	
$I_{IB}$	Input bias current‡	$V_O = 0$	25°C	65	200	65	200		pA	
				50		50			nA	
$V_{ICR}$	Common-mode input voltage range		25°C	$\pm 11$	-12 to 15	$\pm 11$	-12 to 15		V	
$V_{OM}$	Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10\ \text{k}\Omega$	25°C	$\pm 12$	$\pm 13.5$	$\pm 12$	$\pm 13.5$		V	
		$R_L \geq 10\ \text{k}\Omega$	Full range	$\pm 12$		$\pm 12$				
		$R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$		$\pm 10$		$\pm 10$				
$A_{VD}$	Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10\ \text{V}, R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$	25°C	35	200	35	200		V/mV	
				15		15				
$B_1$	Unity-gain bandwidth	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3		3			MHz	
$r_i$	Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$		$10^{12}$		$10^{12}$			$\Omega$	
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}, V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C	80	86	80	86		dB	
$k_{SVR}$	Supply-voltage rejection ratio ( $\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$ )	$V_{CC} = \pm 9\ \text{V to } \pm 15\ \text{V}, V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C	80	86	80	86		dB	
$I_{CC}$	Supply current (each amplifier)	$V_O = 0, \text{No load}$	25°C	1.4	2.5	1.4	2.5		mA	
$V_{O1}/V_{O2}$	Crosstalk attenuation	$A_{VD} = 100$	25°C	120		120			dB	

† Input bias currents of an FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 4. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

‡ All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage, unless otherwise specified. Full range is  $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$ .

operating characteristics,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL07xM			ALL OTHERS			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR	Slew rate at unity gain $V_I = 10\text{ V}$ , $C_L = 100\text{ pF}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , See Figure 1	5	13		8	13		V/ $\mu\text{s}$
$t_r$	Rise-time overshoot factor $V_I = 20\text{ mV}$ , $C_L = 100\text{ pF}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , See Figure 1	0.1			0.1			$\mu\text{s}$
		20%			20%			
$V_n$	Equivalent input noise voltage $R_S = 20\ \Omega$	$f = 1\text{ kHz}$			18			$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f = 10\text{ Hz to }10\text{ kHz}$			4			$\mu\text{V}$
$I_n$	Equivalent input noise current $R_S = 20\ \Omega$ , $f = 1\text{ kHz}$	0.01			0.01			$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
THD	Total harmonic distortion $V_{\text{rms}} = 6\text{ V}$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , $f = 1\text{ kHz}$	$A_{VD} = 1$ , $R_S \leq 1\text{ k}\Omega$			0.003%			



## B6. Regulador de tensión ajustable LM317T



**TIGER ELECTRONIC CO.,LTD**

Product specification

### 3-Terminal Positive Adjustable Regulator

**LM317**

#### Features

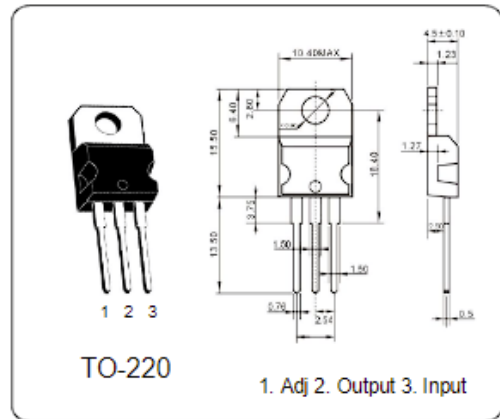
- Output Current In Excess of 1.5A
- Output Adjustable Between 1.2V and 37V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe Operating Area Compensation
- TO-220 Package

#### Description

This monolithic integrated circuit is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V. It employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area compensation.

#### Absolute Maximum Ratings ( Ta = 25 °C)

Parameter	Symbol	Typ	Unit
Input-Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	40	V
Lead Temperature	T <sub>LEAD</sub>	230	°C
Power Dissipation	P <sub>D</sub>	Internally limited	W
Operating Junction Temperature Range	T <sub>J</sub>	0~125	°C
Storage Temperature Range	T <sub>STG</sub>	-65~150	°C
Temperature Coefficient of Output Voltage	$V_O / T$	0.02	%/°C



#### Electrical Characteristics ( Ta = 25 °C)

( $V_I - V_O = 5V$ ,  $I_O = 0.5A$ ,  $0^\circ C < T_J < +125^\circ C$ ,  $I_{MAX} = 1.5A$ ,  $P_{DMAX} = 20W$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation (Note1)	R <sub>line</sub>	$T_A = +25^\circ C$ 3V $V_I - V_O$ 40V	-	0.01	0.04	% / V
		3V $V_I - V_O$ 40V	-	0.02	0.07	
Load Regulation (Note1)	R <sub>load</sub>	$T_A = +25^\circ C$ , 10mA $I_O$ $I_{MAX}$ $V_O < 5V$ $V_O$ 5V	-	18 0.4	25 0.5	mV % / $V_O$
		10mA $I_O$ $I_{MAX}$ $V_O < 5V$ $V_O$ 5V	-	40 0.8	70 1.5	
Adjustable Pin Current	$I_{ADJ}$	-	-	46	100	A
Adjustable Pin Current Change	$I_{ADJ}$	3V $V_I - V_O$ 40V 10mA $I_O$ $I_{MAX}$ $P_D$ $P_{MAX}$	-	2.0	5	A
Reference Voltage	$V_{REF}$	3V $V_{IN} - V_O$ 40V 10mA $I_O$ $I_{MAX}$ $P_D$ $P_{MAX}$	1.20	1.25	1.30	V
Maximum Output Current	$I_{O(MAX)}$	$V_I - V_O$ 15V, $P_D$ $P_{MAX}$ $V_I - V_O$ 40V, $P_D$ $P_{MAX}$	1.0	2.0 0.3	-	A
Ripple Rejection	RR	$V_O = 10V$ , $f = 120Hz$ without CADJ $C_{ADJ} = 10 \mu F$ (Note2)	66	60 75	-	dB

## B7. Transistor MOSFET IRLZ24N

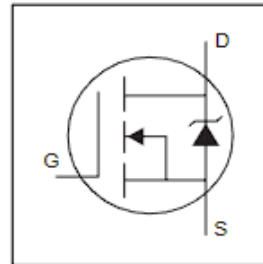
International  
**IR** Rectifier

PD - 91357C

# IRLZ24N

HEXFET® Power MOSFET

- Logic-Level Gate Drive
- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

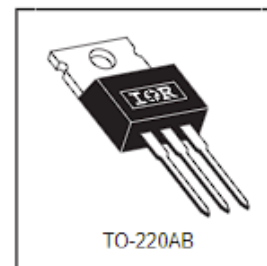


$V_{DSS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 0.06\Omega$
$I_D = 18A$

### Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve the lowest possible on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	18	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	13	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	72	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	45	W
	Linear Derating Factor	0.30	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 16$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	68	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current ③	11	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ④	4.5	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⑤	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf-in (1.1N·m)	

### Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	3.3	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	62	

# IRLZ24N

International  
IR Rectifier

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.061	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.060	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 11A$ ①
		—	—	0.075		$V_{GS} = 5.0V, I_D = 11A$ ②
		—	—	0.105		$V_{GS} = 4.0V, I_D = 9.0A$ ③
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	1.0	—	2.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	8.3	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 11A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 16V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -16V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	15	nC	$I_D = 11A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	3.7		$V_{DS} = 44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	8.5		$V_{GS} = 5.0V$ , See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	7.1	—		$V_{DD} = 28V$
$t_r$	Rise Time	—	74	—	ns	$I_D = 11A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	20	—		$R_G = 12\Omega, V_{GS} = 5.0V$
$t_f$	Fall Time	—	29	—		$R_D = 2.4\Omega$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	480	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	130	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	61	—		$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	18	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	72		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 11A, V_{GS} = 0V$ ②
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	60	90	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 11A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	130	200	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ③
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S+L_D$ )				

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ②  $V_{DD} = 25V$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 790\mu H$   
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 11A$ . (See Figure 12)

- ③  $I_{SD} \leq 11A, di/dt \leq 290A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

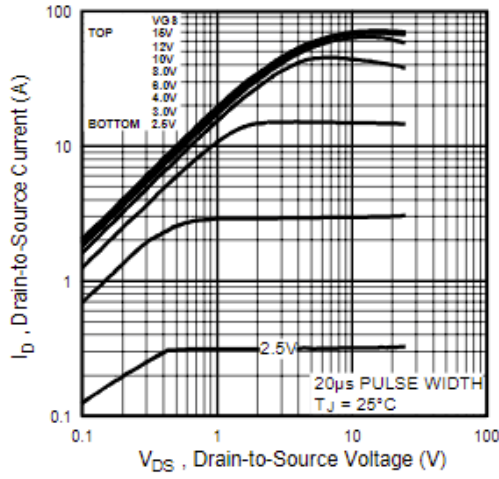


Fig 1. Typical Output Characteristics

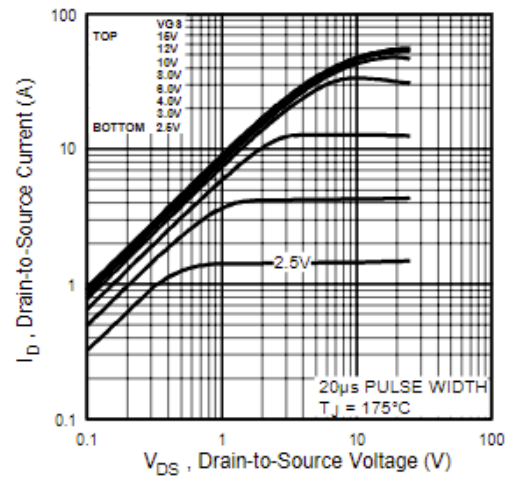


Fig 2. Typical Output Characteristics

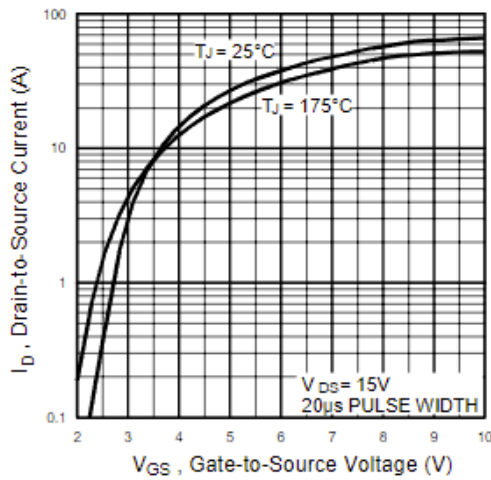


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

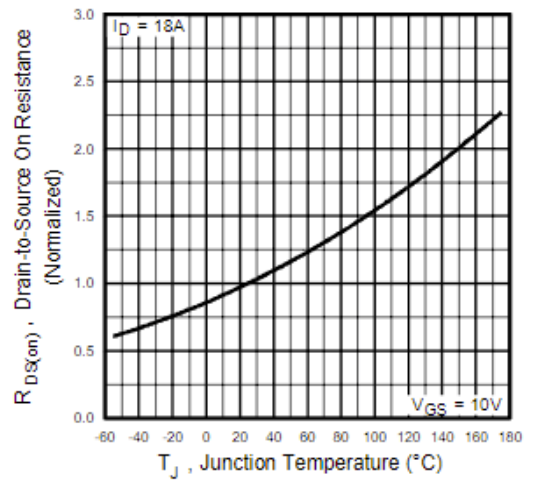
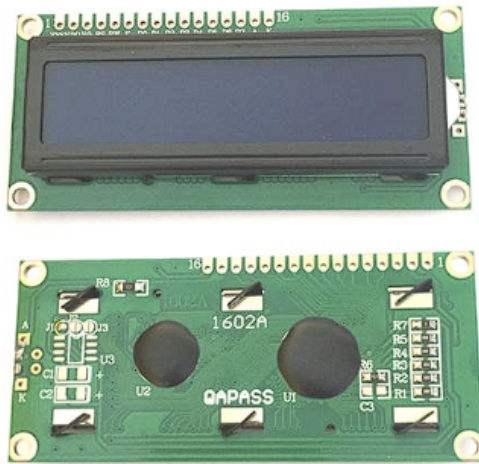


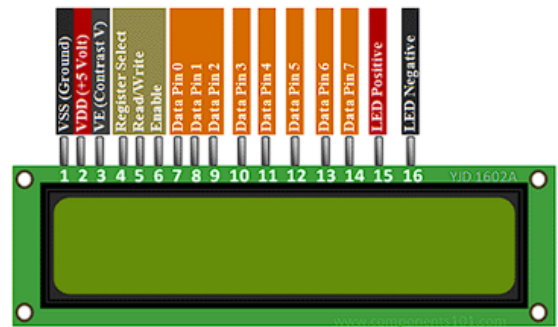
Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature



## B8. Pantalla de Cristal Líquido 16x2



16x2 LCD Module



16x2 LCD Module Pinout

Pin No:	Pin Name:	Description
1	Vss (Ground)	Ground pin connected to system ground
2	Vdd (+5 Volt)	Powers the LCD with +5V (4.7V – 5.3V)
3	VE (Contrast V)	Decides the contrast level of the display. Grounded to get maximum contrast.
4	Register Select	Connected to Microcontroller to shift between command/data register
5	Read/Write	Used to read or write data. Normally grounded to write data to LCD
6	Enable	Connected to Microcontroller Pin and toggled between 1 and 0 for data acknowledgement
7	Data Pin 0	Data pins 0 to 7 form a 8-bit data line. They can be connected to Microcontroller to send 8-bit data. These LCD's can also operate on 4-bit mode in such cases. Data pins 4,5,6 and 7 will be left free.
8	Data Pin 1	



9	Data Pin 2	
10	Data Pin 3	
11	Data Pin 4	
12	Data Pin 5	
13	Data Pin 6	
14	Data Pin 7	
15	LED Positive	Backlight LED pin positive terminal
16	LED Negative	Backlight LED pin negative terminal

#### **HD44780 LCD Features and Technical Specifications**

- Operating Voltage is 4.7V to 5.3V
- Current consumption is 1mA without backlight
- Alphanumeric LCD display module, meaning can display alphabets and numbers
- Consists of two rows and each row can print 16 characters.
- Each character is build by a 5×8 pixel box
- Can work on both 8-bit and 4-bit mode
- It can also display any custom generated characters
- Available in Green and Blue Backlight

## B9. Comparador diferencial cuádruple LM339

### LM139, LM139A, LM239, LM239A, LM339, LM339A, LM2901, LM2901V QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS

SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

- Single Supply or Dual Supplies
- Wide Range of Supply Voltage:
  - Max Rating . . . 2 V to 36 V
  - Tested to 30 V . . . Non-V Devices
  - Tested to 32 V . . . V-Suffix Devices
- Low Supply-Current Drain Independent of Supply Voltage . . . 0.8 mA Typ
- Low Input Bias Current . . . 25 nA Typ
- Low Input Offset Current . . . 3 nA Typ (LM139)
- Low Input Offset Voltage . . . 2 mV Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . .  $\pm 36$  V
- Low Output Saturation Voltage
- Output Compatible With TTL, MOS, and CMOS

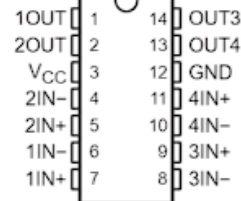
#### description/ordering information

These devices consist of four independent voltage comparators that are designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from dual supplies also is possible as long as the difference between the two supplies is 2 V to 36 V, and  $V_{CC}$  is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. Current drain is independent of the supply voltage. The outputs can be connected to other open-collector outputs to achieve wired-AND relationships.

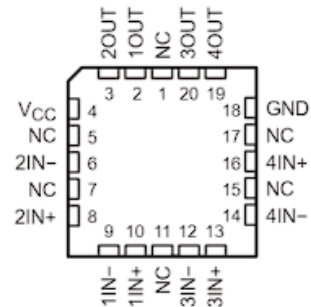
The LM139 and LM139A are characterized for operation over the full military temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ . The LM239 and LM239A are characterized for operation from  $-25^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ . The LM339 and LM339A are characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ . The LM2901 is characterized for operation from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ .

LM139, LM139A . . . D, J, OR W PACKAGE  
LM239 . . . D, N, OR PW PACKAGE  
LM239A . . . D PACKAGE  
LM339, LM339A . . . D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE  
LM2901 . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE

(TOP VIEW)



LM139, LM139A . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



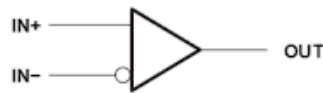
NC - No internal connection

**ORDERING INFORMATION**

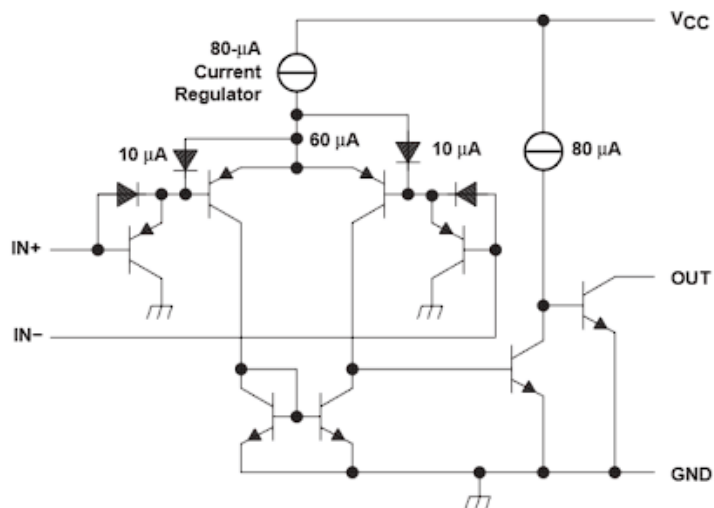
$T_A$	$V_{IOmax}$ AT 25°C	MAX $V_{CC}$	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-55°C to 125°C	5 mV	30 V	CFP (W)	Tube of 25	LM139W	LM139W
			CDIP (J)	Tube of 25	LM139J	LM139J
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM139FK	LM139FK
			SOIC (D)	Tube of 50 Reel of 2500	LM139D LM139DR	LM139D
	2 mV	30 V	CFP (W)	Tube of 25	LM139AW	LM139AW
			CDIP (J)	Tube of 25	LM139AJ	LM139AJ
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM139AFK	LM139AFK
			SOIC (D)	Tube of 50 Reel of 2500	LM139AD LM139ADR	LM139AD

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).

**symbol (each comparator)**



**schematic (each comparator)**



All current values shown are nominal.

**LM139, LM139A, LM239, LM239A,  
LM339, LM339A, LM2901, LM2901V  
QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS**

SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC} = 5\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	$T_A$ ‡	LM239 LM339			LM239A LM339A			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$ , $V_{IC} = V_{ICR(min)}$ , $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2		5	1		3	mV	
		Full range	9			4				
$I_{IO}$ Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	5		50	5		50	nA	
		Full range	150			150				
$I_{IB}$ Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	-25		-250	-25		-250	nA	
		Full range	-400			-400				
$V_{ICR}$ Common-mode input-voltage range		25°C	0 to $V_{CC}-1.5$			0 to $V_{CC}-1.5$			V	
		Full range	0 to $V_{CC}-2$			0 to $V_{CC}-2$				
$A_{VD}$ Large-signal differential-voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_O = 1.4\text{ V to }11.4\text{ V}$ , $R_L \geq 15\text{ k}\Omega$ to $V_{CC}$	25°C	50	200		50	200		V/mV	
$I_{OH}$ High-level output current	$V_{ID} = 1\text{ V}$	$V_{OH} = 5\text{ V}$	25°C	0.1		50	0.1		50	nA
		$V_{OH} = 30\text{ V}$	Full range	1			1			$\mu\text{A}$
$V_{OL}$ Low-level output voltage	$V_{ID} = -1\text{ V}$ , $I_{OL} = 4\text{ mA}$	25°C	150		400	150		400	mV	
		Full range	700			700				
$I_{OL}$ Low-level output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$ , $V_{OL} = 1.5\text{ V}$	25°C	6	16		6	16		mA	
$I_{CC}$ Supply current (four comparators)	$V_O = 2.5\text{ V}$ , No load	25°C	0.8		2	0.8		2	mA	

† All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

‡ Full range (MIN to MAX) for LM239 and LM239A is  $-25^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ , for LM339 and LM339A is  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ . All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

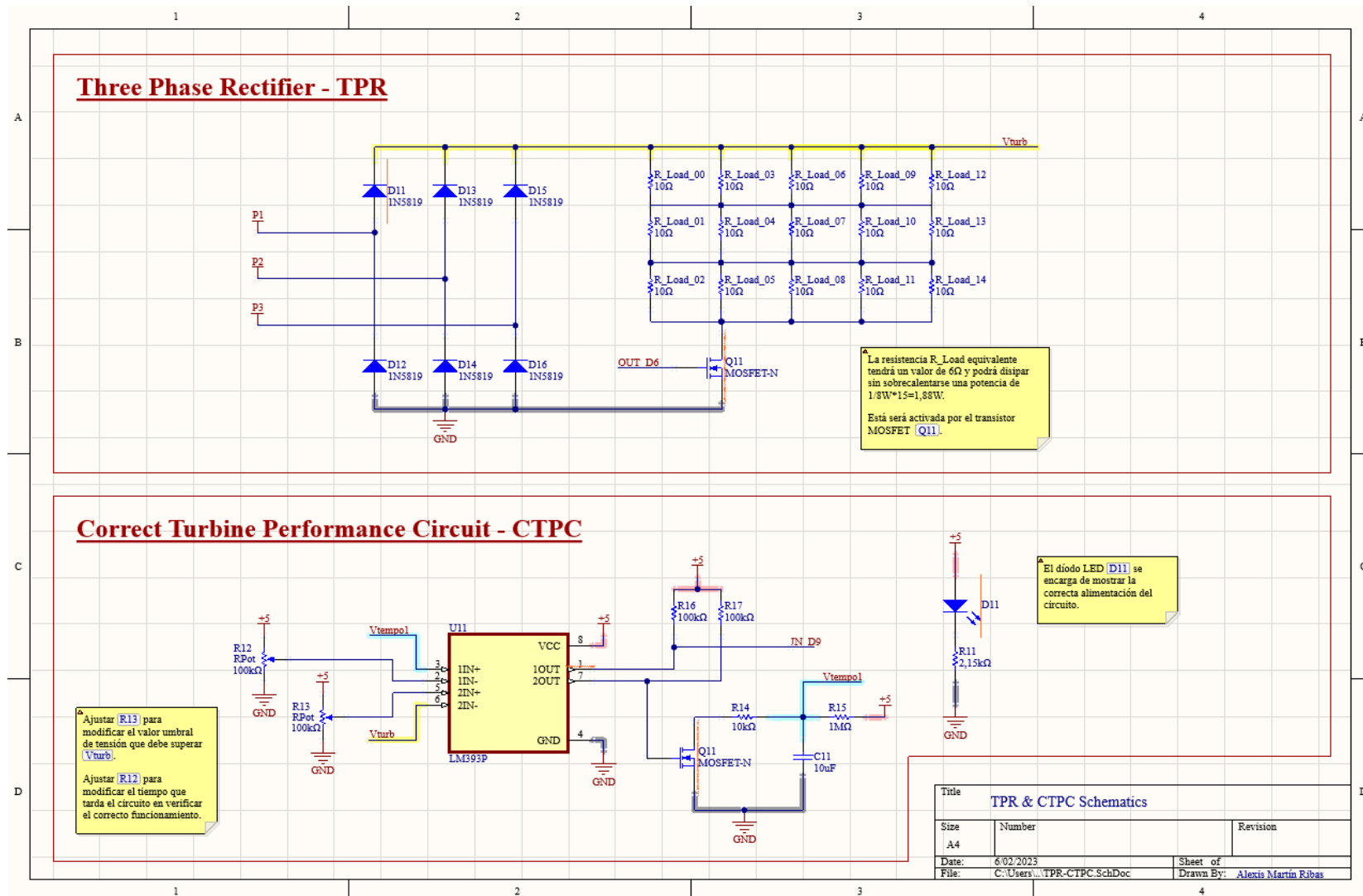
switching characteristics,  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

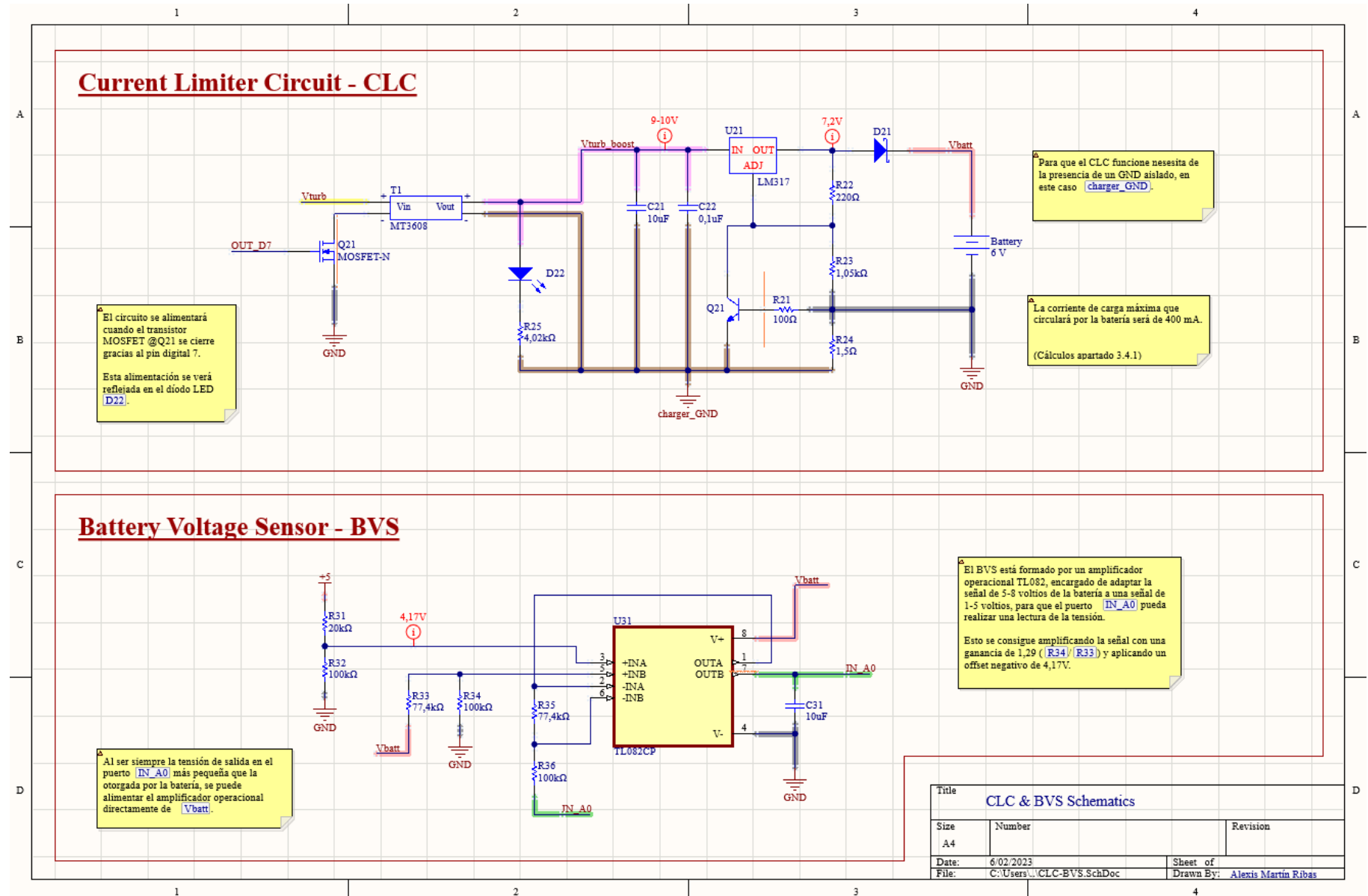
PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM239, LM239A, LM339, LM339A			UNIT	
		MIN	TYP	MAX		
Response time	$R_L$ connected to 5 V through 5.1 k $\Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ §, See Note 8	100-mV input step with 5-mV overdrive			1.3	$\mu\text{s}$
		TTL-level input step			0.3	

§  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

NOTE 8: The response time specified is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V.

## Anexo C. Esquemáticos en Altium







### Anexo D. Bocetos acotados en Onshape

