



**Escuela Superior
de Ingeniería y Tecnología**
Universidad de La Laguna

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de un aerogenerador de bajo coste con fines docentes

AUTOR: VÍCTOR JAVIER GUAMÁN CHULUNCHANA

AUTORA: MARLEN ARBELO ALMENARA

TUTORA: MARIA DE LA PEÑA FABIANI BENDICHO

COTUTOR: JORGE MARTÍN GUTIÉRREZ

GRADO: GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Índice

Resumen	4
Abstract	4
1. Objetivos	5
2. Introducción	6
2.1 Antecedentes Históricos	6
3. Diseño Estructural	12
3.1. Introducción	12
3.1.1. Tipos de Aerogenerador	12
3.1.2. Funcionamiento de un Aerogenerador de Eje Horizontal	13
3.1.3. Partes de un Aerogenerador de Eje Horizontal	15
3.2. Requisitos de Diseño	16
3.2.1. Condiciones del Cliente	16
3.2.2. Condiciones de los Equipos/Aparatos	17
3.3. Propuestas de Diseño	17
3.3.1. Buje	17
3.3.2. Aspas	20
3.3.3. Multiplicadora	22
3.3.4. Góndola	24
3.3.5. Torre	25
3.3.6. Tamaño del Conjunto	26
3.3.7. Impresión de las Propuestas de Diseño	27
3.4. Diseño Propuesto. Resultado Final	29
3.4.1. Buje	29
3.4.2. Aspas	30
3.4.3. Multiplicadora	33
3.4.4. Góndola	34
3.4.5. Torre	38
3.4.6. Ensamblaje	39
3.4.7. Piezas Impresas	41
4. Estudio Aerodinámico	45
4.1. Diseño del experimento y toma de datos	45
4.2. Resultados	46
5. Diseño Eléctrico y Electrónico	48
5.1 Criterios de selección del generador eléctrico	49
5.2 Aerogenerador de Corriente Continua	54
5.2.1 Propuestas de diseño	54
5.2.2 Implementación y pruebas físicas	58

5.2.3 Elección del generador de DC	59
5.2.3 Circuito equivalente del generador DC	62
5.3 Aerogenerador de Corriente Alterna	64
5.3.1 Propuesta de diseño	64
5.3.2 Implementación y pruebas físicas	71
5.3.3 Calibración AC	79
5.3.4 Elección del generador de AC	81
5.3.5 Circuito equivalente generador AC	84
6. Resultados finales	86
6.1 Resultados con el generador de DC	86
6.2 Resultados con el generador de AC	88
6.3 Galería Fotográfica del diseño final impreso	90
6.3.1 Fotos estructura con generador de corriente continua	91
6.3.2 Fotos estructura con generador de corriente alterna	93
7. Presupuesto	97
7.1 Parte Estructural	97
7.2 Parte Electrónica/Eléctrica	98
7.3 Presupuesto Total Ambas Partes	100
Conclusiones	101
Conclusions	102
Bibliografía	103
Listado de Figuras	105
Listado de Tablas	109
Lista de Softwares Utilizado	110
ANEXO I: Manual de instrucciones para impresión 3D	111
A 1.1 Generación Gcode para impresión 3D	111
A 1.2 Colocación Óptima de las Piezas a la Hora de Imprimir	113
A 1.2 Problemas de Impresión	114
ANEXO II: Información electrónica y eléctrica	117
A 2.1 Diseño Rectificador Onda Completa	117
A 2.2 Circuitos Inversores	119
A 2.3 Códigos Arduino	126
ANEXO III: Hojas de especificaciones y componentes electrónicos	133
ANEXO IV: Prácticas Opcionales	196
A 4.1 Informe DC	196
A 4.2 Informe AC	197

ANEXO V: Transmisión de Potencia, Multiplicador	199
ANEXO VI: Informes Presupuesto por Piezas SolidWorks	202
Planos de la Estructura	231
Índice de Planos	231

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado consiste en la elaboración de un kit de prácticas docentes con un aerogenerador de bajo coste. La finalidad de este proyecto es la comprensión del uso de una de las energías renovables más utilizadas hoy en día y con una gran previsión de futuro, la energía eólica. El objetivo del kit es que los alumnos del ámbito universitario comprueben de manera práctica el rendimiento u otros aspectos como son: la potencia, la intensidad, el voltaje, etc. y pueda testear y comprender los aspectos aerodinámicos de los generadores eólicos. Para ello se le proporciona la información necesaria al usuario para la impresión de todas las piezas que se requieren en la construcción del aerogenerador. Además incluye el diseño de sistemas electrónicos de corriente continua y corriente alterna con los que podrá medir estas características.

Como ejemplo de aplicación, se han realizado, validado y calibrado dos aerogeneradores concretos: uno de corriente continua y otro para la generación de corriente alterna, incluyendo además un informe detallado sobre el presupuesto total del mismo en el que se incluyen: precio estimado de los componentes electrónicos, precio estimado de las impresiones necesarias, tiempo requerido para el montaje, precios de los generadores, etc.

Este kit es de uso libre y gratuito. Proporciona todo lo necesario (archivos STL, programas, etc) para que el usuario lo pueda construir por sí mismo, así como ejemplos de posibles prácticas a realizar.

Abstract

This Final Degree Project consists in the preparation of a teaching practices kit with a low cost wind turbine. The purpose of this project is the understanding of the use of one of the renewable energies most used today and with a great foresight of the future, wind energy. The objective of the kit is for university students to check performance in a practical way or other aspects such as power, intensity, voltage, etc. For this, the necessary information is provided to the user for the printing of all the pieces required for the construction of the wind turbine. It also includes the design of electronic systems of direct current and alternating current with which he can measure these characteristics.

As an example of application, two specific wind turbines have been made, validated and calibrated: one of direct current and another one for the generation of alternating current, also including a detailed report on the total budget of the same in which are included: estimated price of the electronic components, estimated price of the necessary prints, time required for assembly, prices of generators, etc.

This kit is free to use. It provides everything necessary (STL files, programs, etc.) so that the user can build it by himself, as well as examples of possible practices to be carried out.

1. Objetivos

Hoy en día la energía eólica tiene un gran peso en la sociedad y en la economía mundial pero debido a la competencia de los combustibles fósiles por desgracia todavía no es una de las más usadas. Aunque, conforme pase el tiempo y debido al cambio climático, se convertirá muy probablemente en una de las principales formas de obtención de electricidad superando así a los combustibles fósiles.

Por ello, este proyecto trata de buscar una forma alternativa y diferente de enseñar (a nivel universitario) el uso de la energía eólica. Para ello los alumnos pueden usar el kit creado en este proyecto, y si los profesores lo creen conveniente, usar los informes de prácticas ejemplo que se proporcionarán en el apartado de los anexos.

La finalidad de este trabajo de final de carrera es lograr que los alumnos adquieran ciertas aptitudes o conocimientos de manera práctica acerca de los aerogeneradores. Entre estos conocimientos se encuentran:

- ❖ Interacción con la obtención y uso de la electricidad mediante circuitos electrónicos.
- ❖ Los diferentes tipos de generadores: ventajas y desventajas (en DC y AC).
- ❖ Entender la importancia de la aerodinámica en las aspas así como entender el cómo afecta el número de estas que contenga.
- ❖ Familiarizarse con el funcionamiento interno de los aerogeneradores, tanto a nivel mecánico como eléctrico.

Todo ello de una forma económica, asequible y sencilla para los docentes pues nuestro proyecto es de uso libre. Naturalmente, todo el material proporcionado ha de estar debidamente validado y calibrado, con instrucciones e información completa para su correcta realización.

2. Introducción

Hoy en día la mayoría de los proyectos de kits de aerogeneradores son de uso meramente comercial, pero nuestro kit (como se ha mencionado) está enfocado a la docencia. Este campo no está muy explorado en el mercado y los que hay están orientados a un nivel de docencia básico. Por ejemplo, un proyecto realizado en este ámbito en la universidad de Barcelona ¹ explora como finalidad la docencia a nivel escolar. En este proyecto el problema es el tipo de aplicaciones para las que está pensado, que solo contempla los conceptos básicos para su enseñanza y no a niveles superiores, puesto que solo muestra la iluminación de unos leds en función de la potencia entregada.

Los equipos de prácticas destinados directamente a docencia universitaria resultan mucho más completos e interesantes, pero su precio resulta muy elevado. Así encontramos fabricantes como Lucas Nulle, Sidilab, LexSolar, etc, con equipos de alta calidad para la docencia eólica, pero cuyo material resulta en muchas ocasiones difícil de adquirir por el alto coste económico².

Por ello, nuestro trabajo se centra en enseñanzas más superiores mediante un kit que cualquier usuario del ámbito educativo pueda construir. Además, para facilitar la labor del docente, este puede hacer uso de las prácticas sugeridas a modo de ejemplo en este proyecto entre las cuales se encuentran prácticas destinadas a realizar cálculos de potencia, rendimiento, velocidad, etc. Todas estas características hacen de nuestro kit un proyecto innovador e interesante .

2.1 Antecedentes Históricos



Figura 1: *Evolución en el tiempo de los aerogeneradores*

La energía eólica es una de las energías más antiguas que la humanidad ha utilizado, sus primeros usos se remontan al año 3000 aC. Su primera aparición fue en el antiguo Egipto donde el viento era usado para propulsar los primeros veleros. Más tarde vino la aparición de los primeros molinos de viento hechos de madera y piedra en la antigua

¹ Ver referencia 18.

² Referencias a fabricantes de equipos de prácticas: www.sidilab.com, www.lucas-nulle.us, <https://lexsolar.com/>.

Persia, donde eran usados para moler grano o bombear agua. Luego en el siglo XII también fueron típicamente usados en Francia e Inglaterra.



Figura 2: *Molino de viento antiguo*

Sin embargo con la llegada de la Revolución Industrial y con la invención de la máquina de vapor, el uso de aerogenerador estuvo en decadencia. Pero fue entre los años 70 y 80 cuando la crisis del petróleo llevó a que el interés en las energías alternativas creciera y se crearan programas de investigación y de subvenciones destinados a tal fin gracias a los cuales pioneros alemanes y daneses desarrollaron los primeros aerogeneradores rentables económicamente, que llevaron a una revolución de la energía eólica, tanto en el aspecto industrial como en el tecnológico.

En 1867 Lord Kelvin creó un dispositivo eléctrico al que se le denominó “generador de Kelvin”. El generador de Kelvin se basó básicamente en acoplar un generador eléctrico a una máquina que aprovechara la energía del viento.

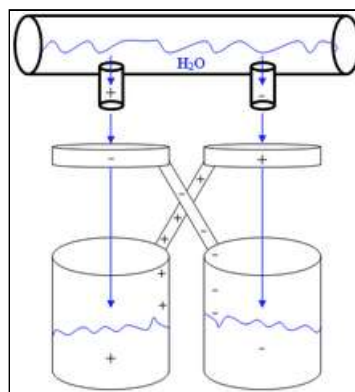


Figura 3: *Generador de Kelvin*

Posteriormente en 1850 se creó el dinamo, o generador eléctrico, y con este también el padre de todos los aerogeneradores tal y como los conocemos hoy en día. En 1888 el mismo inventor, Charles Francis Brush creó la primera turbina eólica para generar electricidad operada de forma automática esta tenía un rotor de 17 m. de diámetro y constaba de 144 palas de madera y llegaba a generar hasta 12 KW de potencia.

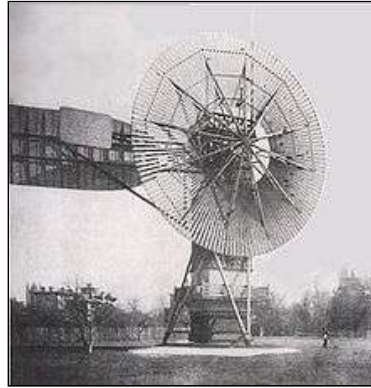


Figura 4: Turbina de Charles con 144 aspas

Cuatro años después el meteorólogo danés Poul la Cour se convirtió en uno de los pioneros de la moderna aerodinámica, y construyó su propio túnel de viento para realizar experimentos. Cour utilizaba la electricidad de sus turbinas eólicas para producir electrólisis y obtener así hidrógeno para las lámparas de gas de su escuela. en la que impartía cada año diversos cursos para electricistas eólicos en el instituto Folk de Askov.



*Figura 5: Instituto Folk de Askov en 1897 en el instituto de Askov Folk,
promoción de 1904*



Figura 6: Dos de los aerogeneradores de prueba de Court en 1897 en el instituto de Askov Folk, Askov (Dinamarca),

Además Court fundó la "Society of Wind Electricians", que en 1905, un año después de su fundación, contaba con 356 miembros y también publicó la primera revista de electricidad eólica del mundo. Con todo esto logró que en 1918 la energía eólica cubrieran alrededor de un 3 por ciento del consumo de electricidad de Dinamarca .



Figura 7: Turbina de Juul, instalada en Gedser, pueblecito de la costa sur oriental de Dinamarca

Paralelamente, en 1941 el ingeniero americano Palmer Cosslett Putman creó el aerogenerador Smith Putman el cual tenía una potencia de 1,25 MW. Estuvo en funcionamiento durante cuatro años, hasta que un fallo en el material hizo que dejase de funcionar. En aquella época no existían materiales en el mercado aptos para este objetivo.



Figura 8: Aerogenerador Smith putman

En 1957 Johannes Juul ingeniero danés estudiante de Poul la Cour construyó el primer aerogenerador para corriente alterna de 200 kW el cual se considera el predecesor de los aerogeneradores actuales.

Desde los 90 hasta hoy se han seguido produciendo importantes avances en la energía eólica siendo la fuente renovable más utilizada y que más desarrollo técnico ha tenido. En el año 2001 se creó en Dinamarca, pues como ya hemos nombrado antes es uno de los países pioneros en cuanto a el aprovechamiento de la energía del viento se refiere, la Asociación Mundial de Energía la cual tiene como objetivo principal promover a nivel mundial una fuente de energía viable y sustentable.

Para ver mejor el crecimiento en estos último años en la siguiente gráfica se muestra como en las década del 1996 hasta 2016 se ha incrementado significativamente el uso de energía eólica a nivel mundial:

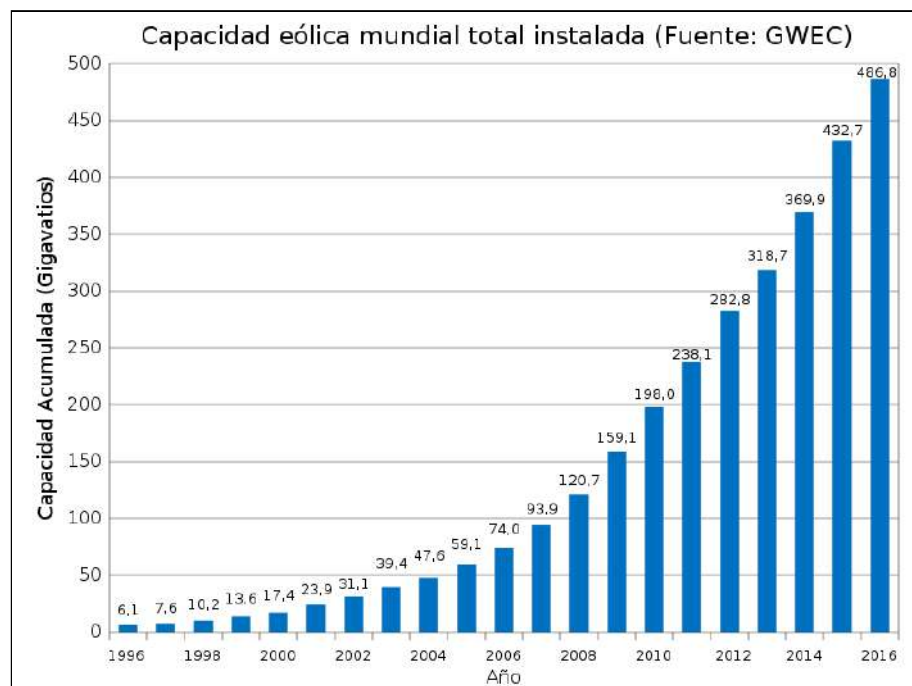


Figura 9: Crecimiento del uso de la energía eólica a nivel mundial de 1996 a 2016.

A nivel de consumo mundial la energía eólica suministra actualmente más del 3% del consumo de electricidad y se espera que para 2020 se supere el 5%. Y para el 2040 la Agencia Internacional de la Energía prevé que la energía del cinética viento pueda cubrir el 9% de la demanda eléctrica mundial y más del 20% en Europa. Se estima que para finales del 2019 la potencia total suministrada por este medio sea de un total de 600.000MW.

Dentro de estas cifras, España ha sido uno de los países líderes en el aprovechamiento del viento para producir electricidad. Logrando en 2013 ser el primer país del mundo en el que la energía eólica fuese la principal fuente de generación eléctrica durante un año entero. A finales de 2015 contaba con 23.000 MW instalados de energía eólica, colocándose en tercer lugar a nivel mundial, y en el segundo a nivel europeo.

3. Diseño Estructural

3.1. Introducción

3.1.1. Tipos de Aerogenerador

Podemos definir un aerogenerador como un generador eléctrico que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica utilizada para a su vez crear energía eléctrica gracias a un alternador (generador de corriente eléctrica alterna).

Estos se pueden clasificar en función de varios parámetro pero en este caso nos interesa hacer una distinción de los mismos en función de la orientación de sus aspas en dos categorías:

- Aerogeneradores de eje vertical: son aquellos en los que el eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo. Son los más recomendables para instalaciones pequeñas (de menos de 10 kW) debido a la facilidad de instalación, la disminución del ruido y el menor tamaño. También se les denominan VAWT (del inglés, Vertical Axis Wind Turbine).
- Aerogeneradores de eje horizontal: Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al suelo. Este tipo de aerogeneradores son los más utilizados en la actualidad, sobretodo a gran escala, por su eficiencia, su confiabilidad y su capacidad de adaptarse a diferentes potencias. También se les denominan HAWT (del inglés, Horizontal Axis Wind Turbine).



Figura 10: Aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus en la Antártida junto a un ejemplo de aerogenerador de eje horizontal común.

En nuestro proyecto nos hemos decantado por el tipo de aerogeneradores de eje horizontal por varios motivos. En primer lugar porque son los más comunes, lo que la

mayoría de gente imagina cuando se les nombra este tipo de energía renovable, en segundo lugar, porque a nuestro parecer tienen una arquitectura más sencilla haciendo que sean más simples de diseñar. Además, los aerogeneradores de este tipo son más versátiles y nos dan más juego a la hora de diseñar partes intercambiables.

3.1.2. Funcionamiento de un Aerogenerador de Eje Horizontal

Por el año 1919 ya el físico alemán Ibert Betz, cuando se encontraba como director del instituto aerodinámico en Göttingen, formuló por primera la ley Betz a la que bautizó con su propio nombre. Esta ley establecía el máximo valor que se puede aprovechar de la energía cinética del viento. Un siglo después dicha ley aún sirve de fundamento para la construcción de aerogeneradores y demuestra que la energía máxima extraíble del viento es independiente del número de palas cumpliéndose la siguiente ecuación :

$$P_{max} = \frac{16}{27} \cdot P_{viento} = 59,3\% \cdot P_{viento} \quad \text{Ley de Betz}$$

En base a esta ley se ha determinado un número estándar de aspas para los aerogeneradores de eje horizontal a gran escala, pues siempre encontraremos aerogeneradores de tres palas en los parques eólicos de hoy en día. Y es que los rotores tripala han demostrado su eficacia y eficiencia convirtiéndose en los más utilizados en todo el mundo. Los motivos son los siguientes:

- Un mayor número de palas permite obtener sistemas más equilibrados y estables. Así, un rotor de tres palas es mucho más estable que uno bipala o monopala presentando un mejor equilibrio de fuerzas giroscópicas y sufriendo menos vibraciones. Además cuanto más número de aspas contenga el aerogenerador más presupuesto requiere y eso es algo a tener muy en cuenta cuando trabajamos con aspas de hasta 100 metros de largo.
- Un menor número de palas aumenta la velocidad de giro (ya que se reduce el peso), por lo que, en una situación de fuertes vientos, es más conveniente un aerogenerador tripala que uno bipala a fin de evitar que la velocidad de giro alcanzada por el rotor sea demasiado elevada. También una velocidad de rotación muy alta puede generar problemas de ruido y más desgaste en algunas piezas del aerogenerador, además de convertirse en un peligro para las aves.

Por otra parte, la potencia que es capaz de generar uno de estos aerogeneradores depende en gran medida de dos factores:

- La velocidad del viento
- Del área barrida por las aspas

Provocando que actualmente la tendencia sea hacer los aerogeneradores cada vez más altos ya que a mayor altura mayor velocidad del viento y con aspas más largas aumentando la superficie de barrido de las mismas. En la siguiente figura podemos ver gráficamente la evolución de los aerogeneradores y como la superficie de barrido es directamente proporcional a la potencia generada:

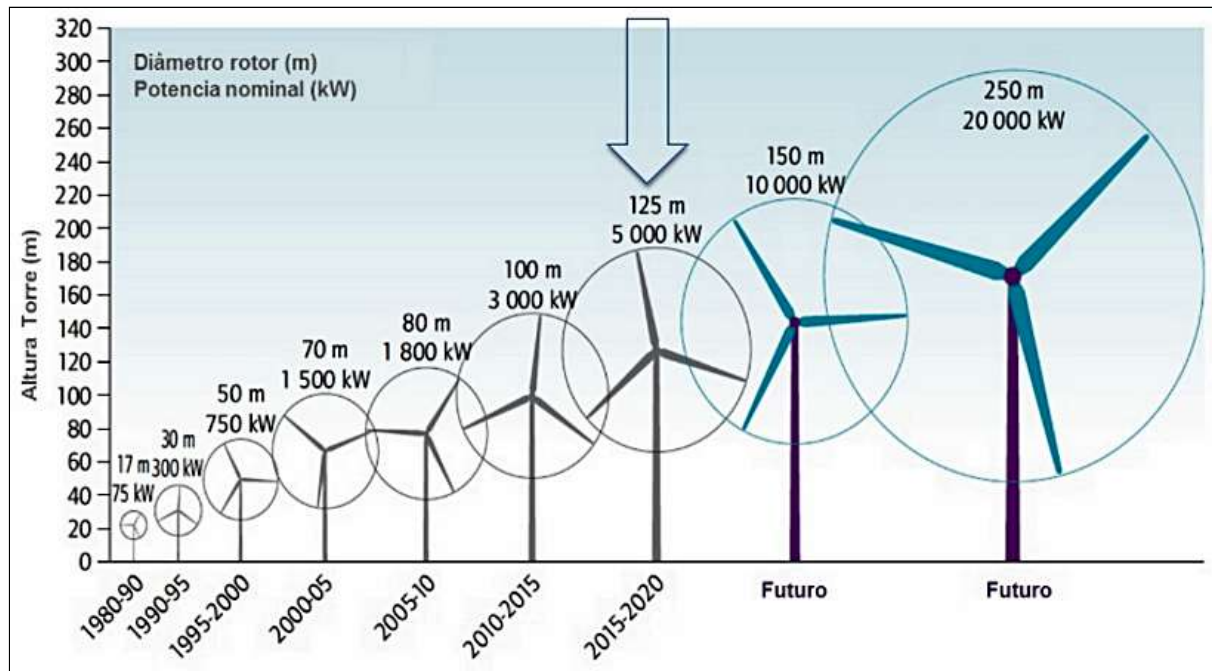


Figura 11: Relación entre potencia suministrada y tamaño del aerogenerador

El principio de funcionamiento de los aerogeneradores actuales no está basado únicamente en el empuje que el viento realiza en la superficie del aspa, sino que además se sustenta en gran medida en un fenómeno conocido como “Efecto Venturi”. Este efecto basa el movimiento de las aspas en el cambio de presión que se origina por diferentes gradientes de velocidad, estos gradientes se producen a un lado y a otro de la sección transversal de nuestras aspas, por lo que el movimiento rotatorio se obtiene gracias a la peculiar forma de dicha sección. Su geometría permite crear fuerzas de sustentación y trabajar con bajas pérdidas, tal y como podemos ver en la siguiente imagen.

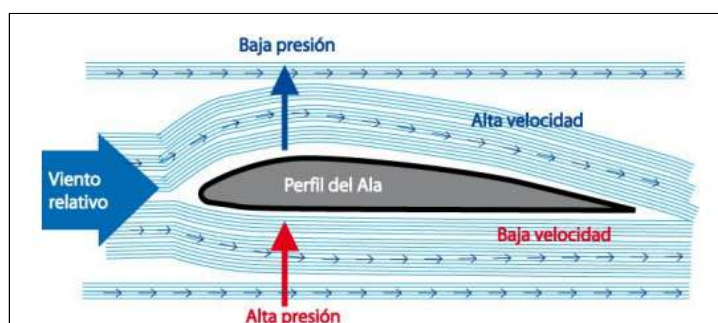


Figura 12: Cambios de presión y velocidad provocados por el efecto Venturi a lo largo de la sección de un aspa.

3.1.3. Partes de un Aerogenerador de Eje Horizontal

Como en este trabajo nos hemos decantado por los aerogeneradores de eje horizontal, a continuación en la figura 12 se muestra un ejemplo de los mismo con todas sus partes:

1. Suelo	8. Anemómetro
2. Conexión a la red eléctrica	9. Freno
3. Torre de contención	10. Transmisión o Multiplicadora
4. Escalera de acceso	11. Aspas, Palas o Álabes
5. Sistema de orientación	12. Sistema de inclinación de la pala
6. Góndola	13. Buje
7. Generador	

Tabla 1: *Partes de un aerogenerador horizontal*

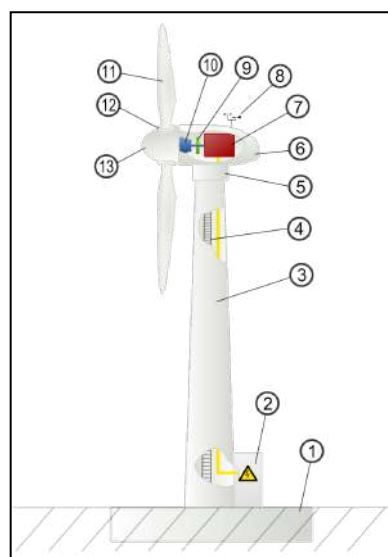


Figura 13: *Aerogenerador de eje horizontal y sus partes*

Al plantearnos diseñar un aerogenerador docente de pequeño tamaño, algunas de estos elementos no tienen sentido (como la escalera de acceso o el freno). Las partes que más nos interesan en nuestro caso son por tanto: las aspas, el buje, el sistema de transmisión, la góndola, la torre y el generador.

- ❖ **Aspas:** están construidas principalmente con materiales compuestos, se diseñan para transformar la energía cinética del viento en un momento torsor en el eje del equipo. Su

aerodinámica está pensada para que en base al efecto Bernoulli (explicado más adelante) pueda extraer la máxima energía del viento.

- ❖ **Buje:** es el elemento del aerogenerador donde se apoya y gira el eje rotor o eje lento.
- ❖ **Sistema de transmisión:** puede estar presente o no dependiendo del modelo. Transmiten potencia transformando la baja velocidad del eje del rotor (eje lento) en alta velocidad de rotación en el eje del generador eléctrico (eje rápido).
- ❖ **Góndola:** sirve de alojamiento para los elementos mecánicos y eléctricos del aerogenerador, como son: multiplicadora, generador, armarios de control, etc.
- ❖ **Torre:** sitúa el generador a una mayor altura, donde los vientos son de mayor intensidad, así como para permitir el giro de las palas, y transmite las cargas del equipo al suelo.
- ❖ **Generador:** existen diferentes tipos dependiendo del diseño del aerogenerador. Pueden ser síncronos o asíncronos, jaula de ardilla o doblemente alimentados, con excitación o con imanes permanentes. Lo podemos definir como la parte del aerogenerador que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. Aun cuando sus características determinan el diseño del resto de los elementos, no es objetivo de este proyecto su construcción, por lo que se describe en el capítulo 5 los modelos a usar.

3.2. Requisitos de Diseño

3.2.1. Condiciones del Cliente

Como nuestro proyecto está principalmente orientado al profesorado de universidad como un kit de prácticas para sus alumnos, nos hemos propuesto cumplir una serie de condiciones a fin de facilitarles el trabajo y hacer que puedan sacar el máximo partido a este kit. Algunas de las condiciones que debe satisfacer son:

- Ser de bajo presupuesto
- Tener distintos tipos de aspas
- Aspas intercambiables
- Peso ligero
- Diseño sencillo
- Ser capaz de alojar distintos tipos de generadores
- Aportar todos los planos necesarios para la impresión 3D de las piezas usadas.
- Aportar los archivos en .STL de todas las piezas necesarias.

3.2.2. Condiciones de los Equipos/Aparatos

Aunque sean pocas, la estructura de nuestro generador también debe satisfacer algunas necesidades de los equipos eléctricos usados para que estos puedan desempeñar correctamente su función. Algunas restricciones son:

- Tamaño del generador
- Garantizar la correcta colocación del generador dentro del modelo y su conexión a las aspas
- Cumplir con un mínimo de r.p.m. y par que necesarios para que los equipos funcionen de forma correcta.

3.3. Propuestas de Diseño

En este apartado se exponen todos los planteamientos realizados inicialmente antes de llegar a nuestro diseños definitivos de piezas escogidos para nuestro aerogenerador. Se describen además, todos los prototipos propuestos mostrando el resultado en renders de los diseños 3D de los mismos. Como los diseños presentados en este apartado no son los que usaremos en nuestro modelo final no se aportarán planos ni archivos .STL de los mismos

3.3.1. Buje

Para el diseño de nuestro buje tuvimos varios inconvenientes derivados de la condición que nos habíamos propuesto inicialmente de tener aspas intercambiables, es decir, que en un mismo buje se debe poder encajar y desencajar diferentes modelos de aspas de manera rápida y sencilla.

❖ Prototipo de Buje 1:

Primeramente se nos ocurrió afrontar este problema con tornillos o salientes dispuestos en una pieza que sería la base del buje y donde engancharan las palas y la parte superior del mismo tal y como se muestra en la figura 14. Sin embargo, esta posible solución que a simple vista nos pareció bastante sencilla tenía un inconveniente, y es que tras estudiarlo se observó que las propias oscilaciones producidas por la rotación del eje podrían provocar que los tornillos se desenroscaran o la pieza se salieran de sus salientes y se desprendiera alguna de nuestras aspas, así que se descartó esta opción rápidamente.

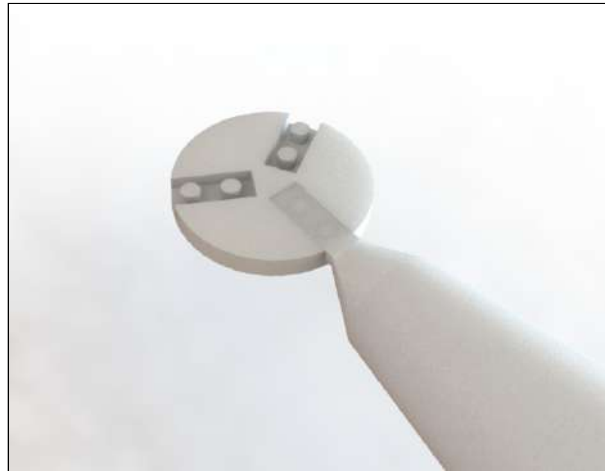


Figura 14: *Prototipo de Buje 1*

❖ Prototipo de Buje 2:

La siguiente idea fue hacer el buje en una única pieza, con ranuras donde se enroscarían las aspas. En este diseño las aspas tendrían un saliente en la punta con una rosca externa y en el orificio del buje se encontraría una rosca interna como se muestra en la figura 15. El principal inconveniente con esta opción era que al imprimir las aspas no se consiguiera la resolución suficiente en la impresora como para que al enroscarse completamente quedaran las aspas colocadas en la posición deseada, algo bastante importante en un aerogenerador, puesto que una inclinación inadecuada puede hacer que el viento no incida de la forma correcta y homogénea en cada una de las aspas dando un resultado del rendimiento lejano al real.

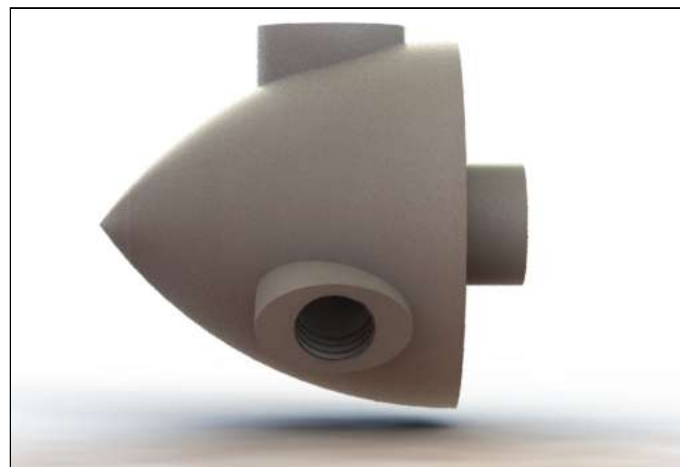


Figura 15: *Prototipo de Buje 2*

❖ Prototipo de Buje 3:

Otra posibilidad que también se barajó fue la de hacer un buje, también de una única pieza, con cavidades donde se introducirían las aspas a presión y donde añadiendo juntas de goma reforzaremos la unión. Esta, a priori, nos pareció la opción más sencilla y sin

embargo, una vez que tuvimos impreso este diseño, descubrimos un error que nos obligó a modificarla. El fallo se encontraba en las juntas de goma, y es que una vez que las colocábamos e introducíamos en la cavidad de nuestro buje la junta, en lugar de quedarse adherida a las paredes, quedaba por fuera del saliente haciendo que nuestra aspa oscilara y se desencajara con bastante facilidad. En la figura 16 podemos ver dicho prototipo. En el siguiente capítulo se propone una solución a este inconveniente



Figura 16: *Prototipo de Buje 3*

Tal y como se mencionó en el apartado 3.1 prácticamente todos los aerogeneradores que existen hoy en día de eje horizontal a gran escala son tripala. Ahora bien, otro de los objetivos planteados en este proyecto es que los alumnos puedan ver el efecto del número de palas y puedan comparar. Se decidió por ello diseñar dos modelos distintos de buje, uno con tres salientes colocados a 120° de separación a lo largo del diámetro del buje (figura 16), y otro con cuatro salientes distanciados a 90° (figura 17). El buje con capacidad de tres podrá usarse para probar modelos monopala y tripala; y el de capacidad para cuatro para modelos monopala, bipala y con cuatro palas. En la figura 18 podemos apreciar más claramente como cambia levemente el diseño entre ambos bujes.



Figura 17: *Prototipo de Buje 3 con capacidad para cuatro aspas*

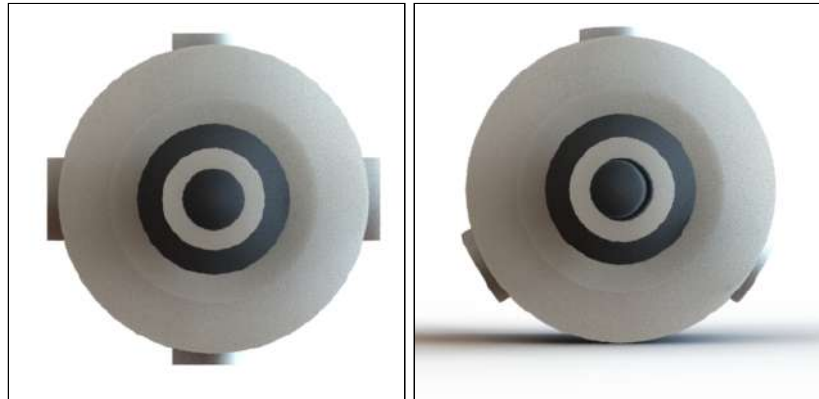


Figura 18: *Vista trasera del prototipo de buje 3 en sus dos variantes*

3.3.2. Aspas

Para nuestro proyecto las aspas son, con gran diferencia, la pieza más importante de la estructura. Sin unas aspas que girasen correctamente, nuestro kit no tendría sentido y no se le podría sacar provecho a la parte electrónica. Y no solo eso, es igual de importante el diseño de una variedad de aspas con las que podamos comparar sus rendimientos. A continuación, se enumeran todos los diseños de aspas propuestos:

❖ Prototipo de Aspa 1:

Decidimos crear un aspa inspirada en la geometría de los aerogeneradores actuales, con una forma aerodinámica y una sección transversal con la que se pudiera beneficiar del Efecto Venturi que hemos explicado anteriormente. La primera aspa diseñada con esta filosofía presenta dos inconvenientes: primero, tiene un tamaño algo pequeño (12 cm de largo) por lo que la superficie de aire barrida es pequeña, y segundo tiene poca superficie lateral, ya que es casi redonda, por lo que el efecto Venturi no es muy marcado. Por otra parte, la gran ventaja de este aspa es su poco peso. A continuación podemos ver el diseño en 3D de la misma:



Figura 19: *Prototipo de Aspa 1*

❖ Prototipo de Aspa 2:

Partiendo del prototipo anterior, lo hemos modificado ampliando su longitud y su superficie transversal en un intento de solucionar los problemas que presentaba: se ha aumentado el tamaño hasta 19 cm y se le ha aumentado la superficie lateral (ver Figura 20). Sin embargo, el inconveniente que hemos encontrado ahora es el peso, pues ha dado como resultado un aspa demasiado pesada que puede dificultar bastante su correcto funcionamiento.



Figura 20: *Prototipo de Aspa 2*

❖ Prototipo de Aspa 3:

Por otra parte, también queríamos demostrar que con un aspa cuya sección transversal y aerodinámica no favorezcan la aparición del anteriormente nombrado Efecto Venturi, se obtendrá muy poco rendimiento. Para ello se ha propuesto un modelo recto, con sección transversal casi plana, tal y como podemos apreciar en la figura 21.

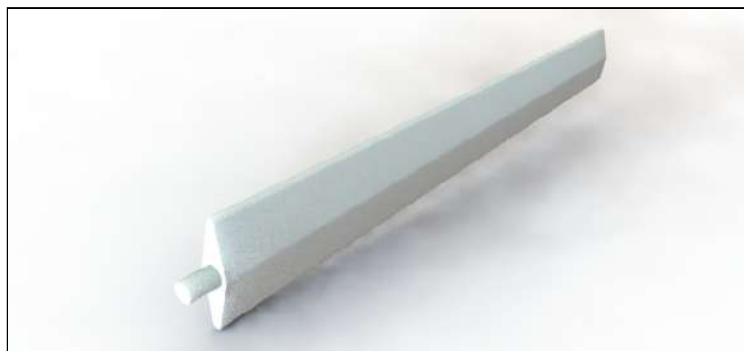


Figura 21: *Prototipo de Aspa 3*

❖ Prototipo de Aspa 4:

Finalmente, hemos pensado que sería enriquecedor para el proyecto crear un aspa que imite la forma de los antiguos molinos de viento, donde se aprovechaba al máximo posible la superficie de incidencia del viento para que el empuje de este sea elevado, sin que se tenga en cuenta su sección. En este caso se busca obtener el mayor área con el menor peso posible, por lo que se ha diseñado una superficie perforada, tal y como se ve en la figura 22. Además, como se verá en el capítulo 3.4 en el posterior diseño final de la

misma, se le puede añadir un papel seda para aumentar la superficie de incidencia sin que esto signifique un aumento de peso significativo en la pieza.

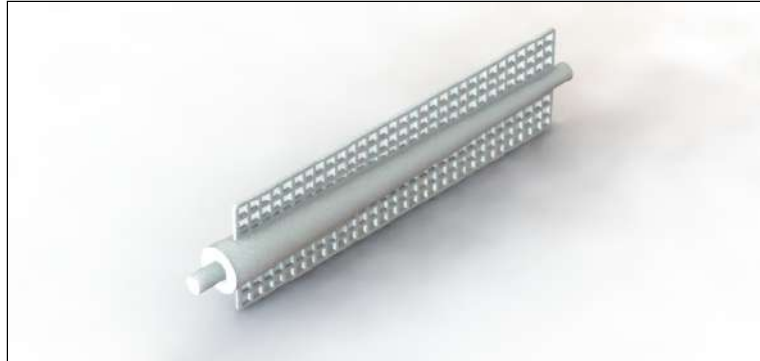


Figura 22: *Prototipo de Aspa 4*

3.3.3. Multiplicadora

Hoy en día todos o casi todos los sistemas basados en la obtención de energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento, cuentan con un sistema multiplicador³. Este sistema se encarga de adaptar la velocidad de entrada, velocidad a la que rotan las aspas, a la velocidad nominal a la que queremos que gire el rotor del generador eléctrico.

La primera cuestión de diseño es conocer cuánto necesito que me multiplique mi velocidad, es decir, de cuánto ha de ser mi relación de transmisión. La respuesta concreta dependerá del estudio aerodinámico de las aspas finales y del generador eléctrico seleccionado. Una vez obtenidos esos datos podremos calcular fácilmente cuánto mayor necesito que sea la velocidad de giro del motor respecto a la de las aspas para cada montaje particular. Nuestro objetivo, sin embargo, es diseñar un sistema multiplicador que pueda ser adaptado por cada usuario a las especificaciones del generador eléctrico que use.

❖ Prototipo de Multiplicadora 1:

Para afrontar este problema la primera solución que planteamos fue diseñar un tren de engranajes, este tren de engranajes podría ser, al igual que las aspas, intercambiable, y tener algunas de las relaciones de transmisión básicas como las que observamos en las siguientes imágenes. En la figura 23, la relación entre la velocidad de salida y la de entrada del primer par es de un factor tres y la del segundo de cinco, y en la figura 24 aplicamos una combinación de ambos dando como resultado una velocidad angular de salida quince veces superior a la de entrada.

³ Sistema de Transmisión mirar el Anexo V: Transmisión de Potencia, Multiplicadora

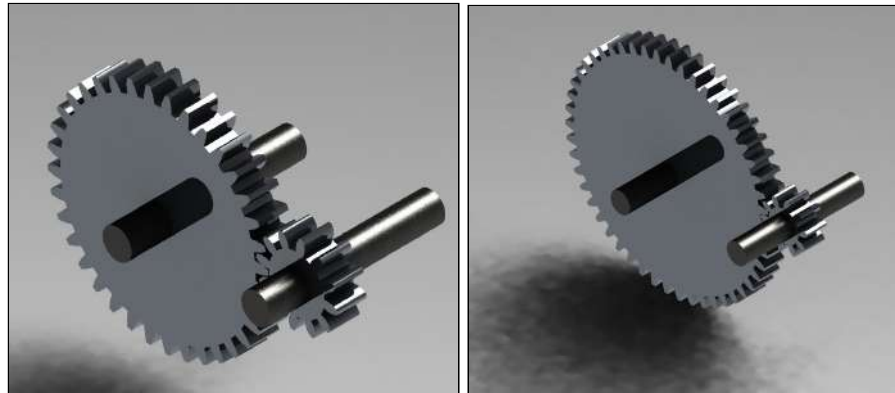


Figura 23: Par de engranajes de relaciones tres y cinco respectivamente

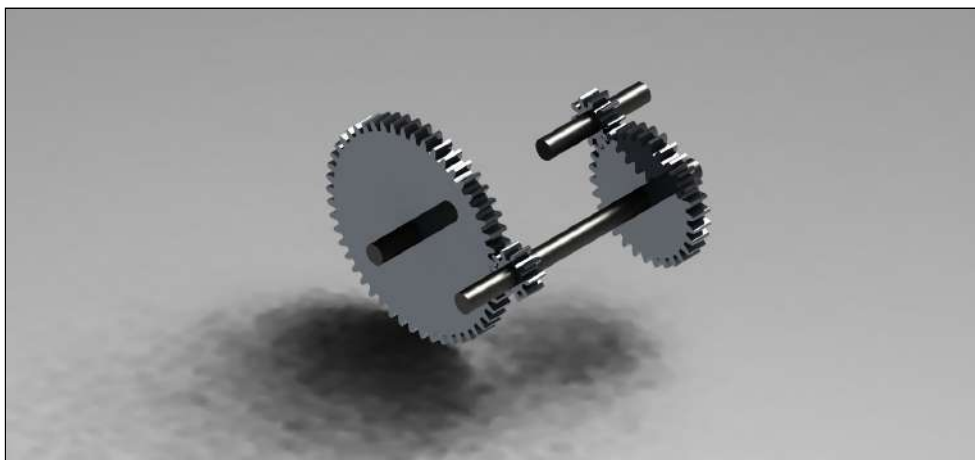


Figura 24: Tren de engranajes con una relación de velocidades de quince

❖ Prototipo de Multiplicadora 2:

Para aquellos casos en que se necesiten multiplicaciones de velocidad grandes la opción anterior queda descartada. Aunque sí se pueden conseguir relaciones transmisión elevadas con trenes de engranajes como los mostrados anteriormente, esto requeriría de un espacio del cual no se dispone dentro de la góndola de nuestro aerogenerador. Debido a este inconveniente, tuvimos que replantear el diseño de la multiplicadora para aquellos clientes que necesiten de sistemas de transmisión con relaciones de velocidad superiores, optando finalmente por un sistema de ejes planetarios o ejes epicicloidales compuestos⁴. Dicho sistema es el usado en la actualidad para la transmisión de velocidad de los aerogeneradores en los que nos hemos inspirando. A continuación, se muestra un render del diseño preliminar que hemos realizado para esta opción.

⁴ Consultar Anexo V. Transmisión de potencia. Multiplicadora

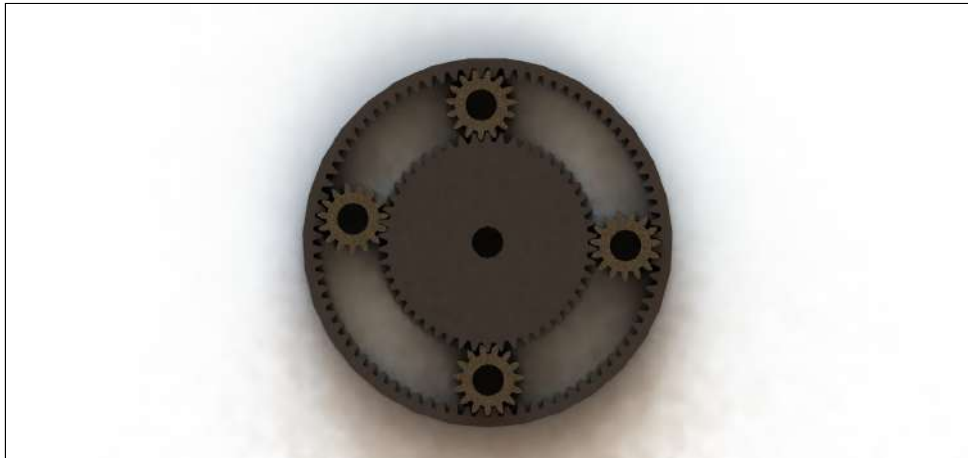


Figura 25: *Prototipo de ejes epicicloidales o ejes planetarios*

3.3.4. Góndola

Inicialmente habíamos planteado crear una única góndola, pero para ampliar más nuestro kit, decidimos diseñar dos modelos diferentes. De este manera, una de las góndolas, a semejanza de los aerogeneradores reales, estará prevista para almacenar una multiplicadora y la otra, con un diseño más sencillo, no contendrá ningún mecanismo de este tipo.

De esta forma, en el aerogenerador que irá sin sistema de transmisión el eje de las aspas (eje lento) irá conectado directamente al eje de nuestro generador (eje rápido) por lo que no habrá ninguna diferencia de velocidad entre ambos.

En principio el diseño pensado para esta parte es sencillo, una estructura hueca con una superficie plana donde se introducirá el motor y un saliente para sujetarlo mejor, tal y como se muestra en las figuras 25 y 26. Este es el diseño que se plantea para ambas góndolas, la única diferencia es que uno se extenderá más que el otro para que pueda contener la multiplicadora.

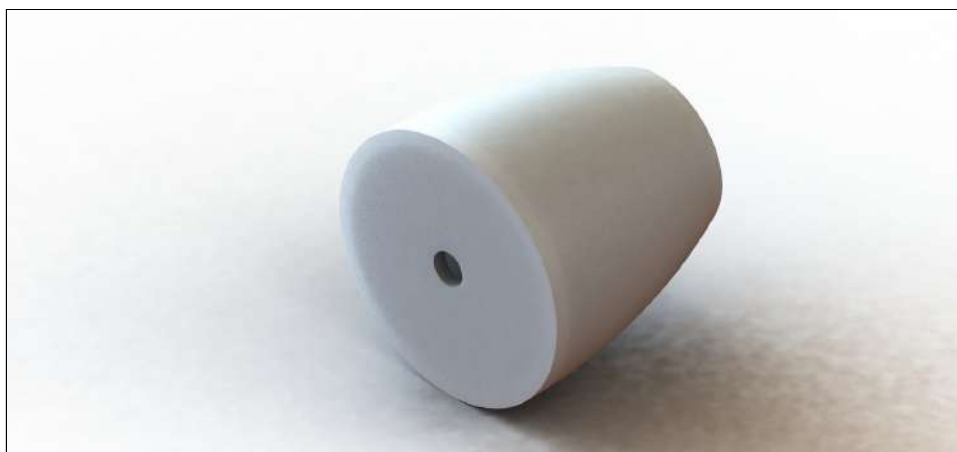


Figura 26: *Prototipo góndola*

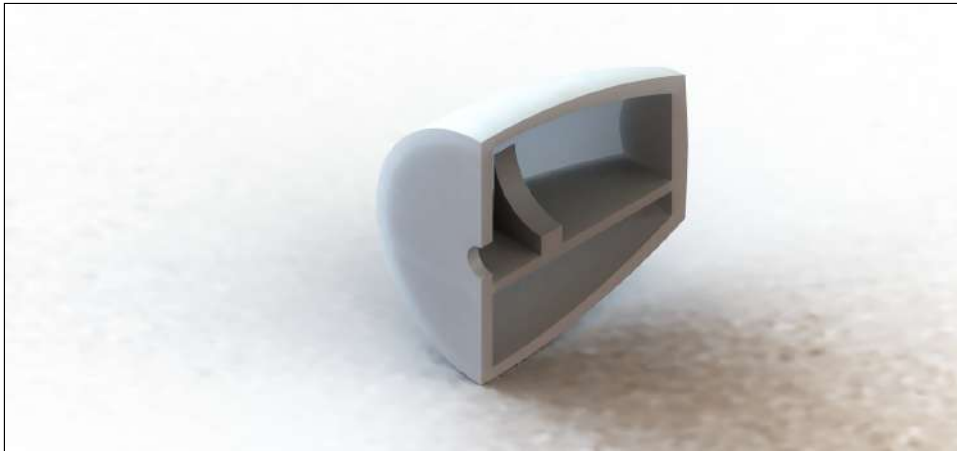


Figura 27: Prototipo góndola seccionado

3.3.5. Torre

La torre, al ser la parte más sencilla de nuestro modelo, no supuso grandes problemas de diseño más allá de los que nos pudieron surgir a la hora de buscar la forma de que se pudiera acoplar a nuestra góndola de manera sencilla.

Se decidió desde un primer momento hacer la torre hueca ya que, además de ahorrar material de impresión, deben pasar los cables por ella. Con respecto al diámetro, se diseñó de manera que quedara estético y fuera lo suficientemente ancho para que no se perdiera estabilidad. La altura si fue una variable más significativa a la hora de plantear el diseño, puesto que se debe conocer y tener en cuenta el diámetro total que forman el conjunto buje-aspas para que al montar nuestro aerogenerador las aspas no quedaran muy cerca del suelo dificultándoles el giro a las mismas. A partir de dicho mínimo, el cliente puede decir cuánto de alto quiere que sea su torre, teniendo en cuenta la altura total que le permita imprimir la impresora de la que dispongan.

A continuación se muestran dos de las soluciones propuestas para solventar el problema de la unión torre-buje.

❖ Prototipo de Torre 1:

Para afrontar el problema de acoplamiento con el buje se planteó un primer modelo de torre con pasantes como el mostrado en la figura 28. En este diseño, tanto torre como góndolas disponen de dos perforaciones, la idea es que el extremo libre de la torre se introduzca en el interior de la góndola y esta unión quede fijada mediante un pasador que atraviese ambas piezas por los orificios previstos para ello.



Figura 28: *Prototipo de Torre 1*

❖ Prototipo de Torre 2:

Como segunda propuesta de diseño, hemos sugerido una rosca, en lugar de pasantes, para encajar de forma fácil y sencilla las góndolas y el buje tal y como vemos en la figura 29.



Figura 29: *Prototipo de Torre 2*

En el siguiente capítulo mostraremos el prototipo final donde hemos incorporado un soporte para darle mayor estabilidad con orificios en sus extremos por si se desea anclar a una superficie lisa. Además, hemos agregado un orificio cerca de la base por el cual extraeremos los cables que saldrán desde el generador ubicado en la góndola.

3.3.6. Tamaño del Conjunto

Teniendo ya una idea clara de las piezas que queremos realizar, el siguiente paso será decidir el tamaño de nuestro aerogenerador. Una de las limitaciones con que nos encontramos a la hora de decidir el tamaño eran las dimensiones de las impresoras 3D de

las que disponíamos en la universidad. Aunque este es un problema fácil de solventar teniendo en cuenta que una misma pieza se puede subdividir en varias para luego montarlas, sin embargo esta variante no ha sido necesaria en nuestro caso pues el pequeño tamaño de los generadores eléctricos utilizados nos ha permitido adaptarnos a las impresoras disponibles e imprimir las distintas partes en una sólo pieza.

En nuestro caso, lo que nos limitó fue cantidad de material necesario y, sobretodo, el tiempo y dinero de impresión que requerirían las piezas de mayor tamaño. Finalmente se optó por, una vez elegidos los generadores de AC (corriente alterna) y DC (corriente continua) a utilizar, hacer un buje y unas aspas acordes a su eje y a raíz de ahí hacer un diseño de góndola y torre acordes, eso teniendo en cuenta que en una de las góndolas se deben introducir generador y sistema de transmisión.

3.3.7. Impresión de las Propuestas de Diseño

Para ayudarnos a hacernos una idea del diseño final que escogeremos para nuestro proyecto, decidimos imprimir algunos de los prototipos anteriormente descritos⁵. Los prototipos escogidos para esta impresión fueron: los cuatros prototipos de aspa propuestos en el apartado 3.3.2, un par de engranajes para comprobar el correcto engrane de los mismos y el prototipo de buje 3 con salientes a 120°, este último lo imprimimos en dos tamaños diferentes.

Estos prototipos fueron impresos con una impresora 3D modelo Prusa I3 (figura 30) dicha impresora tiene una superficie de trabajo de 20x20x20 cm. Fue la escogida para impresiones de prueba debido a que era de fácil acceso para nosotros a pesar de que su calidad de impresión no era la óptima para el tipo de piezas que necesitamos imprimir.

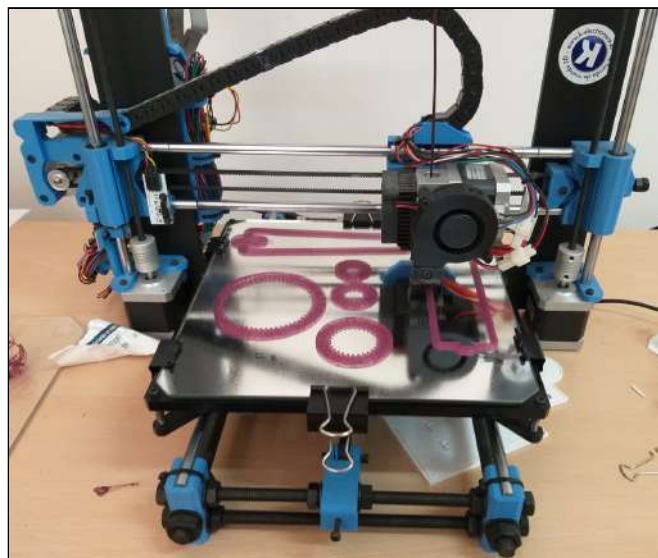


Figura 30: *Impresora Prusa I3 imprimiendo algunos de nuestros prototipos*

⁵ Si se desea ver los pasos a seguir a la hora de imprimir piezas diseñadas en entornos 3D ver Anexo I.

Estas piezas han sido impresas con filamento de PLA (ácido poliláctico) a una resolución de 0,4 y 0,6 mm. A continuación se muestran los resultados:



Figura 31: *Resultado de la impresión de los prototipos de aspa 1 y 2 respectivamente*

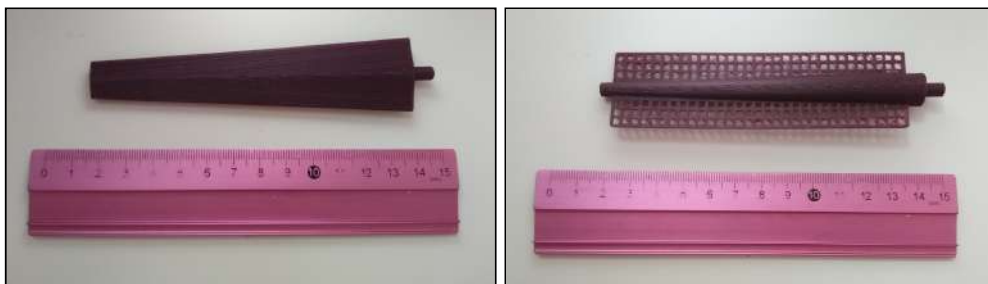


Figura 32: *Resultado de la impresión de los prototipos de aspa 3 y 4 respectivamente*

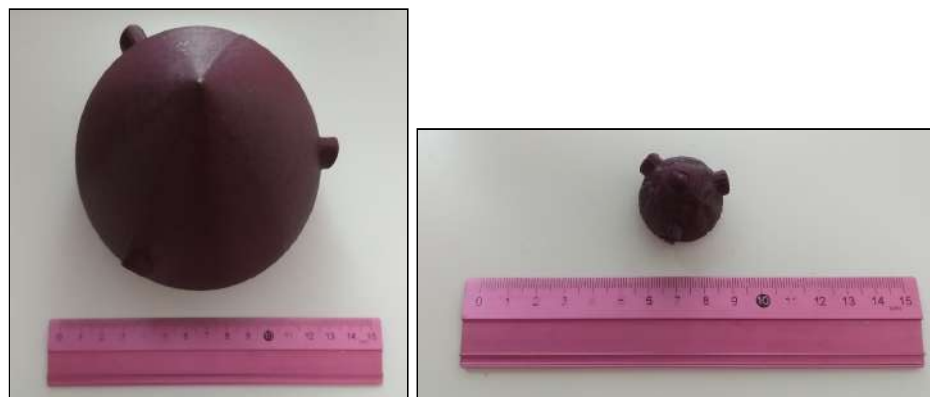


Figura 33: *Resultado de la impresión de los prototipos de buje 3 con dos tamaños distintos*



Figura 34: *Resultado de la impresión de los prototipos de trenes de engranajes*

3.4. Diseño Propuesto. Resultado Final

Como en el apartado anterior describimos todos los diseños previos planteados para las diferentes piezas, en este apartado explicaremos finalmente cuáles son las piezas escogidas como definitivas para nuestro diseño y el por qué.

Con el fin de facilitar la recreación de dichas piezas por el cliente, los planos de todas y cada una de ellas se encuentran al final de este documento. Además, incluimos un enlace de descarga para el caso de que el cliente desee imprimir las mismas piezas que aquí planteamos pueda hacerlo directamente con los archivos en .STL ⁶.

3.4.1. Buje

Finalmente hemos optado por el prototipo de menor tamaño de buje 3 que hemos impreso, el cual se muestra en la *figura 31* del apartado 3.3.7 . Nos hemos decantado por el de menor tamaño porque, además de ser más barato y rápido de imprimir, es más ligero y está más a proporción con nuestros generadores. Como ya hemos dicho en el capítulo anterior, este diseño se había planteado con la idea de encajar las aspas a presión con ayuda de juntas de goma. Sin embargo, como esta solución da problemas, lo que se le propone al cliente es que obtenga un juego de varillas y manguitos roscados (como los mostrados en la siguiente figura) para realizar dicha unión. Se ha de tener en cuenta que el diámetro interior de la varilla debe coincidir con el diámetro externo del saliente de nuestras aspas, y que el diámetro externo del manguito sea igual que el diámetro interno de los orificios de los que hemos dispuesto nuestro buje.



Figura 35: Ejemplos de manguito roscado y varilla roscada hueca

Para hacernos una idea más clara hemos creado un ensamblaje simulando la solución que proponemos con estos dos elementos. El resultado se muestra en la siguiente imagen:

⁶Enlace directo a la carpeta de descarga de nuestras piezas:
https://drive.google.com/drive/folders/1b9QcSFRb5UozdoxvF_690U31TaeTctPM



Figura 36: Simulación en SolidWorks del acoplamiento aspa-buje mediante manguito y varilla roscada.

De esta forma, sin complicar más el diseño, se puede encontrar una solución rápida y económica. Esta opción es mucho más viable que la de añadir rosca en las propias aspas y bujes, tal y como nos planteamos en el prototipo de buje dos del anterior capítulo, ya que de la manera que mostramos aquí no supone ninguna dificultad el hecho de que al enroscar las aspas adquieran su orientación correcta.



Figura 37: Render manguito y varilla hueca roscada

3.4.2. Aspas

En base los diseños de prototipos previos, hemos modificado algunos de ellos para crear lo que serán nuestros diseños finales aquí mostrados.

❖ Aspa 1:

En este caso hemos partido de los prototipos de aspa 1 y 2 creando una pieza intermedia, ni tan grande como el prototipo de aspa 2 (20 cm de largo) ni tan pequeña como el prototipo de aspa 1 (12 cm de largo). Además en esta segunda y mejorada versión hemos cambiado levemente la geometría y el ancho del modelo para así aumentar la superficie de incidencia del viento. El resultado final se muestra en la siguiente figura:



Figura 38: Aspa 1

❖ Aspa 2:

Para nuestro segundo modelo de aspa escogido, hemos partido del prototipo de aspa 4. En esta modificación hemos duplicado el ancho de la misma. Además, para esta pieza en particular, se propone al cliente añadir un papel seda en el área perforada para lograr aumentar la superficie de incidencia del viento sin un aumento significativo del peso.

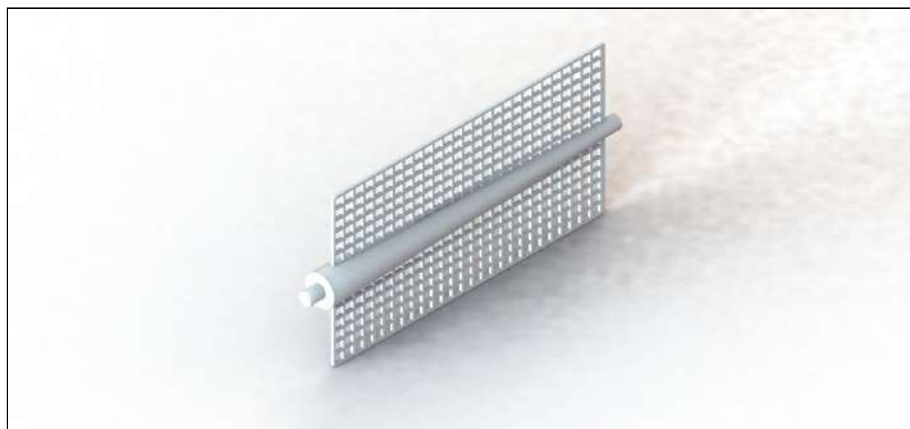


Figura 39: Aspa 2

❖ Aspa 3

En este tercer diseño hemos hecho una leve modificación al prototipo de aspa 3, mostrado en el capítulo anterior, añadiendo una base de un tamaño un poco mayor para darle mayor robustez a la pieza (figura 40).

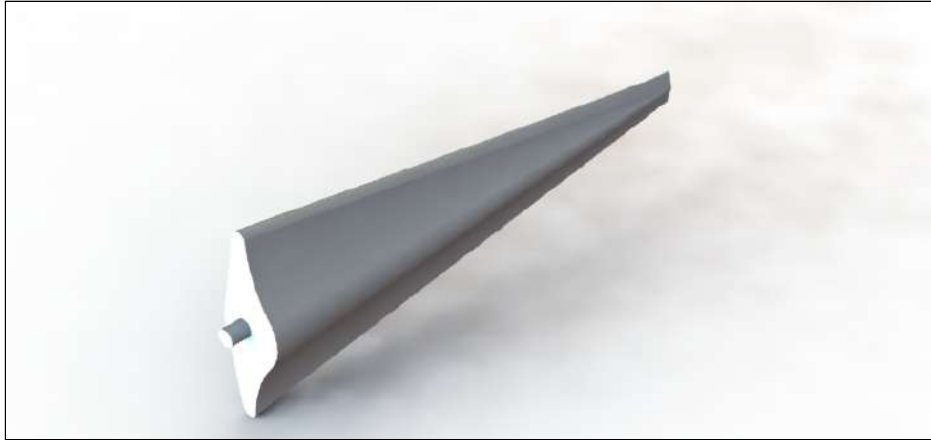


Figura 40: Aspa 3

❖ Aspa 4

Finalmente, para nuestra último diseño de aspa optamos por algo diferente, en este último modelo decidimos imitar la forma de un aspa de ventilador tal y como vemos en la siguiente imagen.



Figura 41: Aspa 4

Este diseño debería dar muy buenos resultados en la práctica ya que cada aspa cuenta con gran superficie de incidencia. En la figura 42 hemos realizado el ensamblaje con el buje 3 para que se aprecie mejor su considerable parecido a un ventilador común.

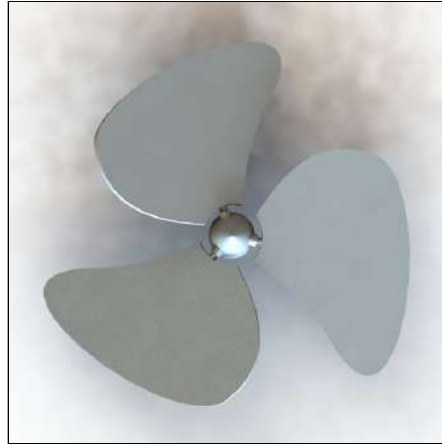


Figura 42: *Ensamblaje aspa 4, imitación de un ventilador convencional*

Los diseños expuestos en este apartado como definitivos, son únicamente para que el cliente pueda hacerse una idea de los diferentes tipos de aspa que puede fabricar. Puede usarlos de manera meramente orientativa o, si lo desea, como ya se ha mencionado con anterioridad, puede hacer uso de los planos o archivos .STL que se le proporcionan.

3.4.3. Multiplicadora

Como ya explicamos en el capítulo anterior, la mejor opción de multiplicadora para cuando se requieren de relaciones de transmisión elevadas y se dispone de poco espacio es un sistema de ejes epicicloidales. En nuestro caso, para obtener una relación de transmisión mayor, hemos creado un sistema compuesto, en el que se acopla la salida de un conjunto a la entrada del siguiente. Hemos diseñado el sistema de tal manera que el cliente puede decidir cuántos subsistemas acoplar en función de la relación de transmisión que desee, la condición es que deben ser múltiplos de la relación de transmisión para la que hemos creado el primer subconjunto cuyo valor en nuestro caso es de 2.6. En la figura 43 podemos ver cómo se acoplan los subconjuntos entre sí para formar un sistema de transmisión compuesto.

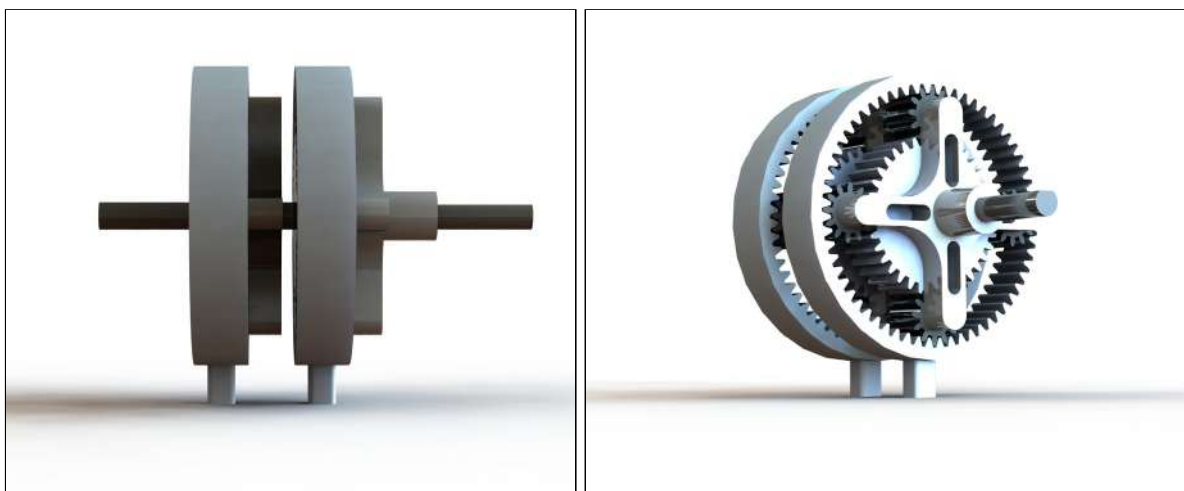


Figura 43: Sistema de ejes epicicloidales compuesto

Hemos decidido acoplar puesto que se decidió seleccionar un generador de corriente continua con velocidades nominales altas y no nos hace falta una relación de transmisión muy elevada. Sabiendo que la relación de velocidades para un único sistema es:

$$v_{salida} = 2.6 \cdot v_{entrada}$$

cuando acoplamos dos de estos subconjuntos la velocidad final de salida sería :

$$v_{salida} = 2.6 \cdot 2.6 \cdot v_{entrada} = 2.6^2 \cdot v_{entrada}$$

De forma general, el valor de la multiplicación total es igual al valor de la relación de transmisión de los ejes, elevado al número de ejes acoplados:

$$v_{salida} = x^{\text{número de ejes acoplados}} \cdot v_{entrada}$$

donde x = relación de transmisión para la cual he diseñado mi sistema de ejes simples⁷

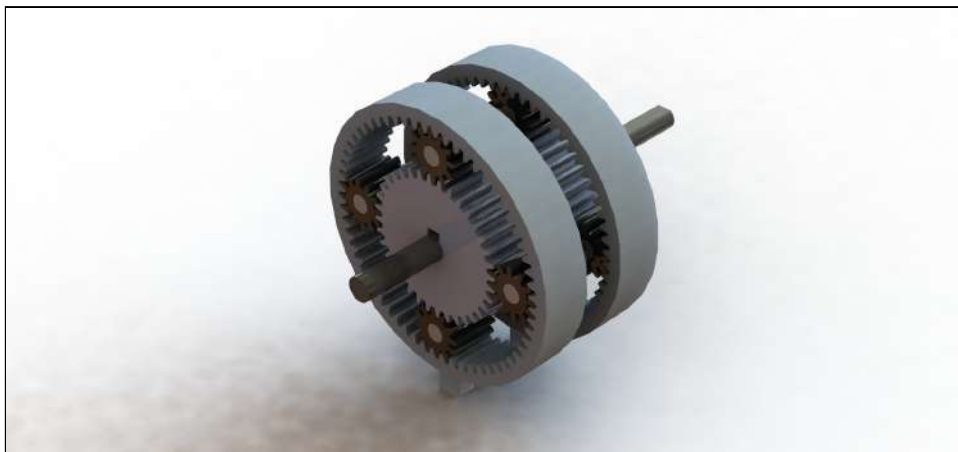


Figura 44: *Multiplicadora de ejes epicicloidales compuesta. Diseño final*

3.4.4. Góndola

En nuestros diseños finales de góndola hemos ajustado la estructura a la medida y geometría de los dos generadores que hemos escogido como muestra. El cliente deberá realizar los ajustes necesarios en caso de que desee hacer uso de otros generadores.

⁷ Si se desea ver el procedimiento para hallar la relación de transmisión de los ejes epicicloidales, consultar Anexo V.

Para facilitarle esta labor, hemos añadido también la góndola que se usaría en el caso del motor DC, pues las medidas de este son significativamente superiores a la de nuestros otros dos generadores y, por lo tanto, su estructura es más compleja.

Para demostrar mejor al usuario que se puede hacer uso del sistema multiplicador es opcional, haremos uno de ellos con sistema de transmisión y otro sin este. A continuación se muestran los renders de cada una de las góndolas diseñadas.

❖ Góndola con multiplicadora. Generadores de continua (DC)

Para este caso, como ya hemos nombrado antes, hemos diseñado góndolas con multiplicadora para dos modelos de generadores de continua con tamaños muy diferenciados. En las siguientes imágenes se muestra el diseño de góndola en el que nos hemos basado para ambos casos, puesto que entre los dos generadores solo varía el tamaño.



Figura 45: Góndola generador DC



Figura 46: Góndola generador DC seccionada

Una vez impresas, la góndolas permitirán perfectamente el ensamblaje del generador empleado y el sistema de transmisión diseñado.

En la figura 47 se muestra el montaje final de la góndola con el motor de mayor tamaño. Esta góndola cuenta con casi 12,5 cm de largo.

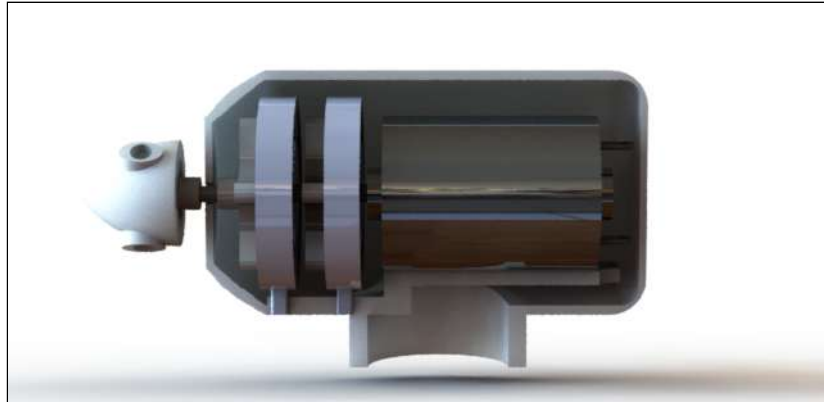


Figura 47: *Ensamblaje góndola con multiplicadora para generador DC de mayor tamaño*

En la siguiente figura se puede ver la góndola ensamblada con el generador de corriente continua de menor tamaño, podemos ver que el diseño es prácticamente el mismo pero con dimensiones menores, este cuenta con poco más de 9 cm de largo.

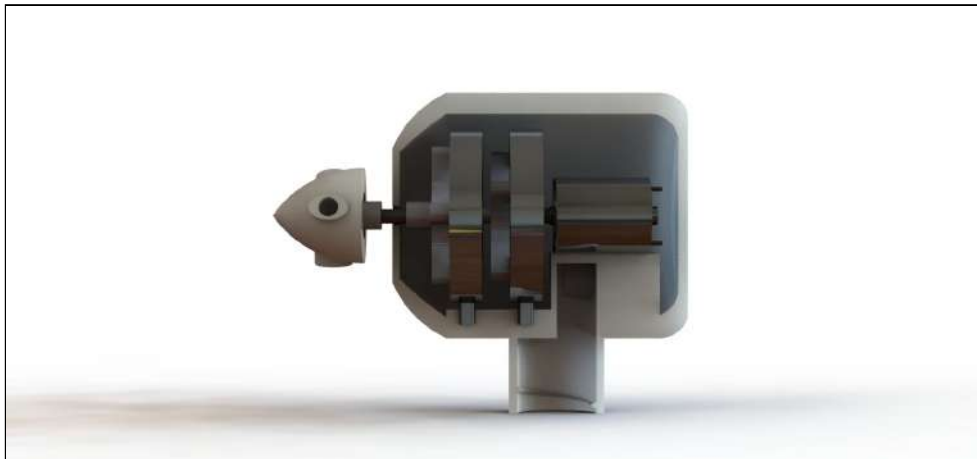


Figura 48: *Ensamblaje góndola con multiplicadora para generador DC de menor tamaño*

❖ **Góndola sin multiplicadora. Generador de alterna (AC)**

Después de testear nuestro generador de alterna comprobamos que con menos revoluciones se conseguía mayor voltaje que con el generador de corriente continua (consultar capítulo 5), así que fue el generador escogido para usar como ejemplo de góndola sin sistema multiplicador. En estas imágenes podemos ver el resultado del diseño final en 3D.



Figura 49: *Góndola generador AC*



Figura 50: *Góndola generador AC seccionada*

En la siguiente figura mostramos el ensamblaje final sin multiplicadora de nuestra góndola, hemos añadido una ranura en la base de la misma ya que debido a la geometría de nuestro generador decidimos que era la mejor forma de sujetarlo. Además, le hemos incorporado un pequeño adaptador que también será impreso 3D, este actuará de unión entre el eje motor y el eje que entra del buje.

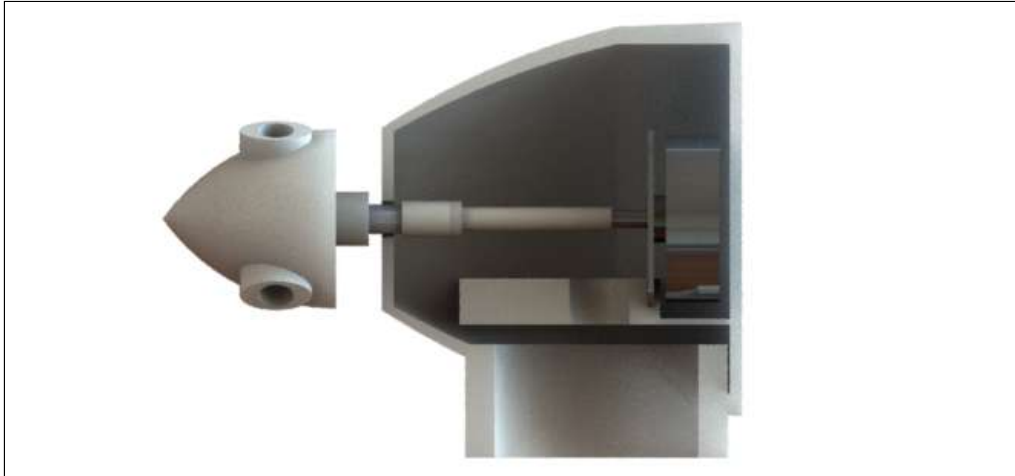


Figura 51: *Ensamblaje góndola AC con motor y adaptador*

En todos los casos se les ha dispuesto a las góndolas de un saliente inferior con rosca interna, para que se puedan acoplar al diseño de torre que mostramos a continuación.

3.4.5. Torre

Para la versión impresa de la torre hemos seleccionado un modelo con rosca externa en su extremo libre (ver figura 52). En ella irá enroscada la góndola que queremos usar en cada momento. Esta opción es la más sencilla y acertada para poder hacer el intercambio de góndolas de manera rápida y sin problemas. La altura final escogida es de 27,5 cm de alto, debido a que la impresora de la que disponen en el FabLab de la ULL, al que haremos mención a continuación, puede imprimir a un altura máxima de 30 cm.



Figura 52: *Torre, diseño final*

3.4.6. Ensamblaje

En este apartado se expondrán las imágenes renderizadas de las estructuras completas de los dos aerogeneradores que hemos decidido montar nosotros para realizar ensayos.

❖ Modelo 1:

Para el primer modelo elegido hemos usado el modelo de aspa 1 junto al buje de 3 aspas. En este caso hemos empleado el generador de corriente continua de menor tamaño y hemos incluido la multiplicadora que, como ya hemos mencionado antes, en nuestro caso está compuesto de dos subconjuntos de ejes. El resultado final se muestra en la siguiente figura.



Figura 53: Simulación *ensamblaje completo generador DC con aspas 1 y buje de 3 aspas*

❖ Modelo 2:

Para el segundo modelo elegido, el cual podemos apreciar en la figura 54, se ha pretendido elegir una variante lo más diferenciada posible a la anterior, por lo que hemos usado el modelo de aspa 2 junto al buje de 4 aspas. En este caso no hemos hecho uso de ningún sistema de transmisión, hemos acoplado de forma directa el eje lento de entrada con el generador de alterna, únicamente se le ha acoplado un adaptador para realizar la unión .



Figura 54: Simulación *ensamblaje completo generador AC con aspas 2 y buje de 4 aspas*

A continuación, para hacer una mejor comparación y destacar aún más las diferencias que existen entre los dos modelos que hemos escogido, en la siguiente figura se muestran los resultados finales en render de ambos:

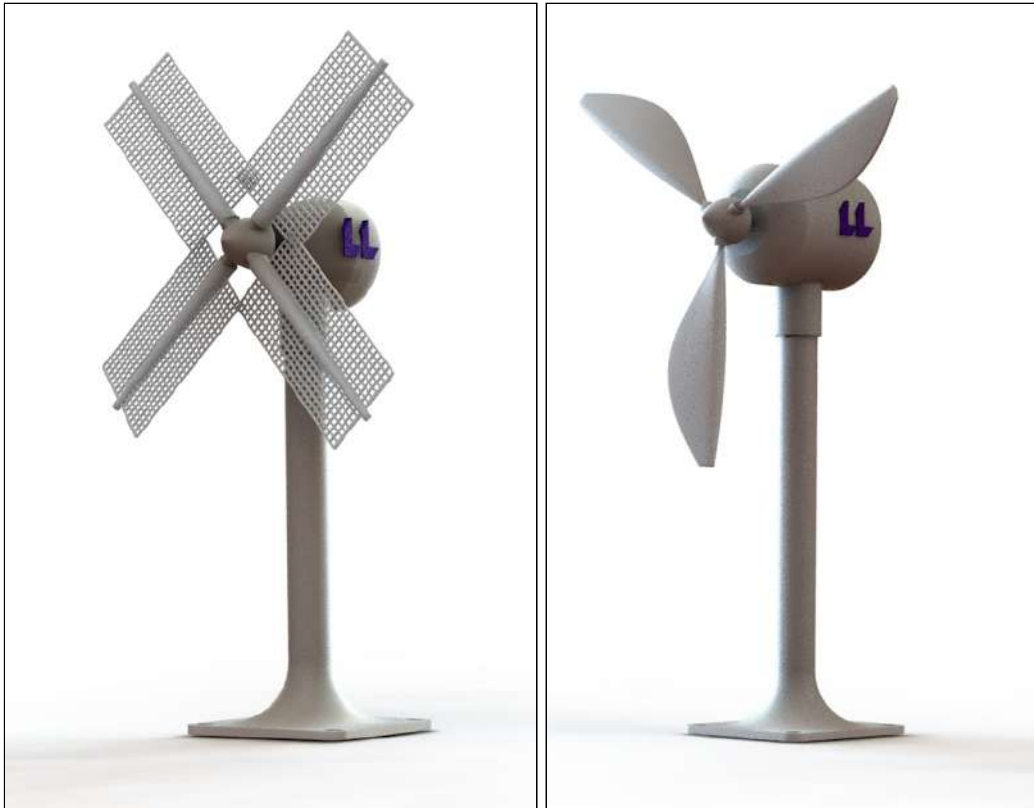


Figura 55: *Render del montaje final de los dos modelos escogidos para realizar las pruebas*

3.4.7 Piezas Impresas

Aunque presentemos varios modelos de aspas como definitivo y el proyecto incluye los planos para imprimir todos ellos al final de este documento, debido a las limitaciones de presupuesto, hemos seleccionado para imprimir en alta calidad dos de los modelos propuestos. Estos nuevos modelos se imprimirán en una calidad y resolución superior a la de los otros prototipos, serán los utilizados para poder realizar un ejemplo de estudio dinámico de las mismas.

El lugar escogido para realizar las impresiones de mayor calidad ha sido el FabLab de la ULL, Laboratorio de Diseño y Fabricación Digital. Dicho laboratorio pertenece al SEGAI (Servicio General de Apoyo a la Investigación) de la ULL. La calidad de las impresiones obtenidas ha sido considerablemente mejor que la calidad de los prototipos realizados con la impresora Prusa I3. Este laboratorio dispone del modelo de impresoras Ultimaker BV el cual podemos ver en la figura 56.



Figura 56: *FabLab de la ULL y el modelo de impresora del que disponen*

Es necesario destacar que, como vamos a imprimir piezas de dimensiones muy pequeñas, es de vital importancia que estén hechas con la mejor resolución posible, en nuestro caso, nos hemos encontrado con varios problemas de impresión debido a la mala calibración de la impresora⁸.

En las siguientes imágenes se muestran los resultados de la impresión realizada por el FabLab de las piezas necesarias para imprimir los dos modelos de aerogenerador que hemos nombrado previamente:

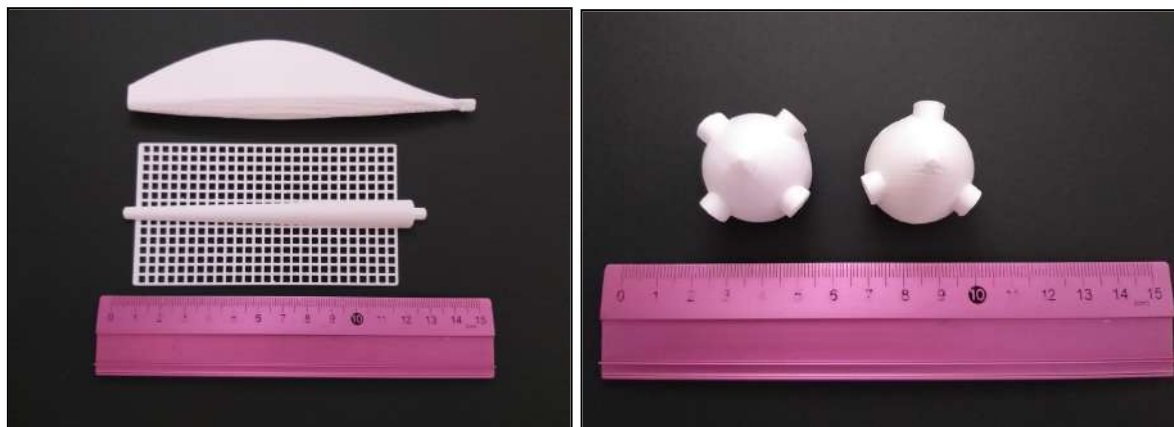


Figura 57: *Resultado de la impresión del aspa 1 y 2 más los bujes*

⁸ Consultar Anexo A1.2: Problemas de Impresión

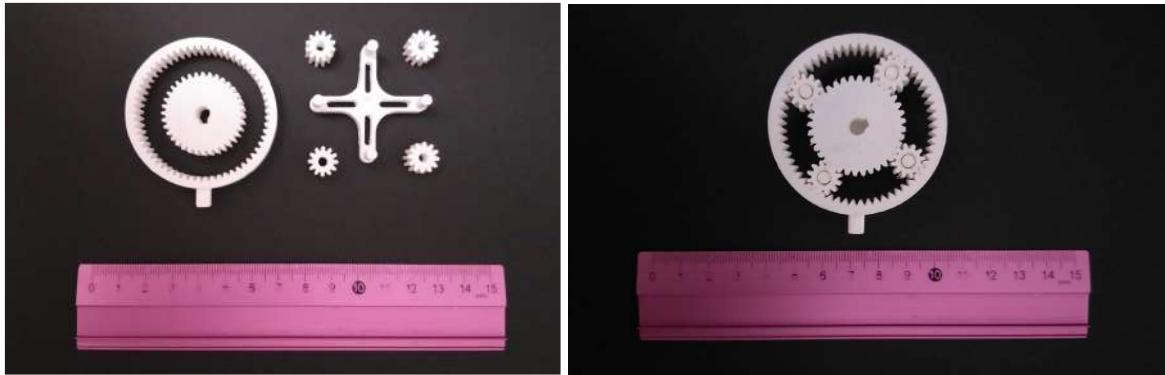


Figura 58: Resultado de la impresión de las piezas de la multiplicadora (montada y sin montar respectivamente)



Figura 59: Resultado de la impresión de la góndola de continua para el motor pequeño y la góndola de alterna.



Figura 60: Resultado de la impresión de la torre

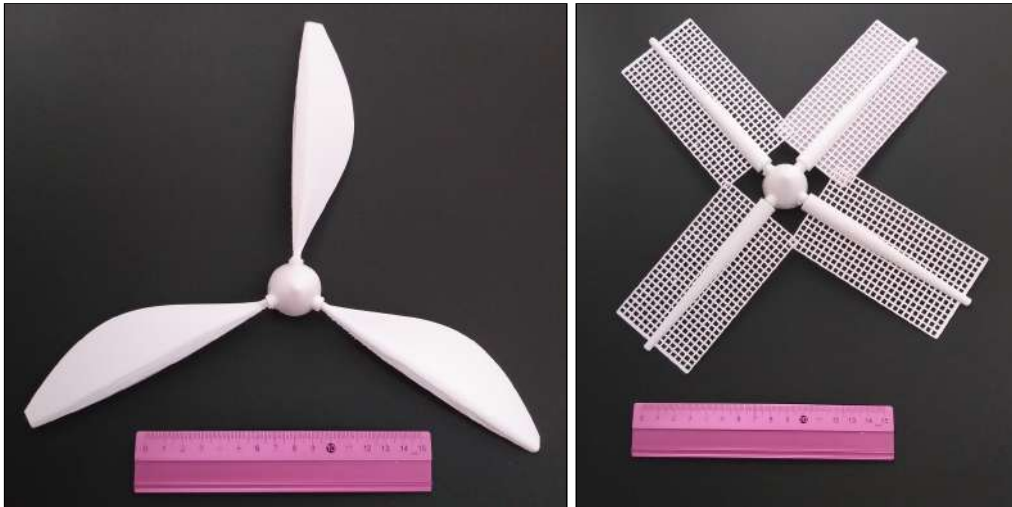


Figura 61: Montaje de los dos modelos de aspas-buje con los que vamos a medir

En las siguientes imágenes podemos apreciar claramente la diferencia de resolución entre prototipos y piezas finales.

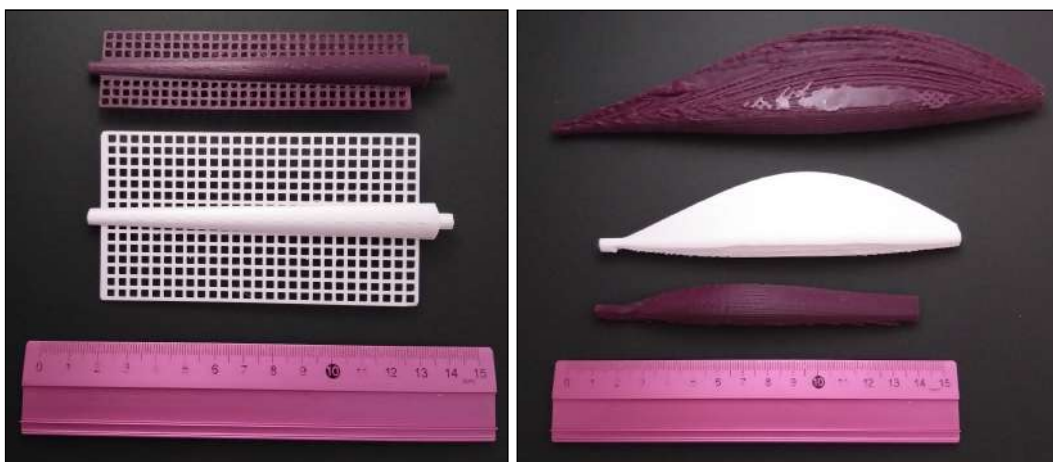


Figura 62: Comparativa de la calidad de la impresión de los prototipos de aspas con dos de las aspas definitivas



Figura 63: Comparativa bujes

4. Estudio Aerodinámico

En este apartado se pretende hacer una demostración del tipo de ensayos que se podrían llevar a cabo con nuestro kit. En nuestro caso, como lo realizaremos a modo de ejemplo, hemos escogido dos montajes haciendo uso únicamente de dos modelos diferentes de aspas a fin de ahorrar costes de impresión. De esta misma forma, se propondrá que los alumnos prueben y descubran por ellos mismos que aspa tiene mejor funcionamiento⁹.

El estudio aerodinámico es independiente del tipo de generador eléctrico que se introduzca dentro de la góndola, así como de la elección de dispositivos electrónicos (ver capítulo 5), por lo que se puede realizar con cualquiera de los montajes descritos o incluso sin generador eléctrico.

4.1. Diseño del experimento y toma de datos

Durante la realización de los distintos ensayos para asegurarnos que la velocidad e intensidad de viento permanecen constantes, hemos hecho uso de una fuente de viento fija, en nuestro caso un ventilador convencional. Dicho ventilador cuenta con tres niveles de potencia a los que hemos denominado: suave, media y alta. Para realizar distintos ensayos hemos probado a estas tres potencias manteniendo el ventilador a una distancia fija de aproximadamente 5 cm con respecto a nuestro aerogenerador

Además, para mantener fijo el par mecánico que deben afrontar nuestros modelos, los dos ensayos se han realizado en vacío, estableciendo la menor fuerza de fricción posible con el eje.

- ❖ Para el primer ensayo creamos un montaje que combina el buje 3 (120°) con tres aspas tipo 1 (modelo 1), aquellas que favorecen la aparición del Efecto Venturi. Estos son los resultados obtenidos:

Ensayo 1	
Velocidad del Viento	Velocidad Angular (r.p.m)
Suave	440
Media	470
Alta	480

Tabla 2: *Resultado del ensayo en vacío del montaje uno*

⁹ Mirar Anexo IV: Prácticas Opcionales.

- ❖ En la segunda prueba haremos uso del buje 4 (90°) con cuatro aspas tipo 2, aspa tipo molino (modelo 2). En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en este caso.

Ensayo 2	
Velocidad del Viento	Velocidad Angular (r.p.m)
Suave	600
Media	624
Alta	670

Tabla 3: *Resultado del ensayo en vacío del montaje dos*

4.2. Resultados

Analizando los resultados obtenidos se ha determinado que el montaje dos, usando la misma intensidad de viento, gira a mucha mayor velocidad tal y como vemos en la siguiente tabla comparativa.

Velocidad del Viento	Velocidad Angular (r.p.m.)	
	Modelo 1	Modelo 2
Suave	440	600
Media	470	624
Alta	480	670

Tabla 4: *Comparación resultados del ensayo en vacío*

En principio, y como ya hemos visto antes, la ley de Betz establece que el número de aspas realmente no es un factor significativo a la hora de medir la potencia que puede ser extraída del viento por nuestro aerogenerador, por lo que deducimos que el aspa tipo molino ha obtenido mayores velocidades a la misma potencia de ventilador que el aspa tipo 1 debido a que la primera tiene mayor superficie de contacto. Sin embargo, el hecho de gire a mayores velocidades no siempre es una ventaja, pues implica que gira con menos par y podría no tener la fuerza de giro necesaria para hacer girar nuestros generadores¹⁰, tal y como hemos demostrado con el generador de continua, a este experimento hacemos mención en el capítulo 6.

¹⁰ Explicado en el Anexo V: Transmisión de Potencia

En este apartado hemos hecho una pequeña demostración, con dos de los montajes posibles, de los experimentos que se pueden diseñar y realizar con nuestro KIT. De esta forma el cliente se puede hacer una mejor idea de las posibilidades que se le ofrecen, de la misma manera que hemos realizado nosotros estos ensayos, una vez que se dispongan del kit completo se puede pedir que alumno repita este tipo de experimentos, con todos los tipos de aspas descritas y variando el número y la transmisión de las mismas, para que extraiga por sí mismo las conclusiones generales y así comprenda de manera práctica el comportamiento aerodinámico del generador.

5. Diseño Eléctrico y Electrónico

Este capítulo busca dar un propósito al aerogenerador para que pueda ser enseñado en el ámbito educativo avanzado haciendo uso de los conceptos eléctricos y electrónicos dados en el grado. El docente puede hacer uso libremente del contenido y enseñarlo si lo ve necesario, así mismo también puede ser modificado si así lo ve conveniente.

Desde un punto de vista eléctrico encontraremos dos tipos de aerogeneradores: los de corriente continua (DC) y los de corriente alterna (AC). Hoy en día los aerogeneradores que más se usan en grandes instalaciones son los de corriente alterna, mientras que los de corriente continua se encuentran sobretodo en situaciones de baja potencia.

Puesto que ambos tipos de aerogeneradores presentan propiedades diferentes, hemos decidido diseñar dos aerogeneradores: uno AC y otro DC.

Los aerogeneradores presentan además una gran variedad de sistemas electrónicos, como por ejemplo, sistemas de regulación de tensión, sistemas electrónicos de monitorización, etc. Un ejemplo típico de ello es usar un generador de corriente continua junto con un sistema de inversión compuesto por inversores bipolares de puerta aislada (IGBT), un controlador y un transformador (ver Figura 64), de manera que se obtenga a la salida tensión adecuada para alimentar una red de consumo de alterna.

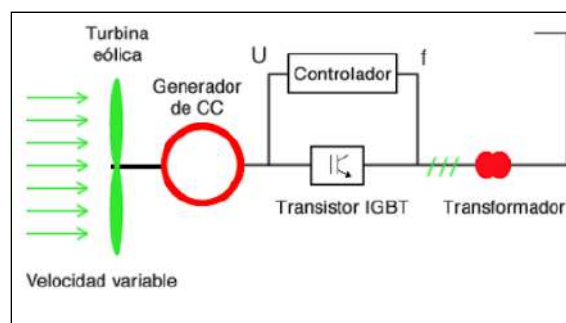


Figura 64: Aerogenerador con un generador DC

A fin de reproducir en el laboratorio estos aspectos de monitorización y control electrónica presente en los generadores, nuestro Kit docente incluirá también toda la información necesaria para la construcción de una serie de dispositivos electrónicos complementarios en cada aerogenerador.

En este apartado, describiremos los distintos aspectos eléctricos que se van a tener en cuenta a la hora de seleccionar los generadores. También se van a crear una serie de herramientas electrónicas que aumentarán la funcionalidad del aerogenerador desde el punto de vista didáctico.

5.1 Criterios de selección del generador eléctrico

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. En la mayoría de los casos, estas máquinas también pueden funcionar como motores, los cuales hacen justamente lo contrario, transformar la energía eléctrica en mecánica, es decir, son reversibles.

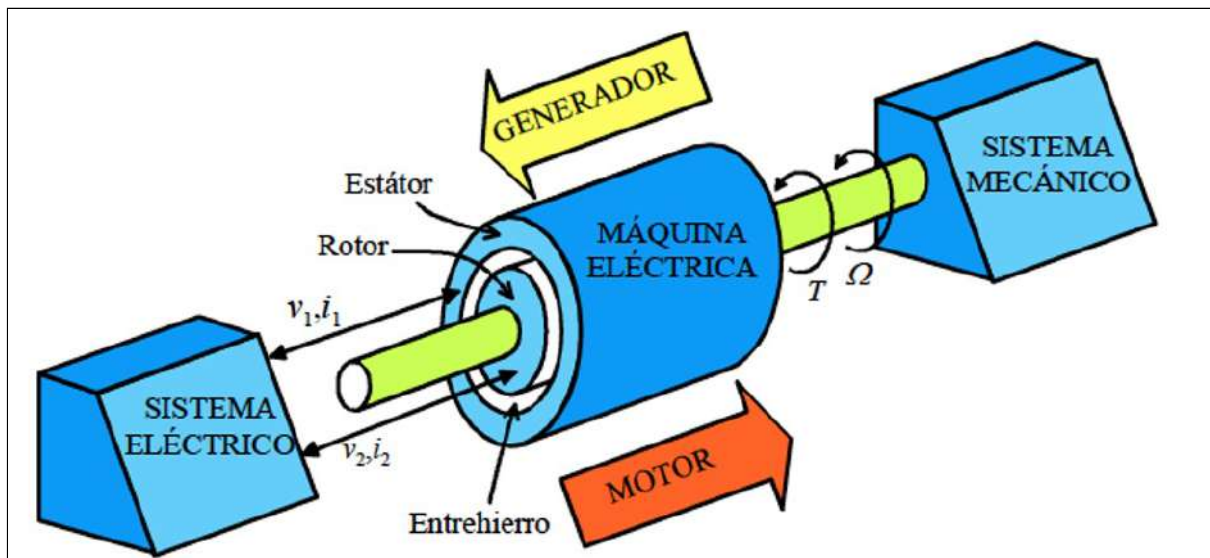


Figura 65: Máquinas eléctricas

Los generadores son capaces de generar energía eléctrica gracias a la interacción de su estructura, la cual está compuesta por un rotor (parte móvil) y por un estator (parte estática). Una de las dos partes se encarga de la creación del campo magnético inductor y la otra tiene por misión transformar la energía mecánica y magnética en energía eléctrica.

Como ya hemos mencionado, estas máquinas se clasifican según la energía eléctrica que producen en generadores de corriente continua y de corriente alterna. Dentro de este capítulo se explicarán ambos tipos, se buscarán generadores que cumplan los requisitos de partida y, atendiendo a sus ventajas se elegirán los más indicados para nuestro proyecto.

El objetivo no es tanto indicar el modelo concreto de generador a utilizar en la construcción del kit sino dar una orientación a la hora de considerar el generador. Estos tipos y, atendiendo a sus ventajas se elegirá el más indicado para nuestro proyecto.

A) Generadores de corriente continua

Los generadores de corriente continua, normalmente denominados dinamos, obtienen la corriente continua gracias a los colectores de delgas.

Por definición las máquinas de corriente continua tienen lo siguiente:

$$n \neq 0; f_1 = 0 \rightarrow f_2 = \pm \frac{n \cdot p}{60} \text{ y } f_1 \neq f_2$$

Donde n es la velocidad mecánica del rotor (rpm), P son los pares de polos (es decir, la cantidad de “imanes” en el estator), f_1 es la frecuencia de campo magnético inductor (en este caso es campo magnético constante), f_2 es la frecuencia alterna inducida en el rotor y f_1 es la frecuencia extraída del rotor hacia el circuito exterior (en este caso corriente continua). El hecho de que en este tipo de máquinas se cumpla $f_1 = 0$ implica que el campo magnético necesario se puede producir tanto con bobinas alimentadas por corriente continua como por imanes permanentes, por lo que en el mercado podemos encontrar dos tipos distintos de generadores DC: de imanes permanentes o con estator bobinado.

Los motores de corriente continua usados poseen escobillas con colectores de delgas para poder generar convertir la corriente alterna generada en corriente continua extraída (ver Figura 66).

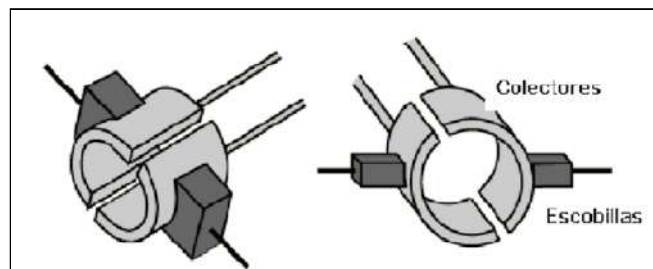


Figura 66: Colector de delgas + escobillas

Esto se logra debido a que las colectores de delgas más las escobillas hacen conmutaciones rectificar la tensión alterna inducida (ver Figura 67).

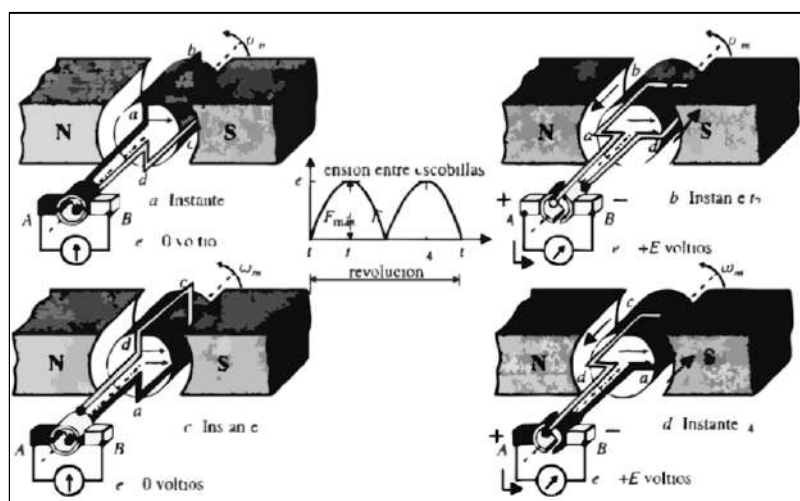


Figura 67: Conmutación de la señal

La calidad de la corriente continua obtenida, una vez rectificada, mejora si se aumentan el número de polos. Tal y como se ve en la figura 68, si combinamos la señal producida por dos campos magnéticos, aumenta la calidad de la corriente continua obtenida.

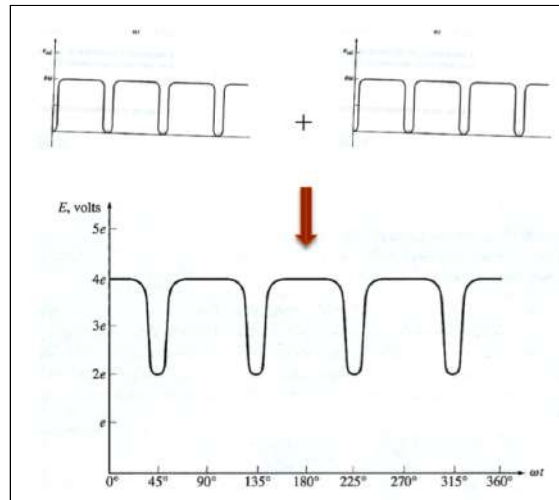


Figura 68: Mejora de la rectificación

En nuestro caso, al tratarse de un proyecto docente de baja potencia, el número de polos del generador no será un criterio decisivo de selección, ya que la “calidad” de la corriente continua generada no va a tener efecto visible en el funcionamiento del sistema.

Por otro lado, el valor de tensión generado en estas máquinas es proporcional a la velocidad de rotación y al campo magnético inductor. Ello tiene dos implicaciones importantes:

- Cuanto mayor sea la intensidad del campo magnético, menor velocidad de rotación necesitaremos para obtener una tensión determinada. Ello hace que las máquinas eléctricas de pequeña potencia con bajas velocidades nominales sean más caras y difíciles de encontrar.
- En los generadores de imanes permanentes el campo magnético permanecerá constante y sólo podremos controlar la tensión con la velocidad de rotación del generador, mientras que en los generadores bobinados el campo magnético (y por tanto la tensión obtenida a una velocidad determinada) puede ser controlado por la intensidad de excitación.

Nuestro proyecto usará generadores con imanes permanentes y escobillas debido a que son fáciles de encontrar en el mercado y por su pequeño tamaño. Aunque ello limita la versatilidad final, pues no se pueden incluir sistemas de regulación de tensión semejantes a los que se instalan en aerogeneradores de gran potencia, es difícil encontrar en el mercado máquinas DC de poca potencia y a precios reducidos, que produzcan el campo magnético mediante bobinas.

Aunque es más fácil encontrar motores que generadores, estas máquinas son reversibles, como ya hemos mencionado, por lo que los motores DC pueden funcionar como generadores sin problema y a la hora de seleccionar nuestra máquina eléctrica no será un requisito importante que esté caracterizada como motor o generador.

Por otro lado, una característica importante que tienen que tener los generadores, en principio, a la hora de seleccionarlos en nuestro proyecto es que tienen que generar un voltaje considerable a pocas rpm, dado que hay que acoplar la velocidad del eje del generador a la velocidad de rotación de las aspas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las máquinas de baja velocidad de rotación son mucho más caras, por lo que se pueden seleccionar generadores de cualquier velocidad de rotación sin más que incluir multiplicadoras adecuadas en el diseño (ver capítulo 3.4).

En este proyecto hemos seleccionado varios generadores atendiendo a estos requisitos, En el capítulo 5.2.3 se describen los generadores seleccionados para la construcción del prototipo de aerogenerador de corriente continua.

B) Generadores de corriente alterna

Con respecto a los aerogeneradores de corriente alterna nos encontramos con dos opciones: generadores síncronas y generadores asíncronas.

Por un lado, tenemos los aerogeneradores asíncronos usan generalmente máquinas compuestas por un estator bobinado trifásico, que produce un campo magnético rotatorio y un rotor de jaula de ardilla (ver Figura 69), donde se induce una corriente interna cuya frecuencia depende de la velocidad de rotación.

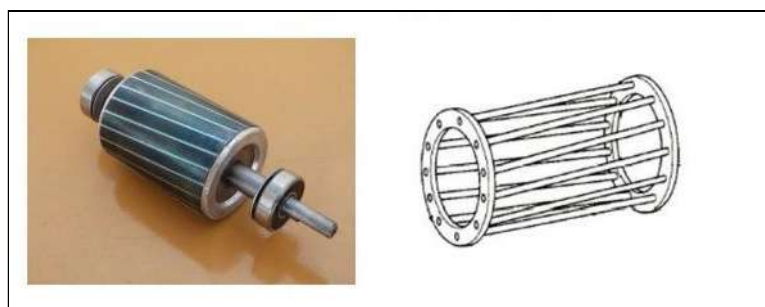


Figura 69: *Rotor de jaula de ardilla*

Su nombre se basa en que su rotor gira a una velocidad diferente a la del campo magnético del producido por la corriente trifásica del estator. La frecuencia de la tensión generada está determinada por la velocidad a la que gira el campo magnético y no por la velocidad de la máquina, por lo que no necesitan velocidad de rotación constante para mantener la frecuencia de la señal. Esto supone una gran ventaja en este tipo de generadores, donde la velocidad de rotación depende directamente del viento.

El principal inconveniente de esta máquina es que al funcionar como generador necesita corriente magnetizante (campo magnético giratorio en el estator). Es decir, sólo genera electricidad si está conectada a una red de corriente alterna, solo con el movimiento rotatorio no genera nada.

Las máquinas síncronas funcionando como generadores (que es lo que necesitamos) se suelen denominar alternadores. Se denominan síncronas porque su velocidad de rotación del eje y la frecuencia eléctrica de la corriente generada están sincronizadas, con lo cual necesitamos mantener una velocidad constante si queremos que la frecuencia generada no cambie.

Podemos resumir sus principales características en las siguientes expresiones:

$$n \neq 0; f_1 = 0 \rightarrow f_2 = \pm \frac{n \cdot p}{60} \text{ y } f_1 = f_2$$

donde podemos ver que la frecuencia generada (f_2) es directamente proporcional a la velocidad de rotación y que sólo modificando el número de polos magnéticos ($2p$) podemos conseguir que cambie la frecuencia sin modificar la velocidad de rotación.

En cuanto a las características del campo magnético en este tipo de máquinas, vemos que son las mismas que en las máquinas de corriente continua ($f_1=0$), lo cual indica que tendremos generadores con diferentes propiedades según su excitación, la cual puede ser mediante inyección de corriente continua en el bobinado inductor o por imanes permanentes (ver figura 70).

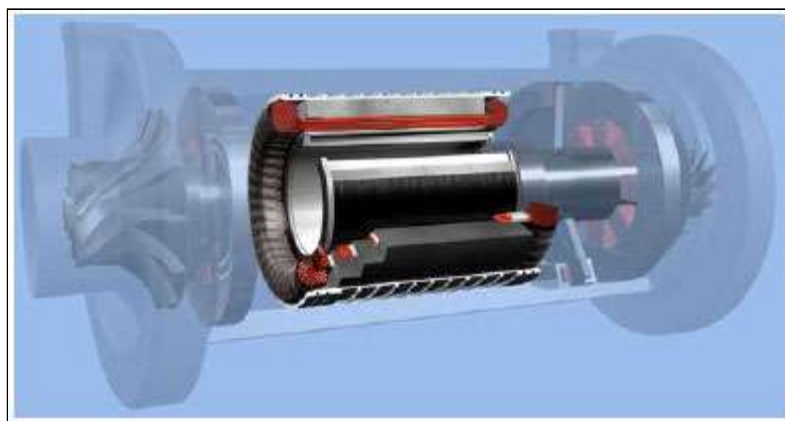


Figura 70: *Generador síncrono con imanes permanentes*

La ventaja de los generadores de imanes permanentes es que permite un volumen reducido, un flujo constante, elimina la necesidad de anillos, no tienen pérdidas en el rotor y desaparece la refrigeración del rotor. Por otro lado, las ventajas de la excitación independiente son que tiene más métodos de arranque (más versatilidad) pero tienen pérdidas en el rotor y un peor aislamiento (al tener anillos deslizantes + escobillas).

Aunque los generadores síncronos de imanes permanentes presentan la ventaja de su autonomía (no necesitan ninguna fuente externa de corriente para generar campo magnético), no suelen ser usados en el ámbito industrial de la aerogeneración, pues presentan inconvenientes, como que a grandes potencias tienden a desmagnetizarse, el elevado coste de los imanes o la imposibilidad de regular la tensión generada mediante variaciones del campo magnético (es decir, mediante la corriente de excitación).

Los criterios al elegir el generador de corriente alterna son parecidos a los generadores de corriente continua, es decir, tienen que generar voltaje a pocas revoluciones por minuto. Su estructura tendría que ser de dimensiones pequeñas para un mejor manejo y ha de funcionar de forma totalmente autónoma. Con estos requisitos, los generadores asíncronos quedan totalmente descartados. Es por esto que nuestro proyecto usa generadores síncronos con imanes permanentes, a pesar de que en ellos no podremos regular la tensión y la frecuencia será directamente proporcional a la velocidad de rotación, parámetro que no controlamos. En el capítulo 5.3.4 se pueden ver ejemplos concretos de generadores de corriente alterna que cumplen estos requisitos.

5.2 Aerogenerador de Corriente Continua

En este apartado se ha diseñado, construido y validado un prototipo de aerogenerador eólico de corriente continua, con todos sus componentes eléctricos y electrónicos.

5.2.1 Propuestas de diseño

El diseño y la elección de los componentes se basan en la finalidad docente del proyecto, ya que nuestro objetivo es proporcionar al usuario las herramientas necesarias para trabajar con los conceptos eléctricos del aerogenerador. Por ello, el primer paso a desarrollar es el diseño docente en sí mismo.

El diseño de este apartado tiene un problema intrínseco: la sencillez, pues la corriente continua no da mucho “juego” en el ámbito docente. Es por ello que la mayoría de los KITS docentes disponibles a bajo precio sólo son válidos para docencia de nivel básico, pues se limitan a encender un simple led¹¹. Puesto que nuestro usuario será un estudiante con conocimientos de electricidad y electrónica, es necesario un diseño docente más elaborado.

- **Prototipo 1**

Siguiendo la idea de los KITS ya existentes y con el objetivo de aumentar su nivel de complejidad, se diseñó un sistema para la iluminación de varios leds basado en Arduino (ver Anexo II: Códigos Arduino). Este prototipo era visualmente más atractivo que las propuestas habituales, pero debido a su sencillez y la complejidad del cableado se descartó está

¹¹ Ver referencia 18.

opción. Aunque la idea podría servir para algo más complejo. En la figura 71 se puede ver una simulación en el programa Multisim del circuito diseñado.

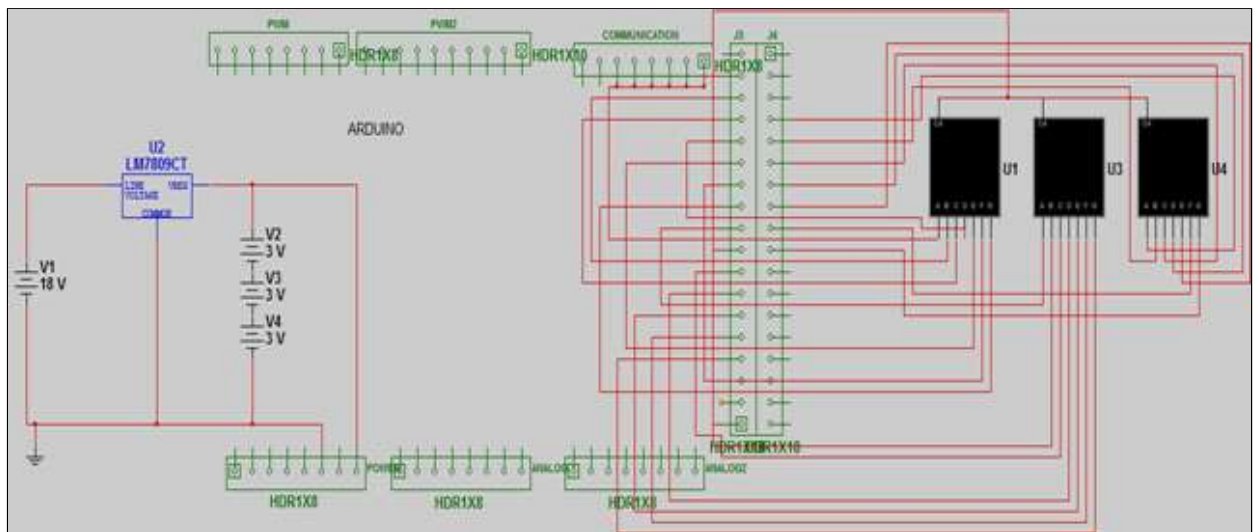


Figura 71: Montaje con leds DC con fuente ejemplo de 18 V y simulación Arduino

- **Prototipo 2**

Con el fin de aumentar el contenido teórico del diseño, manteniendo la “iluminación” en mente se pensó en la formación de palabras en una pantalla de LCD (mostrada en la figura 72).

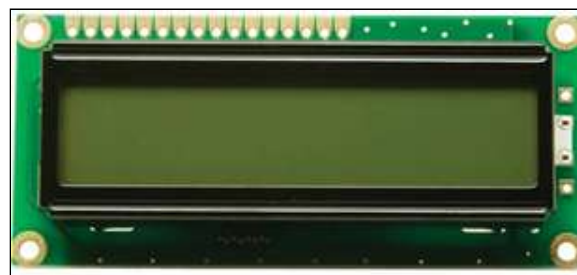


Figura 72: Pantalla LCD

Para poder controlar la salida de palabras en la pantalla de LCD se usó un Arduino y varias resistencias. Quedando el circuito físico tal como se indica en la figura 73.

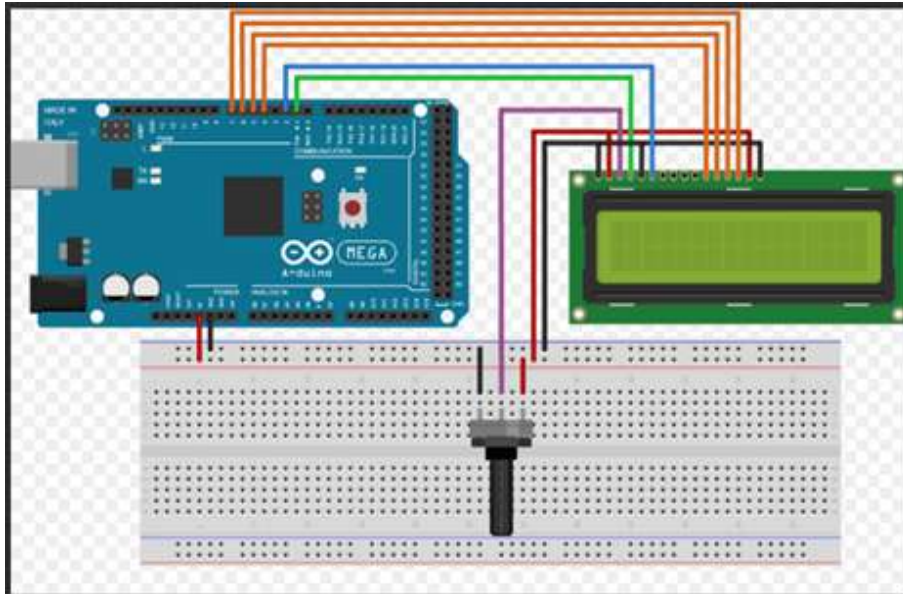


Figura 73: Esquema físico circuito LCD con Arduino

El primer reto que se encontró no fue la realización del circuito en sí, sino la programación necesaria para que el Arduino para que formule las palabras elegidas. En principio iban a ser palabras estáticas, pero finalmente se programó para poner en “movimiento” las palabras (Ver Anexo II: Códigos Arduino).

- **Prototipo 3**

Una vez que se realizó el montaje del prototipo anterior y se procedió a las pruebas físicas nos encontramos con otro problema: la alimentación del Arduino puede ser de 5V a 12V. En este primer diseño, tanto el circuito como el Arduino están alimentados por el generador. Ello produce dos problemas diferentes.

1. En primer lugar, el aerogenerador puede dar valores de continua mayores a ese voltaje, dependiendo de la fuerza del viento que se aplique a las palas. La sobretensión producida podría dañar el Arduino. Por ello se decidió colocar un regulador de tensión de 9V. Se eligió dicho voltaje pues el regulador siempre resta voltaje por lo que en caso de haber elegido, por ejemplo, un regulador de 5V a la entrada del Arduino hubiera llegado menos voltaje del necesario y no hubiese funcionado.
2. El segundo problema radica en la variabilidad del viento, lo cual hace que el sistema electrónico deje de funcionar en ausencia de viento. Dado que queremos que el circuito funcione e “imite” a los grandes aerogeneradores, se decidió colocar baterías recargables después del regulador de tensión (9V) para que, en caso de que no haya viento, empiece a funcionar la “energía” de emergencia. Es importante su colocación después para que la fluctuación del viento en el voltaje no las afectase.

En principio se pensó en usar un sistema para cargar las baterías y apagarlas en cuanto estén totalmente cargadas. Con este fin, se diseñó un circuito de control mediante Arduino para controlar el estado de las baterías, pero esta posible solución presentaba dos problemas:

- Incluía amplificadores operaciones los cuales tendrías que estar alimentados externamente por valor de +VCC y -VCC constantes tanto en su valor como en el tiempo, una tarea que nuestro aerogenerador no podría garantizar. El modo de implementación de este sistema, por tanto, usaría alimentación externa lo cual escapa de nuestra filosofía de aerogenerador “aislado”.
- El uso simultáneo del control de las baterías y mostrar palabras en movimiento en el Arduino. Esta acción simultánea en principio no la puede hacer el Arduino y para solucionarlo habría que usar otro dispositivo más para poder hacer las dos tareas. Esto requeriría más potencia para poder mover ambos Arduino.

Por todo ello se ha descartado el control de batería dejándolas en todo momento cargándose y en cuanto no haya energía entrarán en acción. El diseño definitivo del sistema es la generación de palabras en la pantalla LCD alimentadas en todo momento con baterías recargables y con su regulador de tensión correspondiente.

- **Prototipo 4**

Por último, dado que cualquier práctica de energía eólica requiere la realización de medidas eléctricas, se ha planteado la idea de desarrollar un multímetro con el Arduino para que mida el voltaje y la corriente obtenida en todo momento. Este componente es de gran utilidad práctica, pues nos muestra también como salida la potencia generada y nos permite con ello realizar estudios de rendimiento.

En este diseño hemos usado un divisor de tensión (ver figura 74), que se encargará de ajustar el voltaje que le llegue al Arduino, evitando que le llegue un voltaje muy grande (ya que podría dañar al aparato). Las resistencias R_1 y R_2 se encargan del ajuste de escala, V_{in} es el voltaje de entrada que se recibe del motor de continua y V_{out} es el voltaje con la escala necesaria que leerá el Arduino¹² en sus pines analógicos.

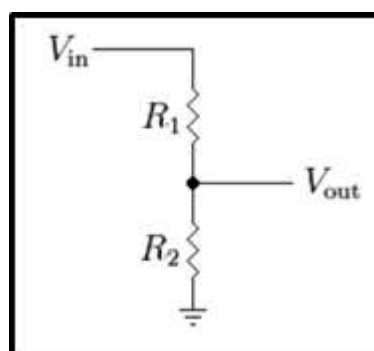


Figura 74: Esquema divisor de tensión para multímetro

¹² Código en el Anexo II.

En el Anexo II: códigos de Arduino se puede ver la programación necesaria para desarrollar este diseño así como los valores de las resistencias necesarias.

5.2.2 Implementación y pruebas físicas

Una vez diseñados los distintos sistemas electrónicos del KIT de continua, se procedió a su montaje y validación, tal y como se describe en esta sección.

- **Prototipo 1**

Las primeras pruebas que se realizaron fueron con el circuito de LEDs (ver figura 75) . Se utilizó para ello los leds de 7 segmentos con el Arduino, tal y como se puede ver en la siguiente figura.

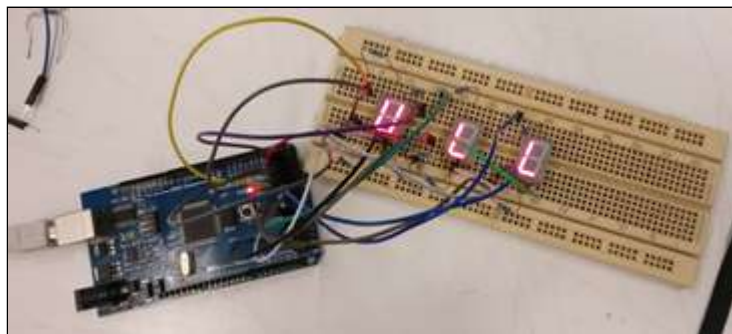


Figura 75: *Uso de leds para crear palabras*

Como se ha mencionado en la sección anterior se puede comprobar que este circuito no es nada eficiente pues para encender unos simples leds hace uso de muchos cables.

- **Prototipo 2**

En el segundo montaje se usó una pantalla LCD para la formación de palabras como se puede ver a continuación.

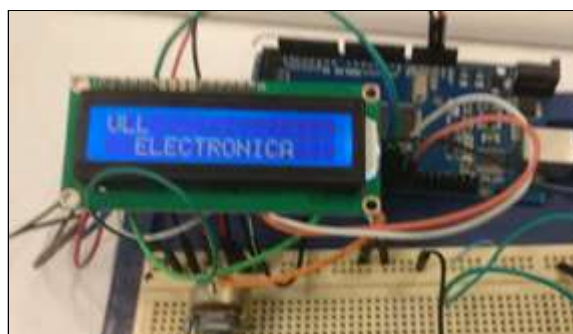


Figura 76: *Uso de pantalla LCD para formas palabras*

Con la programación propuesta en los anexos, la formación de las palabras no es estática, es decir, las palabras están en movimiento conforme el tiempo pasa. Este circuito contiene muchos menos cables pues todos se conectan directamente a la pantalla y sólo necesita un potenciómetro para regular la intensidad de la pantalla.

- **Prototipo 4**

Por último se construyó el multímetro¹³ a partir de Arduino tal y como se describe en la sección anterior y se comprobó que funcionaba perfectamente.

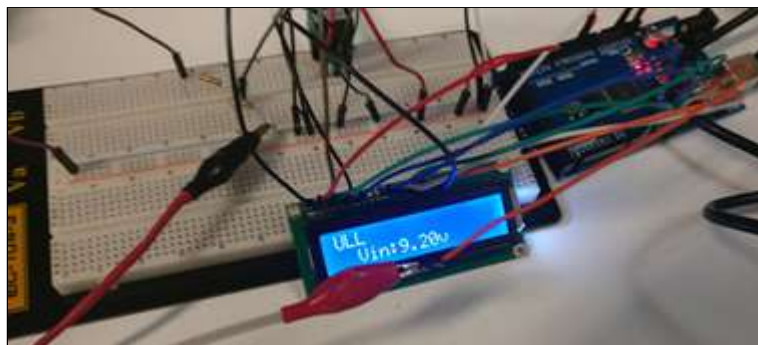


Figura 77: *Multímetro simulación de una pila de 9V*

En la figura 77 se puede ver el resultado obtenido al medir el voltaje de un generador de corriente continua que simula una pila de 9V aproximadamente. Dado que en el laboratorio no se disponía de pilas de ese voltaje se simuló su comportamiento con un generador de corriente continua. Los resultados fueron muy satisfactorios pues todo funcionó correctamente aunque no se tuviesen las pilas.

5.2.3 Elección del generador de DC

Este apartado consiste en la elección del generador de corriente continua que mejor se adapte a nuestro proyecto. El generador que se elija no tiene que ser el definitivo, es decir, si el usuario considera oportuno otro generador también puede usarlo.

A lo largo del proyecto se analizaron varios generadores DC de imanes permanentes seleccionando finalmente dos de ellos para la calibración final. En concreto, se eligieron dos generadores con velocidades de rotación semejantes, a fin de que pudieran utilizarse en el mismo diseño estructural (es decir, en el prototipo de góndola con multiplicador).

- Motor DC¹⁴: tiene una tensión de 24V a unos 2840 rpm. Se eligió este motor pues era el que menor velocidad nominal poseía entre todos los disponibles de bajo coste. Puesto que este tipo de máquinas son reversibles se validó su funcionamiento como generador, ya que es el modo de funcionamiento buscado. En adelante nos referiremos a este generador como “motor” aunque su uso sea siempre como “generador”.

¹³ Ver código en el Anexo II.

¹⁴ Características en el Anexo III



Figura 78: *Motor DC*

- Generador DC: la segunda máquina utilizada es muy parecida al primer motor (máquina de imanes permanentes) salvo que se ofrece como generador. Al tratarse de un dispositivo de bajo coste, no disponíamos de hoja de especificaciones, lo que nos obligó a calibrarlo en el laboratorio.



Figura 79: *Generador DC*

Puesto que para calibrar el funcionamiento del motor y el generador necesitábamos controlar la velocidad de rotación, no se aplicó directamente viento en el aerogenerador, en su lugar se hicieron pruebas forzando la rotación directamente sobre el eje del motor.



Figura 80: *Prueba motor DC*

La calibración del primer motor se realizó haciendo girar el rotor con un taladro, para poder controlar la velocidad. Tal y como se puede ver en la figura 80, la tensión generada en vacío se medía con un multímetro y al mismo tiempo se medía la velocidad en r.p.m. utilizando un tacómetro digital.

Con el generador en cambio se usó una fuente de tensión de corriente continua para poder girar el eje del motor y así medir la velocidad que genera a partir del voltaje que recibe. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Motor		Generador	
V	RPM	V	RPM
2,82	420	2	260,1
3,89	570	2,8	415
3,85	570	4	646,4
4,88	700	6	1011
5,55	800	8	1391
7,99	1170	10	1764
9,55	1450	12	2125
10,3	1560		
11	1630		

Tabla 5: *comparación de velocidad - voltaje generado*

Si representamos gráficamente estos resultados (ver Figura 81), comprobamos que la relación velocidad - voltaje es lineal como cabía esperar para ambos motores.

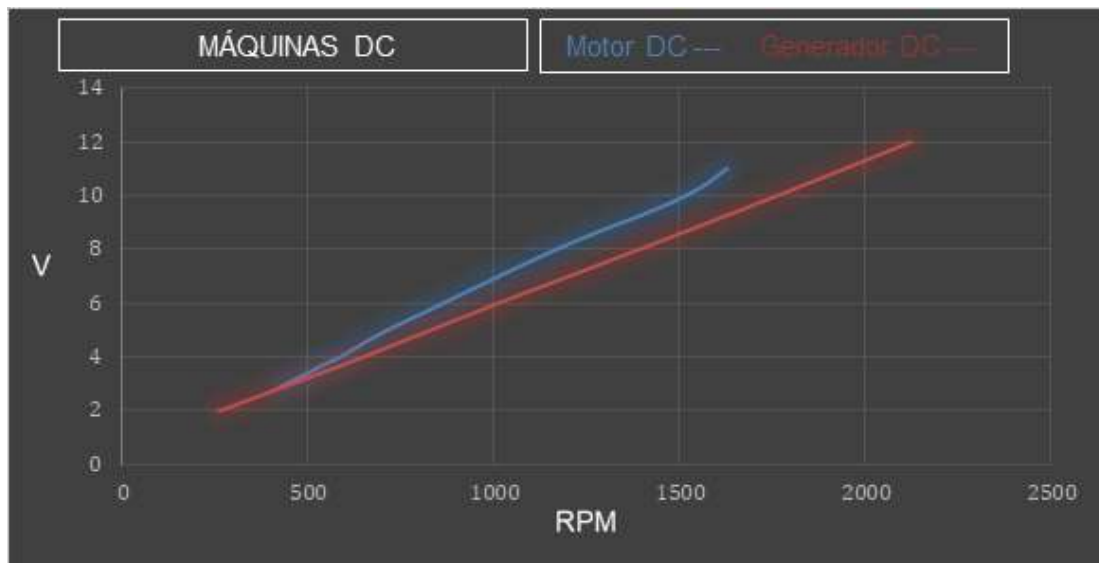


Figura 81: Gráfica comparativa máquinas DC

Con estos resultados, se observa que el motor genera más voltaje a la misma velocidad que el generador por lo que es un buen candidato para ser el generador elegido. Sin embargo, dado que las diferencias entre ambos son pequeñas, ambos son válidos para nuestros propósitos y puede haber otros criterios que sean determinantes, como el par resistivo, el rendimiento o la caída de tensión en carga.

Para la realización final del prototipo descrito en el capítulo 5.2.2 se utilizó el motor aunque ambos son aptos para la realización de los ensayos (ver capítulo 6.1).

5.2.3 Circuito equivalente del generador DC

Al tratarse de generadores de bajo coste, que no contienen hojas de especificaciones, teníamos poca información previa sobre el funcionamiento de los dos generadores. Por ello se decidió obtener el circuito equivalente de los generadores de corriente continua, a fin de conocer en más profundidad las propiedades eléctricas de ambos. La realización de dicho modelo puede ser un criterio determinante al elegir el generador, pero también tiene utilidad como prácticas si el docente lo considera oportuno.

El circuito equivalente de un generador de DC de imanes permanentes es bastante simple, basta con tener la resistencia en ohm del rotor (R_i) y la relación entre la velocidad angular (ω) y el voltaje generado a esa velocidad.

La fuerza electromotriz viene dada por la siguiente ecuación:

$$E_o = K_\epsilon \cdot \omega_m \cdot \Phi$$

Donde E_o es la fuerza electromotriz inducida, ω_m la velocidad de rotación, K y Φ son valores constantes, quedando la ecuación como:

$$E_o = cte \cdot \omega m$$

Cuando se realiza el experimento de vacío, tal y como hemos hecho en el apartado anterior, la tensión que medimos viene dada por

$$V = E_o - 2 \cdot V_e = cte \cdot \omega m - 2 \cdot V_e$$

siendo V_e la caída de tensión en las escobillas. Ajustando a una recta los valores de las gráficas anteriores (ver Figura 81) y midiendo directamente la resistencia de las bobinas, ya tendríamos todo lo necesario para realizar el circuito equivalente:

- La pendiente de la recta nos da la constante.
- La ordenada en el origen nos indica el voltaje perdido por las escobillas, pues a una velocidad cero el voltaje resultante es el de las escobillas.
- El valor de la resistencia se halla con un multímetro en los bornes del generador.

Los resultados obtenidos para ambos generadores son los siguientes:

- 1) Motor de DC → La ecuación de la recta es: $y = 0,0054 x + 0,5718$, por lo tanto su constante es de 0,0054 y su voltaje de escobillas es de 0,5718 V. Sus componentes son: $R = 14,8 \Omega$, $cte = 0,0054$ y $V_{escobillas} = 0,5718$ V. El circuito equivalente es el siguiente:

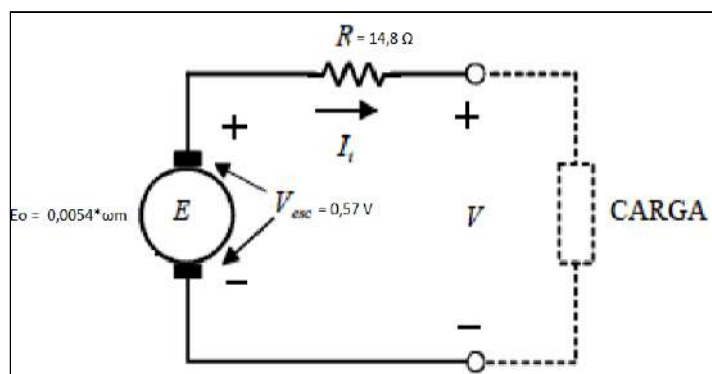


Figura 82: Circuito equivalente motor DC funcionando como generador

- 2) Generador de DC → Su ecuación de la recta es: $y = 0,0066x + 0,1669$. Con esta ecuación tenemos que la constante es de 0,0066 y el voltaje de las escobillas es de 0,1669 V. Por lo tanto los componentes del circuito equivalente son: $R = 78,5 \Omega$, $cte = 0,0066$ y $V_{escobillas} = 0,1669$ V. El circuito equivalente es el siguiente:

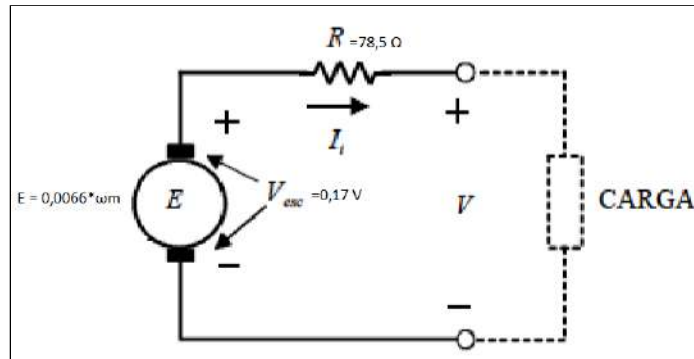


Figura 83: Circuito equivalente generador DC

Los resultados nos muestran que el motor de DC funcionando como generador tienen menor resistencia en el rotor que el generador de DC aunque tiene mayor pérdidas en las escobillas, aunque la constante de ambos es muy parecida. Al usar rangos de voltaje relativamente pequeños estas pérdidas en las escobillas son importantes por lo que en aunque el motor de DC es el elegido para los resultados finales el generador también es un muy buen candidato.

5.3 Aerogenerador de Corriente Alterna

En este capítulo se ha diseñado, construido y validado un prototipo de generador eólico de corriente alterna, con todos sus componentes eléctricos y electrónicos.

5.3.1 Propuesta de diseño

La primera idea fue desarrollar un circuito que simulara los procesos de generación, almacenamiento y uso de la energía producida presentes en un aerogenerador real. Tal y como se comentó en el apartado 5.1, para la generación se usará un alternador con imanes permanentes pues es de menor tamaño (en comparación con los de alterna), el flujo es prácticamente constante y casi no hay pérdidas en el rotor. Esta elección lleva consigo algunas dificultades, en las cuales hemos centrado el diseño electrónico del aerogenerador.

- Para el almacenamiento hemos de convertir la corriente alterna en continua. Tal y como se verá a lo largo de esta sección, este apartado no presenta grandes dificultades conceptuales.
- Para su uso hemos de producir corriente de 50 Hz, ya que esa es la frecuencia de funcionamiento de la red. El problema es que no se puede controlar la frecuencia pues la frecuencia generada es directamente proporcional a la velocidad de rotación y en un aerogenerador mantener constante dicha velocidad, independientemente de las fluctuaciones del viento, es un problema complejo, por lo que se plantearon distintas opciones.

La primera propuesta para controlar la frecuencia fue usar un PID analógico. El PID se conectaría a la salida del alternador y a la entrada de la multiplicadora (si fuese necesario), comparará los valores de frecuencia obtenidos frente a los 50 Hz. En caso de

estar por debajo de ese valor, permitirá a la multiplicadora seguir aumentando la velocidad de giro, por otro lado, si está por encima del valor efectuará un “freno” progresivo, y así sucesivamente. El problema es que un PID analógico consta de diversos amplificadores operacionales los cuales deberán estar alimentados por una fuente externa (+VCC y -VCC) por lo cual el circuito no funcionaría exclusivamente del generador. Como posible solución podríamos colocar una pila recargable de valor X inicialmente cargada para alimentar al circuito. Cuando el alternador comience su funcionamiento, éste alimentará tanto las pilas como el circuito. Pero para la parte de la pila hay que transformar previamente la corriente alterna en continua pues la pila recargable es DC, además, también sería complicado desarrollar el “freno”. Es por todo esto que esta idea se ha descartado.

Como segunda propuesta se analizó la posibilidad de cambiar la orientación de las palas para que se opongan al viento y así frenar disminuyendo la frecuencia o para que se orienten a favor de este y así aumentar la velocidad y por tanto la frecuencia. Esta opción es la más complicada pues hay que mover las aspas en la posición que haga que se frenen progresivamente o que favorezcan la velocidad.

Dado que las dos opciones anteriores presentan una gran dificultad mecánica se decidió hacer un regulador de frecuencia para mantener aproximadamente a 50 Hz la tensión obtenida. Finalmente se pensó en un convertor de corriente alterna a corriente continua, para así tener una frecuencia fija (0 Hz pues se transforma a continua) seguido de un inversor de corriente continua a alterna para así asegurarnos tener a la salida los 50 Hz. En definitiva, se convierte la corriente alterna con frecuencia variable a corriente continua para así transformarla en corriente alterna de nuevo pero con 50 Hz fijos.

Para el diseño de la primera parte (convertor de AC a DC) se ha utilizado un rectificador de onda completa¹⁵ para así convertir la señal de entrada inestable en una señal de continua sin frecuencia. Se ha desarrollado un rectificador RC de onda completa pues podemos ajustar los valores de R o C para conseguir menos señal alterna y asemejarse mucho a una señal continua pero no hay que olvidar que siempre tendremos rizado. Este diseño no sólo se incorporará en todos los circuitos inversores, sino que también permitirá almacenar la energía generada en pilas recargables si así lo desea el usuario.

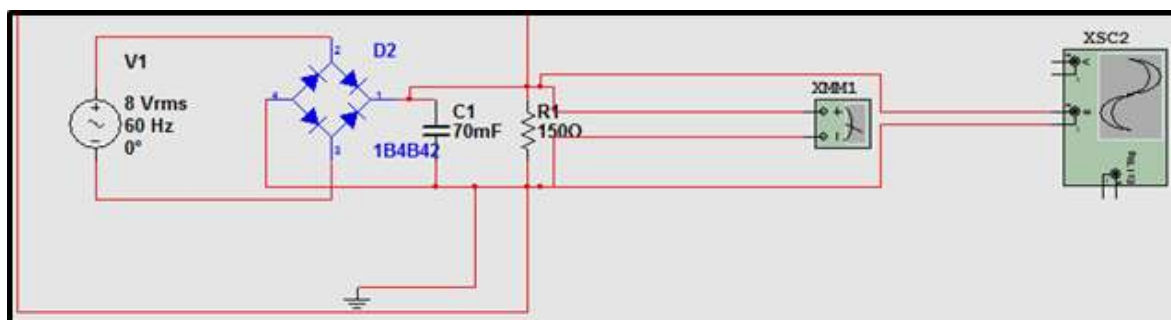


Figura 84: Circuito rectificador¹⁶

¹⁵ Los detalles del circuito se encuentran en el Anexo II: A 2.1.

¹⁶Valores finales de condensador de 470 uF y resistencia de 10 kΩ.

La segunda parte (conversión DC a AC de 50 Hz) presenta un mayor reto y una mayor complejidad pues hay que decidir qué inversor se ajusta a nuestras especificaciones. En total se han estudiado tres inversores que se detallarán a continuación.

□ Primer circuito

Este inversor (ver Figura 85) incorpora un transformador TAP con tres entradas y dos salidas. Este se encarga de “amplificar” e invertir la señal alterna (de ahí el uso de un transformador TAP). Para poder generar las oscilaciones y que el transformador pueda funcionar pues, recordando, este solo funciona con corriente alterna, se hace uso de dos transistores NPN los cuales actuarán como switch permitiendo la entrada de corriente o no. Pero para que estas funciones previamente se tienen que generar una oscilación inicial, de la cual se encarga el condensador de 10 μ F.

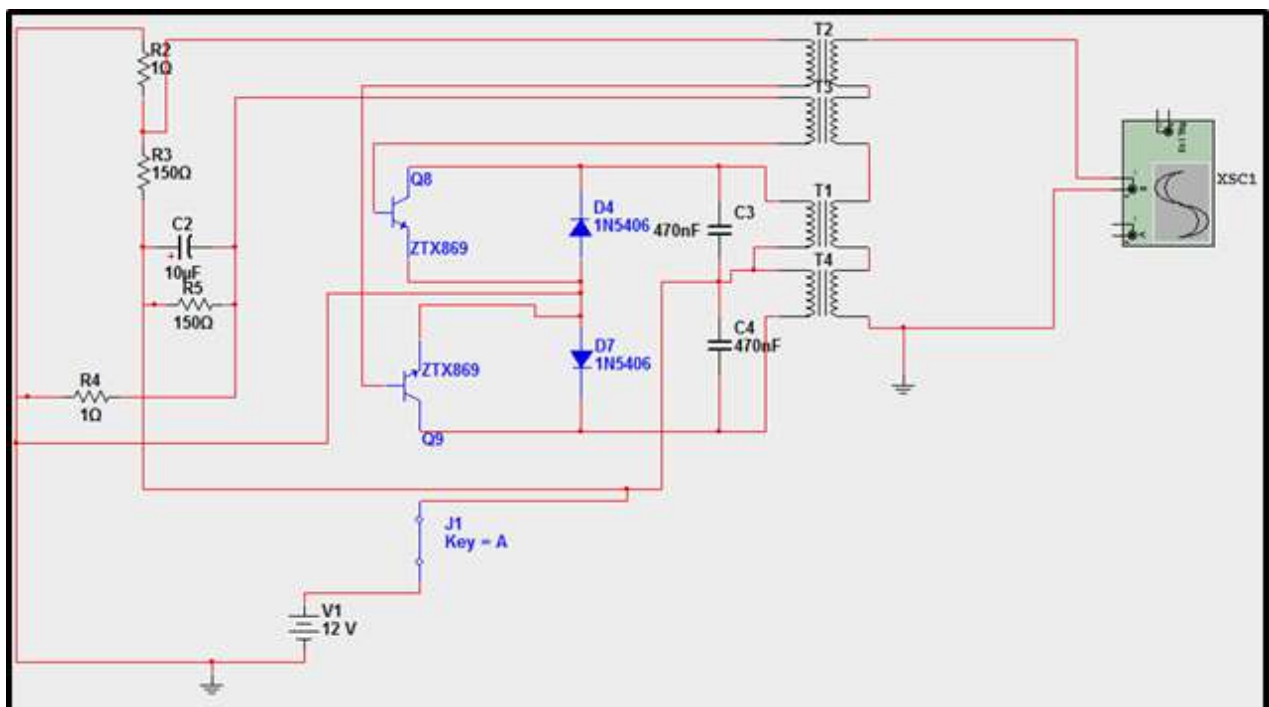


Figura 85: *Primer Circuito inversor*

Con el fin de comprobar su funcionamiento se colocó primero una fuente de voltaje de 12V para simular la salida del rectificador y se comprobó el resultado.

El resultado fue prácticamente cero pues no ocurría una oscilación inicial, por ello se procedió a eliminar la fuente que proporcionaba una señal continua perfecta y conectar el rectificador en la zona de la fuente, añadiendo un interruptor para simular el inicio del viento. Con esta modificación se logró una señal periódica senoidal casi perfecta, pero con un periodo de tiempo entorno a los milisegundos. Además, para que pueda oscilar y generar la onda se tiene que hacer previamente un switch (en la simulación se usó un interruptor).

Podemos ver en la siguiente imagen la simulación obtenida mediante este circuito inversor

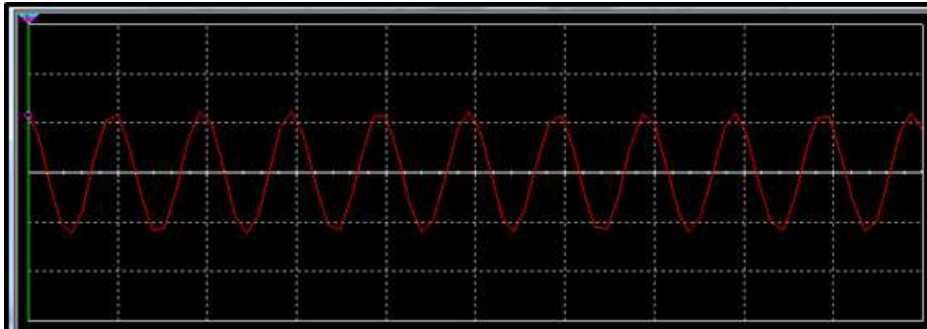


Figura 86: Señal de salida del circuito

Como podemos observar, la señal obtenida es prácticamente sinusoidal pero la frecuencia es muy alta (KHz). En la imagen se observa también que el voltaje es muy alto pero esto es debido a los transformadores que elevan el voltaje de la salida y se puede modificar simplemente seleccionando un transformador con menor relación de transformación.

Después de varias pruebas y comprobaciones, el circuito resultó ser muy exigente con la entrada que recibía, pues solo funcionaba dentro de unos márgenes muy limitados de frecuencia y de voltaje de entrada. Por ejemplo en el caso del voltaje de entrada, el valor mínimo de voltaje eran de 12 voltios pico el cual si disminuía no generaba nada. Lo mismo ocurría con la frecuencia aunque en este caso no se podía regular la frecuencia a 50 Hz, por tanto, se descartó el circuito.

Es importante señalar que este diseño es un circuito tanque (oscilador LC), pues tiene una bobina (el primario del transformador) en paralelo con un condensador. Este fenómeno consiste básicamente en una oscilación prolongada en el tiempo y “automática”, es decir, el condensador genera una onda durante su carga la cual continua cuando comienza a descargarse con menos intensidad debido al efecto de la bobina. Así continuamente hasta llegar a cero, como podemos ver en la siguiente imagen. Este proceso ocurre cuando se deja de suministrar tensión al condensador y a la bobina.

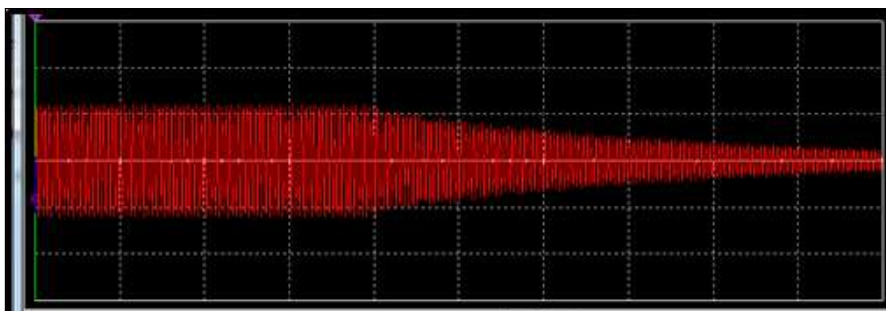


Figura 87: Oscilaciones al conmutar

Vemos que inicialmente el condensador y la bobina está cargando (y descargando) de forma permanente pues la pila está suministrando constantemente energía. En cuanto cesa el suministro de energía (off) el circuito sigue oscilando por un periodo de tiempo limitado hasta que finalmente llega a cero.

❑ Segundo Circuito

Este circuito tiene como novedad un circuito integrado 555 el cual se encarga de generar los pulsos, en este caso cuadrados. El circuito, al igual que el anterior, tiene dos transistores que funcionan a modo de interruptores (activados por los pulsos del circuito integrado 555) que encargan de conmutar las ondas positivas y negativas. Es decir, el 555 generará las ondas cuadradas (positivas) y los transistores se encargarán de mantener una señal en positivo y otra en negativo, generando así una señal alterna cuadrada. Por último, el condensador “suavizaría” esa señal para que no sea tan cuadrada y el transformador amplificaría la señal de salida al valor de voltaje deseado.

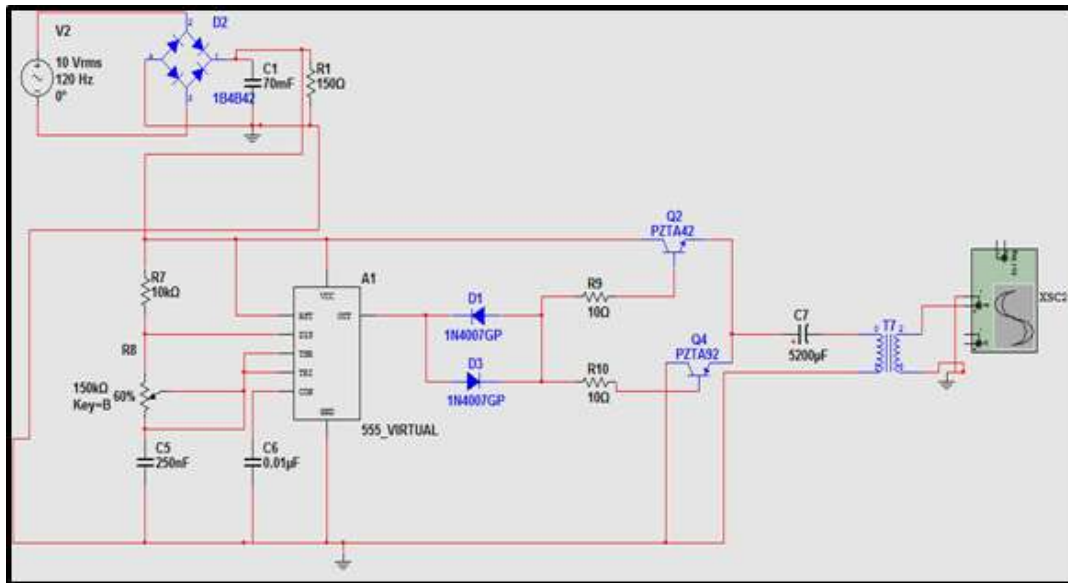


Figura 88: Segundo circuito inversor (incluye el rectificador)

Como resultado al ejecutar la simulación tendríamos la siguiente imagen:

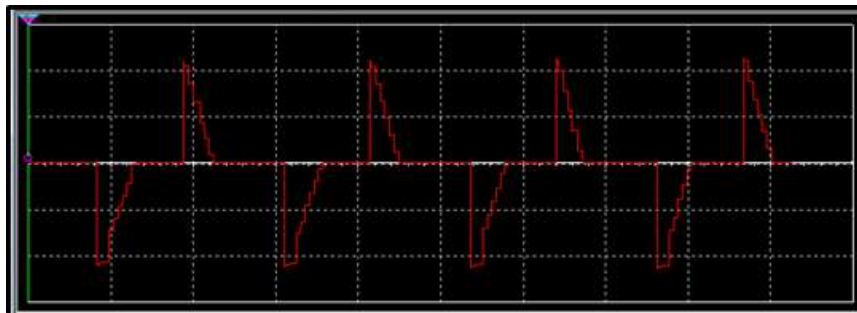


Figura 89: Señal de salida del circuito con el integrado 555

Vemos que la señal es mucho peor que con el primer circuito. Esto es debido al potenciómetro y a los valores de condensadores unidos al 555. El potenciómetro y el condensador se encargan de subir o bajar los niveles de tensión además de ajustar la señal a cuadrada. El problema es la dificultad de calibrar este circuito para mejorar la señal, es decir, encontrar un valor adecuado para ambos componentes, pues si ajustamos el potenciómetro también tendríamos que ajustar los condensadores (R y C), de modo que si ajustamos el potenciómetro también tendríamos que ajustar los condensadores y viceversa. La ventaja de este circuito es que la frecuencia de salida siempre se mantenía a 50 Hz a costa de una señal de muy mala calidad. Es por esto por lo que este circuito se descartó pues, aunque se consiguió un buen ajuste de frecuencia, la señal no era de buena calidad.

□ Tercer circuito

Este circuito (ver Figura 90) tiene como novedad la incorporación de un Arduino¹⁷ se encargará de generar los pulsos cuadrados de tensión. Puesto que el programa de simulación no permite simular un Arduino se optó simular su funcionamiento colocando dos pulsos cuadrado de 5V desfasados 90 grados. Naturalmente, en el circuito real estos dos generadores de pulsos son sustituidos por un Arduino, tal y como se puede ver en el Anexo II.

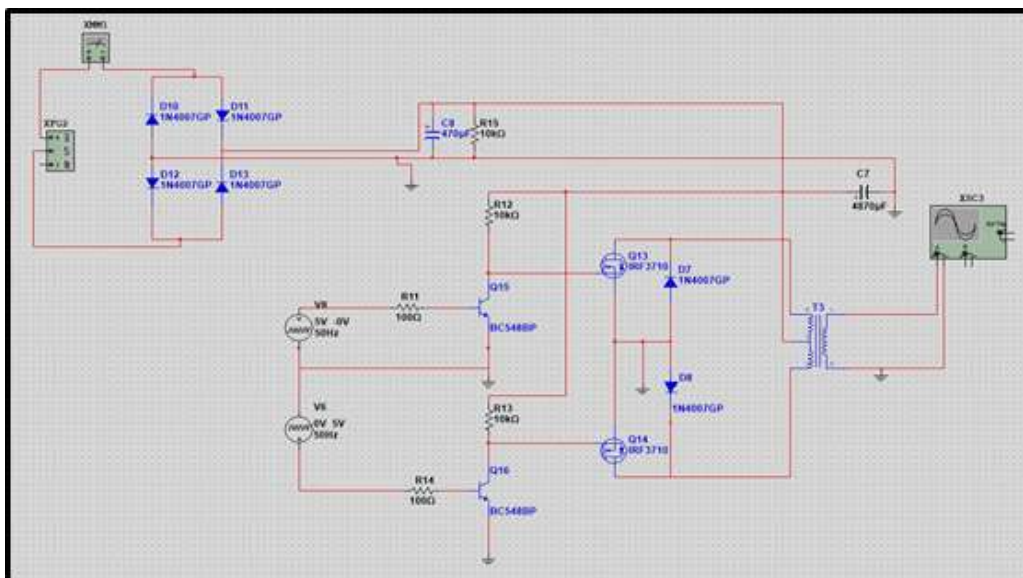


Figura 90: Tercer circuito inversor (incluye el rectificador)

Como se puede ver en este esquema, el circuito tiene dos MOSFET, que son activados alternativamente por los pulsos positivos y negativos del Arduino. Esta activación no se hace conectando directamente, sino colocando transistores BJT entre la salida de Arduino y la base del MOSFET, ya que los 5V suministrados por el Arduino son suficientes para activar un transistor BJT pero no para saturar los MOSFET. Por último, se envía la señal de salida de cada MOSFET a una entrada distinta de un transformador TAP y

¹⁷ El código empleado se encuentra en el Anexo II.

conseguimos que a la salida del mismo, las señales que vienen de un MOSFET sean positivas y las del otro negativas.

En definitiva, el Arduino hará que la señal de entrada al circuito se transforme en cuadrada, luego el bloque de transistores conectará o desconectará las señales para que no haya solapamiento (aún no se han invertido a negativo) y finalmente el transformador TAP invertirá la señal sin riesgo de solapamiento.

Al simular el circuito hemos obtenido los siguientes resultados:

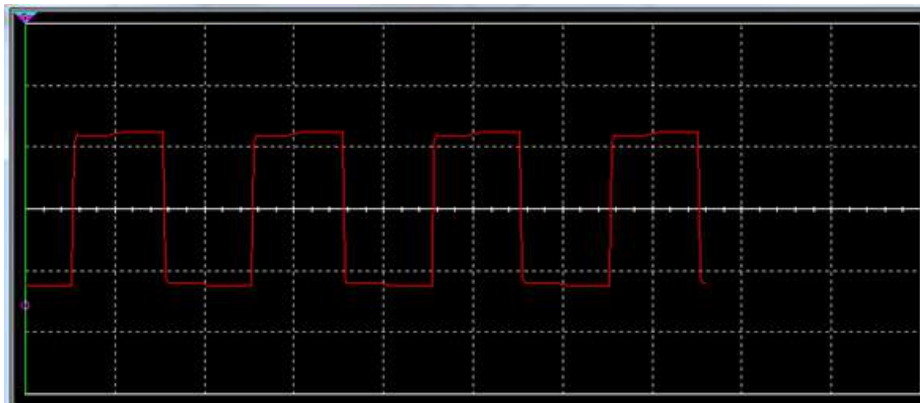


Figura 91: Señal de salida del circuito con Arduino

La señal como puede comprobarse es una señal cuadrada casi perfecta. Esto a priori podría ser un problema pues buscábamos una señal senoidal, pero al probar con diferentes frecuencias y valores de tensión pudimos comprobar que la frecuencia prácticamente no se alteraba.

Tras diseñar, simular y comparar los tres tipos de inversores decidimos implementar físicamente este último circuito (circuito con Arduino).

Una vez construido, sin embargo, se detectó que el circuito real presentaba problemas de funcionamiento que no eran detectables en una simulación (ver la siguiente sección para más detalles), por lo cual se modificó el prototipo de manera que:

- Tanto el Arduino como los transistores BJT no son alimentados directamente por la salida del rectificador sino por una batería recargable de 12V (dicho valor deberá ajustarse en general para que sea superior a la tensión de saturación de los MOSFET utilizados).
- La recarga de la batería se realiza con la salida del rectificador, para lo que se incluye una pantalla LED donde el Arduino indicará el nivel de carga de las pilas.

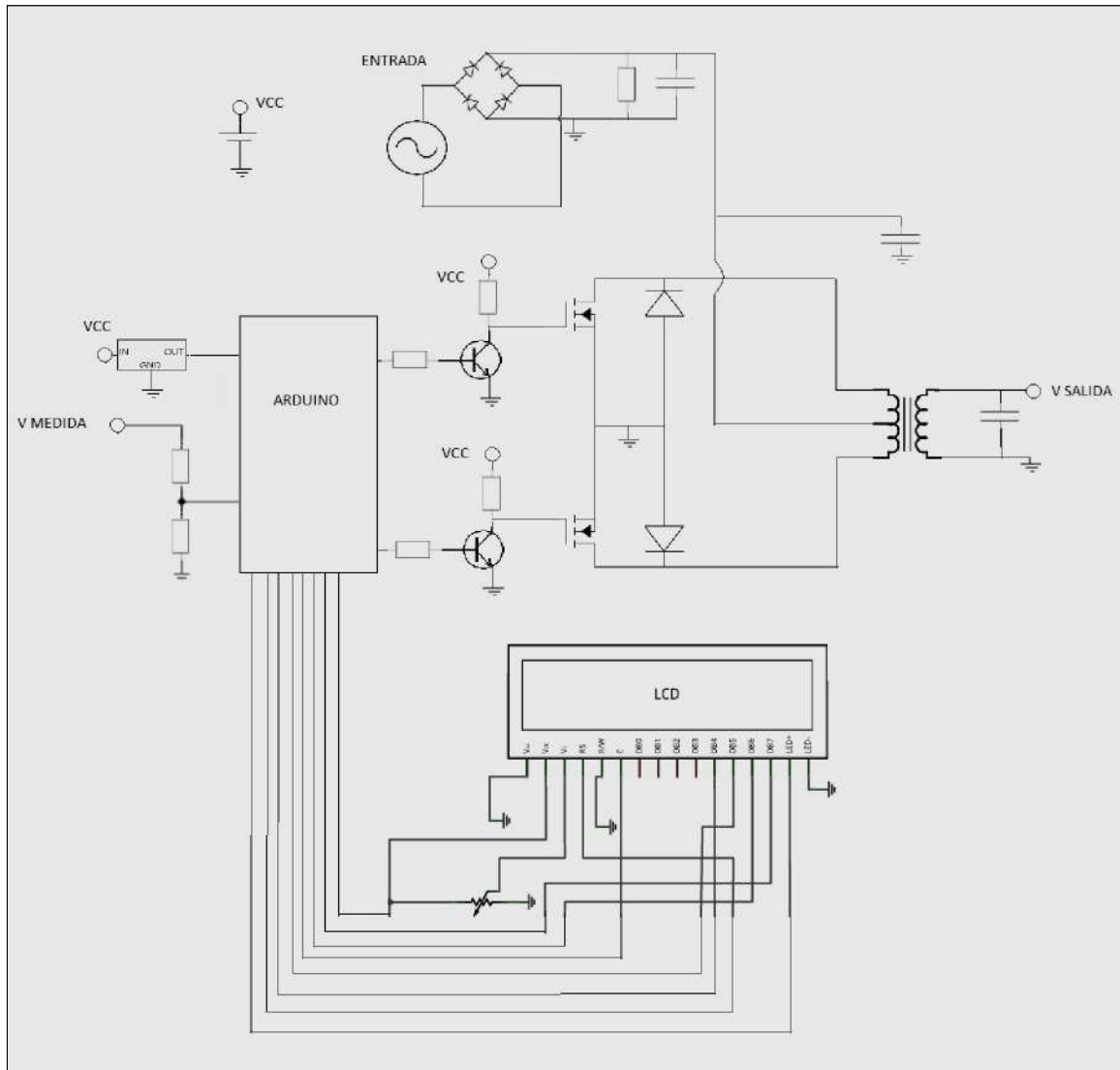


Figura 92: *Circuito AC completo*

Este circuito produce una señal de salida idéntica al prototipo anterior (ver figura 90) pero presenta un mejor rendimiento y un mayor rango de funcionamiento, tal y como se verá en las siguientes secciones.

5.3.2 Implementación y pruebas físicas

Hay que destacar que se han realizado dos tipos de pruebas físicas: pruebas realizadas en el laboratorio con y sin los aerogeneradores. En esta sección se describen únicamente el primer tipo de validación (sin aerogenerador), que sirvió para validar y calibrar el prototipo electrónico AC. Las pruebas finales, con el aerogenerador completo, se pueden encontrar en el capítulo 6.

Después de comprobar que el circuito funcionaba correctamente en las simulaciones, tal y como se ha mostrado en la sección anterior, se procedió a realizar las pruebas físicas del sistema compuesto por el rectificador y el inversor con Arduino descritos

en el apartado anterior. Las primeras fases de validación se realizaron con el prototipo que no incluía pilas recargables.

Como primer test de validación, las pruebas se realizaron sin los generadores, que se sustituyeron por otros aparatos que nos permitían comprobar el funcionamiento del circuito para valores de tensión y frecuencia controlados.

En este apartado se usó una placa protoboard para la colocación de los componentes electrónicos ya que ello nos permitía modificar fácilmente el circuito en caso de encontrar problemas, probar distintas alternativas de mejora que fueran surgiendo y sustituir cualquiera de los elementos en caso de que sufrieran daños durante el proceso de validación.

Durante las pruebas prácticas, efectivamente se detectaron fallos de funcionamiento que fue necesario ir corrigiendo. A continuación describimos algunos problemas que surgieron en esta fase y su modo de solución.

- **Prueba 1**

Para realizar la primera prueba del circuito se pensó en conectarlo directamente a la red. Puesto que la red entrega 240V de corriente alterna y nuestro circuito esta diseñado para transformar la salida de un aerogenerador docente de pequeño tamaño (con pocos voltios de generación), se tuvo que bajar el rango de voltaje por seguridad. Es por esto por lo que colocamos un un transformador en la red para reducir la tensión que llega al circuito. Los resultados obtenidos son los siguientes.



Figura 93: *Resultado de la prueba con la toma de corriente*

Ahora bien, como se puede observar, la señal obtenida tiene unos picos muy altos tanto en los flancos de subida como en los de bajada. Esto se debe al Arduino, pues el Arduino genera los pulsos cuadrados pero por separado, es decir, genera por separado dos pulsos desfasados que luego uno de ellos se invertirá para que se asemeje a una cuadrada.

El problema surge por sincronización de los flancos de subida y de bajada de las señales generadas por el Arduino: durante un breve intervalo de tiempo se superponen los pulsos que activan los dos transistores, de manera que uno se activa antes de que el otro esté apagado. Esto implica que en esa zona se suman los voltajes dando lugar a esos picos de tensión.

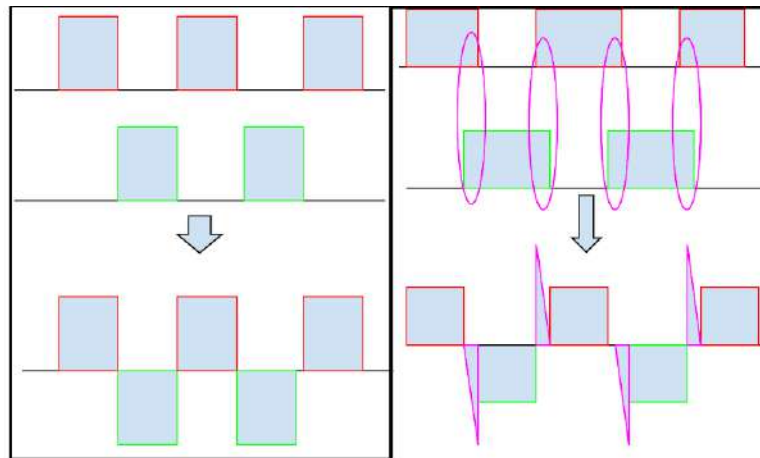


Figura 94: *Problema picos de tensión*

Para eliminarlos se colocaron varistores que se colocaron antes del transformador TAP, pero el problema no desapareció, por lo que se optó por colocar un condensador en paralelo a la salida del el transformador TAP. Con ello conseguimos eliminar los picos, aunque la señal a la salida no se mantenía estable, oscilaba de cuadrada a sinusoidal en periodos cortos de tiempo (ver Figura 95). Por ello, tras varias pruebas se llegó a un valor de condensador¹⁸ el cual hacía que las oscilaciones sean lo más suaves posibles llegando a no ser apreciables.



Figura 95: *Señal sin picos de tensión pero con variaciones de cuadrada a sinusoidal*

¹⁸ El valor del condensador está en el Anexo II.

- **Prueba 2**

Después de comprobar que el circuito de alterna funcionaba con la señal de la red, se pasó a alimentarlo con un generador de señales que nos permitiera probar su funcionamiento para distintos valores de la señal de entrada, observando que el generador disponible no era capaz de proporcionar potencia suficiente para activar el circuito (ver Figura 96)

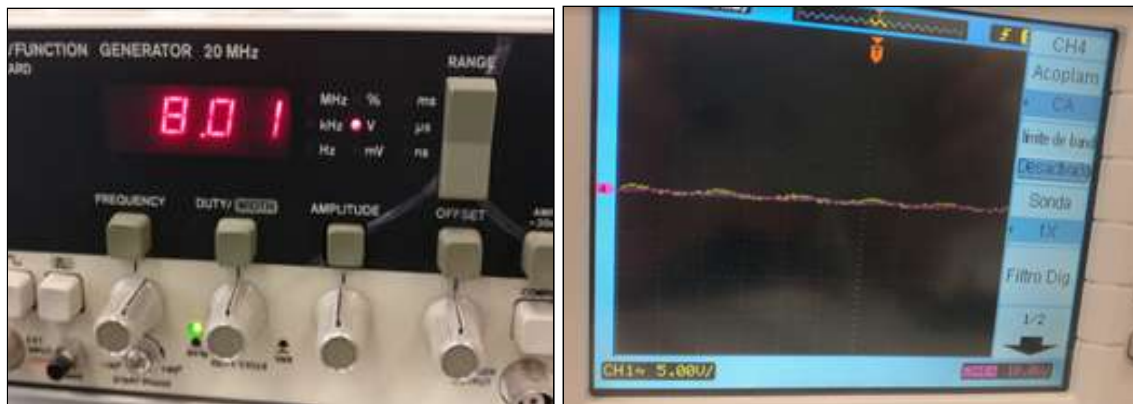


Figura 96: Prueba con un generador de señales

Se procedió por ello a medir la potencia consumida por el circuito y se observó que demandaba demasiada potencia incluso al estar en vacío (sin carga a la salida).

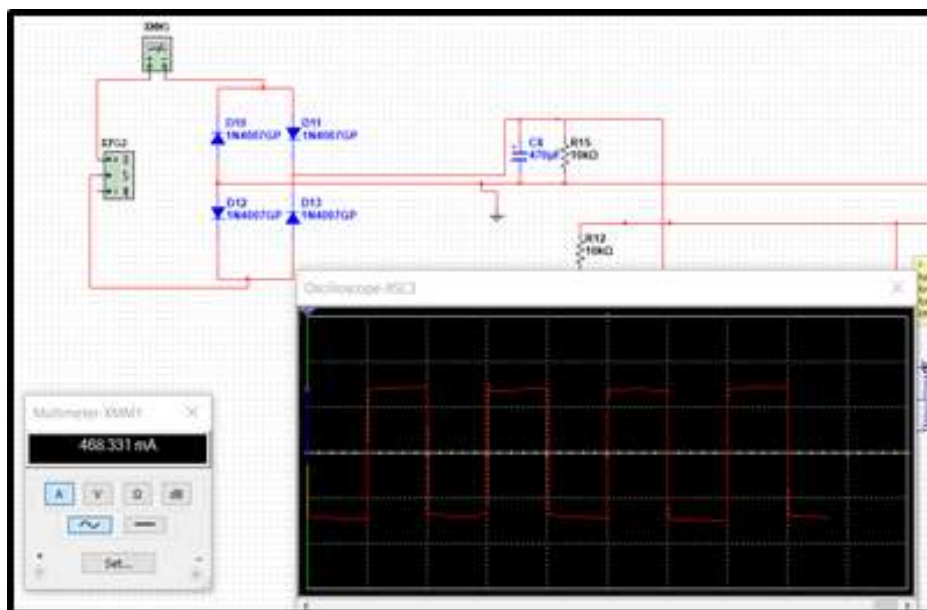


Figura 97: Valor de corriente elevada en el circuito

Una vez identificado el problema y después de varios análisis concluimos que la causa del consumo excesivo estaba en la saturación de los mosfet pues estos recibían alimentación directamente del rectificador el cual no suministraba suficiente voltaje para que se hallen en la región de saturación (para los MOSFET utilizados se requieren 12V). Este

problema no se apreciaba en las simulaciones porque éstas toman a los mosfet como ideales y que siempre están en la región de saturación por lo tanto no había problemas de consumo.

Para solucionar el problema se optó por aislar la parte del “controlador” del de potencia creando dos circuitos con alimentación independiente como se puede ver a continuación.

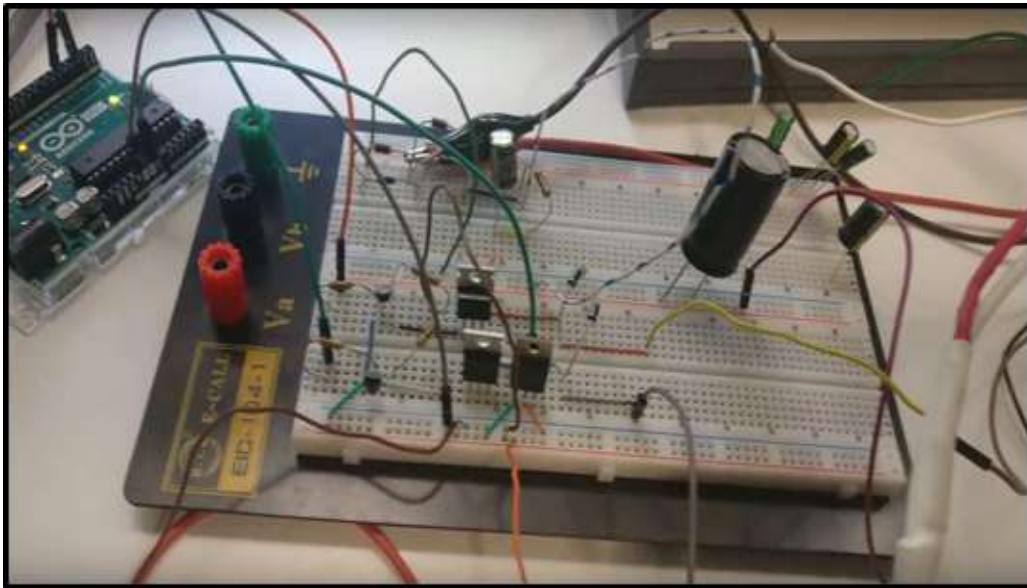


Figura 98: *Circuito con circuitos independientes*

- La parte del controlador se compone del Arduino y los transistores. Para alimentar la parte de control se usa una pila recargable cuyo voltaje ha de ser lo suficientemente elevado para activar los MOSFET (en nuestro caso 12V), aunque en las pruebas del laboratorio se usó un generador de corriente continua para simularla.
- La parte de potencia incluye el rectificador, los BJT y el transformador TAP y será alimentada por el generador AC.

Como parte opcional se puede colocar un interruptor que se accionará manualmente cuando la pila tenga que recargarse. La pila recargable pasará entonces a estar alimentada por el rectificador de onda completa RC hasta estar totalmente cargada momento en el cual se accionará de nuevo el interruptor para parar la carga.

En este caso se ha decidido incorporar un medidor de voltaje para saber en todo momento la carga de la pila. Podemos utilizar de nuevo el diseño visto en el capítulo 5 (apartado 2.1) para utilizar el Arduino como multímetro de continua, solo que este caso lo usamos únicamente como voltímetro pues solo queremos conocer el nivel de voltaje de la pila.

Esto conllevaba un nuevo problema informático, al estar utilizando un Arduino para dos funciones diferentes: control del inversor y control de la pila recargable. El código del

Arduino se ejecuta secuencialmente y nuestros programas, tanto el generador de pulsos cuadrados como el medidor de nivel de voltaje de la pila, tienen que funcionar simultáneamente. Esto se solucionó usando threads (hilos en inglés) los cuales permiten la multitarea. Este código se puede ver en el Anexo II.

En la siguiente imagen se puede ver el prototipo final, incluyendo las mejoras señalEs.

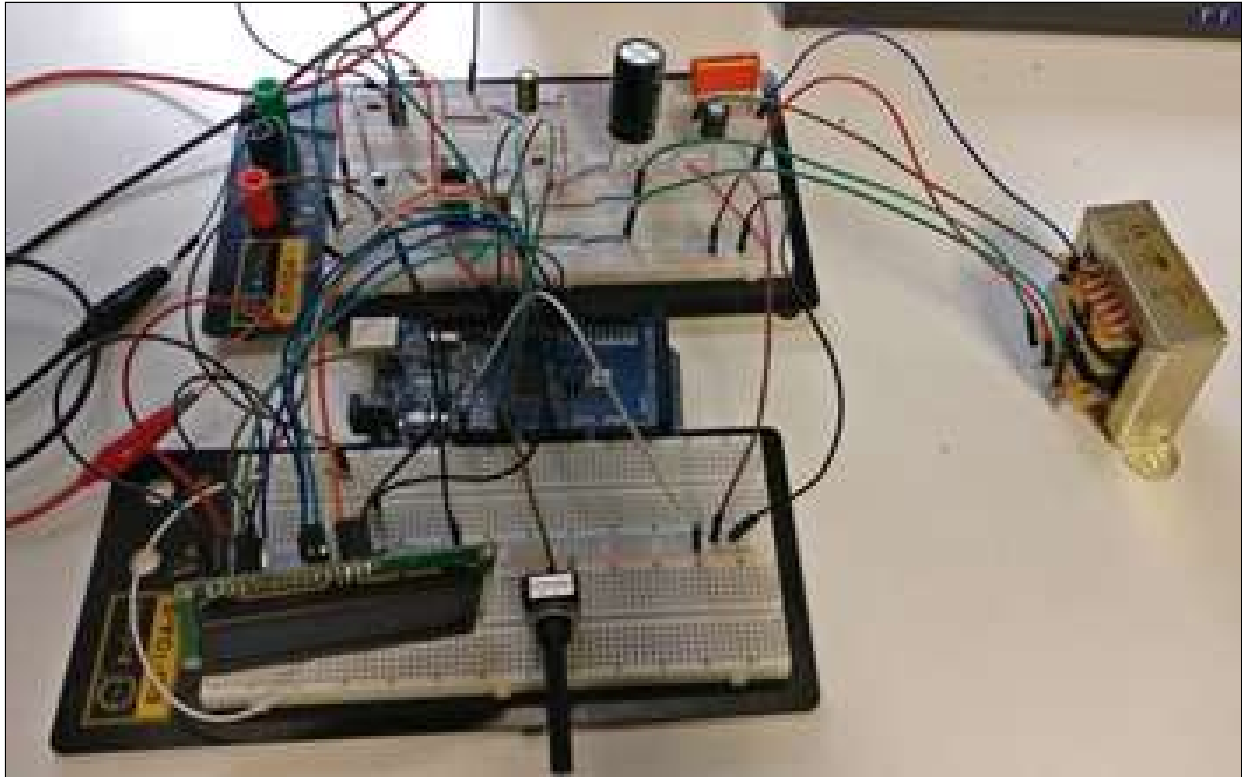


Figura 99: Circuito de solución a la potencia terminado

A continuación se muestran los resultados obtenidos con este prototipo final, utilizando un condensador de 680 nF en paralelo a la salida del transformador para eliminar picos de tensión muy altos.

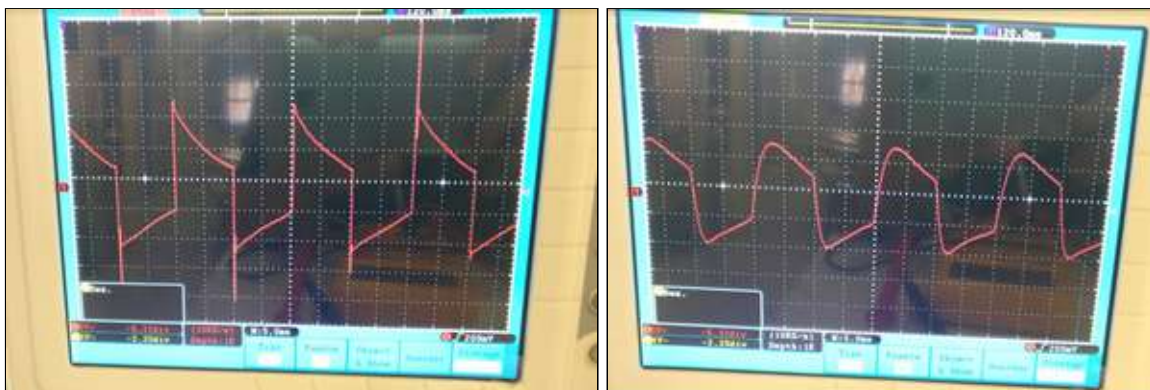


Figura 100: Primera señal sin condensador. Segunda señal con condensador.

Este diseño final soluciona el problema de la potencia pues conseguimos reducir la corriente de entrada en circuito de 3 A a 3 mA con la parte de control apagada y de 300 mA a 28 mA con el control activado.



Figura 101: *Multímetros mostrando los valores de corriente y voltaje*

Pero además presenta otras ventajas:

- Permite al sistema regular la frecuencia de señales por debajo de 5V, ya que Arduino no está alimentado directamente por la salida del rectificador (es decir, del aerogenerador) sino por la pila recargable.
- Aunque la energía utilizada para alimentar el circuito de control procederá en última instancia del aerogenerador, el proceso de carga se realizará cuando el aerogenerador esté en vacío, de manera que la energía almacenada en las baterías es energía que en condiciones normales no sería utilizada.
- Mejora considerablemente el rendimiento del sistema, no sólo porque se ha disminuido la potencia consumida por la electrónica, sino porque cuando el aerogenerador esté en carga, las pérdidas de potencia del sistema de control se cubrirán con la energía previamente almacenada en la batería y no con la energía producida en ese momento por el aerogenerador.

Una vez solucionado todos los problemas y definido el prototipo final, pasaremos al apartado de calibración.

Hay que remarcar que, a una escala de tiempo grande, entorno a los 2 segundos, la señal tiene un comportamiento (ver Figura 102) oscilatorio¹⁹ como en el primer circuito que estudiamos. Esto es debido, como se mencionó anteriormente, a los condensadores en paralelo con las bobinas del transformador TAP, pero debido a que nuestro proyecto es un “producto educativo” esta escala de tiempo no afectará en absoluto a las personas que lo usen.

¹⁹ Explicación en el Anexo II

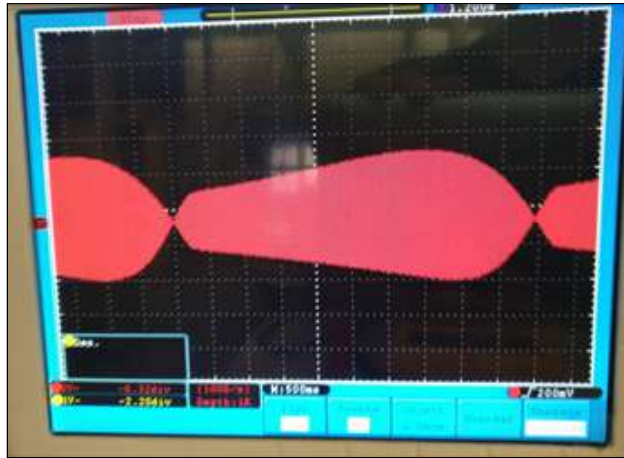


Figura 102: Oscilación a una escala de tiempo alta

En esta imagen en cambio, se ha colocado el condensador suavizando notoriamente los picos llegando incluso a casi estabilizar la señal. Aún así, no es de gran importancia pues la escala de tiempo que se usará es mucho más pequeña.

Por último se colocó la parte del voltímetro (ver Figura 103) para comprobar el funcionamiento de la multitarea (pulsos + voltaje mostrado). En este caso la señal sigue reduciendo los picos altos de voltaje pero no es tan suavizada como la anterior. Además, cada cierto tiempo la señal va a cero pues en ese preciso instante la programación pasa a actualizar los datos mostrados por pantalla pues no es una multitarea perfecta.

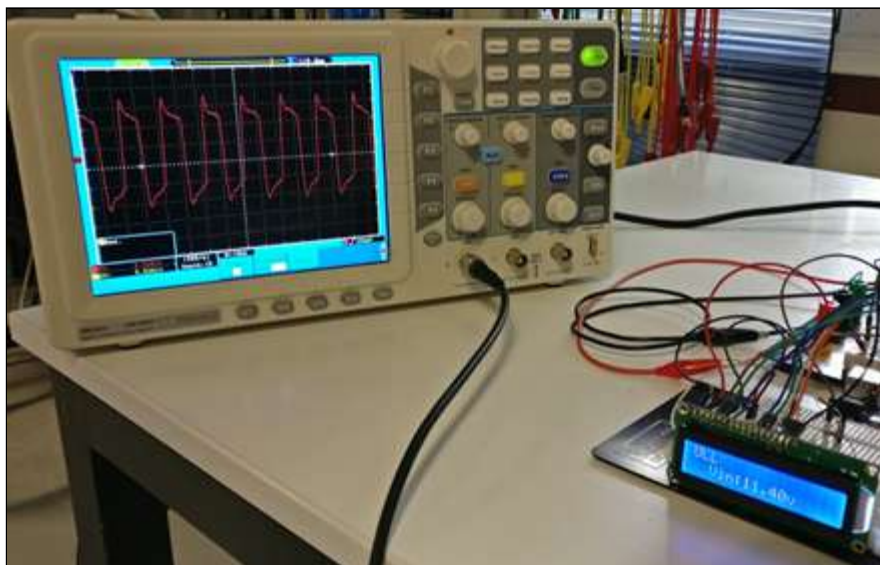


Figura 103: Señal de salida con voltímetro añadido

Como resultado tenemos casi lo mismo que en la anteriores imágenes pero con periodos de oscilaciones más cortos (ver Figura 104) pues como ya se mencionó, los instantes en los que la programación cambia resulta en que los pulsos van a cero (alternando). Esto hace que la señal se corte antes de que logre generar la oscilación

completa (como en las anteriores pruebas) y por ello la señal es más “estable” a grandes escalas de tiempo.

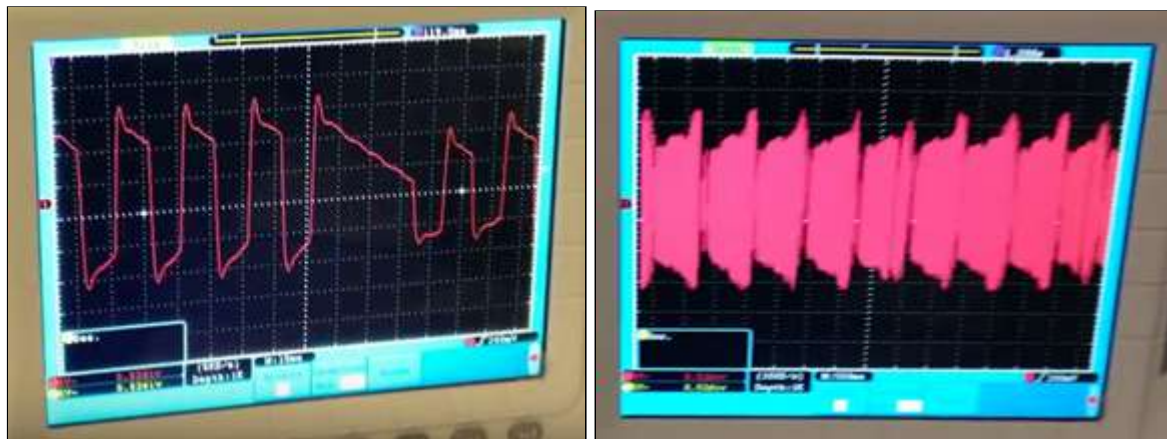


Figura 104: Señales de salida a diferente escala con el voltímetro añadido

5.3.3 Calibración AC

En este apartado se estudiarán los rangos en los que funciona correctamente el prototipo final descrito en la sección anterior.

Las medidas fueron tomadas en vacío alimentando el circuito con un generador de señales y con un condensador a la salida de 680 nF.

➤ Rangos de funcionamiento de frecuencia

Al realizar pruebas con el circuito para distintos valores de frecuencia, se observó que la señal de salida se mantenía en 50 Hz independientemente de la frecuencia de entrada. El rango de funcionamiento de frecuencia se ha definido como los valores de frecuencia máximo y mínimo fuera de los cuales la tensión de salida disminuía a pesar de mantener constante la tensión de entrada. Con este criterio se obtiene el siguiente rango de funcionamiento.

Voltaje: 8 Vpp	Frecuencia límite inferior	Frecuencia límite superior
	3.5 Hz	7 KHz

Tabla 6: Límites de funcionamiento de frecuencia

➤ Rangos de funcionamiento de voltaje

Para determinar el límite de funcionamiento comparamos la señal de salida y entrada para ver en qué momento el sistema electrónico empieza a fallar.

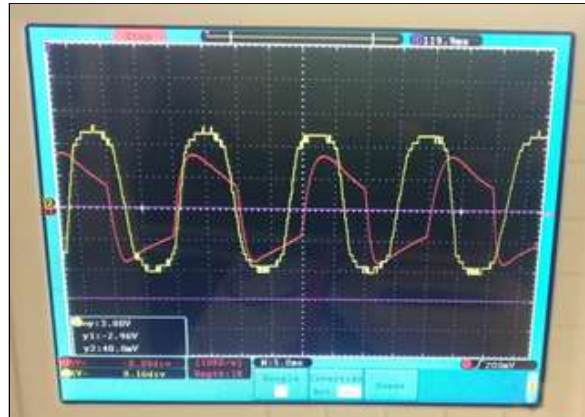


Figura 105: Comparativa señal de entrada y de salida

- El voltaje mínimo será aquel por debajo del cual la tensión de salida tienda a cero, puesto que la frecuencia de salida se observa que es siempre 50 Hz.
- El voltaje máximo de funcionamiento estará definido por los dispositivos electrónicos seleccionados.

A continuación presentamos una tabla comparativa del voltaje de entrada y de salida obtenida para una frecuencia fija de entrada de 60 Hz.

V entrada	V salida
3,3	2
5,1	7
6	10
7	12
8	16
10,2	24
11	26
14	32
16	38
20,3	50

Tabla 7: Tabla comparativa de voltaje entrada - salida

Si lo representamos gráficamente obtenemos una relación de transformación constante que dependerá del transformador utilizado como era de esperar.

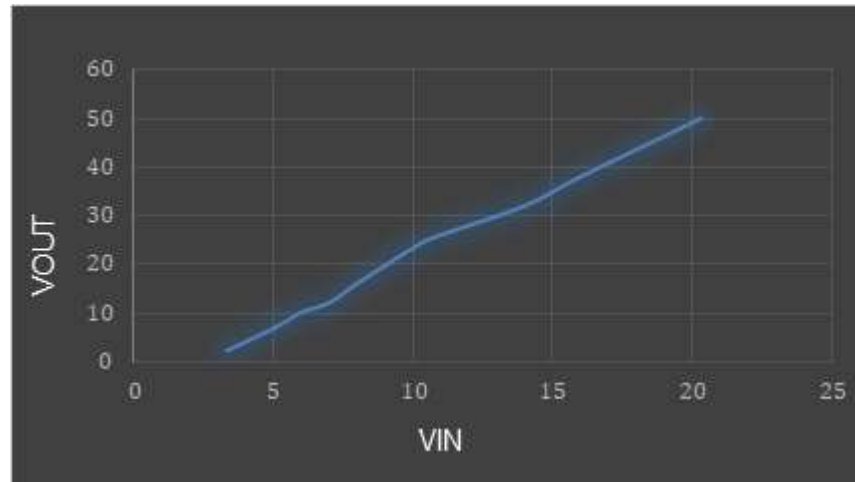


Figura 106: Gráfica comparativa de voltaje salida - entrada

Podemos ver que, al principio, en voltajes por debajo de 3,3 (incluso el mismo) el transformador no eleva esto y la señal tiende a cero. Este será por tanto el límite inferior de funcionamiento, pues por ello, por encima de estos valores el circuito funciona perfectamente llegando a elevar hasta 50 V (depende del transformador que se use).

El rango de funcionamiento en voltaje será por tanto:

Frecuencia: 60,8 Hz	Voltaje límite inferior	Voltaje límite superior ²⁰
	2 Vpp	50 Vpp

Tabla 8: Límites de funcionamiento de voltaje

5.3.4 Elección del generador de AC

Siguiendo los criterios descritos en el apartado XXX y los resultados de la calibración anterior, se han buscado generadores que sean válidos para la construcción del prototipo final de aerogenerador. Serán generadores síncronos de imanes permanentes, que generen tensiones por encima de 2 Vpp y frecuencias por encima de 3 Hz. La velocidad de rotación necesaria para obtener estos valores no será determinante, pues disponemos de los multiplicadores diseñados en el capítulo XX.

Sin embargo, esto no quiere decir que sean los generadores que se tenga que utilizar para construir el KIT diseñado pues como es un proyecto enfocado a la docencia el profesor puede argumentar usar otro si lo ve conveniente.

²⁰ Valor máximo que podía leer el osciloscopio debido a que el transformador eleva por encima de la capacidad de lectura del osciloscopio.

En este apartado hemos seleccionado tres generadores (dos de ellos motores²¹) síncronos, los cuales son los siguientes:

- **Generador 1:**

El primer generador ha sido diseñado como motor, aunque ya mencionamos que puede ser utilizado igualmente como generador. Tiene un voltaje nominal de 110 a 5/6 r.p.m y 50/60 Hz.



Figura 107: *Motor 1*

Este motor se seleccionó por tener una velocidad nominal muy baja, pero se ha descartado por el elevado par resistivo que hay que ejercer para poder generar voltaje. Esto se debe a su diseño, que a pocas revoluciones da mucho voltaje a costa de aplicar un elevado par. Aun cuando no se ha encontrado una descripción al respecto suponemos que ello se debe a que la forma de disminuir la velocidad no ha sido aumentar el número de polos sino incluir un multiplicador interno, lo que aumenta el par resistivo.

- **Generador 2:**

El segundo generador (también motor) tiene como características una tensión nominal de 240V a una velocidad de 2000 r.p.m. a una frecuencia de 50 Hz.

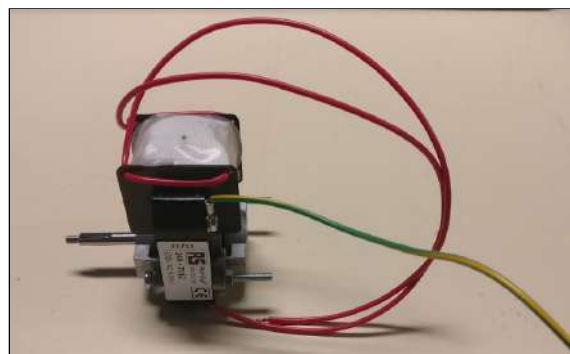


Figura 108: *Motor 2*

²¹ No contienen hojas de datos pues han sido totalmente descartados para el proyecto.

Este motor ofrece mucho menos resistencia en el eje pero su problema radica en el voltaje que genera, el cual es muy poco teniendo así que generar muchas revoluciones por minuto (3000 r.p.m) en su eje para así obtener el voltaje mínimo deseado. Además, no cumple con las características nominales pues al conectar 240V al generador, éste no proporcionaba la velocidad de giro asociada a este valor de tensión. Es por ello que aunque sigue siendo un generador apto necesita obligatoriamente una multiplicadora.

- **Generador 3:**

Finalmente tendríamos al generador síncrono. Se trata de un generador de pequeño tamaño diseñado para encender simplemente un led. Al tratarse de un “juguete de bajo coste” no disponemos de ningún tipo de información ni hoja de especificaciones por lo que deberemos realizar ensayos para conocer su funcionamiento (ver sección 5.3.5).

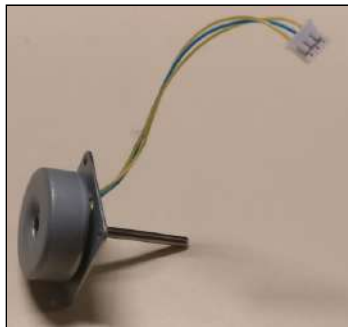


Figura 109: Generador AC síncrono

Este generador aunque es más pequeño en dimensiones puede generar un voltaje considerable a pocas revoluciones por minuto (ver capítulo 6), esto se debe básicamente a que contiene muchos polos compensado así su tamaño, como se puede ver a continuación.

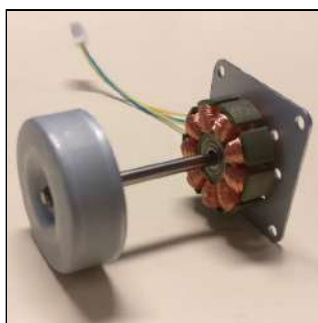


Figura 110: *Vista de los polos del generador AC*

Para la construcción del aerogenerador AC completo se ha seleccionado el último de los generadores mencionados, ya que es el único que permite su utilización sin multiplicador.

5.3.5 Circuito equivalente generador AC

Al igual que se hizo en el capítulo 5.2.3 del circuito de corriente continua (ver capítulo 5.2.3) este apartado realiza el circuito equivalente del generador pero en este caso es de corriente alterna y de un generador síncrono.

Para poder realizar el circuito equivalente de un generador síncrono necesitamos el valor de la resistencia del generador (Ω), la inductancia de la bobina (L) y la constante (como en el apartado de continua) de la siguiente fórmula:

$$E_o = cte \cdot \omega m$$

Para poder hallar la resistencia basta con usar un multímetro y medir en los bornes del generador. La constante se halla de la misma manera que en el apartado de continua. En este caso no hay escobillas por lo tanto no es necesario calcularla.

El valor de la inductancia de la bobina se calcula haciendo el experimento en cortocircuito, el cual consiste en cerrar los bornes del generadores sin resistencia alguna (un cable) y medir la intensidad que atraviesa el circuito (I_{cc}). Con esa intensidad podemos calcular la reactancia síncrona (X_s) la cual contiene la inductancia de la bobina, aunque necesitaríamos un valor de E_o para poder calcularla. Este valor de E_o se puede hallar fácilmente usando un multímetro y midiendo a la misma velocidad de giro que la que se usó en el experimento de corto. Con respecto a la cte, se puede hallar de la misma manera que el circuito de corriente continua, usando los datos del capítulo 6 de voltaje.

- Valor de R medido = 43,7 Ω .
- $\omega m = 70$ r.p.m.
- Voltaje en vacío a esa velocidad = 0,5 V.
- $I_{cc} = 8$ mA.
- $E_o = 0,0429$.

Usando la siguiente ecuación podemos calcular X_s :

$$X_s = \sqrt{\left(\frac{E_o}{I_{cc}}\right)^2 - R^2}$$

Por lo tanto, $X_s = 44,7j$. Su circuito equivalente sería la siguiente figura:

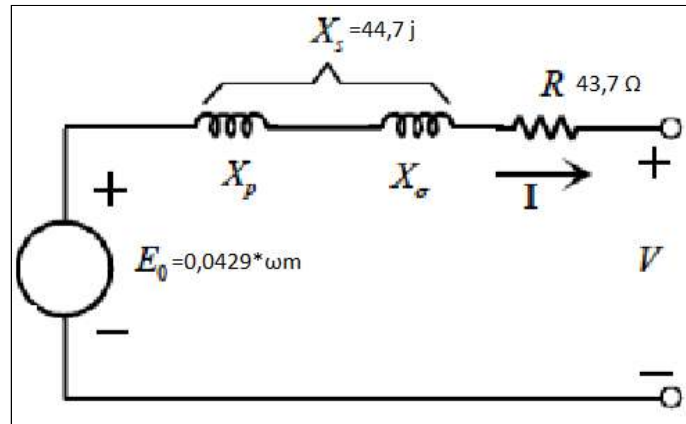


Figura 111: Circuito equivalente generador AC

Una vez finalizada la parte de diseño, tanto aerodinámica como eléctrica, pasamos a realizar dos prototipos de aerogenerador, que sirvan como muestra y nos permitan una validación global del proyecto.

6. Resultados finales

En este capítulo exponemos los resultados finales de ambas partes. Se han colocado las aspas con los generadores para ver su comportamiento final. Puesto que las pruebas con corriente continua y alterna ya se han probado (con fuentes de tensión o generadores de corriente) en este caso se trata de comprobar si las aspas son capaces de mover el eje de los generadores sin ningún problema y, por lo tanto, generar tensión.

Para poder realizar los ensayos se ha hecho uso de un ventilador convencional de tres velocidades. Este ventilador se usa como simulación del viento.

6.1 Resultados con el generador de DC

Estos ensayos tienen como objetivo generar como mínimo 5 V de DC pues el Arduino se alimenta a ese voltaje o superior (hasta 12 V).

- **Ensayos con aspas de molinos utilizando el motor DC funcionando como generador.**



Figura 112: Motor DC con aspa de molino

Generador con aspas de molino	Voltaje (V)
Potencia 1	El viento no es capaz de mover las aspas por lo tanto no puede generar ningún voltaje
Potencia 2	
Potencia 3	

Tabla 9: Voltaje del motor DC con aspas de molino

En este caso, con las aspas de molino el viento no es capaz de mover las aspas debido al par que hay que ejercer en su eje (ver tabla 9). Por lo tanto por el momento, estas aspas no se pueden usar con este motor.

- **Ensayos con aspas 1 utilizando el motor DC funcionando como generador.**

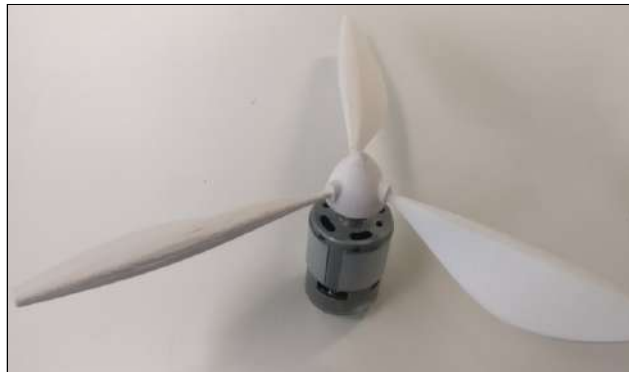


Figura 113: *Motor DC con aspas 1*

Generador con aspas 1	Voltaje (V)
Potencia 1	1
Potencia 2	1,2
Potencia 3	1,5

Tabla 10: *Voltaje del motor DC con aspas 1*

Aunque en esta prueba las aspas son capaces de generar voltaje, el voltaje es muy pequeño y no llega al mínimo requerido de 5V (ver tabla 10). Por lo tanto podemos decir que este conjunto (generador - aspas) necesita obligatoriamente una multiplicadora para el funcionamiento del circuito en el caso de estas aspas pues con la primera opción ni siquiera había movimiento.

Puesto que el motor funcionando como generador necesita una multiplicadora, se han hecho pruebas con el generador de DC pues no ejerce tanto par resistivo como el anterior. En las figuras 114 y 115 podemos ver al generador con las diferentes aspas.

- **Ensayos con aspas de molino con generador DC.**



Figura 114: *Generador DC con aspa de molino*

Generador con aspas de molino	Voltaje (V)
Potencia 1	3,5
Potencia 2	3,84
Potencia 3	4,07

Tabla 11: Voltaje del generador DC con aspas de molino

- **Ensayos con aspas 1 con generador DC.**



Figura 115: Generador DC con aspas 1

Ventilador con aspas 1	Voltaje (V)
Potencia 1	2,25
Potencia 2	2,51
Potencia 3	2,61

Tabla 12: Voltaje del generador DC con aspas 1

Con este generador las medidas de voltaje son superiores motor DC funcionando como generador aun así no se ha alcanzado al mínimo (ver tablas 11 y 12) por ello se incorporará una pila recargable de 9V junto con un regulador de tensión, como se ha mencionado en el capítulo 5 para que en todo momento esté activado el Arduino y así poder leer todos los valores de tensión que genera el generador. Igualmente se incorporará el multiplicador para aumentar el voltaje generado por los generadores.

6.2 Resultados con el generador de AC

Para que este ensayo sea satisfactorio el voltaje generado tienen que ser como mínimo de 2 Vpp (valor calculado en el capítulo 5) para poder generar una señal alterna a la

salida del circuito, por ello si se consigue ese valor podemos decir que este generador de corriente alterna es ideal para el circuito.

- **Ensayos con aspas de molino utilizando el generador de AC.**

El generador junto con las aspas de molino (Ver Figura 116) es capaz de generar 9 Vpp a una potencia baja del ventilador. Esto quiere decir que con esas aspas es capaz de encender el circuito de AC puesto que el mínimo necesario es de 2 Vpp. Estos datos se pueden ver a continuación.



Figura 116: *Generador AC con aspas de molino*

Ventilador con aspa de molino	Voltaje (Vpp)	Frecuencia (Hz)
Potencia 1	9	57
Potencia 2	10	66
Potencia 3	12	64,5

Tabla 13: *Voltaje y frecuencia del Generador AC con aspas de molino*

- **Ensayos con aspas 1 utilizando el generador de AC.**

Con el conjunto de aspas 1 vuelve a superar el mínimo necesario pero entrega menos voltaje en comparación con las aspas de molino. Como se puede ver a continuación.

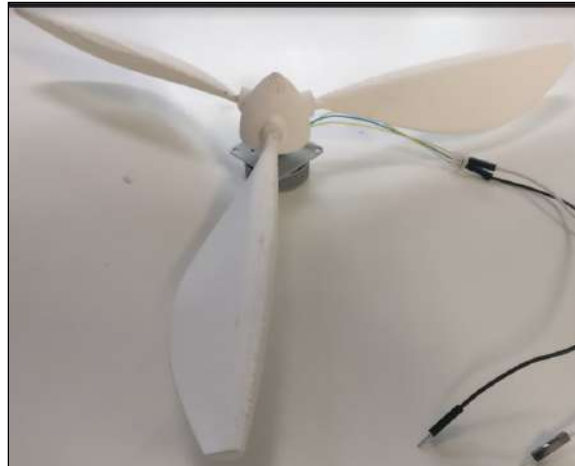


Figura 117: *Generador AC con aspas 1*

Ventilador con aspas 1	Voltaje (Vpp)	Frecuencia (Hz)
Potencia 1	6,2	33,33
Potencia 2	7,8	40
Potencia 3	8	46,5

Tabla 14: *Voltaje y frecuencia del Generador AC con aspas 1*

Con respecto a la frecuencia, ambos ensayos muestran que también se supera la frecuencia mínima, la cual es de 3 Hz aproximadamente. Esto significa que ambas aspas son capaces de hacer funcionar el circuito sin problemas pues cumplen con todos los requisitos mínimos.

Las pruebas con los circuitos correspondientes (DC y AC) han funcionado correctamente y sin ningún problema como era de esperar, de lo cual se deduce que los generadores eléctricos seleccionados y los diseños de aspas son adecuados para la realización de prácticas.

6.3 Galería Fotográfica del diseño final impreso

Finalizado los ensayos finales se han realizado fotos de la estructura final con los generadores aptos y con los circuitos electrónicos.

A continuación se muestran fotos frontales, laterales y de planta de la estructura al completo con las diferentes aspas con los generadores aptos. El generador de corriente continua contiene la multiplicadora diseñada mientras que el de alterna no hace uso de él. Para mayor claridad, las fotos de planta muestran la góndola al descubierto mostrando los generadores.

6.3.1 Fotos estructura con generador de corriente continua

- **Aspas de molino.**

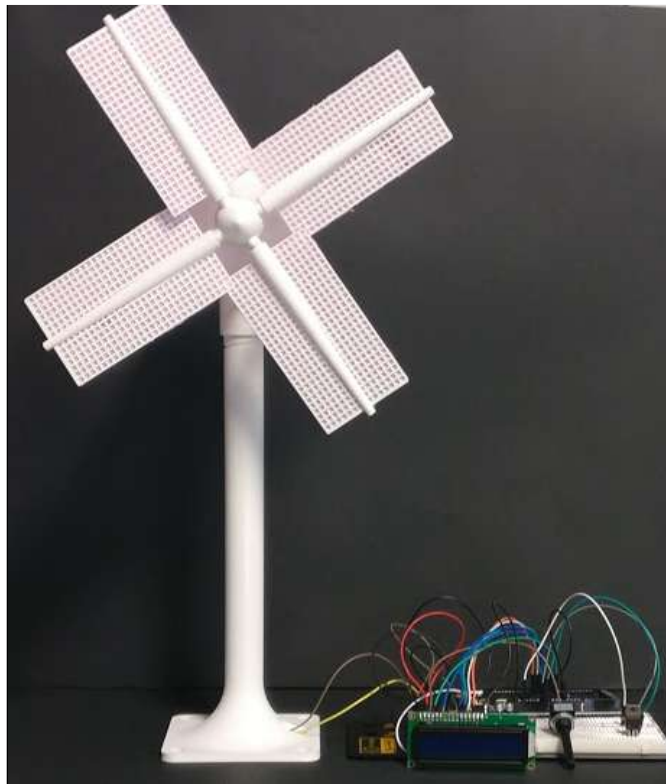


Figura 118: *Vista frontal aspas molino*

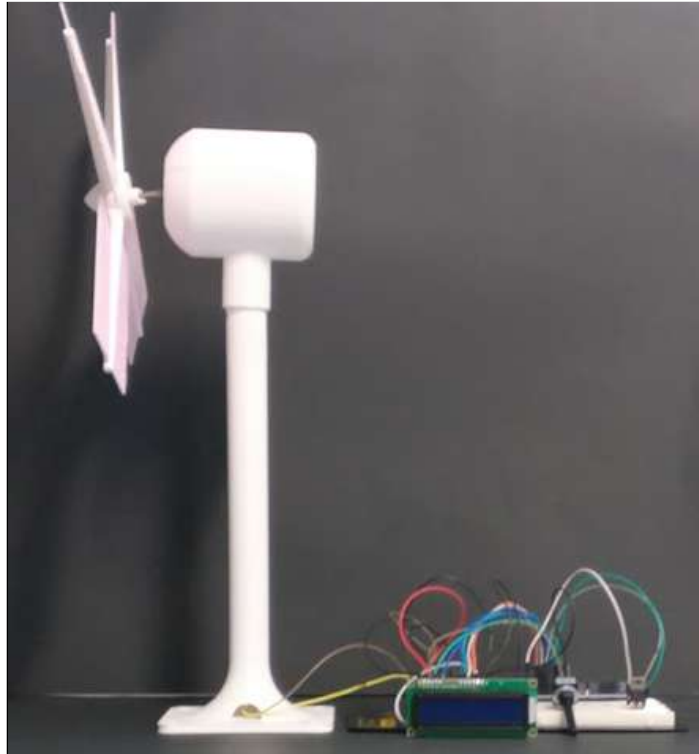


Figura 119: : *Vista lateral con aspas molino*

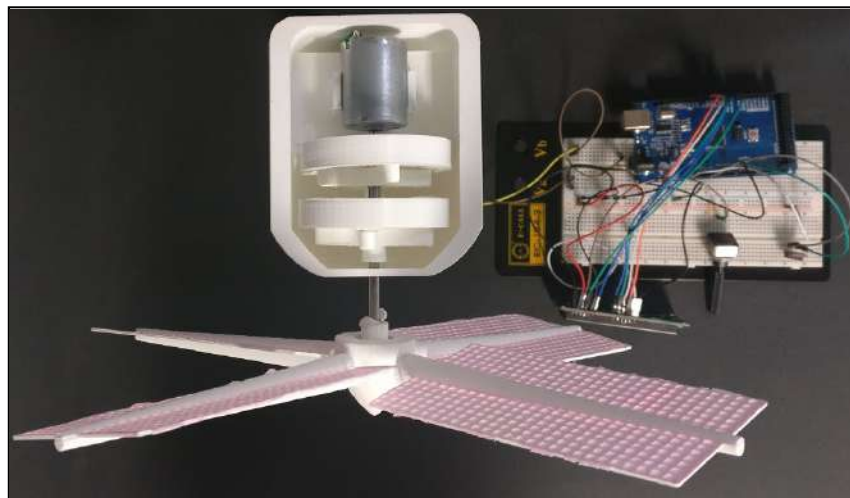


Figura 120: *Vista de planta con aspas molino*

- **Aspas 1.**

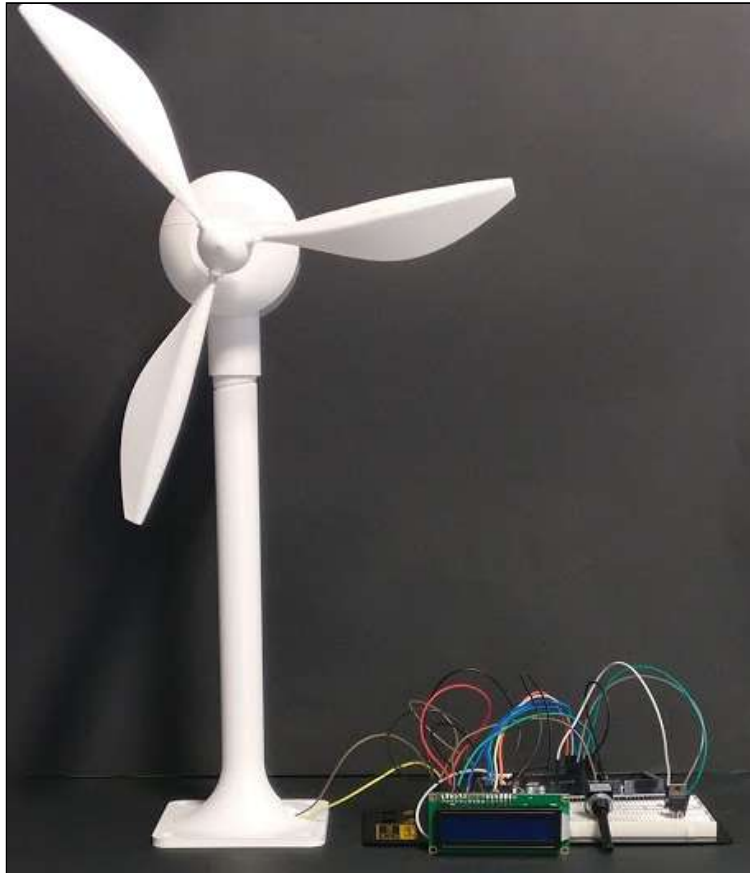


Figura 121: *Vista frontal con aspas 1*

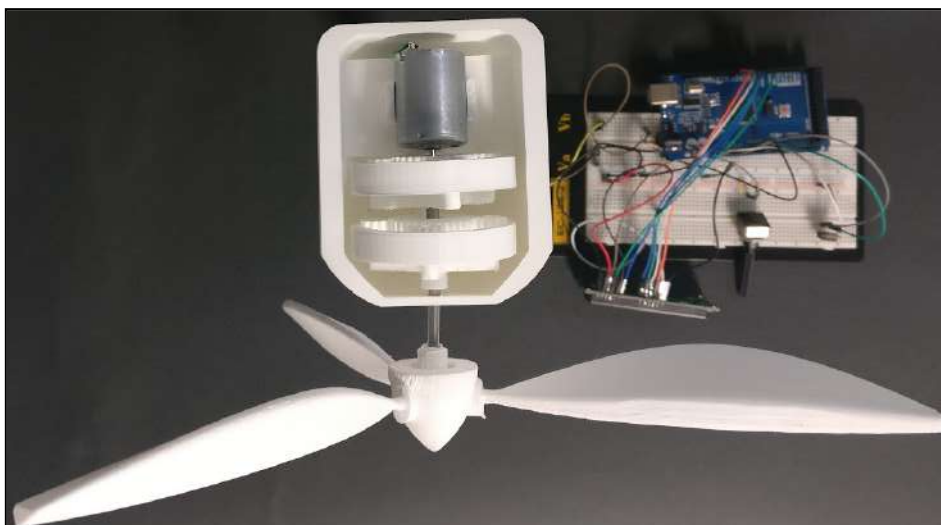


Figura 122: *Vista de planta con aspas 1*

6.3.2 Fotos estructura con generador de corriente alterna

- **Aspas de molino.**

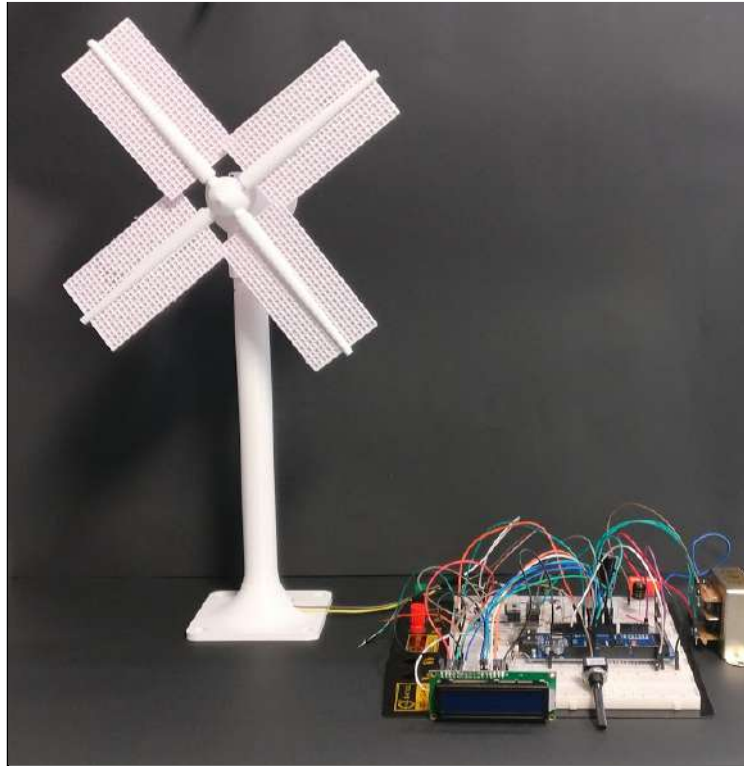


Figura 123: *Vista frontal aspas molino*



Figura 124: *Vista lateral aspas molino*

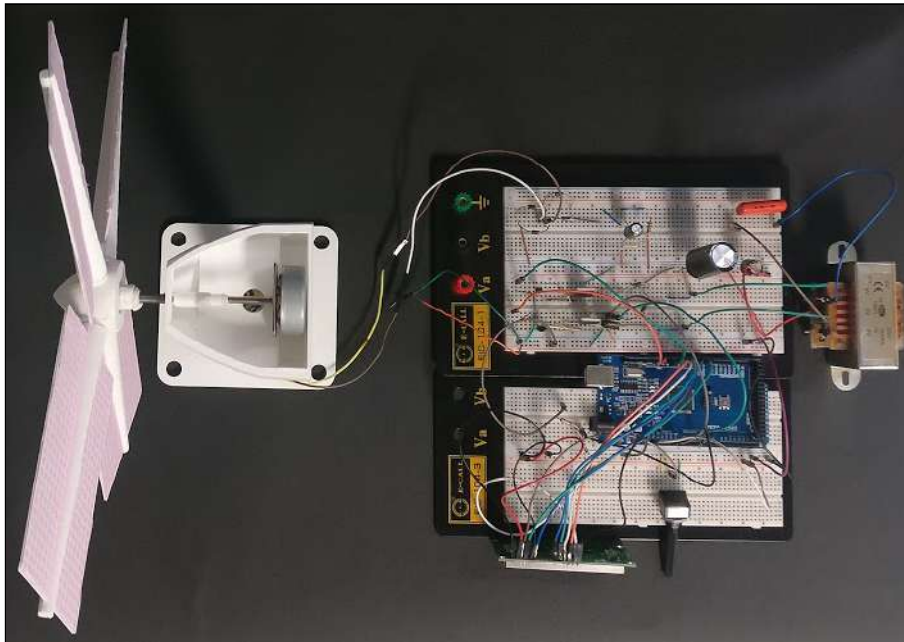


Figura 125: *Vista de planta aspas molino*

- **Aspas 1.**



Figura 126: *Vista frontal aspas 1*



Figura 127: *Vista lateral aspas 1*

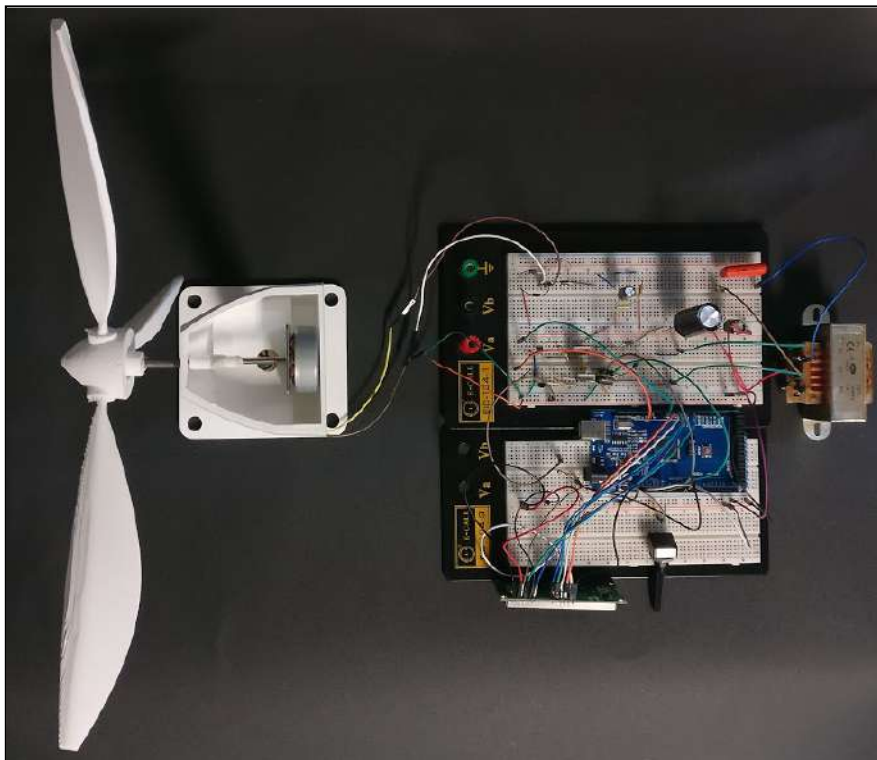


Figura 128: *Vista de planta aspas 1*

7. Presupuesto

7.1 Parte Estructural

Refiriéndonos a la parte estructural, podemos hacer un presupuesto estimado en base a los gramos de material necesarios y el tiempo aproximado de impresión que requieren los mismos, para calcularlo hemos usado como referencia la impresora Prusa-I3 (impresora con la que hemos estado imprimiendo los prototipos) y filamento de PLA cuyo precio es de 15€ aproximadamente por kilogramo, es decir, 0,015€ por gramo. Los datos los sacaremos del programa Ultimaker Cura usando una grosor de 0.1 mm para la boquilla del extrusor (resolución) y un relleno del 20% grid. Además hemos supuesto una colocación óptima de los componentes²².

En el caso en el que no dispusiéramos de impresora 3D propia y tuviésemos la necesidad de imprimir en una empresa especializada se ha añadido además un informe para cada pieza con un presupuesto estimado²³

Presupuesto de las Impresiones Necesarias						
Nombre de la pieza	Número de piezas	Peso por Unidad	Peso Total	Tiempo por unidad	Tiempo Total	Precio autofabricación
Aspa 2	4	8 g	32 g	1h 36 min	6h 24min	0.48 €
Aspa 1	3	14 g	42 g	2h 19 min	6h 57 min	0.63 €
Aspa 3	3	20 g	60 g	3h 22 min	10h 6 min	0.90 €
Aspa 4	3	33 g	99 g	4h 47 min	14h 21 min	1.485 €
Buje 3 aspas	1	7 g	7 g	1h 18 min	1h 18 min	0.105 €
Buje 4 aspas	1	7 g	7 g	1h 8 min	1h 8 min	0.105 €
Góndola AC	1	44 g	44 g	8 h 47 min	8 h 47 min	0.66 €
Góndola DC	1	93 g	93 g	14h 45 min	14h 45 min	1.395 €
Multiplicadora Sol	2	4 g	8 g	40 min	1h 20 min	0.12 €
Multiplicadora	8	1 g	8 g	10 min	1h 20 min	0.12 €

²² Mirar Anexo I.

²³ Mirar Anexo VI.

Satélites						
Multiplicadora Anillo	2	6 g	12 g	1h 8 min	2h 16 min	0.18 €
Multiplicadora Brazo	1	3 g	3 g	40 min	40 min	0.045 €
Multiplicadora Brazo con eje	1	3 g	3 g	41 min	41 min	0.045 €
Torre	1	95 g	95 g	18 h	18 h	1.425 €
TOTAL:					88h 03 min	7.70 €

Tabla 15: *Presupuesto de las impresiones necesarias en caso de autofabricación*

Presupuesto Material Añadido	
Varilla metálica 5 mm diámetro, 1 metro	1.75 €
Juego de manguitos y varillas roscadas	5 €
TOTAL:	6.75 €

Tabla 16: *Presupuesto material añadido no imprimible para la realización del montaje*

Presupuesto Mano de Obra	
Tiempo empleado en el montaje	Precio por horas
4 h	20 €
TOTAL	80 €

Tabla 17: *Presupuesto mano de obra parte estructural*

7.2 Parte Electrónica/Eléctrica

Presupuesto Componentes Electrónicos			
Nombre componente	Número de componentes	Precio Unitario	Coste Total
Resistencia 100Ω	2	0,105 €	0,21 €

Resistencia 1k Ω	2	0,09 €	0,18 €
Resistencia 10k Ω	4	0,09 €	0,36 €
Potenciómetro 10 k Ω	2	1,22 €	2,44 €
Condensador cerámico 680 nF	1	0,67 €	0,67€
Condensador electrolítico 470 uF	3	0,69 €	2,07 €
Condensador electrolítico 4700uF	1	3,61 €	3,61 €
Diodo 1n4007	6	0,4 €	2,4 €
Transistor BC548B	2	1,29 €	2,58 €
Transistor IRFZ44N	2	1,92 €	3,84 €
Transistor IRF 3710	2	2,00 €	4,00 €
Cables macho-macho	40	0.84 € (por los 40)	0,84 €
Pantalla LCD 16x2	1	8,64 €	8,64 €
Arduino Mega	1	34,35 €	34,35 €
Arduino Uno (reemplazo mega)	1	4,94 €	4,94 €
Transformador TAP Saber 9 -0 - 9 1 A	1	11,87 €	11,87 €
Regulador de tensión L78S09CV	1	0,64 €	0,64 €
Motor DC ROHS ²⁴ 877-6269	1	25,42 €	25,42 €
Generador DC	1	10 €	10 €
Generador AC	1	6 €	6 €
		TOTAL	125,06 €

Tabla 18: *Presupuesto de los componentes electrónicos empleados*

²⁴ Los precios de los generadores no son estrictos, el usuario puede cambiar de generador si lo ve conveniente. Se incluyen los generadores que se usaron en los ensayos finales.

Presupuesto Mano de Obra	
Tiempo empleado en el montaje ²⁵	Precio por horas
16 h	20 €
TOTAL:	320 €

Tabla 19: *Presupuesto mano de obra parte eléctrica/electrónica*

7.3 Presupuesto Total Ambas Partes

Para el cálculo total del presupuesto del proyecto, se aplican los gastos de autofabricación en la parte estructural, es decir, se presupone que el cliente dispone de impresora 3D propia.

Presupuesto Total del Proyecto			
Partes	Tiempo a Invertir	Dinero Materiales	Mano de Obra
Parte Estructural	88 h 03 min	14,45 €	80 €
Parte Electrónica	16 h	125,06 €	320 €
TOTAL AMBAS PARTES:	111h 36 min	139,51 €	400 €
PRESUPUESTO TOTAL:		539,51 €	

Tabla 20: *Presupuesto total del proyecto teniendo en consideración la mano de obra*

²⁵ Excluye el diseño y la programación de los programas pues es un proyecto educativo y abierto.

Conclusiones

Cuando comenzamos este proyecto habíamos fijado ciertos objetivos, ahora que hemos terminado podemos decir que los hemos superado con creces.

En lo que a la estructura de nuestro aerogenerador se refiere, no solo hemos logrado con éxito el diseño completo de un aerogenerador para que el alumno disponga de diferentes aspas con las que realizar un estudio de las mismas, si no que la propio multiplicadora y las góndolas se han diseñado para ser a su vez intercambiables. El proyecto no sólo proporciona información completa para la autoconstrucción de dos aerogeneradores completos (uno con multiplicadora y otro sin multiplicadora), sino que explica detalladamente los procesos de diseño y montaje, las dificultades encontradas y la forma de elegir y adaptar nuestra propuesta a cada caso concreto.

Con respecto al apartado electrónico, se ha abordado con éxito el desarrollo de dos tipos de circuitos (para continua y alterna), basándonos en posibilitar docencia interesante a nivel universitario: los dos circuitos lograron su cometido, llegando incluso a implementar nuevos diseños.

- El circuito de corriente continua consiguió realizar los objetivos marcados inicialmente, como el uso de la electricidad obtenida para la formación de palabras en una pantalla LCD. Como añadido se incluyó el diseño de un medidor de voltaje y corriente en este circuito.
- Para el circuito de corriente alterna se logró diseñar un rectificador y un inversor, que funcionan perfectamente en unos rangos de trabajo muy amplios y a una frecuencia estable.

De cara a posibles mejoras o futuras ampliaciones del proyecto, se puede incorporar a nuestro aerogenerador un medidor para la velocidad de giro de las aspas para mostrarla por LCD o implementar un sistema de orientación de las aspas automático.

A nivel personal, consideramos que este proyecto ha sido un complemento bastante enriquecedor para terminar con nuestro estudio de grado como ingenieros. En él hemos aplicados muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, tales como: diseño asistido por ordenador, mecánica de máquinas, ampliación de ingeniería eléctrica, electrónica de potencia y fundamentos de ingeniería electrónica.

Conclusions

When we started this project we had set certain objectives, now that we have finished we can say that we have overcome them.

As far as the structure of our wind turbine is concerned, we have not only successfully completed the full design of a wind turbine for the student to have different types of blades which can make a study of them, but rather the multiplier itself and the gondolas have been designed to be changed to other pieces. The project not only provides complete information for the self-construction of two complete wind turbines (one with a multiplier and another without a multiplier), but also explains in detail the design and assembly processes, the difficulties encountered and the way to choose and adapt our proposal in each case concrete.

With respect to the electronic section, the development of two types of circuits has been tackled successfully (for continuous and alternate), based on enabling interesting teaching at the university level: the two circuits achieved their purpose, even to be implemented new designs.

- The DC circuit succeeded in achieving the objectives initially marked, such as the use of electricity for the formation of words in a screen (LCD). As an addition, the design of a voltage and current meter was included in this circuit.
- For the AC circuit it was possible to design a rectifier and an inverter, which work perfectly in very wide working ranges and at a stable frequency.

Possible improvements or future extensions of the project could be, for example, a speedometer that can be incorporated to our wind turbine for the speed of turn of the blades and show it by LCD or implement an automatic blade guidance system.

On our opinion, we consider that this project has been a very enriching complement to finish with our degree studies as engineers. In it we have applied many of the knowledge acquired throughout the career, such as: computer-aided design, machine mechanics, extension of electrical engineering, power electronics and fundamentals of electronic engineering.

Bibliografía

- [1] *Generadores Asíncronos (o De Inducción)*, última asistencia junio de 2019. xn--drmstre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpowerweb/es/tour/wtrb/async.htm.
- [2] *Aerodinámica De Los Aerogeneradores: Pérdida De Sustentación y Resistencia, Aerodinámica*, última asistencia junio de 2019. xn--drmstre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpowerweb/es/tour/wtrb/stall.htm.
- [3] “Arduino LCD Tutorial: How To Connect an LCD to Arduino.” *HowToMechatronics*, 4 Aug. 2018, howtomechatronics.com/tutorials/arduino/lcd-tutorial/.
- [4] Cocktail. “Display De 7 Segmentos Ánodo y Cátodo.” *Curso Arduino Mega*, 1 Jan. 1970, cursoarduinomega.blogspot.com/2015/04/display-de-7-segmentos-anodo-y-catodo.html.
- [5] “Construya Un Inversor De Voltaje DC/AC De 300W.” *Video Rockola*, última asistencia junio de 2019. construyasuvideorockola.com/proyecto_inversor_tanque_01.php.
- [6] “DIY Inverter.” *Homemade Inverter DIY Arduino 555 Timer Circuit*, última asistencia junio de 2019. www.electrionoobs.com/eng_circuitos_tut14.php.
- [7] “Engranaje.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 28 June 2019, [es.wikipedia.org/wiki/Engranaje#Ejes_paralelos\[10\]](https://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje#Ejes_paralelos[10]).
- [8] “Fab Lab ULL: FabLabs.” *FabLabs.io - The Fab Lab Network*, última asistencia junio de 2019. www.fablabs.io/labs/fablabull.
- [9] “Historia De La Energía Eólica.” *Ekidom S.L. Energías Renovables En Bizkaia, Gipuzkoa y Alava* -, 9 Dec. 2013, www.ekidom.com/historia-de-la-energia-eolica.
- [10] “Historia De La Energía Eólica.” *Ekidom S.L. Energías Renovables En Bizkaia, Gipuzkoa y Alava* -, 9 Dec. 2013, www.ekidom.com/historia-de-la-energia-eolica.
- [11] Kolla, et al. “How To Make 12v DC to 220v AC Converter/Inverter Circuit Design?”

- Electronics Hub*, 25 Dec. 2017,
www.electronicshub.org/12v-dc-220v-ac-converter-circuit/.
- [12] “LCD Con Arduino Texto En Movimiento Paso a Paso.” *Programar Fácil Con Arduino*, 4 Mar. 2017,
programarfacil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/.
- [12] “Ley De Betz.” *Ley De Betz* ~, última asistencia junio de 2019.
ideasecundaria.blogspot.com/2011/06/ley-de-betz.html.
- [13] Matias. “Generadores Eléctricos Para Turbinas Eólicas.” *Textos Científicos*, 14 July 2014, www.textoscientificos.com/energia/eolica/generadores-electricos-turbinas.
- [14] Regidor, Antonio. “¿Qué Es Un Archivo .STL?” *impresion3daily.Es*, 28 Nov. 2016,
www.impresion3daily.es/que-es-un-archivo-stl/.
- [15] “SOLIDWORKS - Qué Es y Para Qué Sirve.” , última asistencia junio de 2019. *SolidBI*,
solid-bi.es/solidworks/.
- [16] “Spanish Manuals.” *Prusa3D*, última asistencia junio de 2019.
manual.prusa3d.com/c/Spanish_manuals.
- [17] Suárez, Pedro. “PALA DE AEROGENERADOR DIVIDIDA EN TRAMOS Y PROCESO DE FABRICACION...” *Inventos Patentados En España.*, Patentados.com, 17 May 2011, patentados.com/2011/pala-de-aerogenerador-dividida-en-tramos.
- [18] “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR DE USO PEDAGÓGICO”, última asistencia junio de 2019.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78054/MEMORIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Listado de Figuras

- Figura 1: Evolución en el tiempo de los aerogeneradores
- Figura 2: Molino de viento antiguo
- Figura 3: Generador de Kelvin
- Figura 4: Turbina de Charles con 144 aspas
- Figura 5: Instituto Folk de Askov en 1897 en el instituto de Askov Folk,
- Figura 6: Dos de los aerogeneradores de prueba de Court en 1897 en el instituto de Askov Folk, Askov (Dinamarca),
- Figura 7: Turbina de Juul, instalada en Gedser, pueblecito de la costa sur oriental de Dinamarca
- Figura 8: Aerogenerador Smith putman
- Figura 9: Crecimiento del uso de la energía eólica a nivel mundial de 1996 a 2016.
- Figura 10: Aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus en la Antártida junto a un ejemplo de aerogenerador de eje horizontal común.
- Figura 11: Relación entre potencia suministrada y tamaño del aerogenerador
- Figura 12: Cambios de presión y velocidad provocados por el efecto Venturi a lo largo de la sección de un aspa.
- Figura 13: Aerogenerador de eje horizontal y sus partes
- Figura 14: Prototipo de Buje 1
- Figura 15: Prototipo de Buje 2
- Figura 16: Prototipo de Buje 3
- Figura 17: Prototipo de Buje 3 con capacidad para cuatro aspas
- Figura 18: Vista trasera del prototipo de buje 3 en sus dos variantes
- Figura 19: Prototipo de Aspa 1
- Figura 20: Prototipo de Aspa 2
- Figura 21: Prototipo de Aspa 3
- Figura 22: Prototipo de Aspa 4
- Figura 23: Par de engranajes de relaciones tres y cinco respectivamente
- Figura 24: Tren de engranajes con una relación de velocidades de quince
- Figura 25: Prototipo de ejes epicicloidales o ejes planetarios
- Figura 26: Prototipo góndola
- Figura 27: Prototipo góndola seccionado
- Figura 28: Prototipo de Torre 1
- Figura 29: Prototipo de Torre 2
- Figura 30: Impresora Prusa I3 imprimiendo algunos de nuestros prototipos
- Figura 31: Resultado de la impresión de los prototipos de aspa 1 y 2 respectivamente
- Figura 32: Resultado de la impresión de los prototipos de aspa 3 y 4 respectivamente
- Figura 33: Resultado de la impresión de los prototipos de buje 3 con dos tamaños distintos
- Figura 34: Resultado de la impresión de los prototipos de trenes de engranajes
- Figura 35: Ejemplos de manguito roscado y varilla roscada hueca
- Figura 36: Simulación en SolidWorks del acoplamiento aspa-buje mediante manguito y varilla roscada.
- Figura 37: Render manguito y varilla hueca roscada

- Figura 38: Aspa 1
- Figura 39: Aspa 2
- Figura 40: Aspa 3
- Figura 41: Aspa 4
- Figura 42: Ensamblaje aspa 4, imitación de un ventilador convencional
- Figura 43: Sistema de ejes epicicloidales compuesto
- Figura 44: Multiplicadora de ejes epicicloidales compuesta. Diseño final
- Figura 45: Góndola generador DC
- Figura 46: Góndola generador DC seccionada
- Figura 47: Ensamblaje góndola con multiplicadora para generador DC de mayor tamaño
- Figura 48: Ensamblaje góndola con multiplicadora para generador DC de menor tamaño
- Figura 49: Góndola generador AC
- Figura 50: Góndola generador AC seccionada
- Figura 51: Ensamblaje góndola AC con motor y adaptador
- Figura 52: Torre, diseño final
- Figura 53: Simulación ensamblaje completo generador DC con aspas 1 y buje de 3 aspas
- Figura 54: Simulación ensamblaje completo generador AC con aspas 2 y buje de 4 aspas
- Figura 55: Render del montaje final de los dos modelos escogidos para realizar las pruebas
- Figura 56: FabLab de la ULL y el modelo de impresora del que disponen
- Figura 57: Resultado de la impresión del aspa 1 y 2 más los bujes
- Figura 58: Resultado de la impresión de las piezas de la multiplicadora (montada y sin montar respectivamente)
- Figura 59: Resultado de la impresión de la góndola de continua para el motor pequeño y la góndola de alterna.
- Figura 60: Resultado de la impresión de la torre
- Figura 61: Montaje de los dos modelos de aspas-buje con los que vamos a medir
- Figura 62: Comparativa de la calidad de la impresión de los prototipos de aspas con dos de las aspas definitivas
- Figura 63: Comparativa bujes
- Figura 64: Aerogenerador con un generador DC
- Figura 65: Máquinas eléctricas
- Figura 66: Colector de delgas + escobillas
- Figura 67: Conmutación de la señal
- Figura 68: Mejora de la rectificación
- Figura 69: Rotor de jaula de ardilla
- Figura 70: Generador síncrono con imanes permanentes
- Figura 71: Montaje con leds DC con fuente ejemplo de 18 V y simulación Arduino
- Figura 72: Pantalla LCD
- Figura 73: Esquema físico circuito LCD con Arduino
- Figura 74: Esquema divisor de tensión para multímetro
- Figura 75: Uso de leds para crear palabras
- Figura 76: Uso de pantalla LCD para formas palabras
- Figura 77: Multímetro simulación de una pila de 9V
- Figura 78: Motor DC
- Figura 79: Generador DC

- Figura 80: Prueba motor DC
- Figura 81: Gráfica comparativa máquinas DC
- Figura 82: Circuito equivalente motor DC funcionando como generador
- Figura 83: Circuito equivalente generador DC
- Figura 84: Circuito rectificador
- Figura 85: Primer Circuito inversor
- Figura 86: Señal de salida del circuito
- Figura 87: Oscilaciones al conmutar
- Figura 88: Segundo circuito inversor (incluye el rectificador)
- Figura 89: Señal de salida del circuito con el integrado 555
- Figura 90: Tercer circuito inversor (incluye el rectificador)
- Figura 91: Señal de salida del circuito con Arduino
- Figura 92: Circuito AC completo
- Figura 93: Resultado de la prueba con la toma de corriente
- Figura 94: Problema picos de tensión
- Figura 95: Señal sin picos de tensión pero con variaciones de cuadrada a senoidal
- Figura 96: Prueba con un generador de señales
- Figura 97: Valor de corriente elevada en el circuito
- Figura 98: Circuito con circuitos independientes
- Figura 99: Circuito de solución a la potencia terminado
- Figura 100: Primera señal sin condensador. Segunda señal con condensador.
- Figura 101: Multímetros mostrando los valores de corriente y voltaje
- Figura 102: Oscilación a una escala de tiempo alta
- Figura 103: Señal de salida con voltímetro añadido
- Figura 104: Señales de salida a diferente escala con el voltímetro añadido
- Figura 105: Comparativa señal de entrada y de salida
- Figura 106: Gráfica comparativa de voltaje salida - entrada
- Figura 107: Motor 1
- Figura 108: Motor 2
- Figura 109: Generador AC síncrono
- Figura 110: Vista de los polos del generador AC
- Figura 111: Circuito equivalente generador AC
- Figura 112: Motor DC con aspa de molino
- Figura 113: Motor DC con aspas 1
- Figura 114: Generador DC con aspa de molino
- Figura 115: Generador DC con aspas 1
- Figura 116: Generador AC con aspas de molino
- Figura 117: Generador AC con aspas 1
- Figura 118: Vista frontal aspas molino
- Figura 119: : Vista lateral con aspas molino
- Figura 120: Vista de planta con aspas molino
- Figura 121: Vista frontal con aspas 1
- Figura 122: Vista de planta con aspas 1
- Figura 123: Vista frontal aspas molino
- Figura 124: Vista lateral aspas molino

Figura 125: Vista de planta aspas molino

Figura 126: Vista frontal aspas 1

Figura 127: Vista lateral aspas 1

Figura 128: Vista de planta aspas 1

Listado de Tablas

- Tabla 1: Partes de un aerogenerador horizontal
- Tabla 2: Resultado del ensayo en vacío del montaje uno
- Tabla 3: Resultado del ensayo en vacío del montaje dos
- Tabla 4: Comparación resultados del ensayo en vacío
- Tabla 5: comparación de velocidad - voltaje generado
- Tabla 6: Límites de funcionamiento de frecuencia
- Tabla 7: Tabla comparativa de voltaje entrada - salida
- Tabla 8: Límites de funcionamiento de voltaje
- Tabla 9: Voltaje del motor DC con aspas de molino
- Tabla 10: Voltaje del motor DC con aspas 1
- Tabla 11: Voltaje del generador DC con aspas de molino
- Tabla 12: Voltaje del generador DC con aspas 1
- Tabla 13: Voltaje y frecuencia del Generador AC con aspas de molino
- Tabla 14: Voltaje y frecuencia del Generador AC con aspas 1
- Tabla 15: Presupuesto de las impresiones necesarias en caso de autofabricación
- Tabla 16: Presupuesto material añadido no imprimible para la realización del montaje
- Tabla 17: Presupuesto mano de obra parte estructural
- Tabla 18: Presupuesto de los componentes electrónicos empleados
- Tabla 19: Presupuesto mano de obra parte eléctrica/electrónica
- Tabla 20: Presupuesto total del proyecto teniendo en consideración la mano de obra

Lista de Softwares Utilizado

- Multisim de National Instruments.
- Google Docs.
- Microsoft Office Excel.
- Arduino.
- Solidwork 2017.
- Ultimaker Cura.

ANEXO I: Manual de instrucciones para impresión 3D

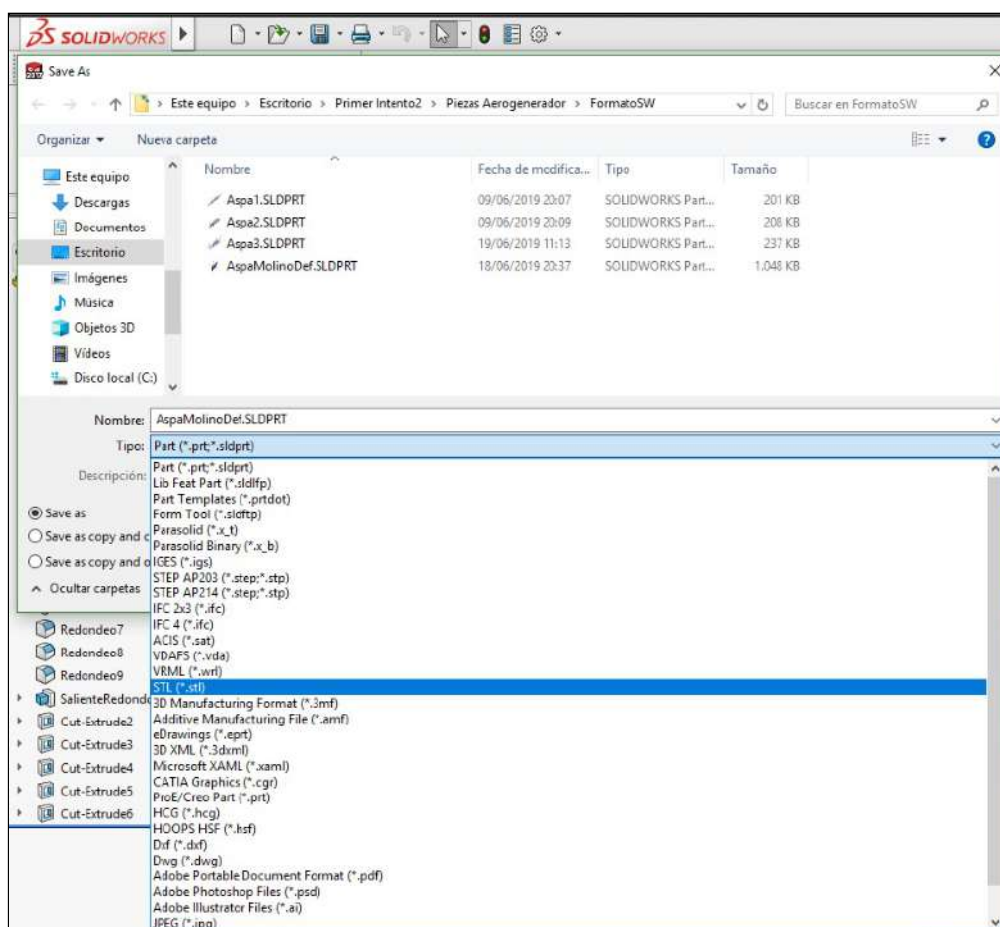
En este anexo haremos mención a varios de los conceptos básicos necesarios para que podamos realizar nuestra propia impresión, o bien a partiendo de un programa CAD 3D (diseño asistido por computadora) como SolidWorks, o bien partiendo de un archivo .STL.

Recordamos al usuario, que todas las piezas presentadas como definitivas dentro de este proyecto, las pueden descargar fácilmente en formato .STL desde el siguiente enlace:

[Piezas Aerogenerador en .STL](#)

A 1.1 Generación Gcode para impresión 3D

Todos los diseños estructurales realizados en este trabajo han sido creados en su totalidad mediante SolidWorks. Este programa, al igual que cualquier otro software de diseño CAD 3D nos da la opción de guardar nuestros modelos en formato .STL. Aunque, por defecto, las piezas de este programa se guardan en un formato propio del SolidWorks denominado .SLDPRT .

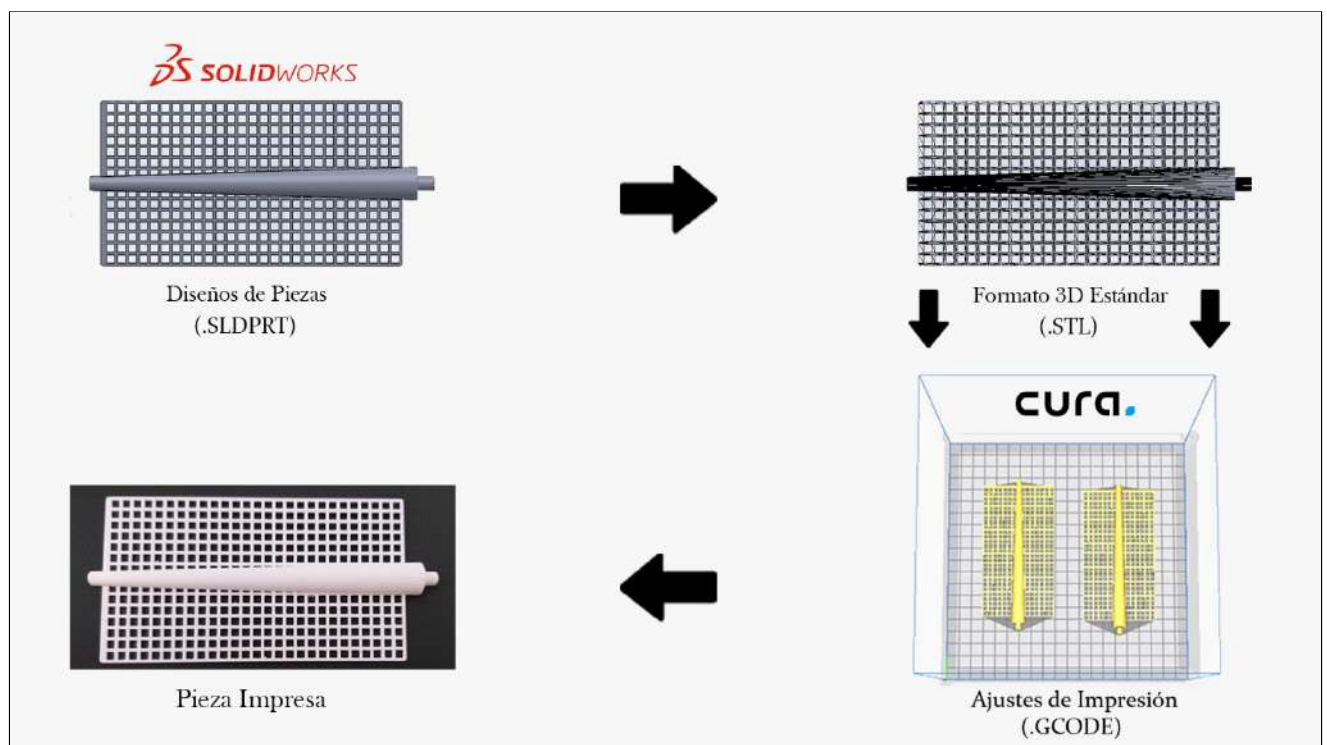


Guardar archivos en .STL desde SolidWorks

Una vez generado la pieza en **.STL** ya podemos llevarla al siguiente programa que nos genere el formato necesario para que nuestra impresora lo lea y pueda imprimir, este formato es el **.GCODE** o, si queremos ser más precavidos, podemos pasarla por un programa intermedio que se encarga de buscar errores estructurales en la pieza y repararlos.

El formato **.STL** es el único tipo de archivo que puede ser leído por prácticamente todos los software de CAD 3D. Esta extensión convierte la pieza 3D en una malla de triángulos, esto no quiere decir que aunque estos programas puedan reconocer el formato, el archivo pueda ser editado por los mismos, solo puede ser editado por aquellos softwares que dispongan de un editor de mallas. Si queremos comprobar que esta malla está correcta y no tiene ninguna cara dañada disponemos de un editor llamado Netfabb que se encarga específicamente de analizar y reparar los posibles errores que pueda tener nuestra malla.

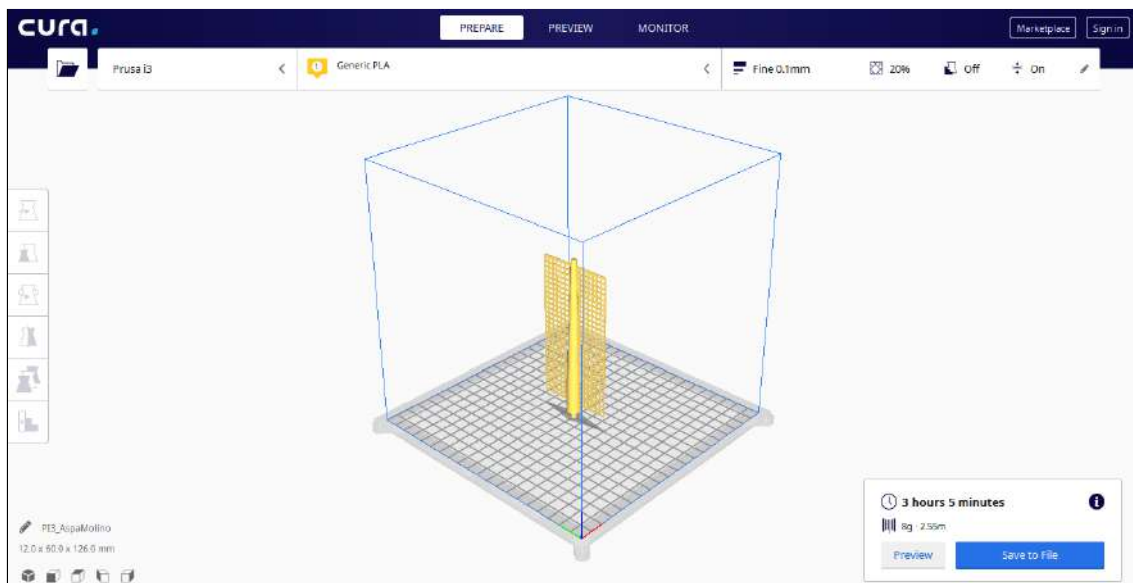
Ya una vez que tenemos nuestras las piezas listas para imprimir y con su extensión **.STL** solo nos queda pasarlas a **.GCODE** antes de mandarlas a la impresora. Para ello también disponemos de diferentes softwares gratuitos como es el Ultimaker Cura que hemos utilizado nosotros. Estos programas básicamente se encargan de planificar la colocación de las piezas su orientación y posición deseadas sobre la mesa de trabajo de nuestra impresora. Además nos permiten decidir la resolución a la que se imprimirán las mismas, el relleno que se les dará y el tipo de soporte que llevarán.



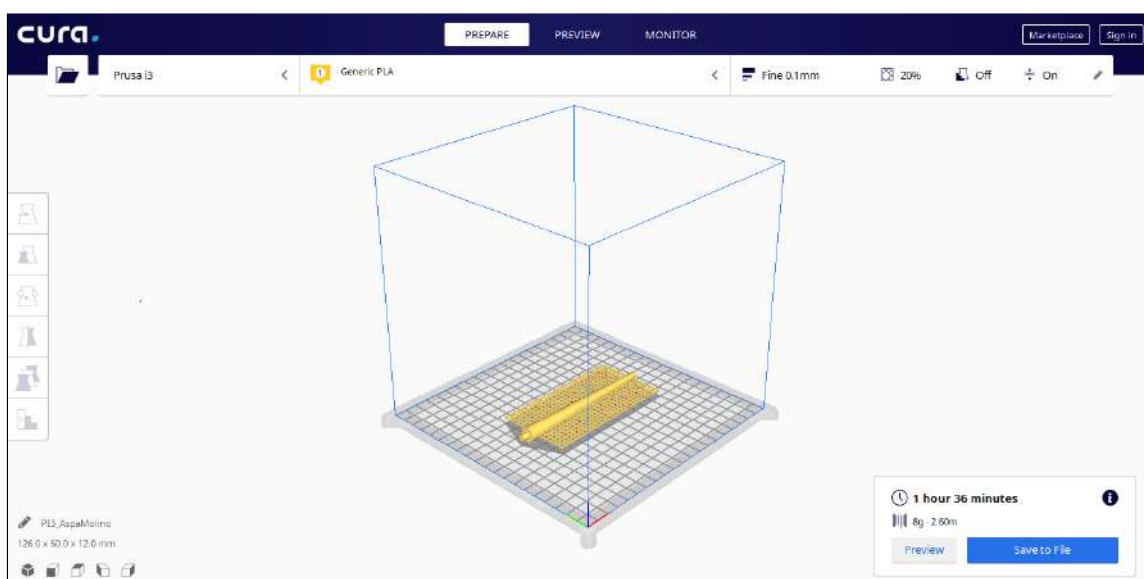
Pasos a seguir desde la obtención de la pieza hasta su impresión

A 1.2 Colocación Óptima de las Piezas a la Hora de Imprimir

Para facilitar la impresión de las piezas, por lo general, siempre es conveniente colocar nuestras piezas de tal forma que se establezca la mayor superficie de contacto posible entre pieza y cama de la impresora. En el siguiente ejemplo, hemos cogido nuestra pieza aspa molino y la hemos colocado inicialmente en vertical (una superficie muy poco favorable pues la única superficie de contacto es la base de mi aspa, un círculo de diámetro 5 mm) y posteriormente la hemos girado 90° colocándola horizontalmente y aumentando en gran medida la superficie de contacto. En todo momento usando las mismas características de impresión, vemos que el tiempo se reduce a la mitad pasando de 3h 5 min a 1h 36 min.



Pieza colocada en la posición por defecto, poco óptima



Pieza rotada 90°, estando en esta posición el tiempo de impresión se ha reducido a la mitad

A 1.2 Problemas de Impresión

Desgraciadamente, a pesar de ser piezas impresas a resoluciones superiores, hemos tenido bastantes problemas con las impresiones realizadas. Y es que a pesar de que todas las medidas estén correctas y en los ensamblajes realizados en SolidWorks, los cuales hemos ido mostrando a lo largo de la memoria, las piezas encajen perfectamente, al imprimir siempre hay un margen de error. Este margen depende de varios factores tales como el tipo de impresora, el material de impresión utilizado y el hecho de que la impresora esté bien calibrada. A continuación mostraremos algunos de los mayores problemas que hemos encontrado.

En primer lugar la torre y las góndolas no enroscaban como debían. Para estas piezas se requiere de una impresión muy precisa, puesto que el interior de la rosca de las góndolas mide 25 mm de diámetro al igual que el diámetro externo de la torre, provocando que el margen de error sea nulo. En las siguientes fotografías se aprecia que en la rosca externa las medidas prácticamente coinciden, pero en la rosca interna de la góndola, sin embargo, el error es de 0.59 mm de diámetro de menos. Esto impide que la torre pueda ser introducida en la góndola y quede enroscada.



Medidas de los diámetros de la góndola

En la siguiente imagen se puede apreciar mejor el problema, la góndola tiene una medida inferior a la diseñada y por ello la torre no puede ser introducida en su interior:



Problema de acoplamiento torre-góndola debido a imprecisión de las impresiones

Para poder solventar este problema y poder realizar el montaje del aerogenerador, la única opción viable fue limar la rosca externa de la torre, el problema es que esta fue diseñada con un espesor de tan solo 5 mm para evitar gastos de material. El limarla provocó que la torre quedara con superficies en las que apenas quedaba material tal y como se muestra en la figura **56**.



Extremo libre de la torre dañado tras ser pulido

Una vez que pulimos la torre todo lo que se pudo, logramos que al menos la góndolas roscaran casi una vuelta completa (de las dos vueltas para las que fueron diseñadas).



Góndola semi-roscada en la torre

Sin embargo, el mayor problema que nos encontramos fue en la multiplicadora. En las piezas y los ejes de la misma, al tener un tamaño tan reducido, cualquier pequeño error en la medida impide su correcto ensamblaje. Y ese fue lo que nos ocurrió, un ejemplo de ello son las piezas que mostramos a continuación, estas se corresponden con los engranajes que hemos denominado satélites, el diámetro interior de los mismos debía ser de 3 mm, pero al imprimirse quedó con una longitud menor, en la siguiente figura se muestra a la derecha el resultado de la impresión, y a la izquierda, la misma pieza tras ser limada por nosotros para poder conseguir el diámetro deseado.



Engranajes satélite de la multiplicadora

Aquí vemos una imagen de un subconjunto de la multiplicadora montado, todos los satélites colocados en el mismo han tenido que ser limados.



Subconjunto de la multiplicadora ensamblado tras corregir algunos errores de impresión

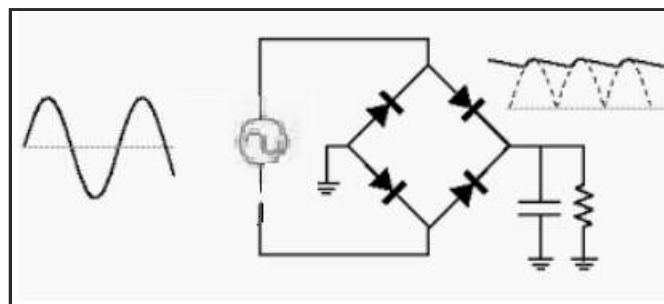
No obstante, esto no fue suficiente para corregir los problemas de impresión, el engranaje central y el anillo exterior también tienen pequeños errores de medida que evitan que nuestro brazo pueda girar entorno al eje, la presión que se crea al montar el conjunto hace que el par mecánico necesario para girar sea excesivamente grande para nuestro aerogenerador. Este no es un problema que se pueda solucionar con un retoque en las medidas, pues los engranajes de dientes rectos, como los que forman nuestro conjunto, precisan de dos valores para ser diseñados, módulo y número de dientes, y ninguno de estos puede ser modificado para suplir posibles errores de impresión.

Como conclusión a este tipo de problemas, queremos señalar que, dada la precisión de las piezas, es importante utilizar una impresora de calidad suficiente, y además garantizar que la impresora se encuentre bien calibrada.

ANEXO II: Información electrónica y eléctrica

En este anexo se presentan los diferentes tipos de circuitos de corriente alterna, el diseño del rectificador, una explicación a las oscilaciones generadas en los circuitos inversores y los códigos de Arduino utilizados. Todos los circuitos inversores aquí presentados están también disponibles online²⁶.

A 2.1 Diseño Rectificador Onda Completa



El circuito es un rectificador de RC de onda completa pues requerimos de una señal lo más continua para poder realizar adecuadamente la conversión de corriente continua a corriente alterna.

El circuito está diseñado para tener como máximo 15 mV de rizado y con un voltaje mínimo 8 Vp para poder entregar 6 Vdc. Hay que tener en cuenta que está diseñado por separado del circuito inversor y por tanto los cálculos variarán al conectarlo al otro circuito.

Los cálculos son los siguientes:

$$\Delta V \text{ (rizado)} < 10 \text{ mV o } 15 \text{ mV}$$

Fijamos en 8 Vp de entrada para poder calcular el voltaje de continua generado. Para ello usamos la siguiente ecuación:

$$V_{dc} = V_p - 2V_\gamma - \frac{V_r}{2}$$

Donde V_γ es el voltaje máximo de los umbrales de los diodos colocados, V_p es el voltaje pico de la señal de entrada, V_{dc} el voltaje de corriente continua obtenida y V_r es el voltaje pico del rizado.

Suponiendo un $V_\gamma = 1\text{V}$ (máximo) podemos concluir que **$V_{dc} = 6\text{ V}$** .

Con esto podemos calcular el condensador y resistencia necesarios para la rectificación para ello usamos la siguiente ecuación:

²⁶ Ver referencias [5], [6] y [11].

$$V_r = \frac{V_{dc}}{2 * f * C * R}$$

Puesto que ya tenemos Vdc tenemos que fijar un rango de frecuencia (de 50 Hz y 200 Hz) y una de las dos variables restantes: la resistencia o el condensador. En este caso, se ha preferido fijar el condensador con un valor de **C = 470 uF**. Como tenemos dos valores de rizado 10 y 15 mV y dos valores de frecuencia se ha calculado para cada valor una resistencia máxima:

- Con 10 mV y 50 Hz: $R > 12.8 \text{ K}\Omega$
- Con 10 mV y 200 Hz: $R > 3.2 \text{ K}\Omega$
- Con 15 mV y 50 Hz: $R > 8.5 \text{ K}\Omega$
- Con 15 mV y 200 Hz: $R > 2.12 \text{ K}\Omega$

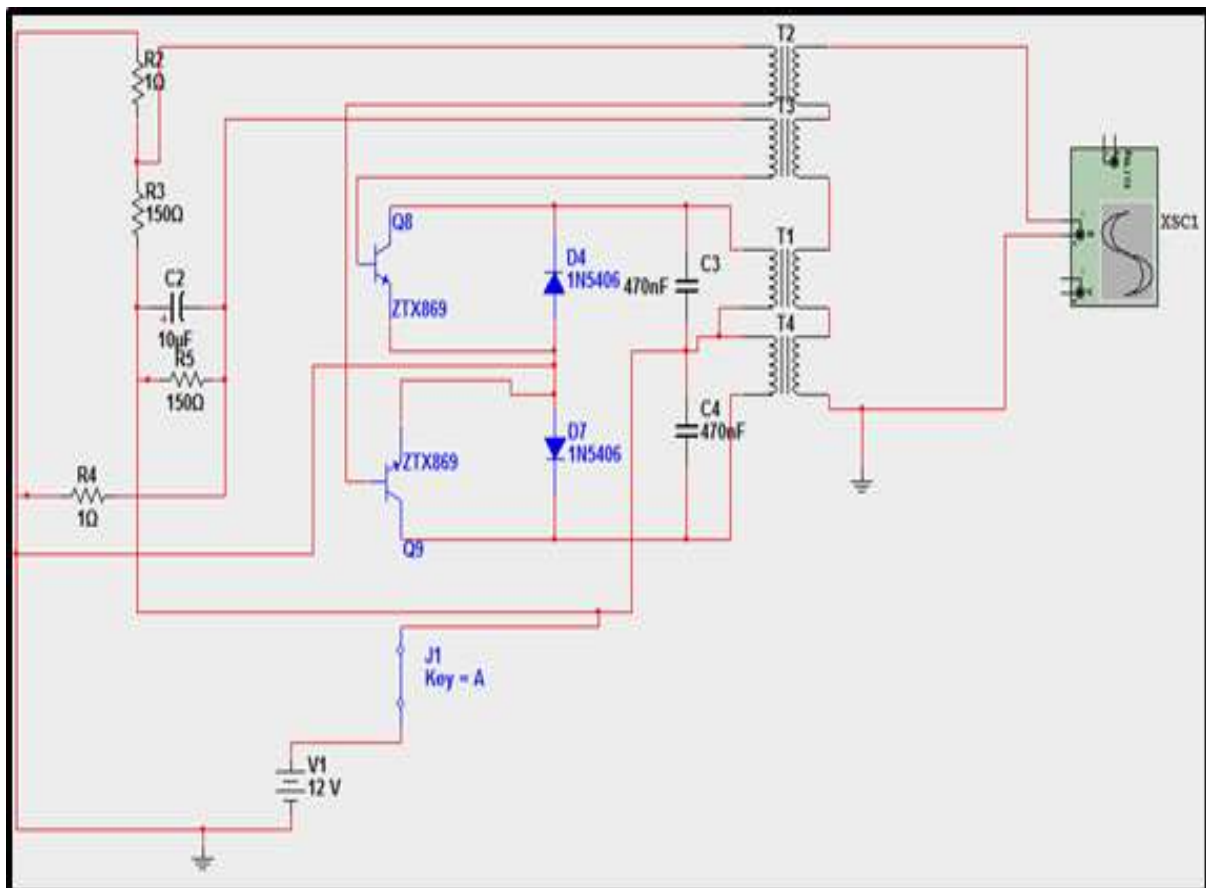
Dado estos valores, se ha decidido usar una resistencia de valor **R = 10 KΩ** con un **rizado máximo de 15 mV**. Esto es así pues no hay mucha diferencia con el rizado de 10 mV y así evitamos usar una carga muy grande pues si escogemos el caso de 10 mV tendríamos que usar una resistencia superior a 12.8 KΩ.

En definitiva, el circuito está diseñado para dar como mínimo 6 Vdc a partir de 8 Vp. Esto es así pues en principio se pensó en alimentar al Arduino y a los mosfet mediante el rectificador, pero debido a que los mosfet no saturaban a ese voltaje se descartó este método. Por ello el voltaje mínimo se reduce a 2 Vpp como se mencionó en el capítulo 5.

A 2.2 Circuitos Inversores

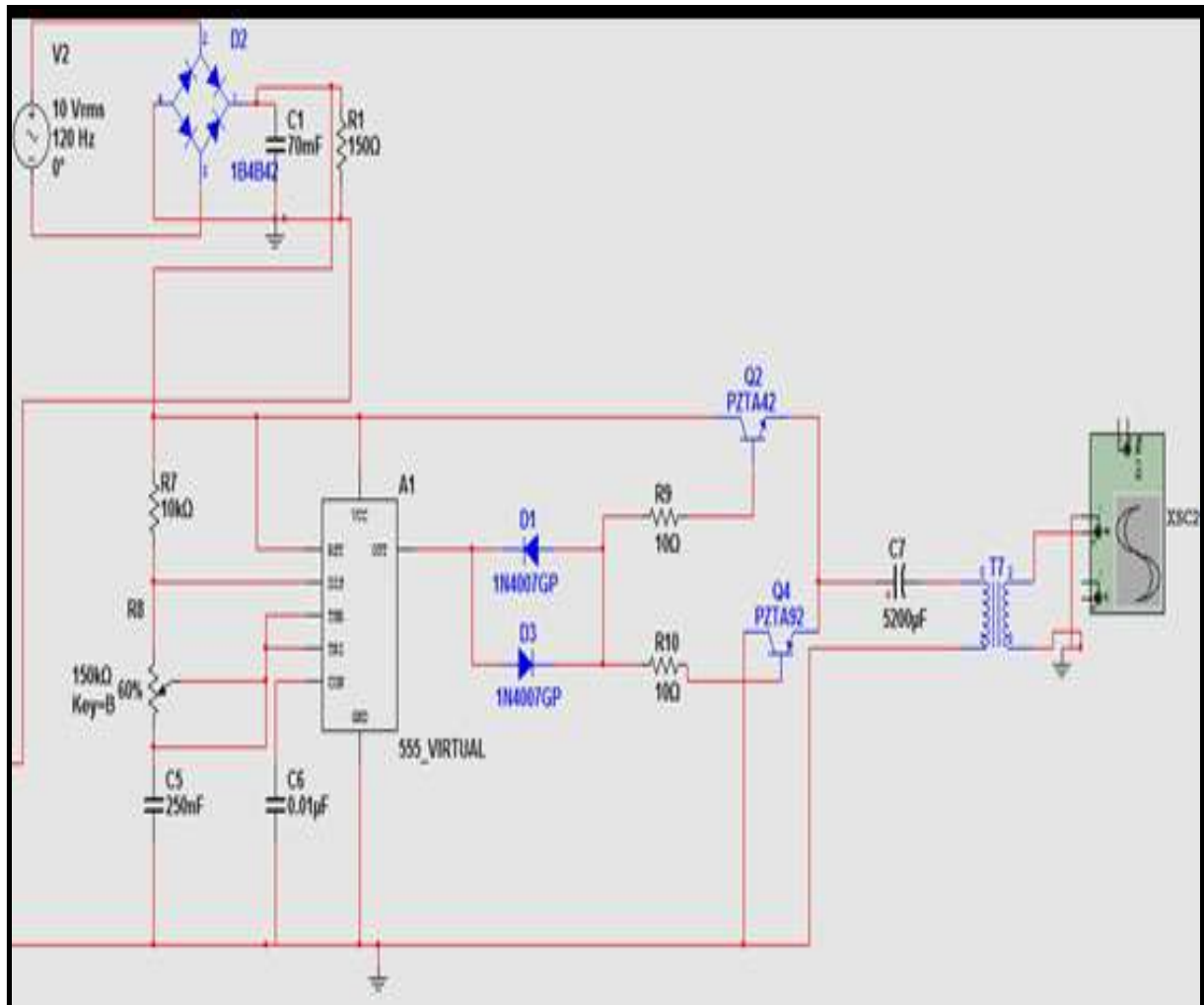
1. Primer circuito: el cual genera una señal senoidal con muy alta frecuencia y poco voltaje. Muy exigente en voltaje y frecuencia (Ver capítulo 5).

❑ Valores de resistencias utilizados y condensadores utilizados: 1Ω , 150Ω y 470nF .



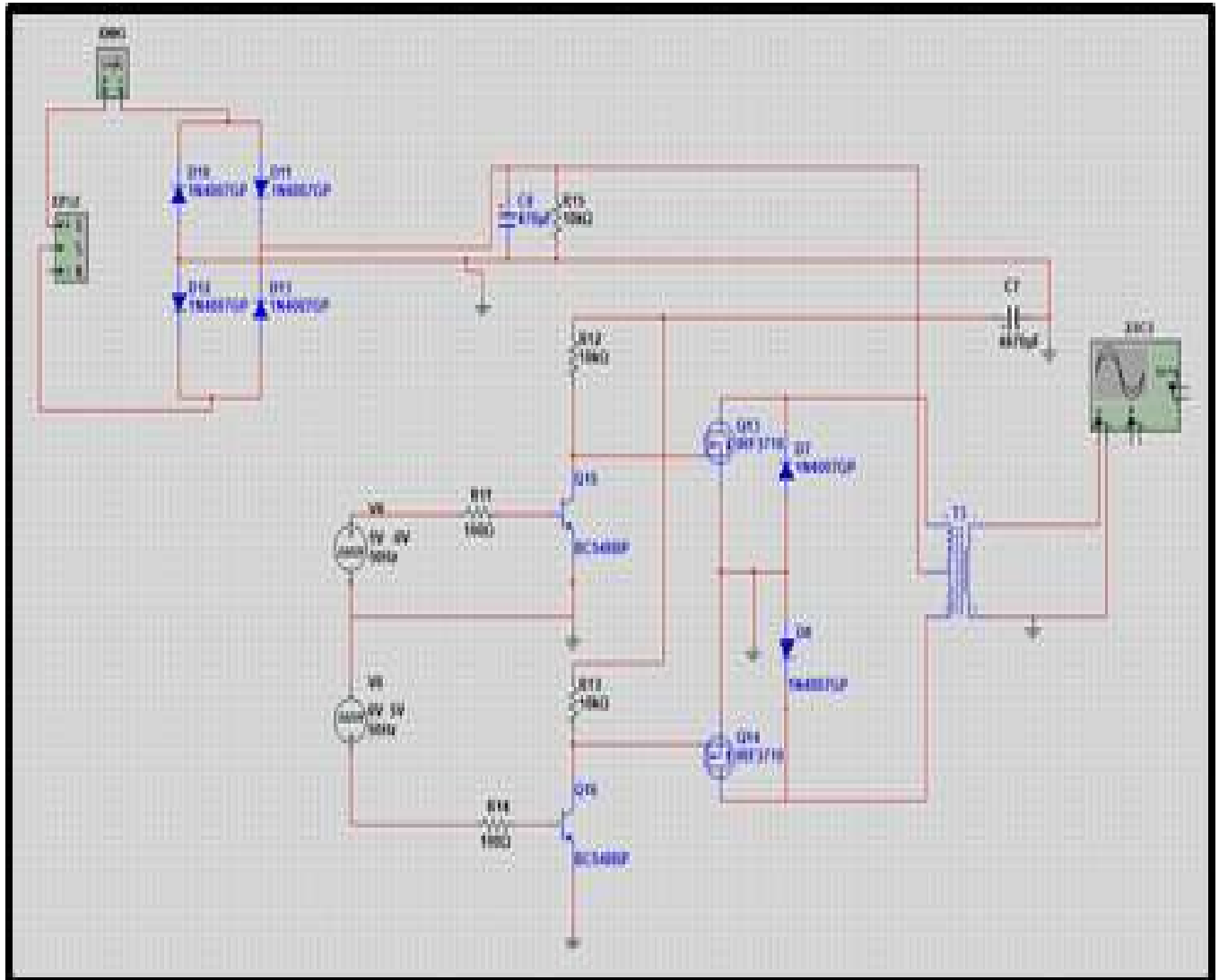
2. Segundo circuito: usa un circuito integrado 555 para generar las pulsaciones. Incluye rectificador.

- ❑ Valores de resistencias utilizados y condensadores utilizados en la simulación: 10Ω , potenciómetro de $150\text{ k}\Omega$, 250 nF , $0.01\text{ }\mu\text{F}$ y $5200\text{ }\mu\text{F}$.

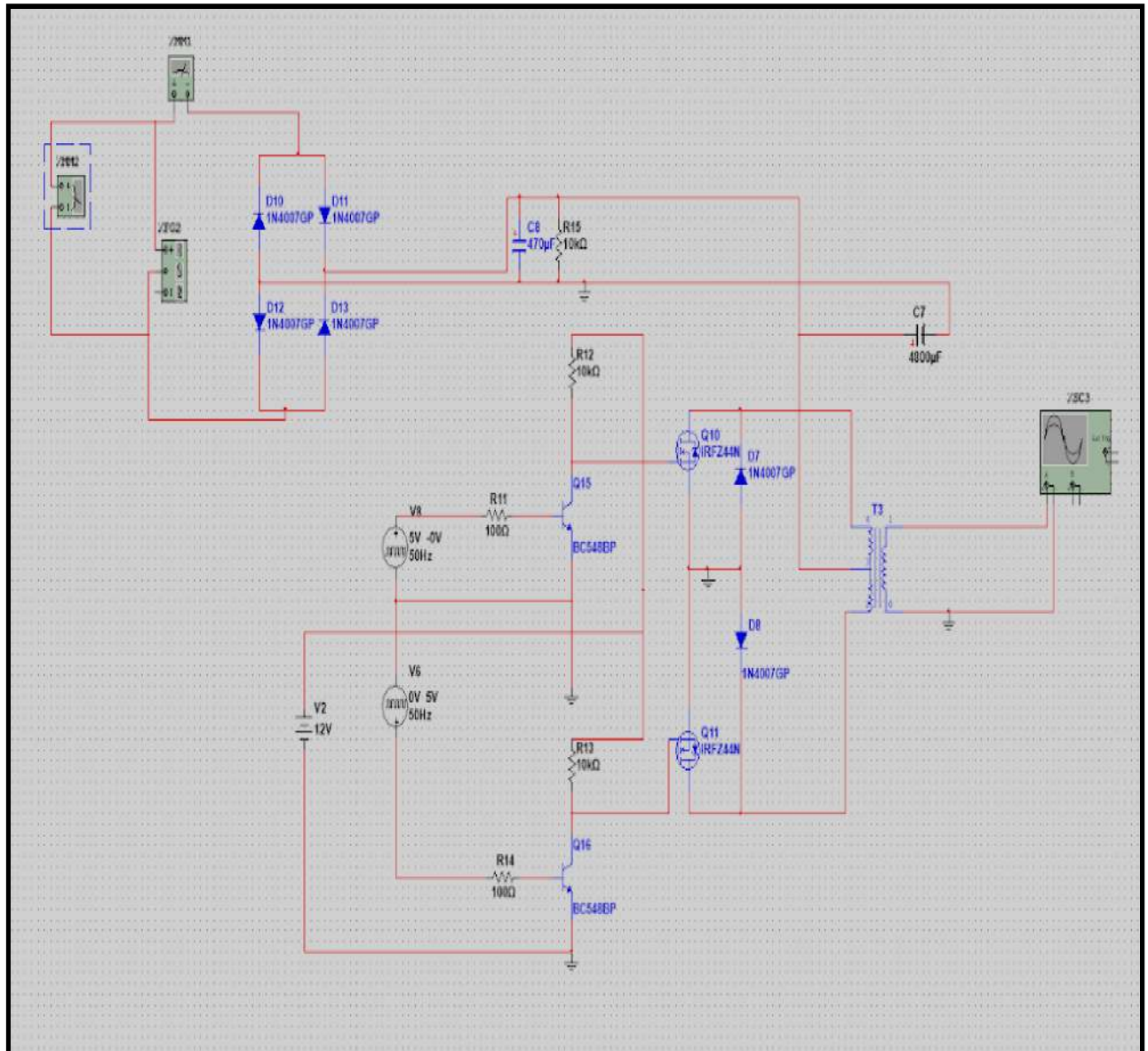


3. Circuito con un Arduino para generar los pulsos: simulado en este caso con fuentes de tensión. Incluye rectificador.

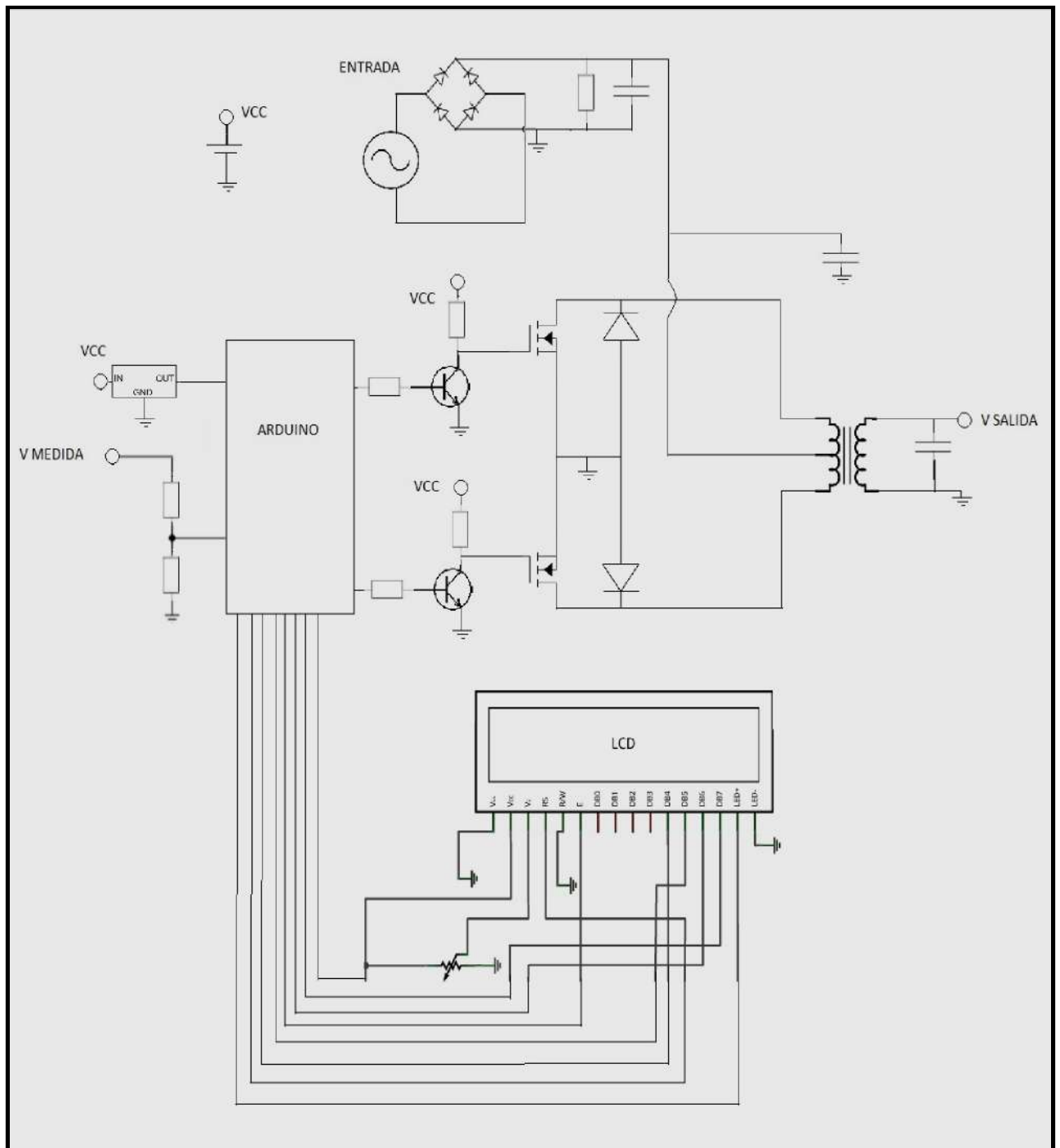
- ❑ Valores de resistencias utilizados y condensadores utilizados en la simulación: 100Ω, 10KΩ, potenciómetro de 150 kΩ, 250 nF y 4700 uF. Los diodos y los transistores utilizados se encuentran en el Anexo III: hoja de características.



4. Circuito con un Arduino: problema de potencia solucionado. No contiene la pantalla LCD ni el condensador a la salida del transformador. Mismos valores de resistencias y condensadores que el anterior.



5. Circuito completo con pantalla LCD. Es un esquema eléctrico del diseño final con los valores del tercer circuito.



Todos estos circuitos no están diseñados desde cero pues lo que se buscaba era escoger de los ya diseñados el que mejor se nos adaptase a nuestras exigencias. Para ajustar los valores de los distintos componentes a nuestras necesidades se utilizó el programa de simulación Multisim de National Instruments²⁷.

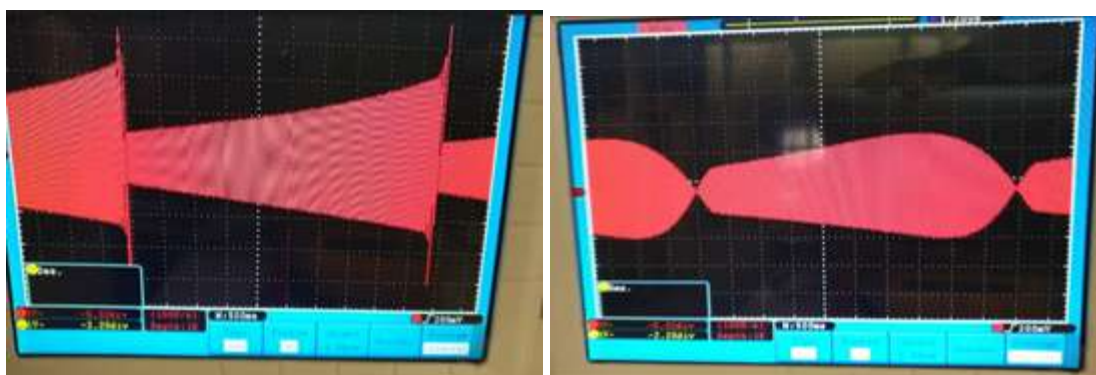
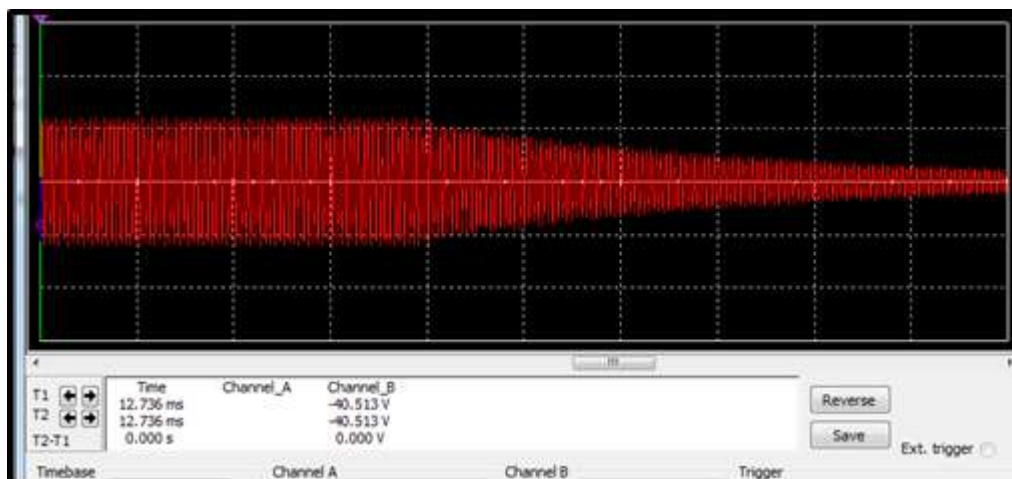
²⁷ <https://www.ni.com/es-es/shop/select/multisim>

El último circuito contiene un condensador de **680 nF** para poder eliminar picos muy grandes de tensión. Aunque, anteriormente el valor del condensador era de 10 uF se descartó pues, al resolver el problema de la potencia este valor cambió al ya mencionado. Para poder hallar este valor de condensador se desarrollaron diversas pruebas físicas hasta encontrar un valor el cual no reduzca mucho el voltaje a la salida y que no la deforme tampoco.

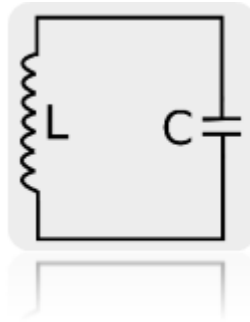
También hay cambio en las resistencias al Arduino al conectar la parte de voltímetro. Estas cambian a un valor de **1k Ω** pues con su anterior valor (100 Ω).

- Oscilaciones en los circuitos inversores

Durante las pruebas de los circuitos de corriente alterna surgieron problemas de oscilación de la señal a escalas de tiempo grandes debido a la carga y descarga de los condensadores en paralelo con las bobinas.



Todos estos fenómenos se deben al efecto de bobinas y condensadores en paralelo, comúnmente denominado “efecto tanque resonante”.

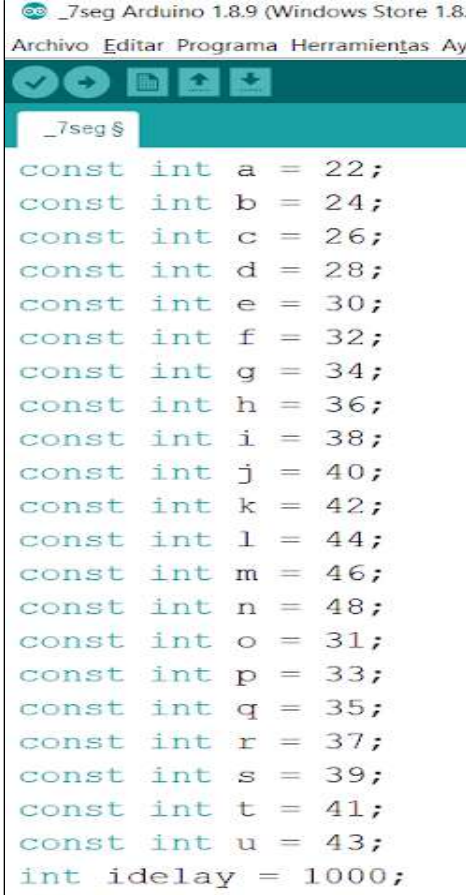


Este efecto se explica debido al almacenamiento de la carga eléctrica de los condensadores y al campo magnético de las bobinas. Debido a que están en paralelo, la energía almacenada del condensador para a almacenarse en la bobina en su campo magnético así sucesivamente hasta que perder toda la energía pues hay pérdidas en el circuito. Es por esto por lo que las oscilaciones que vemos caen en un punto determinado para luego volver a iniciar el ciclo. Esto en principio no es preocupante para nuestro proyecto pues este fenómeno se aprecia en una escala de tiempo grande (entorno a los 2 segundos) la cual no se usará.

A 2.3 Códigos Arduino

En este anexo se muestran los códigos de programación Arduino empleados durante las pruebas de los circuitos de corriente continua y alterna. Todos estos códigos se pueden descargar online aunque tienen modificaciones pues había que adaptarlos a nuestro proyecto. Estas modificaciones están incluidas en las siguientes imágenes.

1. **Asignación de la letra “ULL” en led de siete segmentos.** Código excesivamente largo y muy ineficiente debido a la cantidad de variables que se usan para solo formar una palabra.



```
_7seg Arduino 1.8.9 (Windows Store 1.8.9)
Archivo Editar Programa Herramientas Ay
>_7seg $
const int a = 22;
const int b = 24;
const int c = 26;
const int d = 28;
const int e = 30;
const int f = 32;
const int g = 34;
const int h = 36;
const int i = 38;
const int j = 40;
const int k = 42;
const int l = 44;
const int m = 46;
const int n = 48;
const int o = 31;
const int p = 33;
const int q = 35;
const int r = 37;
const int s = 39;
const int t = 41;
const int u = 43;
int idelay = 1000;
```

```
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
  pinMode(a, OUTPUT);  
  pinMode(b, OUTPUT);  
  pinMode(c, OUTPUT);  
  pinMode(d, OUTPUT);  
  pinMode(e, OUTPUT);  
  pinMode(f, OUTPUT);  
  pinMode(g, OUTPUT);  
  
  pinMode(h, OUTPUT);  
  pinMode(i, OUTPUT);  
  pinMode(j, OUTPUT);  
  pinMode(k, OUTPUT);  
  pinMode(l, OUTPUT);  
  pinMode(m, OUTPUT);  
  pinMode(n, OUTPUT);  
  
  pinMode(o, OUTPUT);  
  pinMode(p, OUTPUT);  
  pinMode(q, OUTPUT);  
  pinMode(r, OUTPUT);  
  pinMode(s, OUTPUT);  
  pinMode(t, OUTPUT);  
  pinMode(u, OUTPUT);  
}
```

```
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  //U  
  digitalWrite(a, LOW);  
  digitalWrite(b, HIGH);  
  digitalWrite(c, HIGH);  
  digitalWrite(d, HIGH);  
  digitalWrite(e, HIGH);  
  digitalWrite(f, HIGH);  
  digitalWrite(g, LOW);  
  delay(idelay);  
  //L  
  digitalWrite(h, LOW);  
  digitalWrite(i, LOW);  
  digitalWrite(j, LOW);  
  digitalWrite(k, HIGH);  
  digitalWrite(l, HIGH);  
  digitalWrite(m, HIGH);  
  digitalWrite(n, LOW);  
  delay(idelay);  
  //L  
  digitalWrite(o, LOW);  
  digitalWrite(p, LOW);  
  digitalWrite(q, LOW);  
  digitalWrite(r, HIGH);  
  digitalWrite(s, HIGH);  
  digitalWrite(t, HIGH);  
  digitalWrite(u, LOW);  
  delay(idelay);  
}
```

2. Palabras en movimiento: “ULL ELECTRÓNICA”.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#define VELOCIDAD 400 // Velocidad a la que se mueve el texto
LiquidCrystal lcd(1, 2, 4, 5, 6, 7);
String texto_fila = "ULL ELECTRONICA :>";
void setup() {
  lcd.begin(16,2); // Configuramos las filas y las columnas del LCD en este caso 16 columnas y 2 filas
}
void loop() {
  // Obtenemos el tamaño del texto
  int tam_texto=texto_fila.length();
  // Mostramos entrada texto por la izquierda
  for(int i=1; i>tam_texto ; i--)
  {
    String texto = texto_fila.substring(i-1);
    // Limpiamos pantalla
    lcd.clear();
    //Situamos el cursor
    lcd.setCursor(0, 0);
    // Escribimos el texto
    lcd.print(texto);
    // Esperamos
    delay(VELOCIDAD);
  }
  // Desplazamos el texto hacia la derecha, pero comenzando desde la posición 1.
  for(int i=1; i<=16;i++)
  {
    // Limpiamos pantalla
    lcd.clear();
    //Situamos el cursor
    lcd.setCursor(i, 0);
    // Escribimos el texto
    lcd.print(texto_fila);
    // Esperamos
    delay(VELOCIDAD);
  }
}
```

```

    // Limpiamos pantalla
    lcd.clear();
    //Situamos el cursor
    lcd.setCursor(i, 0);
    // Escribimos el texto
    lcd.print(texto_fila);
    // Esperamos
    delay(VELOCIDAD);
  }
  // Desplazamos el texto hacia la izquierda en la segunda fila
  for(int i=16;i>=1;i--)
  {
    // Limpiamos pantalla
    lcd.clear();
    //Situamos el cursor
    lcd.setCursor(i, 1);
    // Escribimos el texto
    lcd.print(texto_fila);
    // Esperamos
    delay(VELOCIDAD);
  }
  // Mostramos salida del texto por la izquierda
  for(int i=1; i<=tam_texto ; i++)
  {
    String texto = texto_fila.substring(i-1);
    // Limpiamos pantalla
    lcd.clear();
    //Situamos el cursor
    lcd.setCursor(0, 1);
    // Escribimos el texto
    lcd.print(texto);
    // Esperamos
    delay(VELOCIDAD);
  }
}

```

3. Pulsos para el control los mosfet

```

int pin2 = 2;//pin 2 de PWM
int pin5 = 5;
void setup() {
  pinMode(pin2, OUTPUT);
  pinMode(pin5, OUTPUT);
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(pin2, HIGH); // asigna el valor HIGH al pin
  digitalWrite(pin5, LOW); // asigna el valor LOW al pin
  delay(10); // espera 10ms
  digitalWrite(pin2, LOW); // asigna el valor LOW al pin
  digitalWrite(pin5, HIGH); // asigna el valor HIGH al pin
  delay(10); // espera 10ms
}

```


4. **Multímetro: voltaje e intensidad:** su usa un partidor de tensión (entrada analógica) para la lectura del valor del voltaje.

```
#include <LiquidCrystal.h> // includes the LiquidCrystal Library
LiquidCrystal lcd(1, 2, 4, 5, 6, 7); // Creates an LC object. Parameters: (rs, enable, d4, d5, d6, d7)
#define VELOCIDAD 1000
float v1 = 5;
float r2=1000; //1011000
float r1=9800;
void setup() {
  lcd.begin(16,2);
}
void loop() {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("ULL ELECTRONICA"); //
  //multimetro
  delay(1000); // 3 seconds delayu
  //lcd.clear(); // Clears the display
  float input, vout, vin, vin2 =0;//vin es el valor máximo del arduino que admite, 5v. Vout tension que queremos conocer
  for(int i=1; i<100; i++){
    input = analogRead(3);
    vout = (input*v1)/1023.0;//paso a valor digital.
    vin=vout/(r2/(r1+r2));//1/11=0.099999; calcula el valor de vin.
    vin2=vin2+vin;
  }
  vin = vin2 / 100;
  vin2 = 0;
  if(analogRead(3)>0){
    lcd.setCursor(2,1); // Sets the location at which subsequent text written to the LCD will be displayed
    lcd.print("Vin:");
    lcd.print(vin);
    lcd.print("v      ");
    delay(3000);
  }
}
```

```
else{
  lcd.setCursor(2,1); // Sets the location at which subsequent text written to the LCD will be displayed
  //delay(2000);
  lcd.print(" V:");
  lcd.print(vin2);
  lcd.print("v      ");
  delay(2000);
}
//amperimetro
float entrada=analogRead(3);
float in=entrada*(vin/1023)/r2;
if (analogRead(3)>0)
{
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print("I:");
  if (in>0.001)
  {
    lcd.print((in*1000));
    lcd.print("mA      ");
  }
  else
  {
    lcd.print((in*1000000));
    lcd.print("nA      ");
  }
}
else
{
  delay(2000);
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print(" I:");
  lcd.print(vin2);
  lcd.print("mA      ");
  delay(2000);
}
}
```


5. **Pulsos con voltímetro:** genera pulsos cuadrados de voltaje a la vez que muestra por pantalla la medida de voltaje que se desee.

```
#include <LiquidCrystal.h> // includes the LiquidCrystal Library
#include <pt.h>
#include <stdio.h>
const int rs = 1, en = 2, d4 = 4, d5 = 5, d6 =6, d7 = 7;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
struct pt hilo1;
struct pt hilo2;
int pin8 = 8;
int pin9 = 9;
void setup() {
  //hilos
  PT_INIT(&hilo1);
  PT_INIT(&hilo2);
}
void loop() {
  pulsos(&hilo1);
  static float v1 = 5;
  static float r2=1000; //1011000
  static float r1=9800;
  static float digi = 1023.0;
  static int cien = 100;
  multmetro(&hilo2, v1, r2, r1,digi,cien);
}
void pulsos(struct pt *pt) {
  PT_BEGIN(pt);
  static long t = 0;
  //PARA LOS PULSOS
  pinMode(pin8, OUTPUT);
  pinMode(pin9, OUTPUT);
  do{
    digitalWrite(pin8, HIGH); //""
    digitalWrite(pin9, LOW); //
    t = millis();
    PT_WAIT_WHILE(pt, (millis()-t)<10);
    t = millis();
```

```
    digitalWrite(pin8, LOW); //
    digitalWrite(pin9, HIGH); //
    //delay(10); // espera 10ms
    PT_WAIT_WHILE(pt, (millis()-t)<10);
  }while(true);
  PT_END(pt);
}
const int valor = 15;
void multmetro(struct pt *pt,float &v1,float &r2, float &r1,float &digi,int &cien){
  PT_BEGIN(pt);
  //PARA EL MULTIMETRO
  lcd.begin(16,2);
  //PARA EL MULTIMETRO
  static long t = 0;
  static float input, vout, vin, vin2 =0;//vin es el valor máximo del arduino que admite, 5v. Vout tension que queremos conocer
  while(valor == 15){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("ULL");

    //multimetro
    PT_WAIT_WHILE(pt, (millis()-t)<1000); //delay(1000); // 1 second "delay"

    for( int i=1; i<100; i++){
      input = analogRead(3);
      vout = (input*v1)/digi;//paso a valor digital.
      vin=vout/(r2/(r1+r2));//1/11=0.099999; calcula el valor de vin.
      vin2=vin2+vin;
    }
    vin = vin2 / cien;
    vin2 = 0;
    if(analogRead(3)>0){
      t = millis();
      lcd.setCursor(2,1); // Sets the location at which subsequent text written to the LCD will be displayed
      lcd.print("Vin:");
      lcd.print(vin);
      lcd.print("v ");
    }
  }
}
```

```
PT_WAIT_WHILE(pt, (millis()-t)<3000); // delay(3000);  
}  
else{  
  t = millis();  
  lcd.setCursor(2,1); // Sets the location at which subsequent text written to the LCD will be displayed  
  //delay(2000);  
  lcd.print(" V:");  
  lcd.print(vin2);  
  lcd.print("v      ");  
  PT_WAIT_WHILE(pt, (millis()-t)<2000); //delay(2000);  
}  
}  
PT_END(pt);  
}
```

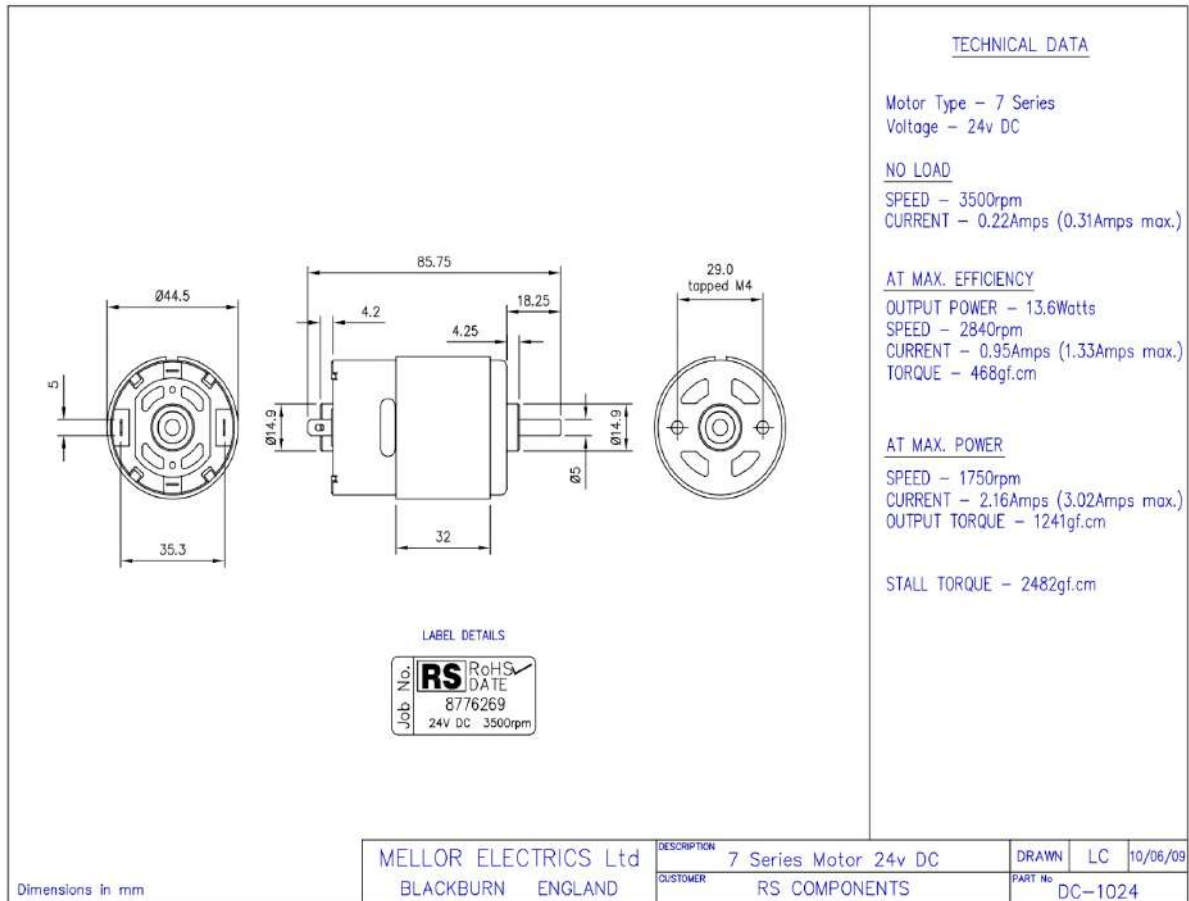
ANEXO III: Hojas de especificaciones y componentes electrónicos

En las siguientes páginas se encuentra un índice de los datasheet (hoja de especificaciones) de los componentes usados así como una lista de los componentes electrónicos utilizados.

- Motor de corriente continua²⁸: libre elección por el usuario. Nuestro caso RoHS 877-6269
- Motor de corriente alterna: libre elección por el usuario. Nuestro caso Mellor Electric AC1002
- Diodos (1N4007)
- Transistores BJT (BC548B)
- Transistores MOSFET (IRFZ44N y IRF3710)
- Pantalla LCD (16x2)
- Regulador de tensión (L78S09CV)
- Transformador TAP: libre elección por el usuario
- Resistencias: 100 Ω , 1k Ω , 10 k Ω
- Potenciómetro: 10k Ω
- Condensadores - Electrolíticos: 470 uF, 2200 uF. Condensador - Cerámico: 680 nF
- Arduino: se recomienda Arduino MEGA.

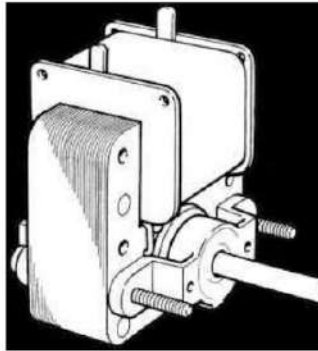
²⁸ No están los de bajo coste pues no tienen hojas de especificaciones.

Motor de corriente continua RoHS 877-6269



Generador AC Mellor Electric AC1002

Mellor
ELECTRICS LIMITED



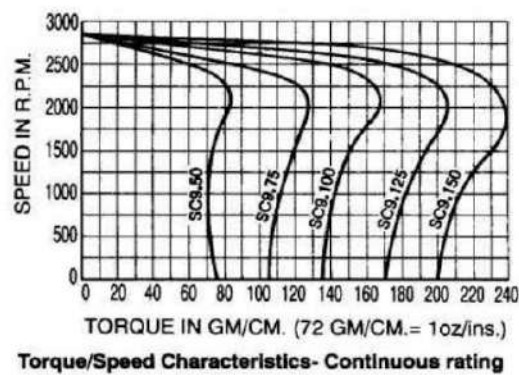
- Lubricated for life sintered bearings
- Ball bearings
- Precision die-cast bearing housings
- 4.76mm or 6mm steel shaft, stainless steel and other diameters to special order
- Voltage range 24 to 415V AC
- Insulation grade to class B
- Resetting or non-resetting thermal protection
- Terminations 6.3mm male tabs or flying leads

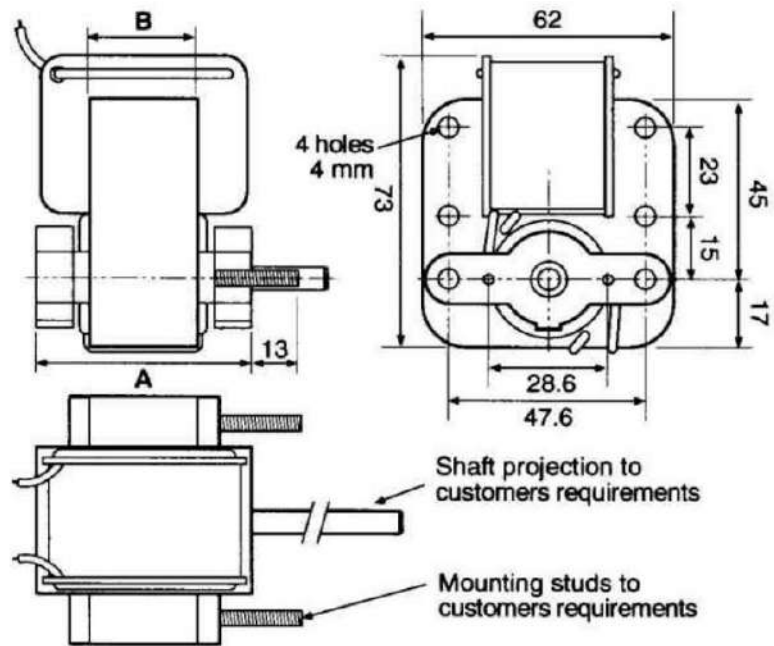
SC9 Series Motors

This Single Phase AC Shaded Pole motor offers dependable and consistent performance. Typical applications are in Ovens, Cocker Hoods, Fan Heaters, Copying Machines, Vending Machines, Photographic Equipment, Domestic Appliances, Dental Equipment.

Suitable for similar applications requiring a low cost, long life, quiet running, small motor.

Dim "A"	Dim "B"	Type	Rating	At 2000 RPM			WT. Kg
				Starting Torque GM/CMS	Torque	Input Watts	
13	38	SC9	CONT.	74	83	15	0.45
			INT.	90	140	30	
19	44	SC9	CONT.	106	125	19	0.624
			INT.	140	245	38	
25	50	SC9	CONT.	136	168	24	0.794
			INT.	260	340	48	
32	57	SC9	CONT.	170	208	30	0.964
			INT.	323	400	60	
38	63	SC9	CONT.	205	240	35	1.14
			INT.	390	475	70	





Diodo 1n4001

1N4001 THRU 1N4007

PLASTIC SILICON RECTIFIER

VOLTAGE - 50 to 1000 Volts CURRENT - 1.0 Ampere

FEATURES

- Low forward voltage drop
- High current capability
- High reliability
- High surge current capability
- Exceeds environmental standards of MIL-S-19500/228

MECHANICAL DATA

Case: Molded plastic, DO-41

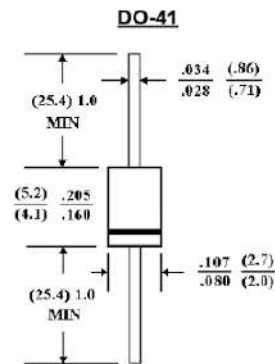
Epoxy: UL 94V-O rate flame retardant

Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-202,
method 208 guaranteed

Polarity: Color band denotes cathode end

Mounting Position: Any

Weight: 0.012 ounce, 0.3 gram



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%.

	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	35	75	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current .375"(9.5mm) Lead Length at T _A =75 °C	1.0							A
Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	30							A
Maximum Forward Voltage at 1.0A DC and 25 °C	1.1							V
Maximum Full Load Reverse Current Full Cycle Average at 75 °C Ambient	30							µA
Maximum Reverse Current at T _A =25 °C At Rated DC Blocking Voltage T _A =100 °C	5.0							µA
Typical Junction capacitance (Note 1)	15							pF
Typical Thermal Resistance (Note 2) R _{θJA}	50							°C/W
Typical Thermal resistance (NOTE 2) R _{θJL}	25							°C/W
Operating and Storage Temperature Range T _J , T _{STG}	-55 to +150							°C

NOTES:

1. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 VDC.
2. Thermal Resistance Junction to Ambient and from junction to lead at 0.375"(9.5mm) lead length P.C.B mounted.

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES
1N4001 THRU 1N4007

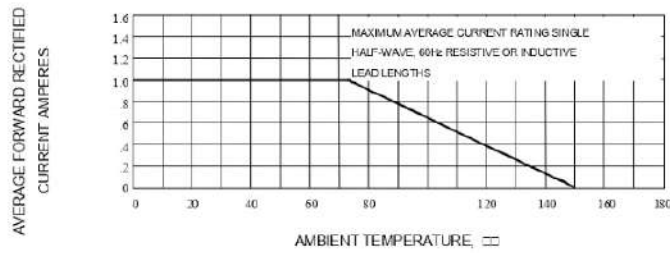


Fig. 1-TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

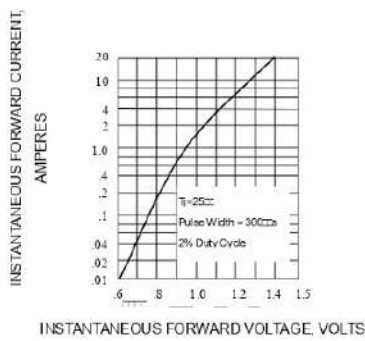


Fig. 2-TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

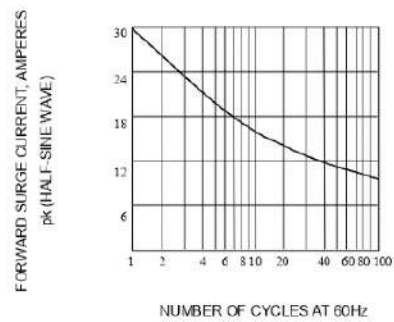


Fig. 3-MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

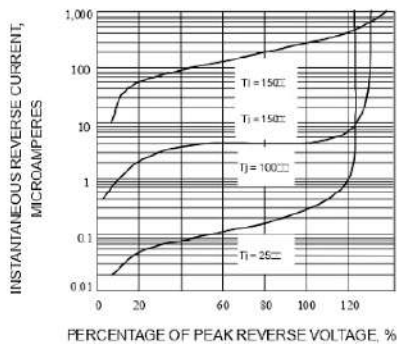


Fig. 4-TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

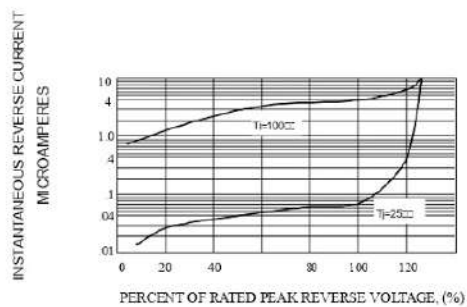


Fig. 5-TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

Transistor BC548B

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

Amplifier Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb-Free Package is Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit	
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	BC546	65	Vdc
		BC547	45	
		BC548	30	
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	BC546	80	Vdc
		BC547	50	
		BC548	30	
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	6.0	Vdc	
Collector Current - Continuous	I_C	100	mAdc	
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625	mW	
		5.0	mW/ $^\circ\text{C}$	
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5	Watt	
		12	mW/ $^\circ\text{C}$	
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$	

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

THERMAL CHARACTERISTICS

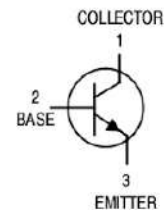
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



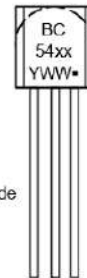
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



MARKING DIAGRAM

TO-92
CASE 29
STYLE 17



BC54xx = Specific Device Code
Y = Year
WW = Work Week
■ = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 5 of this data sheet.

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS						
Collector - Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1.0\text{ mA}$, $I_B = 0$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)CEO}$	65 45 30	- - -	- - -	V
Collector - Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)CBO}$	80 50 30	- - -	- - -	V
Emitter - Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 0$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)EBO}$	6.0 6.0 6.0	- - -	- - -	V
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 70\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 35\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 30\text{ V}$, $T_A = 125^\circ\text{C}$)	BC546 BC547 BC548 BC546/547/548	I_{CES}	- - - -	0.2 0.2 0.2 -	15 15 15 4.0	nA μA

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain ($I_C = 10\text{ }\mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)	BC547A BC546B/547B/548B BC548C	h_{FE}	- - -	90 150 270	- - -	-
($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)	BC546 BC547 BC548 BC547A BC546B/547B/548B BC547C/BC548C		110 110 110 110 200 420	- - - 180 290 520	450 800 800 220 450 800	
($I_C = 100\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)	BC547A/548A BC546B/547B/548B BC548C		- - -	120 180 300	- - -	
Collector - Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0.5\text{ mA}$) ($I_C = 100\text{ mA}$, $I_B = 5.0\text{ mA}$) ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = \text{See Note 1}$)		$V_{CE(sat)}$	- - -	0.09 0.2 0.3	0.25 0.6 0.6	V
Base - Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0.5\text{ mA}$)		$V_{BE(sat)}$	-	0.7	-	V
Base - Emitter On Voltage ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$) ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)		$V_{BE(on)}$	0.55 -	- -	0.7 0.77	V

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current - Gain - Bandwidth Product ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$)	BC546 BC547 BC548	f_T	150 150 150	300 300 300	- - -	MHz
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)		C_{obo}	-	1.7	4.5	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\text{ V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)		C_{ibo}	-	10	-	pF
Small - Signal Current Gain ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	BC546 BC547/548 BC547A BC546B/547B/548B BC547C/548C	h_{ie}	125 125 125 240 450	- - 220 330 600	500 900 260 500 900	-
Noise Figure ($I_C = 0.2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $R_S = 2\text{ k}\Omega$, $f = 1.0\text{ kHz}$, $\Delta f = 200\text{ Hz}$)	BC546 BC547 BC548	NF	- - -	2.0 2.0 2.0	10 10 10	dB

1. I_B is value for which $I_C = 11\text{ mA}$ at $V_{CE} = 1.0\text{ V}$.

<http://onsemi.com>

2

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

BC547/BC548

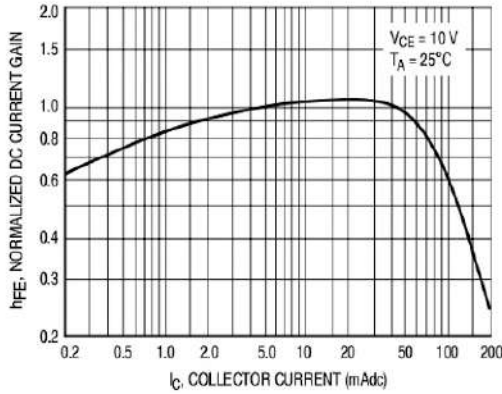


Figure 1. Normalized DC Current Gain

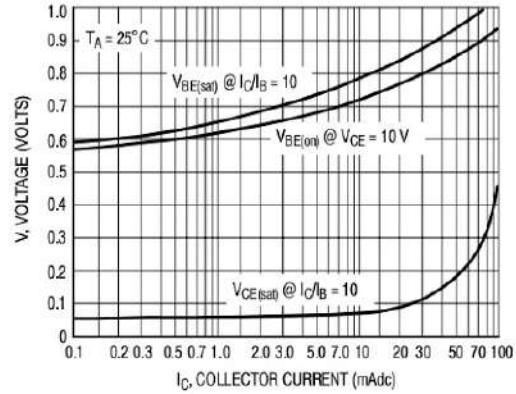


Figure 2. "Saturation" and "On" Voltages

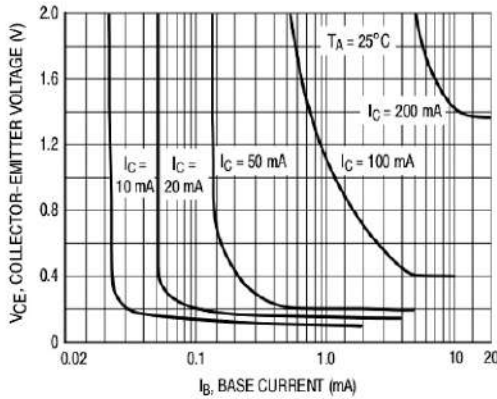


Figure 3. Collector Saturation Region

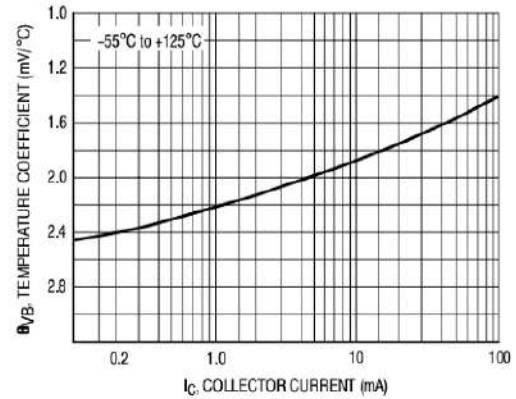


Figure 4. Base-Emitter Temperature Coefficient

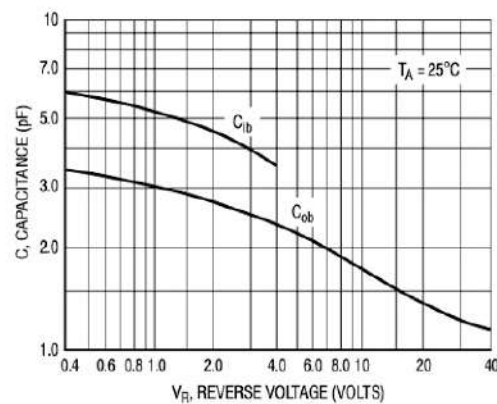


Figure 5. Capacitances

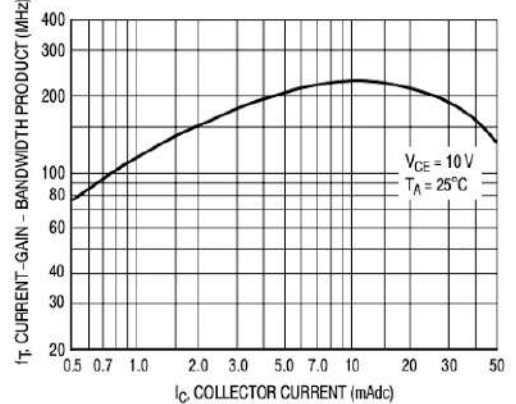


Figure 6. Current-Gain - Bandwidth Product

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

BC546

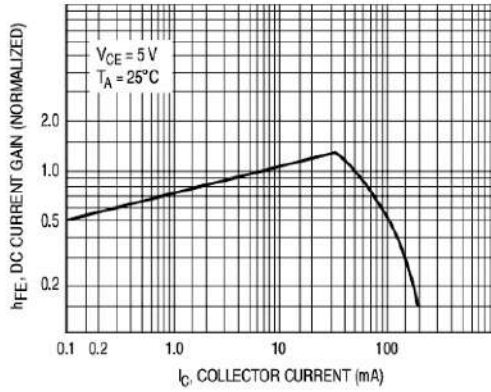


Figure 7. DC Current Gain

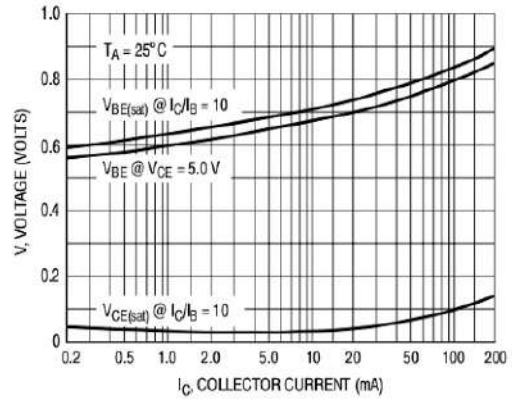


Figure 8. "On" Voltage

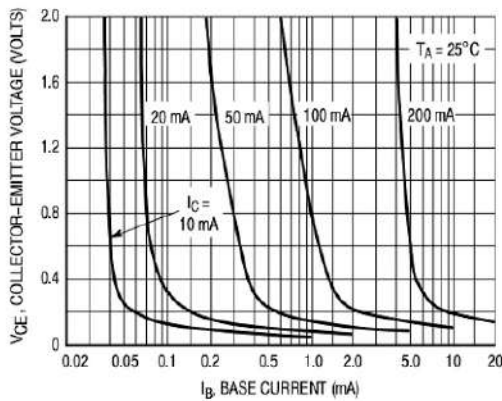


Figure 9. Collector Saturation Region

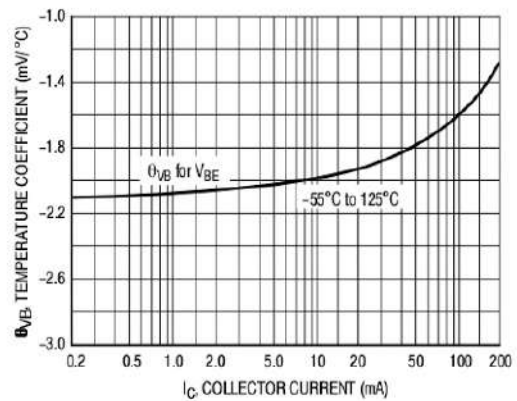


Figure 10. Base-Emitter Temperature Coefficient

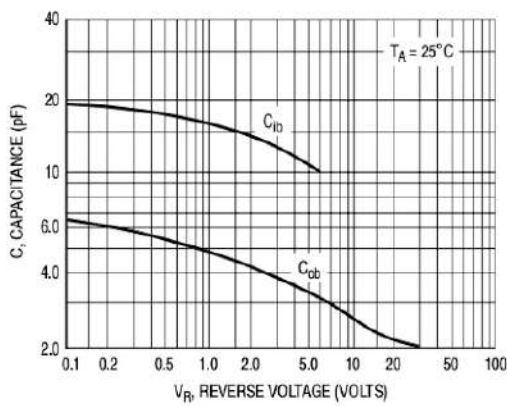


Figure 11. Capacitance

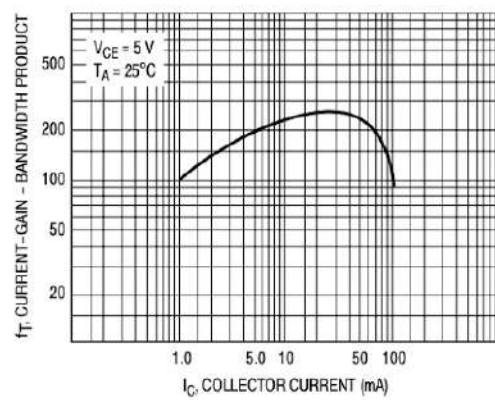


Figure 12. Current-Gain - Bandwidth Product

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

DEVICE ORDERING INFORMATION

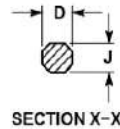
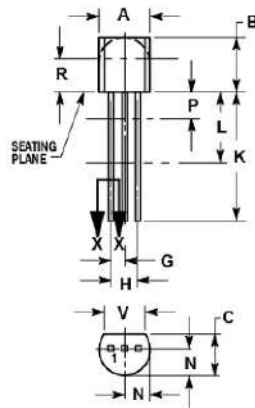
Device	Package	Shipping [†]
BC546B	TO-92 (TO-226)	5000 Units / Bulk
BC546BRL1		2000 Tape & Reel
BC546BZL1		2000 Tape & Ammo Box
BC547ARL		2000 Tape & Reel
BC547ARL1		2000 Tape & Reel
BC547AZL1		2000 Tape & Ammo Box
BC547B		5000 Units / Bulk
BC547BRL1		2000 Tape & Reel
BC547BZL1		2000 Tape & Ammo Box
BC547C		5000 Units / Bulk
BC547CZL1		2000 Tape & Ammo Box
BC548B		5000 Units / Bulk
BC548BRL1		2000 Tape & Reel
BC548BZL1		2000 Tape & Ammo Box
BC548BZL1G		
BC548C	TO-92 (TO-226)	5000 Units / Bulk
BC548CZL1		2000 Tape & Ammo Box

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

PACKAGE DIMENSIONS

TO-92 (TO-226)
CASE 29-11
ISSUE AL



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.060	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---

STYLE 17:

1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada
Japan: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>
Order Literature: <http://www.onsemi.com/litorder>
For additional information, please contact your local Sales Representative.

BC546/D

Transistor Mosfet IRFZ44N

Philips Semiconductors

Product specification

N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

GENERAL DESCRIPTION

N-channel enhancement mode standard level field-effect power transistor in a plastic envelope using 'trench' technology. The device features very low on-state resistance and has integral zener diodes giving ESD protection up to 2kV. It is intended for use in switched mode power supplies and general purpose switching applications.

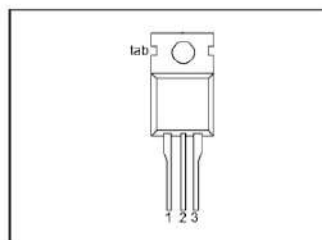
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	55	V
I_D	Drain current (DC)	49	A
P_{tot}	Total power dissipation	110	W
T_j	Junction temperature	175	°C
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance $V_{GS} = 10\text{ V}$	22	mΩ

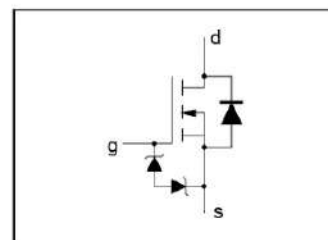
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	-	-	55	V
V_{DGR}	Drain-gate voltage	$R_{GS} = 20\text{ k}\Omega$	-	55	V
$\pm V_{GS}$	Gate-source voltage	-	-	20	V
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	49	A
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$	-	35	A
I_{DM}	Drain current (pulse peak value)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	160	A
P_{tot}	Total power dissipation	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	110	W
T_{stg}, T_j	Storage & operating temperature	-	-55	175	°C

ESD LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_C	Electrostatic discharge capacitor voltage, all pins	Human body model (100 pF, 1.5 kΩ)	-	2	kV

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th-j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	-	-	1.4	K/W
R_{th-j-a}	Thermal resistance junction to ambient	in free air	60	-	K/W

February 1999

1

Rev 1.000

Philips Semiconductors

Product specification

**N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor**
IRFZ44N**STATIC CHARACTERISTICS** $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}; I_D = 0.25\text{ mA}; T_j = -55^\circ\text{C}$	55	-	-	V
$V_{GS(TH)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 1\text{ mA}; T_j = -55^\circ\text{C}$	2.0	3.0	4.0	V
		$T_j = 175^\circ\text{C}$	1.0	-	-	V
		$T_j = -55^\circ\text{C}$	-	-	4.4	-
I_{DSS}	Zero gate voltage drain current	$V_{DS} = 55\text{ V}; V_{GS} = 0\text{ V}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	0.05	10	μA
I_{GSS}	Gate source leakage current	$V_{GS} = \pm 10\text{ V}; V_{DS} = 0\text{ V}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	0.04	1	μA
		$T_j = 175^\circ\text{C}$	-	-	20	μA
$\pm V_{(BR)GSS}$	Gate source breakdown voltage	$I_G = \pm 1\text{ mA}; T_j = 175^\circ\text{C}$	16	-	-	V
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	15	22	$\text{m}\Omega$
		$T_j = 175^\circ\text{C}$	-	-	42	$\text{m}\Omega$

DYNAMIC CHARACTERISTICS $T_{mb} = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
g_{fs}	Forward transconductance	$V_{DS} = 25\text{ V}; I_D = 25\text{ A}$	6	-	-	S
C_{iss}	Input capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}; V_{DS} = 25\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	-	1350	1800	pF
C_{oss}	Output capacitance		-	330	400	pF
C_{rss}	Feedback capacitance		-	155	215	pF
Q_{gd}	Total gate charge	$V_{DD} = 44\text{ V}; I_D = 50\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}$	-	-	62	nC
Q_{gs}	Gate-source charge		-	-	15	nC
Q_{gd}	Gate-drain (miller) charge		-	-	26	nC
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{DD} = 30\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}; R_G = 10\ \Omega$ Resistive load	-	18	26	ns
t_r	Turn-on rise time		-	50	75	ns
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		-	40	50	ns
t_f	Turn-off fall time		-	30	40	ns
L_d	Internal drain inductance	Measured from contact screw on tab to centre of die	-	3.5	-	nH
L_d	Internal drain inductance	Measured from drain lead 6 mm from package to centre of die	-	4.5	-	nH
L_s	Internal source inductance	Measured from source lead 6 mm from package to source bond pad	-	7.5	-	nH

REVERSE DIODE LIMITING VALUES AND CHARACTERISTICS $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{DR}	Continuous reverse drain current		-	-	49	A
I_{DRM}	Pulsed reverse drain current		-	-	160	A
V_{SD}	Diode forward voltage	$I_F = 25\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	0.95	1.2	V
		$I_F = 40\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	1.0	-	-
t_{rr}	Reverse recovery time	$I_F = 40\text{ A}; -di_F/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}; V_{GS} = -10\text{ V}; V_R = 30\text{ V}$	-	47	-	ns
Q_{rr}	Reverse recovery charge		-	0.15	-	μC

February 1999

2

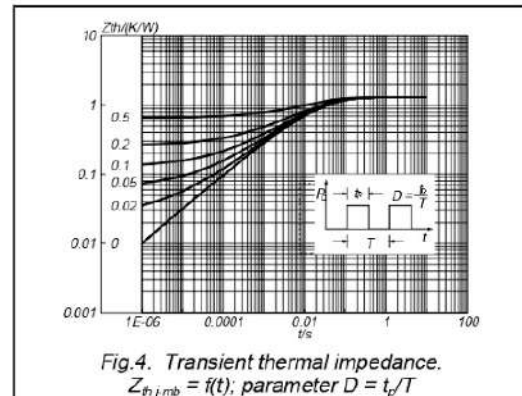
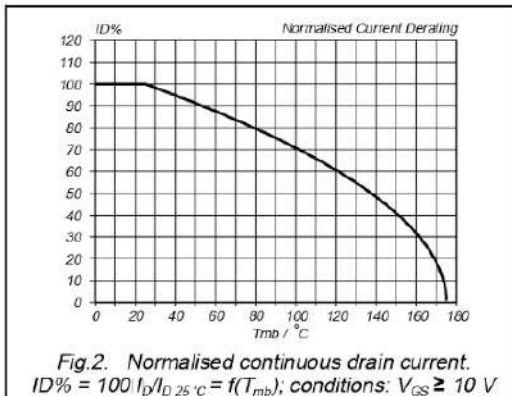
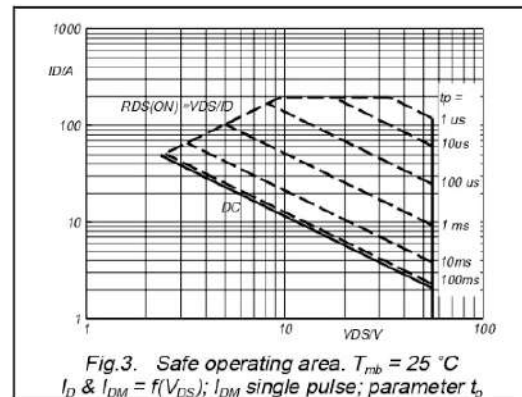
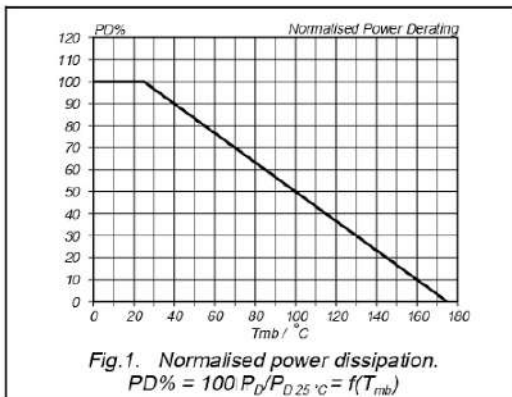
Rev 1.000

N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

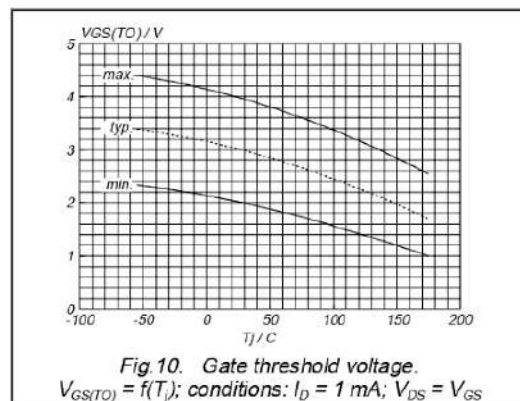
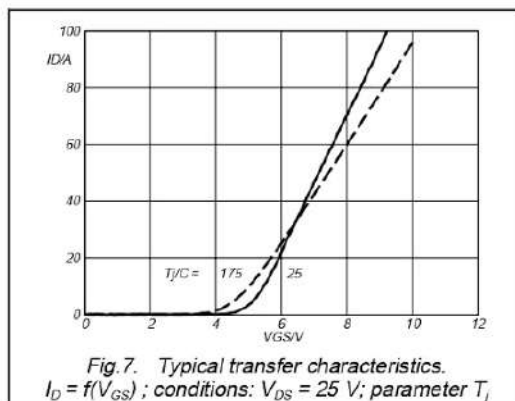
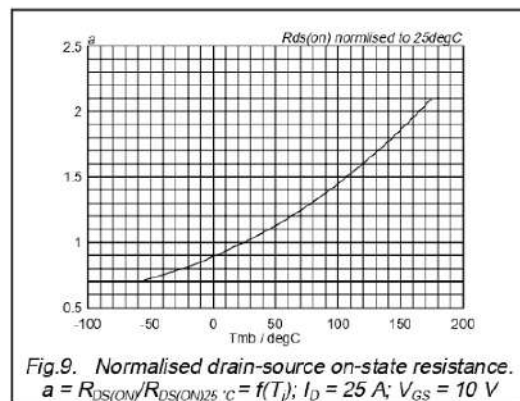
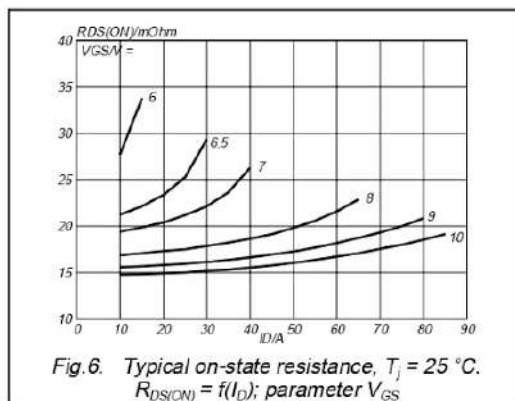
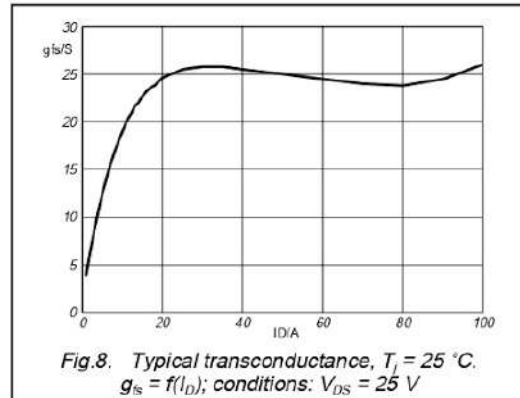
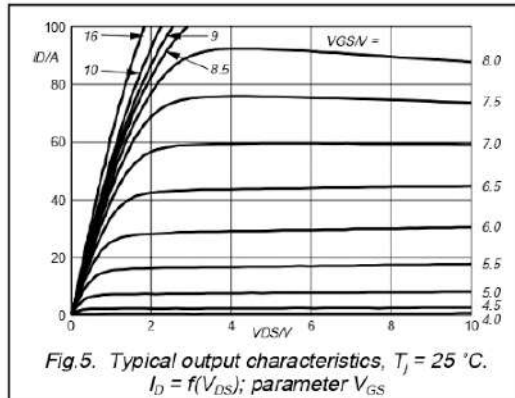
AVALANCHE LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
W_{DSS}	Drain-source non-repetitive unclamped inductive turn-off energy	$I_D = 45\text{ A}$; $V_{DD} \leq 25\text{ V}$; $V_{GS} = 10\text{ V}$; $R_{GS} = 50\ \Omega$; $T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	110	mJ



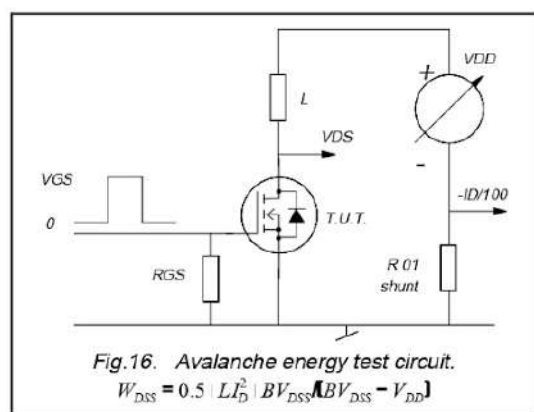
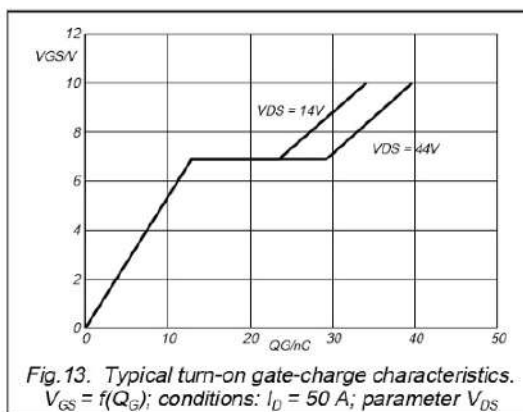
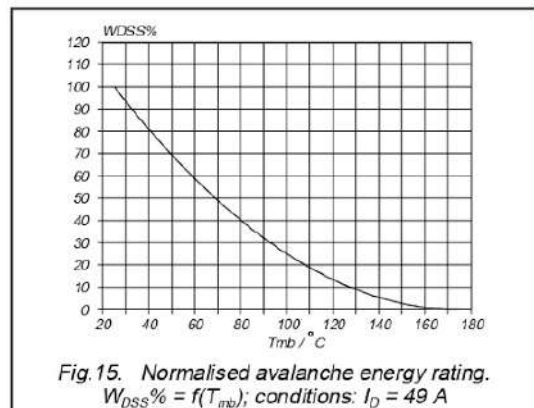
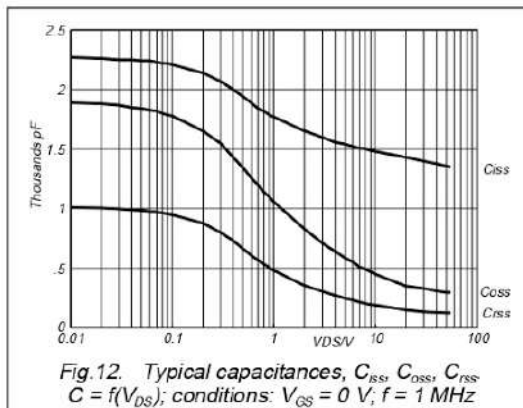
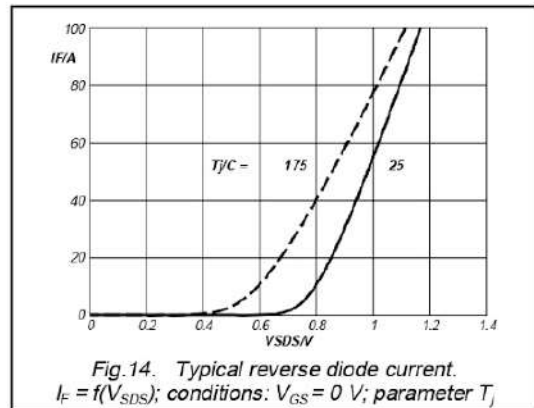
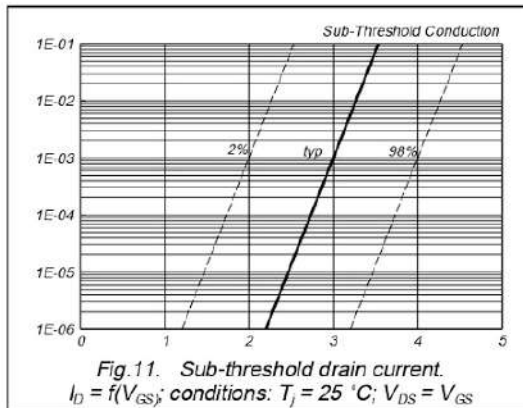
N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N



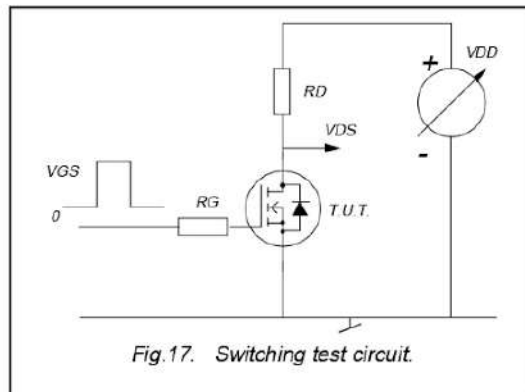
N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N



**N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor**

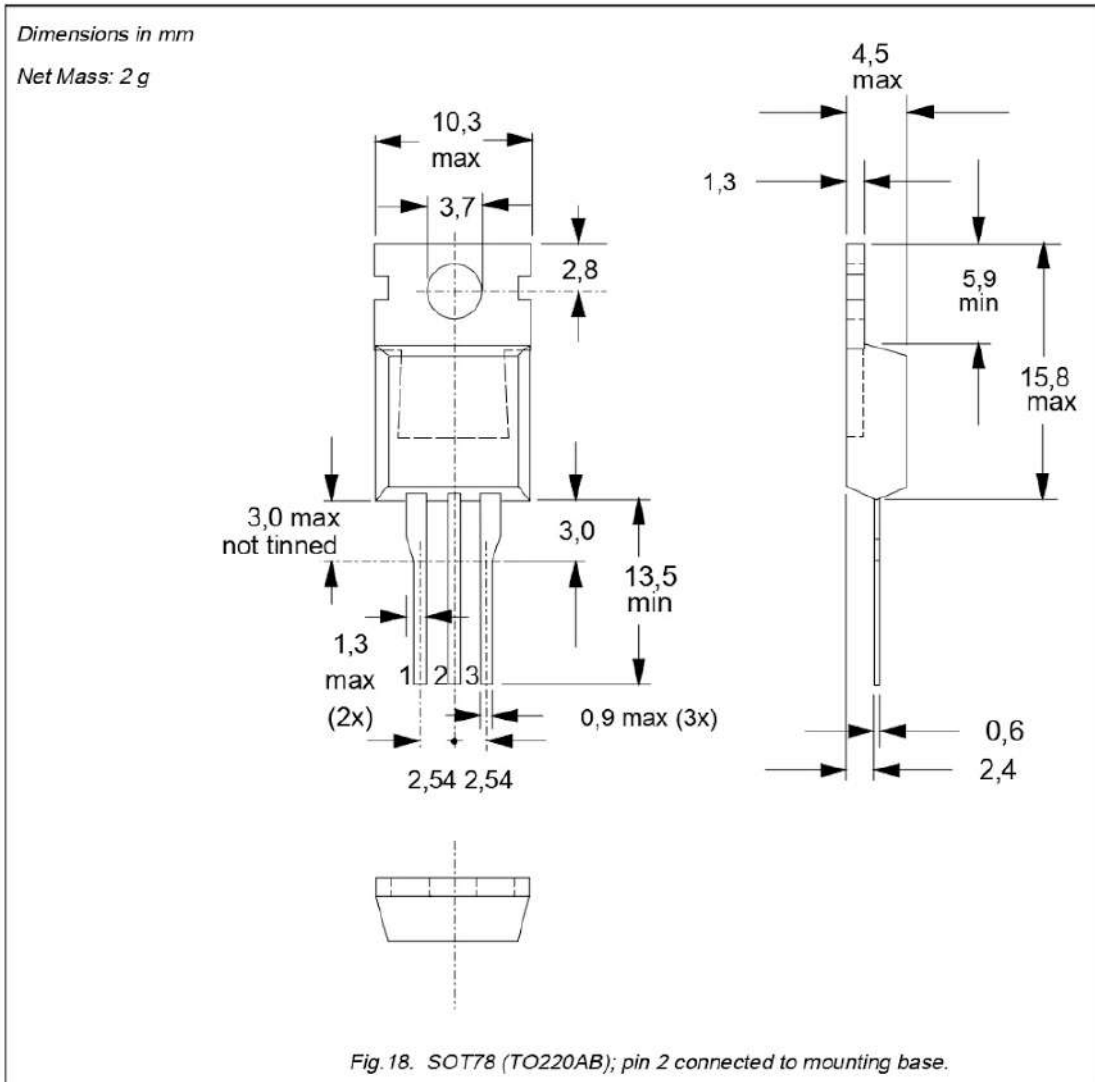
IRFZ44N



N-channel enhancement mode
 TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

MECHANICAL DATA



Notes

1. Observe the general handling precautions for electrostatic-discharge sensitive devices (ESDs) to prevent damage to MOS gate oxide.
2. Refer to mounting instructions for SOT78 (TO220) envelopes.
3. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

Transistor IRF 3710 (como sustitución del IRFZ44)

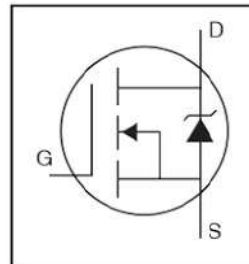
International
IR Rectifier

PD - 91309C

IRF3710

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

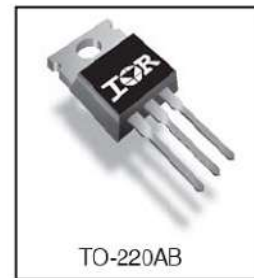


$V_{DSS} = 100V$
$R_{DS(on)} = 23m\Omega$
$I_D = 57A$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low 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 and reliable 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, $V_{GS} @ 10V$	57	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	40	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	230	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	28	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.8	V/ns
T_J	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	°C
T_{STG}			
	Mounting torque, 6-32 or M3 srew	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

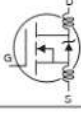
www.irf.com

1
09/15/09

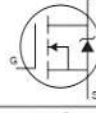
IRF3710

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	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.13	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	23	mΩ	$V_{GS} = 10V, I_D = 28A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	32	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 28A$ ⑤
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	130	nC	$I_D = 28A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	26		$V_{DS} = 80V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	43		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	12	—		$V_{DD} = 50V$
t_r	Rise Time	—	58	—	ns	$I_D = 28A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	45	—		$R_G = 2.5\Omega$
t_f	Fall Time	—	47	—		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ⑥
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	—	3130	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	410	—		$V_{DS} = 25V$
C_{riss}	Reverse Transfer Capacitance	—	72	—		$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	1060 ③	280 ⑥		$I_{AS} = 28A, L = 0.70\text{mH}$

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	57	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	230		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 28A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	140	220	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 28A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	670	1010	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
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 Starting $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 0.70\text{mH}$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 28A, V_{GS} = 10V$ (See Figure 12)
- ③ $I_{SD} \leq 28A, di/dt \leq 380A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑥ This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.

International
IR Rectifier

IRF3710

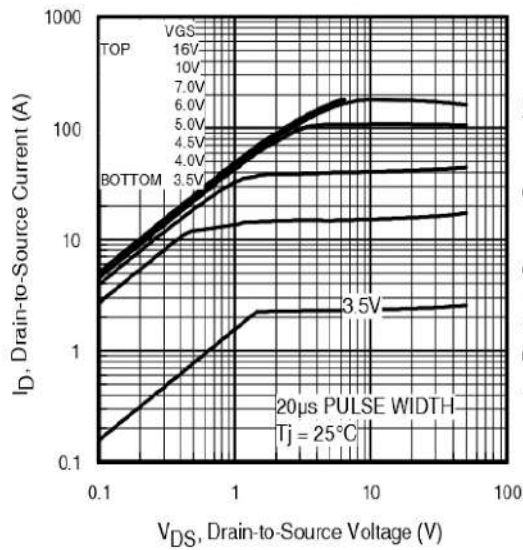


Fig 1. Typical Output Characteristics

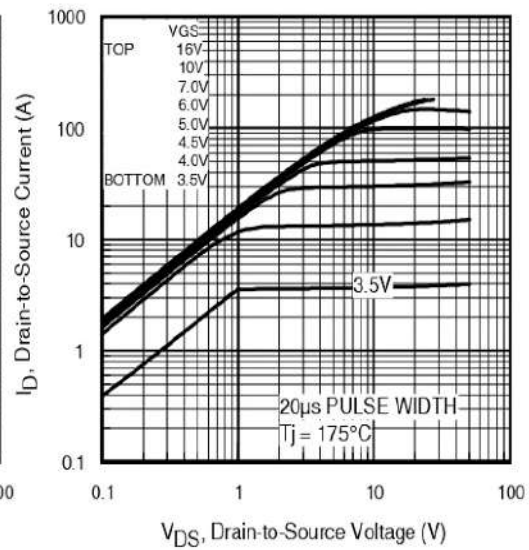


Fig 2. Typical Output Characteristics

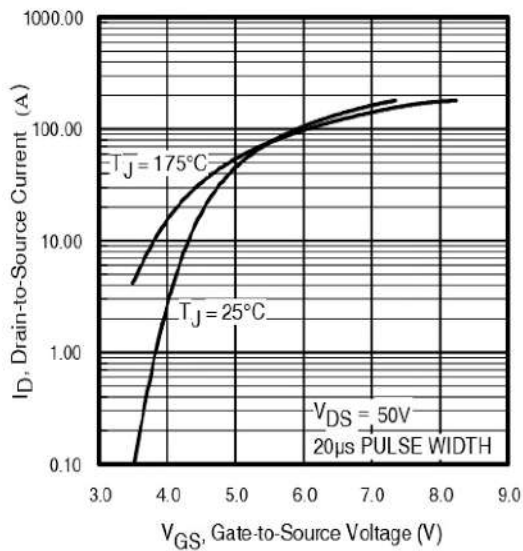


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

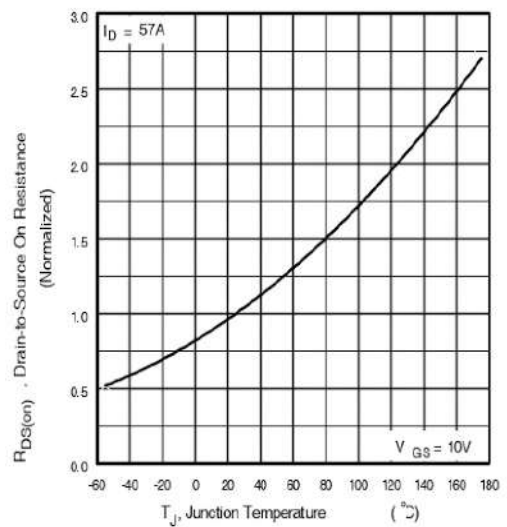


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

IRF3710

International
IR Rectifier

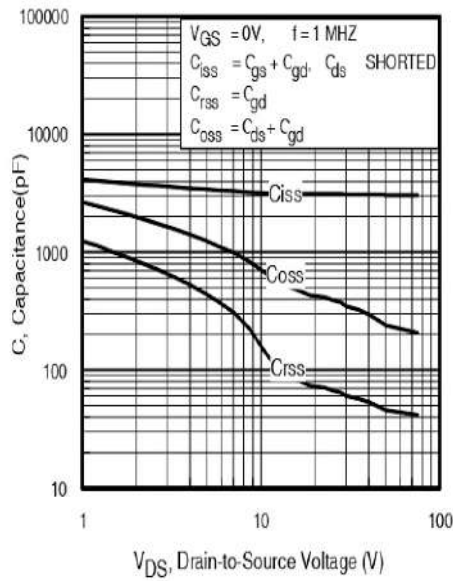


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

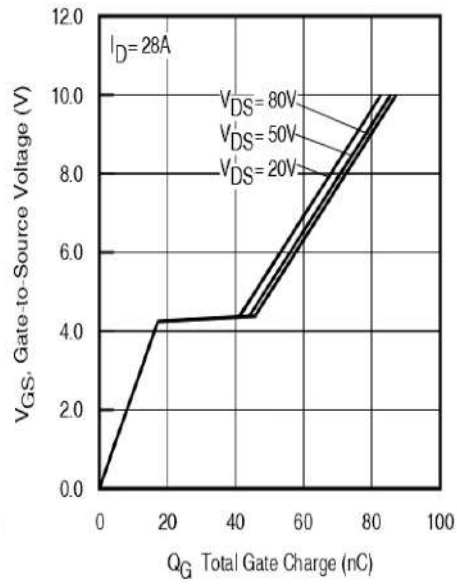


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

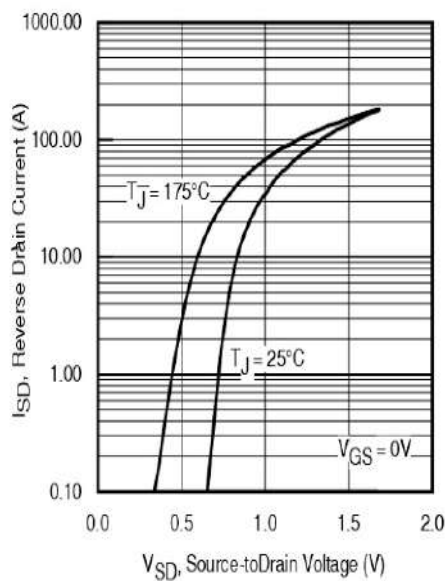


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

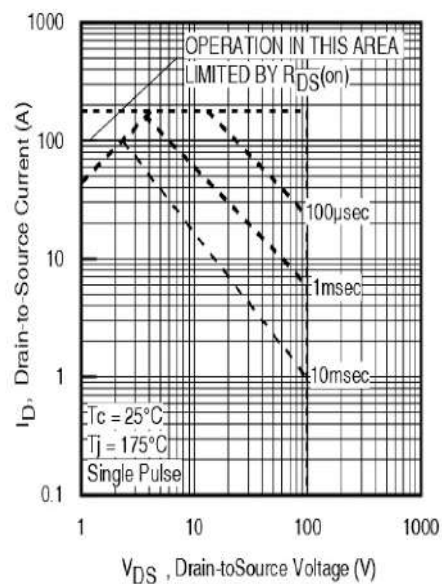


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

International
IR Rectifier

IRF3710

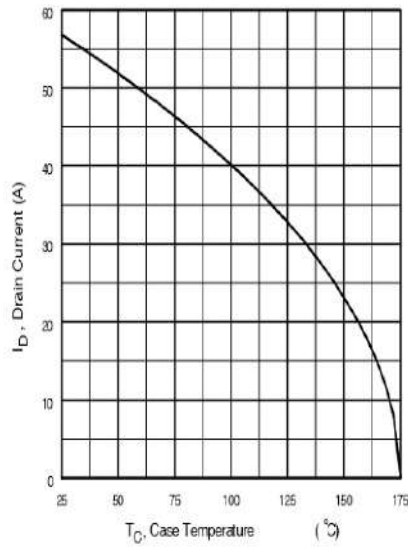


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

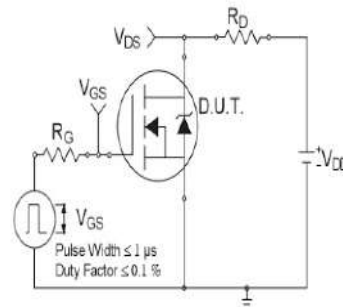


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

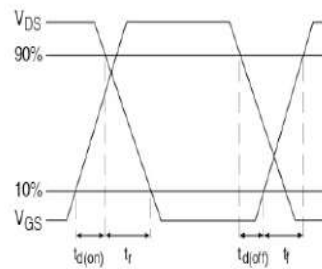


Fig 10b. Switching Time Waveforms

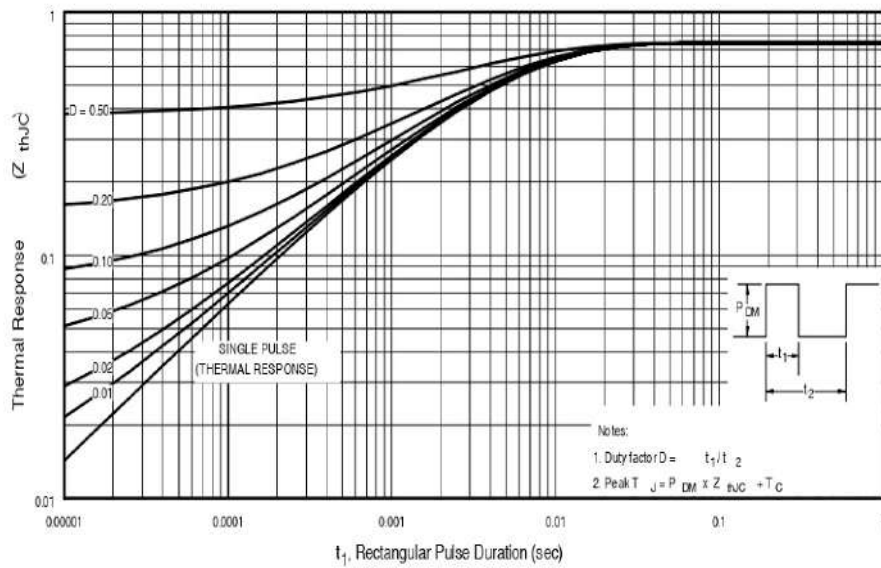


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

IRF3710

International
IR Rectifier

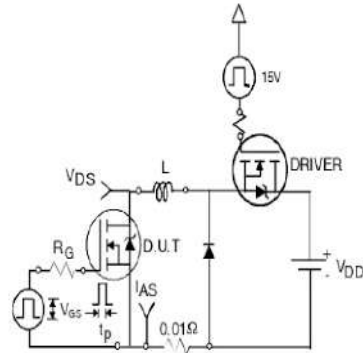


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

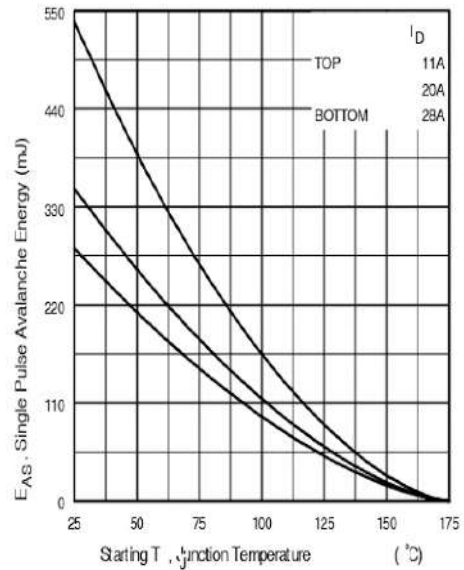


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

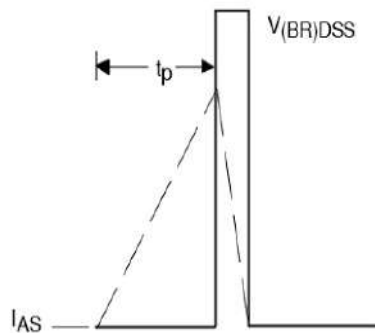


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

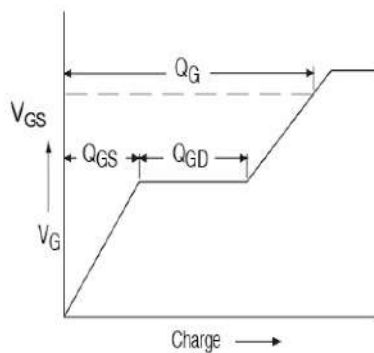


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

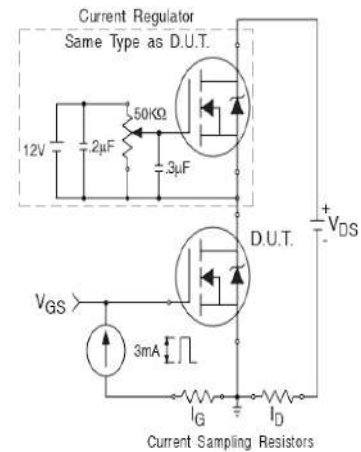
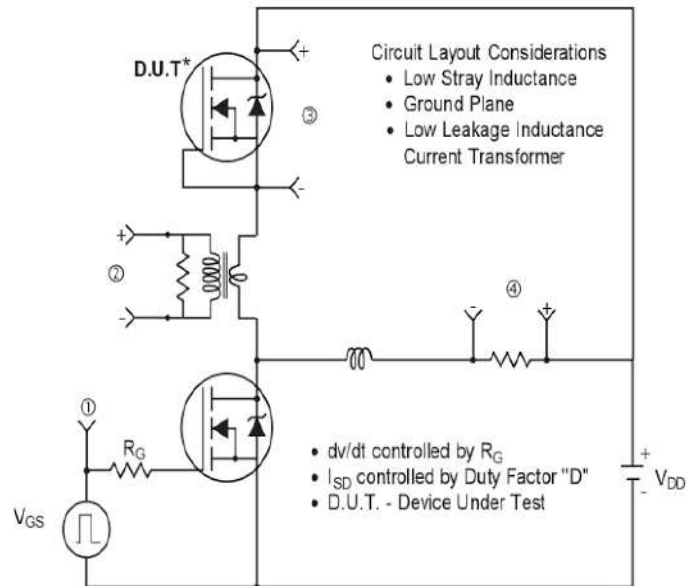
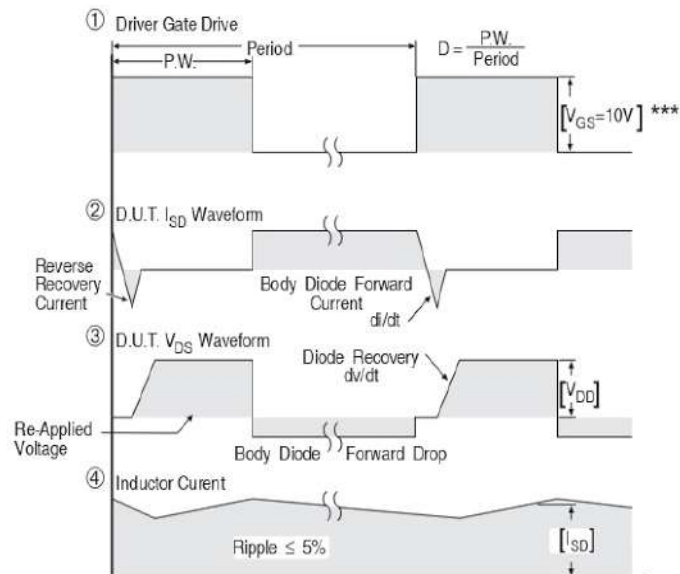


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit



* Reverse Polarity of D.U.T for P-Channel



*** $V_{GS} = 5.0V$ for Logic Level and 3V Drive Devices

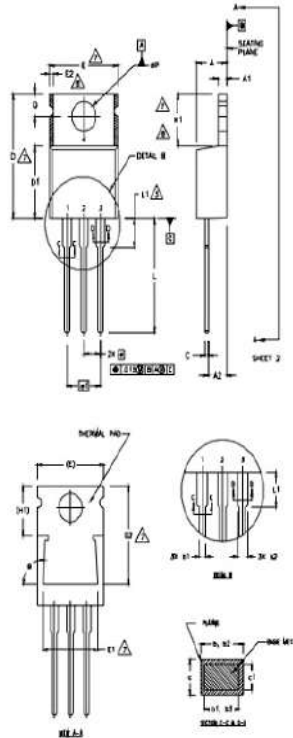
Fig 14. For N-channel HEXFET® power MOSFETs

IRF3710

TO-220AB Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)

International
IR Rectifier



- NOTES:
- 1 DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5 M-1994.
 - 2 DIMENSIONS ARE SHOWN IN INCHES (MILLIMETERS).
 - 3 LEAD DIMENSION AND FINISH UNCONTROLLED IN L1.
 - 4 DIMENSION D & E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH SHALL NOT EXCEED .002" (0.127) PER SIDE. THESE DIMENSIONS ARE MEASURED AT THE OUTERMOST EXTREMES OF THE PLASTIC BODY.
 - 5 DIMENSION H1 & C1 APPLY TO BASE METAL ONLY.
 - 6 CONTROLLING DIMENSION: INCHES.
 - 7 THERMAL PAD CONTOUR OPTIONAL. WITHIN DIMENSIONS E.H1,D2 & E1.
 - 8 DIMENSION I2 X H1 DEFINE A ZONE WHERE STAMPING AND SINGULATION IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

LEAD ASSIGNMENTS

- MODEL
- 1 - GATE
 - 2 - SOURCE
 - 3 - DRAIN

MODEL LABELS

- 1 - GATE
- 2 - COLLECTOR
- 3 - EMITTER

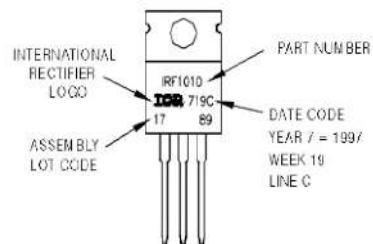
MODES

- 1 - WIRE/OPEN
- 2 - CHANNEL
- 3 - MODE

SYMBOL	DIMENSIONS				NOTES
	MILLIMETERS		INCHES		
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
A	3.56	4.22	.140	.190	
A1	0.51	1.40	.020	.056	
A2	2.04	2.52	.080	.115	
b	0.38	1.01	.015	.040	
b1	0.38	0.96	.015	.038	5
b2	1.15	1.77	.045	.070	
b3	1.15	1.75	.045	.068	
c	0.56	0.61	.014	.024	
c1	0.56	0.56	.014	.022	6
D	14.22	15.51	.560	.650	4
D1	6.38	5.02	.350	.355	
D2	12.19	13.88	.480	.507	7
E	9.56	10.66	.380	.420	4,7
E1	6.38	6.89	.350	.350	7
e	2.54	2.54	.100	.100	
e1	5.08	5.08	.200	.200	
H1	5.85	6.55	.250	.370	7,8
L	12.70	14.75	.500	.580	
L1	-	6.35	-	.250	3
W	3.54	4.00	.150	.161	
Q	2.54	3.42	.100	.135	
Q1	97-97		97-97		

TO-220AB Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
LOT CODE 1789
ASSEMBLED ON WW 19, 1997
IN THE ASSEMBLY LINE 'C'
Note: 'P' in assembly line position indicates "Lead-Free"



Note: For the most current drawing please refer to IR website at <http://www.irf.com/package/>

Data and specifications subject to change without notice.
This product has been designed and qualified for the Automotive [Q101] market.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information.09/2009

www.irf.com

Pantalla LCD

1. Features

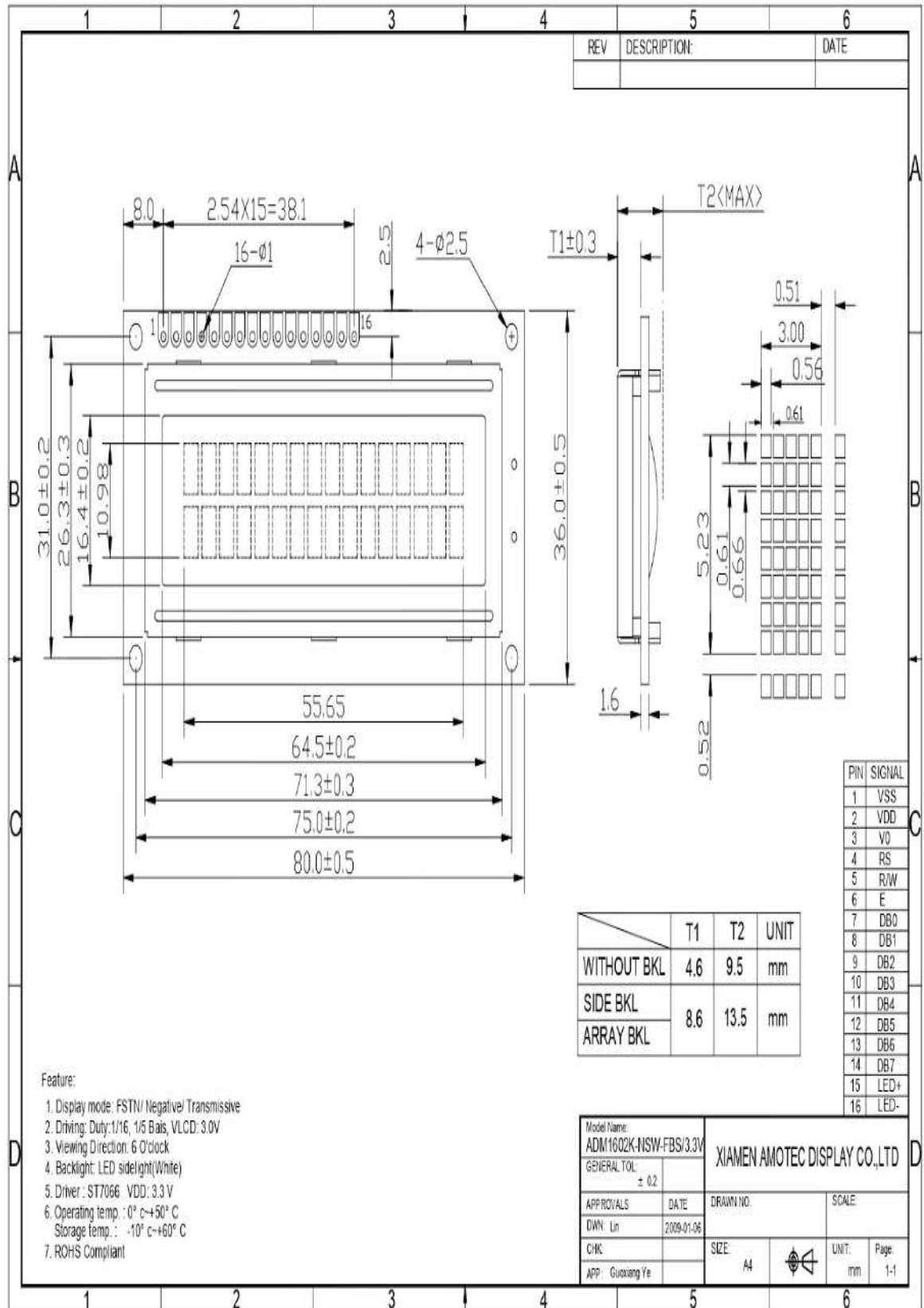
1. 5x8 dots with cursor
2. 16characters *2lines display
3. 4-bit or 8-bit MPU interfaces
4. Built-in controller (ST7066 or equivalent)
5. Display Mode & Backlight Variations
6. ROHS Compliant

LCD type	<input type="checkbox"/> TN			
	<input type="checkbox"/> FSTN	<input checked="" type="checkbox"/> FSTN Negative		
	<input type="checkbox"/> STN Yellow Green	<input type="checkbox"/> STN Gray	<input type="checkbox"/> STN Blue Negative	
View direction	<input checked="" type="checkbox"/> 6 O'clock		<input type="checkbox"/> 12 O'clock	
Rear Polarizer	<input type="checkbox"/> Reflective		<input type="checkbox"/> Transflective	<input checked="" type="checkbox"/> Transmissive
Backlight Type	<input checked="" type="checkbox"/> LED	<input type="checkbox"/> EL	<input type="checkbox"/> Internal Power	<input checked="" type="checkbox"/> 3.3V Input
		<input type="checkbox"/> CCFL	<input checked="" type="checkbox"/> External Power	<input type="checkbox"/> 5.0V Input
Backlight Color	<input checked="" type="checkbox"/> White	<input type="checkbox"/> Blue	<input type="checkbox"/> Amber	<input type="checkbox"/> Yellow-Green
Temperature Range	<input checked="" type="checkbox"/> Normal		<input type="checkbox"/> Wide	<input type="checkbox"/> Super Wide
DC to DC circuit	<input type="checkbox"/> Build-in		<input checked="" type="checkbox"/> Not Build-in	
Touch screen	<input type="checkbox"/> With		<input checked="" type="checkbox"/> Without	
Font type	<input checked="" type="checkbox"/> English-Japanese	<input type="checkbox"/> English-Europen	<input type="checkbox"/> English-Russian	<input type="checkbox"/> Other

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

Module size	80.0mm(L)*36.0mm(W)* Max13.5(H)mm
Viewing area	64.5mm(L)*16.4mm(W)
Character size	3.00mm(L)*5.23mm(W)
Character pitch	3.51mm(L)*5.75mm(W)
Weight	Approx.

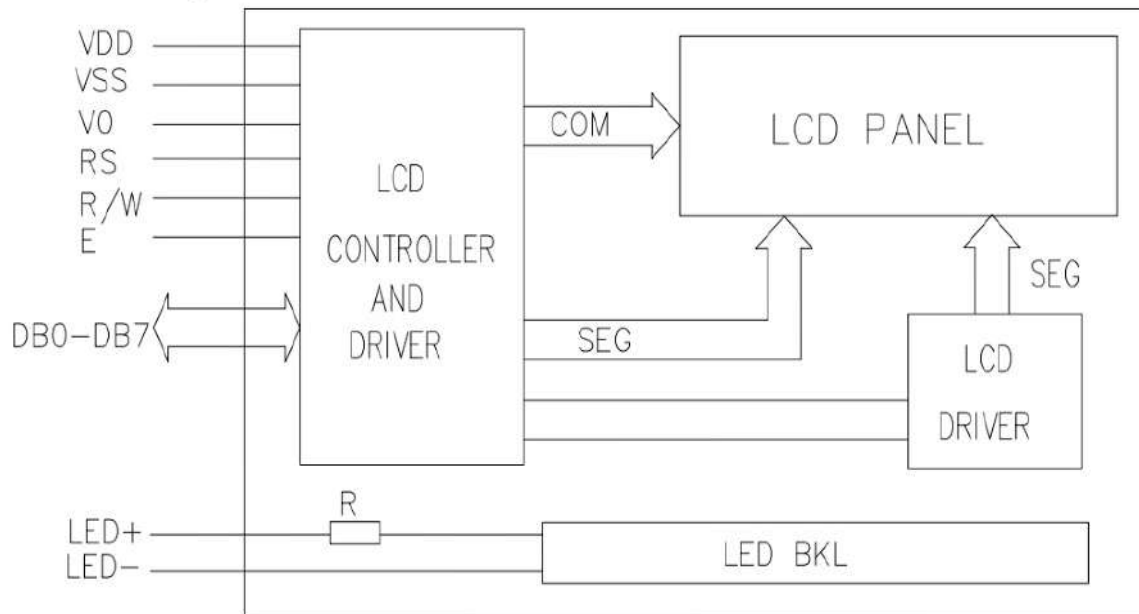
3. Outline dimension



4. Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	V_{DD-VSS}	0	-	7.0	V
Input voltage	V_{IN}	VSS	-	VDD	
Operating temperature range	V_{OP}	0	-	+50	°C
Storage temperature range	V_{ST}	-10	-	+60	

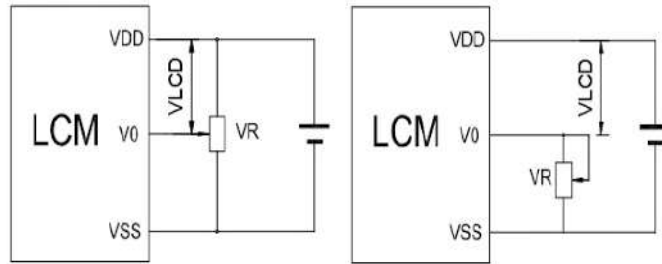
5. Block diagram



6. Interface pin description

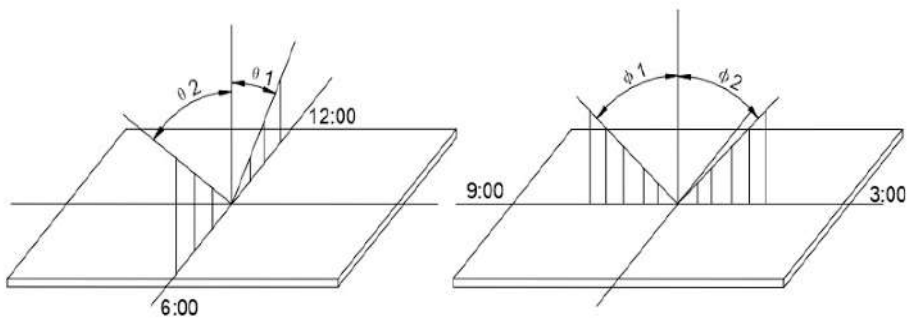
Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	VSS	Power supply	Signal ground for LCM
2	VDD		Power supply for logic for LCM
3	V ₀		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL
16	LED-		Power supply for BKL

7. Contrast adjust



$V_{DD}-V_0$: LCD Driving voltage VR: 10k~20k

8. Optical characteristics



STN type display module ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Viewing angle	$\theta 1$	$C_r \geq 3$		20		deg
	$\theta 2$			40		
	$\Phi 1$			35		
	$\Phi 2$			35		
Contrast ratio	C_r		-	10	-	-
Response time (rise)	T_r	-	-	200	250	ms
Response time (fall)	T_r	-	-	300	350	

9. Electrical characteristics

DC characteristics

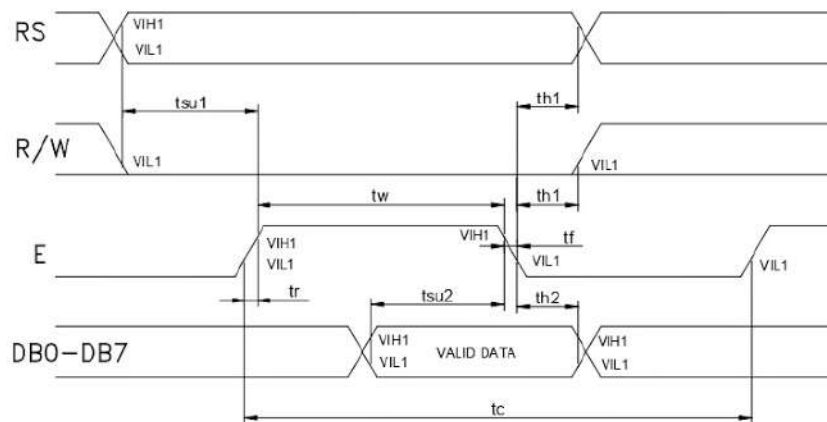
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage for LCD	$V_{DD}-V_0$	$T_a=25^\circ\text{C}$	-	3.0	-	V
Input voltage	V_{DD}		3.1	3.3	3.5	
Supply current	I_{DD}	$T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$	-	1.5	2.5	mA
Input leakage current	I_{LKG}		-	-	1.0	μA
"H" level input voltage	V_{IH}		2.2	-	V_{DD}	V
"L" level input voltage	V_{IL}	Twice initial value or less	0	-	0.6	
"H" level output voltage	V_{OH}	LOH=-0.25mA	2.4	-	-	
"L" level output voltage	V_{OL}	LOH=1.6mA	-	-	0.4	
Backlight supply voltage	V_F		-	3.0		
Backlight supply current	I_{LED}	$V_{LED}=3.3\text{V}$ $R=25\ \Omega$			16	mA

10. Timing Characteristics

Write cycle ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su1}	RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_{h1}	RS; R/W	10	-	-	
Read data output delay	t_{su2}	DB0~DB7	60	-	-	
Read data hold time	t_{h2}		10	-	-	

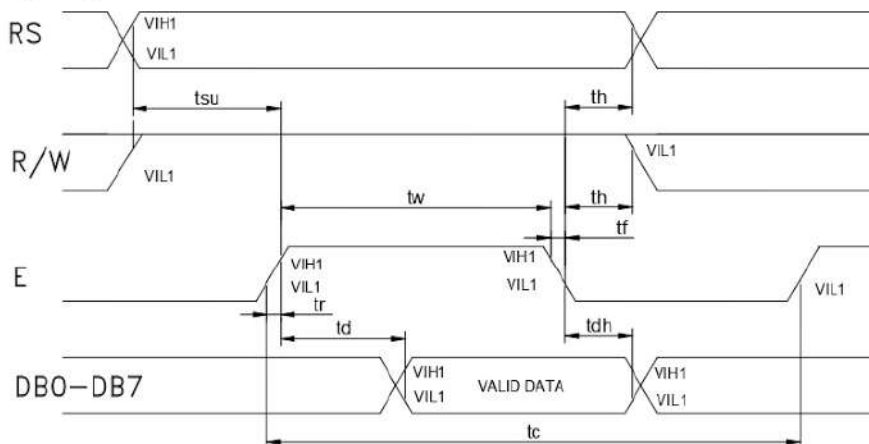
Write mode timing diagram



Read cycle ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su}	RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_h	RS; R/W	10	-	-	
Read data output delay	t_d	DB0~DB7	60	-	90	
Read data hold time	t_{dh}		20	-	-	

Read mode timing diagram



11. FUNCTION DESCRIPTION

11.1 System Interface

This chip has all two kinds of interface type with MPU : 4-bit bus and 8-bit bus. 4-bit bus and 8-bit bus is selected by DL bit in the instruction register.

11.2 Busy Flag (BF)

When BF = "High", it indicates that the internal operation is being processed. So during this time the next instruction cannot be accepted. BF can be read, when RS = Low and R/W = High (Read Instruction Operation), through DB7 port. Before executing the next instruction, be sure that BF is not high.

11.3 Address Counter (AC)

Address Counter (AC) stores DDRAM/CGRAM address, transferred from IR. After writing into (reading from) DDRAM/CGRAM, AC is automatically increased (decreased) by 1. When RS = "Low" and R/W = "High", AC can be read through DB0 – DB6 ports.

11.4 Display Data RAM (DDRAM)

DDRAM stores display data of maximum 80 x 8 bits (80 characters). DDRAM address is set in the address counter (AC) as a hexadecimal number.

Display position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
DDRAM address	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

11.5 CGROM (Character Generator ROM)

CGROM has a 5 x 8 dots 204 characters pattern and a 5 x 10 dots 32 characters pattern. CGROM has 204 character patterns of 5 x 8 dots.

11.6 CGRAM (Character Generator RAM)

CGRAM has up to 5 . 8 dot, 8 characters. By writing font data to CGRAM, user defined characters can be used.

Character Code (DDRAM Data)										CGRAM Address						Character Patterns (CGRAM Data)																				
b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0		b5	b4	b3	b2	b1	b0	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0													
0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	1	1	1	1	1													
						0	0	0					0	0	0				0	0	0															
						0	0	0					0	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
						0	0	0					0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0					0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0					0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0					0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0					0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0	0	0					0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	-	-	-	1	1	1	1	0													
						0	0	1					0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
						0	0	1					0	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	1					0	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	1					0	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	1					0	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	1					0	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	1					0	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0	0	1					0	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Relationship between CGRAM Addresses, Character Codes (DDRAM) and Character patterns (CGRAM Data)

11.9 Instruction Table

Instruction	Instruction code										Description	Execution time (fosc= 270 KHZ)	
	RS	R/M	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0			
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRAM and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53ms	
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Set DDRAM address to "00H" From AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms	
Entry mode Set	0	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction And blinking of entire display	39us
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor (C), and Blinking of cursor (B) on/off Control bit.	
Cursor or Display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	-	Set cursor moving and display Shift control bit, and the Direction, without changing of DDRAM data.	39us
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	-	Set interface data length (DL: 8-Bit/4-bit), numbers of display Line (N: =2-line/1-line) and, Display font type (F: 5x11/5x8)	39us
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0		Set CGRAM address in address Counter.	39us
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0		Set DDRAM address in address Counter.	39us
Read busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0		Whether during internal Operation or not can be known By reading BF. The contents of Address counter can also be read.	0us
Write data to Address	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us
Read data From RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us

NOTE:

When an MPU program with checking the busy flag (DB7) is made, it must be necessary 1/2fosc is necessary for executing the next instruction by the falling edge of the "E" signal after the busy flag (DB7) goes to "Low".

11.3Contents

1) Clear display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Clear all the display data by writing "20H" (space code) to all DDRAM address, and set DDRAM address to "00H" into AC (address counter).

Return cursor to the original status, namely, bring the cursor to the left edge on the first line of the display. Make the entry mode increment (I/D="High").

2) Return home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-

Return home is cursor return home instruction.

Set DDRAM address to "00H" into the address counter.
 Return cursor to its original site and return display to its original status, if shifted.
 Contents of DDRAM does not change.

3) Entry mode set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH

Set the moving direction of cursor and display.

I/D: increment / decrement of DDRAM address (cursor or blink)

When I/D="high", cursor/blink moves to right and DDRAM address is increased by 1.

When I/D="Low", cursor/blink moves to left and DDRAM address is increased by 1.

*CGRAM operates the same way as DDRAM, when reading from or writing to CGRAM.

SH: shift of entire display

When DDRAM read (CGRAM read/write) operation or SH="Low", shifting of entire display is not performed. If SH="High" and DDRAM write operation, shift of entire display is performed according to I/D value. (I/D="high". shift left, I/D="Low". Shift right).

4) Display ON/OFF control

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

Control display/cursor/blink ON/OFF 1 bit register.

D: Display ON/OFF control bit

When D="High", entire display is turned on.

When D="Low", display is turned off, but display data remains in DDRAM.

C: cursor ON/OFF control bit

When D="High", cursor is turned on.

When D="Low", cursor is disappeared in current display, but I/D register preserves its data.

B: Cursor blink ON/OFF control bit

When B="High", cursor blink is on, which performs alternately between all the "High" data and display characters at the cursor position.

When B="Low", blink is off.

5) Cursor or display shift

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-

Shifting of right/left cursor position or display without writing or reading of display data.

This instruction is used to correct or search display data.

During 2-line mode display, cursor moves to the 2nd line after the 40th digit of the 1st line.

Note that display shift is performed simultaneously in all the lines.

When display data is shifted repeatedly, each line is shifted individually.

When display shift is performed, the contents of the address counter are not changed.

Shift patterns according to S/C and R/L bits

S/C	R/L	Operation
0	0	Shift cursor to the left, AC is decreased by 1
0	1	Shift cursor to the right, AC is increased by 1
1	0	Shift all the display to the left, cursor moves according to the display
1	1	Shift all the display to the right, cursor moves according to the display

6) Function set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-

DL: Interface data length control bit

When DL="High", it means 8-bit bus mode with MPU.
 When DL="Low", it means 4-bit bus mode with MPU. Hence, DL is a signal to select 8-bit or 4-bit bus mode.
 When 4-bit bus mode, it needs to transfer 4-bit data twice.

N: Display line number control bit

When N="Low", 1-line display mode is set.
 When N="High", 2-line display mode is set.

F: Display line number control bit

When F="Low", 5x8 dots format display mode is set.
 When F="High", 5x11 dots format display mode.

7) Set CGRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set CGRAM address to AC.
 The instruction makes CGRAM data available from MPU.

8) Set DDRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set DDRAM address to AC.
 This instruction makes DDRAM data available from MPU.
 When 1-line display mode (N=LOW), DDRAM address is form "00H" to "4FH". In 2-line display mode (N=High), DDRAM address in the 1st line form "00H" to "27H", and DDRAM address in the 2nd line is from "40H" to "67H".

9) Read busy flag & address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

This instruction shows whether SPLC780D is in internal operation or not.
 If the resultant BF is "High", internal operation is in progress and should wait BF is to be LOW, which by then the next instruction can be performed. In this instruction you can also read the value of the address counter.

10) Write data to RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Write binary 8-bit data to DDRAM/CGRAM.
 The selection of RAM from DDRAM, and CGRAM, is set by the previous address set instruction (DDRAM address set, CGRAM address set).
 RAM set instruction can also determine the AC direction to RAM.
 After write operation. The address is automatically increased/decreased by 1, according to the entry mode.

11) Read data from RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Read binary 8-bit data from DDRAM/CGRAM.
 The selection of RAM is set by the previous address set instruction. If the address set instruction of RAM is not performed before this instruction, the data that has been read first is invalid, as the direction of AC is not yet determined. If RAM data is read several times without RAM address instructions set before, read operation, the correct RAM data can be obtained from the second. But the first data would be incorrect, as there is no time margin to transfer RAM data.

In case of DDRAM read operation, cursor shift instruction plays the same role as DDRAM address set

12. Standard character pattern

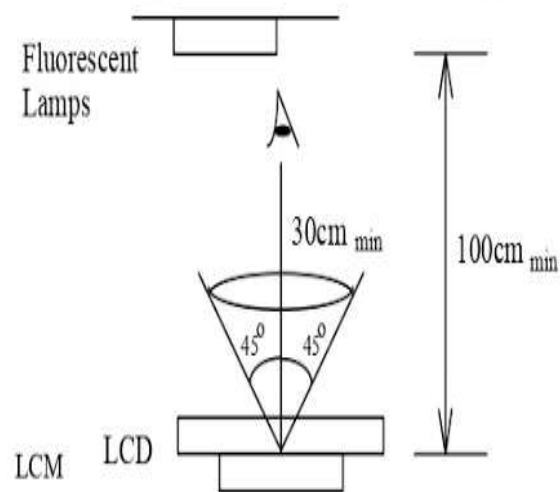
Upper 4bit \ Lower 4bit	LLLL	LLLH	LLHL	LLHH	LHLL	LHLH	LHHL	LHHH	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLL	HHLH	HHHL	HHHH
LLLL (1)	CG RAM (1)															
LLLH (2)																
LLHL (3)																
LLHH (4)																
LHLL (5)																
LHLH (6)																
LHHL (7)																
LHHH (8)																
HLLL (1)																
HLLH (2)																
HLHL (3)																
HLHH (4)																
HHLL (5)																
HHLH (6)																
HHHL (7)																
HHHH (8)																

13. QUALITY SPECIFICATIONS

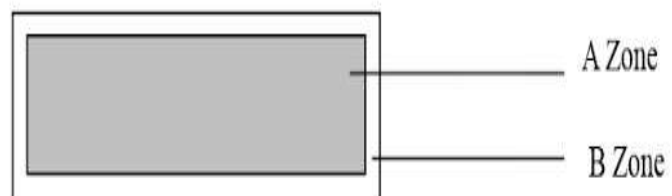
13.1 Standard of the product appearance test

Manner of appearance test: The inspection should be performed in using 20W x 2 fluoresco
 Distance between LCM and fluorescent lamps should be 100 cm or more. Distance between
 inspector eyes should be 30 cm or more.

Viewing direction for inspection is 45° from vertical against LCM.



Definition of zone:



A Zone: Active display area (minimum viewing area).

B Zone: Non-active display area (outside viewing area).

13.2 Specification of quality assurance

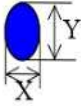
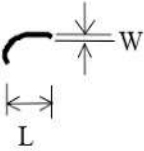
AQL inspection standard

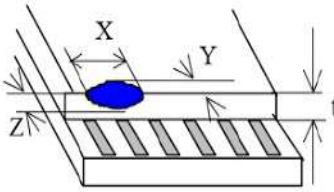
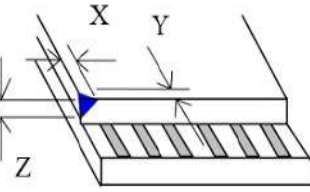
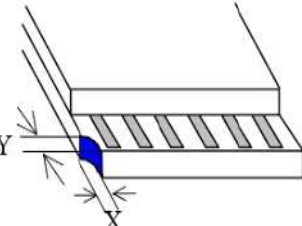
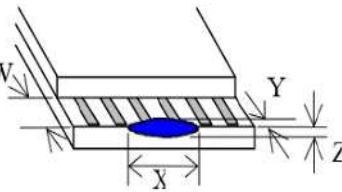
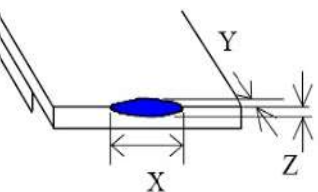
Sampling method: MIL-STD-105E, Level II, single sampling

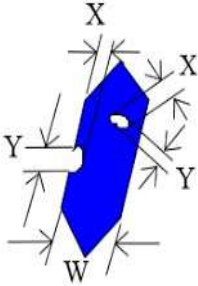
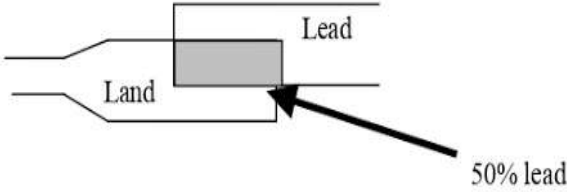
Defect classification (Note: * is not including)

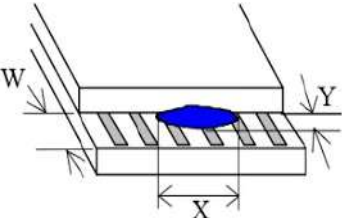
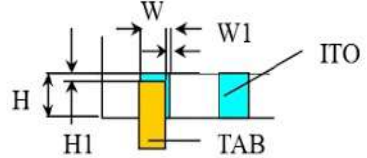
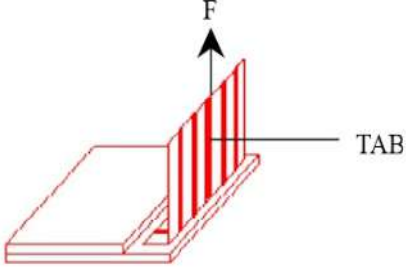
Classify	Item		Note	AQL
Major	Display state	Short or open circuit	1	0.65
		LC leakage		
		Flickering		
		No display		
		Wrong viewing direction		
		Contrast defect (dim, ghost)	2	
		Back-light	1,8	
	Non-display	Flat cable or pin reverse	10	
Wrong or missing component		11		
Minor	Display state	Background color deviation	2	1.0
		Black spot and dust	3	
		Line defect, Scratch	4	
		Rainbow	5	
		Chip	6	
		Pin hole	7	
	Polarizer	Protruded	12	
		Bubble and foreign material	3	
	Soldering	Poor connection	9	
	Wire	Poor connection	10	
	TAB	Position, Bonding strength	13	

Note on defect classification

No.	Item	Criterion																				
1	Short or open circuit	Not allow																				
	LC leakage																					
	Flickering																					
	No display																					
	Wrong viewing direction																					
	Wrong Back-light																					
2	Contrast defect	Refer to approval sample																				
	Background color deviation																					
3	Point defect, Black spot, dust (including Polarizer) $\phi = (X+Y)/2$	 <table border="1" data-bbox="986 1025 1385 1317"> <thead> <tr> <th>Point Size</th> <th>Acceptable Qty.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\phi \leq 0.10$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$0.10 < \phi \leq 0.20$</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>$0.20 < \phi \leq 0.25$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>$0.25 < \phi \leq 0.30$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\phi > 0.30$</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Unit: mm</p>	Point Size	Acceptable Qty.	$\phi \leq 0.10$	Disregard	$0.10 < \phi \leq 0.20$	3	$0.20 < \phi \leq 0.25$	2	$0.25 < \phi \leq 0.30$	1	$\phi > 0.30$	0								
Point Size	Acceptable Qty.																					
$\phi \leq 0.10$	Disregard																					
$0.10 < \phi \leq 0.20$	3																					
$0.20 < \phi \leq 0.25$	2																					
$0.25 < \phi \leq 0.30$	1																					
$\phi > 0.30$	0																					
4	Line defect, Scratch	 <table border="1" data-bbox="922 1451 1423 1711"> <thead> <tr> <th colspan="2">Line</th> <th>Acceptable Qty.</th> </tr> <tr> <th>L</th> <th>W</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>---</td> <td>$0.015 \geq W$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$3.0 \geq L$</td> <td>$0.03 \geq W$</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>$2.0 \geq L$</td> <td>$0.05 \geq W$</td> </tr> <tr> <td>$1.0 \geq L$</td> <td>$0.1 > W$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>$0.05 < W$</td> <td>Applied as point defect</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Unit: mm</p>	Line		Acceptable Qty.	L	W		---	$0.015 \geq W$	Disregard	$3.0 \geq L$	$0.03 \geq W$	2	$2.0 \geq L$	$0.05 \geq W$	$1.0 \geq L$	$0.1 > W$	1	---	$0.05 < W$	Applied as point defect
Line		Acceptable Qty.																				
L	W																					
---	$0.015 \geq W$	Disregard																				
$3.0 \geq L$	$0.03 \geq W$	2																				
$2.0 \geq L$	$0.05 \geq W$																					
$1.0 \geq L$	$0.1 > W$	1																				
---	$0.05 < W$	Applied as point defect																				
5	Rainbow	Not more than two color changes across the viewing area.																				

No	Item	Criterion																																
6	Chip Remark: X: Length direction Y: Short direction Z: Thickness direction t: Glass thickness W: Terminal Width	 <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="1037 436 1388 504"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 2</td> <td>0.5mm</td> <td>$\leq t/2$</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="1029 750 1388 817"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 2</td> <td>0.5mm</td> <td>$\leq t$</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="1045 1041 1388 1153"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 3</td> <td>≤ 2</td> <td rowspan="2">$\leq t$</td> </tr> <tr> <td colspan="2">shall not reach to ITO</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="1029 1422 1388 1500"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disregard</td> <td>≤ 0.2</td> <td>$\leq t$</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="1029 1713 1364 1792"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 5</td> <td>≤ 2</td> <td>$\leq t/3$</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	≤ 2	0.5mm	$\leq t/2$	X	Y	Z	≤ 2	0.5mm	$\leq t$	X	Y	Z	≤ 3	≤ 2	$\leq t$	shall not reach to ITO		X	Y	Z	Disregard	≤ 0.2	$\leq t$	X	Y	Z	≤ 5	≤ 2	$\leq t/3$
X	Y	Z																																
≤ 2	0.5mm	$\leq t/2$																																
X	Y	Z																																
≤ 2	0.5mm	$\leq t$																																
X	Y	Z																																
≤ 3	≤ 2	$\leq t$																																
shall not reach to ITO																																		
X	Y	Z																																
Disregard	≤ 0.2	$\leq t$																																
X	Y	Z																																
≤ 5	≤ 2	$\leq t/3$																																

No.	Item	Criterion								
7	Segment pattern $W = \text{Segment width}$ $\phi = (X+Y)/2$	(1) Pin hole $\phi < 0.10\text{mm}$ is acceptable.  <table border="1" data-bbox="981 638 1404 828"> <thead> <tr> <th>Point Size</th> <th>Acceptable Qty</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\phi \leq 1/4W$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$1/4W < \phi \leq 1/2W$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\phi > 1/2W$</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Unit: mm</p>	Point Size	Acceptable Qty	$\phi \leq 1/4W$	Disregard	$1/4W < \phi \leq 1/2W$	1	$\phi > 1/2W$	0
Point Size	Acceptable Qty									
$\phi \leq 1/4W$	Disregard									
$1/4W < \phi \leq 1/2W$	1									
$\phi > 1/2W$	0									
8	Back-light	(1) The color of backlight should correspond its specification. (2) Not allow flickering								
9	Soldering	(1) Not allow heavy dirty and solder ball on PCB. (The size of dirty refer to point and dust defect) (2) Over 50% of lead should be soldered on Land. 								
10	Wire	(1) Copper wire should not be rusted (2) Not allow crack on copper wire connection. (3) Not allow reversing the position of the flat cable. (4) Not allow exposed copper wire inside the flat cable.								
11*	PCB	(1) Not allow screw rust or damage. (2) Not allow missing or wrong putting of component.								

No	Item	Criterion
12	Protruded W: Terminal Width	 <p>Acceptable criteria: $Y \leq 0.4$</p>
13	TAB	<p>1. Position</p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> $W1 \leq 1/3W$ $H1 \leq 1/3H$ </div> <p>2. TAB bonding strength test</p>  <p> $P (=F/TAB \text{ bonding width}) \geq 650\text{gf/cm}$,(speed rate: 1mm/min) 5pcs per SOA (shipment) </p>
14	Total no. of acceptable Defect	<p>A. Zone</p> <p>Maximum 2 minor non-conformities per one unit. Defect distance: each point to be separated over 10mm</p> <p>B. Zone</p> <p>It is acceptable when it is no trouble for quality and assembly in customer's end product.</p>

13.3 Reliability of LCM

Reliability test condition:

Item	Condition	Time (hrs)	Assessment
High temp. Storage	80°C	48	No abnormalities in functions and appearance
High temp. Operating	70°C	48	
Low temp. Storage	-30°C	48	
Low temp. Operating	-20°C	48	
Humidity	40°C/ 90%RH	48	
Temp. Cycle	0°C ← 25°C → 50°C (30 min ← 5 min → 30min)	10cycles	

Recovery time should be 24 hours minimum. Moreover, functions, performance and appearance shall be free from remarkable deterioration within 50,000 hours under ordinary operating and storage conditions room temperature (20±8°C), normal humidity (below 65% RH), and in the area not exposed to direct sun light.

13.4 Precaution for using LCD/LCM

LCD/LCM is assembled and adjusted with a high degree of precision. Do not attempt to make any alteration or modification. The followings should be noted.

General Precautions:

1. LCD panel is made of glass. Avoid excessive mechanical shock or applying strong pressure onto the surface of display area.
2. The polarizer used on the display surface is easily scratched and damaged. Extreme care should be taken when handling. To clean dust or dirt off the display surface, wipe gently with cotton, or other soft material soaked with isopropyl alcohol, ethyl alcohol or trichlorotrifluoroethane, do not use water, ketone or aromatics and never scrub hard.
3. Do not tamper in any way with the tabs on the metal frame.
4. Do not make any modification on the PCB without consulting AMOTEC
5. When mounting a LCM, make sure that the PCB is not under any stress such as bending or twisting. Elastomer contacts are very delicate and missing pixels could result from slight dislocation of any of the elements.
6. Avoid pressing on the metal bezel, otherwise the elastomer connector could be deformed and lose contact, resulting in missing pixels and also cause rainbow on the display.
7. Be careful not to touch or swallow liquid crystal that might leak from a damaged cell. Any liquid crystal adheres to skin or clothes, wash it off immediately with soap and water.

Static Electricity Precautions:

1. CMOS LSI is used for the module circuit; therefore operators should be grounded whenever he/she comes into contact with the module.
2. Do not touch any of the conductive parts such as the LSI pads; the copper leads on the PCB and the interface terminals with any parts of the human body.

3. Do not touch the connection terminals of the display with bare hand; it will cause disconnection or defective insulation of terminals.
4. The modules should be kept in anti-static bags or other containers resistant to static for storage.
5. Only properly grounded soldering irons should be used.
6. If an electric screwdriver is used, it should be grounded and shielded to prevent sparks.
7. The normal static prevention measures should be observed for work clothes and working benches.
8. Since dry air is inductive to static, a relative humidity of 50-60% is recommended.

Soldering Precautions:

1. Soldering should be performed only on the I/O terminals.
2. Use soldering irons with proper grounding and no leakage.
3. Soldering temperature: $280^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$
4. Soldering time: 3 to 4 second.
5. Use eutectic solder with resin flux filling.
6. If flux is used, the LCD surface should be protected to avoid spattering flux.
7. Flux residue should be removed.

Operation Precautions:

1. The viewing angle can be adjusted by varying the LCD driving voltage V_o .
2. Since applied DC voltage causes electro-chemical reactions, which deteriorate the display, the applied pulse waveform should be a symmetric waveform such that no DC component remains. Be sure to use the specified operating voltage.
3. Driving voltage should be kept within specified range; excess voltage will shorten display life.
4. Response time increases with decrease in temperature.
5. Display color may be affected at temperatures above its operational range.
6. Keep the temperature within the specified range usage and storage. Excessive temperature and humidity could cause polarization degradation, polarizer peel-off or generate bubbles.
7. For long-term storage over 40°C is required, the relative humidity should be kept below 60%, and avoid direct sunlight.

Limited Warranty

AMOTEC LCDs and modules are not consumer products, but may be incorporated by AMOTEC's customers into consumer products or components thereof, AMOTEC does not warrant that its LCDs and components are fit for any such particular purpose.

1. The liability of AMOTEC is limited to repair or replacement on the terms set forth below. AMOTEC will not be responsible for any subsequent or consequential events or injury or damage to any personnel or user including third party personnel and/or user. Unless otherwise agreed in writing between AMOTEC and the customer, AMOTEC will only replace or repair any of its LCD which is found defective electrically or visually when inspected in accordance with AMOTEC general LCD inspection standard. (Copies available on request)
2. No warranty can be granted if any of the precautions state in handling liquid crystal display above has been disregarded. Broken glass, scratches on polarizer mechanical damages as well as defects that are caused accelerated environment tests are excluded from warranty.
3. In returning the LCD/LCM, they must be properly packaged; there should be detailed description of the failures or defect.

Regulador de tensión L78S09CV



L78Sxx
L78SxxC

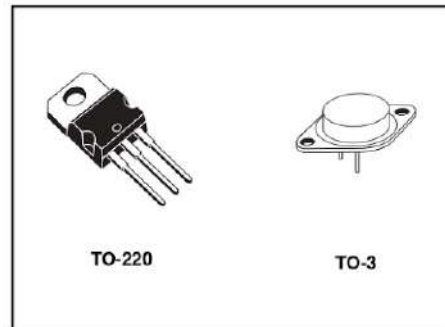
2 A positive voltage regulators

Features

- Output current to 2 A
- Output voltages of 5; 7.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

Description

The L78Sxx series of three-terminal positive regulators is available in TO-220 and TO-3 packages and with several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 2 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

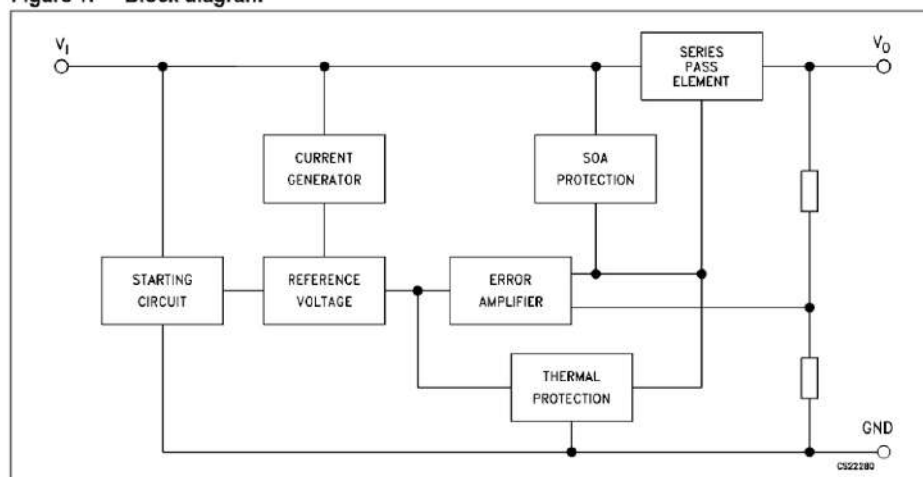


L78Sxx - L78SxxC

Diagram

1 Diagram

Figure 1. Block diagram



2 Pin configuration

Figure 2. Pin connections (top view)

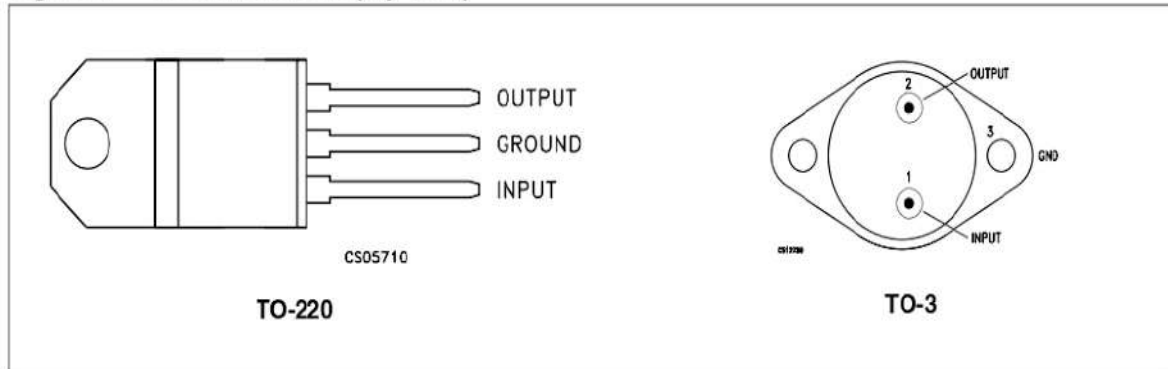
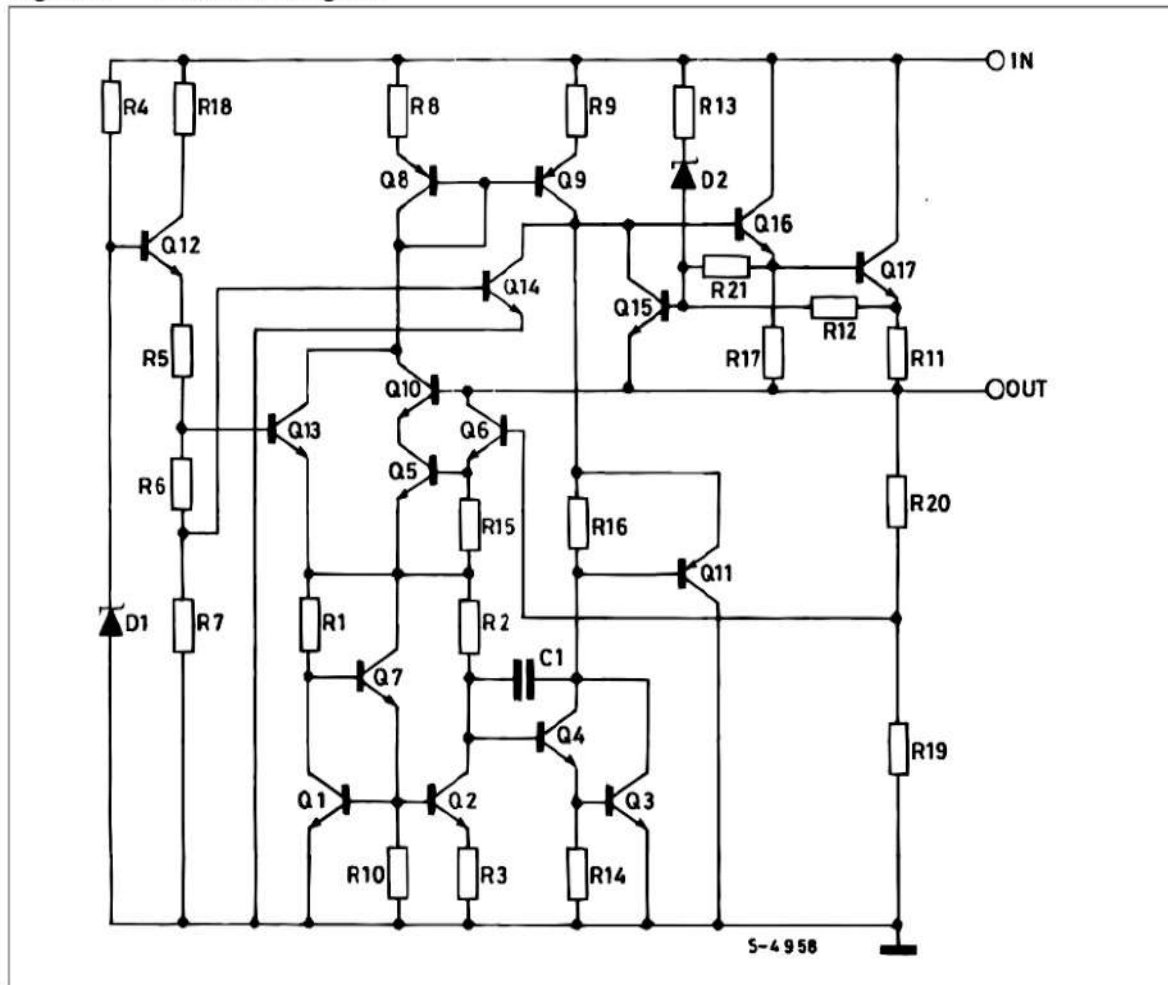


Figure 3. Schematic diagram



3 Maximum ratings

Table 2. Absolute maximum ratings

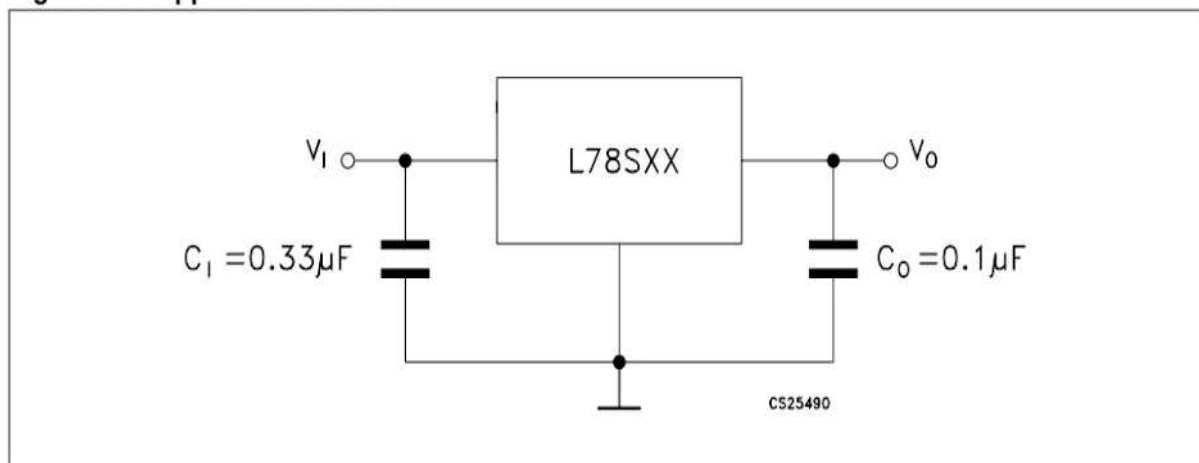
Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC input voltage	for $V_O = 5$ to $18V$	35	V
		for $V_O = 24V$	40	
I_O	Output current		Internally limited	
P_D	Power dissipation		Internally limited	
T_{STG}	Storage temperature range		-65 to 150	°C
T_{OP}	Operating junction temperature range	for L78Sxx	-55 to 150	°C
		for L78SxxC	0 to 150	

Note: Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 3. Thermal data

Symbol	Parameter	TO-220	TO-3	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case	5	4	°C/W
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	50	35	°C/W

Figure 4. Application circuits



4 Test circuits

Figure 5. DC parameter

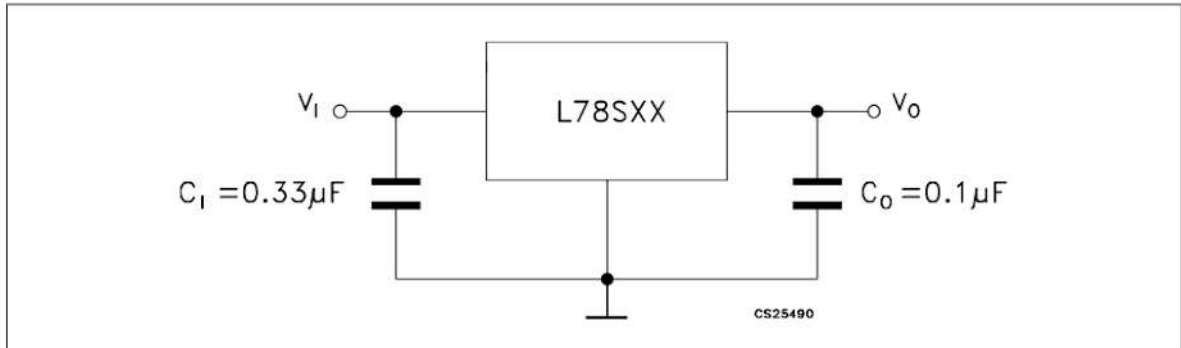


Figure 6. Load regulation

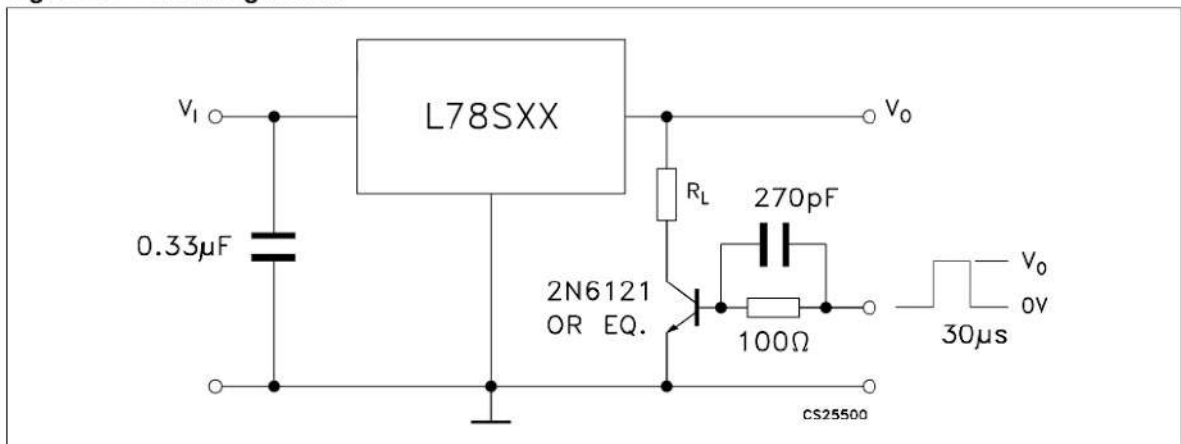
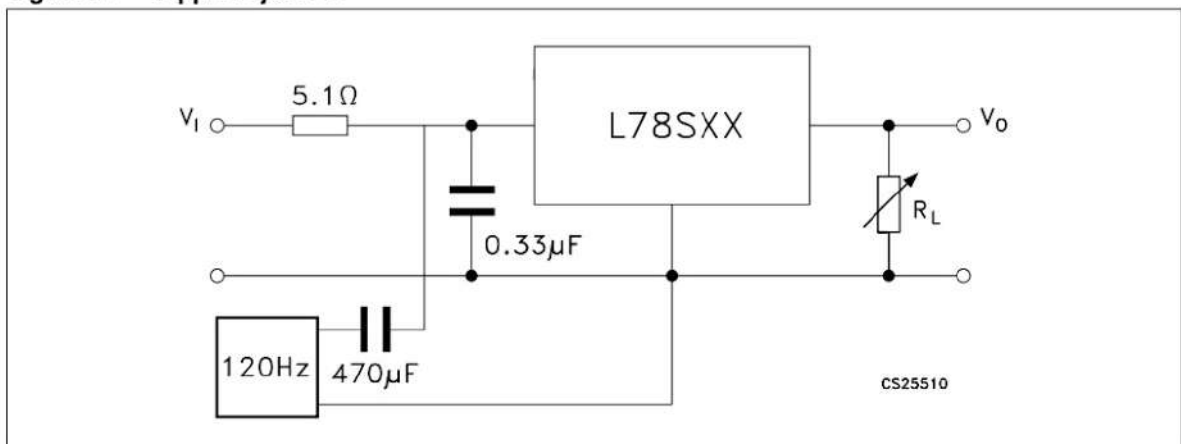


Figure 7. Ripple rejection



5 Electrical characteristics

Table 4. Electrical characteristics of L78S05 (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 7\text{ V}$	4.75	5	5.25	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$			100	mV
		$V_I = 8\text{ to }25\text{ V}$			50	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }2\text{ A}$			100	mV
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = -55^\circ\text{C to }150^\circ\text{C}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		40		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	60			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	8			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Electrical characteristics
L78Sxx - L78SxxC
Table 5. Electrical characteristics of L78S75 (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 12.5\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		7.15	7.5	7.9	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 9.5\text{ V}$	7.1	7.5	7.95	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 9.5\text{ to }25\text{ V}$			120	mV
		$V_I = 10.5\text{ to }20\text{ V}$			60	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }2\text{ A}$			120	mV
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$I_O = 20\text{ mA}$, $V_I = 9.5\text{ to }25\text{ V}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = -55^\circ\text{C to }150^\circ\text{C}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		52		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	54			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1.5\text{ A}$	10.5			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Table 6. Electrical characteristics of L78S09 (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		8.65	9	9.35	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 11\text{ V}$	8.6	9	9.4	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 11\text{ to }25\text{ V}$			130	mV
		$V_I = 11\text{ to }20\text{ V}$			65	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }2\text{ A}$			130	mV
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = -55^\circ\text{C to }150^\circ\text{C}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		60		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	53			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1.5\text{ A}$	12			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

L78Sxx - L78SxxC
Electrical characteristics
Table 7. Electrical characteristics of L78S10 (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 15\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		9.5	10	10.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 12.5\text{ V}$	9.4	10	10.6	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 12.5$ to 30 V			200	mV
		$V_I = 14$ to 22 V			100	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA}$ to 2 A			150	mV
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 12.5$ to 30 V , $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = -55^\circ\text{C}$ to 150°C		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz		65		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	53			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1.5\text{ A}$	13			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Table 8. Electrical characteristics of L78S12 (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 14.5\text{ V}$	11.4	12	12.6	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 14.5$ to 30 V			240	mV
		$V_I = 16$ to 22 V			120	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA}$ to 2 A			160	mV
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 14.5$ to 30 V , $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = -55^\circ\text{C}$ to 150°C		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz		75		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	53			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1.5\text{ A}$	15			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Electrical characteristics
L78Sxx - L78SxxC
Table 9. Electrical characteristics of L78S15 (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		14.4	15	15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 17.5\text{ V}$	14.25	15	15.75	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 17.5$ to 30 V			300	mV
		$V_I = 20$ to 26 V			150	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA}$ to 2 A			180	mV
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 17.5$ to 30 V , $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = -55^\circ\text{C}$ to 150°C		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz		90		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	52			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1.5\text{ A}$	18			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		$\text{m}\Omega$
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Table 10. Electrical characteristics of L78S18 (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 26\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		17.1	18	18.9	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 20.5\text{ V}$	17	18	19	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 20.5$ to 30 V			360	mV
		$V_I = 22$ to 28 V			180	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA}$ to 2 A			200	mV
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 20.5$ to 30 V , $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = -55^\circ\text{C}$ to 150°C		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz		110		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	49			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1.5\text{ A}$	21			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		22		$\text{m}\Omega$
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

L78Sxx - L78SxxC
Electrical characteristics
Table 11. Electrical characteristics of L78S24 (refer to the test circuits, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		23	24	25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 27\text{ V}$	22.8	24	25.2	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$			480	mV
		$V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$			240	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }2\text{ A}$			250	mV
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = -55\text{ }^\circ\text{C to }150\text{ }^\circ\text{C}$		-1.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	B = 10Hz to 100kHz		170		μV
SVR	Supply voltage rejection	f = 120Hz	48			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1.5\text{ A}$	27			V
R_O	Output resistance	f = 1 kHz		23		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Table 12. Electrical characteristics of L78S05C (refer to the test circuits, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 7\text{ V}$	4.75	5	5.25	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$			100	mV
		$V_I = 8\text{ to }25\text{ V}$			50	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			100	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		80		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0\text{ }^\circ\text{C to }70\text{ }^\circ\text{C}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	B = 10Hz to 100kHz		40		μV
SVR	Supply voltage rejection	f = 120Hz	54			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	8			V
R_O	Output resistance	f = 1 kHz		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Electrical characteristics
L78Sxx - L78SxxC
Table 13. Electrical characteristics of L78S75C (refer to the test circuits, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $V_I = 12.5\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		7.15	7.5	7.9	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 9.5\text{ V}$	7.1	7.5	7.95	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 9.5\text{ to }25\text{ V}$			120	mV
		$V_I = 10.5\text{ to }20\text{ V}$			60	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			140	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		100		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 9.5\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		52		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	48			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	10.5			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Table 14. Electrical characteristics of L78S09C (refer to the test circuits, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		8.65	9	9.35	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 11\text{ V}$	8.6	9	9.4	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 11\text{ to }25\text{ V}$			130	mV
		$V_I = 11\text{ to }20\text{ V}$			65	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			170	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		100		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		60		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	47			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	12			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

L78Sxx - L78SxxC
Electrical characteristics
Table 15. Electrical characteristics of L78S10C (refer to the test circuits, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $V_I = 15\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		9.5	10	10.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 12.5\text{ V}$	9.4	10	10.6	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 12.5\text{ to }30\text{ V}$			200	mV
		$V_I = 14\text{ to }22\text{ V}$			100	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			240	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		150		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 12.5\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0\text{ }^\circ\text{C to }70\text{ }^\circ\text{C}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	B = 10Hz to 100kHz		65		μV
SVR	Supply voltage rejection	f = 120Hz	47			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	13			V
R_O	Output resistance	f = 1 kHz		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Table 16. Electrical characteristics of L78S12C (refer to the test circuits, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 14.5\text{ V}$	11.4	12	12.6	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 14.5\text{ to }30\text{ V}$			240	mV
		$V_I = 16\text{ to }22\text{ V}$			120	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			240	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		150		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 14.5\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0\text{ }^\circ\text{C to }70\text{ }^\circ\text{C}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	B = 10Hz to 100kHz		75		μV
SVR	Supply voltage rejection	f = 120Hz	47			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	15			V
R_O	Output resistance	f = 1 kHz		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Electrical characteristics
L78Sxx - L78SxxC
Table 17. Electrical characteristics of L78S15C (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		14.4	15	15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 17.5\text{ V}$	14.25	15	15.75	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$			300	mV
		$V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$			150	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			300	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		150		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	B = 10Hz to 100kHz		90		μV
SVR	Supply voltage rejection	f = 120Hz	46			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	18			V
R_O	Output resistance	f = 1 kHz		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Table 18. Electrical characteristics of L78S18C (refer to the test circuits, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_I = 26\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		17.1	18	18.9	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 20.5\text{ V}$	17	18	19	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 20.5\text{ to }30\text{ V}$			360	mV
		$V_I = 22\text{ to }28\text{ V}$			180	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			360	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		200		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 20.5\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	B = 10Hz to 100kHz		110		μV
SVR	Supply voltage rejection	f = 120Hz	43			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	21			V
R_O	Output resistance	f = 1 kHz		22		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

L78Sxx - L78SxxC
Electrical characteristics
Table 19. Electrical characteristics of L78S24C (refer to the test circuits, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		23	24	25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 27\text{ V}$	22.8	24	25.2	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$			480	mV
		$V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$			240	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			480	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		300		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0\text{ }^\circ\text{C to }70\text{ }^\circ\text{C}$		-1.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	B = 10Hz to 100kHz		170		μV
SVR	Supply voltage rejection	f = 120Hz	42			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	27			V
R_O	Output resistance	f = 1 kHz		28		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

Typical performance

L78Sxx - L78SxxC

6 Typical performance

Figure 8. Dropout voltage vs junction temperature

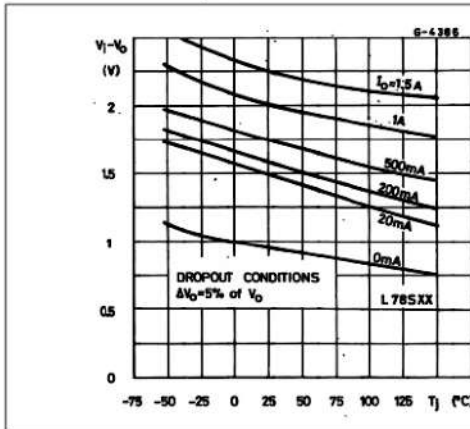


Figure 9. Peak output current vs input/output differential voltage

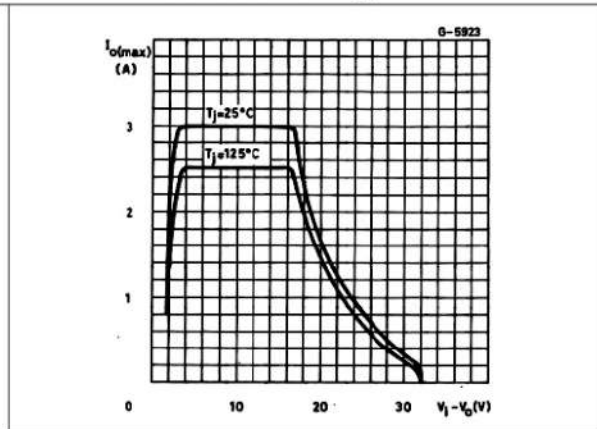


Figure 10. Output impedance vs frequency

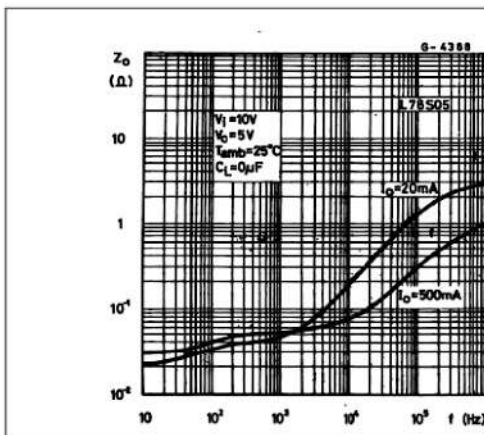


Figure 11. Output voltage vs junction temperature

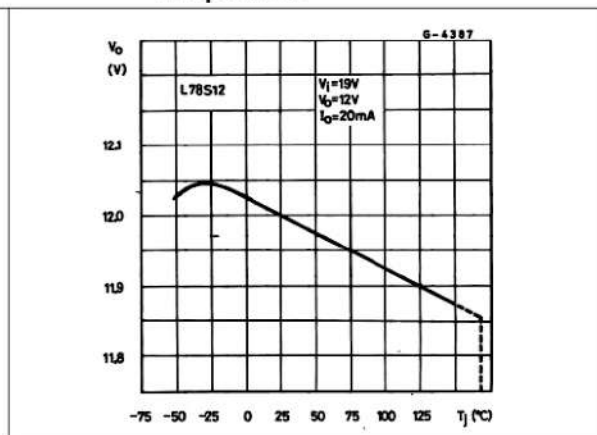


Figure 12. Supply voltage rejection vs frequency

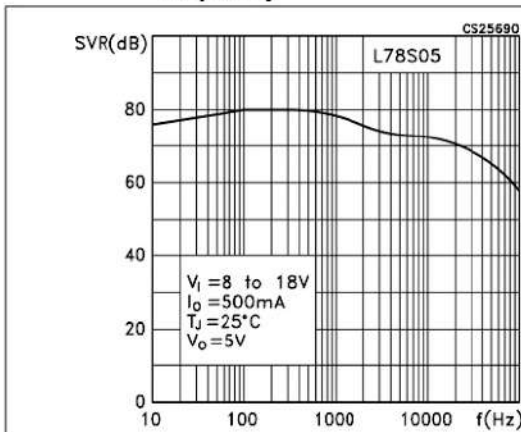


Figure 13. Quiescent current vs junction temperature

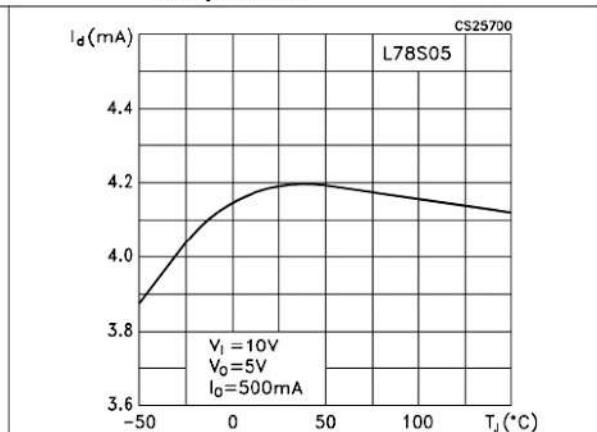


Figure 14. Load transient response

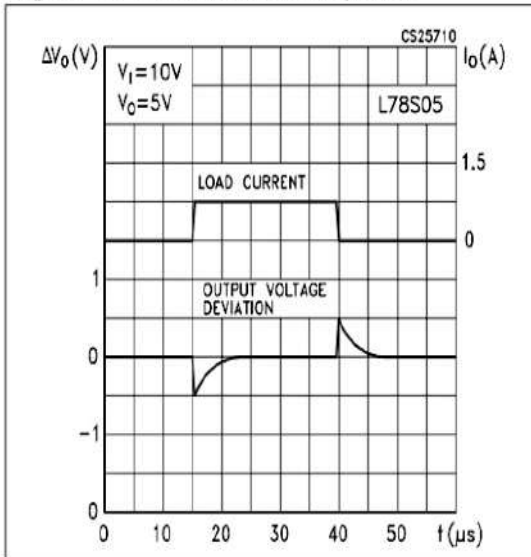


Figure 15. Line transient response

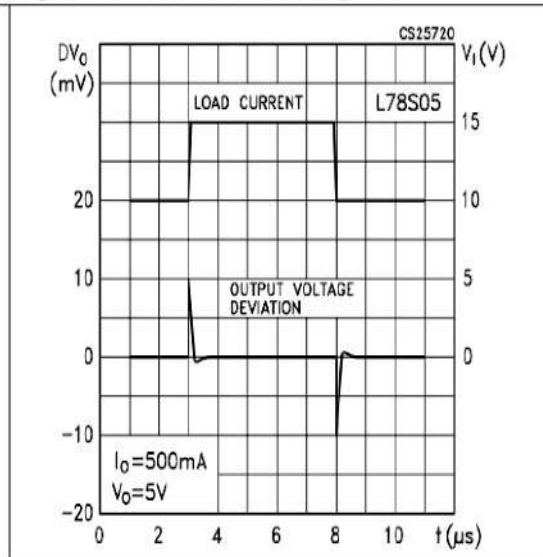
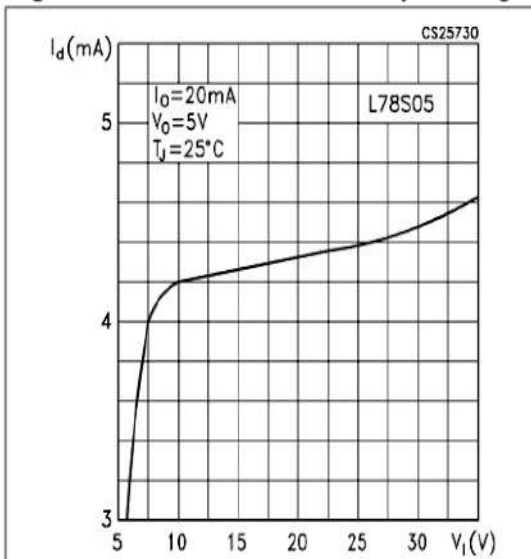


Figure 16. Quiescent current vs input voltage

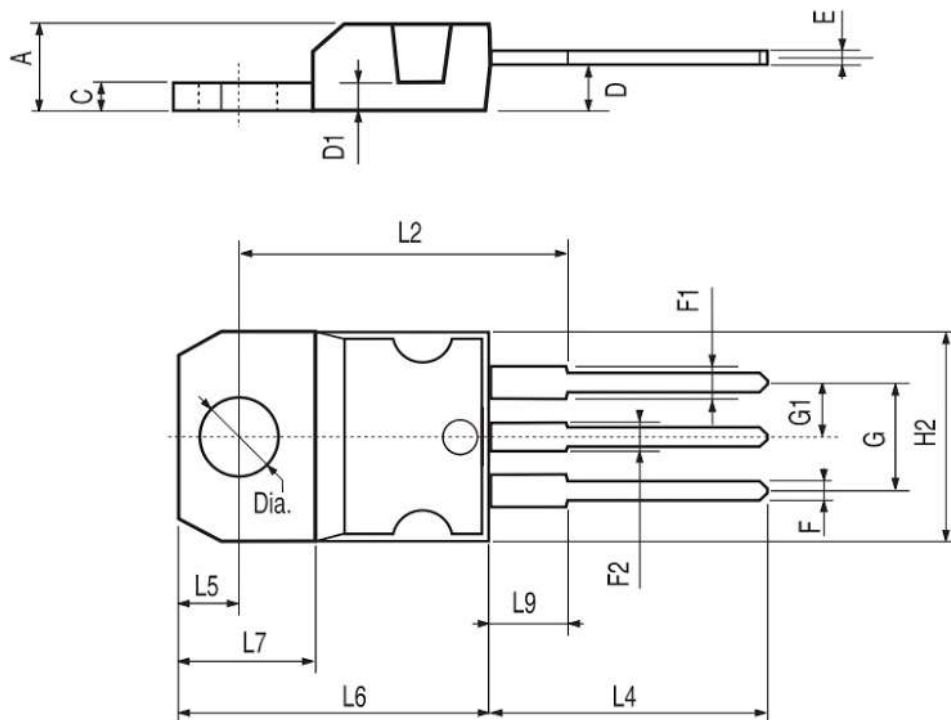


Package mechanical data

L78Sxx - L78SxxC

TO-220 mechanical data

Dim.	mm.			inch.		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151



P011C

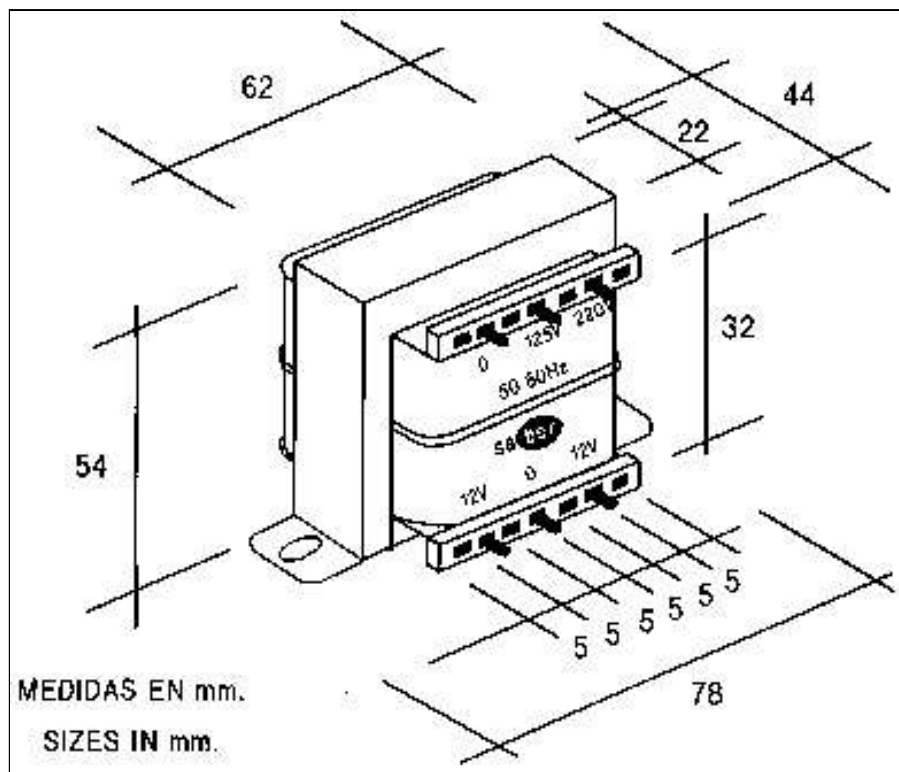
L78Sxx - L78SxxC
Order codes

8 Order codes

Table 20. Order codes

Part numbers	Packages		Output voltage
	TO-220	TO-3	
L78S05		L78S05T ⁽¹⁾	5 V
L78S05C	L78S05CV	L78S05CT ⁽¹⁾	5 V
L78S75		L78S75T ⁽¹⁾	7.5 V
L78S75C	L78S75CV	L78S75CT ⁽¹⁾	7.5 V
L78S09		L78S09T ⁽¹⁾	9 V
L78S09C	L78S09CV		9 V
L78S10		L78S10T ⁽¹⁾	10 V
L78S10C	L78S10CV	L78S10CT ⁽¹⁾	10 V
L78S12		L78S12T ⁽¹⁾	12 V
L78S12C	L78S12CV	L78S12CT	12 V
L78S15		L78S15T ⁽¹⁾	15 V
L78S15C	L78S15CV		15 V
L78S18		L78S18T ⁽¹⁾	18 V
L78S18C	L78S18CV		18 V
L78S24		L78S24T ⁽¹⁾	24 V
L78S24C	L78S24CV	L78S24CT ⁽¹⁾	24 V

Transformador TAP



ANEXO IV: Prácticas Opcionales

En este anexo pretendemos proporcionar diversos ejemplos de informes con los que los profesores pueden usar para desarrollar sus prácticas. Son meramente orientativos y no son de obligatorio uso a la hora de usar el KIT.

A 4.1 Informe DC

Se plantea que el alumno de valores de diversos voltajes con las diferentes aspas con y sin la incorporación de las multiplicadoras. Hay que completar la tabla comparativa y determinar que palas es la mejor en función de la velocidad aplicada y el voltaje generado. Tomar valores de voltaje con el multímetro proporcionado por el laboratorio. ¿Es más preciso el multímetro incorporado al del proporcionado por el laboratorio? Explicar razonadamente.

Material necesario: tacómetro digital, multímetro y ventilador de varias velocidades.

Tipo de pala	Velocidad angular (rpm)	Voltaje generado (V) multímetro incorporado	Voltaje generado (V) multímetro laboratorio

Conclusiones: _____

Con estos valores, hacer las mismas mediciones pero en este caso sin hacer uso de las multiplicadoras. Observar que ocurre con el voltaje generado a la misma velocidad angular.

Tipo de pala	Velocidad angular (rpm)	Voltaje generado (V) multímetro incorporado	Voltaje generado (V) multímetro laboratorio

Conclusiones: _____

Realizar un gráfica velocidad angular - voltaje con cada pala y con y sin multiplicadora. ¿La gráfica es lineal? Explicar razonadamente la respuesta.

Determinar finalmente el rendimiento con la multiplicadora y sin la multiplicadora a la misma velocidad en cada medida. En el ámbito industrial, ¿por qué no son tan utilizados los generadores de corriente continua?

Opcional: realizar el circuito equivalente del generador de corriente continua utilizado en este caso.

A 4.2 Informe AC

Realizar medidas con las diferentes aspas con el aerogenerador de corriente alterna. Anotar los valores de velocidad angular, la frecuencia y el voltaje pico.

Material necesario: ventilador de varias velocidades, multímetro, tacómetro digital y osciloscopio.

Tipo de pala	Velocidad angular (rpm)	Voltaje generado (Vp)	Frecuencia (Hz)

Determinar qué tipo de pala es mejor en este caso y por qué. Explicar qué ocurre con la frecuencia al cambiar de palas y hallar los valores mínimos de voltaje y de frecuencia a la entrada del puente rectificador para que el sistema pueda funcionar correctamente.

A la entrada del circuito (antes del puente rectificador) tomar valores del voltaje y compararlos con la salida. Determinar el rendimiento según el tipo de pala.

Tipo de pala	Voltaje de entrada (Vp)	Voltaje de salida (Vp)	Rendimiento

Explicar razonadamente el funcionamiento del circuito con respecto a la señal de corriente alterna generada. ¿Es una señal senoidal perfecta? Explicar razonadamente.

A una escala de tiempo grande, ¿que ocurre con la señal? Explicar razonadamente su comportamiento a esa escala de tiempo.

Opcional: realizar el circuito equivalente del generador de corriente alterna utilizado en este caso.

ANEXO V: Transmisión de Potencia, Multiplicador

Entre los mecanismos de transmisión de potencia que existen se incluyen los trenes de engranaje que hemos propuesto como prototipo 1 en este proyecto, en concreto, engranajes de dientes rectos. El funcionamiento de estos sistemas está basado, como su propio nombre indica, en transmitir potencia de un punto a otro variando la relación entre velocidad angular (ω) y par mecánico (M), mediante un factor conocido como relación de transmisión.

En un tren de engranajes, idealmente, el valor de la potencia de entrada coincide con el valor de la potencia de salida, esto es cierto si ignoramos las pérdidas que tiene internamente el mecanismo debido a la fricción con el medio y entre los propios engranajes. De esta forma, se cumple que la potencia se mantiene constante y que en función de la relación de tamaño y/o número de dientes entre las ruedas (relación de transmisión), varía el par y la velocidad angular de salida. Estas magnitudes son directamente proporcionales a la potencia, por lo que se cumple que a mayor par mecánico menor es la velocidad angular del engranaje y viceversa.

A continuación mostramos las ecuaciones que lo demuestran:

$$P = \omega \cdot M = cte \text{ siendo } M = r \cdot F$$

$$\omega_1 = \omega_m \frac{N_A}{N_B} = \omega_m \frac{D_A}{D_B} = \omega_m \frac{r_A}{r_B}$$

$$P = \omega \cdot M = cte \text{ siendo } M = r \cdot F$$

Donde:

N : número de dientes de la rueda

D : diámetro de la rueda (m)

r : radio de la rueda (m)

P : potencia (W)

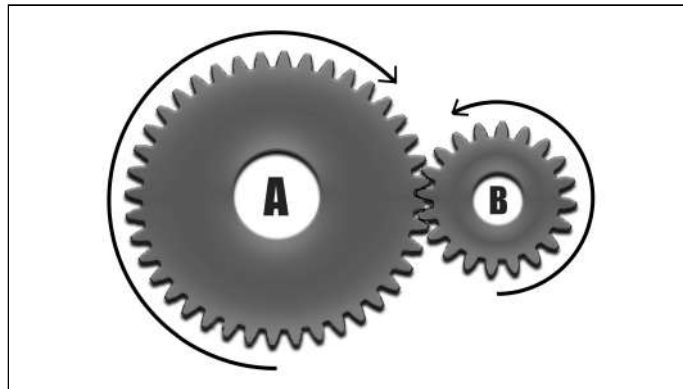
F : fuerza (J)

M : par motor (Nm)

ω : velocidad angular (rad/s)

Por ejemplo: si tenemos una rueda dentada de entrada a la que denominaremos A con 40 dientes, y una rueda dentada de salida B con 20 dientes, por cada vuelta completa

que realice la rueda A, la B dará dos vueltas, es decir, se duplicará la velocidad de entrada a cambio de reducirse a la mitad el par. Podemos definir el par motor como la fuerza con la que gira nuestra rueda. La relación de transmisión en este caso es $40/20=2$, de la misma forma que lo hemos hecho con los radios lo podríamos hacer con los diámetros o radios de las mismas, pues si se cumple (y se debe cumplir para que dos ruedas dentadas engranen correctamente) que el módulo (relación entre la medida del diámetro primitivo expresado en milímetros y el número de dientes) de ambas es el mismo, la relación entre los diámetros y/o radios de ambas ruedas será también igual a dos



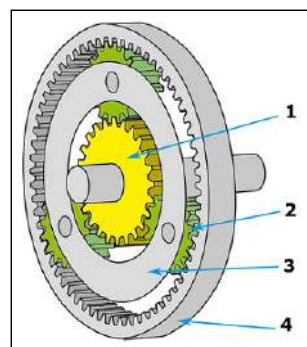
Ejemplo de engranajes de dientes rectos

La ventaja que presentan este tipo de trenes de engranajes es su simplicidad a la hora de diseñarlos. Sin embargo, uno de sus principales inconvenientes es que para poder obtener relaciones de transmisión elevadas se requiere de ruedas dentadas de un tamaño considerable, algo de lo que no disponemos en el interior de nuestra góndola. Para hacer frente a este problema cuando el cliente desee relaciones de transmisión elevadas, se le propone el uso de sistemas de ejes planetarios o sistema de ejes epicicloidales.

Los ejes epicicloidales, a diferencia de los anteriores, pueden realizar mayores multiplicaciones sin la necesidad de que exista una diferencia de diámetro considerable entre sus ruedas. De hecho, esta es la razón por la cual es el sistema comúnmente usado en la actualidad para resolver el problema de transmisión en aerogeneradores.

A continuación se muestra un esquema de las partes que componen a uno de estos sistemas:

1	Sol o Planeta
2	Satélites
3	Portasatélites o Brazo
4	Anillo o Corona



Estos sistemas se pueden emplear de varias formas, pero teniendo en cuenta que en todas ellas siempre debe haber un elemento con velocidad angular nula, este elemento puede ser el brazo, el anillo o el planeta. En nuestro caso hemos decidido que sea el anillo. También influye la colocación que le demos a nuestro eje de entrada y nuestro eje de salida. Como a nosotros nos interesa que el sistema multiplique nuestra velocidad y no que la reduzca, el eje de entrada será aquel que va conectado al brazo, y el eje de salida el que gira solidariamente al planeta. Además, hemos decidido acoplar la salida de uno (el eje que sale del planeta) a la entrada del otro (el brazo del siguiente subconjunto) para obtener una relación de transmisión igual a la primera al cuadrado.

En nuestro diseño los dientes de las diferentes engranajes son:

$$N_{anillo} = 60, N_{planeta} = 36 \text{ y } N_{satélites} = 12$$

existen tres métodos diferentes para el cálculo de velocidades, en nuestro caso, por simplicidad, haremos uso del método de la fórmula, sabiendo, como ya hemos dicho previamente, que la velocidad angular del anillo es nula:

$$\frac{w_{anillo} - w_{brazo}}{w_{planeta} - w_{brazo}} = \frac{-N_{planeta}}{N_{anillo}} ; \frac{0 - 350 \text{ rpm}}{w_{planeta} - 350 \text{ rpm}} = \frac{-36}{60}$$

Despejando nos queda:

$$w_{planeta} = 2.6 \cdot 350 \text{ rpm}$$

Sabiendo entonces que el aumento de velocidad con un único sistema de ejes es igual a 2.6, y que nosotros tenemos acoplado dos sistemas, se deduce que nuestra relación de multiplicación total es igual a:

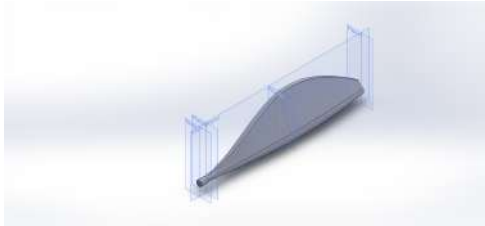
$$w_{salida} = 2.6^2 \cdot w_{entrada}$$

ANEXO VI: Informes Presupuesto por Piezas SolidWorks

En el caso de que no se disponga de impresora 3D propia y se requiera ir a una empresa externa para realizar las impresiones, en este anexo se muestran los presupuestos orientativos de todas las piezas incluidas en el kit. En el precio final de cada pieza se incluyen material y gastos por el servicio de fabricación. Estos informes, como es el caso, los podemos generar con el propio software Solidworks

Índice de Presupuestos

1. Aspa 1
2. Aspa 2
3. Aspa 3
4. Aspa 4
5. Buje de 3
6. Buje de 4
7. Góndola motor AC
8. Góndola motor DC
9. Multiplicadora
 - a. Anillo Exterior
 - b. Engranajes Externos. Satélites
 - c. Engranaje Interno. Sol
 - d. Brazo
 - e. Brazo con eje
10. Torre



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Aspa1

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 11:44:54

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.01 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	3
Tamaño del lote:	3

Coste estimado por pieza: 2.77 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación
Comparación:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 20px;"> <p>10%</p>  </div> <div style="text-align: right;"> <p>Actual 2.77 EUR</p> <p>Anterior 2.53 EUR</p> </div> </div>

Desglose de costes

Material:	0.08 EUR	3%
Fabricación:	2.69 EUR	97%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 00:53:47

Configuraciones:	00:10:00
Operaciones:	00:43:47

Informe de costes



Nombre del modelo:	Aspa1	Material	White	Coste del material:	0.08 EUR	Coste total/pieza:	2.77 EUR
		:		Coste de fabricación:	2.69 EUR	Tiempo total/pieza:	00:53:47
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

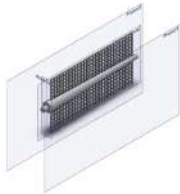
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	00:43:47	2.19	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Aspa 2

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 12:05:53

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.01 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	4
Tamaño del lote:	4

Coste estimado por pieza: 5.24 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 20px;"> <p>0%</p>  </div> <div> <p>Actual 5.24 EUR</p> <p>Anterior 5.24 EUR</p> </div> </div>
--------------	--

Desglose de costes

Material:	0.15 EUR	3%
Fabricación:	5.08 EUR	97%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 01:41:40

Configuraciones:	00:08:45
Operaciones:	01:32:55

Informe de costes



Nombre del modelo:	Aspa 2	Material	White	Coste del material:	0.15 EUR	Coste total/pieza:	5.24 EUR
		:		Coste de fabricación:	5.08 EUR	Tiempo total/pieza:	01:41:40
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 3	00:03:45	0.19
Total	00:03:45	0.19

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 3	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	01:32:55	4.65	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 3
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Aspa 3

Fecha y hora del informe: 08/07/2019 9:19:20

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.02 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

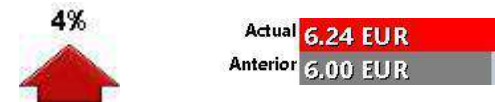
Cantidad para producir

N.º total de piezas:	3
Tamaño del lote:	3

Coste estimado por pieza: 6.24 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:



Desglose de costes

Material:	0.27 EUR	4%
Fabricación:	5.97 EUR	96%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 01:59:26

Configuraciones:	00:10:00
Operaciones:	01:49:26

Informe de costes



Nombre del modelo:	Aspa 3	Material	White	Coste del material:	0.27 EUR	Coste total/pieza:	6.24 EUR
		:		Coste de fabricación:	5.97 EUR	Tiempo total/pieza:	01:59:26
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

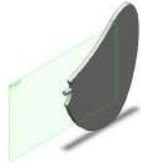
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	01:49:26	5.47	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Aspa 4

Fecha y hora del informe: 08/07/2019 9:21:48

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.05 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	3
Tamaño del lote:	3

Coste estimado por pieza: 19.86 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:



Desglose de costes

Material:	0.77 EUR	4%
Fabricación:	19.09 EUR	96%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 06:21:46

Configuraciones:	00:10:00
Operaciones:	06:11:46

Informe de costes



Nombre del modelo:	aspa 4	Material	White	Coste del material:	0.77 EUR	Coste total/pieza:	19.86 EUR
		:		Coste de fabricación:	19.09 EUR	Tiempo total/pieza:	06:21:46
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

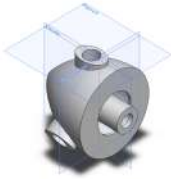
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	06:11:46	18.59	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Buje 3

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 12:13:37

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.01 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	48.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	1
Tamaño del lote:	1

Coste estimado por pieza: 4.80 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:



Desglose de costes

Material:	0.42 EUR	9%
Fabricación:	4.37 EUR	91%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 01:27:29

Configuraciones:	00:20:00
Operaciones:	01:07:29

Informe de costes



Nombre del modelo:	Buje 3	Material	White	Coste del material:	0.42 EUR	Coste total/pieza:	4.80 EUR
		:		Coste de fabricación:	4.37 EUR	Tiempo total/pieza:	01:27:29
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

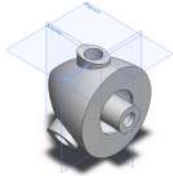
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:15:00	0.75
Total	00:15:00	0.75

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	01:07:29	3.37	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Buje 4

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 12:13:37

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.01 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	48.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	1
Tamaño del lote:	1

Coste estimado por pieza: 4.80 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación
Comparación:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>100%</p>  </div> <div style="margin-left: 20px;"> <p>Actual 4.80 EUR</p> </div> </div>

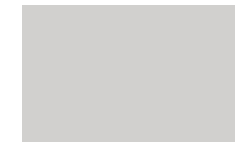
Desglose de costes

Material:	0.42 EUR	9%
Fabricación:	4.37 EUR	91%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 01:27:29

Configuraciones:	00:20:00
Operaciones:	01:07:29

Informe de costes



Nombre del modelo:	Buje 4	Material	White	Coste del material:	0.42 EUR	Coste total/pieza:	4.80 EUR
		:		Coste de fabricación:	4.37 EUR	Tiempo total/pieza:	01:27:29
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:15:00	0.75
Total	00:15:00	0.75

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	01:07:29	3.37	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Góndola Motor AC

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 13:05:54

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.05 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	1
Tamaño del lote:	1

Coste estimado por pieza: **19.15 EUR**

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación
Comparación:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 20px;"> 100%  </div> <div style="text-align: right;"> Actual 19.15 EUR </div> </div>

Desglose de costes

Material:	0.80 EUR	4%
Fabricación:	18.35 EUR	96%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: **06:07:01**

Configuraciones:	00:20:00
Operaciones:	05:47:01

Informe de costes



Nombre del modelo:	Gondola motor AC	Material	White	Coste del material:	0.80 EUR	Coste total/pieza:	19.15 EUR
		:		Coste de fabricación:	18.35 EUR	Tiempo total/pieza:	06:07:01
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

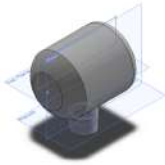
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:15:00	0.75
Total	00:15:00	0.75

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	05:47:01	17.35	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Gondola Motor DC Pequeño

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 13:08:12

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.18 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	1
Tamaño del lote:	1

Coste estimado por pieza: 55.92 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación
Comparación:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 20px;"> 100%  </div> <div style="text-align: right;"> Actual 55.92 EUR </div> </div>

Desglose de costes

Material:	2.72 EUR	5%
Fabricación:	53.20 EUR	95%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 17:43:58

Configuraciones:	00:20:00
Operaciones:	17:23:58

Informe de costes



Nombre del modelo:	gondolaDCpequeño	Material	White	Coste del material:	2.72 EUR	Coste total/pieza:	55.92 EUR
		:		Coste de fabricación:	53.20 EUR	Tiempo total/pieza:	17:43:58
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

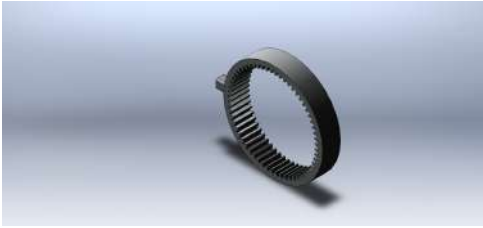
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:15:00	0.75
Total	00:15:00	0.75

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	17:23:58	52.20	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Multiplicadora. Anillo

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 13:12:09

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.01 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	2
Tamaño del lote:	2

Coste estimado por pieza: 4.01 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:	 <table border="1"> <tr> <td>Actual</td> <td>4.01 EUR</td> </tr> <tr> <td>Anterior</td> <td>4.01 EUR</td> </tr> </table>	Actual	4.01 EUR	Anterior	4.01 EUR
Actual	4.01 EUR				
Anterior	4.01 EUR				

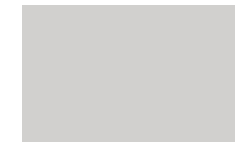
Desglose de costes

Material:	0.09 EUR	2%
Fabricación:	3.92 EUR	98%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 01:18:28

Configuraciones:	00:12:30
Operaciones:	01:05:58

Informe de costes



Nombre del modelo:	anillo	Material	White	Coste del material:	0.09 EUR	Coste total/pieza:	4.01 EUR
		:		Coste de fabricación:	3.92 EUR	Tiempo total/pieza:	01:18:28
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:07:30	0.38
Total	00:07:30	0.38

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	01:05:58	3.30	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Multiplicadora. Satélite

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 13:14:34

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.00 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

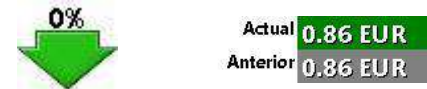
Cantidad para producir

N.º total de piezas:	8
Tamaño del lote:	8

Coste estimado por pieza: **0.86 EUR**

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:



Desglose de costes

Material:	0.01 EUR	1%
Fabricación:	0.85 EUR	99%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: **00:17:02**

Configuraciones:	00:06:52
Operaciones:	00:10:10

Informe de costes



Nombre del modelo:	satélite	Material	White	Coste del material:	0.01 EUR	Coste total/pieza:	0.86 EUR
		:		Coste de fabricación:	0.85 EUR	Tiempo total/pieza:	00:17:02
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

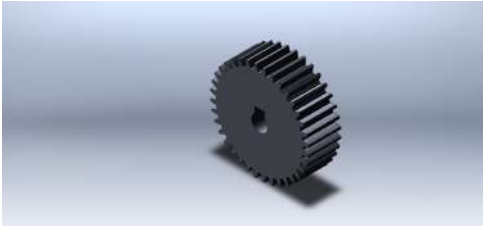
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:01:52	0.09
Total	00:01:52	0.09

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	00:10:10	0.51	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Multiplicadora. Sol

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 13:17:08

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.01 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	2
Tamaño del lote:	2

Coste estimado por pieza: 3.38 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:



Desglose de costes

Material:	0.09 EUR	3%
Fabricación:	3.28 EUR	97%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 01:05:40

Configuraciones:	00:12:30
Operaciones:	00:53:10

Informe de costes



Nombre del modelo:	sol	Material	White	Coste del material:	0.09 EUR	Coste total/pieza:	3.38 EUR
		:		Coste de fabricación:	3.28 EUR	Tiempo total/pieza:	01:05:40
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

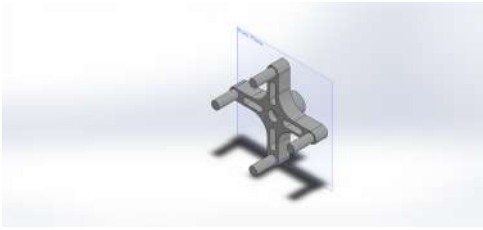
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:07:30	0.38
Total	00:07:30	0.38

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	00:53:10	2.66	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Multiplicadora. Brazo

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 12:56:58

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.00 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	48.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	1
Tamaño del lote:	1

Coste estimado por pieza: 3.36 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación
Comparación:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 20px;"> 100%  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Actual 3.36 EUR </div> </div>

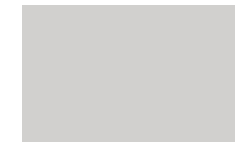
Desglose de costes

Material:	0.14 EUR	4%
Fabricación:	3.22 EUR	96%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 01:04:19

Configuraciones:	00:20:00
Operaciones:	00:44:19

Informe de costes



Nombre del modelo:	brazo	Material	White	Coste del material:	0.14 EUR	Coste total/pieza:	3.36 EUR
		:		Coste de fabricación:	3.22 EUR	Tiempo total/pieza:	01:04:19
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

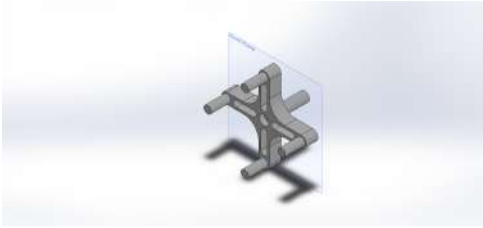
Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:15:00	0.75
Total	00:15:00	0.75

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	00:44:19	2.22	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Multiplicadora. Brazo con eje

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 13:01:03

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.00 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	48.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	1
Tamaño del lote:	1

Coste estimado por pieza: 3.33 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:



Desglose de costes

Material:	0.14 EUR	4%
Fabricación:	3.19 EUR	96%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 01:03:52

Configuraciones:	00:20:00
Operaciones:	00:43:52

Informe de costes



Nombre del modelo:	brazo_eje	Material	White	Coste del material:	0.14 EUR	Coste total/pieza:	3.33 EUR
		:		Coste de fabricación:	3.19 EUR	Tiempo total/pieza:	01:03:52
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:15:00	0.75
Total	00:15:00	0.75

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	00:43:52	2.19	N/A

Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D



Tamaño de impresora: 200.00 x 200.00 x 200.00 mm

Nombre del modelo: Torre

Fecha y hora del informe: 05/07/2019 13:03:36

Método de fabricación: Impresión 3D

Material:	White
Peso del material:	0.14 kg
Coste de material estructural:	0.00 EUR
Espesor de pared:	5.00 mm
Coste/peso del material:	15.00 EUR/kg
Tarifa de taller:	N/A

Cantidad para producir

N.º total de piezas:	1
Tamaño del lote:	1

Coste estimado por pieza: 43.40 EUR

Plantilla utilizada:	marlen(metric).sldctm
Modo de Costing utilizado:	Reconocimiento de proceso de fabricación

Comparación:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 20px;"> 100%  </div> <div style="text-align: right;"> Actual 43.40 EUR </div> </div>
--------------	--

Desglose de costes

Material:	2.07 EUR	5%
Fabricación:	41.33 EUR	95%
Marca:	0.00 EUR	0%
Molde:	0.00 EUR	0%

Tiempo estimado por pieza: 13:46:32

Configuraciones:	00:20:00
Operaciones:	13:26:32

Informe de costes



Nombre del modelo:	torre	Material	White	Coste del material:	2.07 EUR	Coste total/pieza:	43.40 EUR
		:		Coste de fabricación:	41.33 EUR	Tiempo total/pieza:	13:46:32
				Marca:	0.00 EUR		

Desglose de los costes de fabricación

Configuraciones de operación	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:15:00	0.75
Total	00:15:00	0.75

Configuraciones de carga y descarga	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste (EUR / Pieza)
Operación de configuración 1	00:05:00	0.25
Total	00:05:00	0.25

Operación aditiva	Tiempo (hh:mm:ss)	Coste de fabricación (EUR / Pieza)	Coste de molde (EUR / Pieza)
Impresión 3D	13:26:32	40.33	N/A

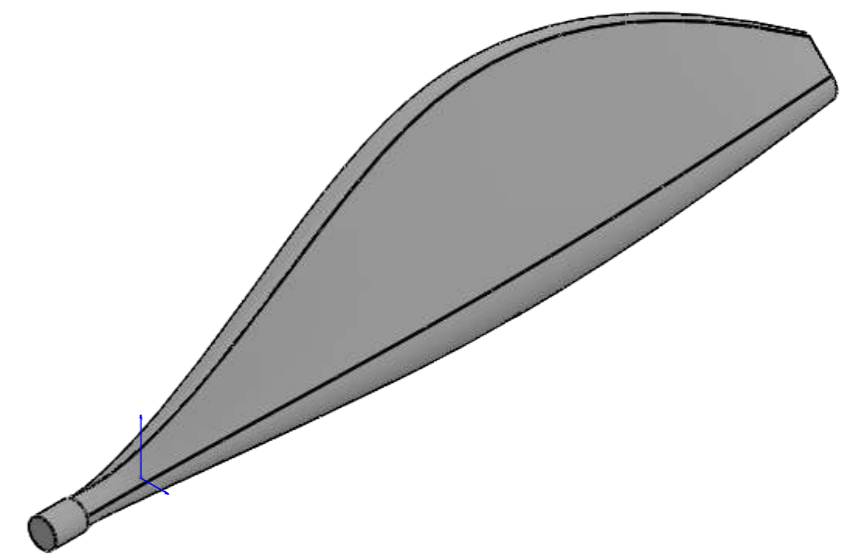
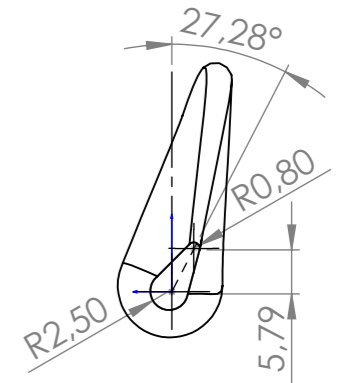
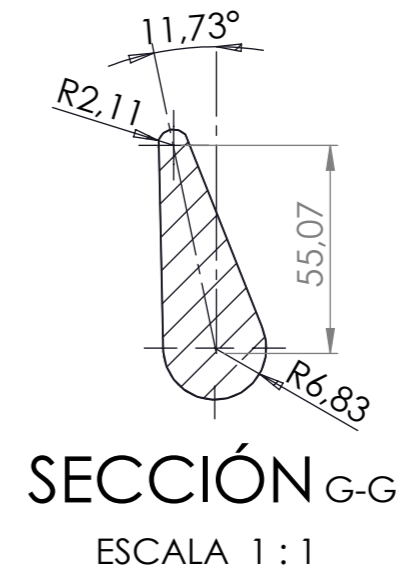
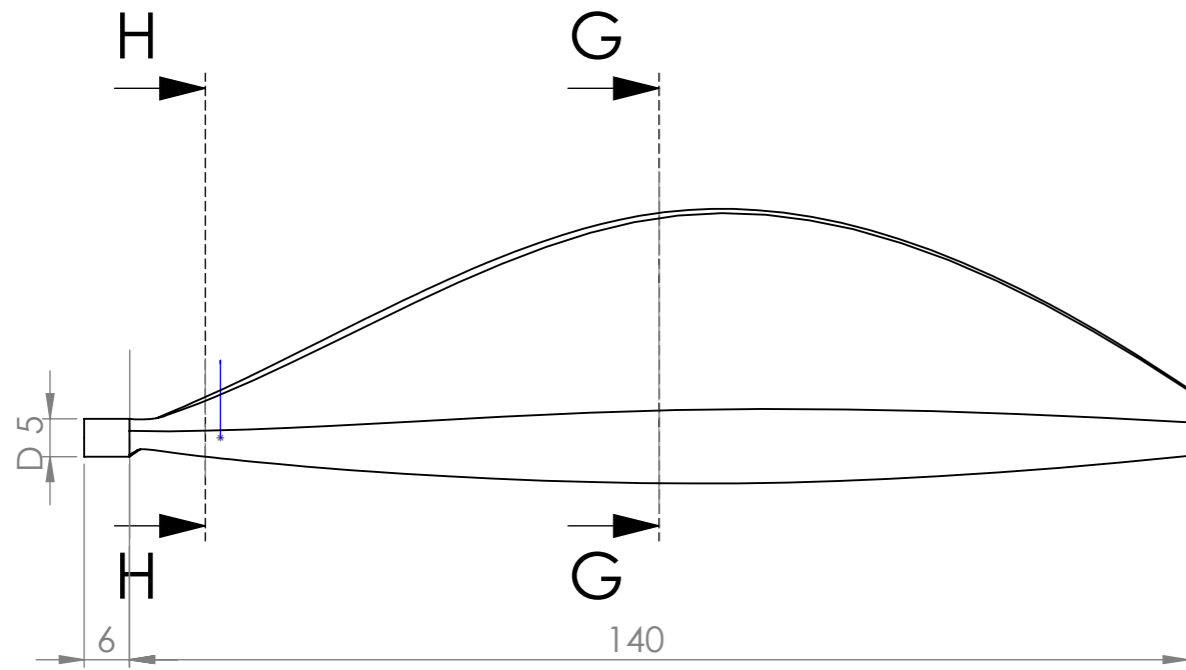
Operaciones de configuración

1. Operación de configuración 1
 - a. Impresión 3D

Planos de la Estructura

Índice de Planos

- 11. Aspa 1**
- 12. Aspa 2**
- 13. Aspa 3**
- 14. Aspa 4**
- 15. Buje de 4**
- 16. Buje de 3**
- 17. Góndola motor AC**
- 18. Góndola motor DC**
- 19. Multiplicadora**
 - a. Anillo Exterior**
 - b. Engranajes Externos. Satélites**
 - c. Engranaje Interno. Sol**
 - d. Brazo**
 - e. Brazo con eje**
- 20. Torre**



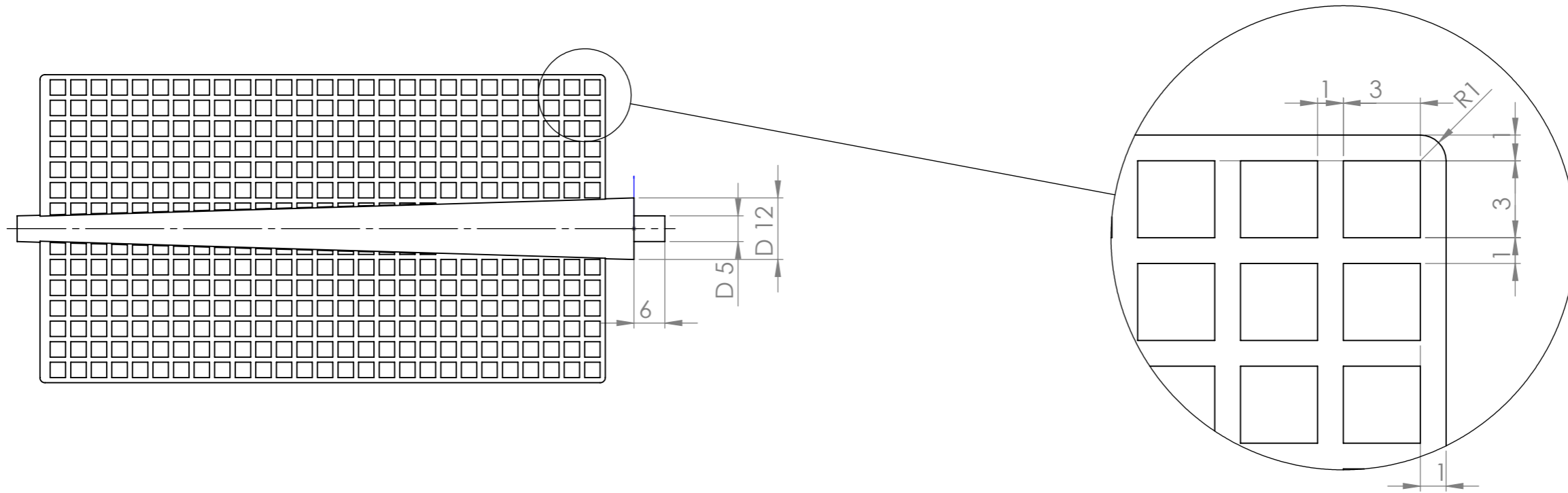
DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos		MARLEN ARBELO		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			

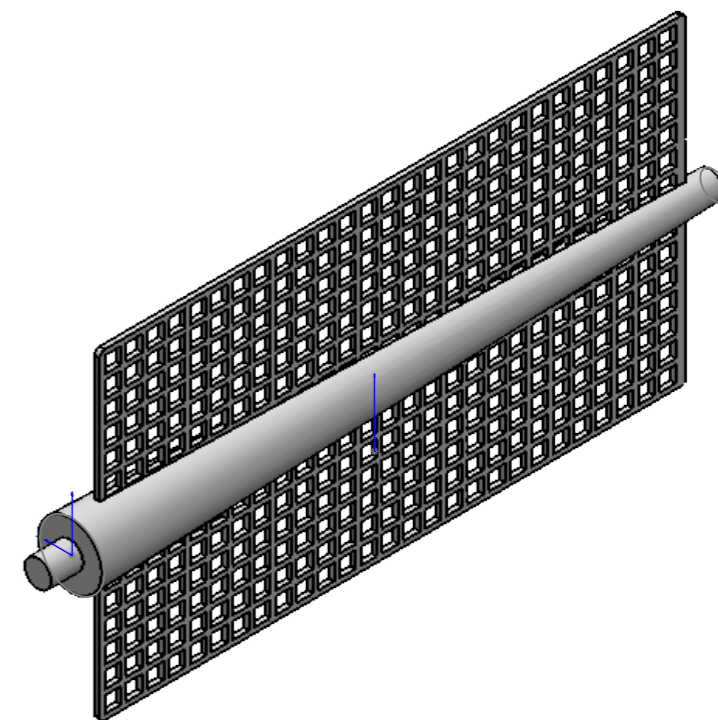
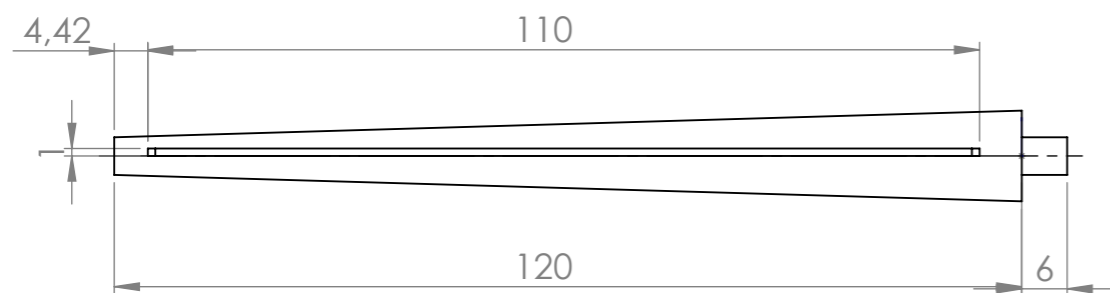
ESCALA: 1:1

Pieza: **Aspa 1**

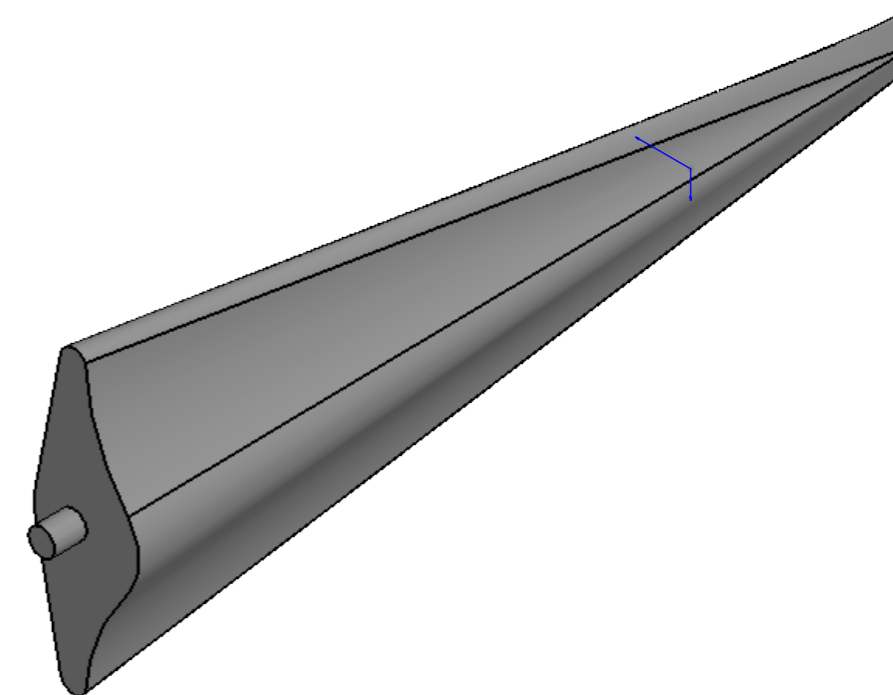
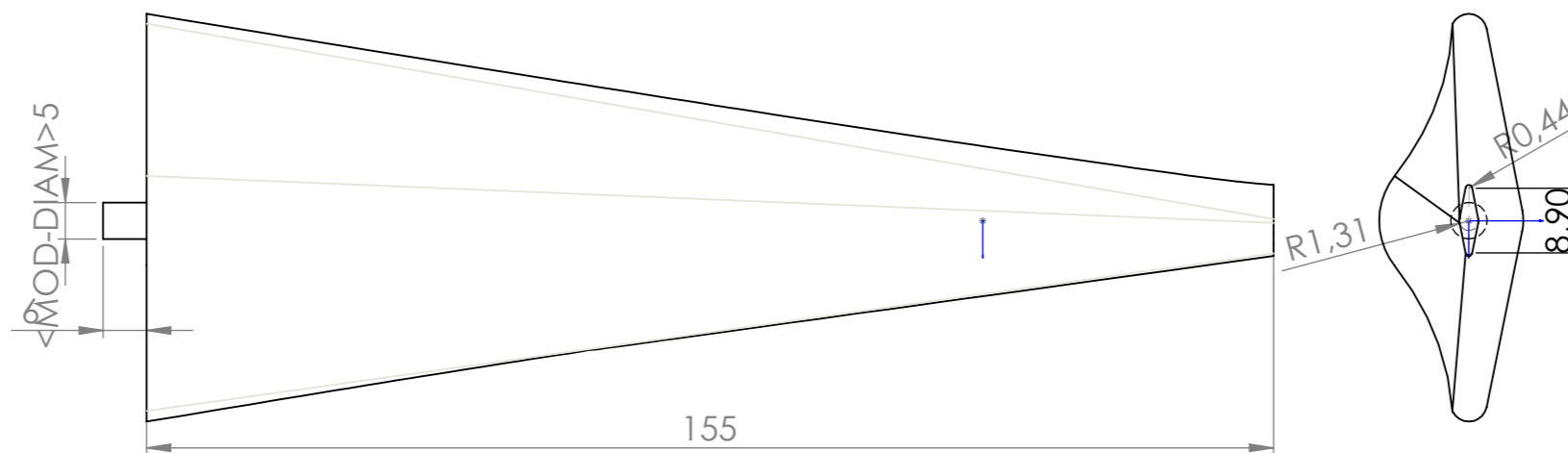
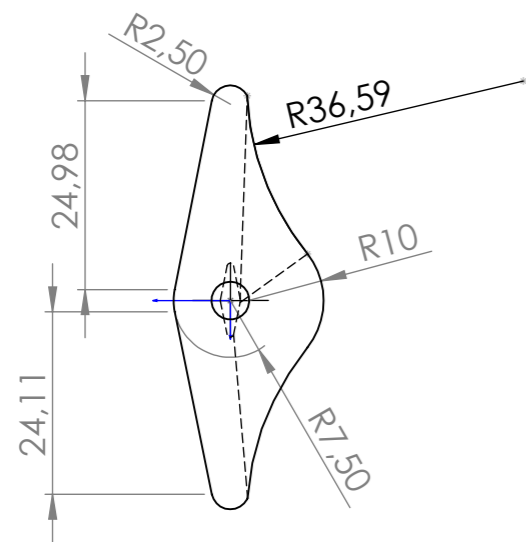
Plano N°: 1



DETALLE B
ESCALA 5 : 1

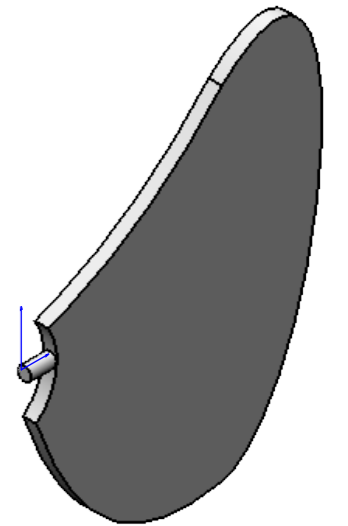
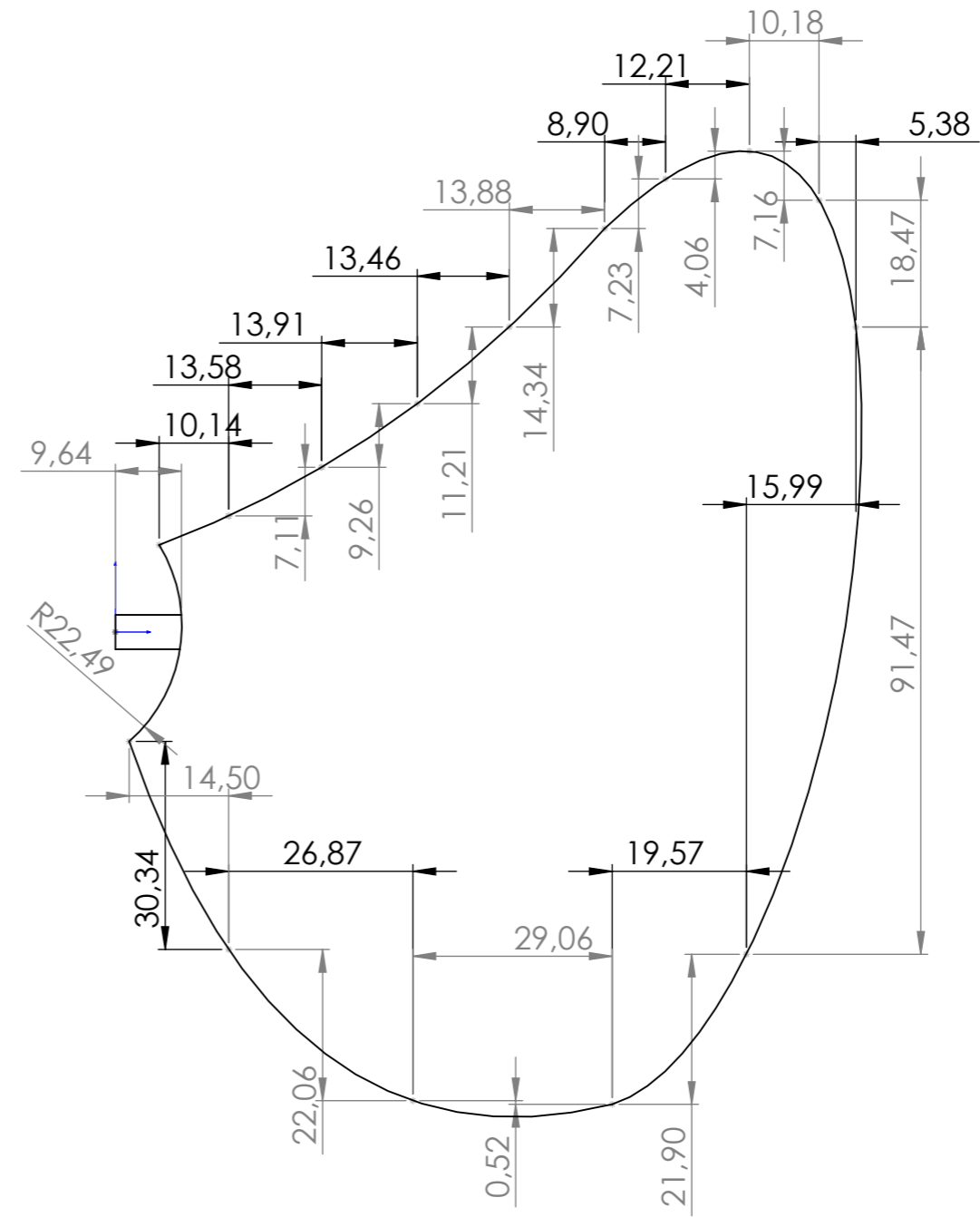
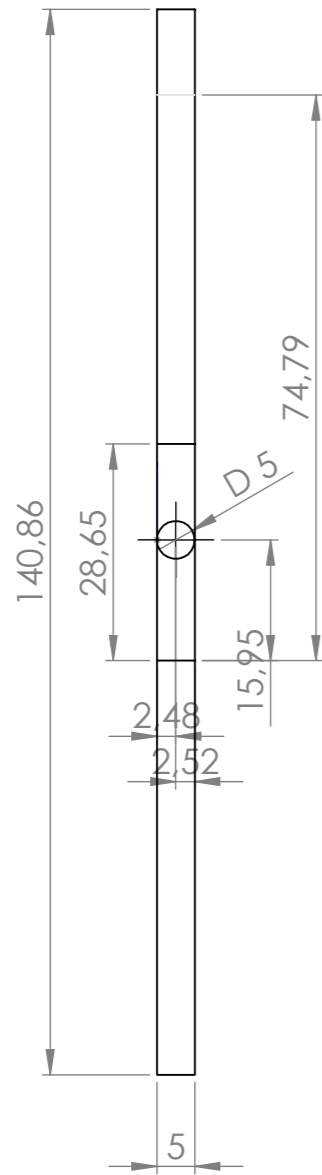


DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES			
Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN ARBELO	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:1	Pieza:	Aspa 2	Plano N°: 2




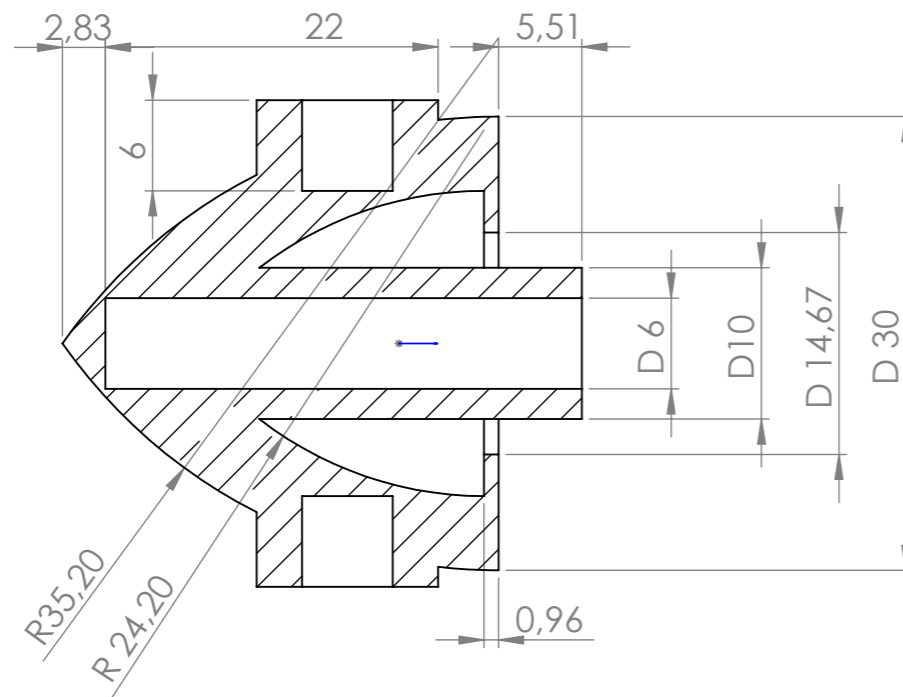
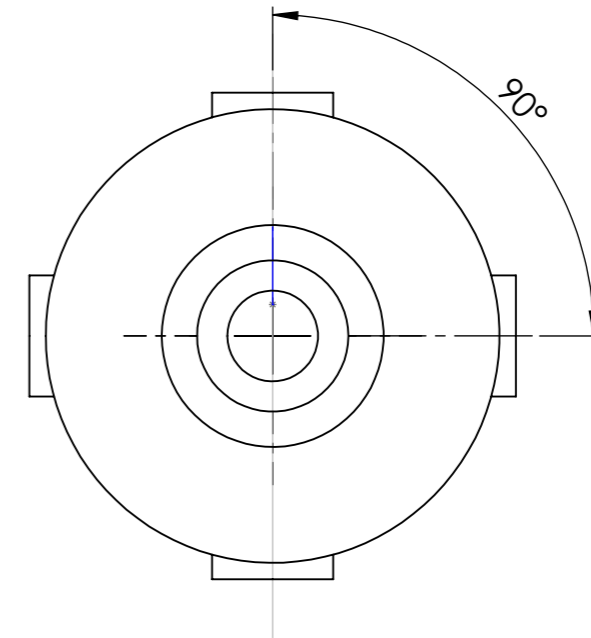
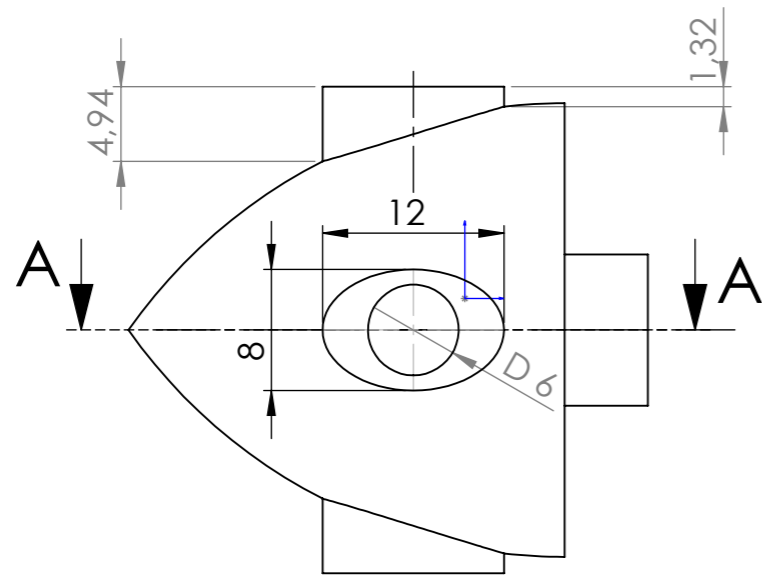
DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA
Nombre	07/2019	MARLEN		Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática
Apellidos		ARBELO		Universidad de La Laguna
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:1	Pieza: Aspa 3		Plano N°:	3

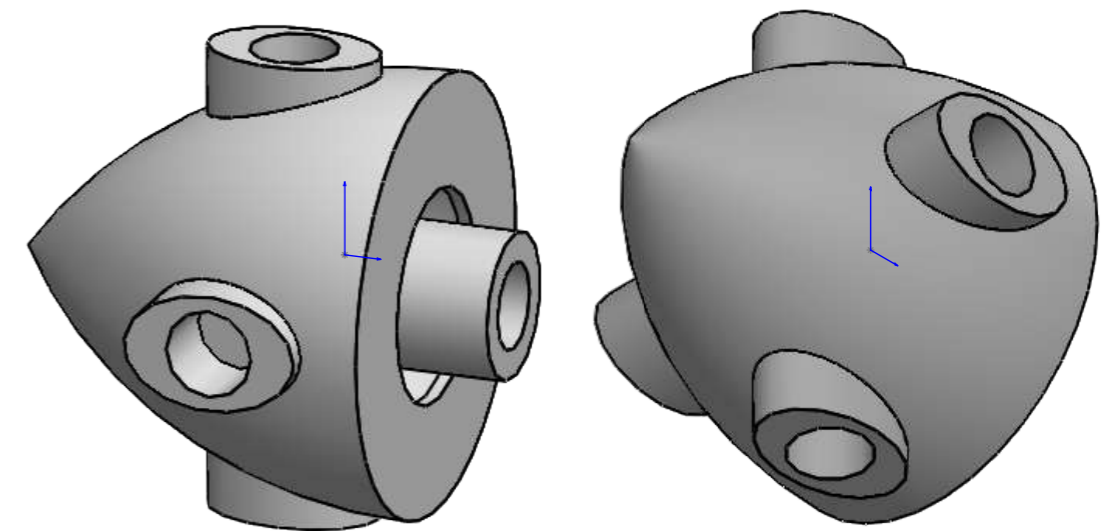


DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN		
Id. s. normas		ARBELO		
UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:1	Pieza: Aspa 4		Plano N°:	4



SECCIÓN A-A



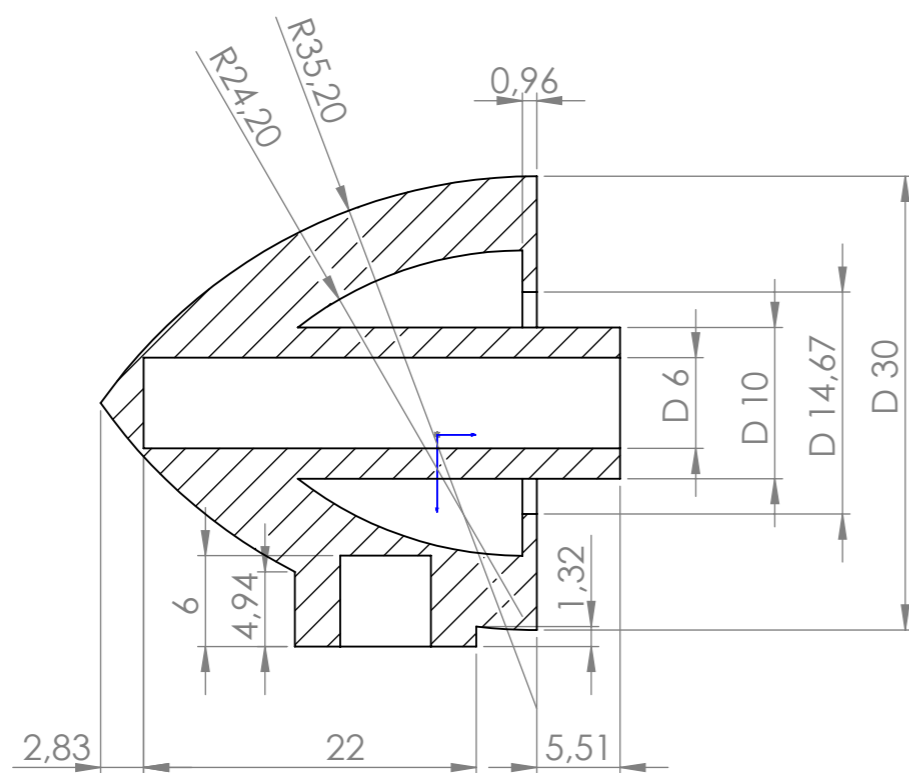
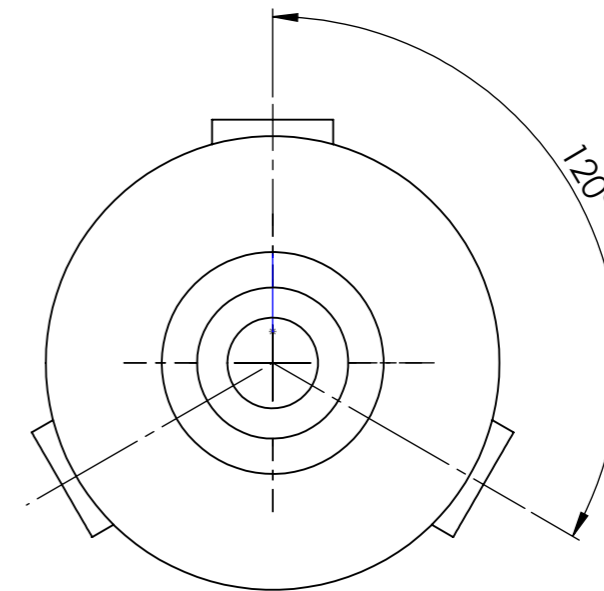
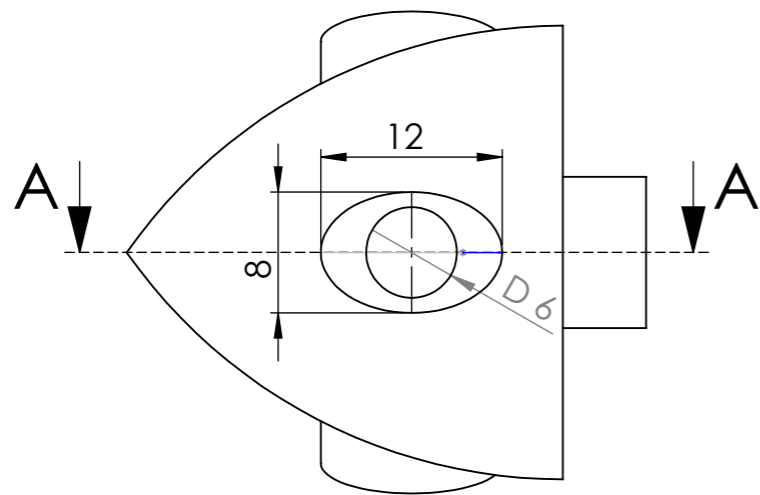
DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN ARBELO		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			

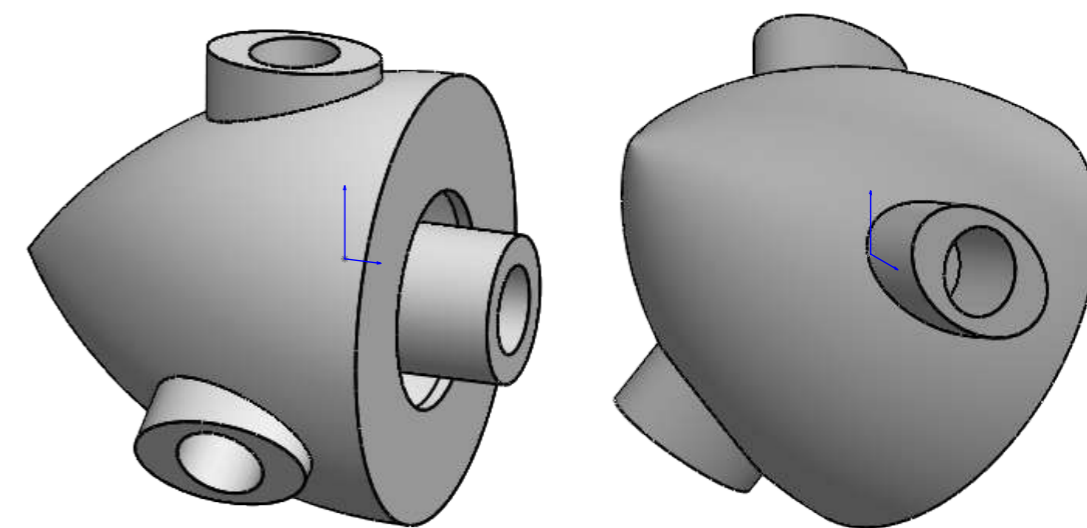
ESCALA: 2:1

Pieza: **Buje 4**


Plano N°: **5**

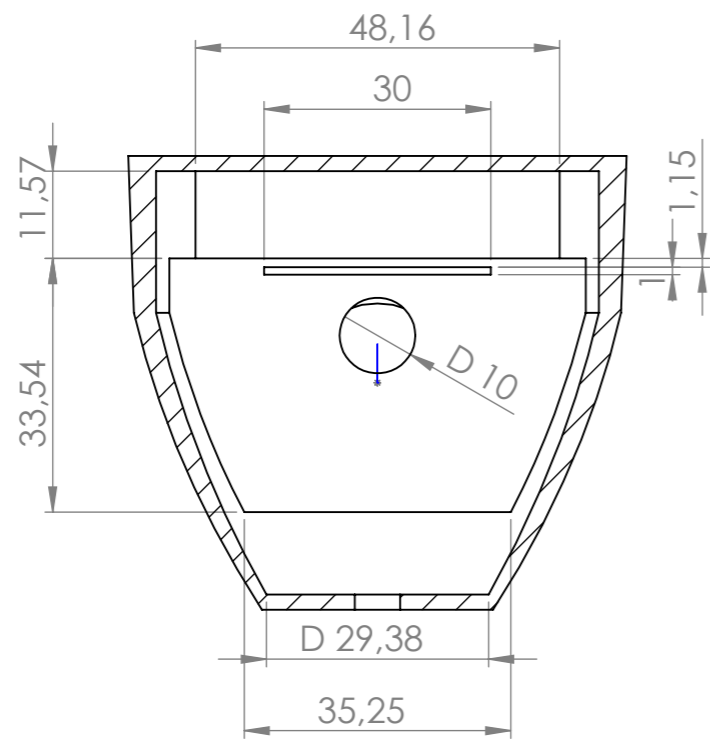
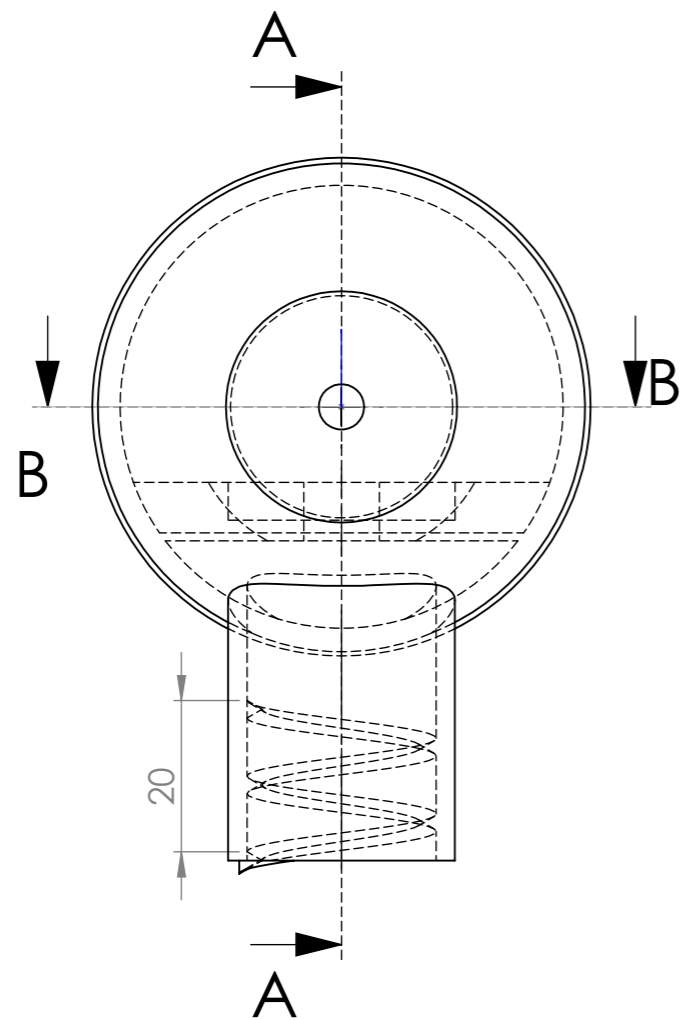


SECCIÓN A-A



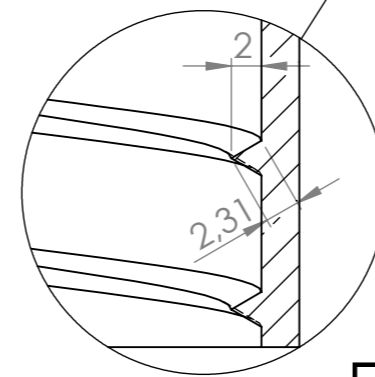
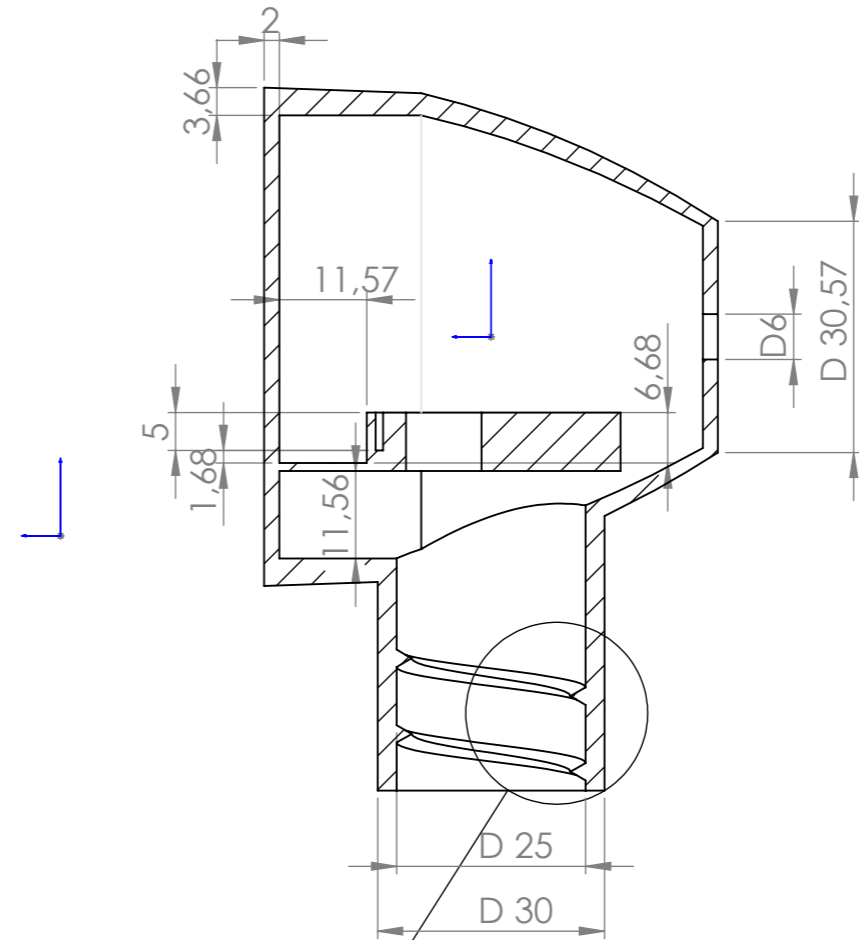
DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN		
Id. s. normas		ARBELO		
		UNE-EN-DIN		
ESCALA: 2:1	Pieza:	Buje 3	Plano N°:	6



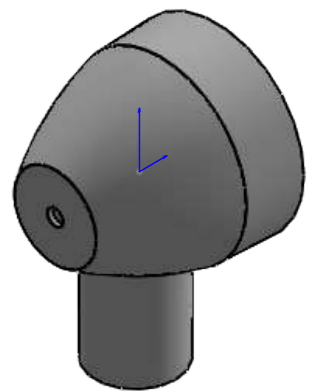
SECCIÓN B-B

SECCIÓN A-A



Filete en forma de triángulo equilátero

DETALLE C
ESCALA 2 : 1



DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

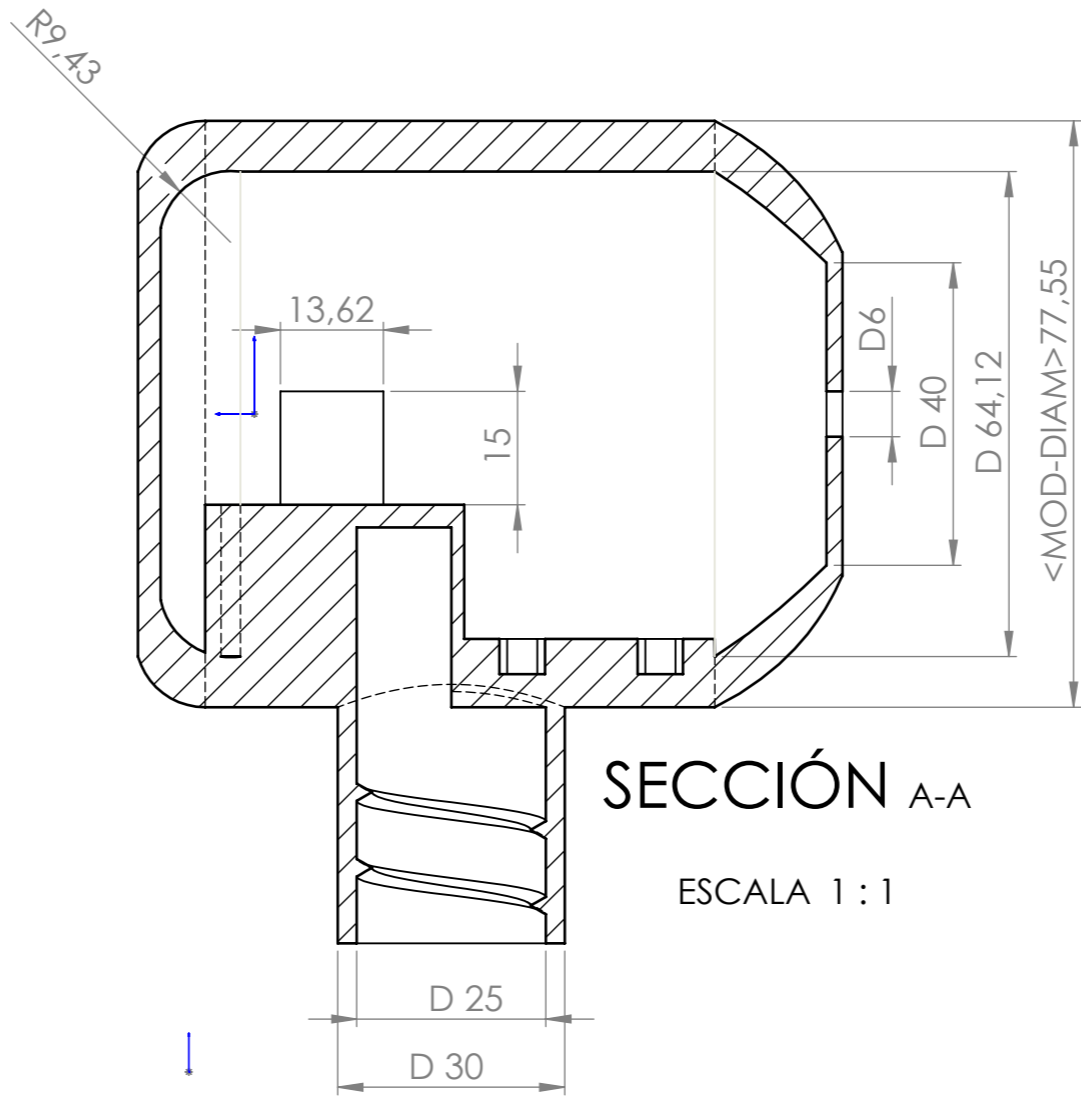
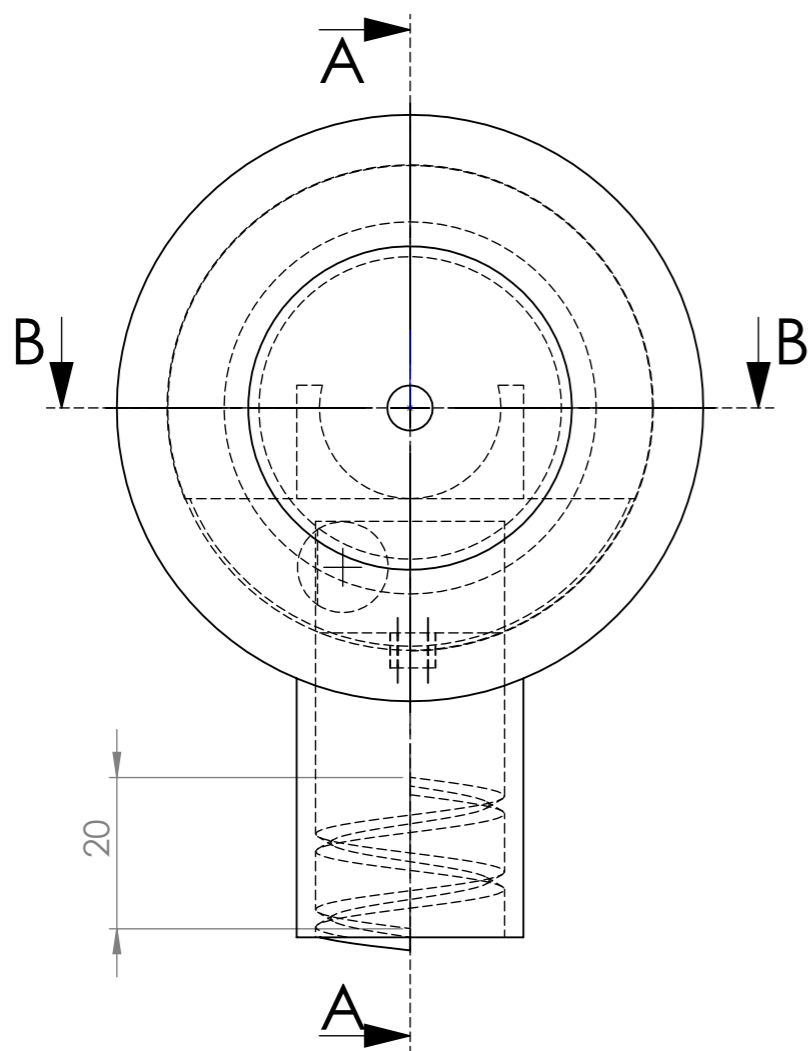
Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN	
Id. s. normas		ARBELO	
	UNE-EN-DIN		

ESCALA: 1:1

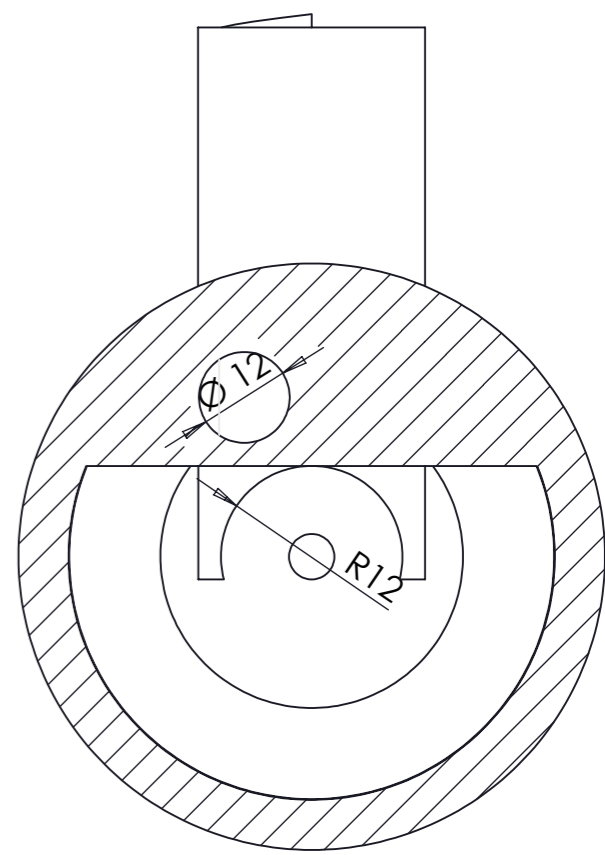
Pieza: **Góndola Motor AC**

Plano N°:

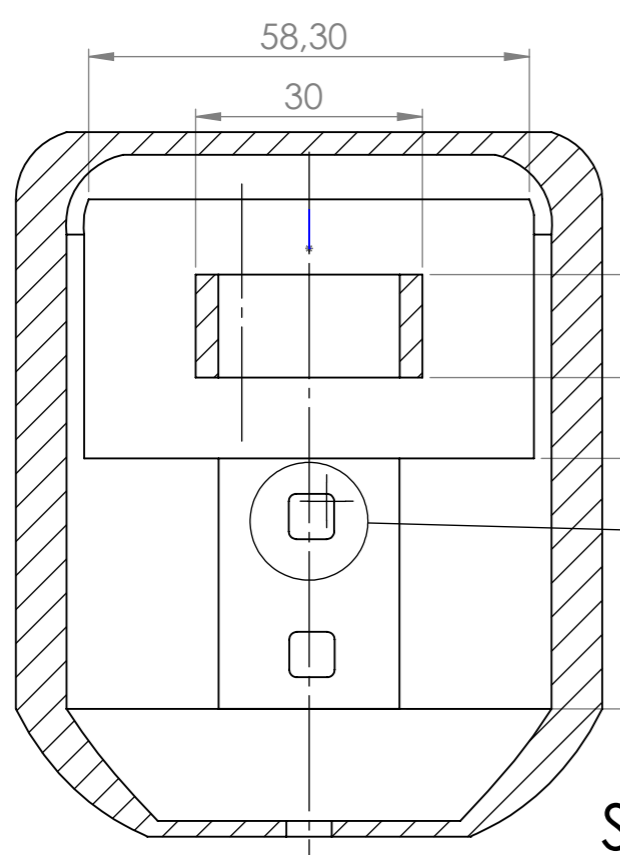
7



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

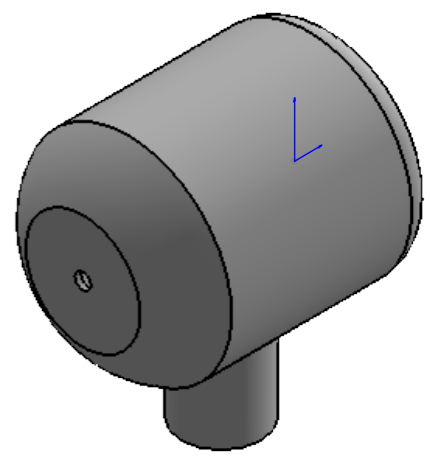
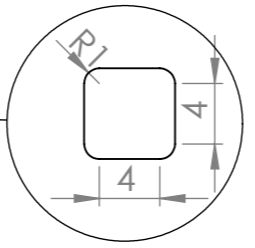


SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 1

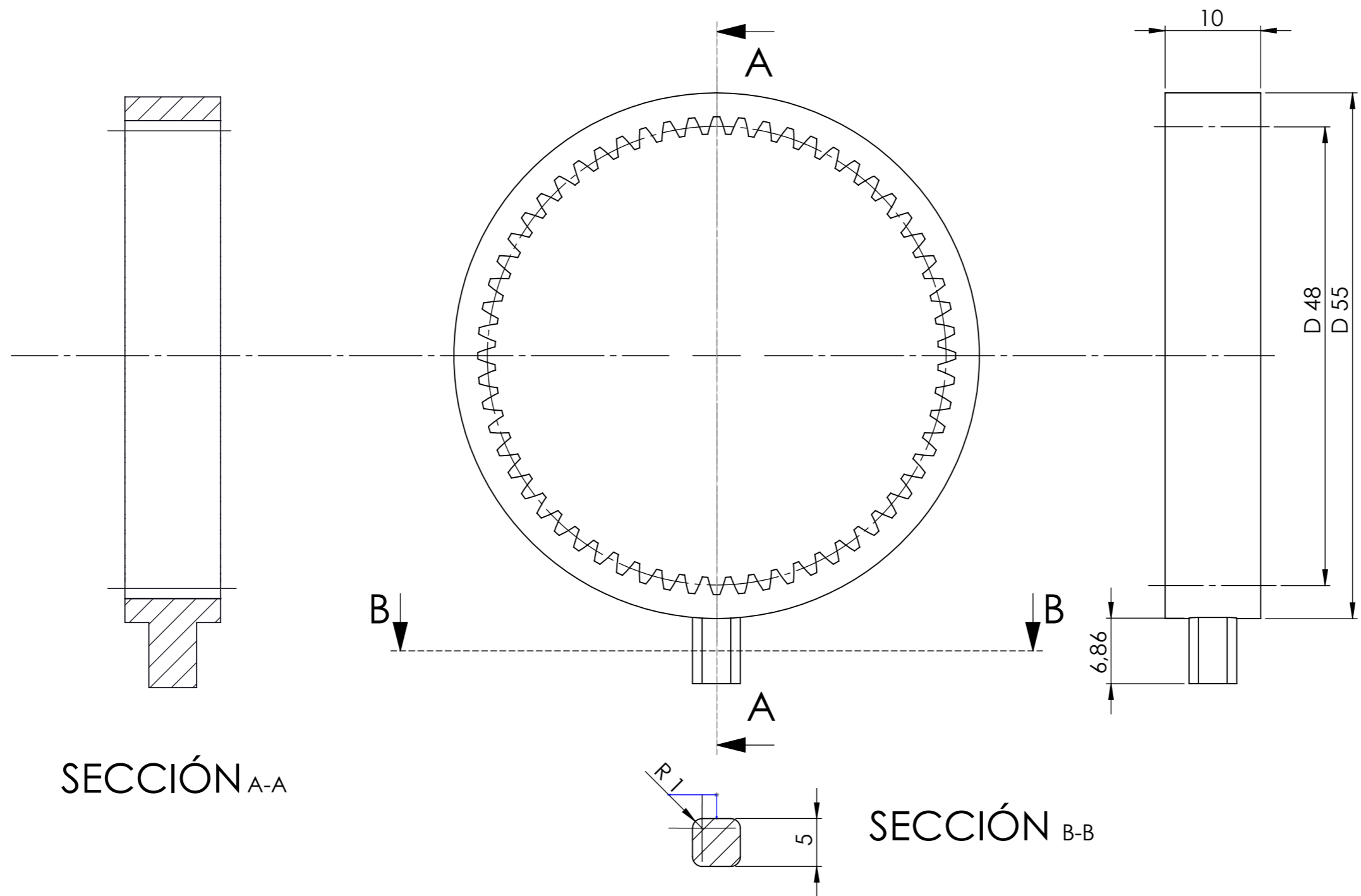


SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1

DETALLE C
ESCALA 2 : 1



DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES			
Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN	
Id. s. normas		ARBELO	
		UNE-EN-DIN	
ESCALA: 1:1	Pieza:	Góndola Motor DC	Plano N°: 8



SECCIÓN A-A

SECCIÓN B-B

Datos	
Módulo	0.8
Nº de Dientes	60



DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

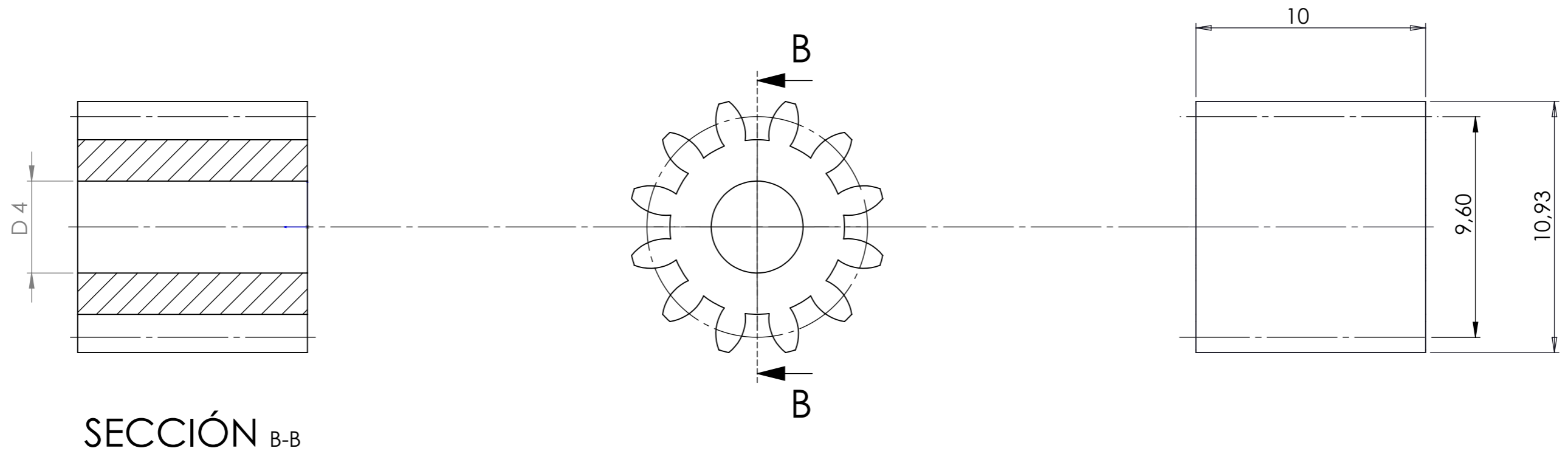
Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN		
Id. s. normas		ARBELO		
			UNE-EN-DIN	

ESCALA: 2:1

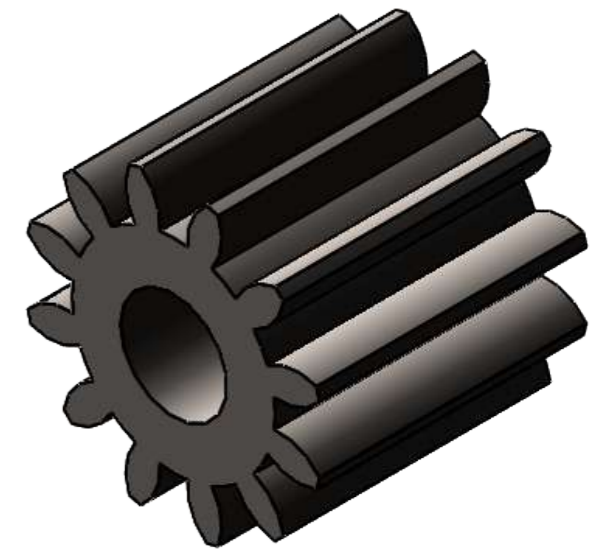
Pieza: **Multiplicadora. Anillo Exterior**

Plano Nº:

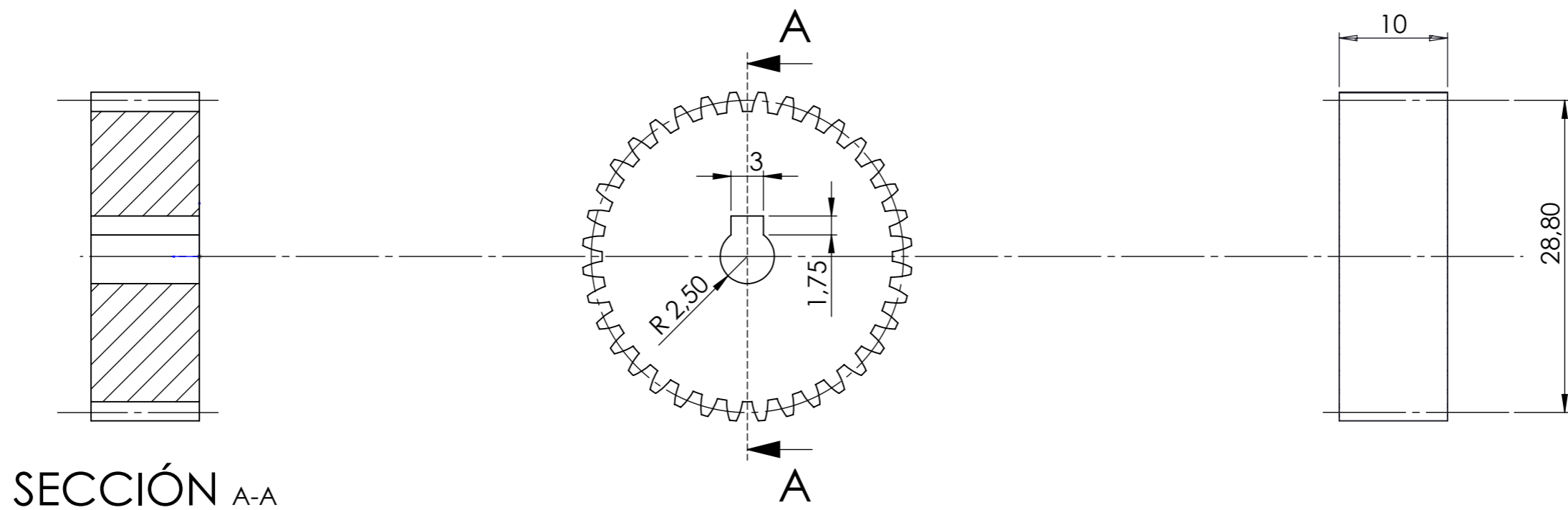
9.a



Datos	
Módulo	0.8
Nº de Dientes	12



DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES				
Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN		
Id. s. normas		ARBELO		
		UNE-EN-DIN		
ESCALA: 5:1	Pieza: Multiplicadora. Satélite		Plano N°:	9.b

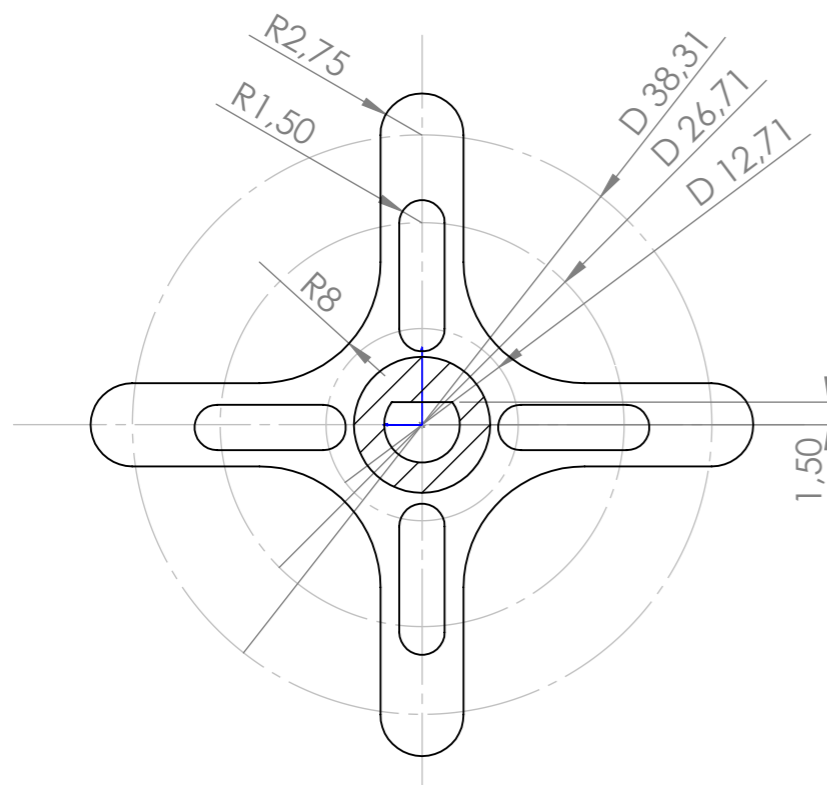


Datos	
Módulo	0.8
Nº de Dientes	36

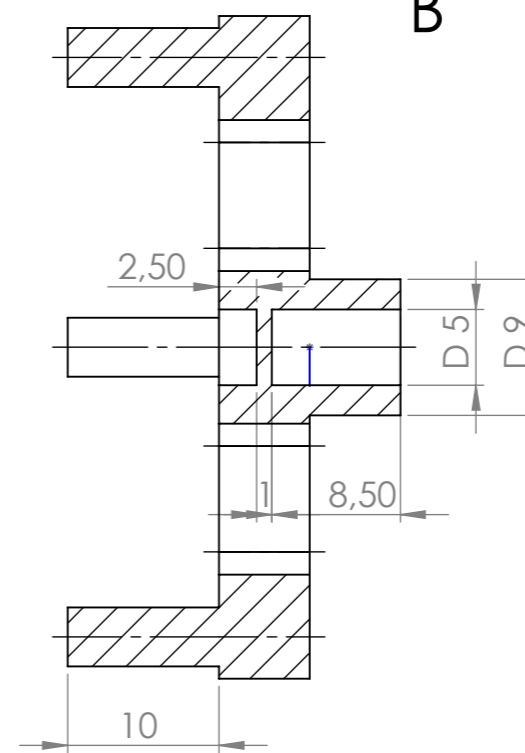
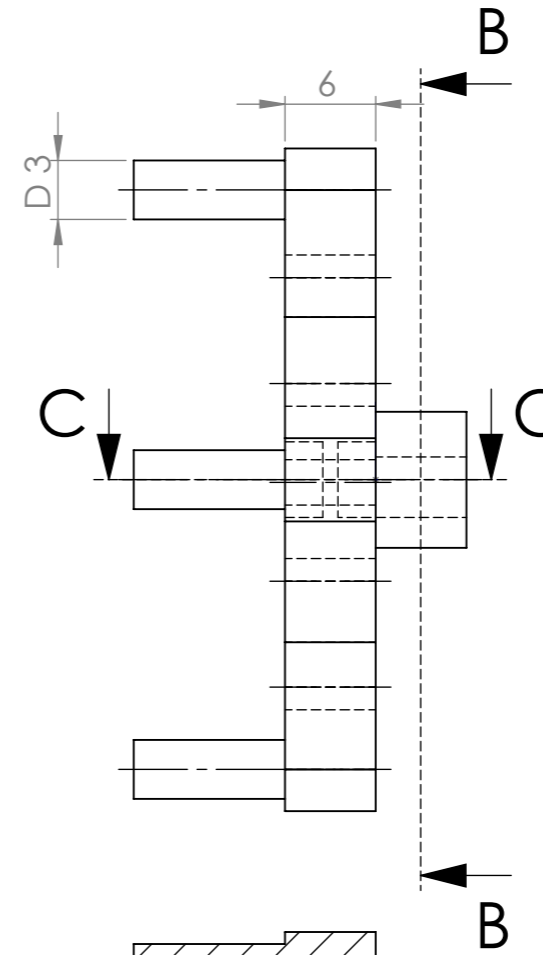


DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

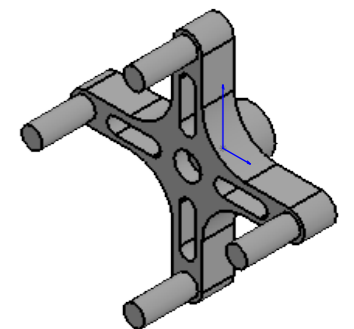
Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN		
Id. s. normas		ARBELO		
	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 2:1	Pieza: Multiplicadora. Sol		Plano N°:	9.c



SECCIÓN B-B



SECCIÓN C-C



DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

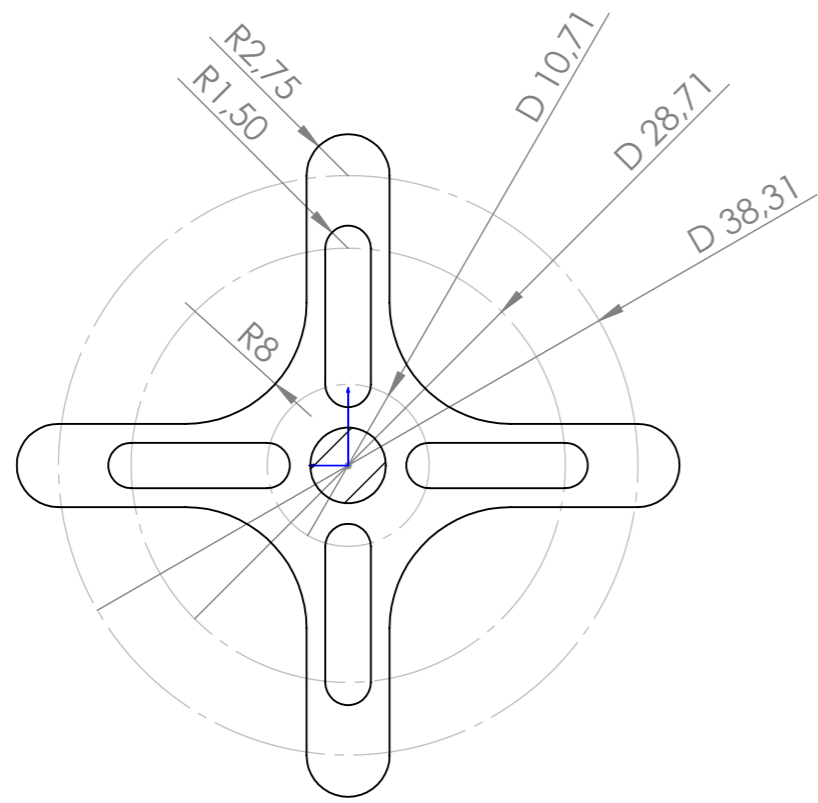
Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN		
Id. s. normas		ARBELO		
			UNE-EN-DIN	

ESCALA: 2:1

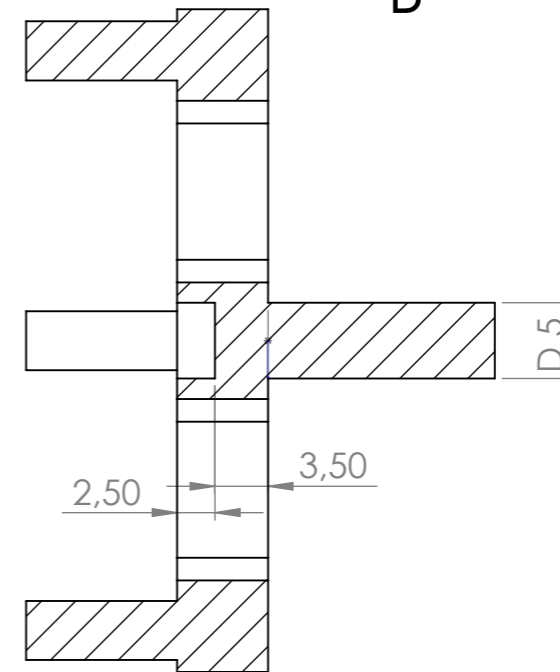
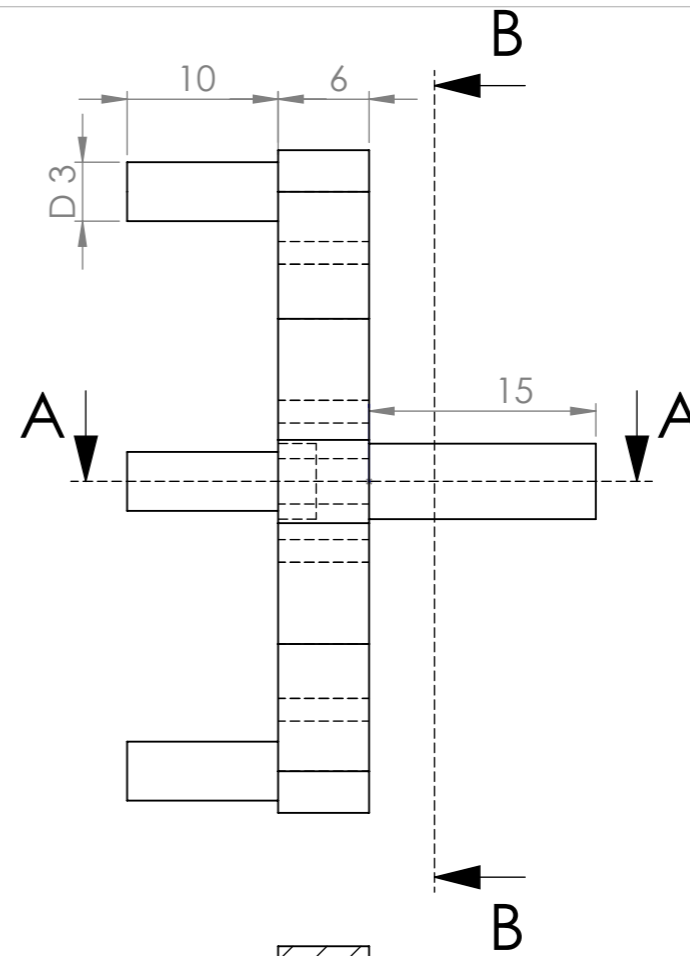
Pieza: **Multiplicadora.Brazo**

Plano N°:

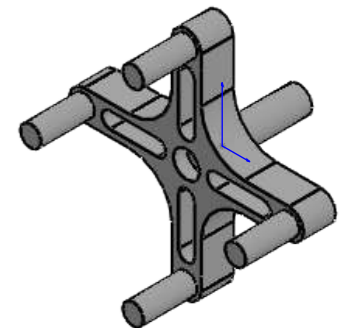
9.d



SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A



DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

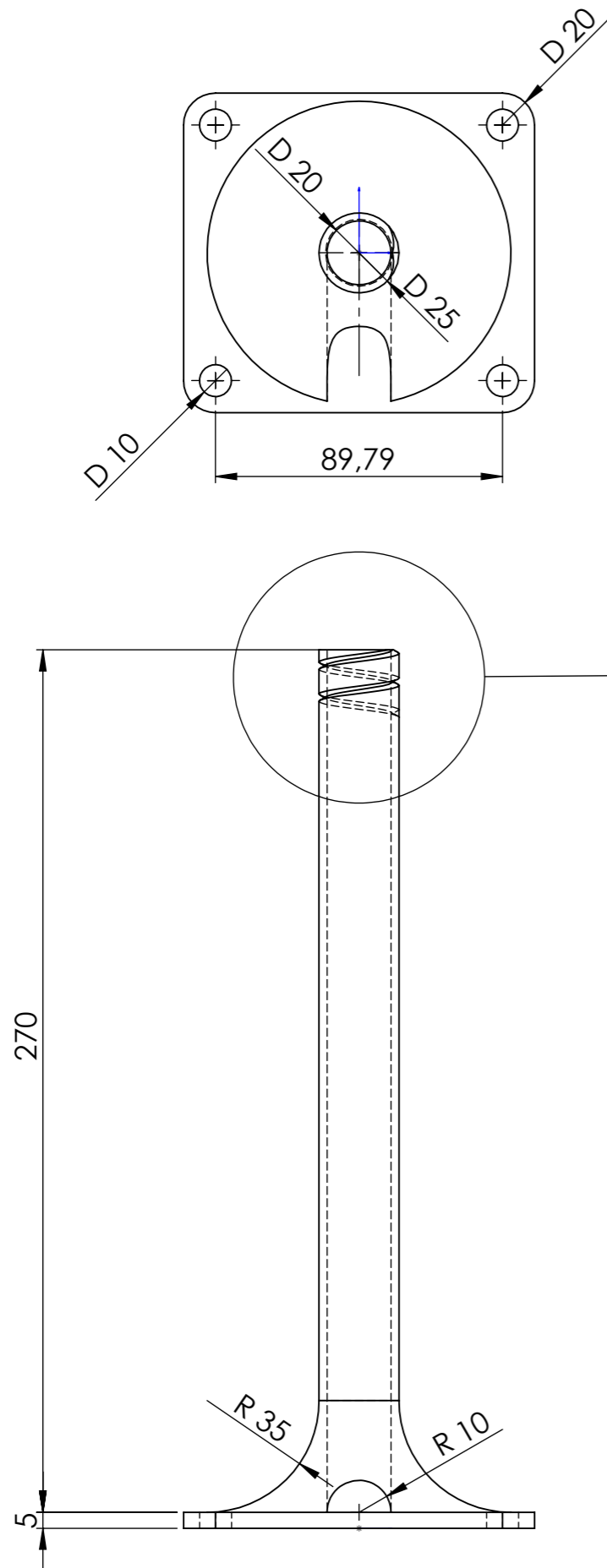
Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN		
Id. s. normas		ARBELO		
	UNE-EN-DIN			

ESCALA: 2:1

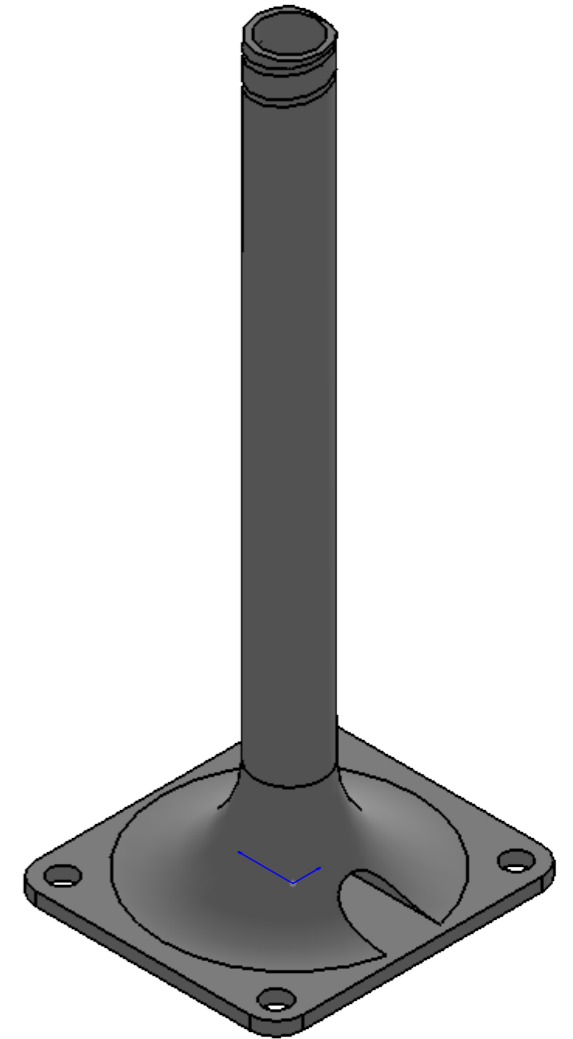
Pieza: **Multiplicadora. Brazo con eje**

Plano N°:

9.d



DETALLE A
ESCALA 1 : 1



DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJO COSTE CON FINES DOCENTES

Nombre	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Universidad de La Laguna
Apellidos	07/2019	MARLEN ARBELO		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			

ESCALA: 1:2

Pieza: **Torre**

Plano N°: 10