

Grado en Ingeniería en Tecnología Industrial

## TRABAJO DE FIN DE GRADO

### ***CIRCUITO RECEPTOR PARA SISTEMA DE CARGA INALÁMBRICA EN APLICACIONES MARINAS***

**Alumno:** FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ DE ROZAS, GARAZI

**Director:** MARTÍNEZ DE ALEGRÍA MANCISIDOR, IÑIGO

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** < 22, 07, 2019 >

## **RESUMEN**

Este trabajo de fin de grado, tiene como objetivo investigar la transferencia inalámbrica de energía, con el fin de diseñar un prototipo de receptor potencialmente sumergible. Para llevar a cabo este proyecto, es necesario conocer las características de funcionamiento de todos los elementos, dispositivos, y equipos que formarán parte del sistema. A continuación, se procederá a diseñar dicho receptor mediante el programa de simulaciones PSIM, con el objetivo de probar que el resultado es el deseado. Finalmente, se llevará a la práctica el diseño propuesto, construyendo dicho dispositivo.

*Palabras clave: Transmisión, energía, inalámbrica, receptor.*

## **LABURPENA**

Gradu amaierako lan honetan, haririk gabeko energia transferentziaren kontzeptuak aztertzen dira, etorkizunean ur azpian lan egiteko gai izan ahal den hartzaile baten dispositiboa egiteko. Proiektu hau aurrera eraman ahal izateko, beharrezkoa da sisteman parte hartuko duten elementu, gailu eta tresna guztien funtzionamendu egokia jakitea. Ostean, hartzaile hau diseinatuko da PSIM simulazio programa erabiliz. Azkenik, proposaturiko diseinua praktikara eramango da, gailua eraikitzeko.

*Hitz gakoak: Transmisio, energia, haririk gabe, hartzailea.*

## **ABSTRACT**

The main objective of this bachelor project is to research the wireless charging, in order to design a potentially submersible receiver. To implement the project, it is necessary to know the operation characteristics of all the elements and equipment's which are part of the system. The design of the receiver will be done with the simulation program PSIM, with the aim of verifying that the results are the good ones. Finally, the proposed design will be built.

*Keywords: Transmission, energy, wireless, receiver.*

## TABLA DE CONTENIDOS

Resumen.....	1
Laburpena.....	1
Abstract.....	1
Listado de tablas.....	4
Listado de ilustraciones.....	5
Listado de gráficos.....	7
Listado de acronimos.....	8
1. Memoria.....	9
1.1. Introducción.....	9
1.2. Contexto.....	10
1.3. Objetivo y alcance del trabajo.....	14
1.4. Beneficios que aporta el trabajo.....	16
1.5. Estado del arte.....	18
1.6. Analisis de alternativas.....	22
1.6.1. Convertidor DC/DC lineal.....	22
1.6.2. Convertidor DC/DC conmutado.....	23
1.7. Analisis de riesgos.....	27
1.7.1. Ruptura de equipos (a).....	27
1.7.2. Ruptura de piezas del circuito (b).....	27
1.7.3. Retraso de objetivos (c).....	28
1.7.4. Error en el diseño (d).....	28
1.7.5. Bajas de los trabajadores (e).....	28
1.7.6. Resumen del análisis de riesgos.....	29
1.7.7. Riesgos prioritarios.....	30
2. Metodología.....	31
2.1. Conceptos teóricos.....	31
2.1.1. Introducción a la carga inalámbrica.....	31
2.1.2. Convertidor DC/DC boost.....	35
2.1.3. UC3843.....	40

2.2.	Descripción de material e instrumentación.....	42
2.2.1.	PSIM.....	42
2.2.2.	Osciloscopio .....	42
2.2.3.	Fuente de alimentación .....	43
2.2.4.	Polímetro.....	43
2.2.5.	Caracterizador de impedancias.....	44
2.3.	Descripción del procedimiento.....	45
2.3.1.	Estudio del estado del arte.....	45
2.3.2.	Diseño analítico.....	45
2.3.3.	Simulación .....	46
2.3.4.	Fabricación del prototipo .....	46
2.3.5.	Verificación y recopilación de resultados.....	47
2.3.6.	Gestión del proyecto.....	47
2.3.7.	Preparación .....	47
2.3.8.	Documentación .....	47
2.3.9.	Presentación del proyecto.....	48
2.4.	Fases.....	49
2.5.	Diagrama de GANTT .....	51
2.6.	Componentes .....	52
2.7.	Caracterización de inductancias.....	57
2.8.	Cálculos mediante el PSIM.....	59
2.9.	Descripción de los resultados.....	67
3.	Aspectos económicos .....	73
4.	Conclusiones.....	76
	Bibliografía .....	77
	Anexo I: Rúbricas de evaluación .....	81

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Convertidor DC/DC lineal.....	23
Tabla 2: Convertidor DC/DC conmutado .....	24
Tabla 3: Matriz de probabilidad y consecuencias.....	29
Tabla 4: Grupo de trabajo del proyecto.....	49
Tabla 5: Fase de gestión del proyecto.....	49
Tabla 6: Fase de inicio del proyecto .....	49
Tabla 7: Fase de desarrollo del proyecto.....	50
Tabla 8: Fase de presentación del proyecto.....	50
Tabla 9: Presupuesto de Recursos Humanos.....	73
Tabla 10: Amortizaciones .....	73
Tabla 11: Coste de los materiales .....	74
Tabla 12: Presupuesto de otros gastos .....	74
Tabla 13: Gastos Totales .....	75

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Excavadoras sumergibles [3] .....	11
Ilustración 2: Robot biométrico [3] .....	12
Ilustración 3: Carga por inducción electromagnética [4].....	13
Ilustración 4: Base de transmisión de potencia [8] .....	18
Ilustración 5: Base de transmisión de potencia [7] .....	18
Ilustración 6: Implante interior [10].....	19
Ilustración 7: Base de carga para automóviles [11].....	20
Ilustración 8: Cargador inalámbrico de móvil [14] .....	21
Ilustración 9: Cargador inalámbrico de móvil para coche [13].....	21
Ilustración 10: Convertidor Buck [15].....	25
Ilustración 11: Convertidor Boost [15] .....	25
Ilustración 12: Convertidor Buck-Boost [15].....	26
Ilustración 13: Carga inalámbrica.....	32
Ilustración 14: Potencia vs grosor, dependiendo del material [22] .....	34
Ilustración 15: Convertidor DC/DC Boost.....	35
Ilustración 16: Convertidor Boost interruptor abierto .....	35
Ilustración 17: Convertidor Boost interruptor cerrado.....	35
Ilustración 18: Circuito convertidor Boost.....	36
Ilustración 19: Diodo [23] .....	37
Ilustración 20: MOSFET de acumulación y de canal n [23].....	38
Ilustración 21: MOSFET de acumulación de canal n [23].....	39
Ilustración 22: Formula de inductancia.....	39
Ilustración 23: Pines del UC-3843 [25] .....	40
Ilustración 24: Dispositivo UC-3843 .....	41
Ilustración 25: Osciloscopio [28].....	42
Ilustración 26: Fuente de alimentación [29].....	43
Ilustración 27: Polímetro [30] .....	43
Ilustración 28: Caracterizador de impedancias [31] .....	44
Ilustración 29: Diagrama de GANTT .....	51
Ilustración 30: Divisor de tensión.....	52
Ilustración 31: Configuración E/A [32] .....	54
Ilustración 32: Controlador PI .....	54
Ilustración 33: Compensador de pendiente [33].....	55
Ilustración 34: Elementos conectados a Isense.....	55
Ilustración 35: Elementos conectados a RT/CT .....	56
Ilustración 36: Circuito eléctrico del receptor .....	59
Ilustración 37: Vdiodo y Vmosfet .....	65

Ilustración 38: Intensidad del diodo.....	66
Ilustración 39: Intensidad del MOSFET .....	66
Ilustración 40: Prototipo del receptor .....	67

## LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tensiones e intensidades [17] .....	36
Gráfico 2: Características tensión-corriente del diodo [23] .....	37
Gráfico 3: L vs f.....	57
Gráfico 4: R vs f .....	58
Gráfico 5: Vdc y Vref .....	60
Gráfico 6: Vrt/ct.....	60
Gráfico 7: Voutput y Vrt/ct .....	61
Gráfico 8: Voutput sin señal.....	62
Gráfico 9: Vpout y Vout .....	62
Gráfico 10: Vr12 sin inductancia.....	63
Gráfico 11: Vr12 con inductancia.....	63
Gráfico 12: Voutput con inductancia .....	64
Gráfico 13: Voutput sin inductancia .....	65
Gráfico 14: Vrt/ct.....	68
Gráfico 15: Voutput .....	68
Gráfico 16: Voutput .....	69
Gráfico 17: Voutput .....	69
Gráfico 18: Voutput .....	70
Gráfico 19: Vr12 sin inductancia.....	70
Gráfico 20: Vr12 con inductancia.....	71
Gráfico 21: Vr12 y Vc6.....	71
Gráfico 22: Vout sin inductancia .....	72
Gráfico 23: Vout con inductancia .....	72



## LISTADO DE ACRONIMOS

DC	Direct Current
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor
Hz	Hercios
UPV	Universidad del País Vasco
APERT	Applied Electronics Research Team
V	Volt
W	Watt
$\Omega$	Ohm
PSIM	Software of Power Electronics Simulation

# **1. MEMORIA**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

Este proyecto se ha realizado junto con el grupo de investigación de la UPV, APERT (The Applied Electronics Research Team). Este grupo de investigación está compuesto por profesores de la rama de electrónica de la Escuela de Ingeniería de Bilbao. Se pueden integrar en este grupo los alumnos con inquietudes sobre esta rama para realizar sus trabajos de fin de grado, master o incluso tesis.

El objetivo de este trabajo es investigar sobre la transferencia inalámbrica de energía, para después poder trasladar estos conocimientos al medio marino.

Para llevar a la práctica la transferencia por inducción, hará falta un transmisor que le proporcione energía a un receptor mediante un campo electromagnético. Este trabajo se centrará en la creación del receptor, el cual se analizará y estudiará de manera teórica, y después se construirá un prototipo para comprobar su funcionamiento en la práctica.

## 1.2. CONTEXTO

Hoy en día la superficie terrestre está más que explotada, por esta razón se están empezando a utilizar cada vez más los recursos que proporciona el medio marino.

En Fiyi, como en numerosos Estados insulares en desarrollo del Pacífico, se están llevando a cabo exploraciones para beneficiarse de los minerales que proporciona el lecho marino. Esta iniciativa generará una gran expansión económica, ya que hay una gran demanda de distintos metales para su uso en la industria [1].

Otro ejemplo que puede verse más cercano, es el del proyecto que acaba de ser aprobado por el Gobierno vasco, que consiste en utilizar aerogeneradores gigantes mar adentro, frente a las costas de Armintza. Esta será una nueva forma de conseguir energía eólica, y potenciar las energías renovables [2].

Estos ejemplos solo son una pequeña parte de la tendencia que se está llevando a cabo en la actualidad, que es la de aprovechar los recursos que genera el medio marino: la fuerza de las olas, distintos metales, petróleo...

Se está generando una necesidad de equipos de mantenimiento, vigilancia, maquinaria sumergible y otro tipo de dispositivos para verificar el correcto funcionamiento de las tecnologías instaladas.

En esta cuestión se realiza un problema, que es la capacidad de las personas para moverse en el medio marino, ya que los buzos pueden intervenir, pero en un periodo de tiempo muy pequeño, además de necesitar mucha preparación, jugarse la vida y el gran coste económico que ello supone.

En consecuencia, existen ya robots que pueden ser manejados por control remoto capaces de sumergirse bajo el agua. Dependiendo del tipo de robot puede desempeñar distintas funciones, sin embargo, estas máquinas no tripuladas necesitan llevar un cable incorporado o ser sacados del agua para cargarlos. A continuación, se citan distintos tipos de robots que son utilizados para desempeñar distintos papeles en el medio marino.

- Por un lado, existen unos equipos llamados **'Droids de BUCEO'**. Los buzos que trabajan en grandes profundidades tienen una serie de dificultades, como someter su cuerpo a presiones 10 veces más grandes de lo habitual, y poseer un tiempo muy limitado para realizar sus tareas, aproximadamente unos 15 minutos. Por esta razón un equipo de robótica de Stanford diseñó un robot

subacuático humanoide, que es capaz de manipular cualquier tipo de elemento utilizando sensores de fuerza. Uno de los objetivos de este, es reemplazar a los buceadores, evitando de esta manera poner en riesgo sus vidas [3].

- Ya que en el lecho marino hay lugares en los que pueden encontrarse diferentes metales raros y preciosos como platino, oro y cobalto, se han creado unas **máquinas de excavación sumergibles** cuyo peso esta alrededor de 300 toneladas. Estas excavadoras tienen la labor de recorrer ciertos puntos del océano y extraer los metales que se deseen. Por ahora, se han oficializado varios puntos como concesiones mineras, en los océanos Atlántico, Pacífico e Índico [3].



*Ilustración 1: Excavadoras sumergibles [3]*

- Otro de los equipos que se está utilizando en el medio marino es el **robot biométrico**. Este tipo de robot tiene varias funciones, como navegar por el océano en misiones de vigilancia, inspeccionar tuberías en plataformas petroleras, recolectar nuevos datos del medio marino, y se está desarrollando otro tipo de robot para monitorear el medio ambiente [3].



*Ilustración 2: Robot biométrico [3]*

Pese a que esta tecnología presenta más autonomía que la que tienen las personas bajo el mar, todavía no es suficiente, ya que constan de una serie de limitaciones que no les permite realizar todo el trabajo que hace falta.

Una opción sería crear unas baterías muy duraderas, las cuales serían muy pesadas y condicionarían el tamaño y funcionamiento del dispositivo.

Lo que se quiere conseguir con este proyecto, es que algunos de esos robots puedan cargarse de forma inalámbrica (sin necesidad de tener que estar conectados a un cable o de salir a la superficie para ser cargados) instalando una serie de bases en el fondo marino, en las que el robot únicamente tenga que situarse sobre ellas para realizar la carga. Para así, mejorar la eficiencia, y ganar autonomía de tiempo y desplazamiento.

Para ello, partiendo de las aplicaciones terrestres que ya se benefician de la transmisión inalámbrica de energía, habrá que crear un dispositivo capaz de conseguir los mismos resultados bajo el mar.

Para realizar la transferencia inalámbrica de energía, en este trabajo se utilizarán un transmisor y un receptor, que funcionan de la siguiente manera:

El inversor, situado en el transmisor, produce un campo electromagnético, el cual es transmitido por una bobina primaria, una bobina secundaria se coloca en este campo, el cual induce una corriente que le proporciona energía a lo que está conectado. La primera bobina está colocada en el transmisor y la segunda en el receptor [4].

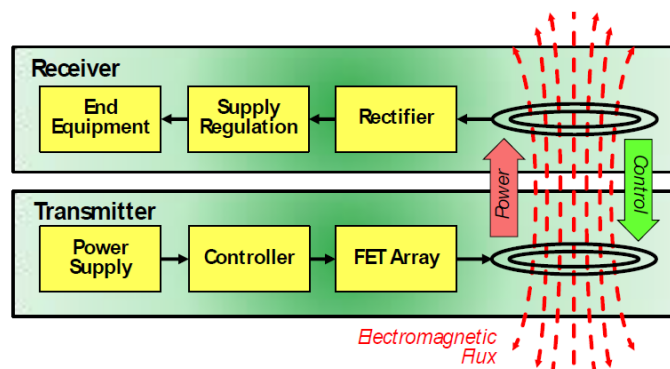


Ilustración 3: Carga por inducción electromagnética [4]

Un transmisor solo proporciona energía cuando hay un receptor, y solo produce la cantidad de energía solicitada por el receptor. Además, el sistema es capaz de reconocer cuando el campo electromagnético ha sido interrumpido por un elemento involuntario, y parará la transferencia para evitar que una cantidad significativa de energía sea absorbida por cualquier elemento que no sea un receptor adecuado. Luego, el receptor verifica que se esté enviando la cantidad correcta de energía y que no se pierde nada por objetos extraños. Cuando se completa la carga de la batería, el receptor no puede solicitar que se envíe más energía y el transmisor reducirá su salida en consecuencia [4]

### 1.3. OBJETIVO Y ALCANCE DEL TRABAJO

El objetivo principal de este proyecto es investigar la transferencia inalámbrica de energía, para después poder aplicar esos conocimientos en aplicaciones submarinas. Para ello se van a utilizar un transmisor y un receptor. Este trabajo se centra en crear el prototipo del receptor, que debe captar el campo electromagnético que ha generado anteriormente el transmisor, y en consecuencia inducir una corriente que le proporcionará energía al dispositivo conectado. Ya que la tensión que se recibe del transmisor es pequeña, habrá que amplificarla.

Para conseguir el objetivo principal antes se deben lograr unos objetivos secundarios, que son los que se citan a continuación.

En primer lugar, hay que documentarse sobre el tema utilizando las plataformas de internet y la información que proporcione el director del proyecto. Antes de empezar a trabajar hay que lograr tener claros varios conceptos fundamentales, entre ellos: Como se da la transmisión inalámbrica de energía y de qué manera se cargan los dispositivos mediante estos campos electromagnéticos.

En segundo lugar, no se debe olvidar que antes de crear el prototipo físico del receptor hay que probar varios diseños haciendo uso de algún programa informático. En este caso para realizar las simulaciones necesarias se utilizará el programa PSIM, que servirá para crear prototipos virtuales con el fin de conocer el comportamiento teórico del circuito previo a su montaje. Por lo tanto, antes de todo hay que trabajar con él y aprender a usarlo. Una vez decidido que diseño se va a seguir para crear el receptor habrá que crearlo haciendo uso de dicho programa y hacer varias pruebas y simulaciones. El objetivo será conseguir en la práctica unos valores iguales o muy parecidos a los teóricos, de forma que se verifique el correcto funcionamiento del proyecto.

En tercer lugar y antes de hacer ningún tipo de simulación se deben conocer bien las características que tendrá el diseño. En este caso el receptor constará de un convertidor DC/DC Boost que se encargará de adaptar la tensión rectificadora obtenida de la bobina receptora al valor de tensión de salida deseado de 19V. Así mismo, también estará compuesto por un controlador de modulación de ancho de pulso (PWM) como es

el UC3843. Se tienen que investigar y entender bien todos los componentes y características de estos para una correcta y eficiente utilización.

Una vez logrados todos los objetivos secundarios citados anteriormente, hay que empezar a trabajar en el objetivo principal, lograr un prototipo de receptor físico que cumpla los requisitos y especificaciones concretadas, para después poder utilizarlo en el medio marino.

El alcance de este proyecto va a ser prototipar en seco la robustez de un receptor potencialmente sumergible. Para ello, se realizarán una serie de pruebas fuera del agua que verifiquen su funcionamiento.



## 1.4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

La transferencia inalámbrica de energía presenta muchos tipos de ventajas en diferentes campos.

Hoy en día varios de los campos que ya se están beneficiando de esta tecnología son: la medicina, los automóviles, los teléfonos móviles, la cocina, etc.

Gracias a la inducción electromagnética se ha facilitado la carga de los automóviles y de los teléfonos móviles, se ha conseguido mejorar la eficiencia del calentamiento de alimento y se evitan cirugías para extraer dispositivos implantados internamente, que han de ser cargados.

Sin embargo, este apartado se centra en destacar los beneficios que aporta la transferencia inalámbrica en aplicaciones marinas, ya que este es el objetivo principal del trabajo.

Hoy en día hay robots que trabajan sumergidos en el mar. El trabajo de estos puede consistir en diferentes tareas, desde arreglar tuberías u otro tipo de elementos que se encuentren bajo el mar, hasta inspeccionar y controlar el estado de las redes de producción y distribución (algunas de ellas han sido explicadas con más detalle en el contexto).

Hasta ahora, los robots submarinos que se han utilizado para diversas aplicaciones han tenido dos maneras de ser cargados de energía.

- Por un lado, se da la opción de que estos mini submarinos estén todo el tiempo conectados mediante un cable, que puede ser de unos 450 metros, de esta manera se les estaría dando energía en todo momento [5]. Aunque este cable presente una longitud considerable con la que se puede trabajar, condiciona la distancia máxima a la que el robot puede desplazarse. Es importante mencionar, que la carga mediante contacto eléctrico no es viable en parte por falta de estanqueidad.
- Por otro lado, otra opción es que se le inserte una batería con la que el robot podrá moverse libremente. Sin embargo, esta batería no tiene una capacidad ilimitada por lo que cuando se termine la energía que se le ha asignado habrá que sacar el mini submarino para que sea cargado nuevamente. De esta manera se pierde tiempo y, por lo tanto, eficiencia. Una alternativa podría ser

crear una batería que tenga mucha capacidad de almacenar energía, para de esta manera poder mantener el equipo más tiempo bajo el agua. Pero, esta batería sería demasiado grande y pesada, por lo que la maquina no tripulada se vería condicionada a ser de un tamaño superior al deseado en muchos casos.

Frente a los problemas que presentan esas formas de cargar los robots, la opción que se expone en este proyecto sería cargar el robot de forma inalámbrica, pese a que todavía se está investigando sobre ello.

Sí se consiguiese este propósito el robot podría sumergirse a más profundidad, y hacer más recorrido, sin tener que preocuparse por la longitud de ningún cable, además de solucionarse el problema de la falta de estanqueidad. Por otro lado, comparándolo con el método de las baterías, no habría que sacar el mini submarino fuera del agua para realizar su carga, mejorando de esta manera la eficiencia, ya que se ahorraría una cantidad considerable de tiempo.

Además, los buceadores no tendrían que poner su vida en peligro sumergiéndose a grandes profundidades o en sitios con alto riesgo, ya que estos robots serían capaces de hacerlo por ellos, al no estar condicionados por una determinada distancia a recorrer [6]. También es importante mencionar, que, a la larga, utilizando bases de carga inalámbrica bajo el mar, se espera reducir los costes totales, ya que se evitaría tener que sacar y volver a meter el robot en el agua.

La idea que se propone es instalar unas bases de carga inalámbrica sumergidas en determinados puntos debajo del mar, para que de esta manera el robot sea capaz de regresar de forma autónoma a dicha base, en la que simplemente situándose sobre ella consiga cargarse inalámbricamente en poco tiempo.

## 1.5. ESTADO DEL ARTE

Por ahora la transmisión inalámbrica de energía se ha utilizado para aplicaciones terrestres, y ha presentado una amplia variedad de ventajas en esos campos. Principalmente se está utilizando en el mundo de la medicina, en los automóviles, con los teléfonos móviles y en distintos tipos de electrodomésticos. A continuación, se detallan algunas de sus utilidades.

- Para empezar, uno de los ámbitos en los que más se está trabajando con la inducción electromagnética es en la **cocina**, para calentar diferentes alimentos. El objetivo de esta aplicación es crear un estándar que permita el desarrollo de dispositivos más inteligentes, seguros y convenientes. De la misma manera esto les otorgará a los fabricantes un amplio margen para poder hacer diseños que diferencien sus productos.

Se podrán entregar hasta 2200 vatios a aparatos inalámbricos como pueden ser licuadoras, batidoras, estufas y arroceras. Esto evitará tener que conectar los dispositivos mediante un cable a un enchufe obligando así a tener que cocinar en un sitio determinado, además ya que no harán falta cables se ahorrará espacio y el entorno estará más ordenado. En su lugar, los aparatos se deberán colocar sobre los transmisores de potencia que estarán instalados en las estufas de la cocina de inducción, o bien debajo de cualquier superficie que no sea de metal.



Ilustración 5: Base de transmisión de potencia [7]



Ilustración 4: Base de transmisión de potencia [8]

Como se ha explicado anteriormente, uno de los beneficios clave de la cocina inalámbrica es la flexibilidad, ya que permite utilizar todo el espacio de la cocina que se desee. Otra ventaja es la comodidad ya que su uso es tan sencillo como colocar el dispositivo habilitado encima del transmisor, y finalmente en cuanto al

diseño da la sensación de mucho más moderno y recogido, ya que no hay cables a la vista [9].

- La **medicina** es otro de los campos que más se está beneficiando de la transferencia inalámbrica. Desde hace varios años en el ámbito de la medicina se están utilizando diversos aparatos tecnológicos como son los audífonos, marcapasos u otros implantes que ayudan a tratar distintas patologías. Cuando los aparatos que se utilizan son externos como en el caso de los audífonos, no hay ningún problema para volverlos a cargar. Sin embargo, en implantes situados en el interior del cuerpo la carga es más compleja, ya que hay que volver a realizar una cirugía para poder sacar el dispositivo y sustituir la pila. Para estos últimos casos puede ser de gran utilidad la transmisión inalámbrica de energía. En la universidad de Stanford se está investigando esta aplicación, que se basa en la inducción electromagnética, pero utilizando un disco en lugar de bobinas. Por ahora el proyecto está en proceso y requiere de mejoras, ya que los resultados que se han conseguido tienen una baja eficiencia. Sin embargo, se prevé que en poco tiempo su uso será eficaz para implantes pequeños y que a la larga también podrá utilizarse eficazmente en implantes de mayor tamaño [10].



*Ilustración 6: Implante interior [10]*

- En un futuro cercano viendo la tendencia del mercado otro de los campos que marcará un antes y un después en la sociedad será el de los **automóviles**, ya que finalmente se acabarán cargando de forma inalámbrica. Entre las ideas que se quieren llevar a cabo, está poner en el suelo de los garajes (parcelas de coches) paneles de recarga, que no afectarán de manera negativa

al espacio ya que ocupan poco. Otra idea más ambiciosa que se está barajando sería instalar vías de recarga en autopistas, colocando el dispositivo bajo el pavimento, para que los automóviles se carguen mientras transitan, o bien en los puntos de paradas obligatorios como los semáforos.

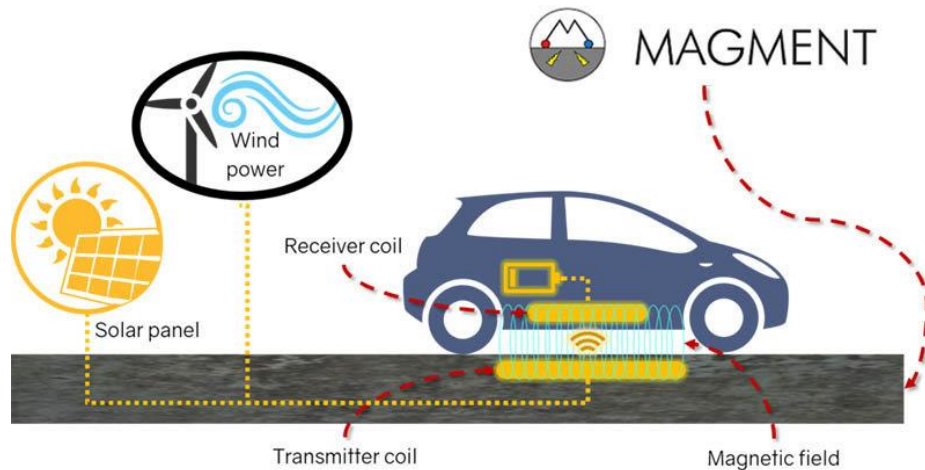


Ilustración 7: Base de carga para automóviles [11]

Después de trabajar en ello, varias limitaciones que había inicialmente se han ido solucionando, el tamaño del dispositivo se ha reducido haciéndolo lo menos pesado posible, las pérdidas de energía son menores y se han aplicado asistentes de aparcamiento. Por lo tanto, esta será una forma segura, eficiente y cómoda de cargar las baterías de los vehículos. Por ahora varias marcas y empresas están trabajando en ello, como, por ejemplo: Audi, BMW, Hyundai, Qualcomm Halo, WiTricity, MAGMENT...

Como curiosidad, esta última empresa ha creado un hormigón magnético, formado por partículas de ferrita recicladas, con la capacidad de transportar la corriente eléctrica y funcionar como un sistema de recarga dinámico e inductivo para vehículos eléctricos [11].

- Una aplicación que no podía faltar es la carga inalámbrica de los **teléfonos móviles**. Cada vez hay más móviles que poseen esta cualidad, y dentro de poco todos los móviles que salgan al mercado la tendrán.

Aunque de primeras un móvil no tenga la capacidad de cargarse inalámbricamente hay aparatos que se ajustan al teléfono y le permiten hacer

uso de la carga inalámbrica. Además, como ventajas están que es muy fácil y rápido de usar, basta con dejar el móvil encima de la base de carga.

Por otro lado, no hay posibilidad de dañar el micro USB ya que no se requiere de su utilización para cargar el dispositivo. El estándar de carga más usado es Qi, por lo tanto, con tener una sola base de carga se podrían beneficiar todos los móviles con capacidad de carga Qi. Estas bases no solo se pueden utilizar en casa, cada vez se están implementando en más sitios como por ejemplo los coches. Otra ventaja a tener muy en cuenta es que el precio se asemeja al de un cargador convencional [12].



*Ilustración 9: Cargador inalámbrico de móvil para coche [13]*



*Ilustración 8: Cargador inalámbrico de móvil [14]*

Partiendo de estas aplicaciones en el mundo terrestre, se quiere conseguir llevar esta tecnología al medio marino. Para así facilitar el funcionamiento de los robots que trabajan bajo el agua.

## 1.6. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

Al igual que en la mayoría de tecnologías, a la hora de crear un receptor de campo electromagnético hay una amplia variedad de posibilidades. Como se ha citado anteriormente este proyecto se basa en un receptor, que va a estar compuesto por un convertidor DC/DC y por un controlador UC3843, además de las debidas mejoras que se le deberán sumar a dicho dispositivo como por ejemplo un divisor de tensión y un conjunto de resistencia y condensador para disminuir el ruido que se genera y que el circuito integrado PWM UC3843 sea capaz de medir de forma correcta la corriente del convertidor.

A continuación, se van a presentar los distintos tipos de convertidores DC/DC que podrían haberse utilizado para esta aplicación, y las características que les diferencian.

Antes de empezar es importante saber que un convertidor DC/DC es un tipo de suministro de energía que convierte una fuente de corriente continua de un nivel de tensión a otro diferente. Entre los tipos de convertidores se diferencian primeramente dos grupos, los lineales y los conmutados [15].

### 1.6.1. Convertidor DC/DC lineal

Un convertidor lineal ofrece una serie de ventajas en comparación con uno conmutado, como son la simplicidad de diseño que en un proyecto como este es algo bastante positivo, la suavidad de la operación y la capacidad de manejar cargas, además del bajo ruido de salida y de una respuesta dinámica muy rápida. Este tipo de convertidor tiene un coste de componentes mucho menor que el de conmutación para potencias menores a 10W.

Una desventaja a tener muy en cuenta es que este tipo de convertidores solo pueden ser reductores de tensión, esto significa que requieren de una caída de tensión bastante grande para ser capaces de controlar la polarización de la etapa de potencia lineal y la regulación de la línea. En casos en los que la línea es de 50Hz, deberán utilizarse transformadores adicionales condicionando así su practicidad. Por otro lado, cada regulador lineal solo consta de una salida, por ello, por cada salida adicional el circuito de potencia deberá incrementarse. Por último, otra desventaja a tener en cuenta es la eficiencia, que normalmente suele ser del 30% al 60%. Por lo tanto, la temperatura irá subiendo a medida que aumente la potencia [16].

Tabla 1: Convertidor DC/DC lineal

	<b>Eficiencia 50%</b>	<b>Facilidad de diseño %15</b>	<b>Capacidad de Tensión %30</b>	<b>Velocidad de respuesta %15</b>	<b>Total 100%</b>
<b>Puntuación</b>	4	8	1	8	4.7

### 1.6.2. Convertidor DC/DC conmutado

Otro tipo de convertidores son los de DC/DC conmutados, estos presentan más ventajas que los anteriores en cuanto a este proyecto se refiere.

En primer lugar, la eficiencia es mucho mayor, se encuentra entre el 68% y el 90%, gracias a esto se reduce el coste de los dispositivos de potencia. Otro rasgo a tener en cuenta es que los dispositivos de potencia son capaces de trabajar en régimen de corte y saturación, por lo tanto, aumenta la eficiencia del dispositivo de potencia. Además, este tipo de convertidores son capaces de funcionar como reductor, inversor, o elevador de tensión, esto se debe a que la tensión de entrada puede ser conmutada en una forma de alterna y posicionada en un elemento magnético. A diferencia del lineal, en este tipo no hace falta el uso del transformador de línea, ya que el elemento magnético de transferencia de energía es capaz de conseguir el funcionamiento en una frecuencia de conmutación alta. Por lo tanto, se reduce el coste, el peso y el tamaño.

Pese a todos estos puntos a favor, también posee ciertas desventajas. Una de ellas es su diseño más complejo, electromagnético. Otra de ellas es que genera más ruido que las anteriores y que en la entrada y la salida radia interferencia electromagnética y radiofrecuencia, lo que dificultará el control. Por último, el circuito tendrá una respuesta transitoria en el tiempo, ya que la fuente conmutada toma proporciones de energía de la entrada en pulsos de tiempos limitados para transferirlo a la salida en otras condiciones de corriente y tensión, por lo que el circuito necesitará más tiempo de restablecimiento para soportar variaciones en la entrada [16].



Tabla 2: Convertidor DC/DC conmutado

	<b>Eficiencia 50%</b>	<b>Facilidad de diseño %15</b>	<b>Capacidad de Tensión %30</b>	<b>Velocidad de respuesta %15</b>	<b>Total 100%</b>
<b>Puntuación</b>	8	3	8	3	7.3

*\*Para más información sobre la rúbrica de evaluación consúltese el, Anexo I Rúbricas de evaluación.*

### **Elección del convertidor**

Después de analizar las anteriores alternativas, se ha decidido que para este proyecto la mejor elección es un convertidor DC/DC conmutado, ya que como ha quedado claro en el análisis de las tablas presenta las mejores características. Algunas de las cosas a las que se les debe dar mayor importancia a la hora de crear este receptor es a la eficiencia y a la capacidad de cambio de la tensión, precisamente a la capacidad de aumentarla. Por otro lado, a la dificultad del diseño no se le debe dar demasiada importancia ya que se va a requerir de tiempo suficiente para su construcción, y finalmente la velocidad de respuesta está claro que cuanto más rápida sea mejor, sin embargo, no es algo imprescindible.

Una vez decidido el tipo de convertidor DC/DC conmutado, que en esencia es un circuito que emplea un interruptor de potencia, un inductor, un diodo y un capacitor que permite transferir energía de la entrada a la salida. Dentro del mismo, tenemos varios tipos no aislados diferentes: Buck, Boost y Buck-Boost.

### 1.6.2.1. Convertidor de reducción/Buck

Como se dice previamente, el convertidor Buck es un convertidor DC/DC, que obtiene a su salida una tensión continua menor o igual a la de su entrada, es decir es un reductor de tensión. La tensión de salida  $V_{out}$  depende de la tensión de entrada  $V_{in}$  y del ciclo de trabajo de conmutación  $D$  del interruptor de potencia [15].

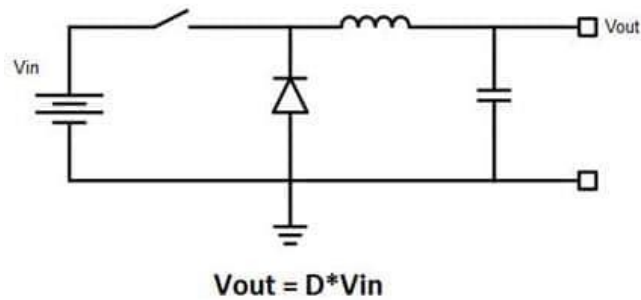


Ilustración 10: Convertidor Buck [15]

### 1.6.2.2. Convertidor Elevador/Boost

El convertidor Boost es un convertidor DC/DC, que consigue a su salida una tensión continua mayor que a su entrada, es decir, es un elevador de tensión. Es un tipo de fuente de alimentación conmutada que contiene al menos dos interruptores semiconductores y al menos un elemento para almacenar energía [17].

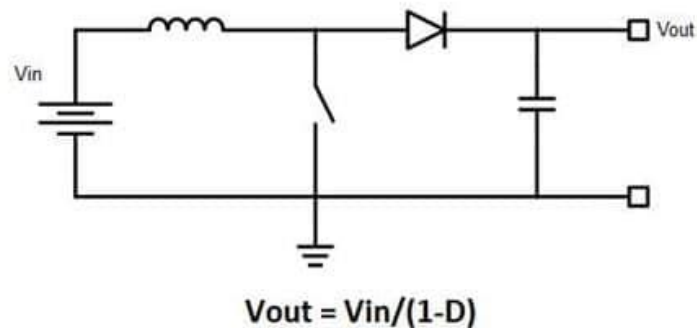


Ilustración 11: Convertidor Boost [15]

### 1.6.2.3. Convertidor Buck-Boost

Este tipo de convertidor tiene la capacidad de hacer que la tensión de DC de entrada aumente o disminuya, dependiendo del ciclo de trabajo. Ya que la fórmula de la tensión de salida tiene polaridad negativa respecto de la tensión de entrada, este tipo de convertidor también se conoce como inversor [15].

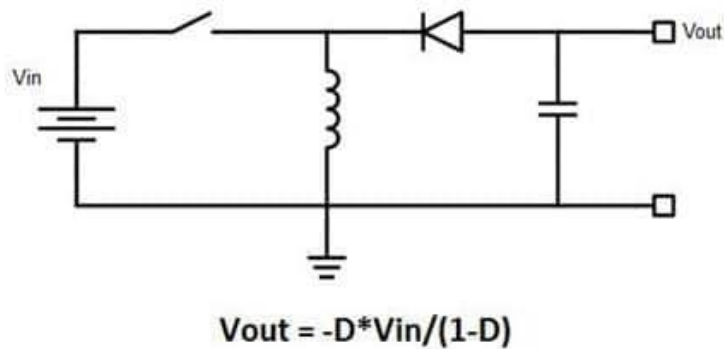


Ilustración 12: Convertidor Buck-Boost [15]

### **Elección del tipo de convertidor DC/DC conmutado**

En este trabajo se ha decidido utilizar un convertidor elevador Boost, ya que como el transmisor proporciona una tensión de unos 5V, que se considera bastante pequeña, uno de los objetivos que se quiere conseguir es aumentar la tensión en la salida con respecto a la tensión de entrada. Es cierto que también se podría utilizar un convertidor Buck-Boost para esta función, sin embargo, ya que este último también permite reducir la tensión en la salida y eso en este momento no interesa, es más simple hacer uso solamente del elevador de tensión.

## 1.7. ANALISIS DE RIESGOS

En este apartado se van a analizar los posibles riesgos que puedan ralentizar o afectar negativamente al desarrollo del trabajo.

Primero se van a identificar dichos riesgos, segundo se va a evaluar el impacto y las posibilidades que tienen de suceder, después se van a establecer las prioridades y para terminar se dará un plan de prevención. A continuación, se hace esta evaluación para cada uno de los riesgos identificados.

### 1.7.1. Ruptura de equipos (A)

Este riesgo se da cuando alguno de los equipos necesarios para trabajar en el proyecto, así como para hacer pruebas y verificar su correcto funcionamiento, no funciona debidamente. Esta situación, es posible que suceda, debido a que los equipos no son nuevos y no están en perfectas condiciones, ello, tendría unas consecuencias de vital importancia, ya que sin los equipos necesarios no se puede avanzar en el trabajo.

Para evitar esta situación hay que tomar una serie de precauciones a la hora de utilizar las máquinas. Antes de empezar a hacer uso de cualquier dispositivo hay que aprender bien cómo funciona, y solo una vez entendido esto se pasará a utilizarlo en la práctica. Además, cada vez que se termine de utilizar alguno de los equipos se deberá apagar.

### 1.7.2. Ruptura de piezas del circuito (B)

Una vez soldado y creado el receptor, a la hora de hacer las distintas pruebas hay elementos que pueden sobrecargarse y de esta manera romperse.

Otra forma sería que a la hora de transportarlo de un lugar a otro alguno de los componentes sufra algún tipo de daño. Esta situación es bastante probable que suceda, sin embargo, tiene fácil arreglo, basta con sustituir el componente.

Por un lado, una forma de evitar rupturas de piezas puede ser controlar las tensiones con las que se alimenta el circuito, y por otro lado tener un cuidado especial a la hora de trasladar el receptor.

### 1.7.3. Retraso de objetivos (C)

Este riesgo se da cuando no se cumple con los tiempos planificados. Hay muchas probabilidades de que suceda este problema, sin embargo, el impacto no es muy grande ya que puede solucionarse invirtiendo más horas otro día.

Para prevenir este riesgo se va a hacer una planificación con un amplio margen de cambios, es decir a cada tarea se le atribuirán más horas de las necesarias para en caso de darse algún problema, tener tiempo suficiente para arreglarlo.

### 1.7.4. Error en el diseño (D)

Primeramente, el diseño se va a crear mediante el programa PSIM, por lo tanto, aquí se verá si está siendo diseñado adecuadamente. Este error es muy común, ya que al empezar con el diseño de un dispositivo siempre se cometen errores, sin embargo, tiene fácil solución, ya que como el PSIM es un programa de ordenador no genera ningún tipo de coste adicional hacer cambios en el.

Para intentar disminuir este error lo máximo posible, antes de empezar a diseñar hay que tener claros todos los conceptos teóricos y la idea que se quiere realizar.

### 1.7.5. Bajas de los trabajadores (E)

Parte de este trabajo se ha realizado en pareja, una de las personas diseñando el receptor y la otra el transmisor.

Primero, se ha estado trabajando en el transmisor, y una vez acabado con este se ha empezado a invertir horas en el receptor. Por lo tanto, si uno de los componentes se encontrase indispuesto sería un gran atraso a la hora de realizar el proyecto. De la misma manera, si el director del trabajo se ausentase también habría un retraso

significativo de tiempo. Este riesgo tiene posibilidades de suceder, y sus consecuencias, aunque no serían catastróficas, si tendrían cierto impacto.

Para solucionar este problema una alternativa sería modificar el plan de trabajo a la nueva situación.

### 1.7.6. Resumen del análisis de riesgos

Los riesgos anteriores se han clasificado en una matriz de probabilidad y consecuencias, para dependiendo de la gravedad poder identificar los riesgos prioritarios.

Tabla 3: Matriz de probabilidad y consecuencias

		Probabilidad				
		Raro (0,05)	Poco Probable (0,1)	Posible (0,2)	Muy probable (0,4)	Casi seguro (0,8)
Consecuencias	Despreciable (0,1)					<b>D</b> (0,08)
	Menores (0,3)				<b>B</b> (0,12)	<b>C</b> (0,24)
	Moderados (0,5)					
	Mayores (0,7)			<b>E</b> (0,14)		
	Catastróficas (0,9)			<b>A</b> (0,18)		

### 1.7.7. Riesgos prioritarios

Utilizando la tabla anterior se van a ordenar los distintos riesgos explicados previamente de mayor a menor gravedad:

- Retraso de objetivos (C)
- Ruptura de equipos (A)
- Bajas de los trabajadores (E)
- Ruptura de piezas del circuito (B)
- Error en el diseño (D)

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. CONCEPTOS TEÓRICOS

#### 2.1.1. Introducción a la carga inalámbrica

Mediante esta introducción se tratará de explicar brevemente la idea de la carga inalámbrica de energía.

Para ello se necesitan dos bobinas, una bobina transmisora y otra receptora. Un inversor genera una corriente alterna en la bobina del transmisor, que a su vez genera un campo magnético que induce un voltaje en la bobina del receptor. Este voltaje puede utilizarse para alimentar un dispositivo móvil o cargar una batería [18].

A continuación, se explicará brevemente como construir un sistema de carga inalámbrico usando inducción magnética. El sistema tendría que estar formado de la siguiente manera

Por un lado, estaría la estación base y por el otro el dispositivo móvil.

La estación base consta de uno o más transmisores, los cuales proporcionan potencia al receptor.

El dispositivo móvil contiene un receptor que proporciona energía a una carga y además información de control al transmisor [19].

Para entender mejor el funcionamiento, es necesario analizar los siguientes puntos:

- Convertidor de potencia:
  - El elemento de convertidor de potencia, que en este caso es un inversor, convierte la potencia eléctrica en una señal inalámbrica de potencia.
  - La unidad de captación de energía, un convertidor DC/DC, convierte la señal de energía inalámbrica en energía eléctrica.
- Control:
  - El receptor controla la potencia de salida que tendrá la carga.
  - El transmisor se centra en adaptar la potencia de transmisión.
- Comunicación:
  - El receptor le proporciona información del control al transmisor mediante mensajes.
  - El transmisor recibe los mensajes que le ha enviado el receptor [19].



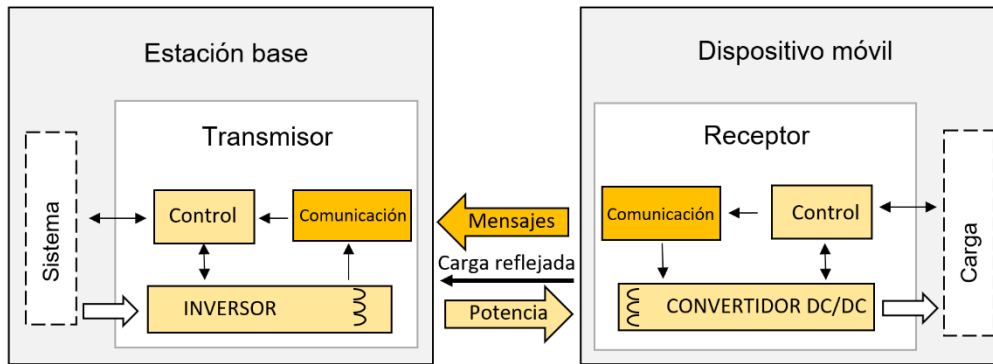


Ilustración 13: Carga inalámbrica

El ciclo de acontecimientos sería de la siguiente manera:

- Para empezar el transmisor le proporciona una señal al receptor y el la recibe, después el receptor comunica la intensidad de la señal recibida y el transmisor detecta la respuesta del receptor.
- A continuación, el receptor comunica su identificación y la potencia requerida, y el transmisor se configura para la transmisión de potencia.
- Para finalizar el receptor comunica los datos de control y el transmisor adapta la potencia de transmisión [19].

En este tipo de proyectos es muy importante que las bobinas estén bien acopladas y para ello hay que tener en cuenta varios factores: elegir las dimensiones adecuadas de las bobinas, mantener una distancia entre bobinas pequeña, añadir material permeable magnético y alinear las bobinas adecuadamente.

En cuanto a esto último hay varias maneras de alinear las bobinas, entre ellas estarían:

- El posicionamiento guiado con retroalimentación táctil, mediante atracción magnética.
- El posicionamiento libre con bobina móvil.
- El posicionamiento libre con activación selectiva de bobinas en matriz de bobinas [19].

Otro factor a tener en cuenta a la hora de realizar el proyecto es el consumo de la energía. Es importante resaltar que en las cargas inalámbricas el transmisor tiene la capacidad de entrar en modo de espera cuando no hay ningún dispositivo presente o los dispositivos actuales no necesitan energía.

Cuando se habla de la eficiencia de la energía inalámbrica se tiene en cuenta la eficiencia de carga y el consumo de energía en espera.

- El consumo de energía en espera: La energía que se consume en el modo de espera es muy pequeña, ya que cuando se detecta que no hay un receptor el transmisor deja de transferir energía [20].
- Eficiencia de carga: Los cargadores inalámbricos constan de los mismos componentes que un cargador cableado, quitando claro está, el cable de cobre entre el adaptador y el dispositivo, que se utiliza para realizar la carga de la batería. Este, será remplazado por un enlace inalámbrico, aunque de primeras pueda parecer no ser tan eficiente, se han estudiado las pérdidas de energía en los dos sistemas, y como consecuencia se ha deducido que pueden crearse cargadores inalámbricos con eficiencias similares a los cargadores convencionales.

Además, comparando las dos opciones se puede ver, que con los adaptadores inalámbricos se consiguen varias ventajas de ahorro de energía, que se dan gracias a la reducción de energía reservada, reducción de la energía de fabricación y transporte de los adaptadores de potencia cableados innecesarios. También hay que tener en cuenta que a largo plazo puede ser una medida de protección al medio ambiente [20].

Los cargadores inalámbricos pueden ser de dos tipos, resonantes o inductivos:

- Carga inalámbrica en modo inductivo: En general, los transmisores utilizan un acoplamiento de las bobinas elevado (las bobinas tienen el mismo tamaño y la distancia de las bobinas es mucho menor que el diámetro de las bobinas), cuando se da esta situación se aconseja operar a una frecuencia de resonancia algo diferente a la del receptor para conseguir mejores resultados. La operación de resonancia logra obtener la mayor cantidad de potencia con la mejor eficiencia [21].
- Carga inalámbrica en modo resonante: Este tipo se da cuando aumentando la distancia entre el receptor y el transmisor, disminuye el acoplamiento magnético entre las bobinas, ya que cuando un sistema consta de un acoplamiento bajo debe funcionar a la frecuencia de resonancia [21].

Existen diferentes métodos de transferir energía inalámbrica según el nivel de potencia requerido y el caso de uso: Carga resonante inductiva, capacitiva...

En funcionamiento, la bobina de transmisión crea un campo magnético, y la bobina receptora convierte este campo magnético en voltaje. La energía solo se transfiere cuando sea necesario, el transmisor espera hasta que su campo haya sido perturbado, envía energía y en consecuencia espera una respuesta digital. Sí la respuesta que se obtiene es válida, comenzará la transferencia de potencia. De la misma manera, la cantidad de energía transmitida también puede regularse, ya que, como el receptor monitorea constantemente la potencia recibida y entregada, el transmisor ajusta la potencia que tiene que enviar basándose en lo que indique el receptor, si se perdiese la conexión con el receptor la transmisión de potencia pararía. Esto es algo a tener en cuenta, ya que se consigue una mayor eficiencia.

Otro de los puntos a tener en cuenta a la hora de fabricar un dispositivo es la influencia del material, el grosor y la frecuencia en la absorción de potencia en objetos metálicos.

La absorción de potencia depende de varios factores como son: la intensidad del campo magnético, la frecuencia, el tamaño y la forma del objeto, el material... En cuanto a la influencia del material y el espesor, se puede decir que la máxima absorción de potencia depende de esos dos factores.

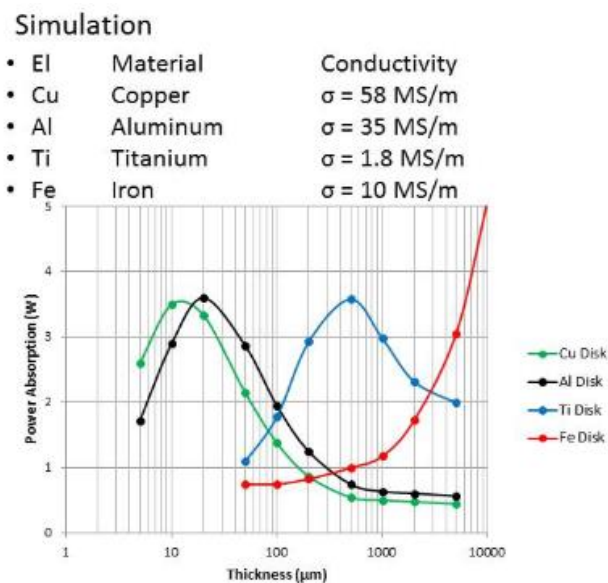


Ilustración 14: Potencia vs grosor, dependiendo del material [22]

En esta grafica puede verse la respuesta de la potencia de absorción, para distintos materiales en función de su grosor. Como se puede apreciar el hierro es especial, y esto se debe a su comportamiento ferromagnético [22].

## 2.1.2. Convertidor DC/DC Boost

El receptor que se ha diseñado en este trabajo va a constar de un convertidor elevador Boost.

Este convertidor DC a DC obtiene a su salida una tensión mayor que a su entrada. Como se ha dicho anteriormente es un tipo de fuente de alimentación conmutada que debe contener al menos un elemento con el que almacenar energía y dos interruptores semiconductores.

Dependiendo del estado del interruptor, se dan dos situaciones distintas en el convertidor Boost.

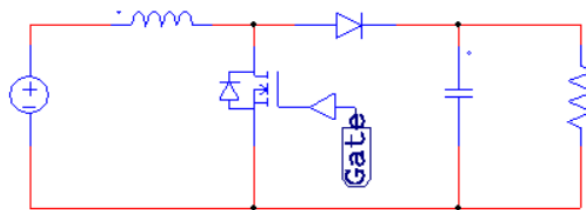


Ilustración 15: Convertidor DC/DC Boost

- Interruptor abierto: La corriente tiene que atravesar el diodo, de la misma manera circula por la carga y el condensador hasta que se ha cargado del todo.

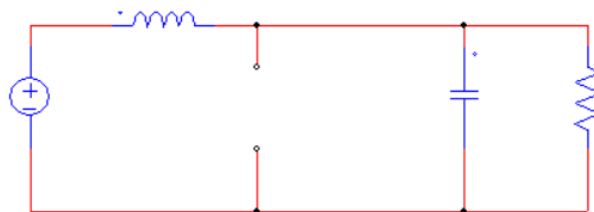


Ilustración 16: Convertidor Boost interruptor abierto

- Interruptor cerrado: La corriente no atravesará el diodo, por lo tanto, la bobina almacenará la energía de la fuente, y al mismo tiempo la carga será alimentada por el condensador.

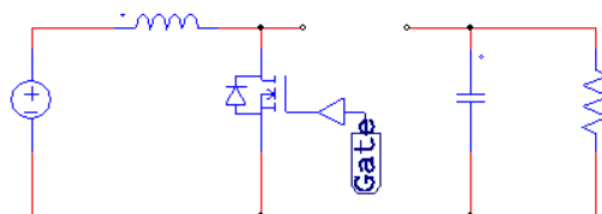


Ilustración 17: Convertidor Boost interruptor cerrado

Como se cita anteriormente, este convertidor tiene que tener al menos dos interruptores, que sería un MOSFET con el que se puede controlar el encendido y apagado, y un diodo de conmutación espontanea. Pese a poseer un interruptor de conmutación espontanea como es el diodo, el convertidor puede ser controlado.

**Ciclo de trabajo (D):** Ya que el ciclo de trabajo varía entre 0 y 1 la ganancia podría ser infinita. Sin embargo, al no ser todos los componentes ideales, cuando los ciclos de trabajo son próximos a la unidad la curva de ganancia y el rendimiento decrecen de manera notable. Conviene trabajar con caídas de trabajo (D) inferiores a 0,8.

Dependiendo del ciclo de trabajo la tensión y la intensidad varían en cada uno de los componentes [17].

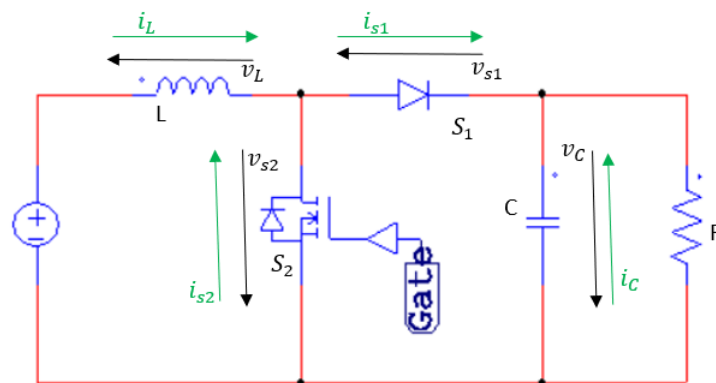


Ilustración 18: Circuito convertidor Boost

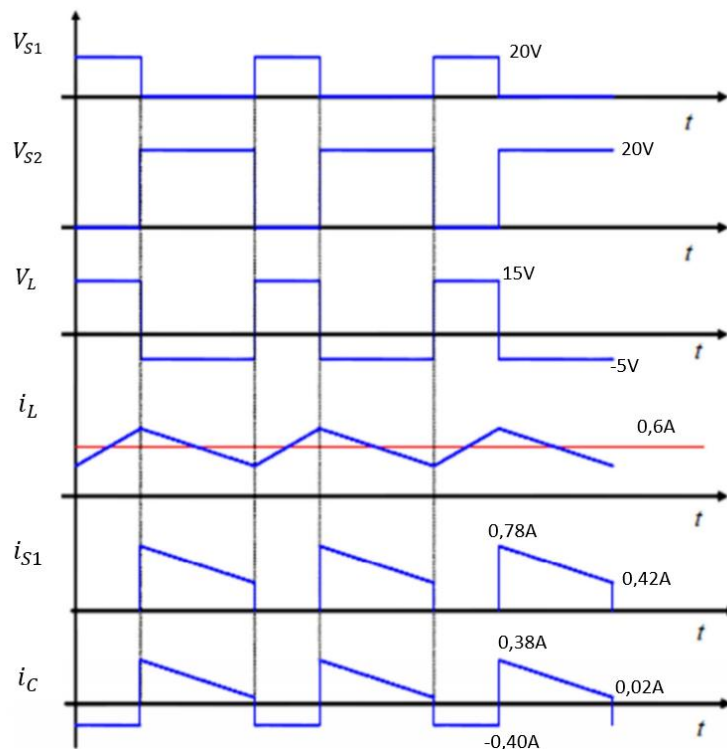


Gráfico 1: Tensiones e intensidades [17]

### 2.1.2.1. Elementos del convertidor Boost

#### **Diodo:**

- Como puede verse en la siguiente ilustración, este interruptor semiconductor tiene dos terminales, un cátodo y un ánodo. La tensión  $V_D$  y la corriente  $I_D$  se referencian como positivas de ánodo a cátodo.

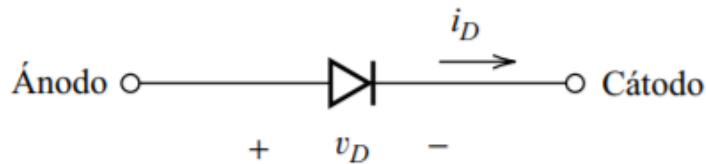


Ilustración 19: Diodo [23]

- En la siguiente curva se muestran las características de la tensión y la corriente. Por un lado, la denominada polarización directa sucede cuando la tensión  $V_D$  es positiva, de esta manera pasa un flujo de corriente grande incluso con pequeñas tensiones y así la corriente fluye con facilidad a través del diodo. Por otro lado, la polarización inversa se da cuando la  $V_D$  tiene valores moderadamente negativos y la  $I_D$  es muy pequeña. Como puede apreciarse en la siguiente gráfica, si se aplica una tensión de polarización inversa suficientemente grande al diodo, su modo de operación entra en la región de ruptura inversa, en esta zona de trabajo se permite un flujo de una elevada corriente. Es adecuado trabajar en esta región siempre y cuando la tensión de la potencia disipada en el diodo no aumente mucho su temperatura [23].

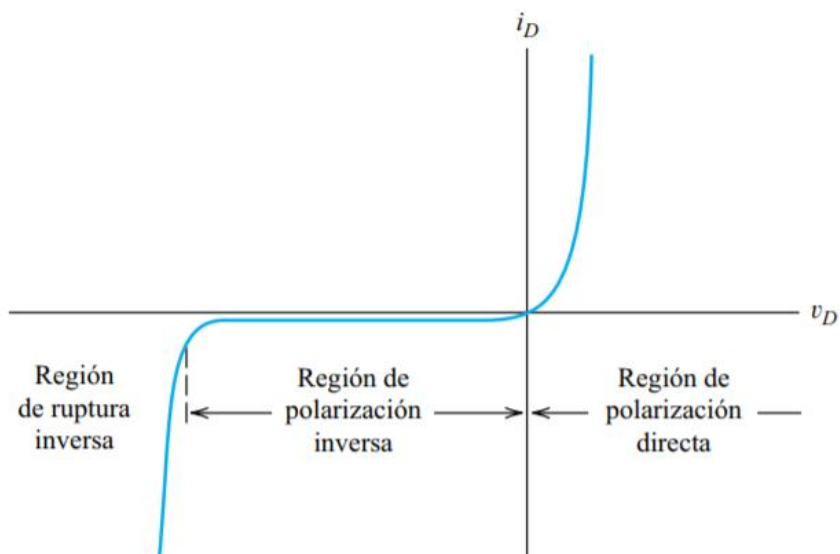
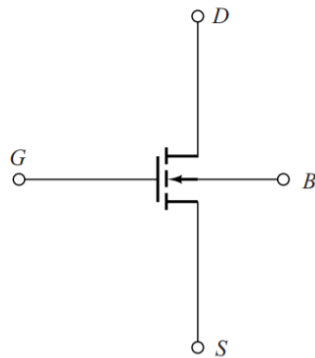


Gráfico 2: Características tensión-corriente del diodo [23]

Como podrá verse más adelante, en el apartado de cálculos mediante el PSIM de la metodología, el diodo tendrá que soportar una tensión máxima de 20V, sin embargo, para tener un margen de error será aconsejable disponer de un diodo capaz de soportar 30V. También se expondrá la gráfica de la intensidad, cuyo valor medio es de 0,42A y cuyo valor eficaz de 0,5019A.

## **MOSFET:**

Existen dos tipos de MOSFET, de tipo P y de tipo N. El MOSFET que se va a utilizar en esta práctica es de acumulación y de canal N. En la siguiente figura se puede ver este dispositivo, que tiene cuatro terminales: drenador (D), la puerta (G), la fuente (S) y el sustrato (B). Sin embargo, ya que por el sustrato pasa una corriente que puede considerarse despreciable, se supone que este terminal también está conectado a la fuente, siendo finalmente el MOSFET de tres terminales.



*Ilustración 20: MOSFET de acumulación y de canal n [23]*

Este transistor de efecto de campo se controla por tensión en el encendido y el apagado. Así mismo, fija la reversibilidad en corriente y tensión del semiconductor, además de establecer la tensión máxima que puede soportar en corte y la corriente máxima que puede soportar en conducción.

En la siguiente figura se puede ver como mediante una capa de dióxido de silicio se aísla la puerta del sustrato. Sí se le aplica una tensión positiva a la puerta (en relación con la fuente), los electrones se verán atraídos a la parte situada debajo de la puerta, induciéndose de esta manera un canal de material de tipo n entre la fuente y el drenador. Por lo tanto, si se suministra una tensión entre fuente y drenador, circulará una corriente que sale de la fuente e irá hacia el drenador [23].

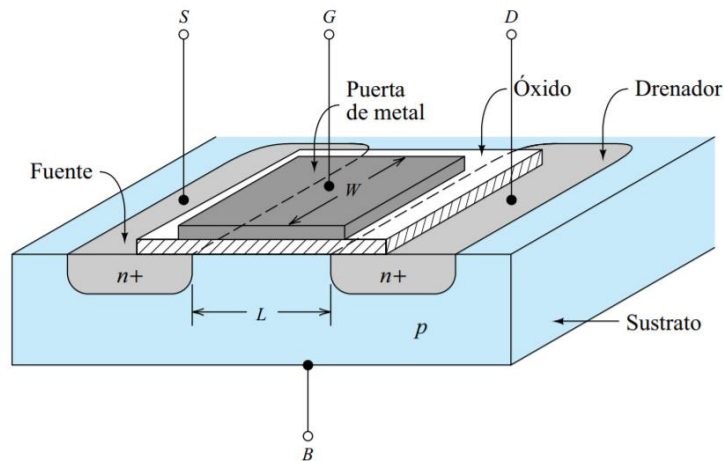


Ilustración 21: MOSFET de acumulación de canal n [23]

En el apartado de simulaciones mediante el PSIM, podrá verse mediante el gráfico de tensiones del MOSFET, que el valor máximo que toma es de 20V, para contar con un margen de error se escogerá un MOSFET capaz de soportar alrededor de 30V. De la misma manera, se podrá ver que el valor medio de la intensidad es de 0,201A y el valor eficaz de 0,3669A.

### **Inductancia:**

La inductancia, normalmente conocida por la letra L, es la propiedad de un circuito eléctrico para resistir el cambio de corriente. La bobina tiene capacidad de almacenar energía en presencia de un campo magnético. Se define de la siguiente manera:

$$L = \frac{\Phi N}{I}$$

Ilustración 22: Formula de inductancia

Siendo  $\Phi$  el flujo magnético, I la intensidad de corriente eléctrica y N el número de vueltas del devanado.

Ya que la inductancia depende de las características de conductor y de su longitud, al enrollarse un conductor la inductancia aumentará. De la misma manera, de esta fórmula se deduce que cuantas más espiras mayor inductancia habrá. Hay que tener en cuenta que añadiendo un núcleo de ferrita también se podría aumentar el valor de la inductancia [17].



## Condensador:

Este componente eléctrico se conoce por almacenar carga eléctrica en forma de diferencia de potencial, para liberarla tiempo después.

El condensador hace uso de dos placas conductoras en forma de láminas que están separadas por un material dieléctrico, aislante. Al conectarse el circuito a una fuente estas placas se cargarán, cada una con un signo distinto, y una vez cargadas, dejará de circular corriente por el circuito.

Cuando se quita la fuente y se conecta el condensador con una resistencia en paralelo, la carga empezará a circular de la placa cargada positivamente a la negativa, hasta conseguir que las dos se igualen, es decir, que sean nulas. Esto generará que la corriente circule en sentido contrario al que lo hacía cuando se estaba cargando el condensador [24].

### 2.1.3. UC3843

El UC3843 pertenece a una familia de control de circuitos integrados, es básicamente un controlador de modulación de ancho de pulso (PWM) en modo actual, que tiene una frecuencia fija. Sirve tanto para aplicaciones fuera de línea como para el convertidor DC a DC, y necesita componentes externos mínimos. Para poder activarlo hay que superar una tensión de entrada de 8.4V, después ya puede moverse a la tensión que se desee.

Los circuitos internos del UC3843 poseen varias características, entre ellas un oscilador recortado para el control del ciclo de trabajo requerido, un amplificador de alta ganancia, una salida de tótem de alta corriente para controlar el MOSFET de potencia, y algunas otras que se encargan de referenciar la temperatura compensada y en detectar la corriente [25 y 26].

Como se puede ver en la siguiente ilustración, el UC3843 consta de 8 pines:

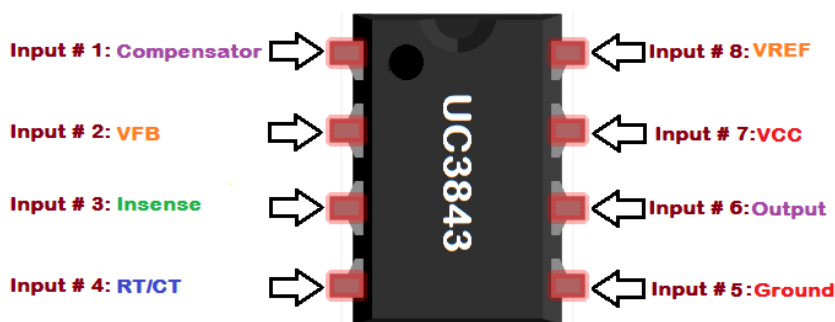


Ilustración 23: Pines del UC-3843 [25]



*Ilustración 24: Dispositivo UC-3843*

- Compensador: Pin de compensación la ampliación del error.
- $V_{FB}$ : Inversión de entrada de la amplificación del error interno.
- $I_{SENSE}$ : Pin de detección de corriente.
- RT/CT: Punto de ajuste del oscilador de frecuencia fija.
- Ground: Tierra (0 V).
- Output: Salida.
- $V_{CC}$ : Suministro de voltaje.
- $V_{REF}$ : Referencia de voltaje (5 V).

## 2.2. DESCRIPCIÓN DE MATERIAL E INSTRUMENTACIÓN

### 2.2.1.PSIM

El PSIM es un programa de simulación de circuitos electrónicos, que sirve como herramienta para simular circuitos eléctricos y electrónicos por ordenador, siendo un software diseñado expresamente para simular electrónica digital, de potencia y controladores de motores [27].

En este proyecto se va a hacer uso de este programa para verificar el diseño del receptor y que su funcionamiento es el deseado. Para ello, una vez creado el diseño se harán distintas simulaciones, mediante este software.

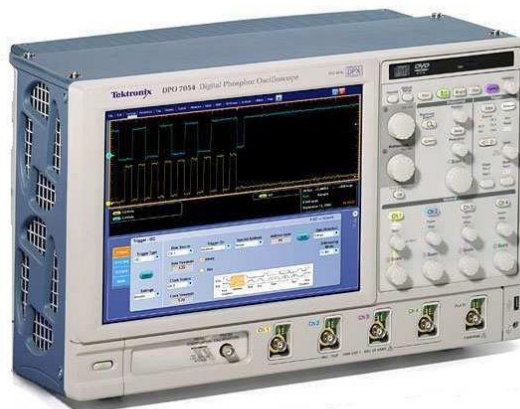
La licencia de este programa la proporciona el laboratorio APERT.

### 2.2.2.Osciloscopio

El osciloscopio es una máquina que se utiliza en electrónica para medir tensiones o intensidades, y las representa mediante gráficos. En el eje vertical se representa la amplitud y en el horizontal el tiempo.

A la hora de conseguir los resultados del receptor, se utilizará esta máquina, con la que se realizarán las pruebas que se deseen, para después comparar estos resultados con los conseguidos teóricamente mediante el PSIM.

Esta máquina puede encontrarse en el laboratorio APERT. El modelo que se ha utilizado es TEKTRONIX DPO 7054.



*Ilustración 25: Osciloscopio [28]*

### 2.2.3. Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación es capaz de convertir la corriente alterna que se obtiene de la red en corriente continua, y regula la tensión de salida a los valores deseados. Por lo tanto, mediante esta máquina se le podrá suministrar una tensión de entrada al circuito.

La fuente de alimentación necesaria se encontrará en el laboratorio APERT. El modelo utilizado es SIGLENT SPD3303X-E.



Ilustración 26: Fuente de alimentación [29]

### 2.2.4. Polímetro

El polímetro sirve para medir las tensiones alternas, continuas, resistencias, corrientes y demás. Haciendo uso de este se podrá verificar que el circuito funciona debidamente, y que todos los elementos están conectados como corresponde.

Este dispositivo podrá utilizarse en el laboratorio APERT. El modelo utilizado es FLUKE 115.



Ilustración 27: Polímetro [30]

## 2.2.5. Caracterizador de impedancias

Sirve para medir los valores de las inductancias, aparte de tener otras muchas funciones. Utilizando esta máquina se podrá calcular el valor de la inductancia para una única espira, y de esta manera posteriormente sacar la cantidad de espiras deseada. También se utilizará para calcular la distancia máxima a la que se puede transferir energía de la bobina del transmisor y a la del receptor.

Esta máquina se encuentra en el ya citado anteriormente laboratorio de investigación APERT. El modelo utilizado es WAYNE KERR 6440B.



Ilustración 28: Caracterizador de impedancias [31]

## 2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Estas son las tareas que hay que hacer a lo largo del proyecto:

1. Estudio del estado del arte
2. Diseño analítico
3. Simulación
4. Fabricación del prototipo
5. Verificación y recopilación de resultados
6. Gestión del proyecto
7. Preparación
8. Documentación
9. Presentación del proyecto

### 2.3.1. Estudio del estado del arte

La primera tarea que hay que realizar para llevar a cabo este proyecto, es la de ubicarse en el tema. Para ello, antes de empezar habrá que recopilar información, mediante artículos, libros, páginas de internet o información que proporcione el director del proyecto. Una vez recopilada dicha información, habrá que profundizar en ella, estudiarla y entenderla, para después poder aplicar esos conocimientos al proyecto.

### 2.3.2. Diseño analítico

Esta tarea consiste en hacer un diseño que cumpla las características requeridas. Para poder llevar la tarea a cabo, hay que buscar información sobre el tema con la que se consigan solventar todas las dudas que puedan surgir. Una vez resueltas las posibles dudas sobre cómo hacer de forma adecuada el diseño, se procederá a la creación del mismo.

En este apartado se diseñará el receptor, que consta de un convertidor DC a DC Boost, un circuito integrado UC3843 y las debidas mejoras que se necesiten para su correcto funcionamiento.

### 2.3.3. Simulación

Una vez hecho el prototipo del diseño, el siguiente paso será simularlo, para comprobar si se cumplen las especificaciones. Para este trabajo se utilizará el software de simulación PSIM.

Para poder trabajar con este programa primero hay que conocerlo, por lo tanto, se le tendrá que dedicar un tiempo a entender y controlar dicho programa. Una vez conseguido su manejo óptimo, habrá que realizar la búsqueda de los modelos de simulación que se necesiten y no se encuentren en la base de datos del programa, como en este caso el UC3843. Una vez conseguido este elemento, se pasará a elaborar el diseño del circuito mediante el PSIM, realizando las debidas conexiones entre los elementos que forman el circuito.

Antes de realizar las simulaciones habrá que asignarle el valor adecuado a cada elemento, y en el caso del divisor de tensión habrá que probar diferentes valores hasta conseguir la tensión que se quiere a la salida.

Por último, una vez asignados todos los valores, habrá que hacer las simulaciones necesarias para después comparar los resultados con los obtenidos en la práctica.

### 2.3.4. Fabricación del prototipo

Una vez obtenidos los resultados deseados en las simulaciones, se pasará a la elaboración del prototipo. Para su construcción se utilizará una placa base, en la que se soldarán los distintos elementos con sus respectivas conexiones.

Para empezar, lo primero que se montará será el convertidor Boost. Para ello tendrá que haber sido construida la bobina con el número de espiras necesario. Una vez comprobado que se ha montado debidamente, se soldará la parte restante del circuito, donde se encontrará el UC3843.

Se compararán los resultados obtenidos del prototipo con los teóricos, el objetivo será que sean lo más similares posibles. Sin embargo, debido a diversos factores los resultados no van a ser del todo exactos, ya que por ejemplo puede aparecer ruido u otro tipo de interferencias, y para solventarlo se aconseja añadir o cambiar el valor de algún elemento.

### 2.3.5. Verificación y recopilación de resultados

Después de montar el prototipo habrá que hacer una serie de comprobaciones, para verificar el correcto funcionamiento del receptor. Por un lado, se utilizará una fuente de alimentación, con la que se le insertará una tensión de entrada determinada al circuito. Por otro lado, se hará uso del osciloscopio, con el que se podrán ver las curvas de la corriente y de la tensión, y compararlas con las obtenidas previamente en el PSIM. De la misma manera, también se usará un polímetro con el que verificar si las soldaduras se han hecho debidamente y si las tensiones en determinados puntos son las correspondientes.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del prototipo, se pasará a la recopilación de resultados. Esta tarea consistirá en recopilar los gráficos necesarios mediante el osciloscopio, por ejemplo, curvas de tensión y de intensidad.

### 2.3.6. Gestión del proyecto

A medida que se está elaborando el proyecto habrá que controlar el tiempo en el que se ejecuta cada fase, para no superar el límite establecido. Si es superado el tiempo previsto habrá que modificar otras tareas para recuperarlo de otro lado.

### 2.3.7. Preparación

En la fase de preparación, habrá que ponerse de acuerdo con el director del proyecto, y establecer lo que tiene que hacer cada uno y cuánto tiempo se necesita para ello. De esta manera será más fácil prever el tiempo que requerirán los distintos apartados del proyecto, y así hacer una planificación más acertada. Esta planificación será representada mediante un diagrama de GANTT con el fin de que sea más visual.

### 2.3.8. Documentación

A medida que avanza el proyecto habrá que ir documentándolo. Primero habrá que hacer las partes teóricas del documento, como puede ser la memoria. Después, una vez realizadas las pruebas con el prototipo y el PSIM habrá que escribir todas las partes de resultados y conclusiones.



Finalmente, una vez escrito todo el documento, habrá que repasarlo y verificar que todo esté correctamente, bien referenciado y con los apartados requeridos.

### 2.3.9. Presentación del proyecto

Una vez realizado todo el proyecto, el último paso será hacer la presentación del mismo. Para su realización habrá que ayudarse por algún programa de presentaciones como es el PowerPoint. Hay que tener cuidado al realizar esta presentación, ya que hay que cumplir con un tiempo establecido de 12 minutos y es muy importante no superarlo. Además, en las diapositivas no podrá aparecer demasiado texto, tiene que ser todo mucho más visual, con intención de ayudar lo máximo posible al tribunal de evaluación a comprender todo lo que se va a exponer. Se aconseja utilizar imágenes, esquemas, ejemplos, etc.

## 2.4. FASES

En este apartado, se van a presentar las fases que han sido necesarias para la realización del proyecto. Para empezar, se presenta el grupo de trabajo que ha formado parte en este proyecto. Después, se presentarán las fases, y en cada una de ellas las tareas que se han realizado y cuánto tiempo han requerido. Finalmente, se expondrán mediante un diagrama de GANTT, con el fin de que sea más visual.

Este ha sido el grupo de trabajo que ha tomado parte en el proyecto:

*Tabla 4: Grupo de trabajo del proyecto*

Código	Nombre y Apellidos	Responsabilidad	Rol
K1	Iñigo Martínez de Alegría	Ingeniero Senior	Supervisar y corregir el proyecto
K2	Garazi Fernández	Ingeniero Junior	Desarrollo del proyecto

A continuación, se presentan las fases con sus respectivas tareas:

*Tabla 5: Fase de gestión del proyecto*

1.Fase – Gestión del proyecto				
Nº Tarea	Nombre de tarea	Fecha de inicio	Fecha de final	Duración
6	<b>Gestión del proyecto</b>	15/11/2018	15/07/2019	240 días

*Tabla 6: Fase de inicio del proyecto*

2.Fase – Inicio del proyecto				
Nº Tarea	Nombre de tarea	Fecha de inicio	Fecha de final	Duración
1	<b>Estudio del estado del arte</b>	15/11/2018	15/02/2019	90 días
7	<b>Preparación</b>	15/11/2018	19/11/2018	5 días

Tabla 7: Fase de desarrollo del proyecto

<b>3.Fase – Desarrollo del proyecto</b>				
Nº Tarea	Nombre de tarea	Fecha de inicio	Fecha de final	Duración
2	<b>Diseño analítico</b>	15/02/2019	15/03/2019	30 días
3	<b>Simulación</b>	15/03/2019	15/04/2019	30 días
4	<b>Fabricación del prototipo</b>	15/04/2019	30/05/2019	45 días
5	<b>Verificación y recopilación de resultados</b>	30/05/2019	28/06/2019	28 días

Tabla 8: Fase de presentación del proyecto

<b>4.Fase – Presentación del proyecto</b>				
Nº Tarea	Nombre de tarea	Fecha de inicio	Fecha de final	Duración
8	<b>Documentación</b>	15/11/2018	15/07/2019	240 días
9	<b>Presentación del proyecto</b>	15/07/2019	22/07/2019	8 días

## 2.5. DIAGRAMA DE GANTT

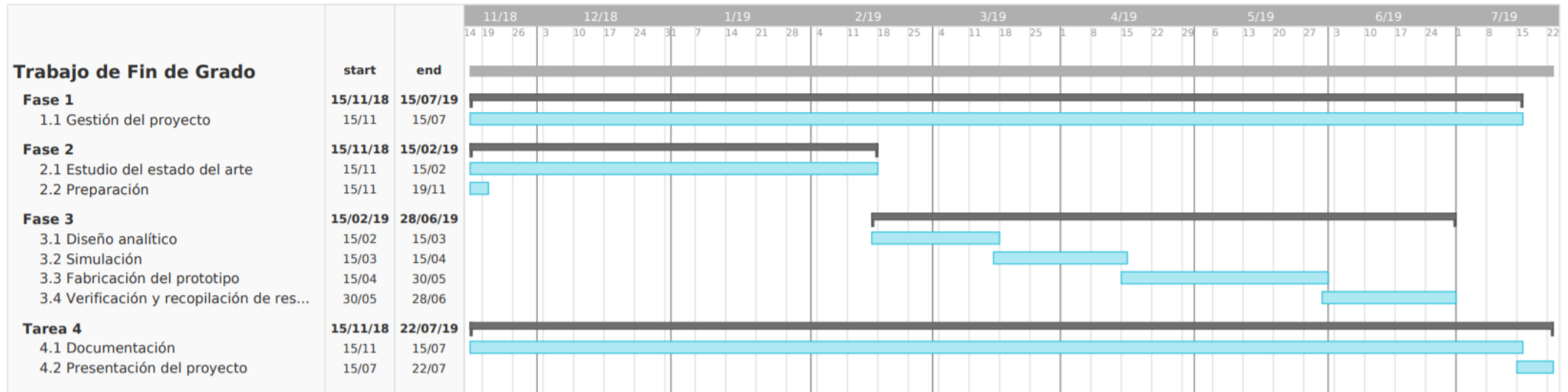


Ilustración 29: Diagrama de GANTT

## 2.6. COMPONENTES

El proyecto va a consistir en crear un receptor que sea capaz de recibir la energía que le proporcionará un transmisor.

Este receptor va a estar formado por un convertidor DC a DC Boost, con el que se conseguirá una tensión de salida mayor que la de entrada, las especificaciones de este convertidor han sido explicadas detalladamente en apartados anteriores. Este convertidor irá unido a un UC3843 que pertenece a una familia de control de circuitos integrados, cuyas características también se han explicado previamente.

### Cálculo de la bobina:

En primer lugar, se calculará el número de espiras que tiene que tener la bobina que tendrá lugar en el Boost. Para ello, haciendo uso del caracterizador de impedancias, se consigue el valor de la inductancia para una única espira:  $L = 9.42\mu H$ . Siendo el valor de la inductancia que se quiere conseguir de  $L = 100\mu H$  (para obtener un rizado pequeño) y  $A_L$  un valor que depende de las dimensiones de la bobina, material y el entre hierro, se calculan las espiras necesarias:

$$L_1 = A_L \times N^2 ; 9.42\mu H = 1 \times A_L ; A_L = \frac{9.42\mu H}{1}$$

$$L_N = A_L \times N^2 ; 100\mu H = \frac{9.42\mu H}{1} \times N^2 ; N = 3.25 \approx 4 \text{ espiras}$$

### Medida de tensión de salida:

Cuando el sistema de control recibe tensiones mayores a 2.5V el ciclo de trabajo disminuye, y cuando son menores a 2.5V el ciclo de trabajo aumenta. Ya que se quiere conseguir este mismo funcionamiento, pero para otra tensión de salida, 20V en este caso, se colocará un divisor de tensión, el cual constará de dos resistencias en serie, las cuales se elegirán cuidadosamente para conseguir 20V en la salida y 2.5V en  $R_4$ .

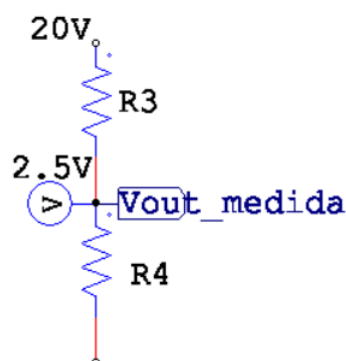


Ilustración 30: Divisor de tensión

Como se acaba de mencionar, una de las características del UC3843 es que consta de un comparador, el cual tiene una tensión de referencia de 2.5V. Por lo tanto, si se mete una tensión en el pin 2,  $V_{FB}$ , superior a 2.5V desaparecerán los pulsos. Por esa razón, habrá que conseguir 2.5V entre las dos resistencias del divisor de tensión. El valor de las dos resistencias tiene que ser bastante grande (entre 10k y 100k), ya que van a estar en paralelo con la salida, y de esta manera perderán menos potencia, y aumentarán la eficiencia.

Siendo  $P = \frac{V^2}{R}$ , y como la caída de tensión en la salida y en el divisor de tensión va a ser la misma por estar en paralelo,  $V_{OUT}$  sería la suma de las tensiones de las dos resistencias, es decir,  $V_{OUT} = V_{R3} + V_{R4}$ . Por lo tanto, teniendo en cuenta estas dos ecuaciones, cuanto mayor sean las resistencias se consumirá menos potencia.

Se ha decidido que una de las resistencias,  $R_3$ , sea de 68k $\Omega$  ya que se considera que es un valor adecuado para el funcionamiento. Por lo tanto, se modificará el valor de  $R_4$  hasta conseguir la tensión deseada en la salida, en este caso 20V, y 2.5V entre las dos resistencias.

$$V_{R3} = V_{OUT} - V_{R4} = 20V - 2.5V = 17.5V$$

$$V_{R3} = \frac{V_{OUT} \times R_3}{R_3 + R_4} \quad 17.5V = \frac{20V \times 68k}{(68k + R_4)}$$

$$R_4 = 9.714k\Omega$$

Sin embargo, ya que la resistencia más próxima a esa es la de 10k se utilizará esta en su lugar.

### **Lazo de regulación:**

Para ajustar la tensión de salida, se le ha añadido un lazo de regulación PI. En la siguiente figura se puede ver la configuración del amplificador de error (E/A). La entrada no inversora no se lleva a un pin, sino que esta polarizada internamente a 2.5V. La salida E/A está disponible en el pin 1 para la compensación externa, lo que permite al usuario controlar la respuesta de frecuencia en bucle cerrado del convertidor [32].

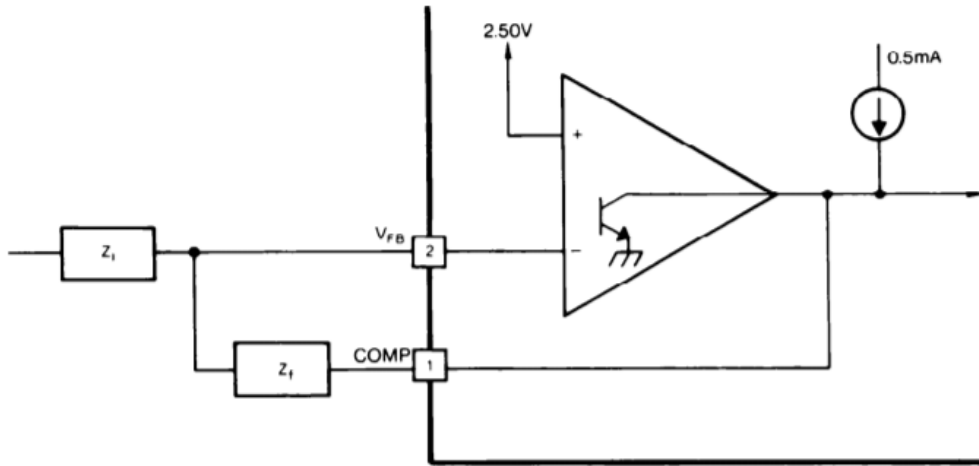


Ilustración 31: Configuración E/A [32]

En este caso se utilizará este circuito de compensación E/A que es capaz de estabilizar cualquier topología controlada en modo corriente. Los valores de estas resistencias y condensador se han obtenido a base de prueba y error.

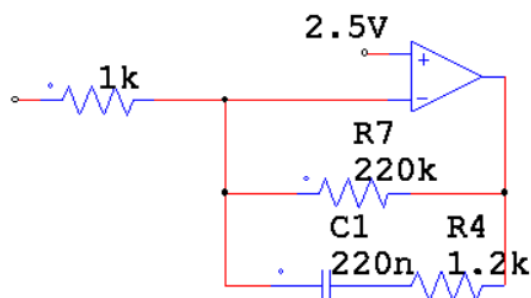


Ilustración 32: Controlador PI

### **Medida de corriente en el MOSFET:**

Por otro lado, para medir la intensidad de MOSFET, se pondrá una resistencia en serie junto a él, ya que una resistencia pequeña en serie no afecta al circuito, y la caída de tensión que habrá en esa resistencia será proporcional a la corriente que circula:

$$I_{MOSFET} = \frac{V_{R_{12}}}{R_{12}} . \text{ Gracias a la baja resistencia, las pérdidas serán también pequeñas:}$$

$P = I_{MOSFET}^2 \times R_{12}$ . Por lo tanto, la resistencia  $R_{12}$  trabajará como medidor de intensidad y tendrá un valor de  $R_{12} = 0,1\Omega$ .

Paralelo a la entrada se conectará un condensador  $C_3$ , que ayudará a reducir el ruido a lo largo del circuito, trabajará como amortiguador de voltaje. Con el mismo objetivo, en el pin de  $I_{sense}$  se conectarán un condensador  $C_6$  y una resistencia  $R_{11}$ , que actuarán como filtro.

En el siguiente esquema se puede ver como midiendo la tensión en  $R_{sense}$ , que en este proyecto sería  $R_{12}$ , aparecerían picos de ruido en el inicio de cada pulso, para solventar el problema, se puede medir esta misma tensión en  $C_6$ , consiguiendo de esta manera la misma gráfica, pero sin ese ruido al inicio de cada pulso.

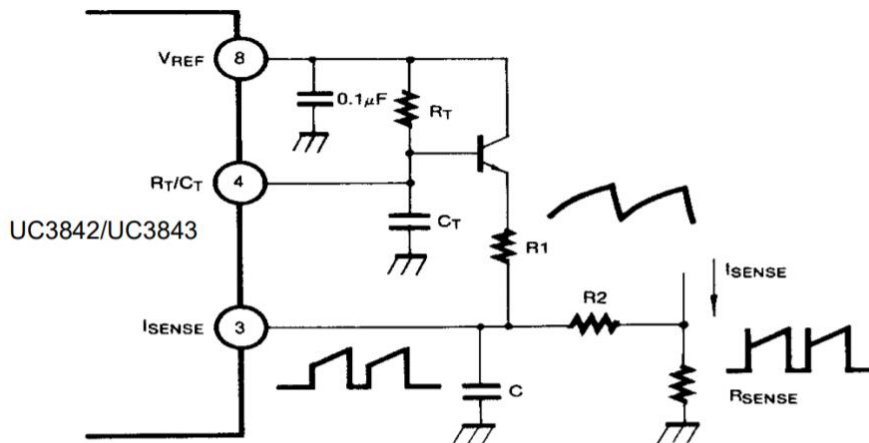


Ilustración 33: Compensador de pendiente [33]

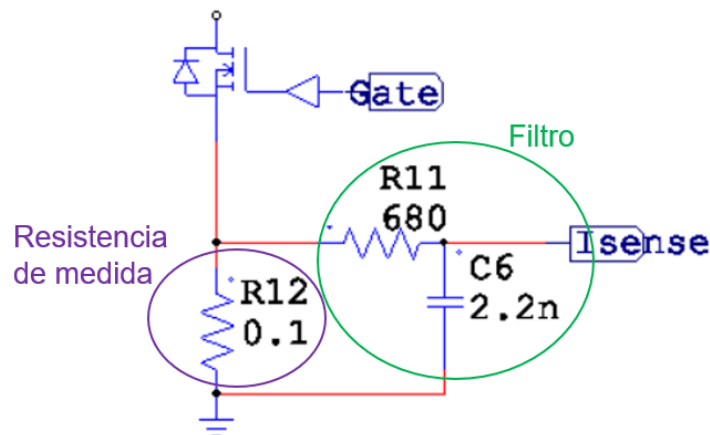


Ilustración 34: Elementos conectados a Isense

**Fijación de frecuencia de funcionamiento:**

Como se puede ver en la ilustración 33, en RT/CT también se conectarán una resistencia y un condensador, que funcionarán como un reloj, así se sincronizará el



UC3843. El condensador  $C_5$  se cargará entre dos umbrales, precisamente entre los límites superior e inferior del comparador. Mientras el condensador  $C_5$  empieza su ciclo de carga, la salida del PWM se inicia y se enciende. El condensador continúa cargándose, creando un gráfico con una subida sinusoidal, hasta alcanzar el umbral superior del comparador interno, normalmente con valor de 2.8V. Llegados a este punto, se activa el circuito de descarga, y de esta manera comenzará a descargarse el condensador hasta llegar al valor del umbral inferior, normalmente 1.2V. En lo que dura el proceso de descarga, la salida PWM se ha encontrado deshabilitada, asegurando de esta forma un apagado para la salida [32].

Por lo citado anteriormente, cuando se simule la tensión de  $V_{RT/CT}$  tendrán que verse pulsos triangulares (con forma de diente de sierra), debido a la carga y descarga del condensador.

Al disminuir la resistencia  $R_6$ , la frecuencia del pin RT/CT aumenta. Por el contrario, al aumentar el valor del condensador  $C_5$ , la frecuencia del pin disminuye. Por lo tanto, se han hecho una serie de pruebas variando el valor de la resistencia entre 5K y 10K, y el valor del condensador entre 1nF y 2nF, con intención de conseguir la frecuencia deseada de valor entre 90kHz y 110kHz, así se lograría un punto medio entre el valor de la frecuencia y las pérdidas generadas. Así se han obtenido los siguientes valores de  $R_6 = 10K$  y  $C_5 = 1.5n$ .

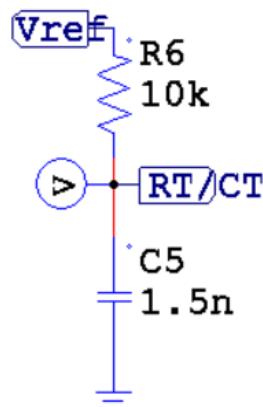


Ilustración 35: Elementos conectados a RT/CT

## 2.7. CARACTERIZACIÓN DE INDUCTANCIAS

El primer cálculo que se ha llevado a cabo, ha sido el del acoplamiento de las bobinas que irán instaladas en el transmisor y el receptor. Se quiere comprobar la distancia máxima a la que pueden separarse dichas bobinas y que se siga verificando la transmisión de energía. Para ello, se han hecho varias pruebas haciendo uso del caracterizador de impedancias, poniendo entre las dos bobinas trozos de folio DIN A4, cuyo espesor es de 0,125mm, y verificando que se siga transmitiendo la energía, mediante inducción electromagnética.

A continuación, se exponen dos gráficos en los que puede apreciarse la variación del valor de la inductancia y la resistencia frente a un aumento de frecuencia, que han sido obtenidos mediante las citadas pruebas.

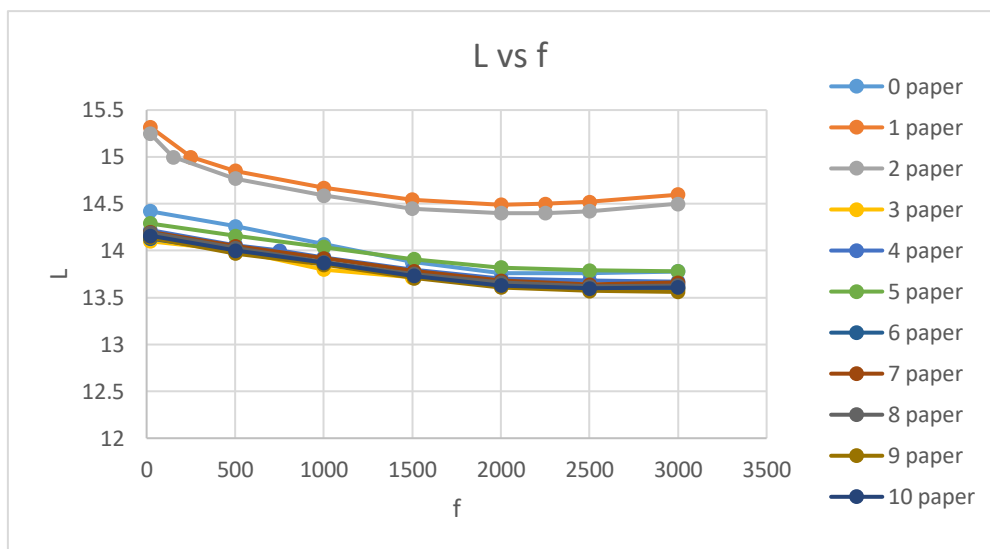


Gráfico 3: L vs f

Este primer gráfico representa los valores de la inductancia frente a la frecuencia. En el eje vertical se encuentran los valores de la inductancia entre 12 $\mu$ H y 15,5 $\mu$ H, y en el eje horizontal los valores de la frecuencia entre 0 y 3500kHz. Como puede verse, cuanto más cerca están las bobinas los valores de la inductancia son mayores, y a medida que se van alejando estos valores son más pequeños y cada vez varían menos. Cuando se llegue al punto de que al aumentar la distancia los valores no cambian respecto a la prueba anterior, se considerará que no hay transmisión de energía.

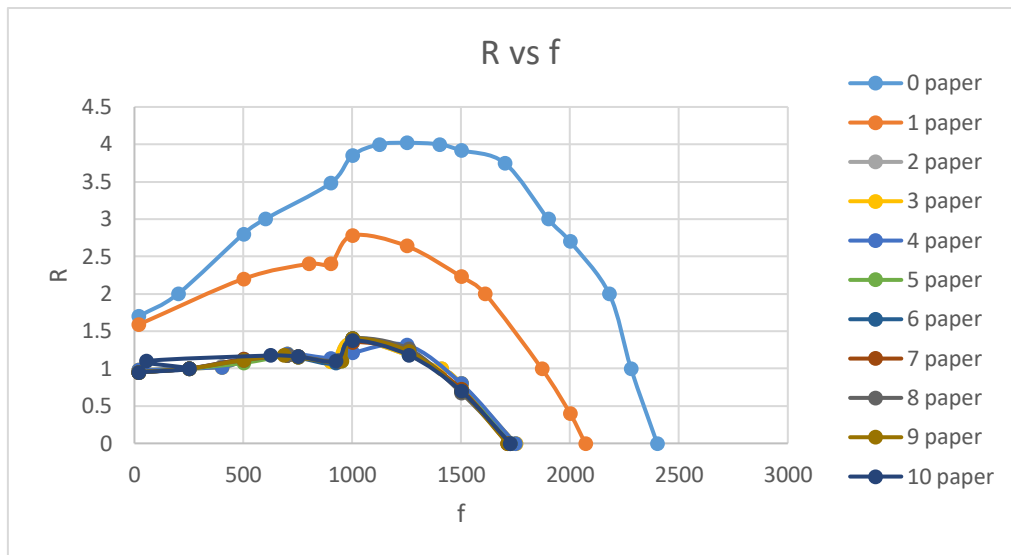


Gráfico 4:  $R$  vs  $f$

En este segundo gráfico, se observa la curva de la resistencia frente a la frecuencia. El eje vertical pertenece a los valores posibles de la resistencia, que se dan entre  $0\Omega$  y  $4,5\Omega$ . El eje horizontal está compuesto por valores de la frecuencia entre  $0\text{kHz}$  y  $3000\text{kHz}$ . De la misma manera que en el gráfico anterior, se ve que cuanto más cerca están las bobinas hay una mayor resistencia, y al alejarse va disminuyendo, hasta llegar a un punto en el que no disminuye más y se repiten los mismos valores que en la prueba anterior.

Como se puede apreciar en estas dos gráficas, hasta la distancia del grosor de dos papeles, que equivaldría a  $0,25\text{mm}$ , la transmisión de energía se ejecuta de manera eficiente. Sin embargo, una vez superada dicha distancia los valores obtenidos en las siguientes pruebas son muy similares, por lo tanto, no se podría verificar una correcta transmisión de energía.

## 2.8. CÁLCULOS MEDIANTE EL PSIM

Una vez se hallan obtenido todos los valores de los elementos para completar el circuito, como se ha explicado en el apartado de los componentes, se harán distintas simulaciones utilizando el programa PSIM. A continuación, se presenta el circuito del receptor.

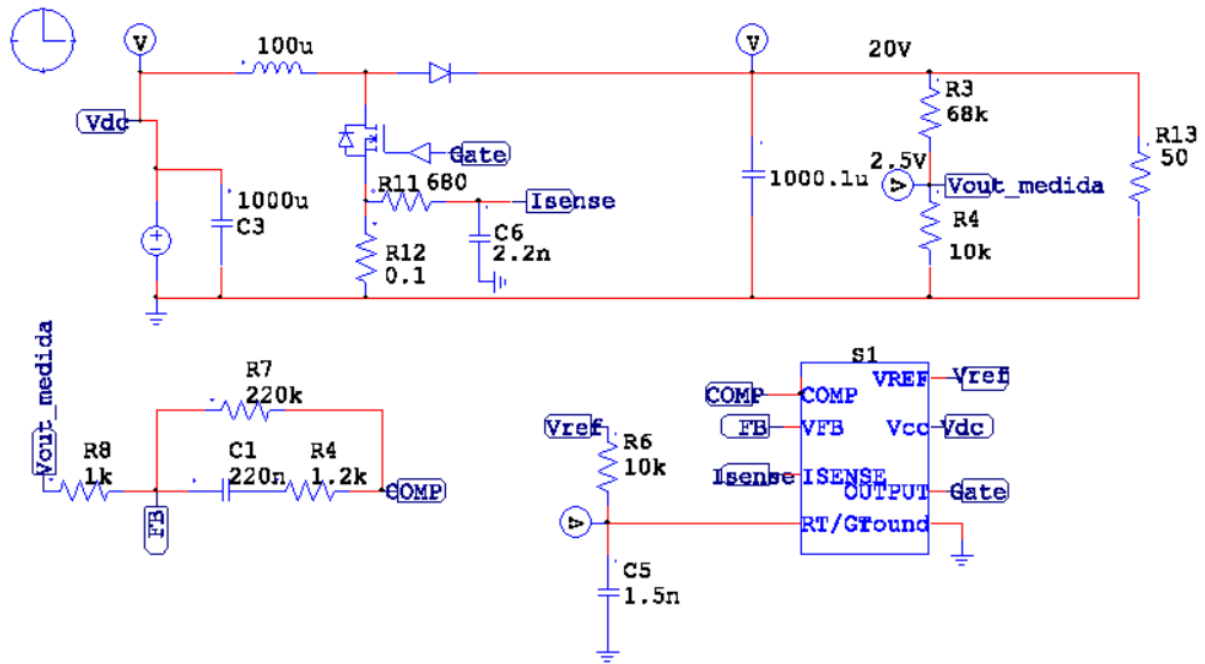


Ilustración 36: Circuito eléctrico del receptor

En primer lugar, se harán ciertas comprobaciones sin la bobina, como que suministrando una tensión de entrada de 15V en el pin 7,  $V_{DC}$ , haya 15V y en el pin 8,  $V_{ref}$ , 5V. Ya que estas son unas de las características que cumple el circuito integrado UC3843.

Viendo los resultados de la siguiente grafica se puede verificar que dichas características se cumplen perfectamente.

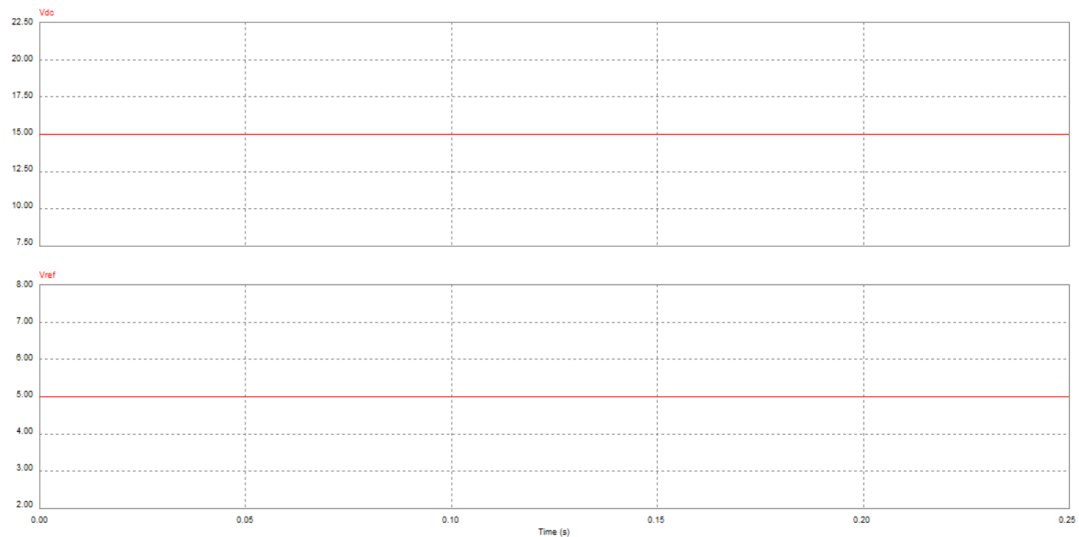


Gráfico 5: Vdc y Vref

A continuación, se va a comprobar que la salida del pin RT/CT dé pulsos triangulares, ya que como se ha explicado previamente mientras el condensador está cargando la gráfica tiene que subir sinusoidalmente, y una vez se haya cargado del todo comenzará a descargarse, creando una bajada repentina. Por lo tanto, la representación gráfica obtenida es muy similar a la de un triángulo.

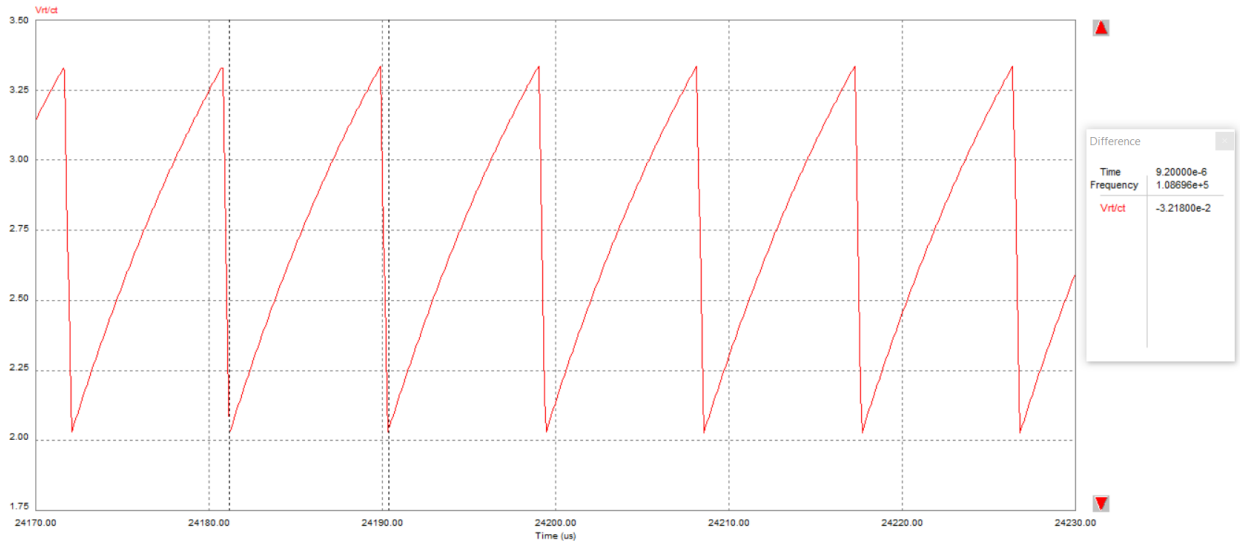


Gráfico 6: Vrt/ct

Viendo esta gráfica se verifica la correcta elección de los valores del condensador  $C_5$  y de la resistencia  $R_6$ , ya que la frecuencia que se deseaba obtener estaba entre 90kHz y 110kHz, y en esta grafica se comprueba que esta alrededor de unos 100kHz. Por lo tanto, cuando se hagan las pruebas con el prototipo habrá que comprobar que también se cumple.

Como se ha concretado en el apartado de componentes, el UC3843 tiene integrado un comparador con el que, si la tensión que recibe el pin 2 (FB), es mayor de 2.5V, en el pin 6 (Output) no hay señal, y si es menor o igual a 2.5V tendrá que representarse una serie de pulsos.

En primer lugar, se hace la prueba para una tensión menor de 2.5V. En la siguiente grafica se ha representado la  $V_{Output}$  junto con  $V_{RT/CT}$ , ya que cuando comienzan los picos se enciende y al llegar al punto máximo se apaga. Es importante mencionar que se hace un RESET automático por razones de seguridad.

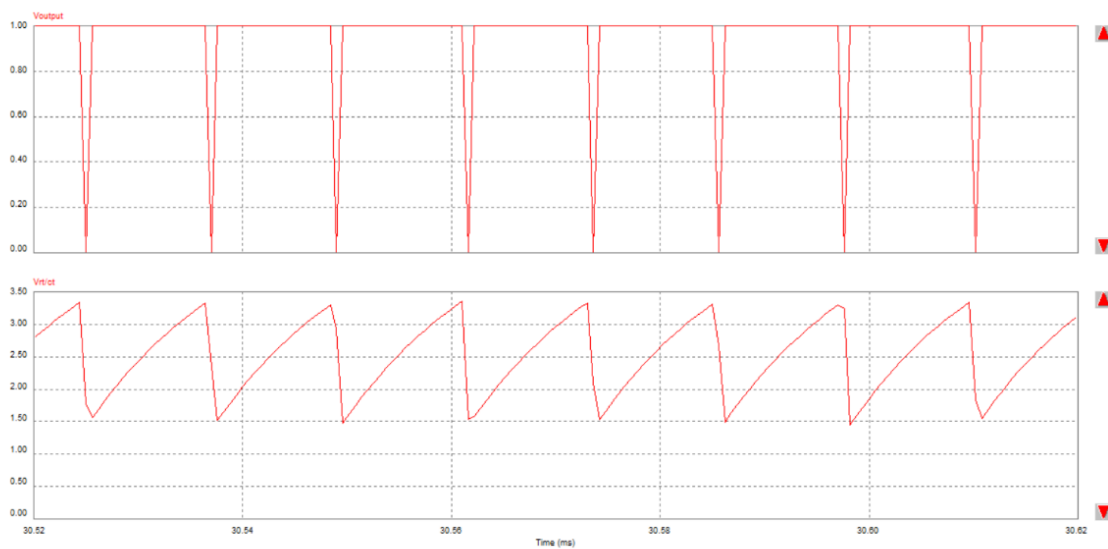


Gráfico 7:  $V_{output}$  y  $V_{rt/ct}$

Al realizarse esta misma prueba con un valor más elevado que 2.5V, puede verse en la siguiente grafica que desaparece la señal. Una forma de solucionar esta circunstancia sería disminuir el valor del ciclo de trabajo, sin embargo, al no haber realimentación, solo se podrán dar las situaciones de encendido o apagado.

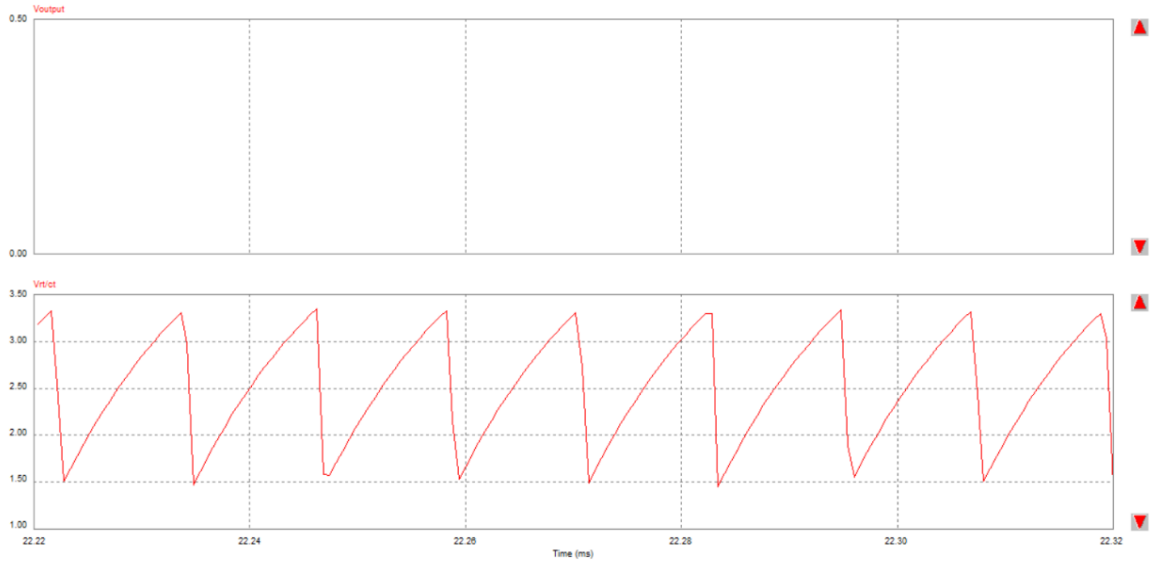


Gráfico 8:  $V_{out}$  sin señal

Para comprobar que los valores obtenidos para el controlador PI mediante varias pruebas son correctos, a continuación, se presentan las gráficas de  $V_{Pout}$  y  $V_{out}$ . Se espera obtener 20V en la primera y 2.5V en la segunda.

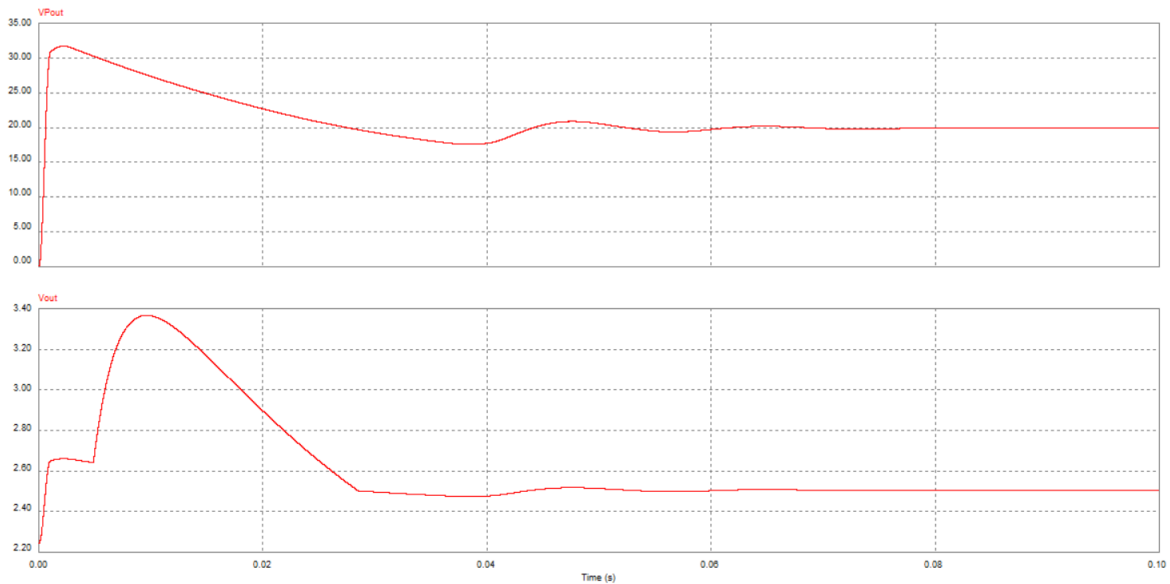


Gráfico 9:  $V_{pout}$  y  $V_{out}$

Como puede observarse, después del tiempo necesario para estabilizarse se alcanzan los valores deseados, de 20V y 2.5V sin problemas. Por lo tanto, los valores elegidos para el lazo de control son correctos.

Sin la bobina puesta en el circuito, la tensión en  $R_{12}$  tiene que ser prácticamente nula ya que no circulará corriente por ella. A continuación, se puede ver una gráfica de pulsos con valores tan pequeños que son prácticamente despreciables.

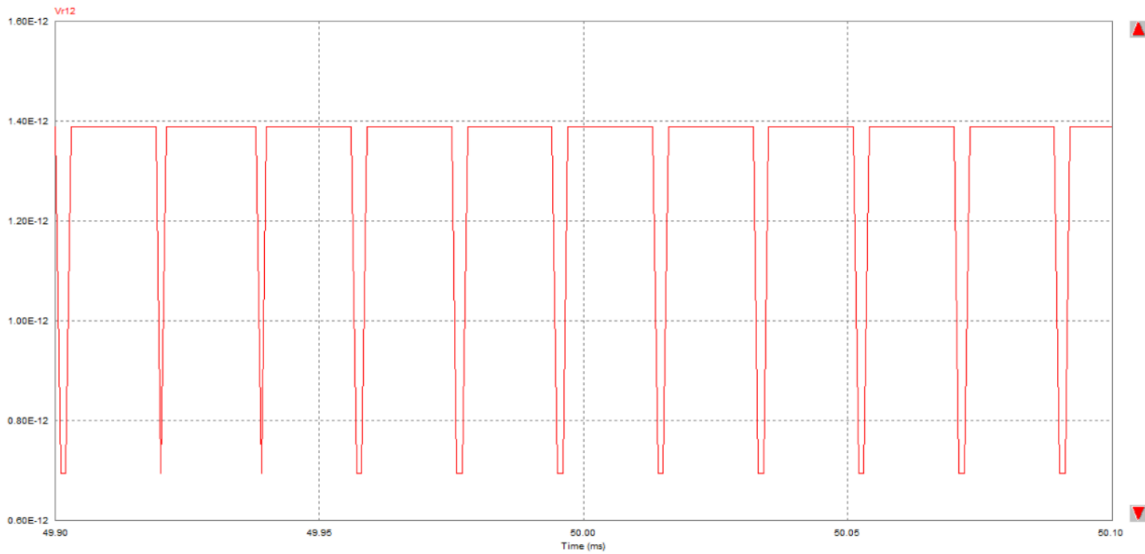


Gráfico 10: Vr12 sin inductancia

Una vez puesta la bobina en el circuito, circulará corriente por  $R_{12}$ . Debido a que es una resistencia, la tensión y la intensidad son proporcionales, por lo tanto, sus graficas tendrán una forma casi igual. En consecuencia, esta prueba también sirve para ver la forma de la intensidad. Sí solo trabajase la inductancia los pulsos serían más amplios, sin embargo, ya que el MOSFET solo trabaja un tiempo determinado, solo se puede ver el tiempo que este está trabajando.

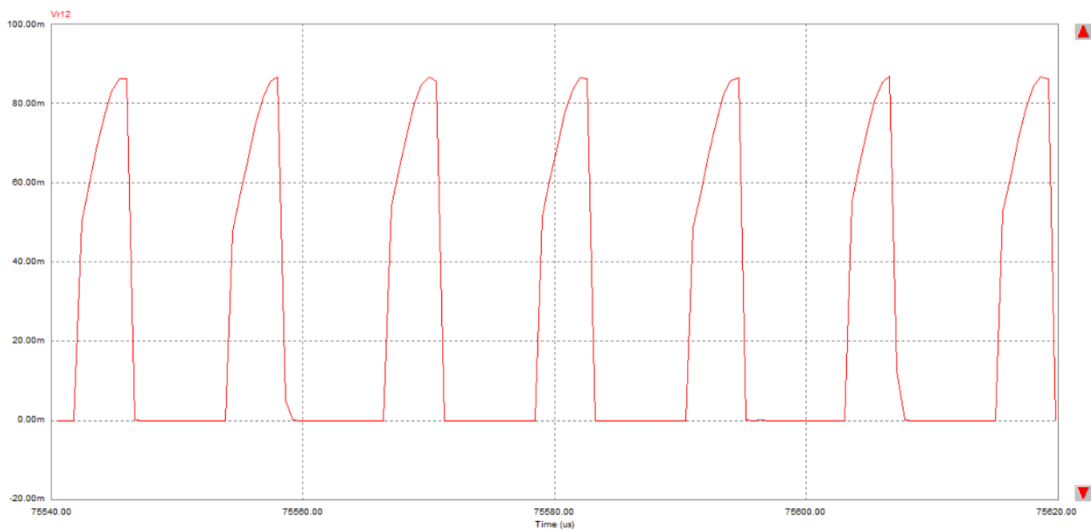
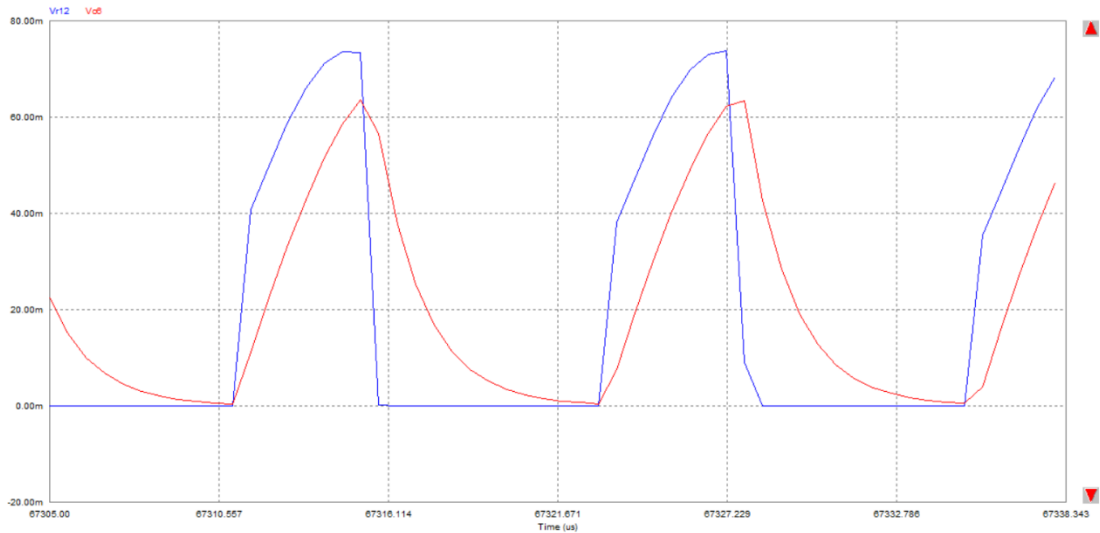


Gráfico 11: Vr12 con inductancia



Aunque utilizando el PSIM no se aprecia el ruido que debería aparecer en la gráfica de  $V_{r12}$ , si se mirase la tensión en el condensador  $C_6$  la forma de la gráfica sería la misma y además desaparecería el ruido. Por ello, se representa a continuación una gráfica con los dos resultados, la tensión de  $R_{12}$  y de  $C_6$ , en la que se pueden apreciar las similitudes.



En los siguientes gráficos se presenta la tensión del pin 6,  $V_{Output}$ . Cuando la inductancia no se encuentra en el circuito, se puede apreciar que los pulsos son bastante amplios, es decir el ciclo de trabajo es grande. Sin embargo, al conectar la inductancia, el ciclo de trabajo disminuye, por esa razón se muestran pulsos de menor amplitud y con mayor separación.

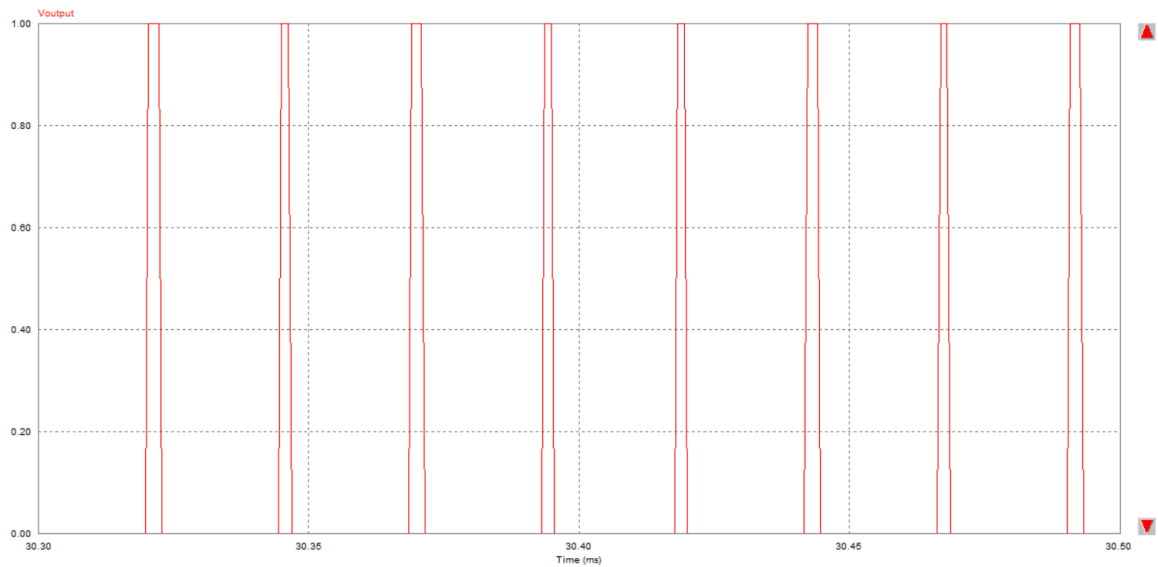
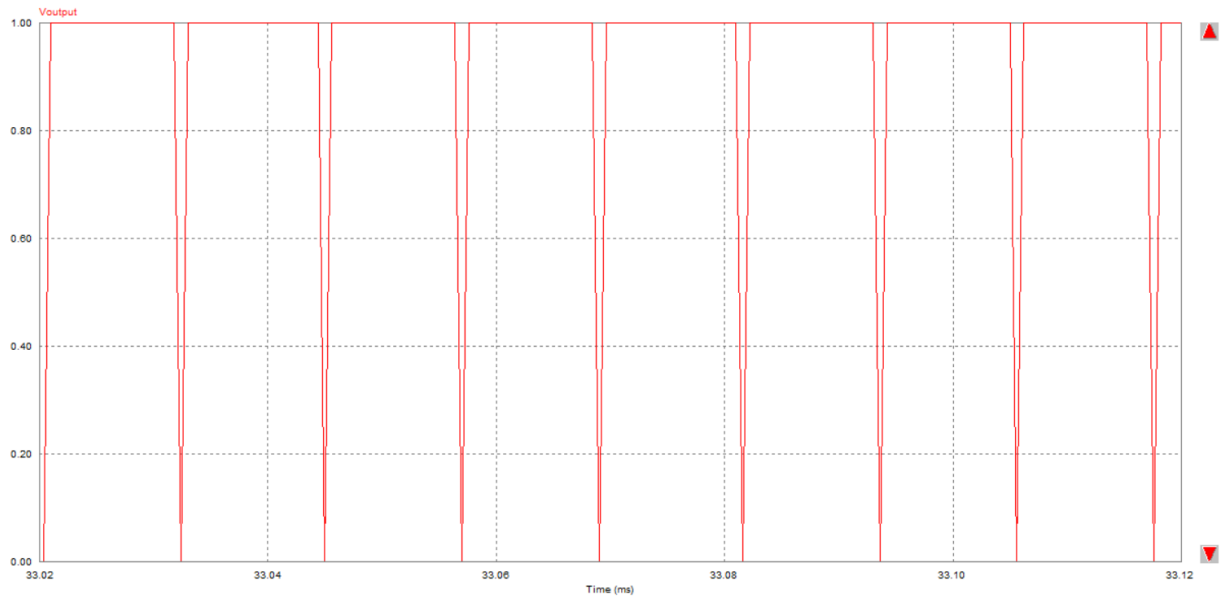
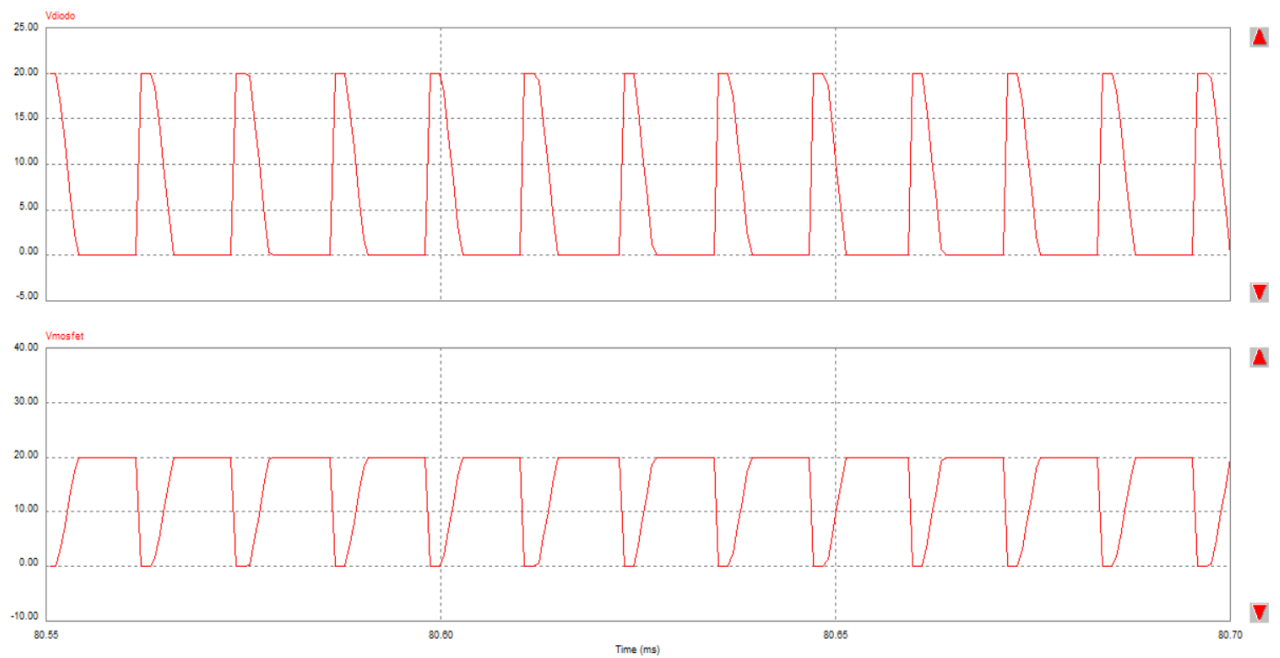


Gráfico 12:  $V_{output}$  con inductancia



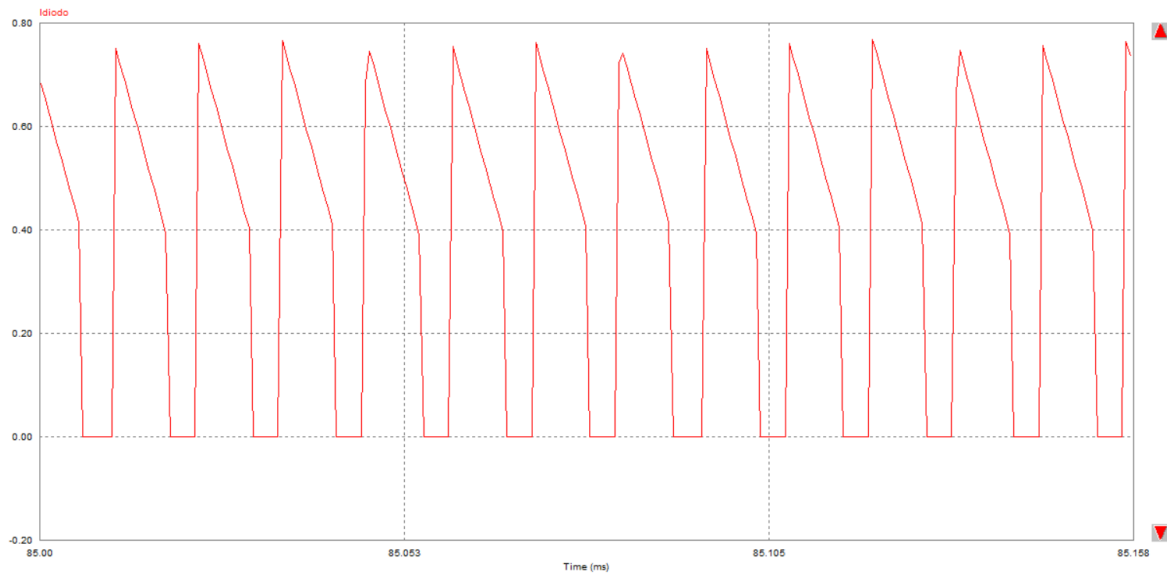
*Gráfico 13: Voutput sin inductancia*

Por último, se dan los gráficos del MOSFET y del diodo, en los que puede verse que cuando el MOSFET se enciende el diodo se paga automáticamente, y que al apagarse el MOSFET el diodo se enciende. En ambos casos la tensión máxima toma un valor de 20V.



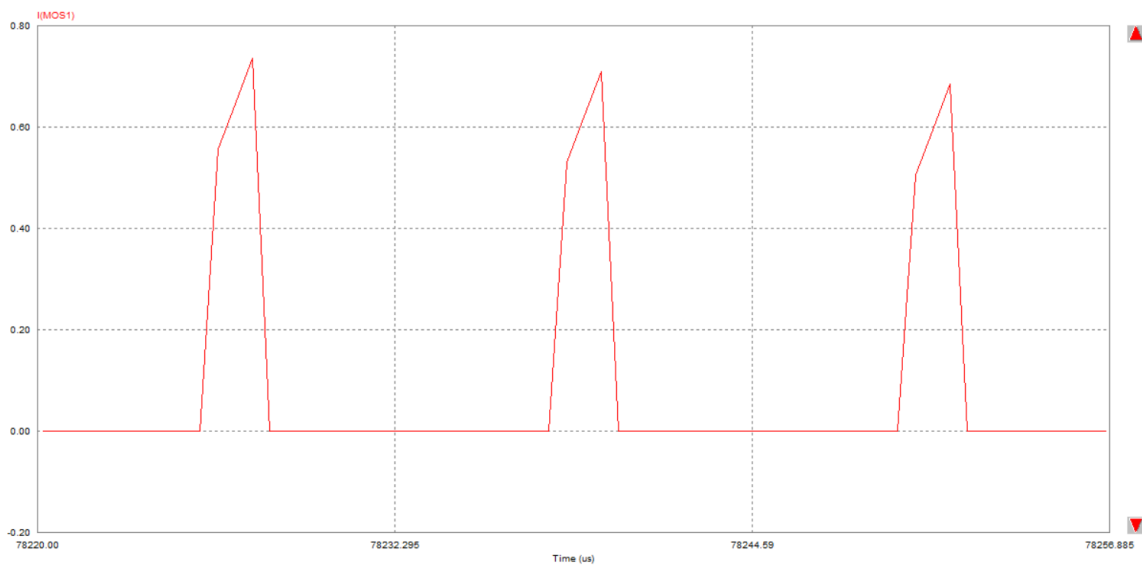
*Ilustración 37: Vdiodo y Vmosfet*

En cuando a la intensidad del diodo, en la siguiente grafica se ven los valores que va tomando a lo largo del tiempo. Circulará intensidad por el diodo cuando este se encuentre encendido. Siendo el ciclo de trabajo (D) de 0,7, la intensidad media y eficaz son las siguientes:  $i_{media} = 0,42A$ ,  $i_f = 0,5019A$ .



*Ilustración 38: Intensidad del diodo*

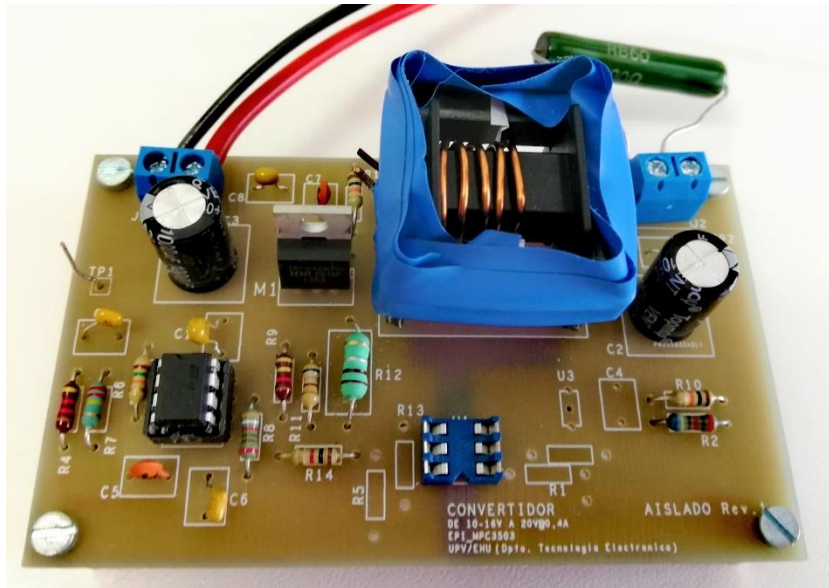
Por otro lado, cuando el MOSFET se encuentre encendido y el diodo apagado, circulará corriente por dicho MOSFET. El ciclo de trabajo (D) del MOSFET es de 0,3, por lo tanto,  $i_{media} = 0,201A$  y  $i_f = 0,3669A$ .



*Ilustración 39: Intensidad del MOSFET*

## 2.9. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado se presentarán los resultados que se han obtenido tras realizar una serie de pruebas con el prototipo del receptor.



*Ilustración 40: Prototipo del receptor*

Todas las pruebas que se expondrán a continuación, han sido realizadas con una tensión de entrada de 15V. Cabe resaltar que para que el UC3843 se ponga en funcionamiento hay que superar una tensión de 8.4V.

En primer lugar, se ha querido verificar el correcto funcionamiento del UC3843. Para ello, se ha extraído la bobina del circuito, y mediante un polímetro se han comprobado varios resultados:

- En el pin 7 tiene que haber una tensión ( $V_{OUT}$ ) de 15V.
- En el pin 8 tiene que haber una tensión ( $V_{REF}$ ) de 5V.
- En el pin 5 ya que se encuentra conectado a tierra, tiene que haber una tensión ( $V_{Ground}$ ) de 0V.

Una vez comprobados dichos resultados, se ha continuado con la siguiente prueba, que ha consistido en comprobar la tensión en el pin 4 (RT/CT) haciendo uso del osciloscopio.

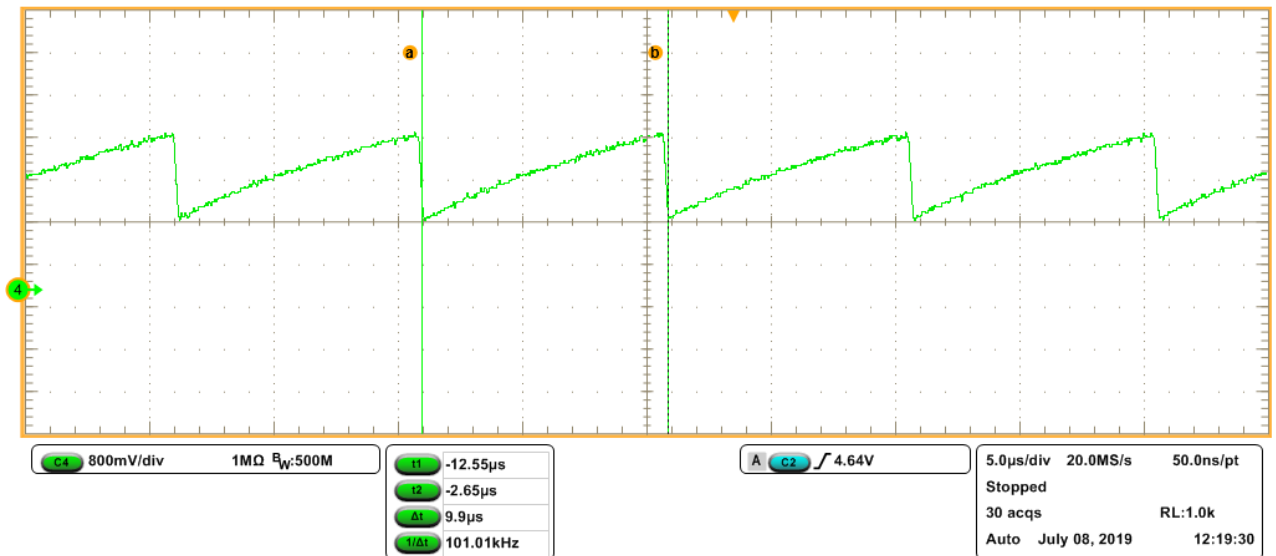


Gráfico 14:  $V_{rt/ct}$

La gráfica anterior, posee la esperada forma de diente de sierra, además de tener una frecuencia de 101.01kHz. Por lo tanto, el resultado es el esperado.

A continuación, se ha probado el correcto comportamiento del comparador que tiene integrado el UC3843.

Para ello, se ha inducido una tensión en el pin 2 (FB) menor de 2.5V, aproximadamente de 2.3V. En consecuencia, se ha obtenido la siguiente tensión en el pin 6 (Output).

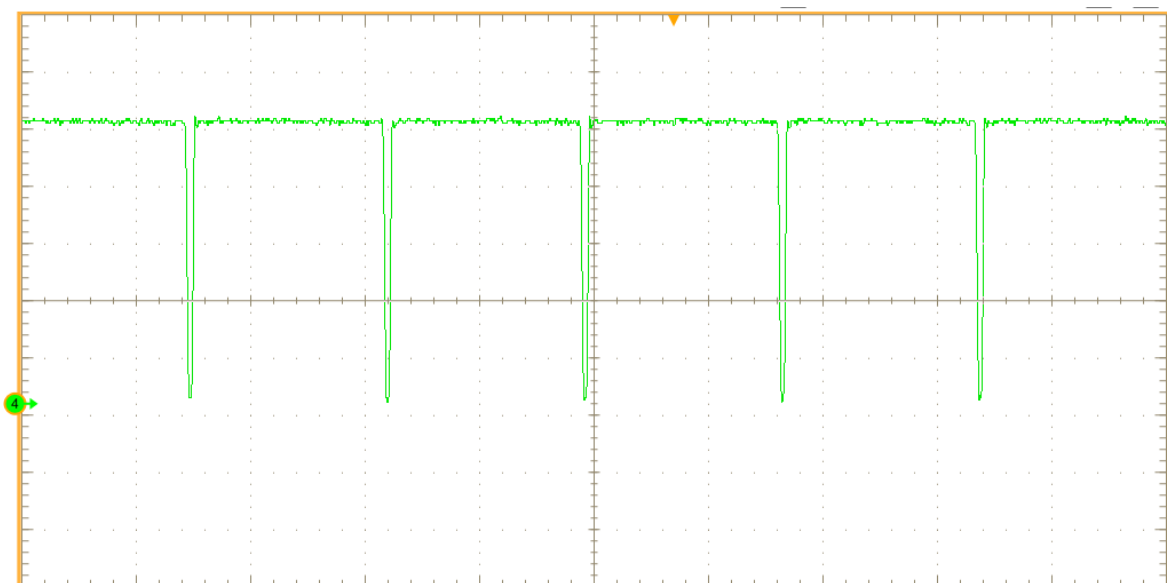


Gráfico 15:  $V_{out}$

A posteriori, se ha realizado la misma prueba, pero insertando una tensión superior a 2.5V, 2.7V para ser exactos.

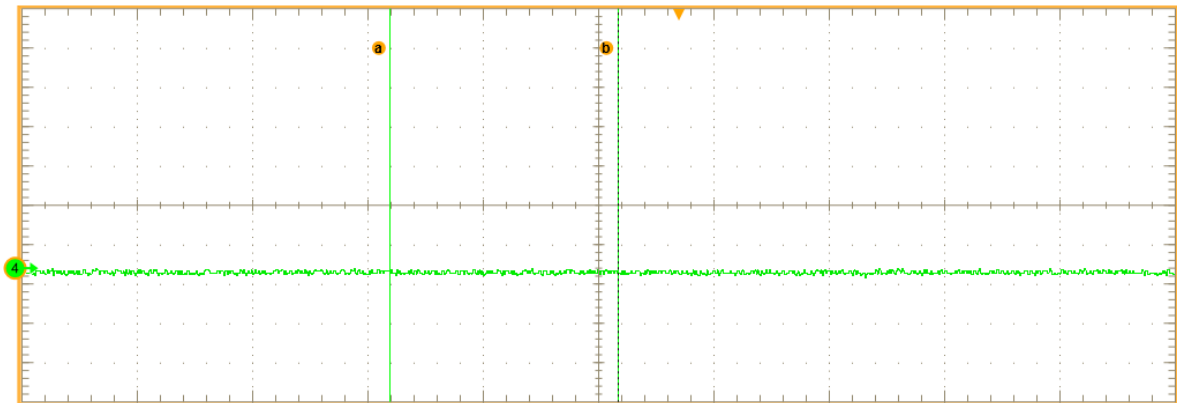


Gráfico 16: Voutput

El resultado de estas dos graficas ha sido el estimado en el apartado de los cálculos mediante el PSIM. Ya que, para una tensión superior a 2.5V debía desaparecer la señal, y para una inferior verse una serie de pulsos cuadrados.

Esta misma prueba también puede realizarse metiendo en la salida una tensión alrededor de 19V. Si se superan los 19V se verá como desaparece la tensión, en cambio, si la tensión inducida es menor de 19V se observarán los pulsos cuadrados.

La grafica que se presenta a continuación, es la obtenida aplicando una tensión menor de 19V.

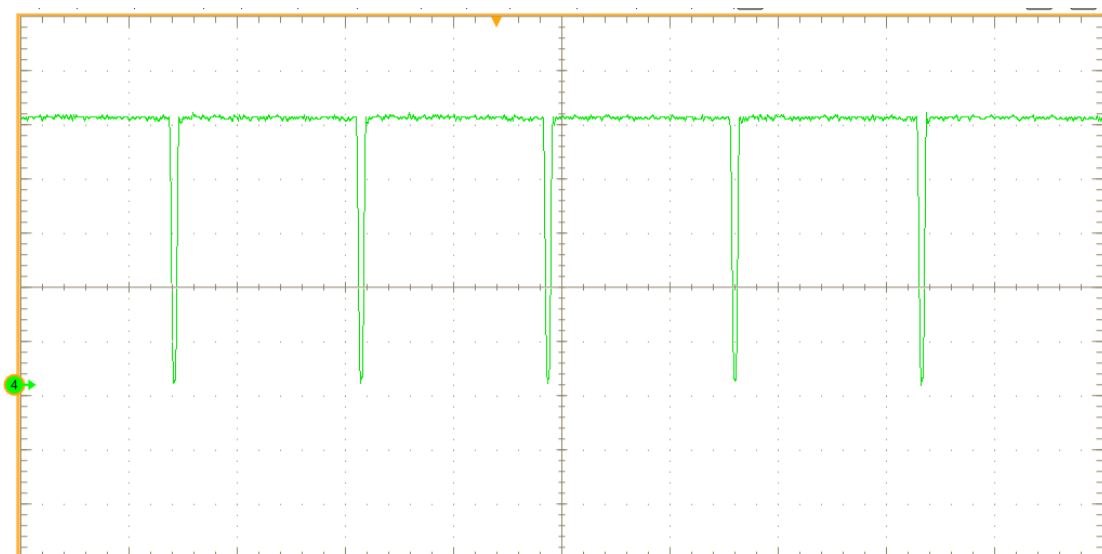


Gráfico 17: Voutput

Con una tensión superior a 19V se consigue la siguiente grafica.

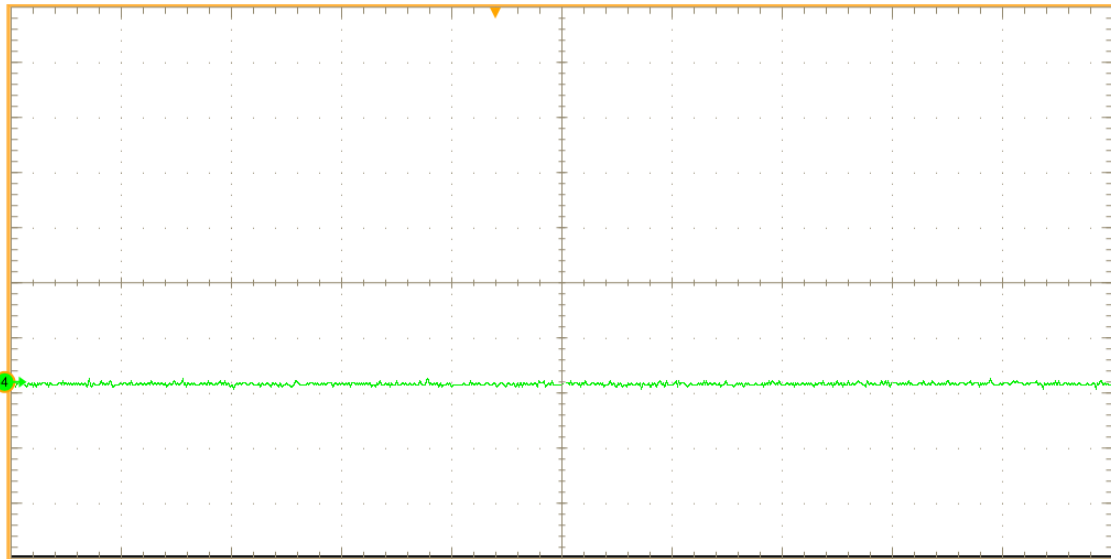


Gráfico 18: Voutput

Después, se va a comprobar que mientras la bobina no está puesta en el circuito, no circule corriente por el MOSFET, para ello basta con mirar la tensión en  $R_{12}$ .



Gráfico 19: Vr12 sin inductancia

Como se ve en esta gráfica, lo único que mide el osciloscopio va a ser ruido.

Sin embargo, una vez situada la bobina en el prototipo, si circulará corriente por el MOSFET, y de la misma manera por  $R_{12}$ . Por lo tanto, ya que en las resistencias la intensidad y la tensión son proporcionales, la siguiente grafica sirve para ver la forma de ambas. En esta gráfica también se podrá ver la intensidad del MOSFET, ya que esta resistencia ha sido puesta en el circuito con esta función.

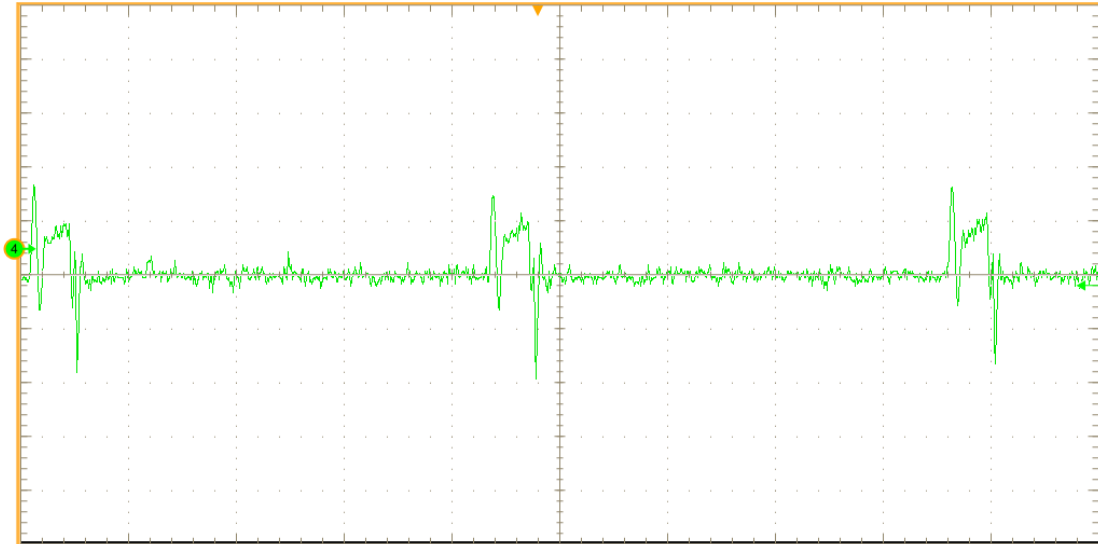


Gráfico 20: Vr12 con inductancia

Estos pulsos pueden asemejarse a los que se han conseguido mediante el circuito PSIM. Para verlos mejor y que se reduzca el ruido se va a hacer la misma prueba midiendo la tensión en  $C_6$ , el resultado de la gráfica tendría que ser el mismo, pero sin tanto ruido.



Gráfico 21: Vr12 y Vc6

La grafica de color azul sería la obtenida midiendo la tensión en el condensador, y la verde la que se ha representado anteriormente de la resistencia. La única diferencia que se aprecia entre dichas gráficas, es que la azul no posee esas puntas de ruido.

Por último, se va a comprobar que cuando no está la inductancia en el circuito el ciclo de trabajo es mayor que cuando si esta. Para ello se va a mirar la tensión en el pin 6 (OUT).



Cuando no está la bobina puesta, se ven pulsos de gran amplitud, que ocupan prácticamente todo el periodo de tiempo, por el contrario, al situarse la bobina el ciclo de trabajo disminuye, creando pulsos más estrechos.



Gráfico 22: *Vout sin inductancia*

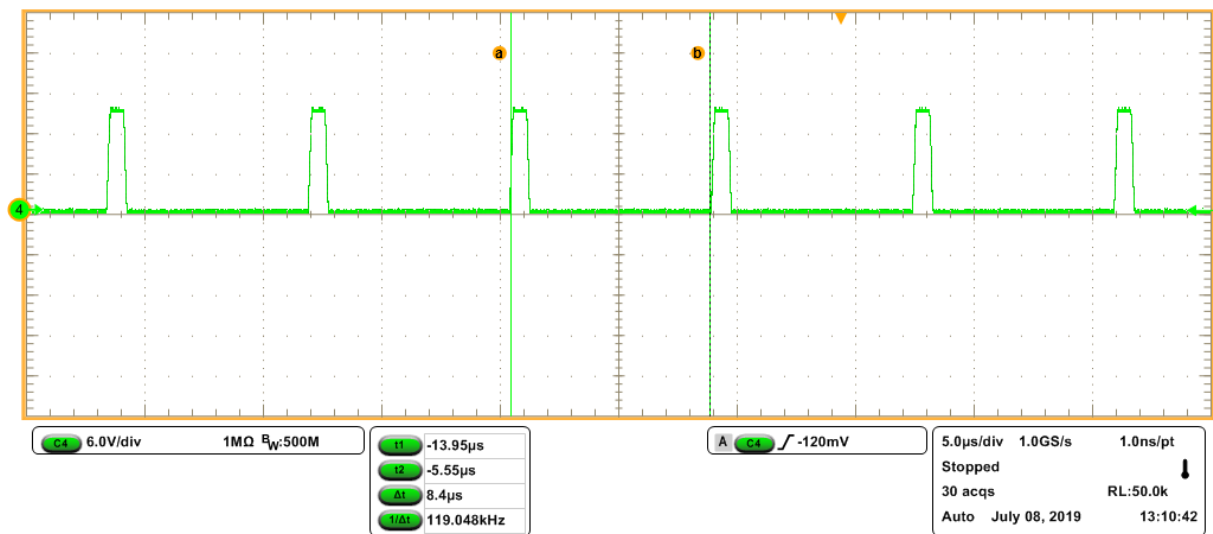


Gráfico 23: *Vout con inductancia*

Observando estas dos graficas puede verse como al colocar la bobina en su respectivo lugar, los pulsos ocupan mucho menos periodo de tiempo.

Para terminar con estas pruebas se ha comprobado utilizando el polímetro que en la salida del circuito se encuentre la tensión deseada, es decir 20V.

Después de realizar todas las pruebas anteriores, se ha verificado el correcto funcionamiento de este prototipo de receptor.

### 3. ASPECTOS ECONÓMICOS

#### JUSTIFICACIÓN DE LOS GASTOS

En este apartado se expondrá el presupuesto del proyecto, aquí se tendrán en cuenta conceptos como recursos humanos, amortizaciones, coste de los componentes y otros gastos.

En la siguiente tabla se contemplarán las horas trabajadas, y el coste por hora de cada persona que forme parte del proyecto.

*Tabla 9: Presupuesto de Recursos Humanos*

<b>Recursos Humanos</b>			
	Horas trabajadas (h)	Coste (€/h)	Coste
Ingeniero senior	50	45	2.250 €
Ingeniero junior	320	30	9.600 €
			11.850 €

Muchos de los materiales utilizados tienen una larga vida útil, por ello se estudiarán las amortizaciones.

*Tabla 10: Amortizaciones*

<b>Amortizaciones</b>				
Concepto	Coste de compra (€)	Horas de vida (h)	Utilización (h)	Coste
Ordenador	900	20.000	280	12,6€
PSIM Software	292	8760	100	3,33€
Osciloscopio	17.000	52.560	20	6,468€
Polímetro	20	7.000	20	0,057€
Caracterizador de impedancias	5.000	35.040	5	0,7134€
Fuente de alimentación	150	20.000	38	0,285€
				23,453€

En esta tabla se presentan los costes de los componentes del prototipo de receptor.

Tabla 11: Coste de los materiales

<b>Coste de los componentes</b>			
Elemento	Coste (€/unidad)	Unidades	Coste
Condensador	0,87	5	4,35 €
Resistencia	032	9	2,88 €
Placa base	6,8	1	6,8 €
UC3843	0,85	1	0,85 €
Zócalo de 8 pines	0,43	1	0,43 €
Resistencia de carga	1,51	1	1,51 €
Diodo	1,8	1	1,8 €
MOSFET	2,18	1	2,18 €
Núcleos para transformador tipo E	4,2	1	4,2 €
Carrete	1,2	1	1,2 €
Conector	0,42	2	0,84
			27,04 €

En la siguiente tabla se contabilizará el material de oficina.

Tabla 12: Presupuesto de otros gastos

<b>Otros gastos</b>	
Concepto	Coste
Material de oficina	10 €
	10 €

## **GASTOS TOTALES**

Para calcular los gastos totales, hay que tener en cuenta los costes indirectos y los imprevistos.

Los costes indirectos son todos los gastos que no influyen de forma directa en el proyecto, como la electricidad o el servicio de mantenimiento, estos serán en 7% de la suma de los costes anteriores.

Los imprevistos son gastos que no se han tenido en cuenta la preparar el presupuesto, y que pueden aparecer a lo largo del proyecto. Estos gastos el valor del 10% de la suma de los anteriores, incluyendo los costes indirectos.

*Tabla 13: Gastos Totales*

<b>Gastos Totales</b>	
Concepto	Coste
Recursos Humanos	11.850 €
Amortizaciones	23,453 €
Coste de los componentes	27,04 €
Otros gastos	10 €
<i>Subtotal 1</i>	11.910,493 €
Costes indirectos (7%)	833,73 €
<i>Subtotal 2</i>	12.744,227 €
Imprevistos (10%)	1.274,42 €
Total	14.018,64 €

Como se puede ver, la mayoría de los gastos generados se debe al apartado de Recursos Humanos, esto se debe a que es un proyecto de investigación, por lo tanto, no se requerirá un gran uso de las máquinas.

## 4. CONCLUSIONES

En este apartado se realizan las conclusiones generales que se han obtenido mediante la realización de este proyecto:

En primer lugar, hay que remarcar, que el uso de la transmisión inalámbrica de energía en el medio marino solventaría:

- Problemas económicos: El evitar tener que sacar las maquinas sumergibles fuera del agua para realizar su carga, se abaratarían los costes generales.
- Problemas de recursos humanos: Se necesitarían menos personas preparadas y especializadas para adentrarse en el fondo marino, evitando así poner en riesgo su seguridad.
- Problemas de eficiencia: Se podría explotar en mayor medida el uso de las maquinas, ya que se dispondría de mayor tiempo para realizar las funciones.
- Problemas de logística: Reducción de los medios materiales para la carga de los dispositivos.
- Problemas de autonomía: El dispositivo sumergible sería capaz de trabajar sin condicionamiento físico.

En segundo lugar, otro de los aspectos importantes es remarcar que con los conceptos que se han explicado a lo largo del proyecto, se ha conseguido prototipar un receptor con las características deseadas. Es decir, capaz de captar la tensión suministrada por el transmisor, y amplificarla, dándole una energía a la carga que se encuentre acoplada a este.

En tercer lugar, se ha estimado que se podría partir de este prototipo de receptor, para en el futuro ser aplicado en otros campos.

## BIBLIOGRAFÍA

En este apartado se cita la bibliografía o las fuentes de información utilizadas para realizar este documento.

[1] Thomson, P. (2013). La explotación sostenible de los minerales y los recursos del océano. *Crónica ONU*. Recuperado de <https://unchronicle.un.org/es/article/la-explotacion-sostenible-de-los-minerales-y-los-recursos-del-oc-ano>

[2] García, J. (2018). Molinos eólicos tan altos como la Torre Iberdrola frente a la costa de Armintza. *El Correo, Bizkaia*. Recuperado de <https://www.elcorreo.com/bizkaia/molinos-eolicos-altos-20180628212605-nt.html>

[3] McCauley, D., & Degnarain, N. (2016). *12 robots que podrían ser decisivos para los océanos*. Recuperado de <https://es.weforum.org/agenda/2016/10/12-robots-que-podrian-ser-decisivos-para-los-oceanos/>

[4] SEMTECH. (2015). *LinkCharge 20 Series, User guide, TSDMRX-19V20W-EVM, Wireless Charging Receiver*. Recuperado de [https://static5.arrow.com/pdfs2/2016/12/14/2/23/33/345/sem\\_/auto/4751848699811243tsdmrx-19v20w-evm.pdf](https://static5.arrow.com/pdfs2/2016/12/14/2/23/33/345/sem_/auto/4751848699811243tsdmrx-19v20w-evm.pdf)

[5] Lombardi, V. (2014). *Robots en el agua – Agencia TSS*. Recuperado de <http://www.unsam.edu.ar/tss/robots-en-el-agua/>

[6] Euronews. (2017). Robots en las profundidades marinas. *Euronews, science*. Recuperado de <https://es.euronews.com/2017/08/07/robots-en-las-profundidades-marinas>

[7] [Image]. Recuperado de <https://es.aliexpress.com/item/Home-kitchen-appliance-touch-screen-Electric-Pot-cooker-high-quality-induction-cooker/32714995345.html>

[8] [Image]. Recuperado de [https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1MkzxXOzxK1RjSspjq6AS.pXa5/Cocina-de-Induccin-peque-a-para-el-hogar-inteligente-Mini-estufa-de-cer-mica-el.jpg\\_50x50.jpg](https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1MkzxXOzxK1RjSspjq6AS.pXa5/Cocina-de-Induccin-peque-a-para-el-hogar-inteligente-Mini-estufa-de-cer-mica-el.jpg_50x50.jpg)

[9] Wireless Power Consortium. *Cordless Kitchen Standard*. Recuperado de <https://www.wirelesspowerconsortium.com/kitchen/>

[10] Valero, D. (2014). *Desarrollan un método de recarga inalámbrica para los implantes corporales*. Recuperado de <https://www.adslzone.net/2014/08/25/desarrollan-un-metodo-de-recarga-inalambrica-para-los-implantes-corporales/>

[11] Rodríguez Ripa, L. (2019). *Así cargaremos de manera inalámbrica nuestros automóviles eléctricos* ⚡. Recuperado de <https://pasatealoelectrico.es/2019/02/02/asi-cargaremos-de-manera-inalambrica-nuestros-automoviles-electricos-en-un-futuro-no-muy-lejano/>

[12] BATTEVER. (2018). *Carga inalámbrica: Ventajas e inconvenientes de la carga Wireless*. Recuperado de <https://www.battever.com/carga-inalambrica/>

[13] [Image]. Recuperado de <https://mmmimovil.es/wp-content/uploads/Soporte-coche-y-cargador-inalambrico-5.jpg>

[14] [Image]. Recuperado de <https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/sdintelligence/pages/1669/attachments/original/1506965073/cargador-qi-2.jpg?1506965073>

[15] Gudino, M. (2017). *Tipos de convertidores interruptores de CC a CC*. Recuperado de <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/types-of-switching-dc-dc-converters>

[16] Cesar (2009). *Fuentes Lineales vs Fuentes Conmutadas*. Recuperado de <http://ayudaelectronica.com/fuente-lineal-vs-fuente-conmutada/>

[17] Rollón, J. (2014). *Convertidor DC/DC Elevador (BOOST) con control de corriente y de tensión*. Universidad Publica de Navarra.

[18] Wireless Power Consortium. *Basic Principle of Inductive Power Transmission*. Recuperado de <https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/magnetic-induction-technology/how-it-works/basic-principle-of-inductive-power-transmission.html>

[19] Wireless Power Consortium. *How Wireless Electricity Transmission Works-Wireless Power Consortium*. Recuperado de <https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/magnetic-induction-technology/how-it-works/how-it-works.html>

[20] Wireless Power Consortium. *Wireless Power Efficiency*. Recuperado de <https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/magnetic-induction-technology/efficiency/total-energy-consumption.html>

[21] Wireless Power Consortium. *A Qi Wireless Charger: Resonant as well as Inductive*. Recuperado de <https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/magnetic-induction-technology/resonance/qi-wireless-charger-resonant-as-well-as-inductive.html>

[22] Wireless Power Consortium. *Power Absorption in Metal Objects*. Recuperado de <https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/magnetic-induction-technology/safety/power-absorption-in-metal-objects.html>

[23] Hambley, A. (2000). *Electrónica* (2nd ed.). Prentice Hall.

[24] Tecnología. *Condensador Que es, Funcionamiento, Códigos, Conexiones y Tipos de Condensadores*. Recuperado de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/condensador.html>

[25] Nasir, S. (2017). *Introduction to UC3843 - The Engineering Projects*. Recuperado de <https://www.theengineeringprojects.com/2017/08/introduction-to-uc3843.html>

[26] Hernandez, J. (2012). *UC3842 /3/4/5 UC2842 /3/4/5 UC1842 /3/4/5 Current Mode PWM Controller Optimizado parqa trabajo off-line y Convertidores DC a DC*. Recuperado de <http://smdelectronicayalgomas.blogspot.com/2012/08/uc3842-345-uc2842-345-uc1842-345.html#.XSGue-gzZPY>

[27] Laboratorio Integrado de Ingeniería Industrial. *Práctica 1. Simulación de circuitos electrónicos mediante PSIM. Aplicación a circuitos con transistores y amplificadores...* Recuperado de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/23718/1/LII-P1\\_\\_Simulador.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/23718/1/LII-P1__Simulador.pdf)



[28] [Image]. Recuperado de [https://www.valuetronics.com/pub/media/catalog/product/cache/image/700x560/e9c3970ab036de70892d86c6d221abfe/t/e/tektro\\_dpo7054\\_1.jpg](https://www.valuetronics.com/pub/media/catalog/product/cache/image/700x560/e9c3970ab036de70892d86c6d221abfe/t/e/tektro_dpo7054_1.jpg)

[29] [Image]. Recuperado de [http://www.pinsonne.de/media/images/Siglent\\_SPD3303X\\_2\\_pinsonne.png](http://www.pinsonne.de/media/images/Siglent_SPD3303X_2_pinsonne.png)

[30] [Image]. Recuperado de <https://www.suministrosenmetrologia.com/wp-content/uploads/2018/05/fluke-117.jpg>

[31] [Image]. Recuperado de [http://www.waynekerrtest.com/images/instruments/6440B\\_1000.png](http://www.waynekerrtest.com/images/instruments/6440B_1000.png)

[32] Texas Instruments Incorporated, UNITRODE. (1999). *UC3842/3/4/5 PROVIDES LOW-COST CURRENT-MODE CONTROL.* Recuperado de <http://www.ti.com/lit/an/slva143/slva143.pdf>

[33] Fairchild Semiconductor Corporation. (2002). *UC3842/UC3843/UC3844/UC3845 SMPS Controller.* Recuperado de <http://www.mouser.com/ds/2/149/uc3843-309322.pdf>

## ANEXO I: RÚBRICAS DE EVALUACIÓN

En todas las tablas se utilizará el mismo sistema de evaluación. Los apartados de cada tabla estarán clasificados con porcentajes para determinar la importancia de cada uno sobre la puntuación final. En las tablas se darán valores del 1 al 10 a cada característica de cada columna, siendo el 1 el más desfavorable y el 10 el más favorable.

Para la evaluación del producto, se han priorizado las siguientes características:

- Eficiencia: La eficiencia es una de las características más importantes a tener en cuenta, ya que esta es la capacidad de realizar o cumplir adecuadamente una acción. Con una mala eficiencia a medida que la potencia aumentase, se perdería más energía y en consecuencia los costes subirían. A esta característica se le ha dado una importancia del 50%.
- Facilidad de diseño: Desde un punto de vista académico, teniendo en cuenta que los conocimientos previos no son muchos, hay que tener en cuenta esta característica. Aun así, ya que se dispone del tiempo suficiente para la elaboración del producto, se le ha asignado un 15% de importancia únicamente.
- Capacidad de tensión: La capacidad para funcionar por encima o debajo de diferentes tensiones es de gran relevancia, ya que permite utilizar el receptor en diferentes condiciones. Hay que tener en cuenta que en este caso se busca aumentar la tensión de salida respecto a la de entrada. Dado que este apartado tiene especial importancia se le ha asignado un 30%.
- Velocidad de respuesta: Dependerá del tiempo de restablecimiento que necesite el circuito para volver a soportar variaciones de corriente y tensión en la entrada. Como el proyecto no precisa de una excesiva velocidad, se le ha otorgado una importancia del 15%.