

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



TRABAJO FIN DE GRADO

**SISTEMA DE ALIMENTACIÓN INALÁMBRICA PARA
DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTACIÓN BASADO EN
ESTÁNDAR QI**

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Autor: Víctor Serrano Ruíz-Valdepeñas

Tutor: Luis Hernández Corporales

Leganés, Septiembre de 2016





Título: Sistema de alimentación inalámbrica para dispositivos de instrumentación basado en estándar Qi

Autor: Víctor Serrano Ruíz-Valdepeñas

Director: Luis Hernández Corporales

TRIBUNAL

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Grado el día __ de _____ de 2016 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



RESUMEN

Este proyecto aborda el diseño, construcción y pruebas de un cargador de batería inalámbrico siguiendo el estándar Qi presente en los teléfonos móviles



ÍNDICE

1- PLANTEAMIENTO	12
1.1- Introducción	13
1.2- Motivación	14
1.3- Objetivos	15
1.4- Estructura del documento	15
2- PROTOCOLO Qi.....	17
2.1- Introducción al estándar Qi.....	18
2.2- Características principales	19
2.3- Elementos	19
2.3.1- Transmisor	20
2.3.2- Receptor.....	21
2.3.2.1- Unidad de elevación de potencia	22
2.3.2.2- Unidad de comunicación y control	24
2.4- Protocolo de comunicación del estándar Qi.....	24
2.5- Control de la transferencia de potencia	29
2.6- Normativa aplicable.....	29
3- DISEÑO DEL SISTEMA	31
3.1- Diagrama de bloques	33
3.2- Especificaciones	34
3.2.1- Bobina receptora de carga.....	34
3.2.2- Chip bq51050B.....	35
3.2.2.1- Principales características.....	35
3.2.2.2- Diagrama de bloques	35
3.2.2.3- Aplicaciones.....	36
3.2.3- Batería.....	37
4- DISEÑO DEL CIRCUITO	38
4.1- Esquema.....	39
4.2- Valores de los componentes.....	40
5- CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS.....	42
5.1- Fabricación de la bobina receptora	43
5.1.1- Asistente para fabricar bobinas	44



5.1.2- Cálculos teóricos (Protoboard)	47
5.1.3- Cálculos teóricos (PCB).....	50
5.2- Montaje en Protoboard.....	52
5.2.1- Diseño.....	52
5.2.1.1- Zócalo para el chip bq51050B.....	53
5.2.2- Montaje	54
5.3- Diseño y montaje en PCB	56
5.3.1- Diseño.....	56
5.3.1.1- Circuito para el chip bq51050B	56
5.3.2- Fabricación	58
5.3.3- Montaje	59
5.4- Modelo de la base cargadora.....	62
5.5- Pruebas y medidas	62
5.5.1- Protoboard.....	64
5.5.2- PCB	66
6- EJEMPLO DE APLICACIÓN CON ARDUINO.....	68
6.1- Software (para verificar la carga)	69
7- PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO.....	70
8- PRESUPUESTO.....	72
9- CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	76
9.1- Conclusiones.....	77
9.2- Líneas futuras	77
10- BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXOS	82
Anexo I: System description Wireless Power Transfer	83
Anexo II: Datasheet bq51050B.....	84
Anexo III: Planos del zócalo para el chip bq51050B.....	85
Anexo IV: Planos del circuito para el chip bq51050B.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Diagrama de bloques TX/RX de la carga inalámbrica (Qi)	13
Figura 2.1 - Diagrama de bloques de carga inalámbrica Qi (TX/RX)	18
Figura 2.2 - Diagrama de bloques del módulo Transmisor de Potencia	20
Figura 2.3 - Diagrama de bloques funcional transmisor tipo A	20
Figura 2.4 - Diagrama de bloques funcional transmisor tipo B	21
Figura 2.5 - Diagrama de bloques del módulo Receptor de Potencia	21
Figura 2.6 - Diagrama de bloques funcional de un módulo receptor completo estándar Qi.....	22
Figura 2.7 - Circuito resonante dual de un Receptor de potencia.	22
Figura 2.8 - Tiempos de la fase de muestreo.....	25
Figura 2.9 - Tiempos de la fase de identificación y configuración.....	26
Figura 2.10 - Tiempos de la fase de transferencia de potencia	27
Figura 2.11 - Fases de la transmisión de potencia en el protocolo Qi.....	28
Figura 2.12 - Diagrama de bloques funcional Transmisor y Receptor	28
Figura 2.13 - Algoritmo del control PDI del sistema de control	29
Figura 2.14 - Datos sobre la Norma CEI 60601-1-2:2007.....	30
Figura 3.1 - Integración funcional de los sistemas de carga inalámbrica WPC de la familia bq5105x.....	32
Figura 3.2 - Diagrama de bloques del módulo receptor completo	33
Figura 3.3 - Características físicas para el diseño de la bobina	34
Figura 3.4 - Diagrama de bloques simplificado del chip bq51050B.....	36
Figura 3.5 - Batería utilizada en el módulo receptor de carga.....	37
Figura 4.1 - Esquema de una aplicación típica del chip bq51050B.....	39
Figura 4.2 - Circuito de modulación de carga capacitiva.....	41
Figura 5.1 - Primer intento de fabricación de la bobina receptora	43
Figura 5.2 - Componentes del "Asistente" para fabricar bobinas.....	44
Figura 5.3 - Vista en detalle de la colocación de las arandelas entre las dos tablas de madera...	44
Figura 5.4 - Vista en detalle de los orificios del primer intento con el "asistente"	45
Figura 5.5 - Segundo intento de fabricación de la bobina receptora	45
Figura 5.6 - Tercer intento de fabricación de la bobina receptora.....	45
Figura 5.7 - Fabricación final de la bobina receptora.....	46
Figura 5.8 - Calculadora on-line de bobinas según el tipo y sus dimensiones.....	48
Figura 5.9 - Medida del valor de la resistencia en c.c. de la bobina	49
Figura 5.10 - Medición de la inductancia L_s de la bobina receptora.....	50
Figura 5.11 - Medición de la inductancia L'_s de la bobina receptora.....	51
Figura 5.12 - Medición de la resistencia en c.c. de la bobina receptora.....	51
Figura 5.13 - Tipos de encapsulados del chip bq51050B	52
Figura 5.14 - Esquema del zócalo para el chip bq51050B	53
Figura 5.15 - PCB del zócalo para el chip bq51050B.....	53
Figura 5.16 - PCB del zócalo para el chip bq51050B (vista superior)	54
Figura 5.17 - PCB del zócalo para el chip bq51050B (vista inclinada)	54

Figura 5.18 - Montaje del módulo receptor completo en protoboard	55
Figura 5.19 - Montaje del módulo receptor completo en protoboard (en funcionamiento)	55
Figura 5.20 - Esquema del circuito para el chip bq51050B.....	56
Figura 5.21 - PCB del circuito para el chip bq51050B (componentes).....	57
Figura 5.22 - PCB del circuito para el chip bq51050B (TOP)	58
Figura 5.23 - PCB del circuito para el chip bq51050B (BOTTOM)	58
Figura 5.24 - PCB del circuito del chip bq51050B sin montar (TOP)	59
Figura 5.25 - PCB del circuito del chip bq51050B sin montar (BOTTOM)	59
Figura 5.26 - PCB del circuito del chip bq51050B final (TOP)	60
Figura 5.27 - PCB del circuito del chip bq51050B final (BOTTOM).....	60
Figura 5.28 - PCB del circuito del chip bq51050B con el zócalo conectado	60
Figura 5.29 - Montaje del módulo receptor completo en PCB.....	61
Figura 5.30 - Montaje del módulo receptor completo en PCB (en funcionamiento)	61
Figura 5.31 - Transición de reposo a carga comprobada con polímetro	63
Figura 5.32 - Medidas realizadas en el laboratorio con osciloscopio	63
Figura 5.33 - Montaje en el laboratorio del módulo receptor en protoboard.....	64
Figura 5.34 - Señal de Vrect medida con osciloscopio (protoboard)	64
Figura 5.35 - Señal Vbat medida con osciloscopio T=250ms (protoboard)	65
Figura 5.36 - Señal Vbat medida con osciloscopio T=50ms (protoboard)	65
Figura 5.37 - Montaje en el laboratorio del módulo receptor en PCB	66
Figura 5.38 - Señal de Vrect medida con osciloscopio (PCB)	66
Figura 5.39 - Señal Vbat medida con osciloscopio T=250ms (PCB).....	67
Figura 5.40 - Señal Vbat medida con osciloscopio T=50ms (PCB).....	67
Figura 7.1 - Diagrama de Gantt	71
Figura 9.1 - Circuito médico de monitorización de ondas ECG.....	78



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 - Tabla de tiempos de la fase de muestreos	25
Tabla 2.2 - Tabla de tiempos de la fase de identificación y configuración.....	26
Tabla 2.3 - Tabla de tiempos de la fase de transferencia de potencia.....	27
Tabla 3.1 - Rango de dimensiones para el diseño de la bobina	34
Tabla 5.1 - Ejemplos de bobinas típicas.....	49
Tabla 5.2 - Ejemplo de inductancia de una bobina típica de recetor QI.....	49
Tabla 7.1 - Tabla de fechas de realización de las tareas.....	71



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 - Fórmulas para calcular las frecuencias del circuito resonante dual.	23
Ecuación 2.2 - Fórmula para calcular el factor de calidad del filtro.	23
Ecuación 4.1 - Fórmula para el cálculo de R1 para el control de corriente.	40
Ecuación 5.1 - Fórmulas para calcular los condensadores de la bobina de carga.	47
Ecuación 5.2 - Fórmula para calcular el factor de calidad de la carga.	47



1-PLANTEAMIENTO

1.1-Introducción

El mundo de hoy vive en una evolución electrónica dónde la movilidad juega un papel crucial. En este aspecto, las baterías tienen un papel muy importante en dicho escenario y, relacionado con las baterías, otro factor igual de importante es la carga inalámbrica. Este concepto es un importante avance y es donde más se está avanzando en los últimos años, ya que proporciona la comodidad de evitar cables sin prescindir de mantener siempre cargados todos nuestros dispositivos y listos para funcionar, independientemente del dispositivo que sea (desde un cepillo de dientes hasta un automóvil).

La carga inalámbrica se define como la transferencia de energía eléctrica entre un emisor y un receptor a través de ondas de inducción electromagnética (ver figura 1.1).

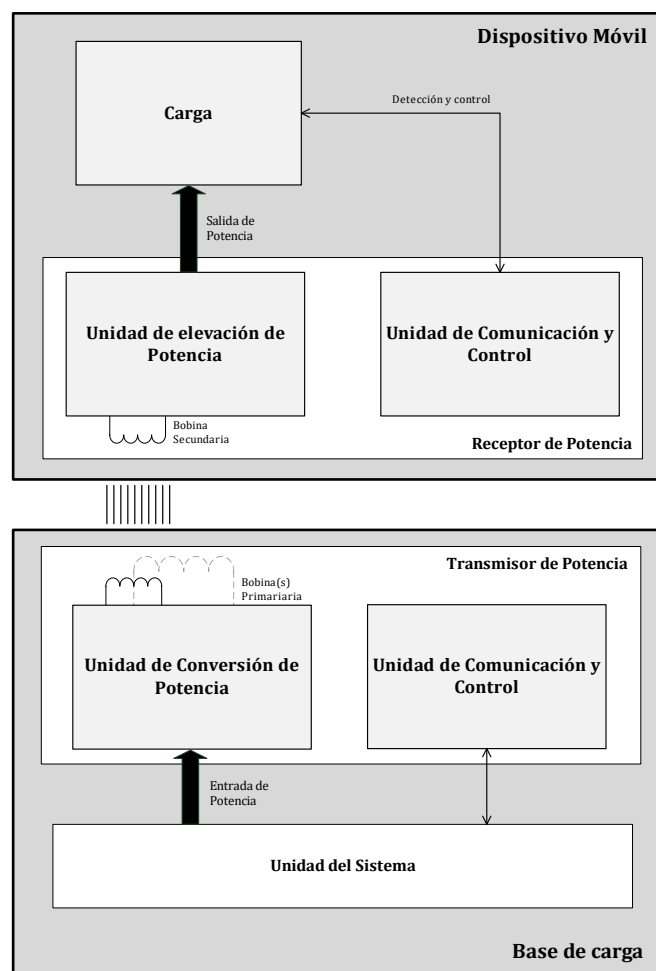


Figura 1.1 - Diagrama de bloques TX/RX de la carga inalámbrica (Qi)

Existen distintos tipos de estándares dependiendo de la cantidad de potencia que se quiera transmitir y de la distancia entre ambos.

Según la distancia podemos distinguir dos tipos [1]:

- Campos lejanos (Far field)
 - Microondas
 - Láser
- Campos cercanos (Near field)
 - Inducción
 - Acoplamiento de resonancias.

Dentro de los campos cercanos, los que más se usan actualmente son los de inducción, ya que, aunque una empresa ha desarrollado un sistema basado en el acoplamiento de resonancias y tiene importantes fabricantes a sus espaldas, hasta principios de este año sólo había sido demostrado una vez. Fueron unos investigadores del MIT los que hicieron una demostración pública cuya presentación llamaron “WiTricity” y consistió en mantener encendida una bombilla convencional situada a dos metros de distancia del enchufe más cercano [1].

En la tecnología de carga inalámbrica hay varias empresas luchando por establecer su estándar como el referente del sector, pero hay tres que destacan por encima del resto: QI (WPC), Powermat (PMA) y Rezence(A4WP).

- El protocolo “**QI**” está basado en la inducción y es el mayor estándar actualmente de la tecnología de campos cercanos. Eso es posible gracias a que este estándar lo crearon un consorcio de más de 100 empresas del sector tecnológico (Wireles Power Consortium), algunas tan destacadas como Sony, Philips, LG, Energizer, Huawei... Como es el estándar elegido para este proyecto, se va a desarrollar ampliamente en el capítulo 2.
- El protocolo “**Powermat**” de la empresa Power Matters Alliance, es también de inducción como el QI, pero su uso es bastante menor. En EEUU es donde más se está haciendo por su expansión ya que la empresa ha firmado acuerdos con marcas importantes como Apple o McDonalds.
- El protocolo “**Rezence**” de la empresa Alliance for Wireless Power, es un estándar basado en la resonancia magnética y gracias a que es una tecnología pionera, también ha firmado acuerdos con fabricantes como Broadcom, Intel, Qualcomm y Samsung entre otros, por lo que puede ser un referente de aquí a poco tiempo por ser un sistema innovador y con mucho futuro.

Aunque aún queda por avanzar mucho en esta tecnología para que podamos olvidarnos de los cables definitivamente, no hay duda de que es el futuro, teniendo en cuenta las empresas que están invirtiendo bastante dinero en liderar este mercado a través de sus patentes.

1.2-Motivación

La motivación de este proyecto es construir un dispositivo que pueda ser usado por personas que tiene problemas de salud por los cuales no puedan interactuar con la red eléctrica convencional directamente, como por ejemplo, una persona que le hayan colocado un

marcapasos, tal y como se puede ver en el documento redactado por la Sociedad Española de Cardiología en colaboración con el Ministerio de Sanidad, “Guía del paciente portador de marcapasos” [2], que dice lo siguiente sobre interferencias potenciales en el uso doméstico de aparatos:

“Si manipula lámparas, aparatos conectados a la red eléctrica, o «cambia» bombillas, desconecte a toma de corriente general (diferencial) de la casa o específicamente la correspondiente al electrodoméstico. Pueden producir interferencias transitorias los reproductores de música digital («iPods»), los «walkie-talkies» utilizados a menos de 15 centímetros y las emisoras potentes de radioaficionados. No coloque ni aproxime imanes a la zona del marcapasos. Los equipos de informática son inocuos. Los teléfonos fijos e inalámbricos son seguros. El llamado «móvil» puede recibir interferencias transitorias que se evitan colocándolo sobre el oído opuesto al lado donde esté ubicado el marcapasos y trasportándolo en la chaqueta o cinturón opuestos a la zona del marcapasos. Las antenas repetidoras de telefonía móvil no representan riesgo a distancia superiores a 2 metros. Los sistemas de monitorización domiciliaria y sin cables («wireless») no producen interferencias.”

Todo ello se pretende realizar cumpliendo la normativa vigente respecto a equipos electromédicos, la cual podemos ver en el apartado 2.6 correspondiente al protocolo Qi.

1.3-Objetivos

El objetivo marcado para este proyecto, es construir un módulo receptor de carga inalámbrica que, utilizando el protocolo Qi, sea capaz de cargar una batería de Ion-Litio como la de un Smartphone. A su vez, dicha batería debe ser capaz de alimentar una placa Arduino.

En un futuro, dicha placa será capaz a través de un circuito de monitorizar ondas de electrocardiograma (ECG).

1.4-Estructura del documento

A continuación, se va a detallar los capítulos que van a conformar la memoria y la información que van a contener:

- **Capítulo 1:** En este apartado se hace una introducción general sobre la transferencia inalámbrica de energía. También se explican cuáles son las motivaciones y objetivos que se desean alcanzar en el proyecto.

- **Capítulo 2:** En este apartado se va a hablar un poco de la historia del protocolo, sus principales características y sus elementos principales. También contiene un análisis sobre la comunicación y el control efectuado en este protocolo. Para estos últimos, esta información está recogida en el manual del protocolo proporcionado por el tutor (ver Anexo I)
- **Capítulo 3:** En este apartado se hace una visión global de cómo va a ser el prototipo a construir. Se enumeran y explican las partes que debe tener y como se ha llegado hasta encontrar una solución comercial para una de las partes del receptor de carga inalámbrica.
- **Capítulo 4:** En este apartado se modeliza el circuito tomando como base el que viene en el datasheet del chip bq51050B (ver Anexo II), explicando los valores de los distintos componentes del mismo.
- **Capítulo 5:** En este apartado se explica, además de cómo se ha fabricado la bobina receptora, el proceso de los diseños y posteriores montajes del receptor. Dichos montajes se han realizado primero en protoboard y luego en PCB. Por último, se muestran las pruebas y medidas realizadas al prototipo final para demostrar su buen funcionamiento y, por lo tanto, el éxito del proyecto.
- **Capítulo 6:** En este apartado se muestra un programa ejemplo en lenguaje de programación Arduino, el cual verifica a través del ADC que lleva incorporado la placa que forma parte de este proyecto si la carga se está efectuando, y si no, que nivel de tensión tiene la batería.
- **Capítulo 7:** En este apartado se ve el progreso del proyecto a través de una tabla temporal con las distintas tareas realizadas, representada posteriormente con un diagrama de Gantt.
- **Capítulo 8:** En este apartado se muestra el presupuesto total del proyecto desde su inicio hasta la fabricación final del prototipo.
- **Capítulo 9:** En este apartado se realiza una reflexión final acerca de los aspectos que han rodeado al proyecto en todo su desarrollo, objetivos alcanzados y resultado final del prototipo. Después se comentan las mejoras líneas y futuras que puede seguir este proyecto.



2-PROTOCOLO QI

Una vez terminada la investigación sobre los tipos de tecnologías de carga inalámbricas y los distintos estándares, centramos nuestro estudio sobre el estándar Qi. Para ello, se ha usado un manual proporcionado por el tutor llamado “*Wireless Power Specification*” [3] (ver anexo I), el cuál describe el protocolo Qi de manera integral y que esta resumido en los siguientes apartados, haciendo un análisis más extenso del receptor, por ser el objeto del proyecto. También se han usado otros documentos para ampliar la información sobre este protocolo. [4] [5] [6] [7] [8]

2.1-Introducción al estándar Qi

El protocolo Qi es un estándar de electricidad por inducción para cargar dispositivos de baja potencia. Fue creado por el Wireless Power Consortium (WPC), que cuenta entre sus miembros a empresas como HTC, Microsoft y LG entre otros muchos. Fue establecido en 2008 para trabajar hacia la normalización global de la tecnología de carga inalámbrica. Crea interoperabilidad entre los dispositivos que proporcionan electricidad y los que la reciben.

Este estándar de la alimentación sin cables, cuenta con dos elementos para llevar a cabo la carga inalámbrica: Un **módulo emisor** que consiste en una base cargadora (*base station*), y un **módulo receptor** que es un dispositivo móvil (*mobile device*). El emisor es el encargado de proporcionar la potencia y el receptor de consumirla. Para utilizar el sistema, el dispositivo móvil se coloca en la parte superior de la base de transmisión de potencia, que lo carga a través de inducción electromagnética (ver imagen 2.1).

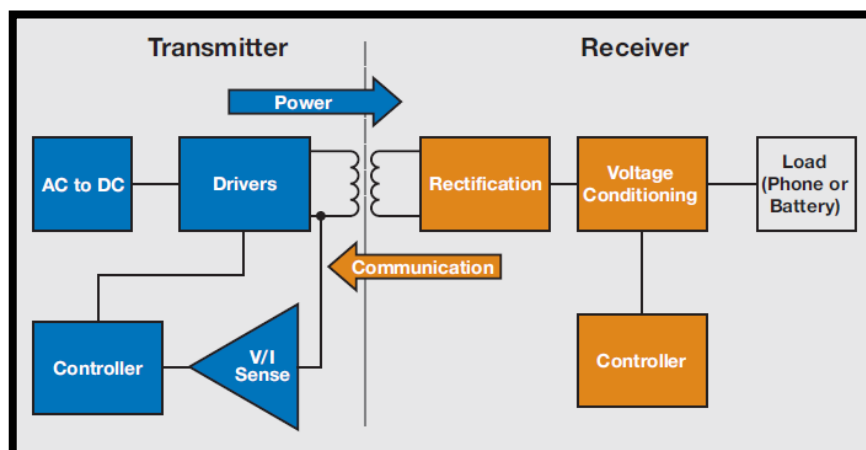


Figura 2.1 - Diagrama de bloques de carga inalámbrica Qi (TX/RX)

Ambos tienen una bobina plana (transmisor-primaria/receptor-secundaria) que juntas forman un transformador a través del acoplamiento magnético de ambas bobinas. Si las bobinas guardan entre sí una distancia adecuada, la transferencia de potencia se realiza con una eficiencia aceptable.

Es el estándar más extendido actualmente porque es el más seguro tanto para las personas como para los dispositivos.

Dónde más se está implantando este sistema actualmente, es en los dispositivos móviles, como los smartphones, ya que resulta bastante cómodo dejar el teléfono móvil encima de una mesa y que se vaya cargando, sin necesidad de un cable que tenga el mismo conector. Además, teniendo en cuenta que en 2011 el Wireless Power Consortium comenzó a extender la especificación Qi a media potencia y en un futuro permitirá poder proporcionar hasta una potencia de 120W (muy superior a los 5W actuales), se le puede pronosticar un buen futuro a este estándar que ya ha tomado la delantera a sus rivales.

2.2-Características principales

El protocolo Qi tiene como principales características las descritas a continuación:

- Es un sistema de transferencia de energía desde una base Cargadora a un dispositivo móvil.
- Está basado en la inducción entre dos bobinas a través de campos magnéticos cercanos. La distancia típica es de 5mm, pero se pueden alcanzar los 4 cm dependiendo del diseño [9].
- Puede atravesar ciertas superficies.
- La transferencia máxima de potencia es de 5W, usando una bobina secundaria adecuada.
- Trabaja a frecuencias con un rango de 100-205Khz.
- Permite dos tipos de colocación del receptor en la base cargadora
 - Posición guiada: Permite la carga en unas pocas posiciones encima de la base cargadora.
 - Posición libre: Permite la carga en cualquier posición encima de la base cargadora.
- Con un protocolo de comunicación sencillo se puede habilitar que el receptor tome el control de la transferencia de potencia.
- Permite un diseño flexible para una fácil integración en dispositivos móviles.
- Se puede conseguir un consumo en reposo muy bajo (dependiendo de la implementación).

2.3-Elementos

Los elementos principales son el transmisor y el receptor de potencia. Como el objetivo del proyecto es el diseño y la fabricación del módulo receptor, éste se explicará más en detalle que el transmisor.

2.3.1-Transmisor

El módulo transmisor cuenta con dos bloques principales:

- Transmisor de potencia (contiene la unidad de conversión de potencia y la unidad de comunicación y control)
- Unidad del sistema.

En la figura 2.2 puede verse la interacción entre los distintos bloques del transmisor.

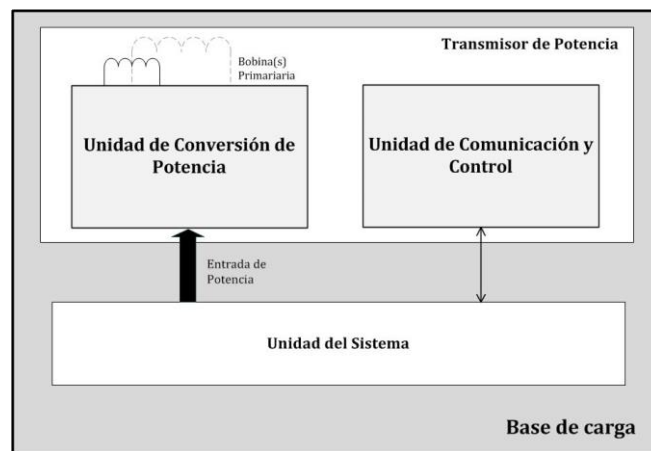


Figura 2.2 - Diagrama de bloques del módulo Transmisor de Potencia

El manual establece que hay dos tipos de transmisores:

- Tipo A: Este diseño tiene una única bobina primaria y una célula primaria de carga (que coincide con la bobina primaria). Este tipo de transmisor requiere una alineación concreta entre la bobina primaria y la secundaria. En la figura 2.3 puede verse el diagrama de bloques funcional de los transmisores tipo A.

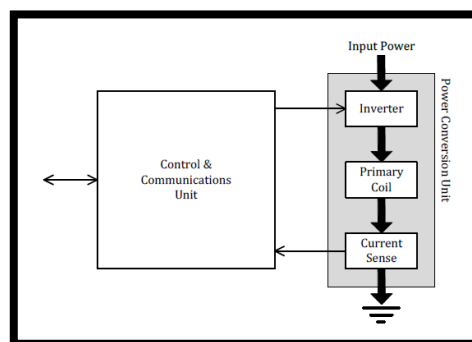


Figura 2.3 - Diagrama de bloques funcional transmisor tipo A

- Tipo B: Este diseño tiene un array de bobinas primarias. Todos los que sean de tipo B habilitan la posibilidad de la posición libre de carga, lo que permite cargar el dispositivo

en cualquier posición. Esto se consigue gracias a que combinando una o más de las bobinas primarias del array, el transmisor es capaz de llevar a cabo una célula primaria de carga en diferentes posiciones, en prácticamente toda la superficie del transmisor. En la figura 2.4 se puede ver el diagrama de bloques funcional de los transmisores tipo B.

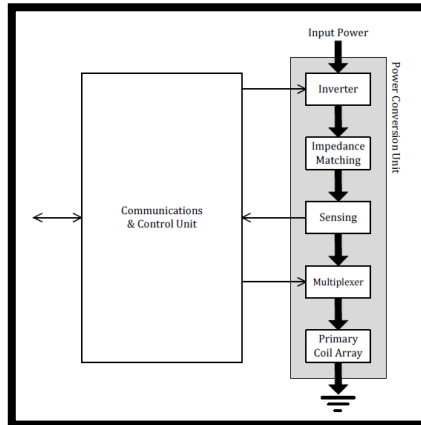


Figura 2.4 - Diagrama de bloques funcional transmisor tipo B.

2.3.2-Receptor

El módulo receptor cuenta con dos bloques principales:

- Unidad de evaluación de potencia (que contiene la bobina receptora)
- Unidad de comunicación y control.

El módulo receptor completo que se pretende diseñar en el proyecto, cuenta con una batería, que es la encargada de recibir la potencia almacenarla para su posterior uso. En la figura 2.5 puede verse la interacción entre los distintos bloques y elementos.

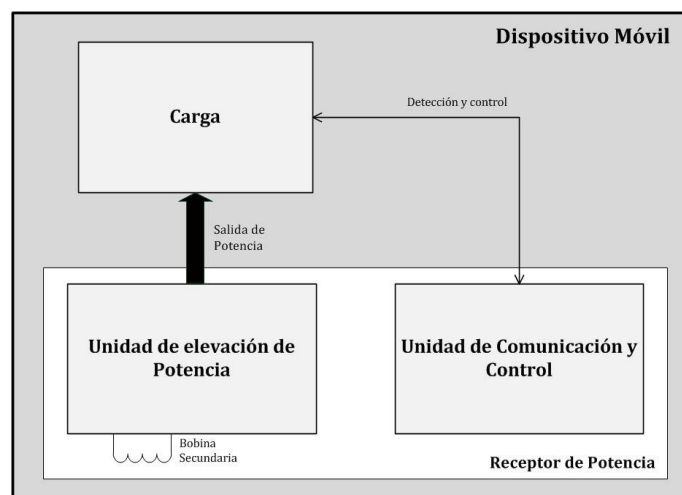


Figura 2.5 - Diagrama de bloques del módulo Receptor de Potencia

2.3.2.1-Unidad de elevación de potencia

Si nos adentramos dentro del bloque de elevación de potencia (*“Power Pick-up Unit”* en la figura 2.6), vemos que está formado por 4 bloques:

- Bobina receptora
- Circuito de rectificación
- Modulador de comunicaciones
- Bloque de desconexión de carga

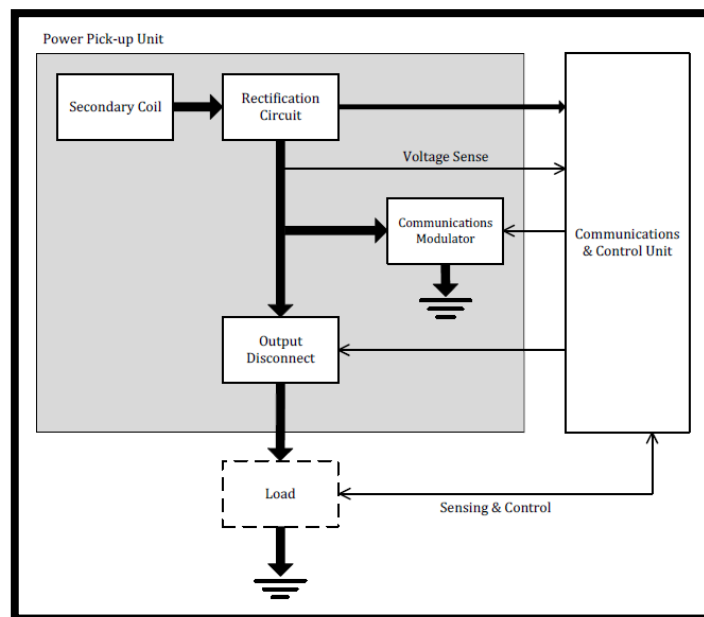


Figura 2.6 - Diagrama de bloques funcional de un módulo receptor completo estándar Qi

A continuación, se va a describir los componentes analógicos de los bloques que conforman la elevación de potencia:

- Un circuito resonante dual formado por la bobina secundaria y por capacitancias paralelas (C_s y C_d), a fin de mejorar la eficiencia en la transferencia de energía.

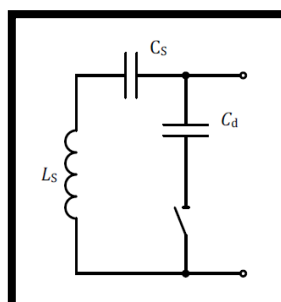


Figura 2.7 - Circuito resonante dual de un Receptor de potencia.

El circuito resonante debe tener las frecuencias de resonancia que aparecen en la ecuación 2.1 y que se muestra a continuación y que se usarán para el diseño del receptor (en el apartado 5.1 se explica lo que significan cada uno de sus términos).

$$f_s = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L'_s \cdot C_s}} = 100_{-y}^{+x} \text{ kHz},$$
$$f_d = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_s \cdot \left(\frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_d}\right)^{-1}}} = 1000^{\pm 10\%} \text{ kHz}.$$

Ecuación 2.1 - Fórmulas para calcular las frecuencias del circuito resonante dual.

El diseño también exige que este bloque debe cumplir un factor de calidad Q del lazo formado por la bobina secundaria, el switch y los condensadores Cs y Cd. La fórmula es la que aparece en la ecuación 2.2 y depende tanto de los parámetros calculados anteriormente como del valor de la inductancia de la bobina (esta fórmula también se usa en el capítulo 5.1 al igual que las dos anteriores).

$$Q = \frac{2\pi \cdot f_d \cdot L_s}{R}$$

Ecuación 2.2 - Fórmula para calcular el factor de calidad del filtro.

- Un circuito de rectificación de onda completa de corriente alterna, ya sea con 4 diodos en configuración de puente completo o una configuración adecuada de componentes activos. Este circuito debe proporcionar una salida lo más suavizada posible. Lo normal es que la salida rectificadora sirva para alimentar al mismo tiempo a la Unidad de comunicación y control y a la salida del receptor de potencia (la que carga la batería).
- Un modulador de las comunicaciones.
 - En el lado de DC del receptor, el modulador consiste normalmente en una resistencia en serie con un switch.
 - En el lado de AC del receptor, el modulador consiste normalmente en un condensador en paralelo con un switch.
- Un interruptor de desconexión de la salida que sirve para prevenir corrientes que vayan a la salida del receptor cuando la batería está totalmente cargada. Al mismo tiempo, también evita las corrientes de retorno hacia el receptor cuando se cumple la misma condición. Además, este módulo minimiza la potencia que recibe el receptor del

transmisor cuando, al comienzo de la carga, se aplica una señal de potencia a la bobina secundaria.

- Un sensor de tensión rectificadora.

2.3.2.2-Unidad de comunicación y control

La unidad de comunicación y control es la parte lógica digital del receptor de potencia. Es la encargada de ejecutar los algoritmos y protocolos de control de la potencia para controlar el módulo de comunicaciones y el interruptor de la desconexión de la salida. También monitoriza algunos circuitos tanto en la unidad de elevación de potencia como en la carga.

La parte de la comunicación está formada por un protocolo que se explica en detalle en el capítulo 2.4

La parte de control está formada por un regulador PDI y utiliza algoritmos para conseguir su propósito. En el capítulo 3.5 se explica con más detalle cómo funciona este elemento del receptor.

2.4-Protocolo de comunicación del estándar Qi

[5] La regulación de la tensión de salida se realiza por un circuito de control digital de salida donde el receptor se comunica con el transmisor y solicita más o menos energía. Dicha comunicación se realiza a través de un protocolo que incluye muestreo analógico y digital, identificación y configuración, y, por último, la transferencia de potencia. La secuencia cuando se pone el receptor en el campo de acción del transmisor, es la siguiente:

1. Primero, a través de un **muestreo analógico** por parte del transmisor, éste detecta la presencia del receptor. A continuación, a través de un **muestreo digital** (más largo que el analógico), el transmisor obtiene del receptor una respuesta con un paquete de señales de pulsos, que, si es la adecuada, el transmisor toma como válida y transfiere energía la bobina primaria y la deja almacenada hasta que empieza la carga.

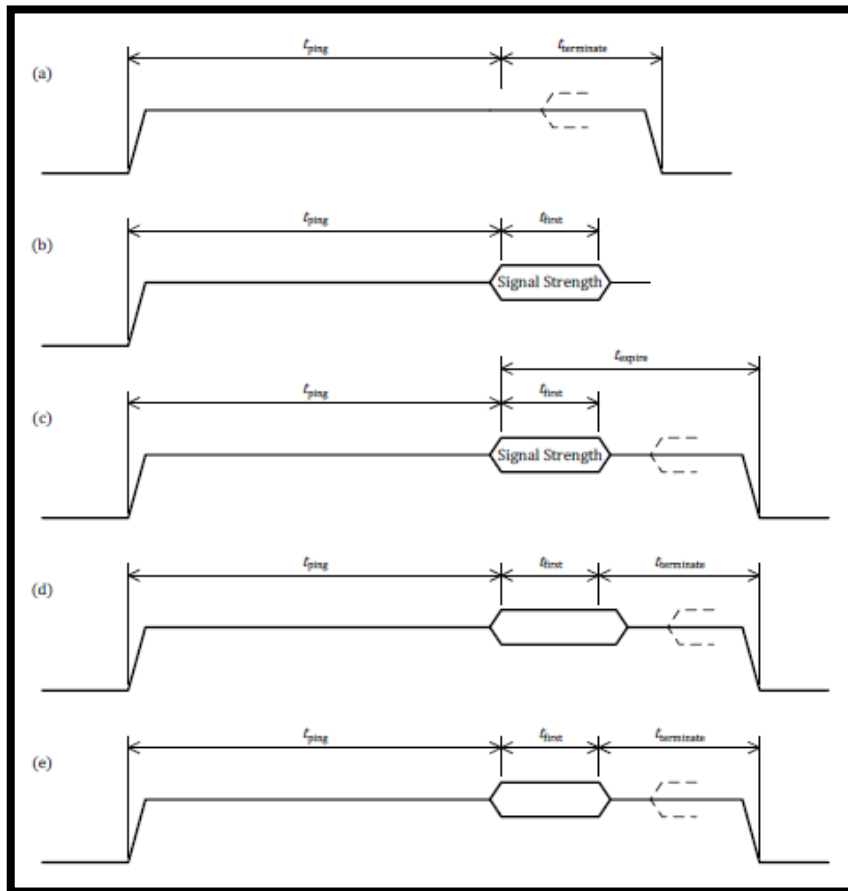


Figura 2.8 - Tiempos de la fase de muestreo

Parameter	Symbol	Minimum	Target	Maximum	Unit
Digital Ping window	t_{ping}	65.0 ₋₀	65	70.0 ⁺⁰	ms
Power Signal termination time	$t_{\text{terminate}}$	N.A.	N.A.	28.0 ⁺⁰	ms
First Packet time out	t_{first}	N.A.	N.A.	20.0 ⁺⁰	ms
Power Signal expiration time	t_{expire}	N.A.	N.A.	90.0 ⁺⁰	ms

Tabla 2.1 - Tabla de tiempos de la fase de muestreos

2. Durante la fase de **identificación y configuración**, el receptor envía paquetes al transmisor que identifican el tipo de dispositivo y que contiene la información de cómo debe recibir la carga por parte del transmisor.

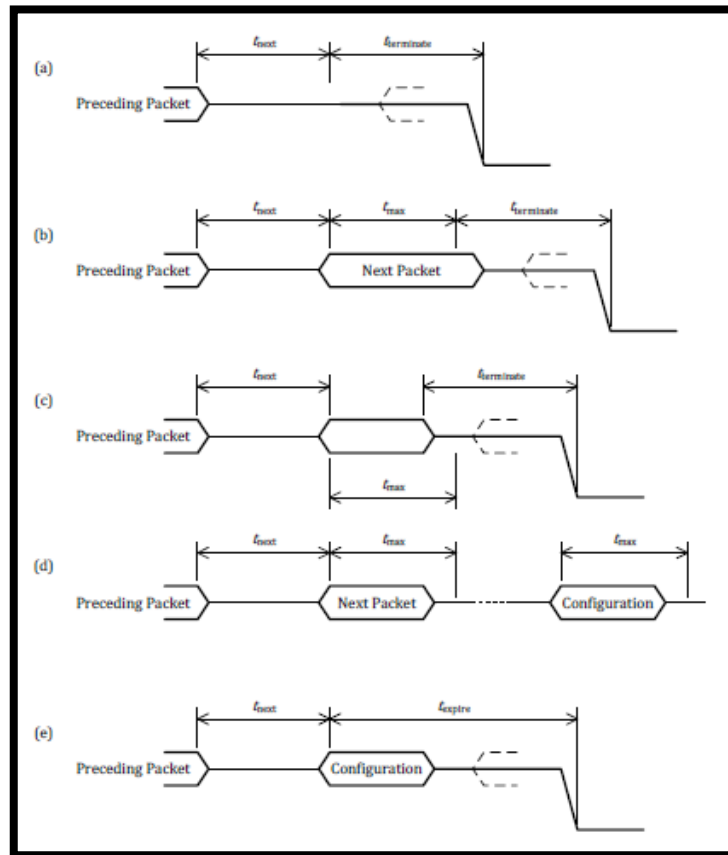


Figura 2.9 - Tiempos de la fase de identificación y configuración

Parameter	Symbol	Minimum	Target	Maximum	Unit
Next Packet time out	t_{next}	N.A.	N.A.	21.0^{+0}	ms
Maximum Packet length	t_{max}	N.A.	N.A.	170.0^{+0}	ms

Tabla 2.2 - Tabla de tiempos de la fase de identificación y configuración

- En la fase de **transferencia de potencia**, el receptor envía al transmisor el paquete de control de error para indicarle si debe aumentar o disminuir la cantidad de potencia. Estos paquetes se envían aproximadamente cada 250ms durante una situación estable o cada 32ms durante grandes cambios de la señal de error.

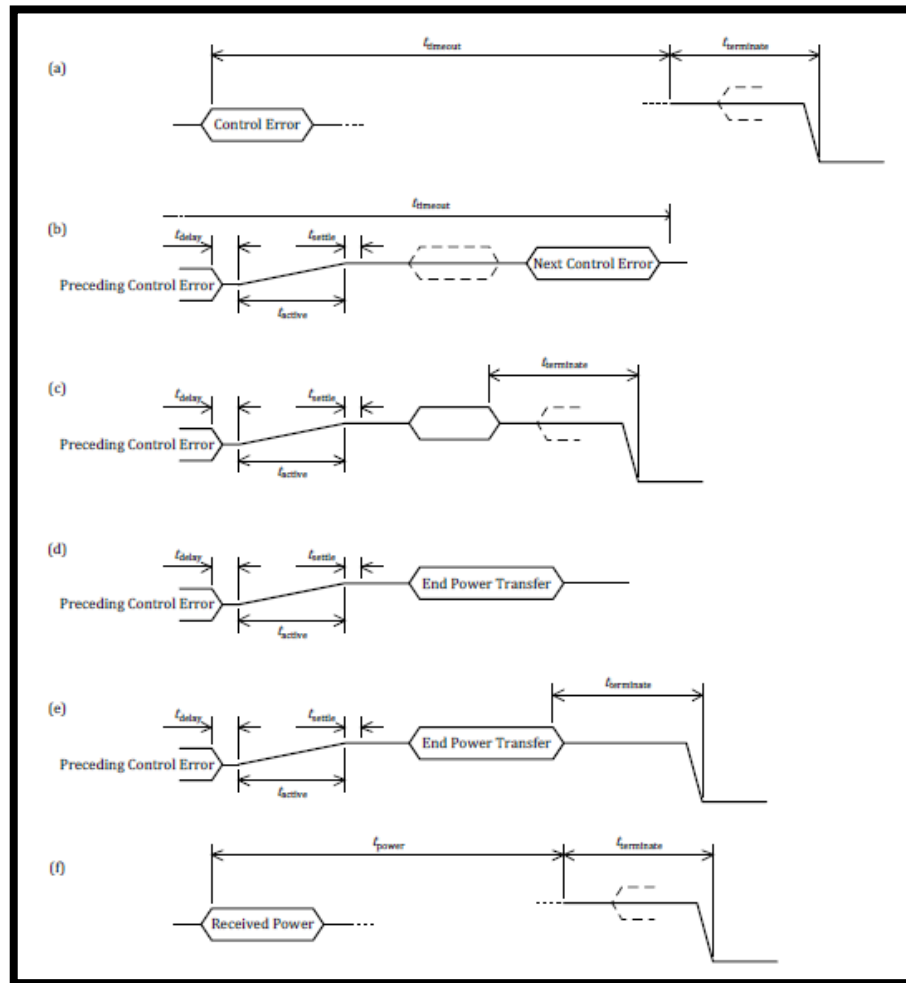


Figura 2.10 - Tiempos de la fase de transferencia de potencia

Parameter	Symbol	Minimum	Target	Maximum	Unit
Control Error Packet time out	t_{timeout}	N.A.	1500	1800.0^{+0}	ms
Power control active time	t_{active}	N.A.	20	21.0^{+0}	ms
Power control settling time	t_{settle}	3.0_{-0}	5	7.0^{+0}	ms
Received Power Packet time*	t_{power}	N.A.	23000	24000^{+0}	ms

Tabla 2.3 - Tabla de tiempos de la fase de transferencia de potencia

- Al **finalizar la carga**, el receptor manda un mensaje de “Fin de carga” o deja de enviar información durante 1,25 segundos. Cuando uno de estos eventos tiene lugar, el transmisor deja de enviar potencia y entra en un modo de bajo consumo.

En la figura 2.11 se pueden ver las fases de la comunicación durante un proceso de carga siguiendo el estándar Qi y a continuación, en la figura 2.12 se puede ver cómo funcionan los

distintos bloques que intervienen en la comunicación durante la carga entre ambos dispositivos y cómo interactúan entre sí.

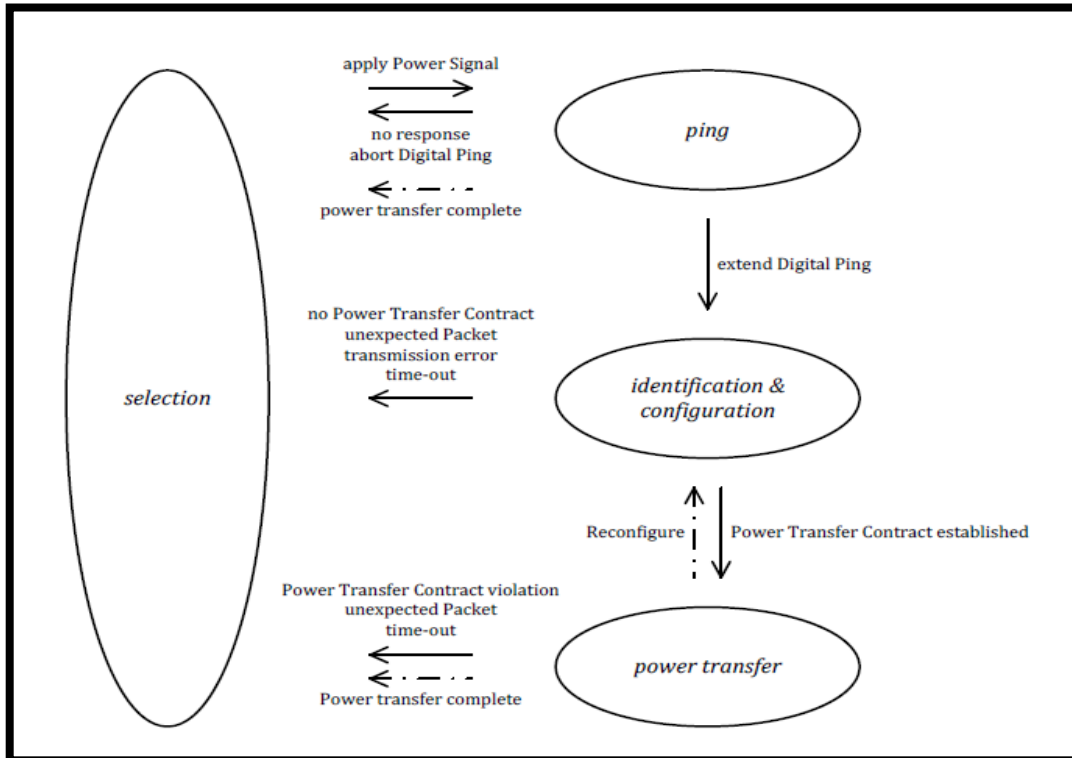


Figura 2.11 - Fases de la transmisión de potencia en el protocolo Qi

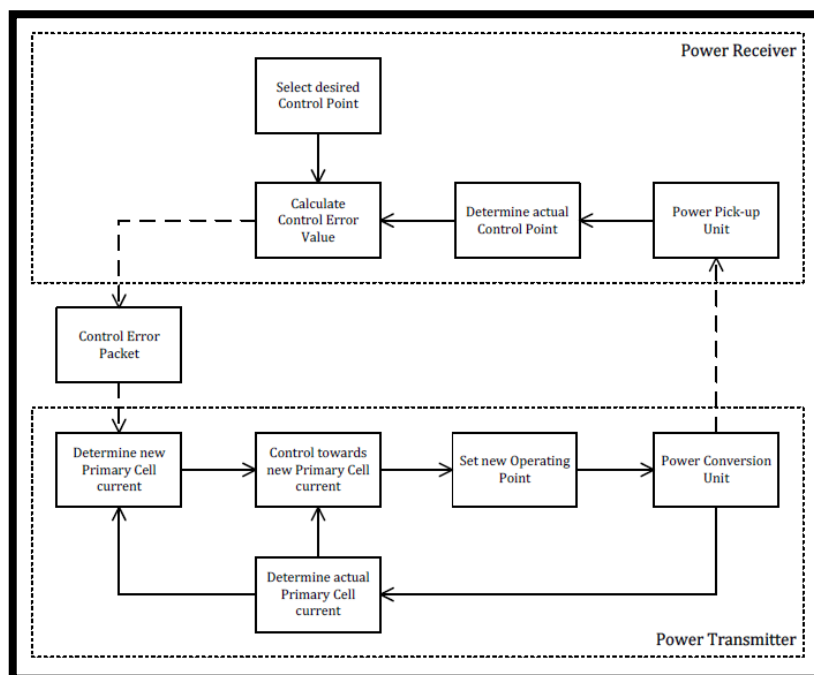


Figura 2.12 - Diagrama de bloques funcional Transmisor y Receptor

2.5-Control de la transferencia de potencia

A continuación, se explica cómo se realiza el control durante la carga inalámbrica que se realiza durante la fase de transferencia de potencia (fase 3), dentro del protocolo de comunicación de este estándar explicado en el punto anterior.

El control se basa en controlar la corriente que suministra la celda primaria del transmisor y según puede verse en la figura 3.7. este control está basado en un algoritmo PDI (proporcional-diferencial-integral).

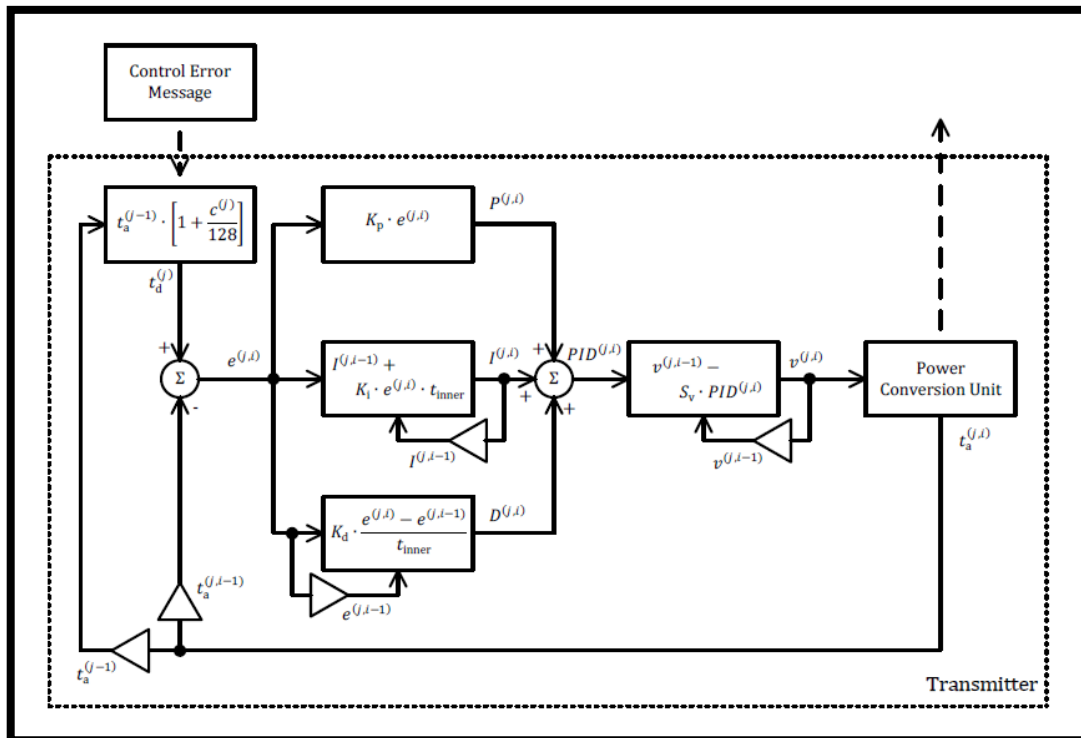


Figura 2.13 - Algoritmo del control PDI del sistema de control

2.6-Normativa aplicable

Las normativas aplicables a este proyecto, teniendo en cuenta que el cargador inalámbrico de baterías a construir en este proyecto es para un sistema de monitorización de ondas de electrocardiograma (ECG), serían las siguientes:

- Por un lado, las normativas aplicables son el **Real Decreto 1066/2001** y la **Orden Ministerial CTE/23/2002**, que tratan sobre la legislación en materia de “niveles de exposición” [10]. Como podemos ver en el documento “*Elementos Técnicos para la gestión de frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Sanitarios*”, redactado por el

Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación [11]. En esta normativa se habla del uso de dispositivos que sirven para la monitorización de señales de un paciente, como muestra este párrafo:

“Así mismo, debido a que la práctica de la medicina involucra muchas especialidades, se necesitan equipos y/o sistemas que estén diseñados para realizar una gran variedad de funciones. Algunas de estas funciones son, por ejemplo, la medición de niveles muy bajos de las señales de monitorización de un paciente, que pueden llegar a ser comparables a los niveles de ruido electromagnético. Por lo tanto, se haría necesario el adecuado aislamiento radioeléctrico para no deteriorar el funcionamiento de estos dispositivos.”

Ya que el prototipo final se utilizará para monitorizar ondas ECG, esta normativa tiene una gran importancia para el diseño del circuito receptor de potencia.

- Por otro lado, está la Norma **CEI 60601-1-2:2007** que es la que corresponde a equipos electromédicos desarrollada por AENOR. La norma ha sido redactada bajo el nombre de *“Equipos electromédicos. Parte 1-2: Requisitos generales para la seguridad básica y funcionamiento esencial. Norma colateral: Compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos”* [12] [13] y su última actualización se realizó en el año 2009. En la figura 2.1 se pueden ver todos los datos que definen la normativa.

Norma	CEI 60601-1-2:2007
Título español	Equipos electromédicos. Parte 1-2: Requisitos generales para la seguridad básica y funcionamiento esencial. Norma colateral: Compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos.
Título inglés	Medical electrical equipment -- Part 1-2: General requirements for basic safety and essential performance - Collateral standard: Electromagnetic compatibility - Requirements and tests
Título francés	Appareils électromédicaux -- Partie 1-2: Exigences générales pour la sécurité de base et les performances essentielles - Norme collatérale: Compatibilité électromagnétique - Exigences et essais.
Fecha Edición	2009-01-15
ICS	11.040.01 / Equipo médico en general 33.100.10 / Emisión 33.100.20 / Inmunidad
Comité	AEN/CTN 209 - EQUIPOS ELÉCTRICOS EN LA PRÁCTICA MÉDICA
Documento Nacional	UNE-EN 60601-1-2:2008
Equivalencias Internacionales	IEC 60601-1-2:2007, Ed.3 - Idéntico
Anula a:	Es anulada por: IEC 60601-1-2:2014 Ed 4 Anula a: CEI 60601-1-2:2001 Anula a: CEI 60601-1-2:2001/A1:2005

Figura 2.14 - Datos sobre la Norma CEI 60601-1-2:2007

En esta norma se define el control sobre las perturbaciones que pueden ocasionar los campos electromagnéticos creados por los dispositivos que tengan un fin médico y establecer los niveles máximos aceptados por los mismos. Al tener que pagar para poder obtener una copia, sólo es posible el acceso a extractos de la misma.



3-DISEÑO DEL SISTEMA

Una vez leído el manual proporcionado por el tutor [3] (ver anexo I), y habiendo analizado tanto el protocolo como las especificaciones que debe reunir el dispositivo receptor, se procede al diseño del prototipo objeto de este proyecto.

El primer paso fue buscar un chip comercial que, de manera integral o por lo menos parcial, pudiese simplificar el diseño del módulo receptor. En el caso de no encontrar una solución completa entre el amplio abanico de chips comerciales, se realizará el diseño de las partes no cubiertas por dicha solución, lo que puede comprometer los plazos previstos para este proyecto.

En segundo lugar, estuve buscando información en diversos artículos sobre dispositivos que utilizasen este sistema, y después de ver unos cuantos chips que no era lo que buscaba de la familia “bq” de Texas Instruments, acabé encontrando la solución que buscaba a través de un artículo sobre carga inalámbrica [14], el cual me llevó a este otro artículo [15], dónde hablan de un chip llamado bq51050B también de la familia de chips de Texas Instruments, que finalmente aunaba todo lo que buscábamos en un solo chip.

En la figura 3.1 se puede ver la solución propuesta por esta familia de chips.

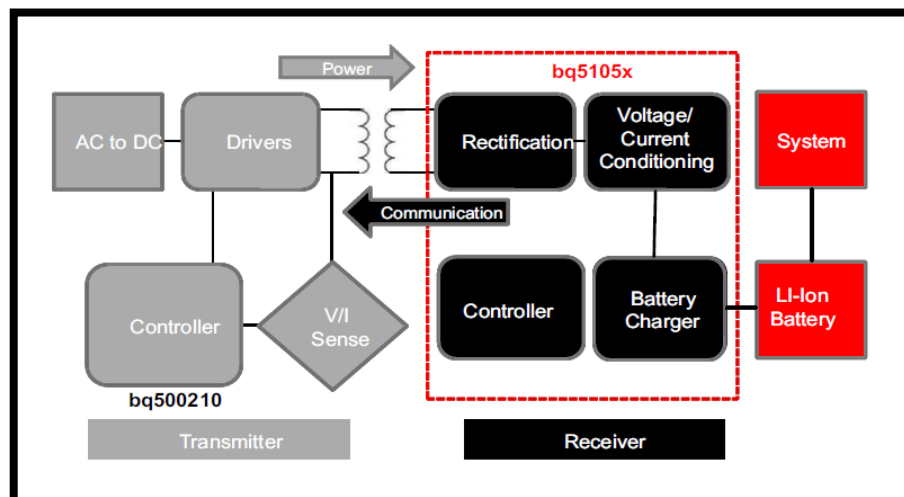


Figura 3.1 - Integración funcional de los sistemas de carga inalámbrica WPC de la familia bq5105x

Una vez elegido el chip a utilizar, empieza la parte de diseño del sistema completo, el cual se desarrolla a lo largo de este tema.

3.1-Diagrama de bloques

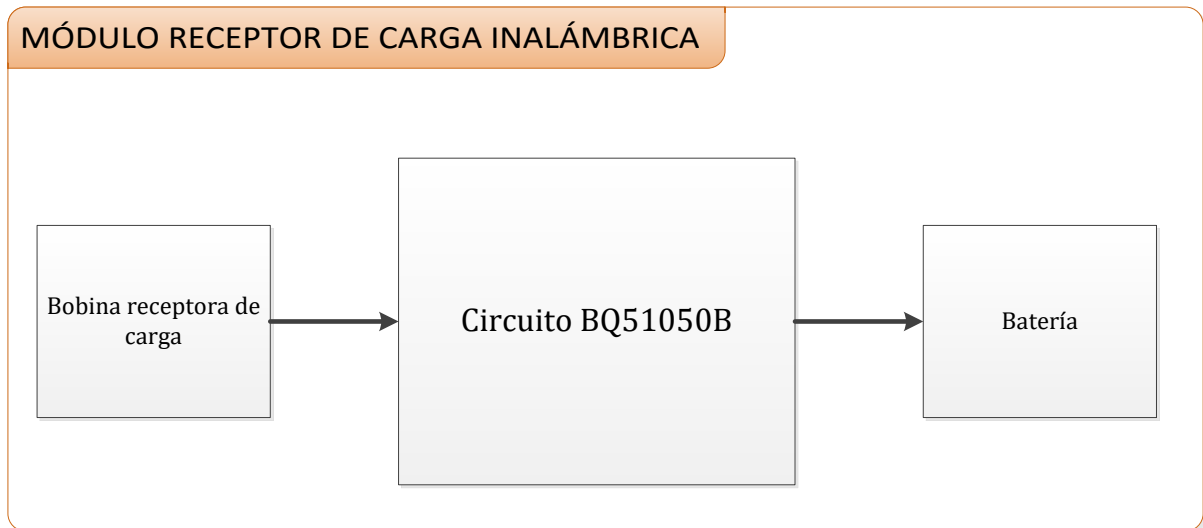


Figura 3.2 - Diagrama de bloques del módulo receptor completo

Tal y como se puede ver en la figura 3.2, una vez analizado el datasheet del chip bq51050b (ver Anexo II), se llega a la conclusión de que el sistema completo tiene que constar de tres partes:

- **Circuito bq51050B:** Este circuito es el que va a contener la unidad de elevación de potencia y la unidad de comunicación y control que se han desarrollado en el capítulo 2. Será la encargada de gestionar la carga que recibe de la base cargadora y suministrársela a la batería. El diseño de este circuito se desarrollará en el capítulo 4.
- **Bobina receptora de carga:** Es la encargada de recibir la potencia desde la base cargadora a través de inducción electromagnética y de suministrársela al circuito formado por el chip bq51050B. Su nombre más técnico es bobina secundaria y será otro de los elementos que se deben construir para este proyecto. Su diseño y construcción también se desarrolla en el capítulo 5.1 dentro de “Construcción y pruebas”.
- **Batería:** Es la encargada de almacenar la energía proveniente del circuito del chip bq51050B, para que posteriormente pueda alimentar a un microcontrolador de la marca Arduino.

3.2-Especificaciones

En este apartado se van a desarrollar las especificaciones que tienen cada una de las tres partes que forman el receptor de carga inalámbrica.

3.2.1-Bobina receptora de carga

Las especificaciones que debe tener la bobina receptora de carga vienen descritas en el documento proporcionado por el tutor (ver Anexo I). En este documento se describen dos tipos de bobinas receptoras que cumplen el estándar Qi (una rectangular y otra circular, ambas de una sola capa). La que vamos a construir en este proyecto va a ser la que tiene forma rectangular por ocupar menor espacio al ser de menores dimensiones, y así ocupar menor espacio dentro del receptor. Dicha fabricación se explica en el capítulo 5.1 dentro de “Construcción y pruebas”.

Las especificaciones físicas que debe cumplir se puede ver en las siguientes dos imágenes.

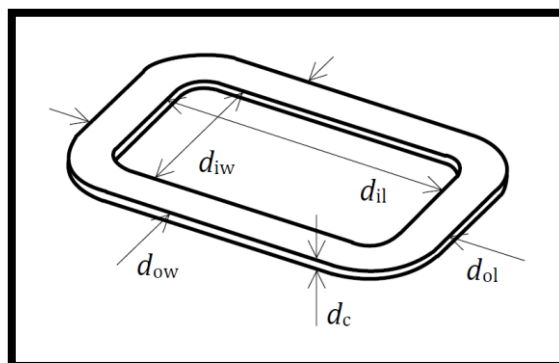


Figura 3.3 - Características físicas para el diseño de la bobina

Parameter	Symbol	Value
Outer length	d_{ol}	$44.25^{\pm 0.25}$ mm
Inner length	d_{il}	$28.75^{\pm 0.25}$ mm
Outer width	d_{ow}	$30.25^{\pm 0.25}$ mm
Inner width	d_{iw}	$14.75^{\pm 0.25}$ mm
Thickness	d_c	0.6 mm
Number of turns per layer	N	14
Number of layers	-	1

Tabla 3.1 - Rango de dimensiones para el diseño de la bobina

3.2.2-Chip bq51050B

El chip bq51050B es, según su datasheet (ver Anexo II), un receptor de carga inalámbrica y cargador de batería de alta eficiencia para aplicaciones portátiles, implementado según el estándar del protocolo Qi v1.1.

3.2.2.1-Principales características

Las principales características del chip bq51050B son las siguientes:

- Etapa única de recepción de carga inalámbrica y cargador de baterías Li-Ion/Li-Pol.
 - Combina un receptor de carga inalámbrica, un rectificador y un cargador de batería en un pequeño y único paquete.
 - Tiene dos opciones de tensión de salida para 4,2 y 4,35V.
 - Proporciona hasta 1,5A de corriente de carga.
 - 93% de eficiencia de carga
- Arquitectura robusta.
 - Tolerancia de tensión de entrada de máximo 20V, con protección de entrada a través de un circuito "OV Protection Clamp".
 - Protecciones de apagado por temperatura y sobrecorriente.
 - Monitorización de la temperatura y detección de falta.
- Compatible con el estándar industrial WPC v1.1 "Qi".
- Etapa de potencia de salida que controla el rectificador y la tensión de la batería para asegurar la máxima eficiencia a través del ciclo completo de carga.
- Disponible en dos encapsulados:
 - WCSP
 - QFN

3.2.2.2-Diagrama de bloques

En el diagrama de bloques que aparece en la figura 3.4, se pueden distinguir las partes que corresponden los 4 bloques vistos en la figura 3.1, al principio del tema.

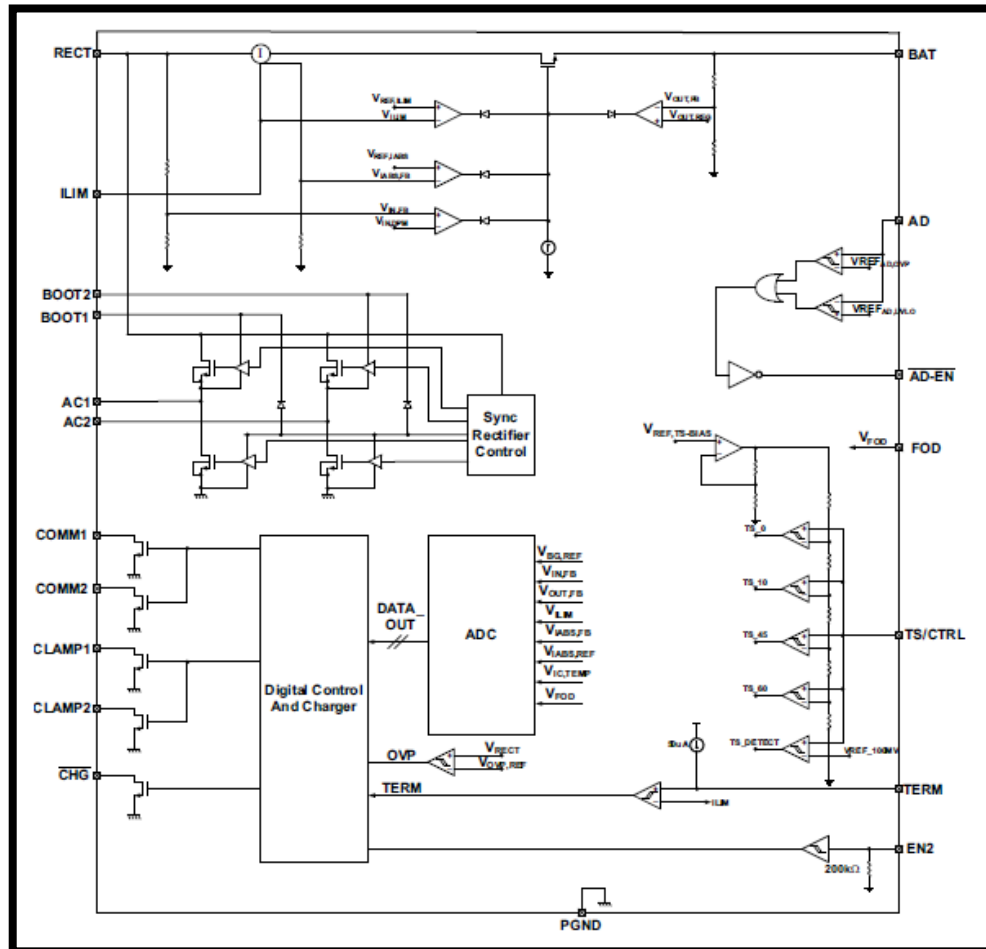


Figura 3.4 - Diagrama de bloques simplificado del chip bq51050B

3.2.2.3-Aplicaciones

Las principales aplicaciones para este chip según su datasheet, serían las siguientes:

- Paquetes de baterías.
- Teléfonos móviles ("cell phones" y "smart phones").
- Auriculares
- Reproductores multimedia portátiles.
- Otros dispositivos portátiles.

3.2.3-Batería

La batería debe cumplir tres cosas:

- El tipo de batería debe ser de tipo Li-Ion o Li-Pol, que son los dos tipos de baterías soportados por el chip bq51050B.
- La tensión de la batería debe ser de 4,2 o 4,35V, por los mismos motivos que el tipo de batería.
- La capacidad de la batería debe ser elevado para que el módulo receptor tenga una buena batería y sea capaz de mantener alimentada a la placa de Arduino durante el mayor periodo de tiempo posible.

Para este elemento, se ha tomado la decisión de coger la batería de un Smartphone, ya que actualmente este tipo de dispositivos tienen una batería que, en la mayoría de los casos, es capaz de aguantar 10 horas de un uso medianamente intenso del dispositivo, y dado que la placa de Arduino consume menos que un Smartphone actual (teniendo en cuenta la pantalla y diversos sensores además de la antena Wi-Fi), se puede pronosticar que el módulo receptor tendrá como mínimo la misma autonomía, y es posible pensar que seguramente será aún mayor.

La batería elegida es la que lleva el Smartphone BQ Aquaris 5 (por estar estropeado el terminal, pero la batería estar en buen estado), y sus características son las siguientes:

- Modelo: 366071PL
- Tipo: Li-Ion
- Tensión: 3,7V
- Tensión de carga: 4,2V
- Capacidad: 2100mAh/7,77 Wh
- Standard: GB/T18287-2013
- Fecha de fabricación: 2012-13



Figura 3.5 - Batería utilizada en el módulo receptor de carga



4-DISEÑO DEL CIRCUITO

Después de leer y entender las bases del protocolo Qi y de encontrar el chip encargado de gestionar la carga inalámbrica (*bq51050B*), el siguiente paso es empezar con el diseño del circuito para un prototipo funcional que cumpla los requisitos descritos por el tutor para este proyecto.

4.1-Esquema

El datasheet del chip *bq51050B* (ver Anexo II), proporciona un esquema para una aplicación típica de este chip (figura 4.1).

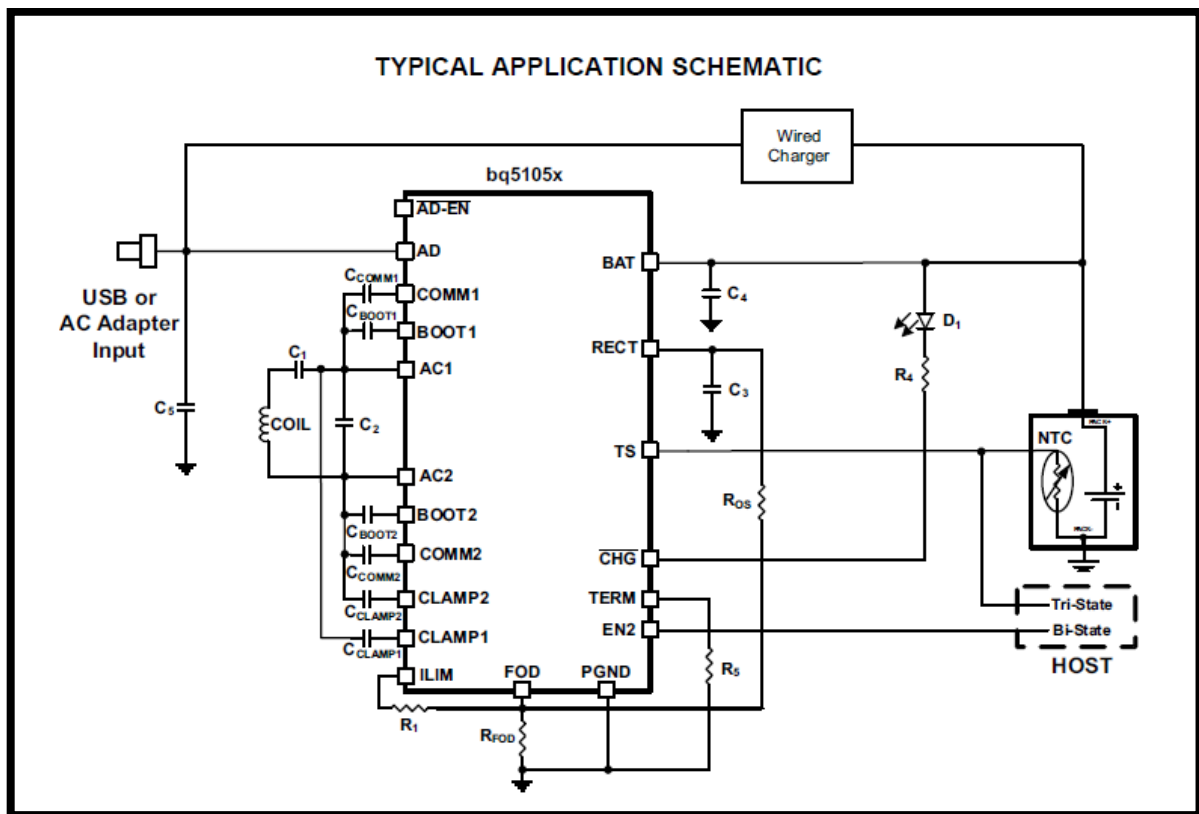


Figura 4.1 - Esquema de una aplicación típica del chip *bq51050B*

Este circuito primero se va a montar en una protoboard para comprobar el buen funcionamiento del mismo, y una vez comprobado que el funcionamiento es el correcto, se pasará al diseño de una placa de circuito impreso que formará parte del prototipo final.

4.2-Valores de los componentes

El esquema proporcionado por el datasheet del chip (ver Anexo II), no contiene los valores de los componentes. Estos valores se encuentran dispersos por las distintas secciones que lo conforman, por lo que se va a proceder a hacer una lista de los valores de los componentes indicando la parte del datasheet dónde se pueden consultar.

NOTA: *Estos valores serán los que utilicemos para el montaje tanto en protoboard como en PCB, excepto en el caso de los condensadores C_1 y C_2 , ya que se necesitan valores de la bobina a construir. Para el montaje en protoboard se van a usar valores aproximados y para el montaje en PCB, se van a usar los valores exactos medidos en el laboratorio de la bobina construida.*

- En el apartado llamado “Funciones de los pines” (pág. 8-9), además de explicar para que sirve cada uno de los pines del chip, también dice los valores de los condensadores y una resistencia que tienen asociados dichos pines:
 - $C_{BOOT1} = 10\text{nf}$ (cerámico)
 - $C_{BOOT2} = 10\text{nf}$ (cerámico)
 - $C_3 = 4,7\mu\text{F} / 22\mu\text{F}$ (cerámico)
 - $C_{CLAMP1} = 0,47\mu\text{F}$
 - $C_{CLAMP2} = 0,47\mu\text{F}$
 - $R_{FOD} = 188\Omega$

- En el apartado llamado “Battery Charge Currnt Setting Calculations”, se describe el proceso y las fórmulas para el cálculo de las resistencias dependientes de la corriente de carga que se desea según el diseño que se quiera, y un ejemplo con valores típicos para una aplicación que use este chip. En este caso se van a usar los valores del ejemplo (si fuese necesario calcularlos por un mal funcionamiento, se revisaría después de hacer el montaje en la protoboard).

$$R_{ILIM} = R_1 + R_{FOD}$$

Ecuación 4.1 - Fórmula para el cálculo de R_1 para el control de corriente

- $R_1 = R_{ILIM} - R_{FOD} = 300\Omega - 188\Omega = \mathbf{122\Omega}$

- $R_{TERM} = R_5 = 2,4K\Omega$ (para una corriente límite de 1 A de la corriente de carga que es la máxima que puede suministrar la base cargadora como se puede ver en el apartado 5.4)
- En otro apartado llamado “Modulador de la comunicación”, vienen dos tipos de modulaciones para controlar la modulación de la comunicación del receptor: una de carga resistiva y otra con carga capacitiva. Como se pueden usar ambos indistintamente, se ha elegido la capacitiva para el primer montaje, al ser éste el que viene en el esquema proporcionado por el datasheet. Más adelante, si fuese necesario por mal funcionamiento, se cambiaría al resistivo.

- $C_{COMM1} = 47nF$
- $C_{COMM2} = 47nF$

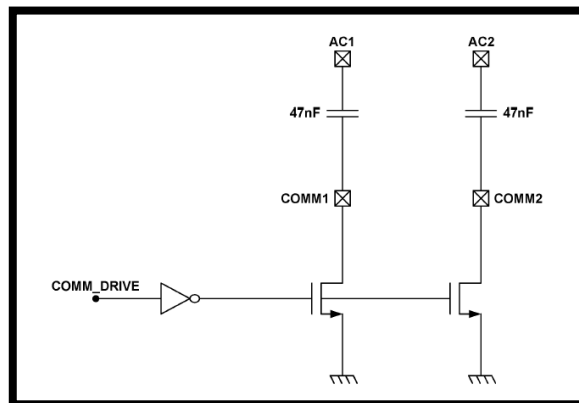


Figura 4.2 - Circuito de modulación de carga capacitiva

En este punto, solo faltarían los valores de C_1 y C_2 que corresponden a los condensadores encargados de formar el circuito resonante dual junto con la bobina. Estos datos no se proporcionan directamente en el datasheet debido a que hay que calcularlos, y dichos cálculos dependen directamente de los valores de la bobina. Estos componentes se calculan en los apartados 5.1.2 y 5.1.3 dentro de la “Fabricación de la bobina receptora”.



5-CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

Una vez se tiene claro el circuito, los siguientes pasos son el montaje en una protoboard y la construcción de la bobina, para luego acabar con el diseño del circuito en una PCB que se pueda considerar un prototipo final. Por último, se realizarán las pruebas para comprobar la estabilidad del prototipo construido

5.1-Fabricación de la bobina receptora

Para la construcción de la bobina receptora, se han tenido en cuentas las características físicas descritas en el apartado 3.2.1 del proyecto.

Este proceso no fue trivial, por lo que hubo varios intentos fallidos hasta conseguir el modelo definitivo que requirió del diseño y construcción de un “asistente para fabricar bobinas”, que explicaré con detalle más adelante.

En un primer intento, la forma de construirla se basaba en pintar en una cartulina las dimensiones interiores que debe tener la bobina, y con paciencia y pegamento de contacto para no eternizar el proceso, ir dando forma a la bobina hasta cumplir las 14 vueltas que debe tener. Este proceso fue un fracaso y a las pocas vueltas se descartó por quedar bastante irregular y poder afectar a la eficiencia de la carga, además, el pegamento de contacto acababa despegándose de la cartulina con cada vuelta lo que hacía imposible hacer más de dos o tres vueltas sin tener que hacer un nuevo intento. En la figura 5.1 se pueden ver el resultado.

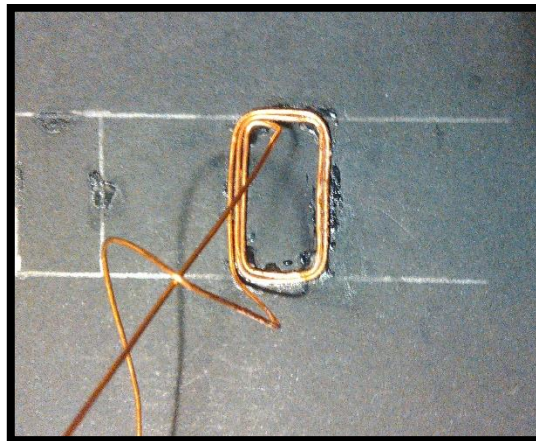


Figura 5.1 - Primer intento de fabricación de la bobina receptora

Ante este fracaso, se decide idear alguna solución que permitiese una construcción sencilla de la bobina y cuyos resultados fueran lo más parecidos posibles a una bobina receptora comercial. Después de descartar varias soluciones, se decidió apostar por una de ellas cuya elaboración era bastante sencilla y podía dar unos resultados bastante óptimos. Esta solución la he denominado “asistente para fabricar bobinas” y en el apartado siguiente se explica en que consiste.

5.1.1-Asistente para fabricar bobinas

Este asistente para fabricar bobinas, consiste en 4 arandelas del grosor del cable de cobre y sujetas por tornillos, separando dos tablas de madera. Dichas arandelas están colocadas formando un rectángulo, de tal manera que, si enrollas el cable de cobre alrededor de ellas, la forma que adquiere la primera vuelta se corresponde con la forma y las dimensiones interiores que debe cumplir la bobina (figura 5.3). Para que al sacarla del asistente la bobina no se desmontase, se decide hacerle cuatro huecos con forma de "líneas" gruesas cuya dirección es perpendicular a las 4 aristas de la bobina, para poder aplicar pegamento y garantizar que no sufra daños durante dicho proceso. En la figura 5.2 se pueden ver las partes que componen este "asistente".



Figura 5.2 - Componentes del "Asistente" para fabricar bobinas

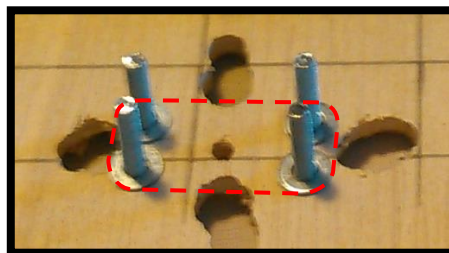


Figura 5.3 - Vista en detalle de la colocación de las arandelas entre las dos tablas de madera

Aunque los huecos se pensaron desde un principio, en un primer intento solo se habían hecho los laterales y un agujero en uno de los extremos (figura 5.4), por lo que, al sacar la bobina se rompió y hubo que hacerlos más grandes para los posteriores intentos.

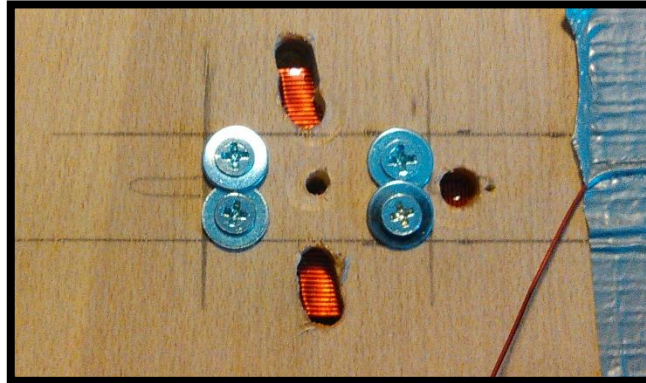


Figura 5.4 - Vista en detalle de los orificios del primer intento con el "asistente"

En la figura 5.5 puede verse el resultado de este segundo intento.



Figura 5.5 - Segundo intento de fabricación de la bobina receptora

Una vez solucionado lo de los orificios, se hizo otro intento y en este caso el fallo fue el exceso de fuerza a la hora de dar las vueltas al hilo de cobre, por lo que quedó deformada por uno de los laterales (figura 5.6).



Figura 5.6 - Tercer intento de fabricación de la bobina receptora

El cuarto intento fue el definitivo gracias a aplicar lo aprendido en los fallos de fabricación de los dos anteriores. A continuación, puede verse el proceso y, posteriormente, se puede ver el resultado final (figura 7.7).

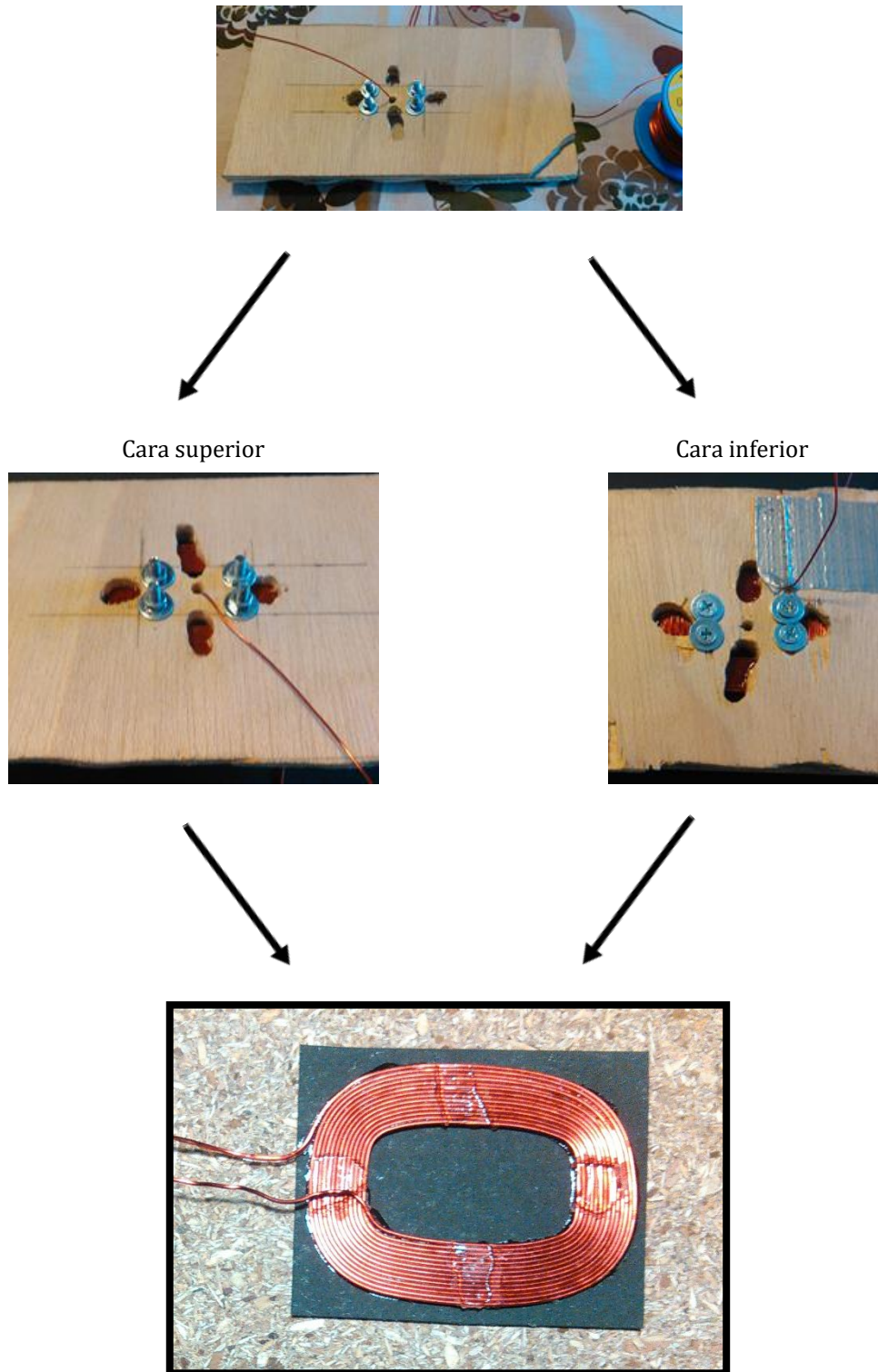


Figura 5.7 - Fabricación final de la bobina receptora

Esta es la bobina que se va a usar tanto para el montaje en protoboard, como en el montaje final en PCB.

5.1.2-Cálculos teóricos (Protoboard)

Llegado este momento, ya solo falta saber el valor de los condensadores que forman el circuito resonante dual junto con la bobina (C_1 y C_2), que influyen directamente en la eficiencia de la carga. Para este fin, el datasheet del chip (ver Anexo II), proporciona unas fórmulas cuyos datos a introducir deben ser medidos, ya que dependen directamente de la bobina construida (forma geométrica, dimensiones y características del material). Todo esto nos lleva a poder seleccionar los condensadores que harán de filtro en la bobina y asegurarnos de que tiene un factor de calidad que haga que la carga se realice de la forma más eficiente posible, evitando armónicos que produzcan calentamientos innecesarios en el chip.

Las fórmulas que proporciona el datasheet son las siguientes:

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi \times f_s)^2 \times L'_s}$$
$$C_2 = \left((f_D \times 2\pi)^2 \times L_s - \frac{1}{C_1} \right)^{-1}$$

Ecuación 5.1 - Fórmulas para calcular los condensadores de la bobina de carga

$$Q = \frac{2\pi \times f_D \times L_s}{R}$$

Ecuación 5.2 - Fórmula para calcular el factor de calidad de la carga

Dónde el datasheet proporciona los siguientes datos:

- $f_s = 100\text{KHz}$
- $f_D = 1\text{MHz}$

Y los datos que tenemos que calcular son:

- L_s = Inductancia de la bobina a una frecuencia de 100KHz y 1-V RMS.
- L'_s = Inductancia de espacio libre.
- R = Resistencia en c.c. de la bobina receptora.

En esta primera parte de los cálculos que corresponden a la protoboard, vamos a usar para la inductancia valores aproximados conseguidos a través de calculadoras de inductancias on-line [16], a partir de su forma geométrica y su tamaño (los datos introducidos son los que aparecen en el documento proporcionado por el tutor), con el fin de hacer un primer prototipo en el menor tiempo posible, y comprobar que funciona correctamente. Podemos verlo con más detalle en la siguiente figura (ver figura 5.8).

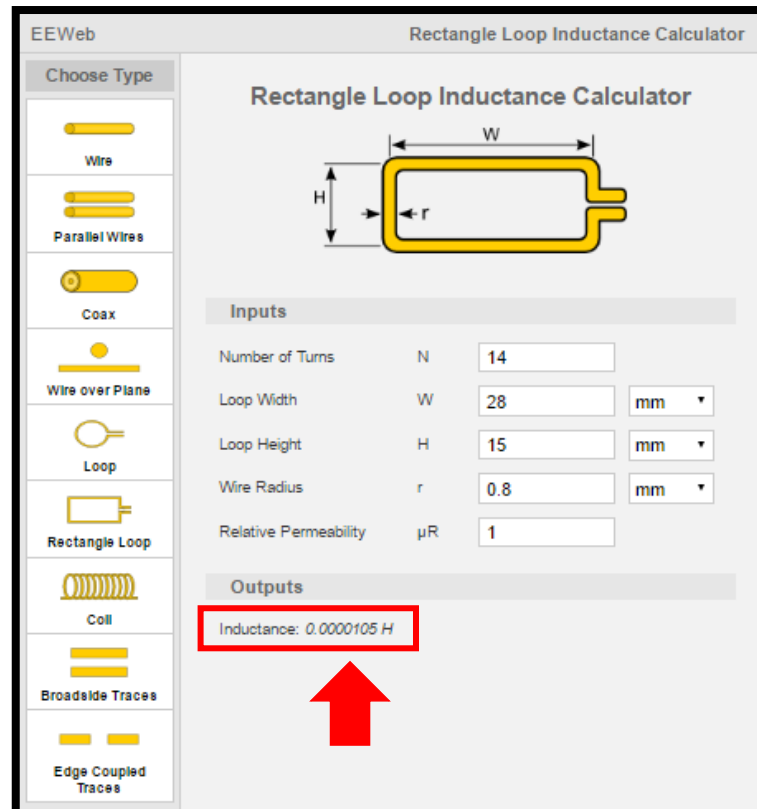


Figura 5.8 - Calculadora on-line de bobinas según el tipo y sus dimensiones.

Para el cálculo de la L's, ante la imposibilidad de montar el banco de pruebas descrito en el datasheet, se decidió mirar en internet valores típicos de bobinas receptoras que utilizaran el protocolo Qi, y aunque fue difícil, al final encontré esta lista en un documento llamado "Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1" [4].

Las tablas son la siguientes:

COIL DIMENSIONS (mm)	TURNS	V _{OUT} (V)	P _{OUT} (W)	L ₂₂ (μH)	k
48 × 32	15	5	5	12	~0.6
28 × 14	24	5	2.5	33	~0.25
35 × 35	24	7	5	22	~0.5

Tabla 5.1 - Ejemplos de bobinas típicas.

	L _S	L _{S_m}	L _{S_b}	L _{S_m_b}	L _S	L _{S_b}
Inductance (μH)	12.9	13.1	10.5	10.6	10.9	9.52
Resonance (kHz)	90.15	89.63	100	99.72	98.15	105.02

Tabla 5.2 - Ejemplo de inductancia de una bobina típica de receptor QI.

- L_S = 10,9 μH
- L_S' = 12.9 μH

El valor de la resistencia en continua se midió con un polímetro (figura 5.9).



Figura 5.9 - Medida del valor de la resistencia en c.c. de la bobina

- R = 200 mΩ

Por lo tanto, sustituyendo en las fórmulas anteriores nos queda:

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi \times 100 \times 10^3)^2 \times 12,9 \times 10^{-6}} = \mathbf{196,36nF}$$

$$C_2 = \left((10^6 \times 2\pi)^2 \times 10,9 \times 10^{-6} - \frac{1}{200 \times 10^{-3}} \right)^{-1} = \mathbf{2,32nF}$$

$$Q = \frac{2\pi \times 10^6 \times 10,9 \times 10^{-6}}{200 \times 10^{-3}} = \mathbf{342,4 > 77}$$

5.1.3-Cálculos teóricos (PCB)

Después de haber realizado los cálculos para el modelo en protoboard, y habiendo corroborado que el prototipo funciona, se realizaron los cálculos reales de los condensadores asociados a la bobina a partir de los datos obtenidos en el laboratorio de la bobina real del prototipo. Para el cálculo de dichos condensadores, se van a utilizar las mismas fórmulas proporcionadas por el datasheet del chip vistas en el apartado 5.1.2, pero esta vez se utilizan los valores reales:

Dónde el datasheet proporciona los siguientes datos (igual que en el caso anterior):

- $f_s = 100\text{KHz}$
- $f_D = 1\text{MHz}$

Para las medidas de los distintos datos de la bobina, se ha utilizado un medidor de bobinas que mide tanto la inductancia a distintas frecuencias, como la resistencia en corriente continua de la misma. Dichas mediciones se pueden ver en las siguientes figuras que se muestran a continuación.



Figura 5.10 - Medición de la inductancia L_s de la bobina receptora



Figura 5.11 - Medición de la inductancia L'_s de la bobina receptora



Figura 5.12 - Medición de la resistencia en c.c. de la bobina receptora

Por lo tanto, los datos medidos en el laboratorio son:

- $L_S = 9,36 \mu\text{H}$
- $L'_s = 12.65 \mu\text{H}$
- $R = 112 \text{ m}\Omega$

Con todos los datos de la bobina obtenidos, sustituyendo en las fórmulas anteriores nos queda:

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi \times 100 \times 10^3)^2 \times 12,65 \times 10^{-6}} = \mathbf{200\text{nF}}$$

$$C_2 = \left((10^6 \times 2\pi)^2 \times 9.36 \times 10^{-6} - \frac{1}{112 \times 10^{-3}} \right)^{-1} = \mathbf{2,7\text{nF}}$$

$$Q = \frac{2\pi \times 10^6 \times 9,36 \times 10^{-6}}{112 \times 10^{-3}} = 525,1 > 77$$

5.2-Montaje en Protoboard

5.2.1-Diseño

Para iniciar el montaje en protoboard, hacía falta decidir el tipo de encapsulado del chip bq51050B, ya que ambos encapsulados disponibles para este chip necesitan estar soldados en una PCB simulando un “zócalo” para poderse pinchar en una protoboard, y esta PCB debe ser diseñada específicamente para un modelo u otro (figura 5.13).

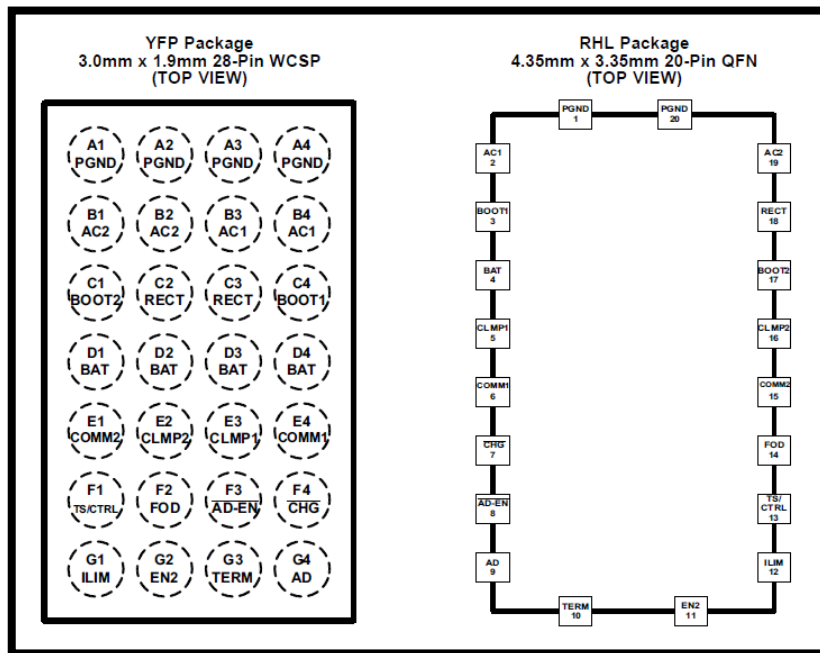


Figura 5.13 - Tipos de encapsulados del chip bq51050B

Por consejo del tutor escogimos el encapsulado QFN (a la derecha en la imagen de arriba), ya que el otro encapsulado era más complicado de soldar para los técnicos del laboratorio de electrónica de la universidad y ya habían tenido problemas con ese tipo de encapsulado en otra ocasión.

5.2.1.1-Zócalo para el chip bq51050B

Una vez escogido el encapsulado, se pasa a diseñar el zócalo en PCB. El programa elegido para el diseño de las placas desarrolladas en este proyecto, es el programa “Eagle” que tiene una versión gratuita con ciertas limitaciones, pero que para este proyecto no nos afectan.

Como en la base de datos de componentes de dicho programa no viene incluido el chip bq51050B, se tuvo que añadir descargando los archivos desde la página de RS que fue donde se compraron los chips, y luego convertirlos a un formato reconocible por el programa Eagle a través de un programa llamado “Ultra Librarian (CIS)”.

A continuación, se muestran el esquemático y la PCB diseñada para el chip, que también están incluidas en el Anexo III.

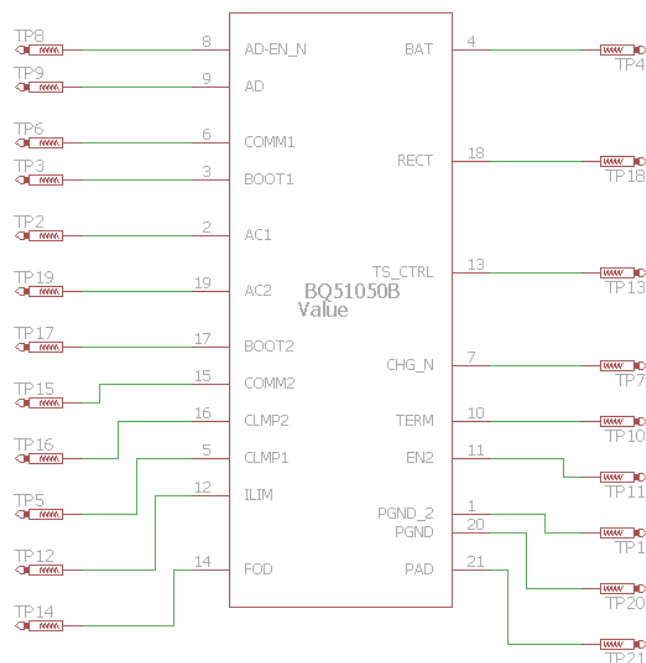


Figura 5.14 - Esquema del zócalo para el chip bq51050B

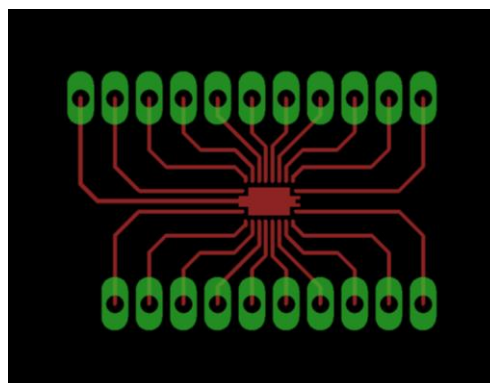


Figura 5.15 - PCB del zócalo para el chip bq51050B

Con el diseño terminado, los encargados de la fabricación y del soldado del chip en la PCB han sido los técnicos del departamento de electrónica de la universidad. El resultado final es el que se puede ver en la siguiente imagen (figura 7.11).

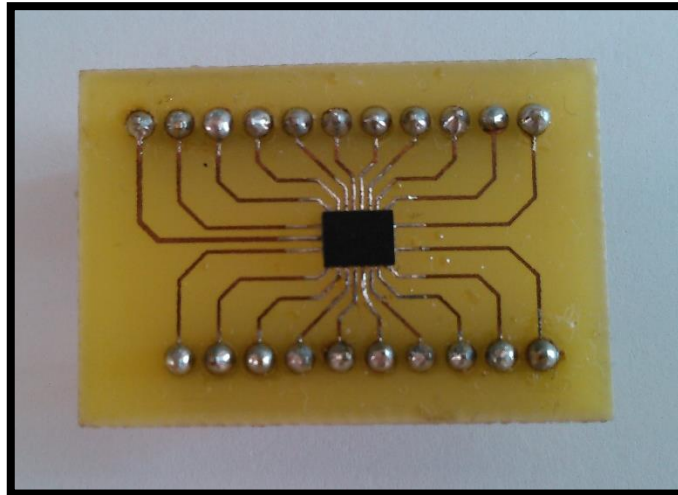


Figura 5.16 - PCB del zócalo para el chip bq51050B (vista superior)

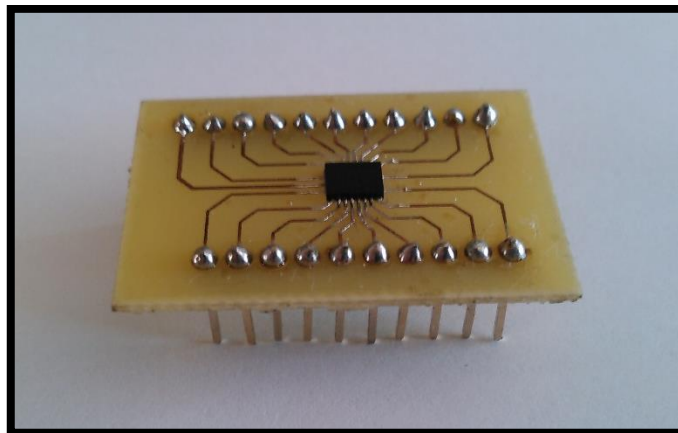


Figura 5.17 - PCB del zócalo para el chip bq51050B (vista inclinada)

5.2.2-Montaje

Una vez que se conocen los valores de todos los componentes, se procede al montaje en protoboard para ver si el circuito funciona de la manera esperada. El resultado se puede ver en las dos imágenes siguientes, una con el circuito en reposo y otra con el circuito en funcionamiento.

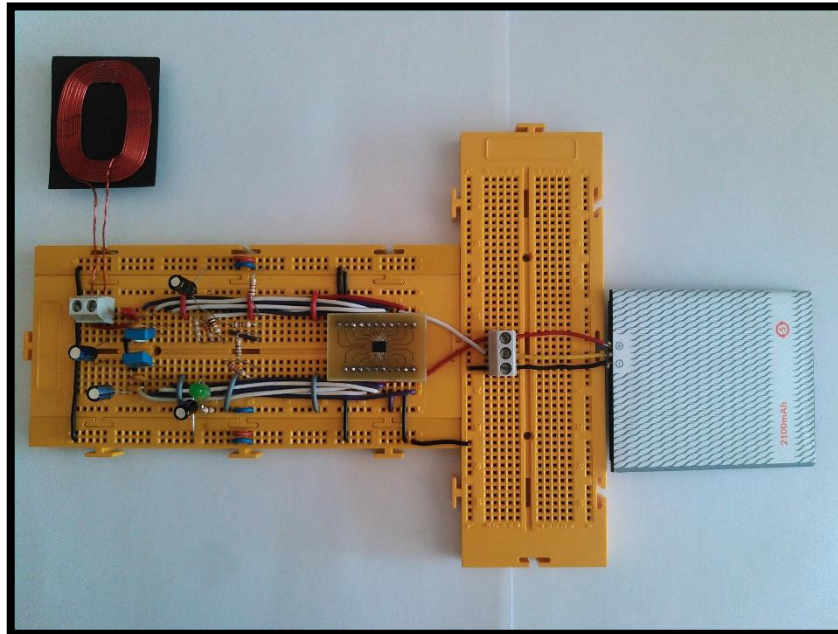


Figura 5.18 - Montaje del módulo receptor completo en protoboard

En la figura 5.19 se puede ver como el montaje en protoboard comienza a cargar cuando se coloca en el radio de acción de la base cargadora (están encendidos tanto el led de carga de la base cargadora como el del receptor), por lo que el circuito funciona de la manera esperada.

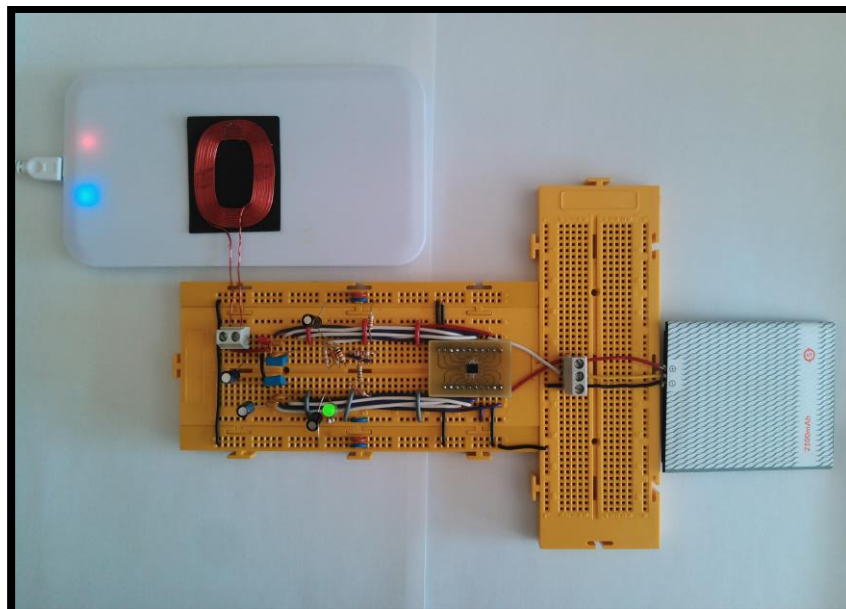


Figura 5.19 - Montaje del módulo receptor completo en protoboard (en funcionamiento)

5.3-Diseño y montaje en PCB

Una vez que se ha verificado que el circuito funciona correctamente en la protoboard, el siguiente paso es diseñar el circuito en PCB para el prototipo final. En esta parte se ha usado el programa Eagle para el diseño de la placa, al igual que para diseñar el zócalo para el chip bq51050B.

5.3.1-Diseño

5.3.1.1-Circuito para el chip bq51050B

El diseño del circuito en PCB estaba condicionado por el uso del zócalo diseñado en el apartado 5.2.2.1, ya que por la dificultad que conlleva el soldado de este chip, solo se disponía del que se ha usado en el montaje en la protoboard. Con este requisito, se realizó el diseño del esquemático, el cual se muestra a continuación (ver figura 5.20) y que también está incluido en el Anexo IV.

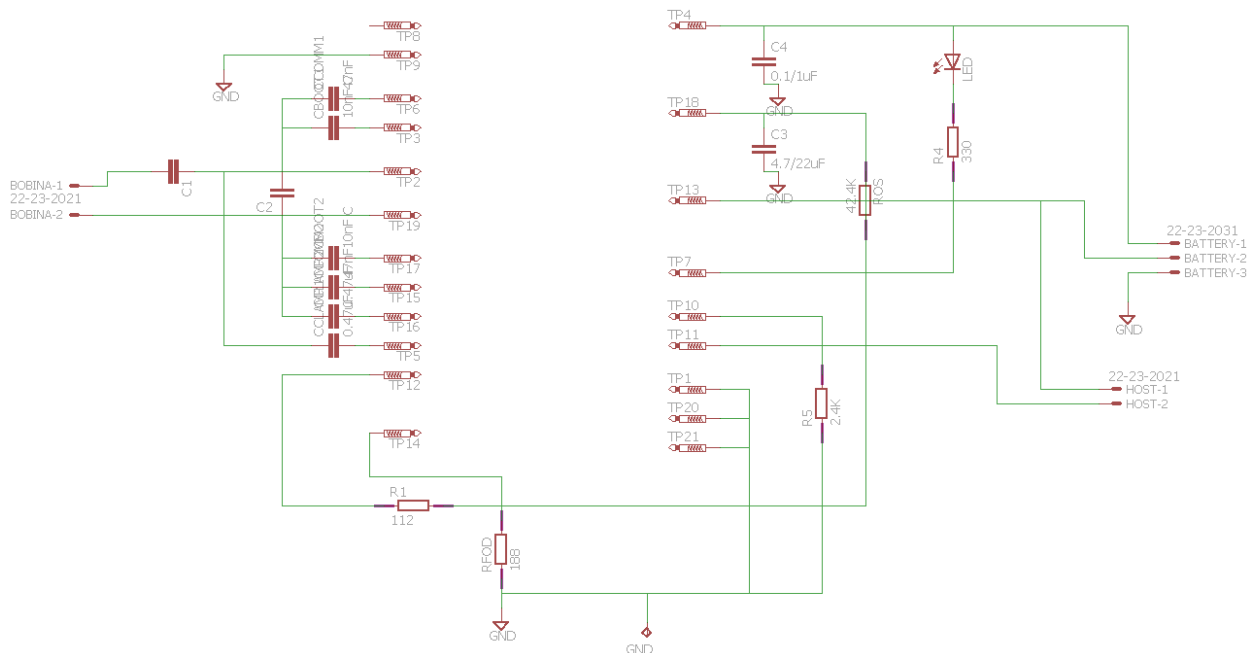


Figura 5.20 - Esquema del circuito para el chip bq51050B

Una vez se ha realizado el esquemático, se procede al diseño de la PCB. Este proceso fue largo ya que se realizaron varios diseños hasta llegar al definitivo. La mayoría de problemas surgieron por los siguientes motivos:

- Ancho de las pistas

Ante la especificación de que el chip era capaz de suministrar a la batería una corriente de carga de hasta 1A, el ancho de las pistas era un aspecto crítico en el diseño, ya que podía quemarse alguna de ellas al no poder soportar el paso de tanta corriente durante un elevado periodo de tiempo. Los primeros diseños tuvieron que ser modificados en este aspecto para evitar esta debilidad.

- Imposibilidad de más de dos capas y sin vías

Para que el diseño de la PCB se pudiese fabricar en la universidad y así acortar los tiempos de recepción de las placas, el diseño tuvo como requisito el que, como máximo, pudiese tener dos capas y sin vías. Estas restricciones trajeron consigo la limitación de no poder usar componentes SMD (lo que hubiese reducido considerablemente el tamaño de la placa). Estas consideraciones son una de las recomendaciones para las líneas futuras.

- Diámetro exterior de los pads

Otro de los problemas que tuvo uno de los diseños, era que los pads que venían por defecto en Eagle para los resistencias y condensadores “típicos”, eran demasiado pequeños y, por lo tanto, al realizar los taladros se quitaba el cobre de los pads, lo que hacía imposible soldar los componentes a la placa.

Después de tres diseños defectuosos y las posteriores fabricaciones de dichas PCBs, por los cuales se tuvieron que añadir las correcciones que daban solución a los tres puntos anteriores, se llega al modelo definitivo que es el que se muestra en las siguientes figuras y que también se pueden ver en el Anexo IV.

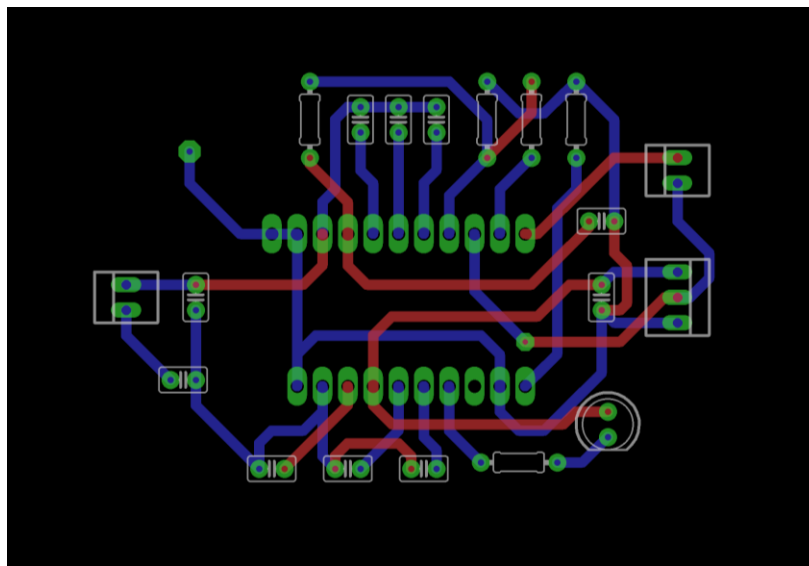


Figura 5.21 - PCB del circuito para el chip bq51050B (componentes)

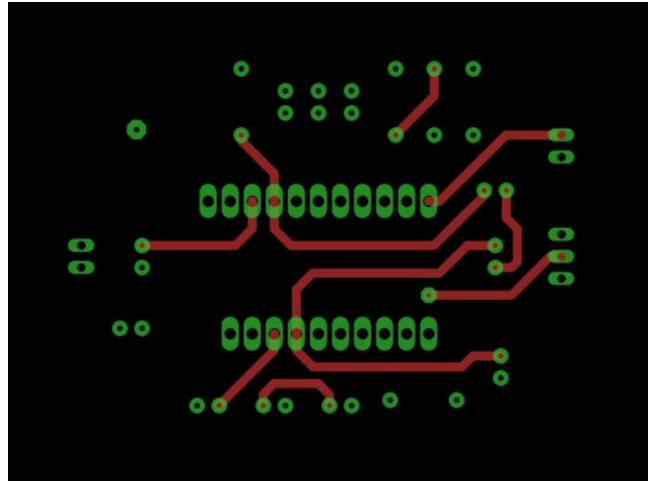


Figura 5.22 - PCB del circuito para el chip bq51050B (TOP)

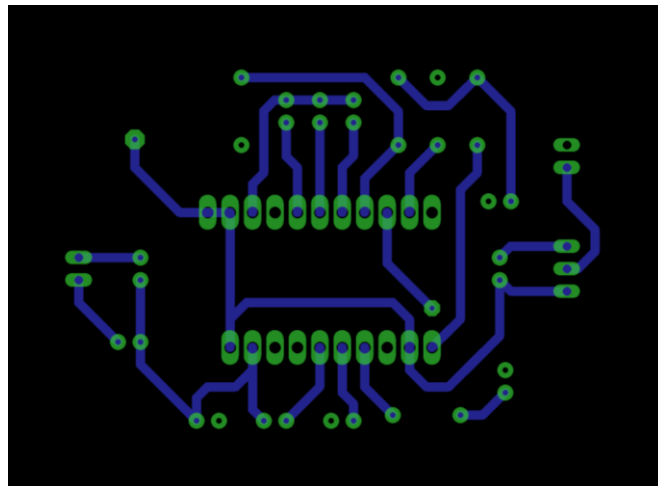


Figura 5.23 - PCB del circuito para el chip bq51050B (BOTTOM)

5.3.2-Fabricación

Esta fase la realizaron los técnicos de electrónica de la universidad a partir de las dos capas de la placa impresas en papel cebolla proporcionadas por mí a lo largo de los distintos diseños, ya que se construyeron tres distintas hasta llegar a la definitiva como se ha comentado en el apartado 5.3.1.1. Gracias a la corrección de errores en los distintos diseños, esta es la PCB definitiva del prototipo y en la que se van a soldar los componentes dentro del apartado 5.3.3 de este capítulo. En las siguientes dos figuras, podemos ver el resultado final en el que me entregaron la PCB antes de proceder al soldado de los componentes.

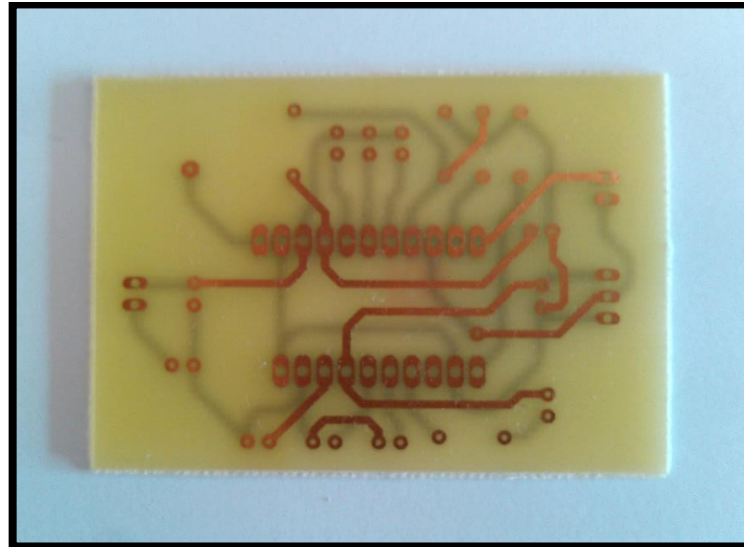


Figura 5.24 - PCB del circuito del chip bq51050B sin montar (TOP)

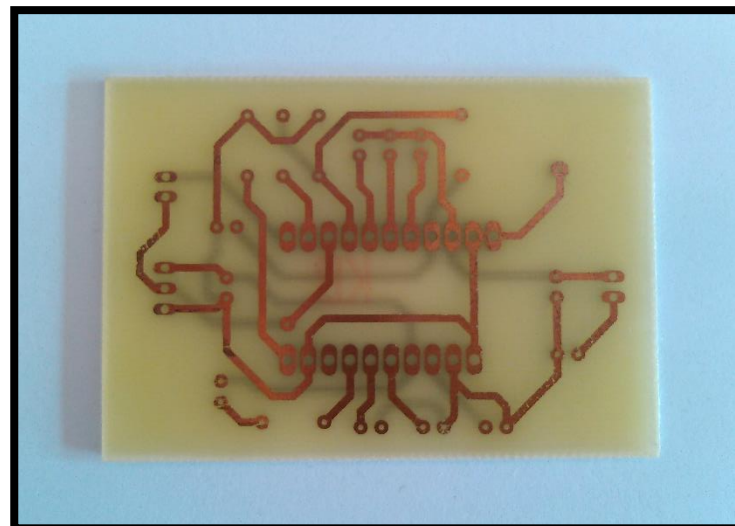


Figura 5.25 - PCB del circuito del chip bq51050B sin montar (BOTTOM)

5.3.3-Montaje

Con la PCB del módulo receptor ya fabricada, el siguiente paso es proceder al soldado de los distintos componentes, teniendo en cuenta que los componentes van a ser los mismos que en el montaje en la protoboard a excepción de los condensadores dependientes de la bobina, que se ha recalculado su valor de un tipo de montaje al otro al haber conseguido obtener los datos de la bobina real construida. En las siguientes figuras se puede ver el resultado final de la PCB.

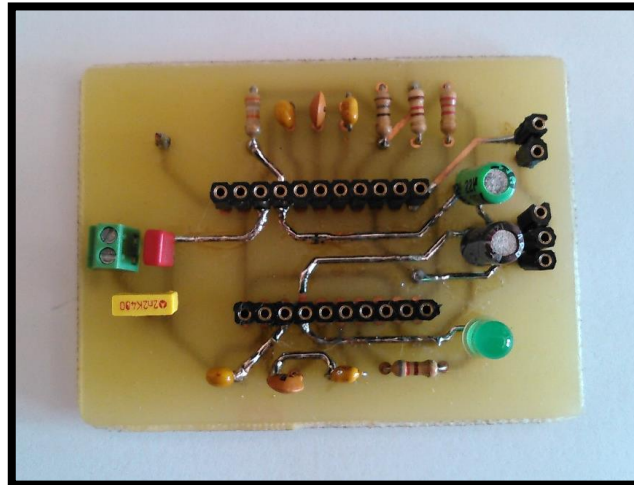


Figura 5.26 - PCB del circuito del chip bq51050B final (TOP)

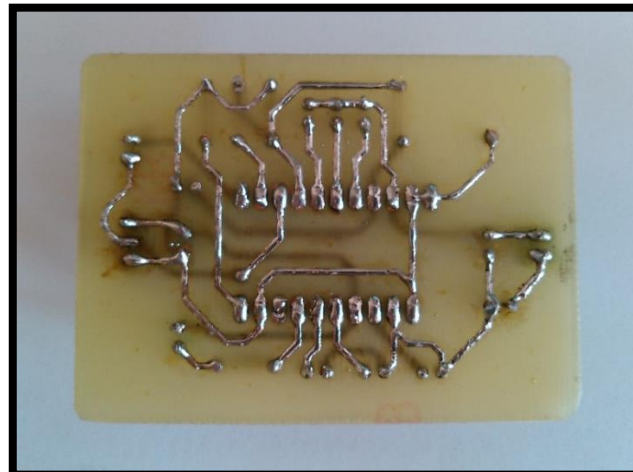


Figura 5.27 - PCB del circuito del chip bq51050B final (BOTTOM)

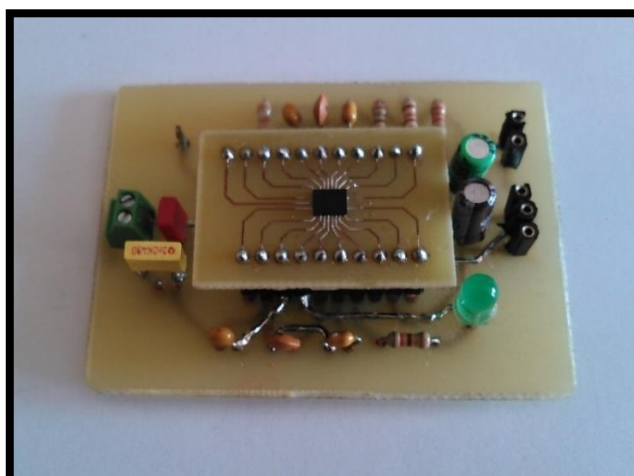


Figura 5.28 - PCB del circuito del chip bq51050B con el zócalo conectado

Como se puede ver en la figura 5.27, por problemas en las continuidades en algunas de las pistas (sobre todo en la capa inferior) y para asegurar la disipación del calor de las mismas, se las ha aplicado un recubrimiento de cobre para evitar que sufran daños durante el paso elevado de corriente y asegurar la continuidad del circuito bajo cualquier circunstancia.

En la figura 5.29 podemos ver el montaje final en PCB del módulo receptor completo y, a continuación, en la figura 5.30 se puede ver al igual que con la protoboard, como el montaje en PCB comienza a cargar cuando se coloca en el radio de acción de la base cargadora (están encendidos tanto el led de carga de la base cargadora como el del receptor), por lo que el circuito funciona de manera correcta.

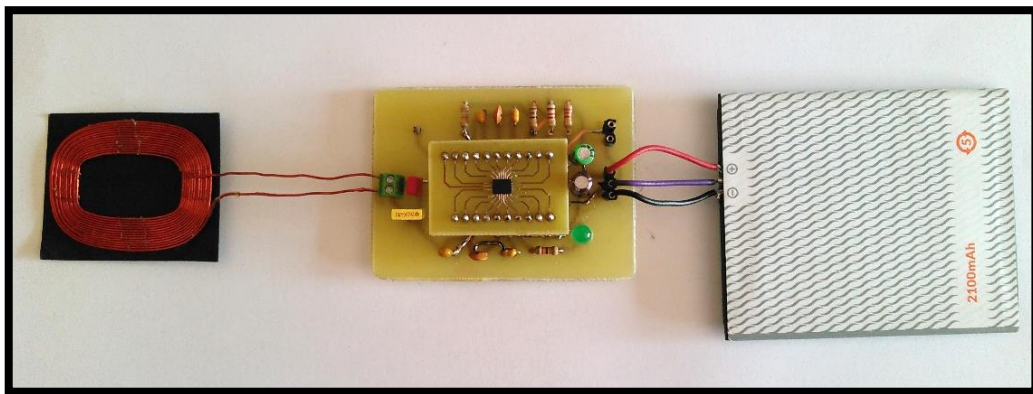


Figura 5.29 - Montaje del módulo receptor completo en PCB

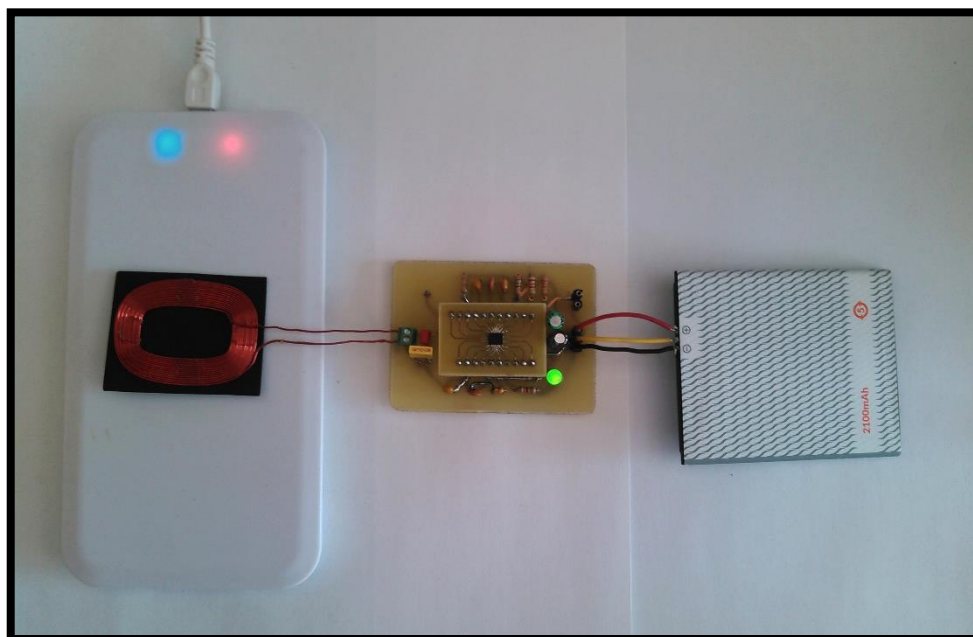


Figura 5.30 - Montaje del módulo receptor completo en PCB (en funcionamiento)

5.4-Modelo de la base cargadora



El transmisor de carga inalámbrica usado en este proyecto, es una base de carga suministrada por el tutor cuyo modelo es MC-02A y es compatible con el estándar Qi. Tiene como principales características las siguientes:

- Modelo: MC-02A
- Entrada: 240V/2A
- Salida: 5V/1A
- Compatible con el estándar Qi
- Luces indicativas de estado

5.5-Pruebas y medidas

Cuando se ha realizado el montaje en protoboard del módulo receptor de carga inalámbrica, se ha verificado que la batería cargaba comprobando con un polímetro que la tensión en bornes de la batería aumentaba cuando se encendían los leds tanto de la base cargadora como del módulo receptor (ver figura 5.30).

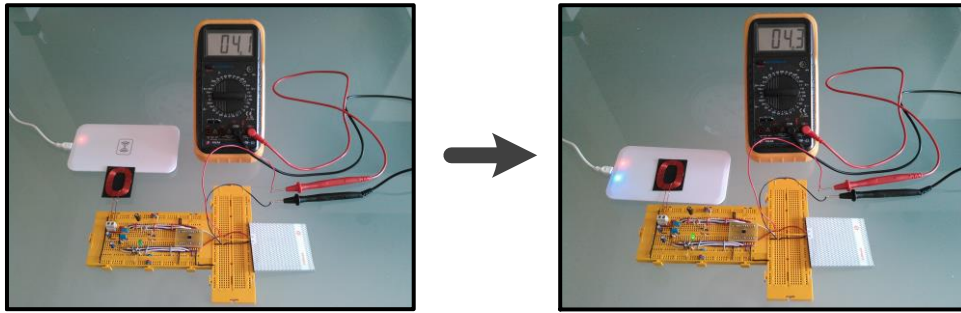


Figura 5.31 - Transición de reposo a carga comprobada con polímetro

También se ha verificado con un osciloscopio que ciertas señales del circuito eran como las que vienen de ejemplo en el datasheet del chip bq51050B. En los siguientes apartados se pueden ver la comparación de las distintas señales en ambos tipos de montaje.

A continuación, en la figura 5.32 se muestra un esquema indicando en que parte del circuito se han tomado las medidas en el laboratorio (las medidas corresponden a los condensadores), las cuales se van a comparar con las proporcionadas por el datasheet.

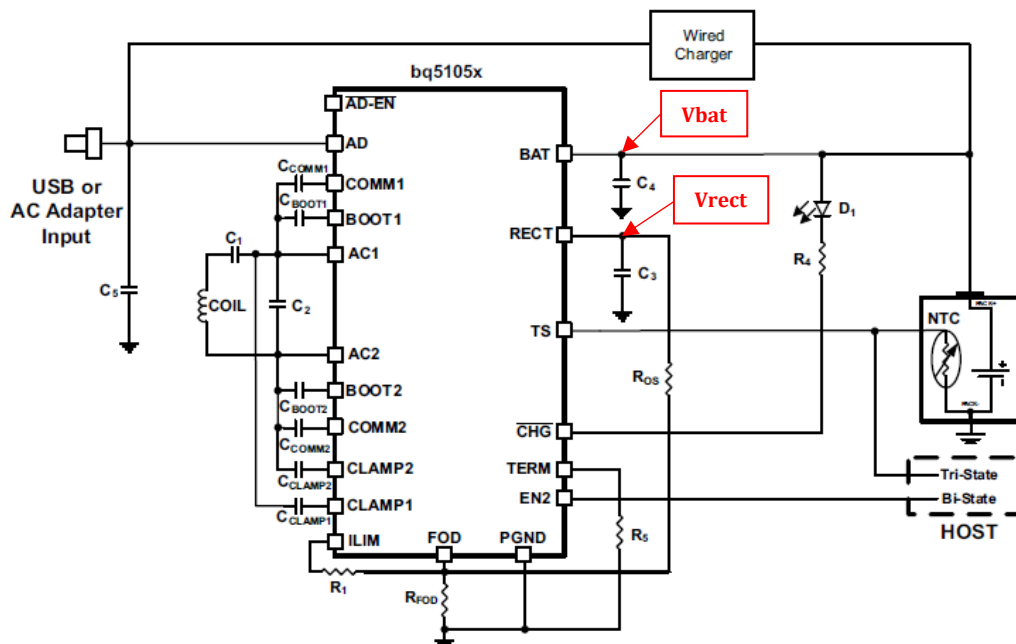


Figura 5.32 - Medidas realizadas en el laboratorio con osciloscopio

5.5.1-Protoboard

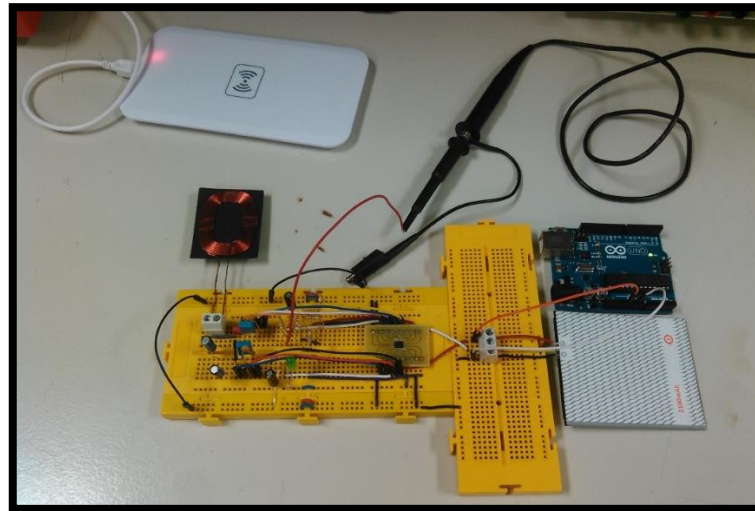
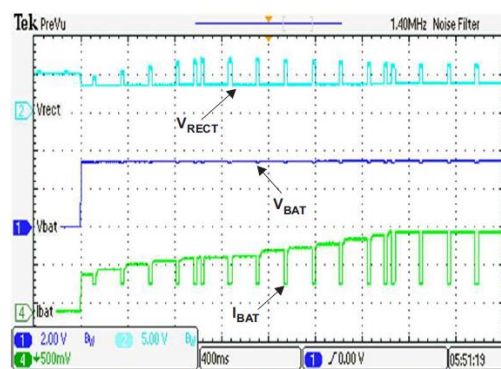


Figura 5.33 - Montaje en el laboratorio del módulo receptor en protoboard

Medidas realizadas



- Vrect

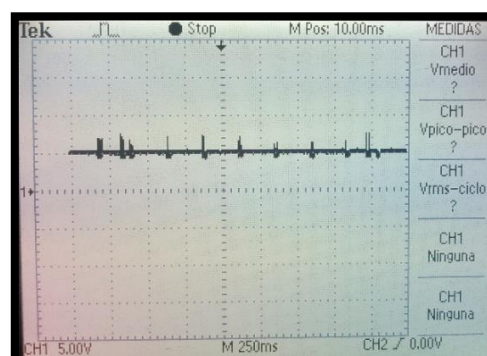


Figura 5.34 - Señal de Vrect medida con osciloscopio (protoboard)

- V_{bat} (cargando)

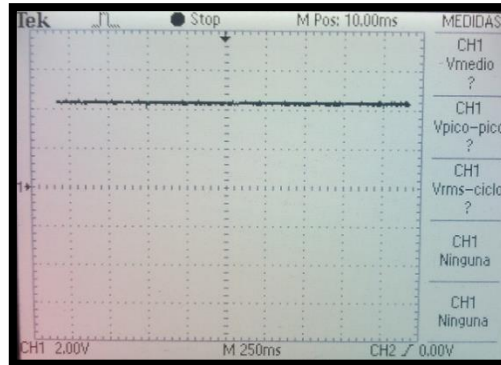


Figura 5.35 - Señal V_{bat} medida con osciloscopio T=250ms (protoboard)

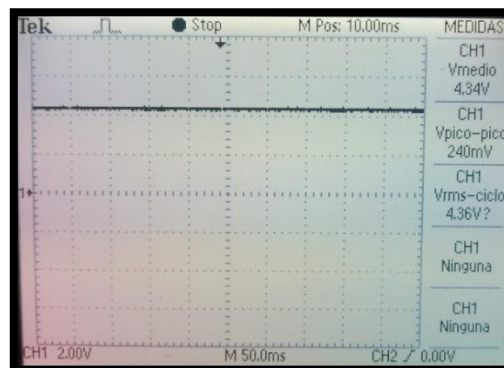


Figura 5.36 - Señal V_{bat} medida con osciloscopio T=50ms (protoboard)

**NOTA: Como con la base de tiempos que viene en la imagen proporcionada por el datasheet el osciloscopio no era capaz de mostrar las diferentes medidas numéricas, en la segunda imagen se ha bajado la escala hasta T=50ms, dejando en la primera imagen la escala "original" de T=250ms.*

5.5.2-PCB

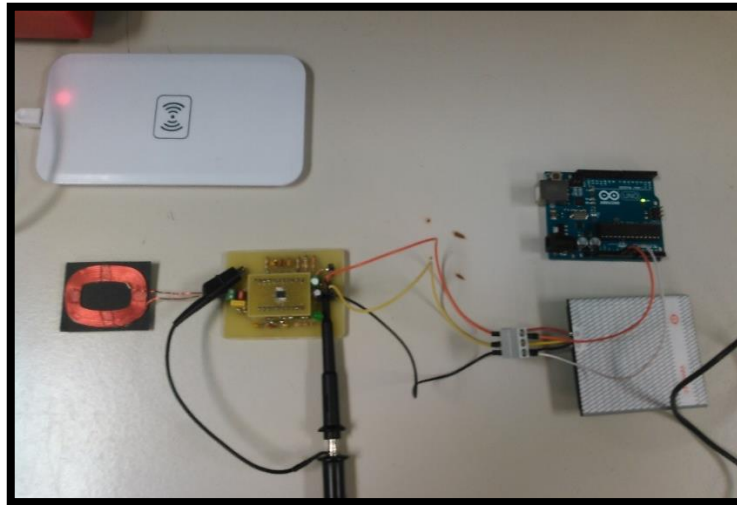


Figura 5.37 - Montaje en el laboratorio del módulo receptor en PCB

Medidas realizadas

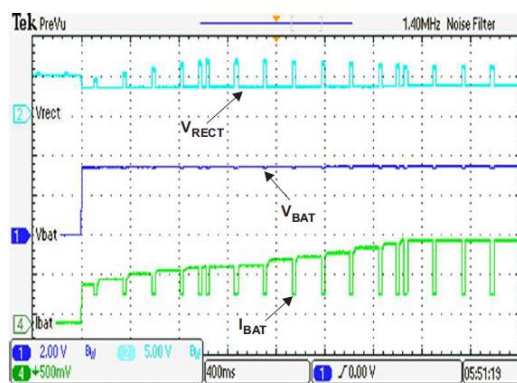


Figure 10. Battery Insertion in Fast-Charge Mode

- Vrect

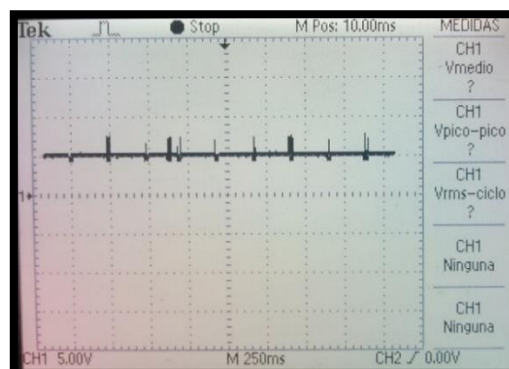


Figura 5.38 - Señal de Vrect medida con osciloscopio (PCB)

- V_{bat} (cargando)

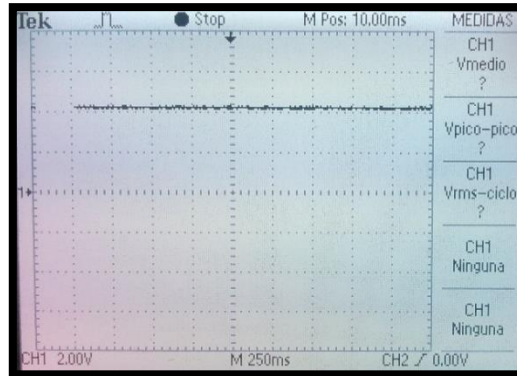


Figura 5.39 - Señal Vbat medida con osciloscopio T=250ms (PCB)

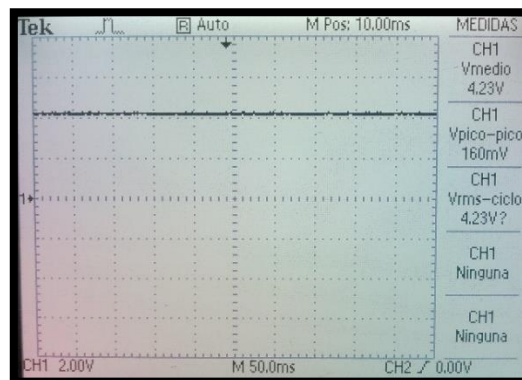


Figura 5.40 - Señal Vbat medida con osciloscopio T=50ms (PCB)

*NOTA: Como con la base de tiempos que viene en la imagen proporcionada por el datasheet el osciloscopio no era capaz de mostrar las diferentes medidas numéricas, en la segunda imagen se ha bajado la escala hasta T=50ms, dejando en la primera imagen la escala "original" de T=250ms.



6-EJEMPLO DE APLICACIÓN CON ARDUINO

Como se ha explicado en los objetivos dentro del primer capítulo, el objetivo del módulo receptor es ser capaz de cargar una batería, y que ésta a su vez pueda alimentar a una placa de Arduino para monitorizar ondas de ECG. Aprovechando dicho microcontrolador, se ha diseñado un programa que es capaz de comprobar dos cosas:

- Medir el nivel de tensión de la batería a través del ADC que viene integrado en la placa Arduino.
- Sabiendo que la tensión que proporciona el módulo cargador a la batería es fijo y un poco superior a la tensión de la batería, se puede comprobar si la batería se está cargando de manera correcta.

6.1-Software (para verificar la carga)

```
int battery = X;           //Patilla del ADC conectada a la batería (depende del montaje)
int batteryVoltageDAC = 0; //Variable para guardar la medida del ADC
float batteryVoltage = 0;  //Variable para guardar el valor real de la batería

void setup () {
    Serial.begin(9600);    //Se inicia la comunicación serie para imprimir por pantalla
}

void loop () {
    batteryVoltageADC = analogRead (battery);
    batteryVoltage = 5 * (batteryVoltageADC / 1024);           //ADC = 10bits
    if (batteryVoltageADC >= 870) {
        Serial.println ("CARGANDO...");
    }
    else {
        Serial.println (batteryVoltage);                       //Se muestra por pantalla el valor
                                                                de la batería
    }
    delay (1000);
}
```



7-PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO

Para el buen desarrollo del proyecto, se definieron al principio del mismo una serie de tareas a realizar de forma que se pudiese establecer una planificación temporal que concluyese en la consecución de los objetivos previstos. Para ello se ha usado el formato de diagrama de Gantt.

- Tarea 1: Estudio y comprensión del protocolo QI.
- Tarea 2: Explorar las distintas opciones de diseño del módulo receptor de carga inalámbrica.
- Tarea 3: Compra y adquisición de los distintos materiales.
- Tarea 4: Fabricación de la bobina receptora de carga.
- Tarea 5: Construcción del primer prototipo receptor en protoboard.
- Tarea 6: Comprobación del buen funcionamiento del prototipo.
- Tarea 7: Diseño y fabricación de la PCB.
- Tarea 8: Montaje final del prototipo completo.
- Tarea 9: Pruebas y ensayos finales. Obtención de resultados y conclusiones.
- Tarea 10: Realización de la memoria.

Actividad	Fecha de inicio	Duración (días)	Fecha de finalización
Tarea 1	01/10/2015	46	15/11/2015
Tarea 2	15/11/2015	10	25/11/2015
Tarea 3	25/11/2015	14	08/12/2015
Tarea 4	08/12/2015	53	30/01/2016
Tarea 5	30/01/2016	27	26/02/2016
Tarea 6	26/02/2016	7	04/03/2016
Tarea 7	04/03/2016	140	22/07/2016
Tarea 8	22/05/2016	67	28/07/2016
Tarea 9	06/07/2016	61	05/09/2016
Tarea 10	20/06/2016	87	15/09/2016

Tabla 7.1 - Tabla de fechas de realización de las tareas

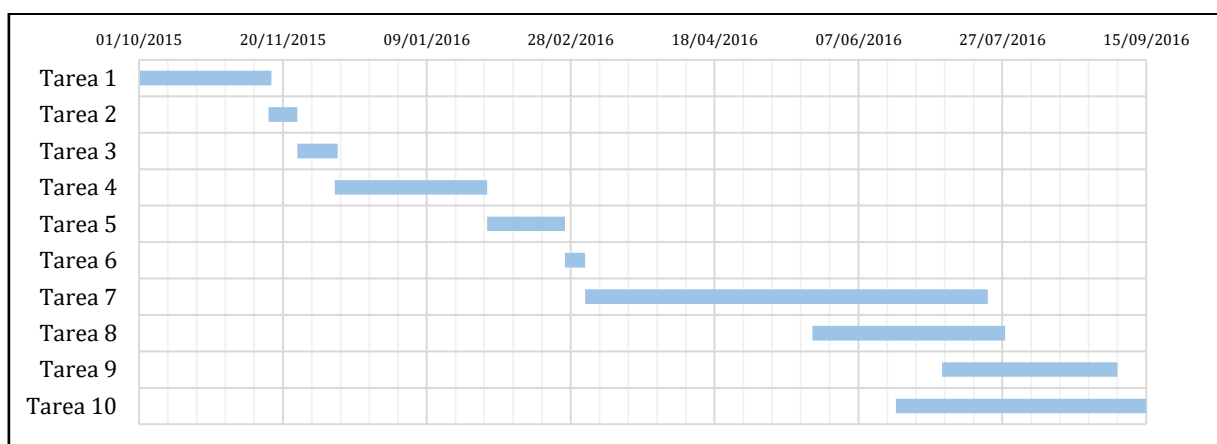


Figura 7.1 - Diagrama de Gantt



8-PRESUPUESTO

El presupuesto para el proyecto va a estar diferenciado en dos conceptos distintos:

- **Materiales:** En este apartado se incluye todo lo “físico” que respecta al módulo receptor de carga inalámbrica y la base cargadora. Dentro del módulo receptor se distinguen los distintos conceptos.
 - **Electrónica:** Se van a incluir los gastos relacionados con la PCB del zócalo y la del circuito que acompaña al chip bq51050B. Incluye el coste de los componentes que la integran.
 - **Periféricos:** Se incluyen los gastos generados por la bobina, la batería y la base cargadora.

MATERIALES

Electrónica			
Componente	Precio	Unidades	Total
PCB (zócalo bq51050B) - Placa virgen - Tiras de pines	18,50€	1	18,50€
PCB (circuito bq51050B) - Placa virgen - Condensadores - Resistencias - Conectores - Tiras de pines	26,00€	1	26,00€
Chip bq51050B - Encapsulado QFN	3,37€	4	13,48€
TOTAL			57,98€

Periféricos			
Componente	Precio	Unidades	Total
Base cargadora - Modelo: MC-02A	18,50€	1	18,50€
Placa Arduino - Modelo: Uno R3	24,14€	1	24,14€
Batería - Modelo:366071PL	6,90€	1	6,90€
Bobina - Cable de cobre de 0,8mm	8,01€	1	8,01€
TOTAL			57,55€

En esta parte de hardware, sumando los dos conceptos el presupuesto asciende a un total de 115.53€.

- Salarios: En este apartado se van a cuantificar el número de horas invertidas en el proyecto, tanto por el personal de la universidad
- como por el alumno, y así hacer una **estimación** de los salarios generados por ambos.

SALARIOS

Personal universidad			
Personal	Nº de horas	Remuneración por hora	TOTAL
Personal del departamento de Electrónica	8	35,00€	280,00€
TOTAL			280,00€

Alumno			
Personal	Nº de horas	Remuneración por hora	TOTAL
Víctor Serrano Ruíz-Valdepeñas	*168	20,00€	3360,00€
TOTAL			3360,00€

* Esta estimación se ha realizado con el siguiente cálculo:

$$4_{\text{horas/semana}} * 4_{\text{semanas/mes}} * 10,5_{\text{meses}}$$

NOTA: Las 4 horas semanales es una media a la que se llega teniendo en cuenta que hay semanas en las cuales por motivos ajenos al alumno (compra de material, fabricación de PCBs...), o por motivos directamente relacionados con el alumno (exámenes, trabajo, vacaciones...) han sido improductivas.

En esta parte de salarios, sumando los dos conceptos el presupuesto asciende a un total de 3640€.

Sumando todos los conceptos, el **presupuesto total** de este proyecto asciende a **3755,53 €**



9-CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

9.1-Conclusiones

Una vez terminada la construcción del prototipo objeto de este TFG, se puede decir que ha sido un trabajo duro pero satisfactorio, por la cantidad de información a consultar en relación a la tecnología de carga inalámbrica, y más concretamente, del protocolo Qi. Es un mundo del cual desconocía bastantes aspectos y que me ha parecido apasionante debido al futuro tan prometedor que tienen este tipo de tecnologías, y el haber indagado en una de ellas como es el estándar Qi, me ha hecho adquirir muchos conocimientos que en un futuro me pueden servir en el campo profesional.

Este proyecto también me ha servido para adquirir conocimientos en el diseño de PCBs, ya que he tenido que aprender a utilizar el software usado para ello, que en este caso es el programa Eagle por tener una versión de licencia gratuita y el cual no había usado con anterioridad hasta la realización de este proyecto.

Por otro lado, he aprendido cómo enfrentarme a un proyecto con unos plazos y objetivos fijados de antemano, y todo esto lo tendré que aplicar en mi vida profesional por lo que considero que ha sido una experiencia muy buena para mí y mi futuro.

Otra de las tareas más difíciles a las que me he enfrentado en este trabajo final, fue la construcción de la bobina, que en un principio pensé que no tendría demasiada dificultad pero que una vez me puse manos a la obra, no pararon de surgir problemas y los resultados de los primeros intentos estuvieron muy lejos del resultado obtenido con el asistente construido para dicha tarea.

Como conclusión final, teniendo en cuenta que el prototipo carga correctamente la batería como se puede ver a lo largo del capítulo 5, y, además, cumple perfectamente la función de ser capaz de alimentar a la placa Arduino en plena carga sin problemas sabiendo que en ese momento la demanda de corriente es mayor, se puede decir que el trabajo realizado a lo largo de este proyecto ha sido un éxito al haber alcanzado los objetivos marcados en un principio.

9.2-Líneas futuras

Aunque los objetivos marcados al principio de este proyecto se han cumplido satisfactoriamente, siempre hay cosas que se pueden mejorar, sobre todo por falta de tiempo al tener que realizar el TFG al mismo tiempo que trabajaba y terminaba la carrera. Por esta razón, a lo largo de este apartado se comentan las líneas futuras que debería seguir este proyecto en el caso de que alguien decidiese coger el testigo.

- Reducir el tamaño de la PCB

Teniendo en cuenta el reducido tamaño del chip bq51050B, el tamaño final de la PCB de este proyecto es bastante mayor de lo que se podría conseguir. En primer lugar, se podría realizar el soldado del chip directamente a la PCB sin necesitar un zócalo adicional para su conexión con el

resto de componentes. Al mismo tiempo, también se puede reducir el tamaño de la PCB si se pudiesen usar vías o más de dos capas que son las usadas en este proyecto, ya que permitiría juntar más los componentes. Por último, otro apartado clave en este aspecto es la utilización de componentes SMD, que está directamente relacionado con el uso de vías o varias capas. Dadas las limitaciones que había en la construcción de la PCB, este tipo de componentes no pudieron usarse y la utilización de componentes normales ha aumentado bastante el tamaño final de la PCB del módulo receptor.

- Integración del sistema completo de monitorización de ondas ECG

Como este proyecto está orientado a formar parte de un monitorizador de ondas ECG, otro de los pasos a seguir sería el desarrollo completo del sistema de instrumentación. Esto sería añadir un circuito dedicado a este fin a la placa Arduino que actualmente se encuentra alimentada por la batería del receptor. El circuito estaría formado por un amplificador de instrumentación (AD620), el cual proporciona en su datasheet el esquema que aparece en la figura 9.1 que se muestra a continuación.

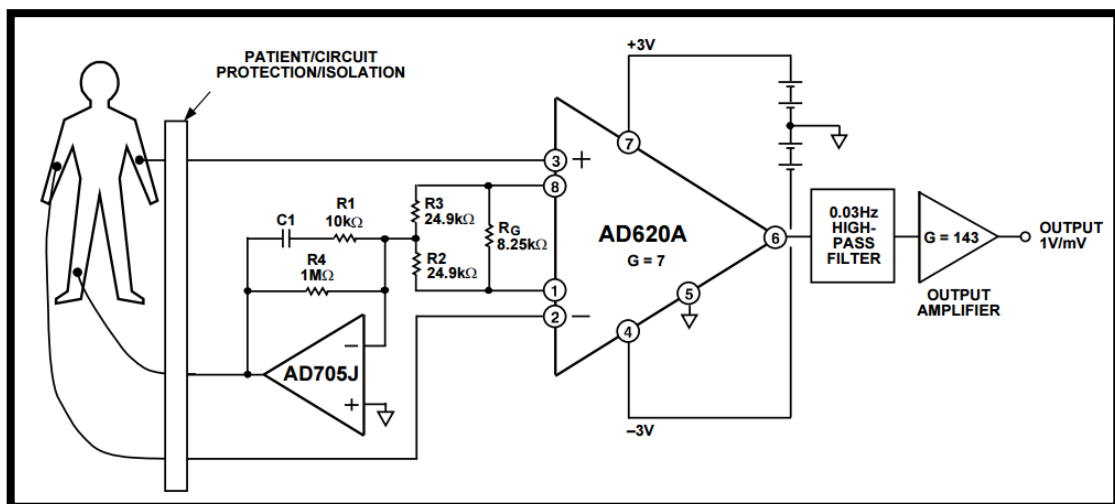


Figura 9.1 - Circuito médico de monitorización de ondas ECG

- Diseño en 3D de una carcasa

Otra de las mejoras que se puede hacer, sería el diseño en 3D para que aloje el sistema completo, la cual pueda ser impresa posteriormente mediante una impresora 3D. Con esto se conseguiría una mayor robustez del sistema al estar todo más compacto y, por lo tanto, ser menos susceptible a los golpes y a las condiciones ambientales. Además, esto también hace que la estética del monitorizador se parezca lo más posible a un producto final. Teniendo en cuenta que hoy en día acceder a una impresora 3D no es demasiado difícil, me parece que puede ser una línea futura a tener bastante en cuenta si alguien quiere coger el relevo.



10-BIBLIOGRAFÍA

- [1] JNIETO, «Empresa de Organización Industrial,» 02 09 2015. [En línea]. Available: <http://www.eoi.es/blogs/redinnovacionEOI/2015/09/02/transferencia-inalambrica-de-potencia/>. [Último acceso: 2015].
- [2] S. E. d. Cardiología, «secardiologia,» 2015. [En línea]. Available: http://secardiologia.es/images/stories/documentos/guia_del_paciente_portador_marcapasos.pdf. [Último acceso: 2015].
- [3] Wireless Power Consortium, «WPM,» [En línea]. Available: <https://www.wirelesspowerconsortium.com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html>. [Último acceso: 2015].
- [4] B. J. (I. Incorporated), «Texas Instruments,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.mouser.com/pdfDocs/An-introduction-to-the-Wireless-Power-Consortium.pdf>. [Último acceso: 2015].
- [5] PR Newswire, «TheStreet,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.thestreet.com/story/10850735/3/global-qi-standard-powers-up-wireless-charging.html>. [Último acceso: 2015].
- [6] WPC official site, «Wireless Power Consortium,» [En línea]. Available: <https://www.wirelesspowerconsortium.com/blog/>. [Último acceso: 2015-2016].
- [7] B. Johns, T. Antonacci y K. Siddabattula, «Mouser,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>. [Último acceso: 2015].
- [8] «Las crecientes posibilidades para la transferencia inalámbrica de energía,» *eTech*, nº 11, pp. 36-37.
- [9] D. Baarman, *eCoupled Wireless Power Through Granite*, <https://www.youtube.com/watch?v=1Lvd4dMloEY>, 2011.
- [10] Ministerio de Industria, Energía y turismo, «minetur.gob.es,» 2001. [En línea]. Available: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/Paginas/legislacion.aspx>. [Último acceso: 2016].
- [11] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, «minetur.gob.es,» 2006. [En línea]. Available: http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/Informacion/coit_entornos_sanitarios_2006.pdf. [Último acceso: 2016].
- [12] IEC/AENOR, «The University of Rhode Island,» 2009. [En línea]. Available: http://www.ele.uri.edu/courses/bme484/iec60601-1ed3.0_parts.pdf. [Último acceso: 2016].
- [13] AEN/CTN 209 - EQUIPOS ELÉCTRICOS EN LA PRÁCTICA MÉDICA, «AENOR,» 15 01 2009. [En línea]. Available:

http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=NCEI&codigo=TI_TIPO=CEI@NU_CODIGO=60601@NU_PARTE=1@NU_SUBPARTE=2@TX_RESTO=:2007#.V6ilpyiLTIU. [Último acceso: 2016].

- [14] pepe31415, «Taringa,» 07 11 2012. [En línea]. Available: <http://www.taringa.net/post/ciencia-educacion/15881538/Chip-de-carga-inalambrica.html>. [Último acceso: 2015].
- [15] «cdrinfo.com,» 07 11 2012. [En línea]. Available: <http://www.cdrinfo.com/Sections/News/Details.aspx?NewsId=34766>. [Último acceso: 2015].
- [16] E. E. Community, «EEWeb,» [En línea]. Available: <https://www.eeweb.com/toolbox/rectangle-loop-inductance/>. [Último acceso: 2016].
- [17] D. Pérez, «El androide libre,» 14 03 2015. [En línea]. Available: <http://www.elandroidelibre.com/2015/03/conoce-los-estandares-de-carga-inalambrica-wpc-pma-y-a4wp.html>. [Último acceso: 2015].



ANEXOS



Anexo I: System description Wireless Power Transfer

NOTA: En este apartado se ha incluido un extracto de algunas de las partes más relevantes para este proyecto del documento completo. Para verlo de manera íntegra, puede descargarlo en el siguiente enlace:

<https://www.wirelesspowerconsortium.com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html>



System Description
Wireless Power Transfer
Volume I: Low Power
Part 1: Interface Definition
Version 1.1.2
June 2013

4 Power Receiver Design Requirements

4.1 Introduction

Figure 4-1 illustrates an example functional block diagram of a Power Receiver.

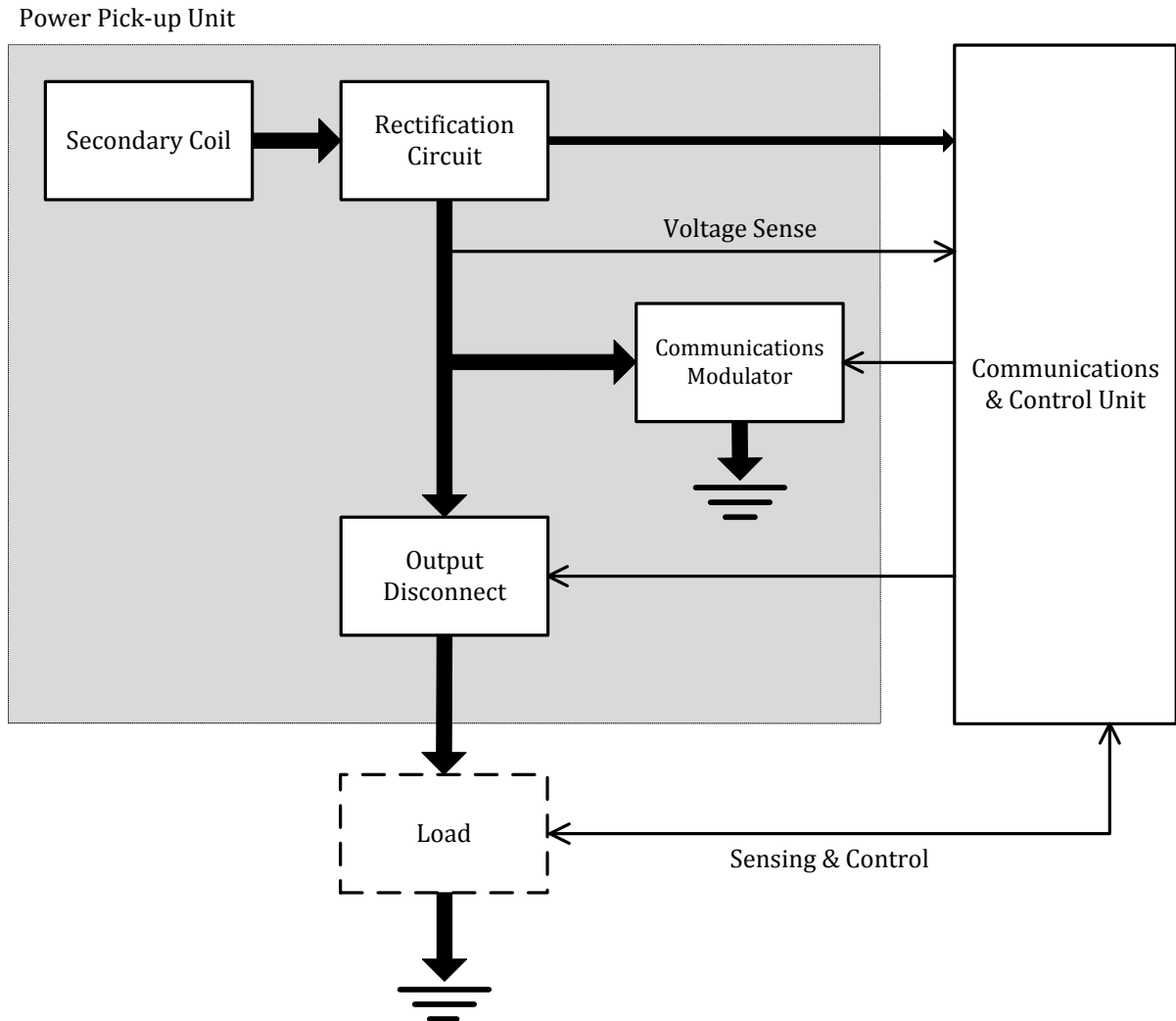


Figure 4-1: Example functional block diagram of a Power Receiver

In this example, the Power Receiver consists of a Power Pick-up Unit and a Communications and Control Unit. The Power Pick-up Unit on the left-hand side of Figure 4-1 comprises the analog components of the Power Receiver:

- A dual resonant circuit consisting of a Secondary Coil plus series and parallel capacitances to enhance the power transfer efficiency and enable a resonant detection method (see Section 4.2.2.1).
- A rectification circuit that provides full-wave rectification of the AC waveform, using e.g. four diodes in a full-bridge configuration, or a suitable configuration of active components (see Section 4.2.2.2). The rectification circuit may perform output smoothing as well. In this example, the rectification circuit provides power to both the Communications and Control Unit of the Power Receiver and the output of the Power Receiver

- A communications modulator (see Section 4.2.2.4). On the DC side of the Power Receiver, the communications modulator typically consists of a resistor in series with a switch. On the AC side of the Power Receiver, the communications modulator typically consists of a capacitor in series with a switch (not shown in Figure 4-1).
- An output disconnect switch, which prevents current from flowing to the output when the Power Receiver does not provide power at its output. In addition, the output disconnect switch prevents current back flow into the Power Receiver when the Power Receiver does not provide power at its output. Moreover, the output disconnect switch minimizes the power that the Power Receiver draws from the Power Transmitter when a Power Signal is first applied to the Secondary Coil.
- A rectified voltage sense.

The Communications and Control Unit on the right-hand side of Figure 4-1 comprises the digital logic part of the Power Receiver. This unit executes the relevant power control algorithms and protocols; drives the communications modulator; controls the output disconnect switch; and monitors several sensing circuits, in both the Power Pick-up Unit and the load—a good example of a sensing circuit in the load is a circuit that measures the temperature of, e.g., a rechargeable battery.

Note that this version 1.1.2 of the System Description Wireless Power Transfer, Volume I, Part 1, minimizes the set of Power Receiver design requirements (see Section 4.2). Accordingly, compliant Power Receiver designs that differ from the example functional block diagram shown in Figure 4-1 are possible. For example, an alternative design includes post-regulation of the output of the rectification circuit (e.g., using a buck converter, battery charging circuit, power management unit, etc.). In yet another design, the Communications and Control Unit interfaces with other subsystems of the Mobile Device, e.g. for user interface purposes.

4.2 Power Receiver design requirements

The design of a Power Receiver shall comply with the mechanical requirements listed in Section 4.2.1 and the electrical requirements listed in Section 4.2.2. In addition, a Power Receiver shall implement the relevant parts of the protocols defined in Section 5, as well as the communications interface defined in Section 6.

4.2.1 Mechanical requirements

A Power Receiver design shall include a Secondary Coil, and an Interface Surface as defined in Section 4.2.1.1. In addition, a Power Receiver design shall include an alignment aid as defined in Section 4.2.1.2.

4.2.1.1 Interface Surface

The distance from the Secondary Coil to the Interface Surface of the Mobile Device shall not exceed $d_z = 2.5$ mm, across the bottom face of the Secondary Coil. See Figure 4-2.

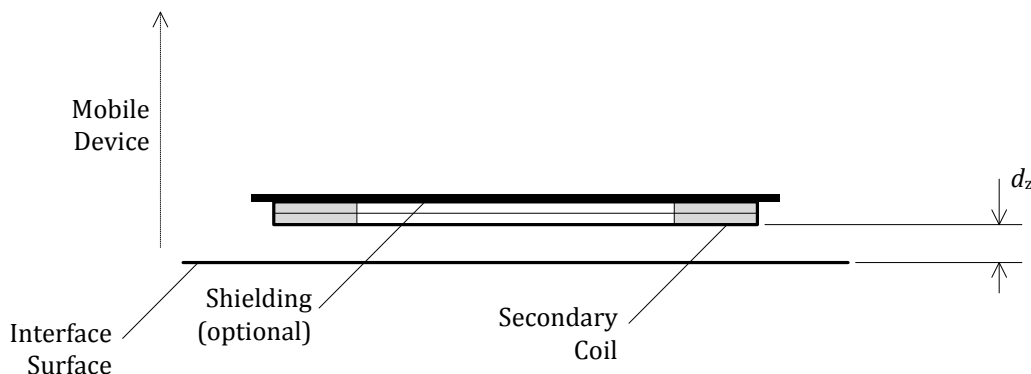


Figure 4-2: Secondary Coil assembly

4.2.1.2 Alignment aid

The design of a Mobile Device shall include means that helps a user to properly align the Secondary Coil of its Power Receiver to the Primary Coil of a Power Transmitter that enables Guided Positioning. This means shall provide the user with directional guidance—i.e. where to the user should move the Mobile Device—as well as alignment indication—i.e. feedback that the user has reached a properly aligned position.³

(Informative) An example of such means is a piece of hard or soft magnetic material, which is attracted to the magnet that is provided in Power Transmitter design A1. The attractive force should provide the user with tactile feedback, when placing the Mobile Device on the Interface Surface. Note that the Mobile Device cannot rely on the presence of any alignment support from the Base Station, other than the alignment aids specified in Section 3.

4.2.1.3 Shielding

An important consideration for a Power Receiver designer is the impact of the Power Transmitter’s magnetic field on the Mobile Device. Stray magnetic fields could interact with the Mobile Device and potentially cause its intended functionality to deteriorate, or cause its temperature to increase due to the power dissipation of generated eddy currents.

It is recommended to limit the impact of magnetic fields by means of Shielding on the top face of the Secondary Coil. See also Figure 4-2. This Shielding should consist of material that has parameters similar to the materials listed in Sections 3.2.1.1.2 and 3.3.1.1.2. The Shielding should cover the Secondary Coil completely. Additional Shielding beyond the outer diameter of the Secondary Coil might be necessary depending upon the impact of stray magnetic fields.

The example Power Receiver designs discussed in Annex A.1 and Annex A.2 both include Shielding.

4.2.2 Electrical requirements

A Receiver design shall include a dual resonant circuit as defined in Section 4.2.2.1, a rectification circuit as defined in Section 4.2.2.2, sensing circuits as defined in Section 4.2.2.3, a communications modulator as defined in Section 4.2.2.4, and an output disconnect switch as defined in Section 4.2.2.5.

4.2.2.1 Dual resonant circuit

The dual resonant circuit of the Power Receiver comprises the Secondary Coil and two resonant capacitances. The purpose of the first resonant capacitance C_s is to enhance the power transfer efficiency. The purpose of the second resonant capacitance C_d is to enable a resonant detection method. Figure 4-3 illustrates the dual resonant circuit. The switch in the dual resonant circuit is optional. If the switch is not present, the capacitance C_d shall have a fixed connection to the Secondary Coil L_s . If the switch is present, it shall remain closed⁴ until the Power Receiver transmits its first Packet (see Section 5.3.1).

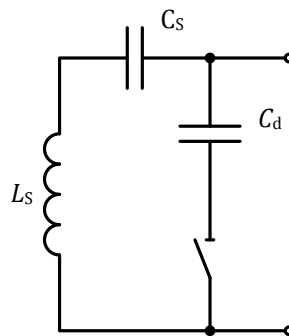


Figure 4-3: Dual resonant circuit of a Power Receiver

³The design requirements of the Mobile Device to determine the range of lateral displacements that constitute proper alignment.

⁴The switch shall remain closed even if no power is available from the Secondary Coil.

The dual resonant circuit shall have the following resonant frequencies:

$$f_s = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L'_S \cdot C_S}} = 100^{+x}_{-y} \text{ kHz},$$

$$f_d = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_S \cdot \left(\frac{1}{C_S} + \frac{1}{C_d}\right)^{-1}}} = 1000^{\pm 10\%} \text{ kHz}.$$

In these equations, L'_S is the self inductance of the Secondary Coil when placed on the Interface Surface of a Power Transmitter and—if necessary—aligned to the Primary Cell; and L_S is the self inductance of the Secondary Coil without magnetically active material that is not part of the Power Receiver design close to the Secondary Coil (e.g. away from the Interface Surface of a Power Transmitter). Moreover, the tolerances x and y on the resonant frequency f_s are $x = y = 5\%$ for Power Receivers that specify a Maximum Power value in the Configuration Packet of 3 W and above, and $x = 5\%$ and $y = 10\%$ for all other Power Receivers. The quality factor Q of the loop consisting of the Secondary Coil, switch (if present), resonant capacitance C_S and resonant capacitance C_d , shall exceed the value 77. Here the quality factor Q is defined as:

$$Q = \frac{2\pi \cdot f_d \cdot L_S}{R}$$

with R the DC resistance of the loop with the capacitances C_S and C_d short-circuited.

Figure 4-4 shows the environment that is used to determine the self-inductance L'_S of the Secondary Coil. The primary Shielding shown in Figure 4-4 consists of material PC44 from TDK Corp. The primary Shielding has a square shape with a side of 50 mm and a thickness of 1 mm. The center of the Secondary Coil and the center of the primary Shielding shall be aligned. The distance from the Receiver Interface Surface to the primary Shielding is $d_z = 3.4$ mm. Shielding on top of the Secondary Coil is present only if the Receiver design includes such Shielding. Other Mobile Device components that influence the inductance of the Secondary Coil shall be present as well when determining the resonant frequencies—the magnetic attractor shown in Figure 4-4 is example of such a component. The excitation signal that is used to determine L_S and L'_S shall have an amplitude of 1 V RMS and a frequency of 100 kHz.

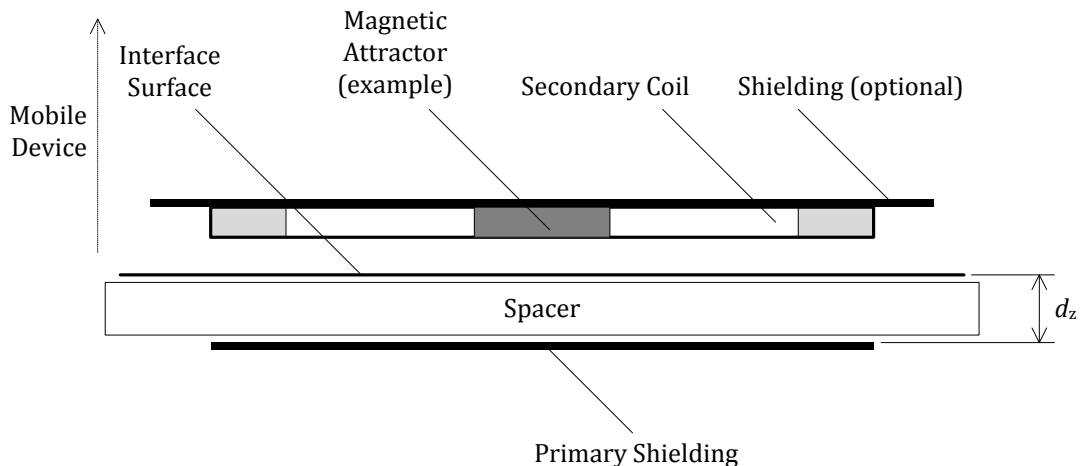


Figure 4-4: Characterization of resonant frequencies

4.2.2.2 Rectification circuit

The rectification circuit shall use full-wave rectification to convert the AC waveform to a DC power level.

4.2.2.3 Sensing circuits

The Power Receiver shall monitor the DC voltage V_r directly at the output of the rectification circuit.

4.2.2.4 Communications modulator

The Power Receiver shall have the means to modulate the Primary Cell current and Primary Cell voltage as defined in Section 6.2.1.⁵ This version 1.1.2 of the System Description Wireless Power Transfer, Volume I, Part 1, leaves the specific loading method as a design choice to the Power Receiver. Typical example methods include modulation of a resistive load on the DC side of the Power Receiver, and modulation of a capacitive load on the AC side of the Power Receiver.

4.2.2.5 Output disconnect

The Power Receiver shall have the means to disconnect its output from the subsystems connected thereto. If the Power Receiver has disconnected its output, it shall ensure that it still draws a sufficient amount of power from the Power Transmitter, such that Power Receiver to Power Transmitter communications remain possible (see also Section 6.2.1).

The Power Receiver shall keep its output disconnected until it reaches the *power transfer* phase for the first time after a Digital Ping (see also Section 5). Subsequently, the Power Receiver may operate the output disconnect switch any time while the Power Transmitter applies a Power Signal. This also means that the Power Receiver may keep its output connected if it reverts from the *power transfer* phase to the *identification & configuration* phase.

(Informative) *Note that the Power Receiver may experience a voltage peak when operating the output disconnect switch (and changing between maximum and near-zero power dissipation).*

4.3 Power Receiver design guidelines (informative)

4.3.1 Large-signal resonance check

In the course of designing a Power Receiver, it should be verified that the resonance frequency f_s of the dual resonant circuit remains within the tolerance range defined in Section 4.2.2.1, under large-signal conditions. The test defined in this Section 4.3.1 serves this purpose.

Step 1. Connect an RF power source to the assembly of Secondary Coil, Shielding and other components that influence the inductance of the Secondary Coil—e.g. a magnetic attractor, see Figure 4-4—and series resonant capacitance C_s ; see Figure 4-5. The presence of the parallel capacitance C_p is optional.

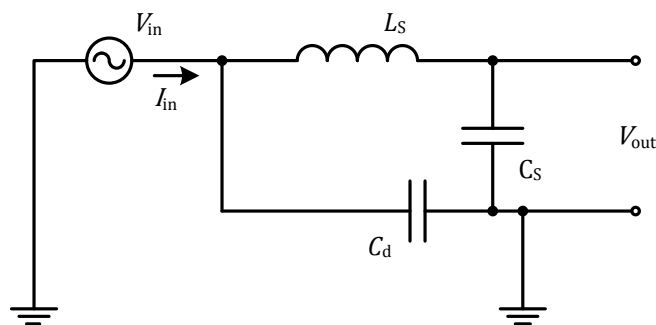


Figure 4-5: Large signal secondary resonance test

Step 2. Position the assembly and an appropriate spacer on primary Shielding material, as shown in Figure 4-4.

Step 3. Measure the input voltage V_{in} as a function of the frequency of the RF power source in the range of 90...110 kHz, while maintaining the input current I_{in} at a constant level, preferably at about twice the maximum value intended in the final product.

Step 4. Verify that the frequency at which the measured V_{in} is at a minimum, occurs within the specified tolerance range of the resonance frequency f_s .

⁵(Informative) *Note that the dual resonant circuit as depicted in Figure 4-3 does not prohibit implementation of the communications modulator directly at the Secondary Coil.*

4.3.2 Power Receiver coil design

The mutual inductance M of a Secondary Coil, in combination with optional Shielding and other Mobile Device components, and the Primary Coil of a Power Transmitter design A10 should satisfy the following relations:

$$\frac{V_0}{\omega M} < 0.8 \text{ A, if the Primary Coil and Secondary Coil centers are aligned; and}$$

$$\frac{V_0}{\omega M} < 1.0 \text{ A, if the Primary Coil and Secondary Coil centers have a lateral offset of } 5\sqrt{2} \text{ mm.}$$

Here V_0 is the maximum output voltage expected from the Secondary Coil—or any other voltage that the Power Receiver designer considers relevant—and $\omega = 2\pi f$, with $f = 100$ kHz the frequency at which the mutual inductance (in units of 1 henry) is measured.

Annex A Example Power Receiver Designs (Informative)

A.1 Power Receiver example 1

The design of Power Receiver example 1 is optimized to directly charge a single cell lithium-ion battery at constant current or voltage.

A.1.1 Mechanical details

This Section A.1.1 provides the mechanical details of Power Receiver example 1.

A.1.1.1 Secondary Coil

The Secondary Coil of Receiver example 1 is of the wire-wound type, and consists of no. 26 AWG (0.41 mm diameter) litz wire having 26 strands of no. 40 AWG (0.08 mm diameter). As shown in Figure A-1, the Secondary Coil has a rectangular shape and consists of a single layer. Table A-1 lists the dimensions of the Secondary Coil.

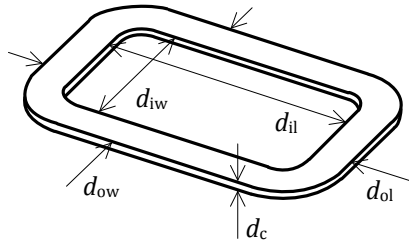


Figure A-1: Secondary Coil of Power Receiver example 1

Table A-1: Secondary Coil parameters of Power Receiver example 1

Parameter	Symbol	Value
Outer length	d_{ol}	$44.25^{\pm 0.25}$ mm
Inner length	d_{il}	$28.75^{\pm 0.25}$ mm
Outer width	d_{ow}	$30.25^{\pm 0.25}$ mm
Inner width	d_{iw}	$14.75^{\pm 0.25}$ mm
Thickness	d_c	0.6 mm
Number of turns per layer	N	14
Number of layers	-	1

A.1.1.2 Shielding

As shown in Figure A-2, Power Receiver example 1 employs Shielding. This Shielding has a size of $d_l \times d_w = 52^{\pm 1} \times 35^{\pm 1}$ mm², and has a thickness of $d_s = 1.0$ mm. The Shielding is centered directly on the top face of the Secondary Coil (such that the long side of the Secondary Coil and the Shielding are aligned). The composition of the Shielding consists of any choice from the following list of materials:

- Material 44 — Fair Rite Corporation.
- Material 28 — Steward, Inc.
- CMG22G — Ceramic Magnetics, Inc.

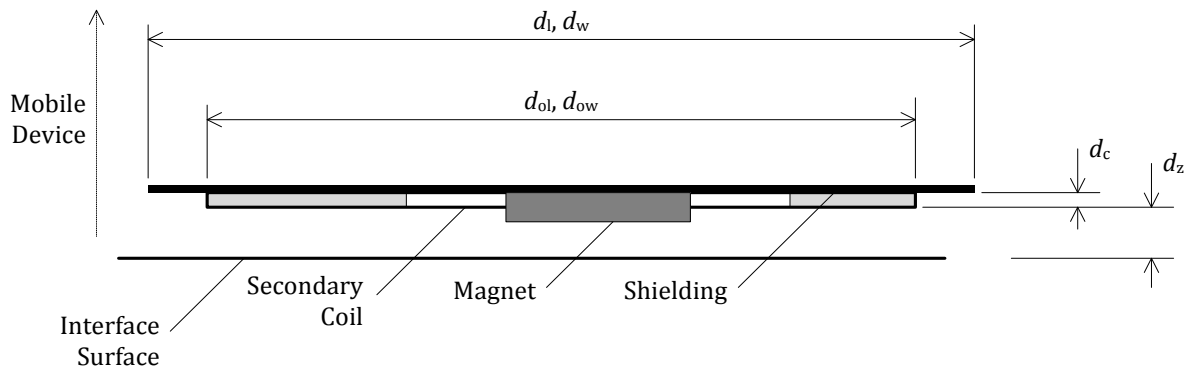


Figure A-2: Secondary Coil and Shielding assembly of Power Receiver example 1

A.1.1.3 Interface Surface

The distance from the Secondary Coil to the Interface Surface of the Mobile Device is $d_z = 2.5$ mm, uniform across the bottom face of the Secondary Coil.

A.1.1.4 Alignment aid

Power Receiver example 1 employs a bonded Neodymium magnet, which has its south pole oriented towards the Interface Surface. The diameter of the magnet is 15 mm, and its thickness is 1.2 mm.

A.1.2 Electrical details

At the secondary resonance frequency $f_s = 100$ kHz, the assembly of Secondary Coil, Shielding and magnet has inductance values $L_s = 15.3^{\pm 1} \mu\text{H}$ and $L'_s = 20.0^{\pm 1} \mu\text{H}$. The capacitance values in the dual resonant circuit are $C_s = 127^{\pm 1\%} \text{nF}$ and $C_d = 1.6^{\pm 5\%} \text{nF}$.

As shown in Figure A-3, the rectification circuit consists of four diodes in a full bridge configuration and a low-pass filtering capacitance $C = 20 \mu\text{F}$.

The communications modulator consists of two equal capacitances $C_{cm} = 22^{\pm 5\%} \text{nF}$ in series with two switches. The resistance value $R = 10^{\pm 5\%} \text{k}\Omega$.

The subsystem connected to the output of Power Receiver example 1 is expected to consist of a single cell lithium-ion battery. This Power Receiver example 1 controls the output current and output voltage into the battery according to the common constant current to constant voltage charging profile. An example profile is indicated in Figure A-4. The maximum output power to the battery is controlled to a 5 W level.

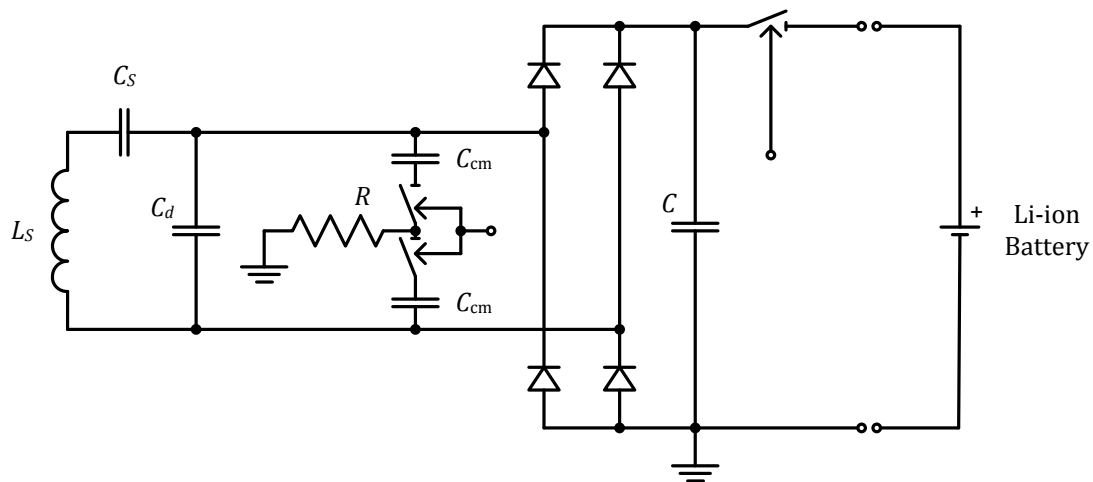


Figure A-3: Electrical details of Power Receiver example 1

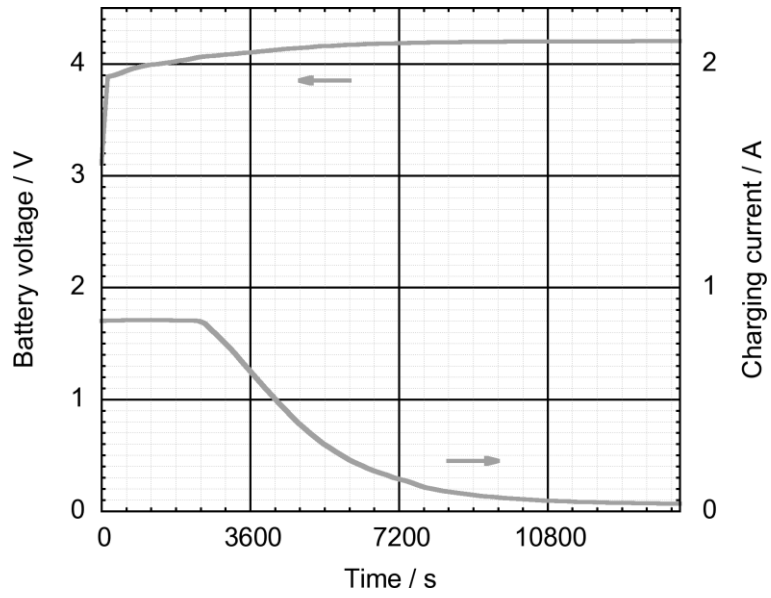


Figure A-4: Li-ion battery charging profile



Anexo II: Datasheet bq51050B

NOTA: En este apartado se ha incluido un extracto de algunas de las partes más relevantes para este proyecto del documento completo. Para verlo de manera íntegra, puede descargarlo en el siguiente enlace:

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq51050b.pdf>

High-Efficiency Qi v1.1-Compliant Wireless Power Receiver and Battery Charger

 Check for Samples: [bq51050B](#), [bq51051B](#)

FEATURES

- **Single-Stage Wireless Power Receiver and Li-Ion/Li-Pol Battery Charger**
 - Combines Wireless Power Receiver, Rectifier and Battery Charger in a Single Small Package
 - 4.2V and 4.35V Output Voltage Options
 - Supports up to 1.5A Charging Current
 - 93% Peak AC-DC Charging Efficiency
- **Robust Architecture**
 - 20V Maximum Input Voltage Tolerance, with Input OV Protection Clamp
 - Thermal Shutdown and Over Current Protection
 - Temperature Monitoring and Fault Detection

- **Compatible with WPC v1.1 “Qi” Industry Standard**
- **Power Stage Output Tracks Rectifier and Battery Voltage to Ensure Maximum Efficiency Across the Full Charge Cycle**
- **Available in small WCSP and QFN packages**

APPLICATIONS

- **Battery Packs**
- **Cell Phones, Smart Phones**
- **Headsets**
- **Portable Media Players**
- **Other Hand-Held Devices**

DESCRIPTION

The bq5105x is a high efficiency, wireless power receiver with Li-Ion/Li-Pol battery charge controller for portable applications. The bq5105x device provides efficient AC/DC power conversion, integrates digital controller required to comply with Qi v1.1 communication protocol and all necessary control algorithms needed for efficient and safe Li-Ion and Li-Pol battery charger. Together with bq500210 transmitter-side controller, the bq5105x enables a complete wireless power transfer system for direct battery charger solution. By utilizing near-field inductive power transfer, the receiver coil embedded in the portable device can pick up the power transmitted by transmitter coil. The AC signal from the receiver coil is then rectified and conditioned to apply power directly to the battery. Global feedback is established from the receiver to the transmitter in order to stabilize the power transfer process. This feedback is established by utilizing the Qi v1.1 communication protocol.

The bq5105x devices integrate a low-impedance synchronous rectifier, low-dropout regulator, digital control, charger controller, and accurate voltage and current loops in a single package. The entire power stage (rectifier and LDO) utilize low resistive N-MOSFET's (100mΩ typical R_{ds(on)}) to ensure high efficiency and low power dissipation.

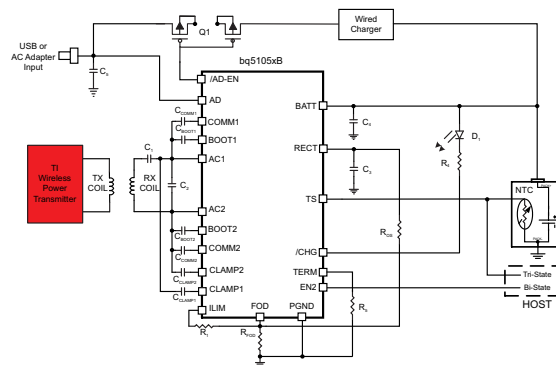


Figure 1. Typical System Blocks Show bq5105xB Used as a Wireless Power Li-Ion/Li-Pol Battery Charger

Note: Visit ti.com/wirelesspower for product details and design resources



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ORDERING INFORMATION

PART NO.	IC MARKING	PACKAGE	ORDERING NUMBER (TAPE AND REEL)	QUANTITY
bq51050B	bq51050B	WCSP-28	bq51050BYFPR bq51050BYFPT	3000 250
	bq51050B	VQFN-20	bq51050BRHLR bq51050BRHLT	3000 250
bq51051B	bq51051B	WCSP-28	bq51051BYFPR bq51051BYFPT	3000 250
	bq51051B	VQFN-20	bq51051BRHLR bq51051BRHLT	3000 250

AVAILABLE OPTIONS

DEVICE	FUNCTION	V _{RECT-OVP}	V _{RECT(REG)}	V _{BAT(REG)}	NTC MONITORING
bq51050B	4.2V Li-Ion Wireless Battery Charger	15V	Track	4.2V	JEITA
bq51051B	4.35V Li-Ion Wireless Battery Charger	15V	Track	4.35V	JEITA

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾⁽²⁾

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		VALUES		UNITS
		MIN	MAX	
Input voltage	RECT, COMM1, COMM2, BAT(OUT), $\overline{\text{CHG}}$, CLAMP1, CLAMP2	-0.3	20	V
	AC1, AC2	-0.8	20	V
	AD, AD-EN	-0.3	30	V
	BOOT1, BOOT2	-0.3	26	V
	EN2, TERM, FOD, TS-CTRL, ILIM	-0.3	7	V
Input current	AC1, AC2		2	A(RMS)
Output current	BAT(OUT)		1.5	A
Output sink current	$\overline{\text{CHG}}$		15	mA
	COMM1, COMM2		1.0	A
Junction temperature, T _J		-40	150	°C
Storage temperature, T _{STG}		-65	150	°C
ESD Rating	Human body model (HBM)(100pF, 1.5kΩ)		2	kV
	Charged device model (CDM)		500	V

- (1) Stresses beyond those listed under absolute maximum ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under recommended operating conditions is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltages are with respect to the VSS terminal, unless otherwise noted.

THERMAL INFORMATION

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		YFP	RHL	UNITS
		28-PINS	20-PINS	
θ_{JA}	Junction-to-ambient thermal resistance	58.9	37.7	°C/W
θ_{JCTop}	Junction-to-case (top) thermal resistance	0.2	35.5	
θ_{JB}	Junction-to-board thermal resistance	9.1	13.6	
Ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	1.4	0.5	
Ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	8.9	13.5	
θ_{JCbot}	Junction-to-case (bottom) thermal resistance	n/a	2.7	

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

			MIN	MAX	UNIT
V_{IN}	Input voltage range	RECT	4.0	10.0	V
I_{IN}	Input current	RECT		1.5	A
I_{BAT}	BAT(output) current	BAT		1.5	A
I_{AD-EN}	Sink current	AD-EN		1	mA
I_{COMM}	COMM sink current	COMM		500	mA
T_J	Junction temperature		0	125	°C

TYPICAL APPLICATION SCHEMATIC

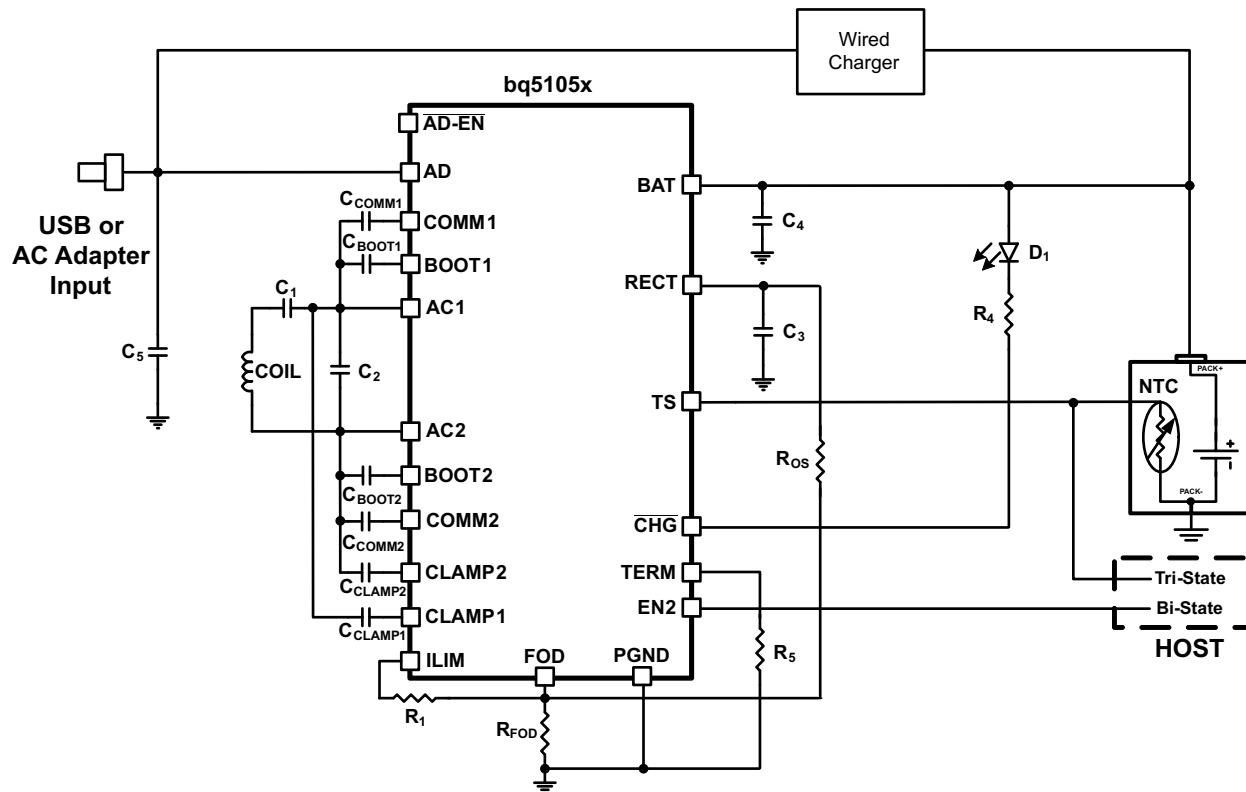


Figure 2. bq5105x Used as a Wireless Power Receiver and Li-Ion/Li-Pol Battery Charger

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Over junction temperature range $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$ and recommended supply voltage (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
V_{UVLO}	Under-voltage lock-out	$V_{RECT}: 0\text{V} \rightarrow 3\text{V}$	2.6	2.7	2.8	V	
$V_{HYS-UVLO}$	Hysteresis on UVLO	$V_{RECT}: 3\text{V} \rightarrow 2\text{V}$		250		mV	
	Hysteresis on OVP	$V_{RECT}: 16\text{V} \rightarrow 5\text{V}$		150		mV	
V_{RECT}	Input over-voltage threshold	$V_{RECT}: 5\text{V} \rightarrow 16\text{V}$	14.5	15	15.5	V	
$V_{RECT-REG}^{(1)}$	V_{RECT} regulation voltage			5.11		V	
I_{LOAD}	I_{LOAD} Hysteresis for dynamic V_{RECT} thresholds as a % of I_{LIM}	I_{LOAD} falling		5%			
V_{TRACK}	Tracking V_{RECT} regulation above V_{BAT}	$V_{BAT} = 3.5\text{V}$, $I_{BAT} \geq 500\text{mA}$		300		mV	
$V_{RECT-REV}$	Rectifier reverse voltage protection at the BAT(output)	$V_{RECT-REV} = V_{BAT} - V_{RECT}$, $V_{BAT} = 10\text{V}$		8.3	9	V	
$V_{RECT-DPM}$	Rectifier under voltage protection, restricts I_{BAT} at $V_{RECT-DPM}$		3	3.1	3.2	V	
QUIESCENT CURRENT							
I_{RECT}	Active chip quiescent current consumption from RECT (in the prswireless power is present)	$I_{BAT} = 0, 0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$		8	10	mA	
		$I_{BAT} = 300\text{mA}, 0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$		2	3	mA	
I_Q	Quiescent current at the BAT when wireless power is disabled(Standby)	$V_{BAT} = 4.2\text{V}, 0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$		12	20	μA	
ILIM SHORT PROTECTION							
$R_{ILIM-SHORT}$	Highest value of I_{LIM} resistor considered a fault (short). Monitored for $I_{BAT} > 100\text{mA}$	$R_{ILIM}: 200\ \Omega \rightarrow 50\ \Omega$. I_{BAT} latches off, cycle power to reset			120	Ω	
$t_{DGL-Short}$	Deglintch time transition from I_{LIM} short to I_{BAT} disable			1		ms	
I_{LIM_SC}	$I_{LIM-SHORT_OK}$ enables the I_{LIM} short comparator when I_{BAT} is greater than this value	$I_{BAT}: 0 \rightarrow 200\text{mA}$	110	145	165	mA	
$I_{LIM-SHORT_OK}$ HYSTERESIS	Hysteresis for $I_{LIM-SHORT_OK}$ comparator	$I_{BAT}: 200 \rightarrow 0\text{mA}$		30		mA	
I_{BAT-CL}	Maximum output current limit	Maximum I_{BAT} that will be delivered for 1 ms when ILIM is shorted			2.4	A	
BATTERY SHORT PROTECTION							
$V_{BAT(SC)}$	BAT pin short-circuit detection/pre-charge threshold	$V_{BAT}: 3\text{V} \rightarrow 0.5\text{V}$, no deglitch	0.75	0.8	0.85	V	
$V_{BAT(SC)-HYS}$	$V_{BAT(SC)}$ hysteresis	$V_{BAT}: 0.5\text{V} \rightarrow 3\text{V}$		100		mV	
$I_{BAT(SC)}$	Source current to BAT pin during short-circuit detection	$V_{BAT} = 0\text{V}$	12	18	22	mA	
PRECHARGE							
V_{LOWV}	Pre-charge to fast charge transition threshold	$V_{BAT}: 2\text{V} \rightarrow 4\text{V}$	2.9	3.0	3.1	V	
K_{PRECHG}	Pre-charge current as a percentage of I_{BAT}	$V_{LOWV} > V_{BAT} > V_{BAT(SC)}$, $I_{BAT}: 50 - 300\text{mA}$	18%	20%	23%		
$t_{pre-charge}$	Pre-charge timeout	$V_{BAT} < V_{LOWV}$		30		min	
$t_{DGL1(LOWV)}$	De-glitch time, pre- to fast-charge			25		ms	
$t_{DGL2(LOWV)}$	De-glitch time, fast- to pre-charge			25		ms	
TIMERS							
$T_{fast-charge}$	Fast-charge timer	$V_{LOWV} < V_{BAT} < V_{BAT(REG)}$		36000		sec	
$T_{pre-charge}$	Pre-charge timer	$V_{BAT-SHORT} < V_{BAT} < V_{LOWV}$		1800		sec	
OUTPUT							
V_{OREG}	Regulated BAT(output) voltage	$I_{BAT} = 1000\text{mA}$	bq51050B	4.16	4.2	4.22	V
			bq51051B	4.30	4.35	4.37	
V_{DO}	Drop-out voltage, RECT to BAT	$I_{BAT} = 1\text{A}$		110	190	mV	
K_{LIM}	Current programming factor	$R_{LIM} = K_{LIM} / I_{LIM}$	290	300	320	A Ω	
I_{BAT}	Battery charge current limit programming range				1500	mA	
$I_{COMM-CL}$	Current limit during communication		330	390	420	mA	

(1) $V_{RECT(REG)}$ is over ridden when rectifier fold back mode is active ($V_{RECT(REG)-TRACKING}$).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

 Over junction temperature range $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$ and recommended supply voltage (unless otherwise noted)

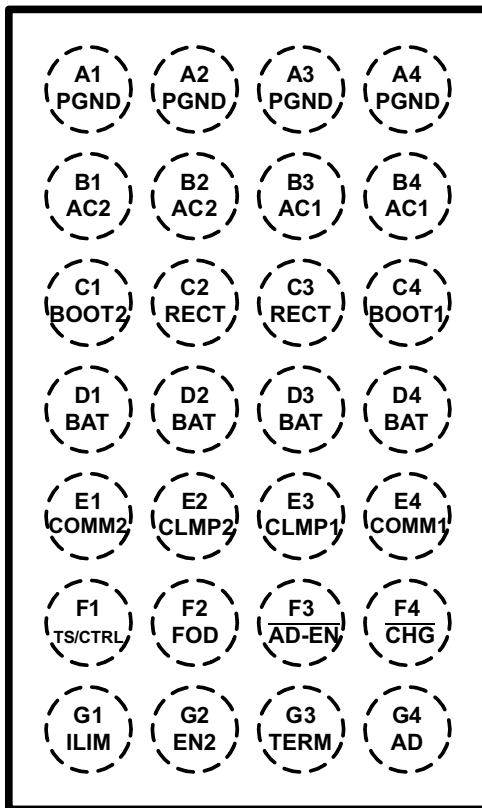
PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
TERMINATION						
K_{TERM}	Programmable termination current as a percentage of I_{LIM}	$R_{\text{TERM}} = \%I_{\text{LIM}} \times K_{\text{TERM}}$	200	240	280	$\Omega/\%$
I_{TERM}	Constant current at the TERM pin to bias the termination reference		40	50	55	μA
V_{RECH}	Recharge threshold	bq51050B	$V_{\text{BAT(REG)}}$ –135mV	$V_{\text{BAT(REG)}}$ –110mV	$V_{\text{BAT(REG)}}$ –90mV	V
		bq51051B	$V_{\text{BAT(REG)}}$ –125mV	$V_{\text{BAT(REG)}}$ –95mV	$V_{\text{BAT(REG)}}$ –70mV	
TS / CTRL						
V_{TS}	Internal TS bias voltage	$I_{\text{TS-Bias}} < 100 \mu\text{A}$ (periodically driven see $t_{\text{TS/CTRL-Meas}}$)	2	2.2	2.4	V
V_{OC}	Rising threshold	VTS: 50% → 60%	57	58.7	60	$\%V_{\text{TSB}}$
	Falling threshold	VTS: 60% → 50%	55	56.3	57	
	Hysteresis on 0C Comparator	VTS: 60% → 50%		2.4		
$V_{10\text{C}}$	Rising threshold	VTS: 40% → 50%	46	47.8	49	$\%V_{\text{TSB}}$
$V_{10\text{C-Hyst}}$	Hysteresis on 10C Comparator	VTS: 50% → 40%		2		$\%V_{\text{TSB}}$
$V_{45\text{C}}$	Falling threshold	VTS: 25% → 15%	18	19.6	21	$\%V_{\text{TSB}}$
$V_{45\text{C-Hyst}}$	Hysteresis on 45C Comparator	VTS: 15% → 25%		3		$\%V_{\text{TSB}}$
$V_{60\text{C}}$	Falling threshold	VTS: 20% → 5%	12	13.1	14	$\%V_{\text{TSB}}$
$V_{60\text{C-Hyst}}$	Hysteresis on 60C Comparator	VTS: 5% → 20%		1		$\%V_{\text{TSB}}$
$I_{45\text{C}}$	I_{LIM} reduction percentage at 45c	VTS: 25% → 15%, $I_{\text{LOAD}} = I_{\text{LIM}}$	45	50	55	%
$V_{\text{CTRL-HI}}$	CTRL pin threshold for a high	$V_{\text{TS/CTRL}}$: 50 → 150 mV	80	100	130	mV
$V_{\text{CTRL-LOW}}$	CTRL pin threshold for a low	$V_{\text{TS/CTRL}}$: 150 → 50 mV	50	80	100	mV
$T_{\text{TS/CTRL-Meas}}$	Time period of TS/CTRL measurements--when VTSB is being driven	TS bias voltage is only driven when communication packets are sent		24		ms
$t_{\text{TS-Degitch}}$	Degitch time for all TS comparators			10		ms
NTC-Pullup	Pull-up resistor for the NTC network. Pulled up to the TS bias LDO.		18	20	22	k Ω
NTC- R_{NOM}	Nominal resistance requirement at 25c of the NTC resistor			10		k Ω
NTC-Beta	Beta requirement for accurate temperature sensing via the above specified thresholds			3380		Ω
THERMAL PROTECTION						
T_J	Thermal shutdown temperature			155		$^{\circ}\text{C}$
	Thermal shutdown hysteresis			20		$^{\circ}\text{C}$
OUTPUT LOGIC LEVELS ON /CHG						
V_{OL}	Open drain $\overline{\text{CHG}}$ pin	$I_{\text{SINK}} = 5 \text{ mA}$			500	mV
$I_{\text{OFF,CHG}}$	$\overline{\text{CHG}}$ leakage current when disabled	$V_{\text{CHG}} = 20 \text{ V}$, $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$			1	μA
COMM PIN						
$R_{\text{DS-ON(COMM)}}$	Comm1 and Comm2	$V_{\text{rect}} = 2.6\text{V}$		1		Ω
f_{COMM}	Signaling frequency on COMM pin			2.00		Kb/s
$I_{\text{OFF,Comm}}$	Comm pin leakage current	$V_{\text{COMM1}} = 20 \text{ V}$, $V_{\text{COMM2}} = 20 \text{ V}$			1	μA
CLAMP PIN						
$R_{\text{DS-ON(CLAMP)}}$	Clamp1 and Clamp2			0.75		Ω

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

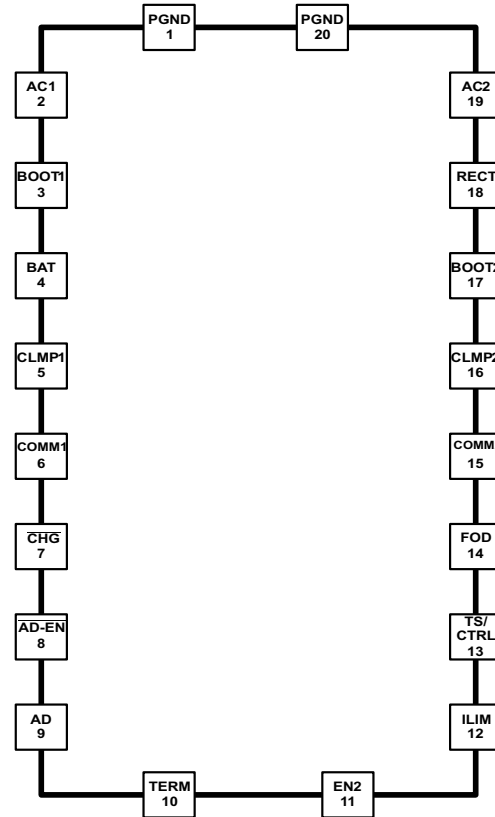
Over junction temperature range $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$ and recommended supply voltage (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SYNCHRONOUS RECTIFIER						
I_{BAT}	I_{BAT} at which the synchronous rectifier enters half synchronous mode, SYNC_EN	$I_{\text{BAT}} 200 \rightarrow 0 \text{ mA}$	80	115	140	mA
	Hysteresis for $I_{\text{BAT,RECT-EN}}$ (full-synchronous mode enabled)	$I_{\text{BAT}} 0 \rightarrow 200 \text{ mA}$		25		
$V_{\text{HS-DIODE}}$	High-side diode drop when the rectifier is in half synchronous mode	$I_{\text{AC-VRECT}} = 250 \text{ mA}$, and $T_J = 25^{\circ}\text{C}$		0.7		V
EN2						
V_{IL}	Input low threshold for EN2				0.4	V
V_{IH}	Input high threshold for EN2		1.3			V
$R_{\text{PD, EN}}$	EN2 pull down resistance			200		k Ω
ADC						
P_{owerREC}	Received power measurement	0W – 5W received power after calibration of Rx magnetics losses		0.25		W

YFP Package
3.0mm x 1.9mm 28-Pin WCSP
(TOP VIEW)



RHL Package
4.35mm x 3.35mm 20-Pin QFN
(TOP VIEW)



PIN FUNCTIONS

NAME	WCSP	QFN	I/O	DESCRIPTION
AC1	B3, B4	2	I	Input power from receiver coil.
AC2	B1, B2	19	I	
BOOT1	C4	3	O	Bootstrap capacitors for driving the high-side FETs of the synchronous rectifier. Connect a 10nF ceramic capacitor from BOOT1 to AC1 and from BOOT2 to AC2.
BOOT2	C1	17	O	
RECT	C2, C3	18	O	Filter capacitor for the internal synchronous rectifier. Connect a ceramic capacitor to PGND. Depending on the power levels, the value may be 4.7µF to 22µF.
BAT	D1, D2, D3, D4	4	O	Output pin, delivers power to the battery while applying the internal charger profile.
COMM1	E4	6	O	Open-drain output used to communicate with primary by varying reflected impedance. Connect through a capacitor to either AC1 or AC2 for capacitive load modulation (COMM2 must be connected to the alternate AC1 or AC2 pin). For resistive modulation connect COMM1 and COMM2 to RECT via a single resistor; connect through separate capacitors for capacitive load modulation.
COMM2	E1	15	O	
CLMP1	E3	5	O	Open drain FETs which are utilized for a non-power dissipative over-voltage AC clamp protection. When the RECT voltage goes above 15 V, both switches will be turned on and the capacitors will act as a low impedance to protect the IC from damage. If used, Clamp1 is required to be connected to AC1, and Clamp2 is required to be connected to AC2 via 0.47µF capacitors.
CLMP2	E2	16	O	
PGND	A1, A2, A3, A4	1, 20	–	Power ground

PIN FUNCTIONS (continued)

NAME	WCSP	QFN	I/O	DESCRIPTION
ILIM	G1	12	I/O	Programming pin for the battery charge current. Connect external resistor to VSS. Size R_{ILIM} with the following equation: $R_{ILIM} = 300 / I_{ILIM}$ where I_{ILIM} is the desired battery charge current.
AD	G4	9	I	Connect this pin to the wired adapter input. When a voltage is applied to this pin wireless charging is disabled and AD_EN is driven low. Connect to GND through a 1 μ F capacitor. If unused, capacitor is not required and should be grounded directly.
$\overline{\text{AD-EN}}$	F3	8	O	Push-pull driver for external PFET when wired charging is active.
TS/CTRL	F1	13	I	Must be connected to ground via a NTC resistor. If an NTC function is not desired, connect to GND with a 10 k Ω resistor. As a CTRL pin pull to ground to send end power transfer (EPT) fault to the transmitter or pull-up to an internal rail (i.e. 1.8 V) to send EPT termination to the transmitter.
TERM	G3	10	I	Input that allows the termination threshold to be programmable. $K_{TERM} = 240 \Omega/\%$. Set the termination threshold by applying the following equation $R_{TERM} = \%I_{ILIM} \times K_{TERM}$ where $\%I_{ILIM}$ is the desired percentage of fast charge current when termination should occur.
EN2	G2	11	I	EN2=0 enables wired charging source if AD input voltage is above 3.6V, wireless charging is enabled if AD input voltage is < 3.6V, EN2=1 disables wired charging source; wireless power is always enabled if present.
FOD	F2	14	I	Input for the rectified power measurement. Connect to GND with a 188 Ω resistor.
$\overline{\text{CHG}}$	F4	7	O	Open-drain output – active when charging of the battery is active.

Battery Charge Profile

The rectifier voltage follows BAT voltage plus 300 mV for any battery voltage above V_{LOWV} to full regulation voltage and most of the taper charging phase. If the battery voltage is below V_{LOWV} or I_{CHG} is less than 35% of fast charge current during taper mode, the rectifier voltage increases to $V_{RECT-REG}$. The charge profile is shown in Figure 21.

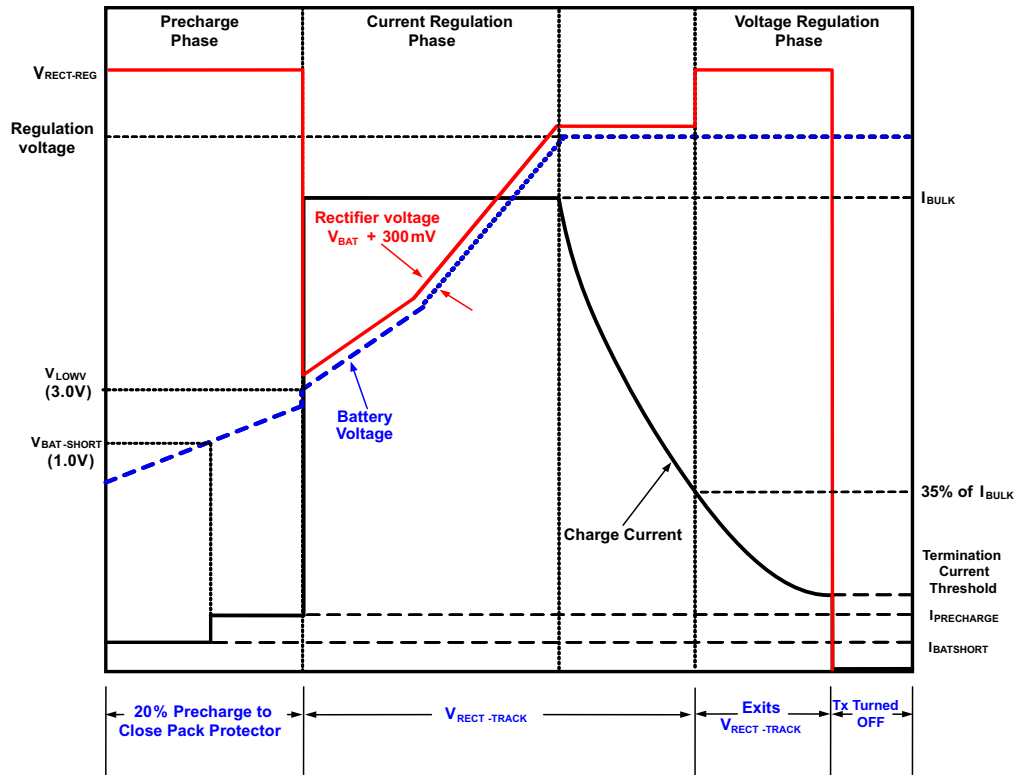


Figure 21. Li-Ion Battery Charger Profile

The battery is charged in three phases: precharge, fast-charge constant current and constant voltage. In all charge phases, an internal control loop monitors the IC junction temperature and reduces the charge current if the internal temperature threshold is exceeded. Additionally, a voltage-based battery pack thermistor monitoring input (TS) is included that monitors battery temperature for safe charging. The TS function for bq5105x is JEITA compatible.

Battery Charging Process

Precharge Mode ($V_{BAT} \leq V_{LOWV}$)

The bq5105X enters pre-charge mode when $V_{BAT} \leq V_{LOWV}$. Upon entering precharge mode, battery charge current limit is set to $I_{PRECHARGE}$. During pre-charge mode, the charge current is regulated to 20% of the fast charge current (I_{BULK}) setting.

If the battery is deeply discharged or shorted ($V_{BAT} < V_{BAT-SHORT}$), the bq5105X applies $I_{BAT-SHORT}$ current to bring the battery voltage up to acceptable charging levels. Once the battery rises above $V_{BAT-SHORT}$, the charge current is regulated to $I_{PRECHARGE}$.

Under normal conditions, the time spent in this pre-charge region is a very short percentage of the total charging time and this does not affect the overall charging efficiency for very long.

Fast Charge Mode /Constant Voltage Mode

Once $V_{BAT} > V_{LOWV}$, the bq5105x enters fast charge mode (Current Regulation Phase) where charge current is regulated using the internal MOSFETs between RECT and BAT. Once the battery voltage charges up to $V_{BAT-REG}$, the bq5105x enters constant voltage (CV) phase and regulates battery voltage to $V_{BAT(REG)}$ and the charging current is reduced.

Once the input current falls below the termination threshold (I_{TERM}), the charger goes into high impedance.

Battery Charge Current Setting Calculations

R_{ILIM} Calculations

The bq5105x includes a means of providing hardware overcurrent protection by means of an analog current regulation loop. The hardware current limit provides an extra level of safety by clamping the maximum allowable output current (e.g., a current compliance). The calculation for the total R_{ILIM} resistance is as follows:

$$R_1 = \frac{300}{I_{BULK}} - R_{FOD} \quad R_{ILIM} = R_1 + R_{FOD} \quad (1)$$

Where I_{BULK} is the expected maximum battery charge current during fast charge mode and I_{BULK} is the hardware over current limit. When referring to the application diagram shown in [Figure 2](#), R_{ILIM} is the sum of R_{FOD} (188Ω) and the resistance from the I_{LIM} pin to GND).

Termination Calculations

The bq5105X includes a programmable upper termination threshold. This pin can be used to send the charge status 100% packet (CS100) to the transmitter in order to indicate a full charge status. The header for this packet is 0x05. Note that this packet does not turn off the transmitter and is only used as an informative indication of the mobile device's charge status. The upper termination threshold is calculated using [Equation 2](#):

$$R_{TERM} = K_{TERM} \times \%I_{BULK} \quad (2)$$

The K_{TERM} constant is specified in the datasheet as 240. The upper termination threshold is set as a percentage of the $ILIM$ setting.

For example, if the $ILIM$ resistor is set to 300 Ω the $ILIM$ current will be 1A ($300 \div 300$). If the upper termination threshold is desired to be 100 mA, this would be 10% of $ILIM$. The R_{TERM} resistor would then equal 2.4 kΩ (240×10).

Battery-Charger Safety and JEITA Guidelines

The bq5105x continuously monitors battery temperature by measuring the voltage between the TS pin and GND. A negative temperature coefficient thermistor (NTC) and an external voltage divider typically develop this voltage. The bq5105x compares this voltage against its internal thresholds to determine if charging is allowed. To initiate a charge cycle, the voltage on TS pin must be within the V_{T1} to V_{T4} thresholds. If V_{TS} is outside of this range, the bq5105x suspends charge and waits until the battery temperature is within the V_{T1} to V_{T4} range.

If V_{TS} is within the range of V_{T1} and V_{T2} , the charge current is reduced to $I_{BULK}/2$. If V_{TS} is within the range of V_{T2} and V_{T3} , the maximum charge voltage regulation is 4.25V. If V_{TS} is within V_{T3} and V_{T4} , the maximum charge voltage regulation is reduced back to 4.10V and charge current is reduced to $I_{BULK}/2$. [Figure 22](#) summarizes the operation.

Status Outputs

The bq5105x provides one status output, $\overline{\text{CHG}}$. This output is an open-drain NMOS device that is rated to 20 V. The open-drain FET connected to the $\overline{\text{CHG}}$ pin will be turned on whenever the output (BAT) of the charger is enabled. As a note, the output of the charger supply will not be enabled if the $V_{\text{RECT(REG)}}$ does not converge at the no-load target voltage.

Communication Modulator

The bq5105x provides two identical, integrated communication FETs which are connected to the pins COM1 and COM2. These FETs are used for modulating the secondary load current which allows bq5105x to communicate error control and configuration information to the transmitter. Figure 23 shows how the COMM pins can be used for resistive load modulation. Each COMM pin can handle at most a 24Ω communication resistor. Therefore, if a COMM resistor between 12Ω and 24Ω is required COM1 and COM2 pins must be connected in parallel. bq5105x does not support a COMM resistor less than 12Ω .

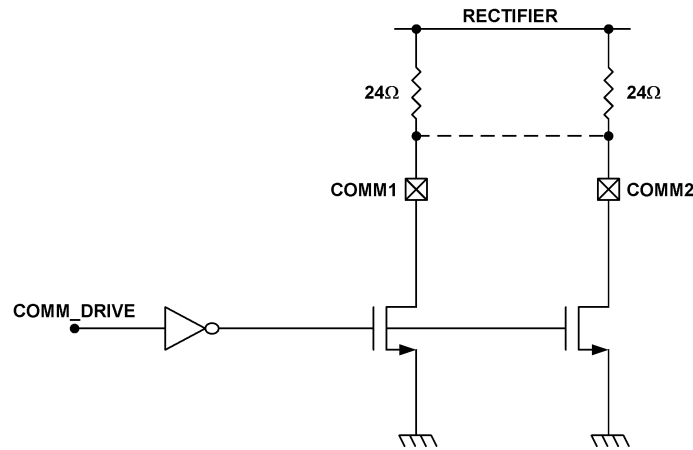


Figure 23. Resistive Load Modulation

In addition to resistive load modulation, the bq5105x is also capable of capacitive load modulation as shown in Figure 24. In this case, a capacitor is connected from COM1 to AC1 and from COM2 to AC2. When the COMM switches are closed there is effectively a 22 nF capacitor connected between AC1 and AC2. Connecting a capacitor in between AC1 and AC2 modulates the impedance seen by the coil, which will be reflected in the primary as a change in current.

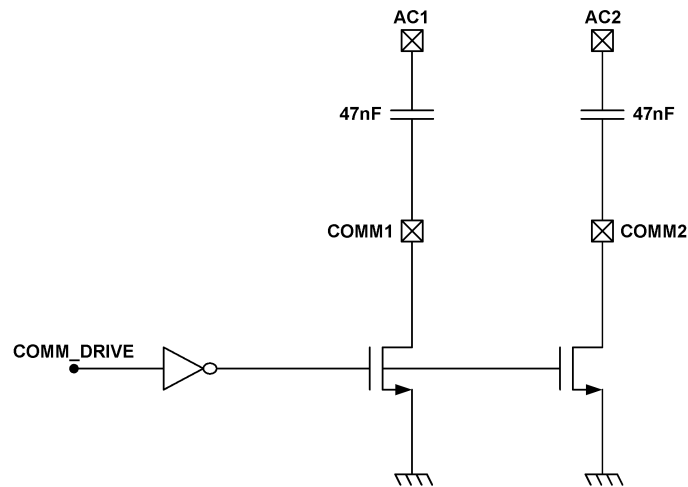


Figure 24. Capacitive Load Modulation

Synchronous Rectification

The bq5105x provides an integrated, self-driven synchronous rectifier that enables high-efficiency AC to DC power conversion. The rectifier consists of an all NMOS H-Bridge driver where the back gates of the diodes are configured to be the rectifier when the synchronous rectifier is disabled. During the initial startup of the WPC system the synchronous rectifier is not enabled. At this operating point, the DC rectifier voltage is provided by the diode rectifier. Once VRECT is greater than UVLO, half synchronous mode will be enabled until the load current surpasses 140 mA. Above 140 mA the full synchronous rectifier stays enabled until the load current drops back below 100 mA where half synchronous mode is enabled instead.

Internal Temperature Sense (TS)

The bq5105x includes a ratiometric battery temperature sense circuit. The temperature sense circuit has two ratiometric thresholds which represent a hot and cold condition. An external temperature sensor is recommended to provide safe operating conditions to the receiver product. This pin is best utilized when monitoring the surface that can be exposed to the end user.

The circuit in [Figure 25](#) allows for any NTC resistor to be used with the given V_{HOT} and V_{COLD} thresholds.

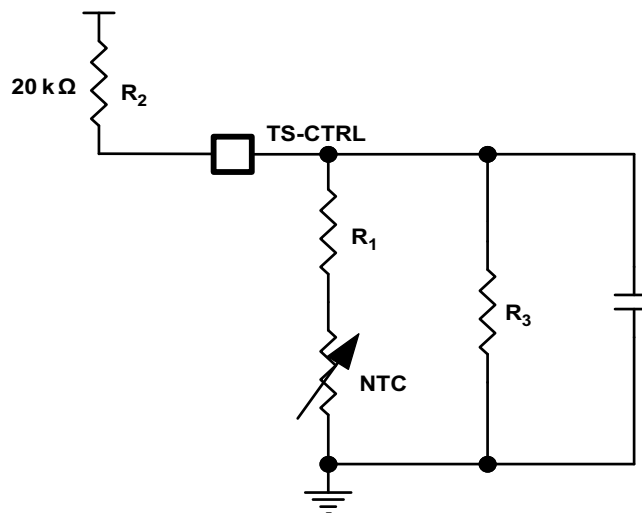


Figure 25. NTC Circuit used for Safe Operation of the Wireless Receiver Power Supply

The resistors R1 and R3 can be solved by resolving the system of equations at the desired temperature thresholds. The two equations are:

$$\%V_{\text{COLD}} = \frac{\left(\frac{R_3 (R_{\text{NTC}}|_{\text{TCOLD}} + R_1)}{R_3 + (R_{\text{NTC}}|_{\text{TCOLD}} + R_1)} \right)}{\left(\frac{R_3 (R_{\text{NTC}}|_{\text{TCOLD}} + R_1)}{R_3 + (R_{\text{NTC}}|_{\text{TCOLD}} + R_1)} \right) + R_2} \times 100 \quad (3)$$

$$\%V_{\text{HOT}} = \frac{\left(\frac{R_3 (R_{\text{NTC}}|_{\text{THOT}} + R_1)}{R_3 + (R_{\text{NTC}}|_{\text{THOT}} + R_1)} \right)}{\left(\frac{R_3 (R_{\text{NTC}}|_{\text{THOT}} + R_1)}{R_3 + (R_{\text{NTC}}|_{\text{THOT}} + R_1)} \right) + R_2} \times 100 \quad (4)$$

Where:

$$R_{NTC}|_{T_{COLD}} = R_o e^{\beta \left(\frac{1}{T_{COLD}} - \frac{1}{T_o} \right)}$$

$$R_{NTC}|_{T_{HOT}} = R_o e^{\beta \left(\frac{1}{T_{HOT}} - \frac{1}{T_o} \right)}$$

T_{COLD} and T_{HOT} are the desired temperature thresholds in degrees Kelvin. R_o is the nominal resistance and β is the temperature coefficient of the NTC resistor. An example solution for part number ERT-JZEG103JA is:

$$R_1 = 29.402k\Omega$$

$$R_3 = 14.302 k\Omega$$

Where,

$$T_{COLD} = 0^{\circ}C$$

$$T_{HOT} = 60^{\circ}C$$

$$\beta = 4500$$

$$R_o = 10 k\Omega$$

The plot of the percent V_{TSB} vs temperature is shown in [Figure 26](#):

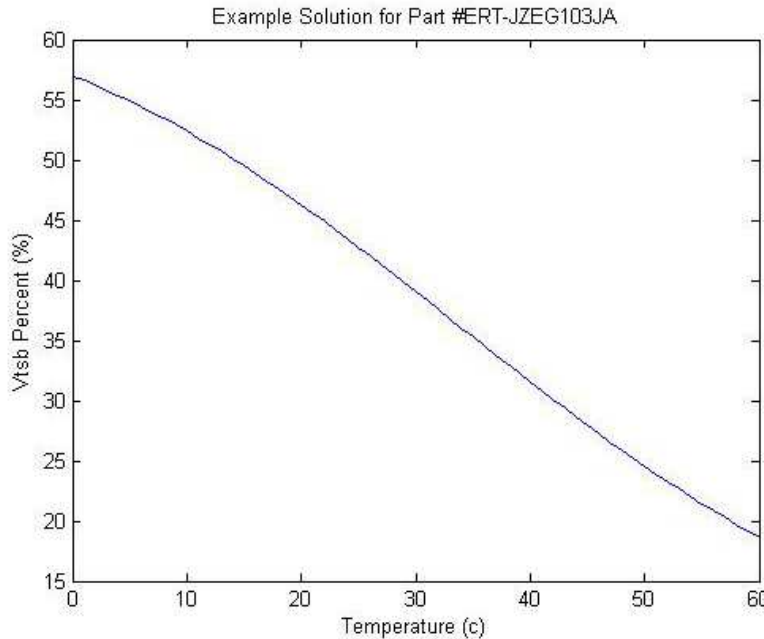


Figure 26. Example Solution for Panasonic Part # ERT-JZEG103JA

[Figure 27](#) illustrates the periodic biasing scheme used for measuring the TS state. The TS_READ signal enables the TS bias voltage for 25 ms. During this period the TS comparators are read (each comparator has a 10 ms deglitch) and appropriate action is taken based on the temperature measurement. After this 25 ms period has elapsed the TS_READ signal goes low, which causes the TS-Bias pin to become high impedance. During the next 100 ms period the TS voltage is monitored and compared to 100 mV. If the TS voltage is greater than 100 mV then a secondary device is driving the TS/CTRL pin and a CTRL = '1' is detected.

Series and Parallel Resonant Capacitor Selection

Shown in [Figure 2](#), the capacitors C1 (series) and C2 (parallel) make up the dual resonant circuit with the receiver coil. These two capacitors must be sized correctly per the WPC v1.1 specification. [Figure 28](#) illustrates the equivalent circuit of the dual resonant circuit:

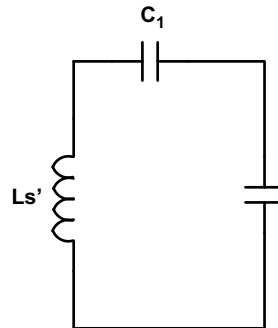


Figure 28. Dual Resonant Circuit with the Receiver Coil

Section 4.2 (Power Receiver Design Requirements) in volume 1 of the WPC v1.1 specification highlights in detail the sizing requirements. To summarize, the receiver designer will be required take inductance measurements with a fixed test fixture. The test fixture is shown in [Figure 29](#):

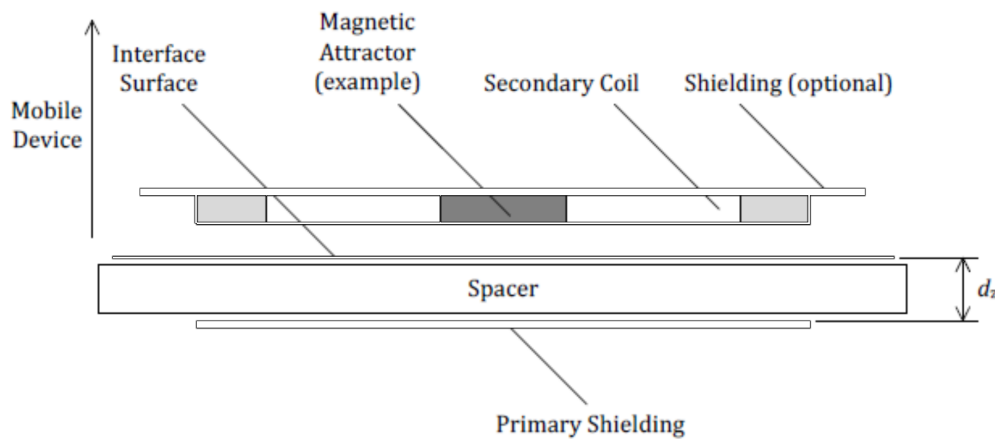


Figure 29. WPC v1.1 Receiver Coil Test Fixture for the Inductance Measurement L_s'

The primary shield is to be 50 mm x 50 mm x 1 mm of Ferrite material PC44 from TDK Corp. The gap d_z is to be 3.4 mm. The receiver coil, as it will be placed in the final system (e.g. the back cover and battery must be included if the system calls for this), is to be placed on top of this surface and the inductance is to be measured at 1-V RMS and a frequency of 100 kHz. This measurement is termed L_s' . This measurement is termed L_s or the free-space inductance. Each capacitor can then be calculated using [Equation 5](#):

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi \times f_s)^2 \times L_s'}$$

$$C_2 = \left((f_D \times 2\pi)^2 \times L_s - \frac{1}{C_1} \right)^{-1} \quad (5)$$

Where f_s is 100 kHz $\pm 5\%$ – 10% and f_D is 1 MHz $\pm 10\%$. C_1 must be chosen first prior to calculating C_2 . The quality factor must be greater than 77 and can be determined by [Equation 6](#):

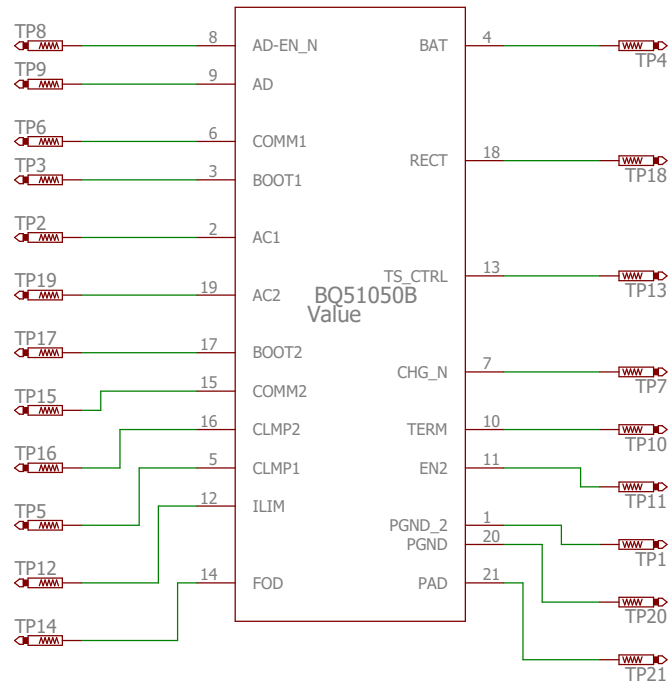
$$Q = \frac{2\pi \times f_D \times L_s}{R} \quad (6)$$

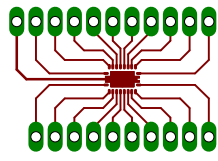
Where R is the DC resistance of the receiver coil. All other constants are defined above.



Anexo III: Planos del zócalo para el chip bq51050B

1. Esquemático.
2. Cara superior PCB (TOP).







Anexo IV: Planos del circuito para el chip bq51050B

1. Esquemático.
2. Componentes PCB.
3. Cara superior PCB (TOP).
4. Cara inferior PCB (BOTTOM).

