

# Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Telecomunicación

Internet de las cosas aplicado al control del sistema energético de una vivienda.

Autor: Álvaro Pérez Aguilar

Tutor: Eduardo Galván Díez

**Dep. Ingeniería Electrónica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2016





Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería de Telecomunicación

# **Internet de las cosas aplicado al control del sistema energético de una vivienda.**

Autor:

Álvaro Pérez Aguilar

Tutor:

Eduardo Galván Díez

Profesor titular

Dep. de Ingeniería Electrónica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2015



Proyecto Fin de Carrera: Internet de las cosas aplicado al control del sistema energético de una vivienda.

Autor: Álvaro Pérez Aguilar

Tutor: Eduardo Galván Díez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2015

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis maestros*



# Agradecimientos

---

En primer lugar, a agradecer a toda mi familia el apoyo, la comprensión y los ánimos que me han dado durante toda mi vida, y en especial en los malos momentos, sin ellos no hubiera podido lograr esto.

Agradecer a todos los profesores de esta escuela quienes me han enseñado mucho sobre el maravilloso mundo de la ingeniería durante estos años, y en especial a Eduardo Galván por darme la oportunidad de hacer este proyecto, su ayuda, sus consejos han sido indispensables para lograr acabar este proyecto de forma satisfactoria y sobre todo por sus ánimos.

A mis compañeros y amigos, empecé la carrera solo en una ciudad nueva para mí, y la que ha acabado convirtiéndose en mi casa, gracias a las grandes personas que he conocido aquí.

Y en especial a Mercedes, por aguantar todo el estrés siempre con buena cara y ofreciendo su ayuda de forma desinteresada para ayudarme a conseguir mis objetivos.

*Álvaro Pérez Aguilar*

*De Los Santos de Maimona a Sevilla, 2016*



# Resumen

---

Los expertos prevén que el sector del “Internet de las Cosas” será clave en la próxima década y que ninguna institución, empresa o gobierno podrá estar al margen de ella. Además, la Unión Europea ha establecido como objetivo reducir el consumo energético para conseguir que el mayor número de consumidores utilicen las tecnologías de eficiencia energética.

Este proyecto se centra en unificar estas dos ideas, para ello se apoyará en el dispositivo Imp001 e Imp002 de la empresa Electric Imp. Dichos dispositivos son capaces de comunicarse a través de Internet con una conexión segura.

En este documento se plasma el diseño de una aplicación que sea capaz de actuar sobre la vivienda de forma remota, y permita visualizar la potencia consumida en cada instante.

Por último, se presenta el diseño completo y la fabricación de una placa PCB, donde se unifican todas las utilidades descritas.



# Abstract

---

Experts predict that the sector of Internet of Things will be key in the next decade and that not any institution, company or government will be able to be outside it. In addition, the European Union has set a goal to reduce energy consumption to get as many consumers as possible using energy efficiency technologies.

This project focuses on unifying these two ideas, because of that, it will be based on the Imp001 and Imp002 device of company Electric Imp. Such devices are able to communicate via Internet with a secure connection.

This document describes the design of an application that is able to act on the dwelling remotely, and to display the power consumed in each moment.

Finally it presents both; the complete design and how to manufacture a PCB, in which all the utilities described are unified.



<b>Agradecimientos</b> .....	<b>9</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>11</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>13</b>
<b>Índice</b> .....	<b>15</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>17</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>19</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>Antecedentes</i> .....	1
1.2 <i>Estado del arte</i> .....	2
1.2.1 <i>Introducción histórica</i> .....	2
1.2.2 <i>Conceptos previos</i> .....	2
1.2.3 <i>Tecnologías relacionadas</i> .....	3
1.2.3.1 <i>Tecnologías de recopilación de datos</i> .....	3
1.2.3.2 <i>Tecnologías de procesamiento y gestión de datos</i> .....	4
1.2.3.3 <i>Tecnologías de actuación, aplicaciones</i> .....	4
1.2.4 <i>Aplicaciones de IoT</i> .....	5
<b>2 Memoria descriptiva</b> .....	<b>7</b>
2.1 <i>Objetivos generales</i> .....	7
2.1.1 <i>Requisitos técnicos</i> .....	7
<b>3 Memoria justificativa</b> .....	<b>9</b>
3.1 <i>Electric imp</i> .....	9
3.1.1 <i>Justificación de la elección</i> .....	9
3.1.2 <i>Características del Electric Imp</i> .....	9
3.1.3 <i>Modelos de Electric Imp</i> .....	10
3.1.3.1 <i>Imp001</i> .....	10
3.1.3.2 <i>Prestaciones</i> .....	10
3.1.3.3 <i>Pines y características electrónicas</i> .....	11
3.1.3.4 <i>¿Cómo usarlo?</i> .....	13
3.1.3.5 <i>Imp002</i> .....	14
3.1.3.6 <i>Prestaciones</i> .....	14
3.1.3.7 <i>Pines y características electrónicas</i> .....	15
3.1.3.8 <i>¿Cómo usarlo?</i> .....	18
3.1.4 <i>Programación</i> .....	19
3.2 <i>Fabricación del prototipo</i> .....	21
3.2.1 <i>Diseño analógico</i> .....	21
3.2.1.1 <i>Hardware para la adaptación de la señal</i> .....	21
3.2.1.2 <i>Hardware de adaptación del Imp002</i> .....	26
3.2.2 <i>Selección de componentes</i> .....	32
3.2.3 <i>Diseño de layout</i> .....	35
3.2.4 <i>Fabricación PCB</i> .....	37
3.2.5 <i>Montaje de los componentes</i> .....	37
3.3 <i>Comprobación de funcionalidad</i> .....	37

3.3.1	PRUEBA A: Circuito de tensión con alimentación externa. ....	39
3.3.2	PRUEBA B: Circuito de intensidad con alimentación externa.....	42
3.3.3	PRUEBA C: Rele, encender y apagar en el laboratorio. ....	44
3.3.4	PRUEBA D: Rele encender y apagar con Electric Imp. ....	46
3.3.5	PRUEBA E: Cálculo de potencia.....	47
3.3.6	PRUEBA F: Trabajo final. ....	49
<b>4</b>	<b>Memoria de cálculos .....</b>	<b>53</b>
4.1	<i>Circuito de intensidad. ....</i>	53
4.2	<i>Referencia en tensión.....</i>	54
4.3	<i>Diseño amplificador. ....</i>	54
4.4	<i>Circuito de tensión. ....</i>	55
<b>5</b>	<b>Conclusión .....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>Trabajo futuro .....</b>	<b>59</b>
<b>Anexo A.</b>	<b>Planos .....</b>	<b>61</b>
A.1	<i>Cara top. ....</i>	61
A.2	<i>Cara bottom.....</i>	62
A.3	<i>Cara top impresión. ....</i>	63
A.4	<i>Cara bottom impresión.....</i>	64
<b>Anexo B.</b>	<b>Código TFG .....</b>	<b>65</b>
B.1	<i>Código calculador de irms y potencia activa. ....</i>	65
B.1.1	<i>Código Agent.....</i>	65
B.1.2	<i>Código Device. ....</i>	65
B.1.3	<i>Explicación del código.....</i>	67
B.2	<i>Código Hello Word. ....</i>	68
B.2.1	<i>Código Device.....</i>	68
B.2.2	<i>Explicación del código. ....</i>	68
B.3	<i>Código Hello Word Agent.....</i>	68
B.3.1	<i>Código Device.....</i>	68
B.3.2	<i>Código agent. ....</i>	69
B.3.3	<i>Explicación del código. ....</i>	69
B.4	<i>Código TFG .....</i>	70
B.4.1	<i>Device .....</i>	70
B.4.2	<i>Agent.....</i>	77
B.4.3	<i>Explicación del código.....</i>	79
<b>Anexo C.</b>	<b>Especificaciones de componentes.....</b>	<b>81</b>
C.1.	<i>Transformador de corriente.....</i>	81
C.2.	<i>Max4477.....</i>	82
C.3	<i>Fan4860. ....</i>	87
C.4	<i>TPS 62172.....</i>	93
<b>Referencias.....</b>		<b>97</b>
<b>Glosario .....</b>		<b>99</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Tipos de entrada y salidas en Imp001. ....	11
Tabla 2. Características eléctricas.....	12
Tabla 3. Descripción de pines del Imp002.....	15
Tabla 4. Tipos de entrada y salida del Imp002. ....	16
Tabla 5. Características eléctricas del Imp002. ....	17
Tabla 6. Componentes hardware de adaptación de señal.....	33
Tabla 7. Componentes para relé. ....	33
Tabla 8. Componentes para la adaptación del Imp002.....	34
Tabla 9. Componentes convertidor elevador. ....	35



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Ciclo de las tecnologías emergentes.....	1
Figura 2. Estimación de objetos conectados en 2020.Cisco IBSG, abril de 2011.....	3
Figura 3. RFID etiqueta y lector.....	4
Figura 4. Capas del Internet de las cosas.....	5
Figura 5. Tarjeta Imp001.....	10
Figura 6. Placa para usar Imp001.....	13
Figura 7. Imp002.....	14
Figura 8. Asignación de pines a Imp002.....	15
Figura 9. Señal de sincronización y datos.....	18
Figura 10. Señal para BlinkUp tres niveles.....	19
Figura 11. Entorno de desarrollo del Electric Imp.....	20
Figura 12. Circuito de simulación en MicroCap10.....	21
Figura 13. Transformador de corriente 100A:50mA.....	22
Figura 14. Señal sinusoidal de 40A a 50Hz, vivienda.....	22
Figura 15. Señal sinusoidal después de pasar por el transformador de corriente.....	23
Figura 16. Señales del circuito de simulación de la parte de intensidad.....	24
Figura 17. Señales del circuito de simulación de la parte de tensión.....	25
Figura 18. Alimentación del Imp002.....	26
Figura 19. Conector macho para baterías.....	26
Figura 20. Convertidor reductor TSP62172.....	27
Figura 21. Jumper que permite leer Vin al Imp.....	27
Figura 23. Módulo Imp002 en EAGLE.....	28
Figura 24. Capacidad de desacoplo.....	28
Figura 25. Leds y fototransistor.....	29
Figura 26. Configuración de relé.....	30
Figura 27. Convertidor elevador.....	31
Figura 28. Tira de pines.....	31
Figura 29. Diseño completo en EAGLE.....	32
Figura 30. Layout completo.....	36
Figura 30. Cara top de Cara TOP de la placa terminada.....	38
Figura 32. Cara BOTTOM de la placa terminada.....	39
Figura 33. Generador de onda y fuente de tensión.....	39
Figura 34. Conexión para introducir la señal de tensión.....	40

Figura 35. Señal de salida con entrada 6,9V.....	40
Figura 36. Señal cuando la entrada excede lo permitido.....	41
Figura 37. Osciloscopio con entrada 0V.....	41
Figura 38. Transformador midiendo intensidad.....	42
Figura 39. Configuración para medir la intensidad.....	42
Figura 40. Características de la batidora.....	43
Figura 41. Salida del circuito intensidad con MC10.....	43
Figura 42. Salida del osciloscopio del circuito de intensidad con batidora.....	44
Figura 43. Placa alimentada por relé.....	45
Figura 44. Relé encendido.....	45
Figura 45. Device logs.....	46
Figura 46. URL en el navegador.....	46
Figura 47. Sistema para encender y apagar el relé.....	46
Figura 48. Sistema con relé encendido.....	47
Figura 49. Sistema completo.....	47
Figura 50. Potencia del electrodoméstico de 700W.....	48
Figura 51. Device logs corriente y potencia activa.....	48
Figura 52. Página thingSpeak gráficas potencia activa e Irms.....	49
Figura 53. Registro del dispositivo al ejecutar el código TFG.....	49
Figura 54. Navegador desactivación del relé.....	50
Figura 55. Navegador activación del relé.....	50
Figura 56. Relé encendido con temporizador.....	50
Figura 57. . Navegador con mensaje de error.....	50
Figura 58. Página ThingSpeak trabajo final.....	51
Figura 59. Device logs trabajo final.....	51
Figura 60. Diseño entrada de intensidad.....	53
Figura 61. Diseño referencia en tensión.....	54
Figura 62. Diseño amplificador.....	54
Figura 63. Diseño entrada voltaje.....	55
Figura 64. Cara top.....	61
Figura 65. Cara bottom.....	62
Figura 66. Placa cara top impresión.....	63
Figura 67. Placa bottom impresión.....	64

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes.

La tecnología es el gran motor del nuevo mundo y la conectividad es el denominador común de las grandes innovaciones vividas en los últimos años.

En estos últimos años se ha puesto de moda el término del “Internet de las Cosas” (IoT), los expertos aseguran que será uno de los grandes negocios del futuro, con una clara finalidad: conectar el mayor número de objetos que nos rodean, entre ellos y con nosotros. [1]

Como se puede observar en la siguiente gráfica hecha por expertos analistas, existen grandes expectativas de negocio para el “Internet de las Cosas” en los próximos años.

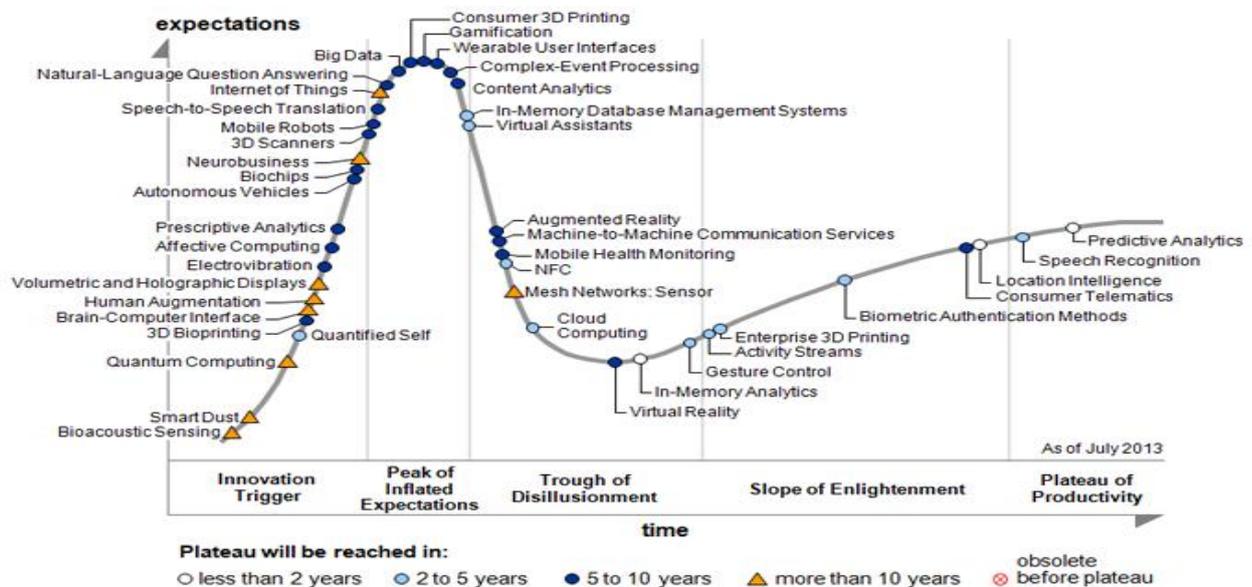


Figura 1. Ciclo de las tecnologías emergentes.

Por otro lado, algo fundamental para lograr un avance sostenible de la sociedad actual es el uso responsable de las energías, por ello, se acuña el término eficiencia energética, el cual hace referencia a la optimización de recursos para conseguir la satisfacción de nuestras necesidades, luz, calefacción,... [2]

Este proyecto se centra en ambos términos, dada la importancia de ellos en nuestro día a día.

## 1.2 Estado del arte.

### 1.2.1 Introducción histórica.

El término de “Internet de las Cosas” (IoT) fue mencionado por primera vez en 1999 por Kevin Ashton, un investigador británico que trabaja en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) como cofundador y director ejecutivo del Centro de Auto-ID, desarrollando un sistema de sensores e identificadores de radio frecuencia (RFID) [3].

Aunque el término fuera presentado en 1999, el “Internet de las Cosas” había estado desarrollándose durante décadas. El primer dispositivo de “Internet de las Cosas” del que se tiene constancia fue una máquina de Coca-Cola en la Universidad de Carnegie Melon a principios de los años ochenta. [4] Donde los programadores podían acceder a través de internet al estado de las bebidas de la máquina.

Durante estas últimas décadas el desarrollo del IoT ha sido promovido por el afán de reducir al máximo las dimensiones físicas; por el avance en la reducción de consumo y la capacidad de crear hardware/software cada vez más complejos en los equipos. Hasta llegar a día de hoy donde se espera que el IoT sea la siguiente gran transformación tecnológica. Ya no solo las personas estarán conectadas a la red por ordenadores sino que todos los objetos y personas estarán interconectados entre sí.

### 1.2.2 Conceptos previos.

Aunque el “Internet de las Cosas” sea uno de los términos más de moda en la actualidad aún no hay una definición formal del mismo. Se podría definir como el concepto basado en “la interconexión de objetos cotidianos, singularmente identificables conectados a través de internet”.

IoT describe un sistema en el que los elementos del mundo físico lleven sensores incluidos, estos sensores podrán utilizar tecnología como RFID, NFC, WI-FI, entre otras, para conexiones de red local y conectividad de larga distancia como GSM, GPRS, 3G, 4G y 5G [5].

Los sensores serán utilizados para la recolección de datos, los objetos físicos llevarán uno o más sensores, cada uno controlará una condición específica como la ubicación, el movimiento, la temperatura. El IoT conectará estos sensores entre sí y con sistemas capaces de comprender la información presente en éstos.

Una característica singular de los dispositivos IoT es generar datos más pequeños que el internet tradicional pero a mayor frecuencia [5]. Cuando varios dispositivos envían estos pequeños datos, a través de una red a la nube, se pueden monitorizar pero con el tiempo la cantidad de datos se hará muy grande. A esto se denomina con frecuencia “big data”. El “big data” permite analizar miles o millones de puntos de datos con el fin de aprender, entender o controlar algo mucho mejor [6].

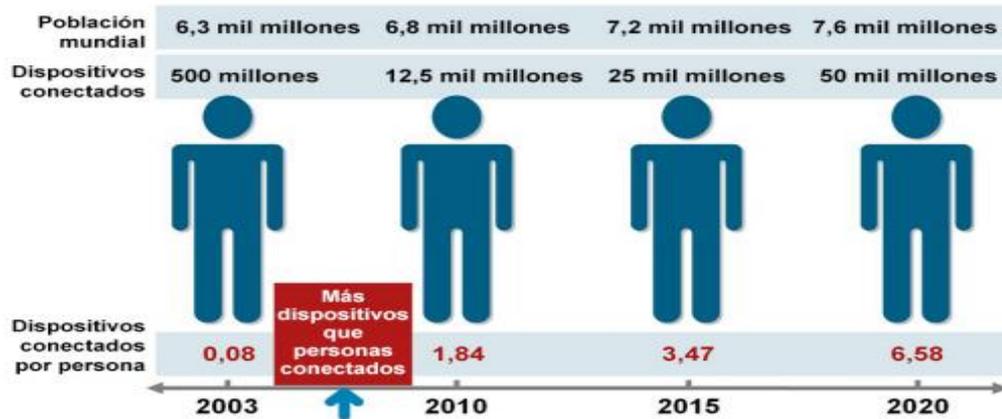


Figura 2. Estimación de objetos conectados en 2020. Cisco IBSG, abril de 2011.

Como se observa en la figura 2, se espera triplicar el número de objetos conectados en el mundo en apenas 10 años.

### 1.2.3 Tecnologías relacionadas.

El “Internet de las Cosas” no creará una nueva categoría de sistemas, sino que irá integrándose de forma progresiva al internet actual. Las tecnologías en las que se apoyará serán las siguientes [7]:

- Tecnologías de recopilación de datos.
- Tecnologías de procesamiento y gestión de datos.
- Tecnologías de actuación, aplicaciones.

#### 1.2.3.1 Tecnologías de recopilación de datos.

##### 1.2.3.1.1 RFID.

RFID es el acrónimo de Identificación por Radio Frecuencia. El concepto de esta tecnología se remonta a 1930 cuando las fuerzas armadas y la naval de los Estados Unidos buscaban alternativas para la localización de objetivos en tierra, mar y aire [8].

RFID es clasificado como una tecnología de Captura Automática de Datos. RFID utiliza una etiqueta conocida como “TAG”, que permite reflejar ondas de manera que las ondas retornadas portan datos.

Un sistema de identificación por radiofrecuencia básicamente consta de tres componentes: etiqueta (tag), hardware lector y software especializado o de control. El hardware lector, se comunica de manera inalámbrica con las etiquetas electrónicas que contienen información. De manera general suelen llamarse lector y etiquetas (tags). El lector envía por el aire una señal la cual es captada por la etiqueta y ésta responde según las peticiones del lector, indicando su información almacenada o datos internos. La etiqueta es un circuito electrónico en forma de lámina que puede contener diversos tamaños físicos o características de memoria. Ésta es de carácter pasivo, es decir, no requiere baterías para funcionar, sino que se alimenta de la energía recibida de la antena del lector que trata de comunicarse con ella.

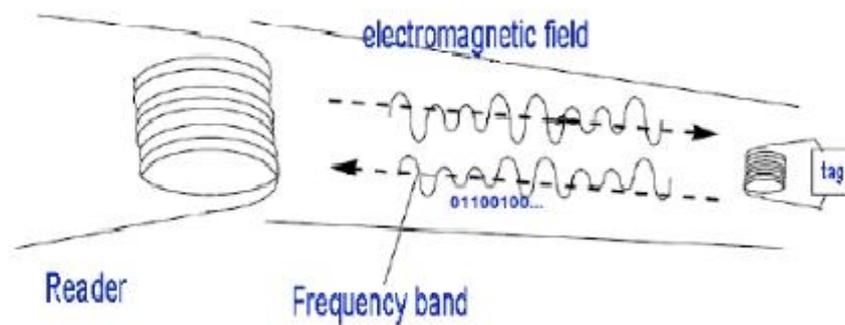


Figura 3. RFID etiqueta y lector.

#### 1.2.3.1.2 NFC.

NFC es el acrónimo de Near Field Communication, es una tecnología inalámbrica de rango corto que está dentro de los estándares de RFID. Ha sido ideada para ser introducida en otros dispositivos como alternativa de comunicación entre los mismos, especialmente en terminales móviles como teléfonos [9]

Los lectores pueden estar incluidos en el teléfono móvil, en cualquier otro dispositivo o puede ser un lector externo conectado a un ordenador. La comunicación entre el lector y la etiqueta en NFC es de pocos centímetros dado que está concebida para ser de rango corto, a diferencia de otros estándares de RFID, que pueden alcanzar hasta varios metros. Funciona en el rango de los 13,56MHz a una velocidad de hasta 424Kbits/seg, sus estándares están siendo desarrollados por el NFC FORUM [10] como Organismo de Promoción y Estandarización de la tecnología NFC, pero sigue muchos estándares de RFID propuestos por ISO (International Organization for Standardization) y la ETSI (Acrónimo de European Telecommunications Standards Institute)

#### 1.2.3.2 Tecnologías de procesamiento y gestión de datos.

Middleware es un software de conectividad, consiste en un conjunto de servicios que permiten interactuar a múltiples procesos ejecutados en diferentes máquinas a través de una red. Permite tener un nivel de abstracción necesario para que los usuarios finales o desarrolladores no tengan que involucrarse con la gestión y la utilización de las capas inferiores. Esto incluye servidores web, servidores de aplicaciones, sistemas de gestión de contenido y herramientas similares. Middleware es especialmente esencial para tecnologías como XML, SOAP, servicios web y arquitecturas orientada a servicios [11].

Lo que se busca es una arquitectura orientada al servicio, basado en una comunicación normalizada de los dispositivos. Si a esto se le añade los servicios de la nube, una arquitectura distribuida, en la que las identidades son tratadas de forma uniforme y accesible a través de interfaces estándar, se puede conseguir una interfaz eficiente y de gran ayuda para el desarrollo del IoT [7].

#### 1.2.3.3 Tecnologías de actuación, aplicaciones.

Como se observa en la siguiente imagen, hay multitud de aplicaciones tales como la automatización de los hogares, e-salud, seguridad pública (éstas se desarrollarán más adelante),...

Para desarrollar tanto éstas como otras aplicaciones es necesario el desarrollo de algoritmos y software que permitan interpretar correctamente la información proveniente de los sensores. De esta forma, cuando la red es capaz de dar sentido a la información de los sensores, se consigue que sea manejable y toma un valor altísimo para su explotación.



Figura 4. Capas del Internet de las cosas.

#### 1.2.4 Aplicaciones de IoT.

En el nuevo mundo del IoT hay infinidad de aplicaciones o posibles usos de esta tecnología, aquí se presentan las principales áreas.

- **Construcción y automatización de hogares inteligentes**

A partir de la reducción de costes energéticos y de mantenimiento. En este campo se centrará este proyecto.

- **Ciudades inteligentes**

Con la creación de sistemas de monitorización del tráfico, sistemas de iluminación eficientes,...

- **Industrial**

Con software y hardware que faciliten y aceleren el tiempo de diseño para la fabricación del producto.

- **Cuidado de la salud**

Con productos que monitorizan de forma remota, control de acceso, control de medicamentos,...

- **Automóviles**

A partir de sistemas de iluminación inteligentes, telemetría, información y entretenimiento.



# 2 MEMORIA DESCRIPTIVA

---

## 2.1. Objetivos generales.

El proyecto constará del despliegue de varios dispositivos conectados vía Wifi para controlar los sistemas energéticos de una vivienda. Se monitorizará y controlarán varias cargas eléctricas gestionables, una de estas cargas será un sistema de calefacción con placas solares y suelo radiante, otras de las cargas serán los sistemas de iluminación. Para ello se desarrollarán un subsistema de telemetria de la potencia eléctrica de la instalación monofásica consumida por la instalación de la vivienda.

### 2.1.1 Requisitos técnicos.

- El sistema de control y monitorización distribuidos estará basado en la placa de desarrollo micro controladora Electric Imp.
- Frecuencia máxima de trabajo 100MHz.
- Normativas a cumplir:
  - Compatibilidad Electromagnética.
  - Seguridad eléctrica.
- Las características técnicas de la placa de circuito impreso a diseñar son las siguientes:
  - Dimensiones máximas: 100 x 95 mm.
  - Peso: 50 gramos.
  - Temperatura de funcionamiento mínimo 0°C máximo 50 °C.
  - Humedad relativa 98% a +40°C.
  - Golpes a 98 m/s<sup>2</sup>.
  - Vibración 10~55Hz.
  - Presión 86~106kPa.
  - Error límite de corriente eficaz de 1%
  - Error límite de potencia de 1%
  - Alimentación doble:
    - Tensión de alimentación 5V conector USB. Corriente máxima 1A.
    - Tensión de 3,7V mediante batería de Ion Litio de 1000mAh.
  - Sensores:
    - 1 sensor de tensión con las siguientes:
      - ❖ Valores pico único: 374.05 V.
      - ❖ Valor máximo RMS permanente: 230V.
      - ❖ Margen de seguridad de 15%.
      - ❖ 50 Hz.
      - ❖

- 1 sensor de corriente:

El estudio de este proyecto se centra sobre una vivienda que tiene contratado 9,2 kW de potencia, lo que equivale a 40 A.

- ❖ 50 Hz.
- ❖ Valores pico único: 40 A.

- Actuadores:

Una salida por relé con las siguientes características técnicas:

- ❖ Voltaje que soporta dieléctrico (Rms/50Hz): 1500 VAC (entre contacto) 2500 VAC (entre bonina y contacto).
- ❖ Max. Potencia de conmutación: 560W.
- ❖ Max. Tensión de conmutación: 240VAC / 28VDC.
- ❖ Max. Corriente de conmutación: 20 A.
- ❖ Tensión nominal 5V.
- ❖ Señal de control a 3,75 V.

# 3 MEMORIA JUSTIFICATIVA

---

## 3.1 Electric imp.

### 3.1.1 Justificación de la elección.

En el mundo del “Internet de las Cosas” nos encontramos cientos de dispositivos capaces de conseguir el mismo propósito, pero ¿por qué escogemos Electric Imp? La respuesta es que Electric Imp es una innovadora y potente plataforma que conecta de forma segura los dispositivos con los recursos de la nube, dispone de una solución única, que ofrece hardware, sistema operativo y API totalmente integradas en la nube, disminuyendo el costo y el tiempo de comercialización y aumentando la seguridad, escalabilidad y flexibilidad [12].

Electric Imp está certificado por FCC y CE entre otros, estas certificaciones aseguran que cumplen con los requisitos de compatibilidad electromagnética y con la seguridad eléctrica.

Los diferentes dispositivos con los que se trabajará en este proyecto son de dimensiones reducidas cumpliendo las necesidades de tamaño de la placa PCB, además disponen del microprocesador Cortex M3, el cual tiene una frecuencia de trabajo de 100MHz [13].

Las condiciones ambientales que soportan los dispositivos son amplias, su rango de temperatura abarca desde los -20°C hasta los 55°C. Cumple con los requisitos de la PCB.

### 3.1.2 Características del Electric Imp .

- *Imp Module*, es un módulo de integración de gran alcance WI-FI y gran poder de cálculo que actúa de puerta para conectar el dispositivo a internet, existen diferentes modelos, en este trabajo se utilizan dos, Imp001 e Imp002 [14].
- *Impos<sup>TM</sup>*, es el fundamento del software, ofrece el servicio de conexión a la nube de forma segura, haciendo posible que el usuario final se centre solamente en crear su aplicación, olvidándose de todo lo demás [14].
- *Impcloud<sup>TM</sup>*, equipa a cada uno de los dispositivos con su propio "agente" único, el cual está alojado en la nube, es completamente programable y dispone de un micro-servidor dedicado a apoyar y mejorar el producto con potentes comunicaciones y de forma segura [14].

El agente es el asistente personal del dispositivo y el controlador de acceso, todo en uno. El agente gestiona la comunicación con internet en general, hablando los lenguajes de los servicios más utilizados de la web: REST / JSON y HTTPS.

- *Imp Open API*, es de código abierto lo que permite una mejor experiencia para el cliente [14].
- *Imp BlinkUp<sup>TM</sup>*, permite conectarte a internet de forma segura en apenas segundos, es una patente de Electric Imp, la cual está basada en que el teléfono obtenga la información Wi-Fi y transmita esos datos a través de su pantalla en forma de pulsos de luz. Los datos son leídos por un sensor óptico incorporado al hardware del dispositivo [14].
- *ImpIDE*, es una gran herramienta de desarrollo, es una manera ideal de comenzar a desarrollar productos conectados con “impXXX<sup>1</sup>”, es fácil de manejar y está lista para usar tan pronto como se inicie sesión. Incorpora todas las herramientas necesarias para

---

<sup>1</sup> XXX se refiere a los diferentes modelos que serán codificados de la forma imp001, imp002,...

administrar los dispositivos. Y gracias a la gran cantidad de librerías desarrollada por la plataforma, es posible tener un prototipo de forma rápida y segura [14].

- *ImpSecure<sup>TM</sup>*, la seguridad es parte fundamental de esta plataforma, por ello, dispone de una arquitectura única, la cual dispone de un sistema de arranque seguro para asegurar si el código no puede ser cargado por el hardware y también protege el código de acceso no autorizado o duplicación de la cuenta [14].

### 3.1.3 Modelos de Electric Imp.

En este apartado se describirá los dos modelos utilizados para la ejecución del proyecto.

#### 3.1.3.1 Imp001.

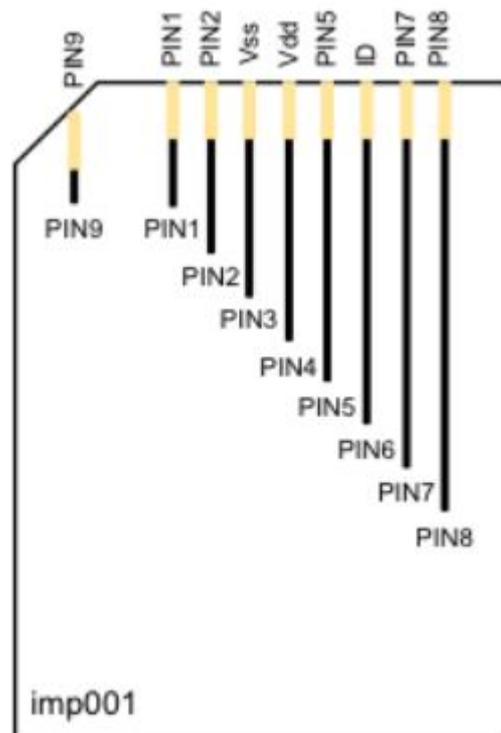


Figura 5. Tarjeta Imp001.

En la figura 5 está la representación del Imp001 que es un completo nodo de red inalámbrico, trabaja para permitir una conexión fácil a internet de cualquier dispositivo. Una de sus grandes ventajas es tener Wi-Fi incorporado [15].

#### 3.1.3.2 Prestaciones.

- 802.11 b/g/n WiFi
  - 20MHz 11n canales, 1x1
  - +16.75dBm máxima potencia de salida (802.11 b)
  - -97dBm sensibilidad típica (1Mbps)
  - Antena WiFi integrada con 2.5dBi de ganancia máxima
- 32-bit Cortex M3 procesador
  - Sistema operativo embebido con actualizaciones a pruebas de fallos
  - Máquina virtual para firmware

- Led de color rojo/verde para indicar su estado
- Fototransistor para la configuración del sistemas usando BlinkUp
- Baja potencia 6 $\mu$ A para modo dormir.
- Certificados FCC, CE, IC C-Tick certified
- 6 tipos de entrada o salidas seleccionables por el usuario
  - GPIO, PWM, salidas o entrada analógica
  - SPI, UART, I2C.

### 3.1.3.3 Pines y características electrónicas.

PIN	GPIO	UART	I2C	SPI	DAC	ACD	PWM	PULSE COUNT	WAKE
1	SÍ	U1-CTS U3-TX	I1-SCL	SPI1- SCLK	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
2	SÍ	U1-RTS U3-RX	I1-SDA	SPI2- MISO		SÍ	SÍ		
5	SÍ	U2-TX		SPI2- SCLK	SÍ	SÍ	SÍ		
7	SÍ	U2-RX		SPI2- MOSI		SÍ	SÍ		
8	SÍ	U1-TX	I2-SCL	SPI1- MOSI		SÍ	SÍ		
9	SÍ	U1-RX	I2-SDA	SPI1- MSO		SÍ	SÍ		

Tabla 1. Tipos de entrada y salidas en Imp001.

Parámetro	Condición	Min	Typ	Max	Unidades
<b>Temperatura de operación</b>		-20		55	°C
$V_{DD}$	Voltaje	1.8 <sup>2</sup>	3.3	3.6	V
$I_{DD}$	Punto normal de operación WiFi-on		80	400 <sup>3</sup>	mA
	Punto normal de operación, WiFi modo ahorro		5	400 <sup>3</sup>	mA
	WiFi-off, el procesador dormido, RTC-on		6		μA
$V_{IH}$	E/S nivel alto de voltaje a la entrada	$0.7V_{DD}$		3.6	V
$V_{IL}$	E/S nivel bajo de voltaje a la entrada	$V_{SS} - 0,3$		$0,3 V_{DD}$	V
$I_{OUT}$	Máxima corriente en los pines E/S	-4		4	mA
<b>Corriente de fuga</b>	$V_{SS} \leq V_{IN} \leq V_{DD}$			4	μA
<b>Capacidad de carga</b>	Pines 1 a 9		20		pF

Tabla 2. Características eléctricas.

<sup>2</sup> WiFi requiere un mínimo de 2.5V pero el código puede ejecutarse a 1,8V. El pin POWER\_EN es activado para que un convertidor elevador externo proporcione +2.5V cuando el Wi-Fi esté activado

<sup>3</sup> 400mA en el peor de los casos durante los eventos de TX. Durante un máximo de 4.8ms (802.11b 1Mbps)

### 3.1.3.4 ¿Cómo usarlo?

El fabricante proviene de un lector de tarjeta y un hardware capaz de alimentar la tarjeta de dos formas diferentes, por USB o por batería.

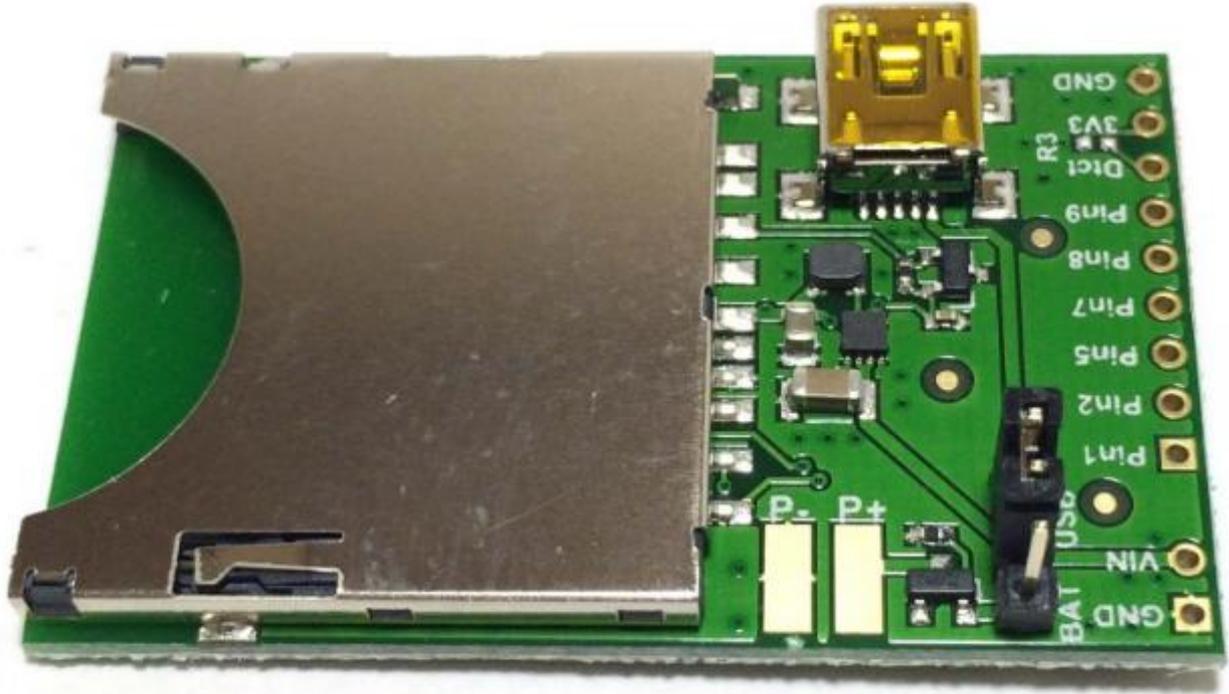


Figura 6. Placa para usar Imp001.

Es necesario utilizar un jumper para indicar la alimentación, así el pin VIN es usado de forma correcta.

Solamente hace falta introducir la tarjeta en el lector de la placa y ya tenemos el electric Imp001 listo para usar. Con este modelo se ha ido conociendo la forma de programar y comprobando con ejemplos su gran utilidad. Además de empezar a diseñar el código final, pudiendo así comprobar su funcionamiento correcto.

### 3.1.3.5 Imp002.

Este modelo es la versión actualizada del Imp001 en un formato especial para soldar, también incluye una antena Wi-Fi [16].



Figura 7. Imp002.

### 3.1.3.6 Prestaciones.

- 802.11 b/g/n WiFi
  - 20MHz 11n canales, 1x1
  - -97dBm sensibilidad típica (1Mbps)
  - Antena WiFi integrada con 2.5dBi de ganancia máxima
  - Potencia de transmisión (TX power)
    - 802.11b 16.5dBm +/-1.5dBm
    - 802.11g 14.0dBm +/-1.5dBm
    - 802.11n 12.75dBm +/-1.5dBm
- 32-bit Cortex M3 procesador
  - Sistema operativo embebido con actualizaciones a pruebas de fallos
  - Máquina virtual para firmware
- Baja potencia 6µA para modo dormir.
- Certificados FCC, CE, IC C-Tick certified
- 12 tipos de entrada o salidas seleccionables por el usuario
  - GPIO, PWM, salidas o entrada analógica
  - SPI, UART, I2C.



PIN	GPIO	UART	I2C	SPI	DAC	ACD	PWM	PULSE COUNT	WAKE
1	SÍ	U1-CTS, U3-TX	I1-SCL	SPI1-SCLK	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
2	SÍ	U1-RTS, U3-RX	I1-SDA	SPI2-MISO		SÍ	SÍ		
5	SÍ	U2-TX		SPI2-SCLK	SÍ	SÍ	SÍ		
6	SÍ	U6-TX							
7	SÍ	U2-RX		SPI2-MOSI		SÍ	SÍ		
8	SÍ	U1-TX	I2-SCL	SPI1-MOSI		SÍ	SÍ		
9	SÍ		I2-SDA	SPI1-MISO		SÍ	SÍ		
A	SÍ					SÍ			
B	SÍ	U4-RX				SÍ			
C	SÍ						SÍ		
D	SÍ								
E	SÍ	U6-RX							

Tabla 4. Tipos de entrada y salida del Imp002.

Parámetro	Condición	Min	Typ	Max	Unidades
<b>Temperatura de operación</b>		-20		55	°C
$V_{DD}$	Voltaje	1.8 <sup>5</sup>	3.3	3.6	V
$V_{DDA}$	Voltaje analógico de entrada	1.8	$V_{DD}$	$V_{DD}$	V
$I_{DD}$	Punto normal de operación WiFi-on		80	400 <sup>6</sup>	mA
	Punto normal de operación, WiFi modo ahorro		5	400 <sup>3</sup>	mA
	WiFi-off, el procesador dormido, RTC-on		6		μA
$I_{DDA}$	Corriente de entrada en $V_{DDA}$		70	500	μA
$V_{IH}$	E/S nivel alto de voltaje a la entrada	$0.7V_{DD}$		3.6	V
$V_{IL}$	E/S nivel bajo de voltaje a la entrada	$V_{SS} - 0,3$		$0,3 V_{DD}$	V
$I_{OUT}$	Máxima corriente en un pin E/S	-8		8	mA
	Corriente de salida en el pin LED_RED	-20		20	mA
	Corriente de salida en el pin LED_GREEN	-20		20	mA
	Máxima corriente en los pines E/S	-80		80	mA
<b>Corriente de fuga</b>	$V_{SS} \leq V_{IN} \leq V_{DD}$			4	μA
<b>Capacidad de carga</b>	Pines 1 a 9		20		pF
	Pines A a E		5		

Tabla 5. Características eléctricas del Imp002.

<sup>5</sup> WiFi requiere un mínimo de 2.5V pero el código puede ejecutarse a 1,8V. El pin POWER\_EN es activado para que un convertidor elevador externo proporcione +2.5V cuando el Wi-Fi esté activado

<sup>6</sup> 400mA en el peor de los casos durante los eventos de TX. Durante un máximo de 4.8ms (802.11b 1Mbps)

### 3.1.3.8 ¿Cómo usarlo?

En esta versión especialmente diseñada para soldarla, está pensada para PCB, en este proyecto, se diseña una placa con el propósito de medir el consumo de una vivienda, utilizando Imp002 se logra una mayor integración [17].

Para hacer esto hay especialmente dos importantes puntos:

- 1) Fototransistor.
- 2) LED.

El fototransistor es necesario para la configuración del Imp002. Una resistencia irá conectada entre OPTO\_IN y GND, la resistencia variará dependiendo del fototransistor utilizado, se debe seleccionar una que tenga al menos 500mV de oscilación entre el estado negro y el estado blanco.

Al comienzo de cualquier BlinkUp, la onda de señal "Sync" establece los parámetros necesarios para interpretar los datos de la señal. Como se puede ver en la figura 9, la fase de sincronización de dos niveles consta de una serie de destellos del dispositivo móvil, que será el máximo y el mínimo.

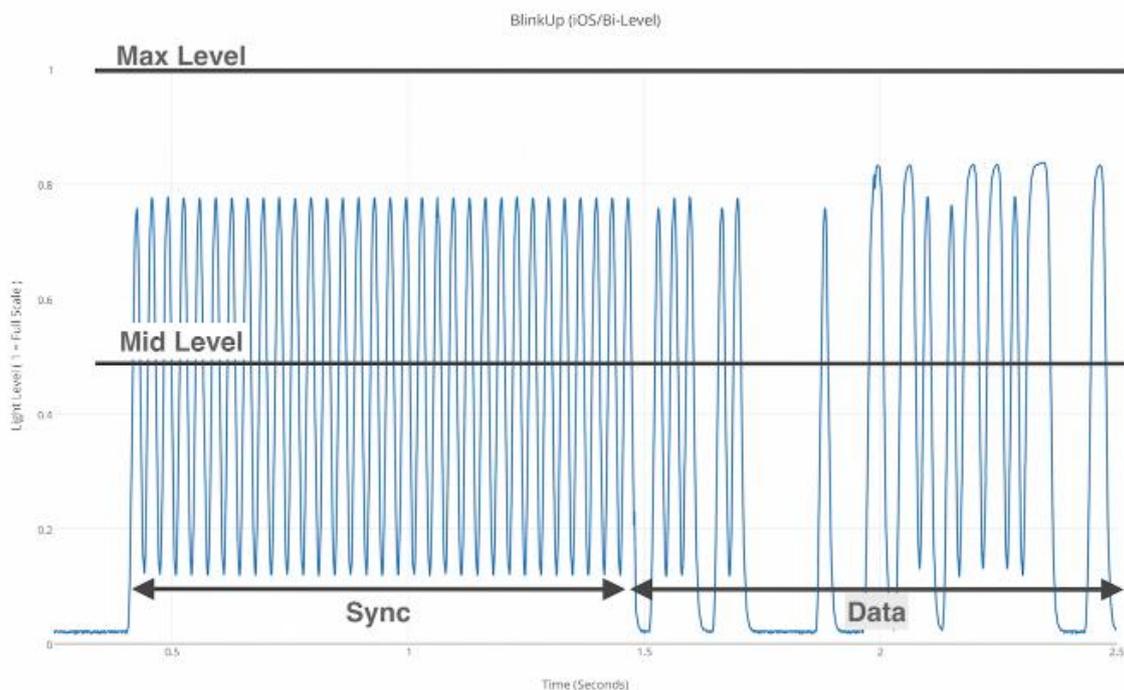


Figura 9. Señal de sincronización y datos.

Durante el envío de datos, cualquier nivel por encima del punto medio se considera valor alto y cualquier señal por debajo se considera nivel bajo.

Los fotogramas en el sistema operativo IOs tienen una velocidad de 60 fps, pero debido a diversos factores, algunos dispositivos Android no llegan a soportar 60 fps de forma constante, por lo que surgen dos posibles soluciones a este problema.

- 'Legacy mode'.
- BlinkUp de tres niveles.

La primera solución se trata del mismo sistema anterior, pero a menor velocidad. Mientras que la segunda solución es más robusta. Como se observa en la figura 10, ahora hay 3 niveles diferentes, que servirá para decidir si es nivel alto o bajo según las siguientes ecuaciones:

- **Nivel de blanco** >  $\text{Sync Max} + 0,2 * (\text{Sync Max} - \text{Min sincronización})$ .
- **Nivel de blanco** > **Gray Nivel** >  $(\text{Sync de sincronización Max} + \text{Min}) / 2$ .
- **Nivel de negro** < **Gray Nivel**.

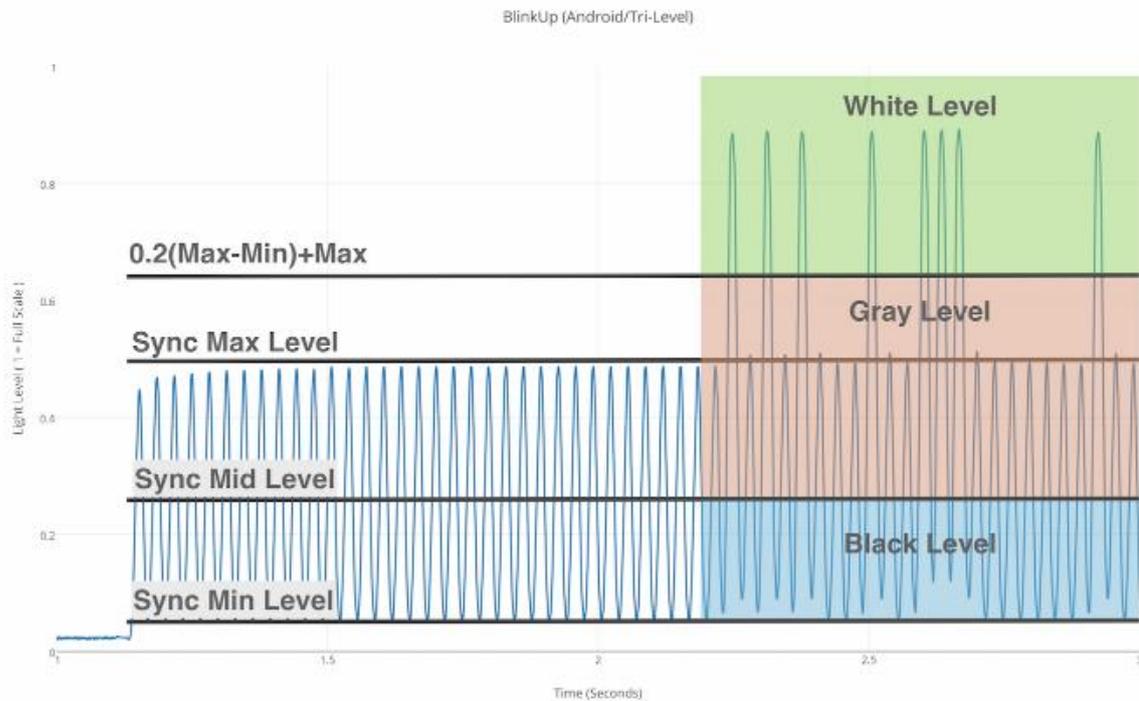


Figura 10. Señal para BlinkUp tres niveles.

Este caso es importante dado que este proyecto se realiza con Android. El nivel lógico alto (1) se determina por una señal “negro” seguido por una señal “gris” y el nivel bajo (0) se determina por una señal “negro” seguido de una señal “blanco”

### 3.1.4 Programación.

Electric Imp al ser un hardware programable necesita un ambiente de desarrollo. Esta plataforma desarrolla su propio IDE, que solo corre en el navegador. Con este IDE se pueden ver todos los Imp's que se tenga dado de alta en nuestra cuenta. Nos permite desarrollar aplicaciones de forma remota, es decir, se puede tener el Imp en casa y actualizar nuestro proyecto desde cualquier otro sitio con conexión a internet.

En la siguiente figura, se puede observar un ejemplo del entorno de desarrollo de esta plataforma, para acceder a él solo hay que registrarse. El código está escrito en “Squirrel” que es el lenguaje de programación de esta plataforma.

Una peculiaridad de este entorno de desarrollo es que hay dos ventanas, una para el código del agente y la otra es para el código del dispositivo.

```

1 // Log the URLs we need
2 server.log("Turn LED On: " + http.agenturl() + "?led=1");
3 server.log("Turn LED Off: " + http.agenturl() + "?led=0");
4
5 function requestHandler(request, response) {
6   try {
7     // Check if the user sent led as a query parameter
8     if ("led" in request.query) {
9       // To stay DRY and clean, set our variable to 1
10      if (request.query.led == "1" || request.query.led == "on") {
11        // Convert the led query parameter to an integer
12        local ledState = request.query.led.toInteger();
13
14        // Send "set.led" message to device, and send ledState as the data
15        device.send("set.led", ledState);
16      }
17    }
18
19    // If ["led_blanco" in request.query]{
20    // If request.query.led_blanco == "1" || request.query.led_blanco == "on"
21    // local led_blancoState = request.query.led_blanco.toInteger();
22    // device.send("set.led_blanco", led_blancoState);
23    // }
24
25    // If ["rep" in request.query]{
26    // If request.query.rep > "0" {
27    // local rep = request.query.rep.toInteger();
28    // device.send("set.rep", rep);
29    // response.send(200, "Intensidad digital: "+rep);
30    // }
31    // else {
32    // local rep = 20;
33    // device.send("set.rep", rep);
34    // }
35
36    // Send a response back to the browser saying everything was OK.
37    response.send(200, "OK");
38  } catch (ex) {
39    // Send an "Internal Server Error" message.
40    response.send(500, "Internal Server Error: " + ex);
41  }
42 }
43
44 // Register the HTTP handler to begin watching for HTTP requests from your browser
45 http.onrequest(requestHandler);
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2
```

## 3.2 Fabricación del prototipo.

En este apartado se desarrollará todo el proceso, desde el primer diseño hardware hasta la obtención de la placa PCB y su posterior soldadura.

### 3.2.1 Diseño analógico.

#### 3.2.1.1 Hardware para la adaptación de la señal.

El objetivo principal del proyecto es medir la potencia consumida en una vivienda, para ello es primordial la monitorización de las señales.

A continuación se detallan las ideas básicas para conseguir el objetivo:

- Seguridad.
- Pasar de  $\pm 230\text{Vrms}$  a una señal comprendida entre 0 y  $+3,3\text{V}$ .
- Medir la intensidad a través de un transformador de corriente.
- Señales sinusoidales de 50 Hz [18].

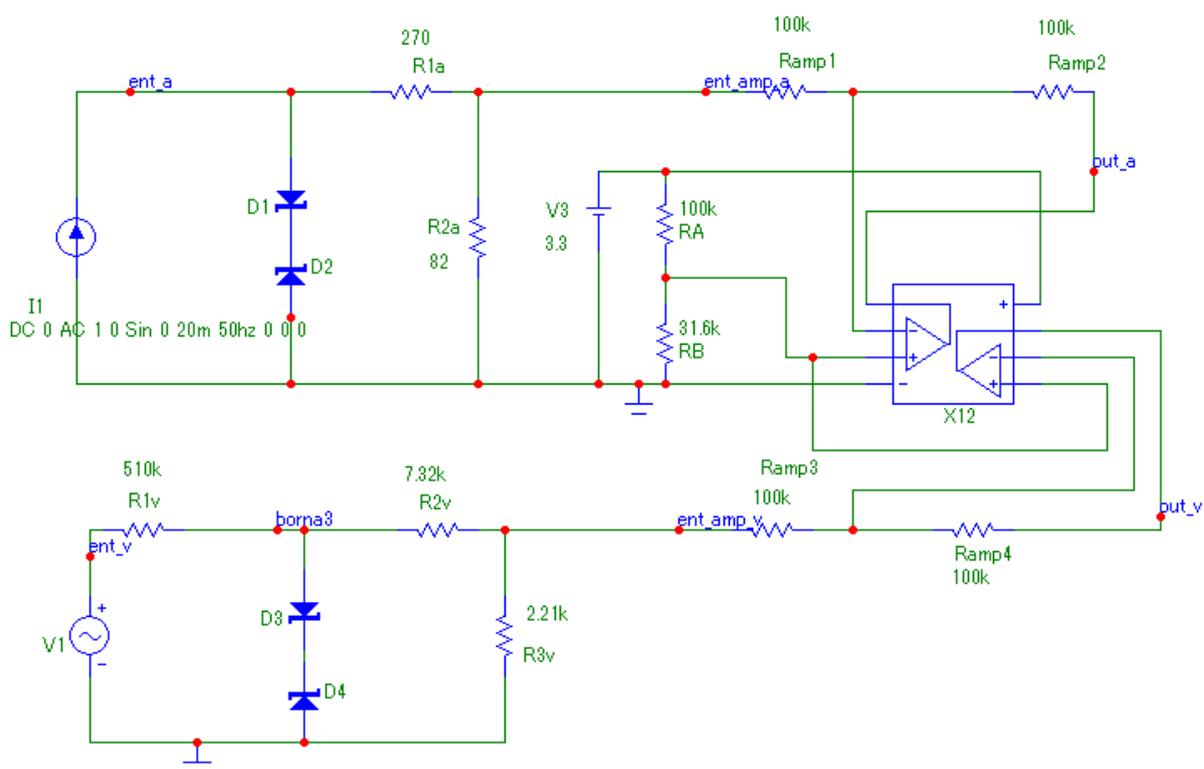


Figura 12. Circuito de simulación en MicroCap10.

En la figura 12 se observa el diseño del circuito completo. La parte superior de la imagen muestra el circuito utilizado para la adaptación de la señal de intensidad y la parte inferior hace lo propio con la señal de tensión.

Ahora se describirá como se ha ido desarrollando cada una de las partes:

- Intensidad.

La intensidad que es capaz de aportar un cuadro eléctrico de una vivienda depende de la potencia contratada, para el estudio de este proyecto se actuará sobre una vivienda que tiene contratado 9,2 kW de potencia, lo que equivale a 40 A [19]. Por razones de seguridad tanto para el circuito como para la persona que lo manipule, se utilizará un transformador de corriente, con relación 100A:50mA



Figura 13. Transformador de corriente 100A:50mA.

La intensidad en la vivienda escogida para el estudio tiene una amplitud máxima de 40A a 50 Hz. En las siguientes imágenes se ve la transformación de la señal máxima que entraría en la vivienda con la que entra en circuito.

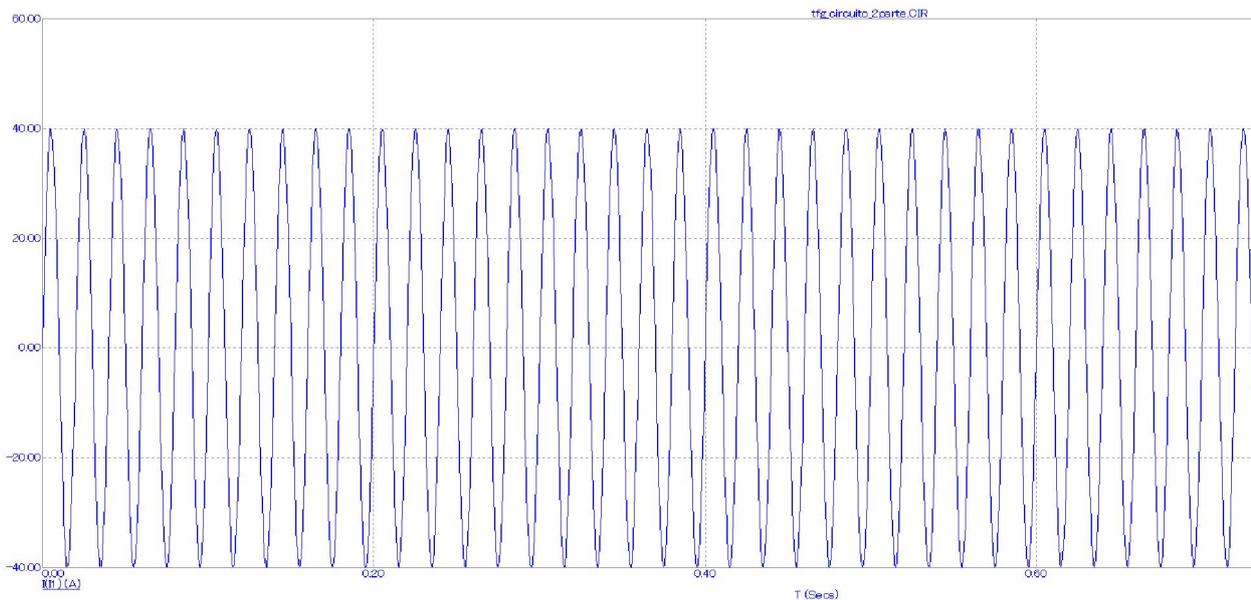


Figura 14. Señal sinusoidal de 40A a 50Hz, vivienda.

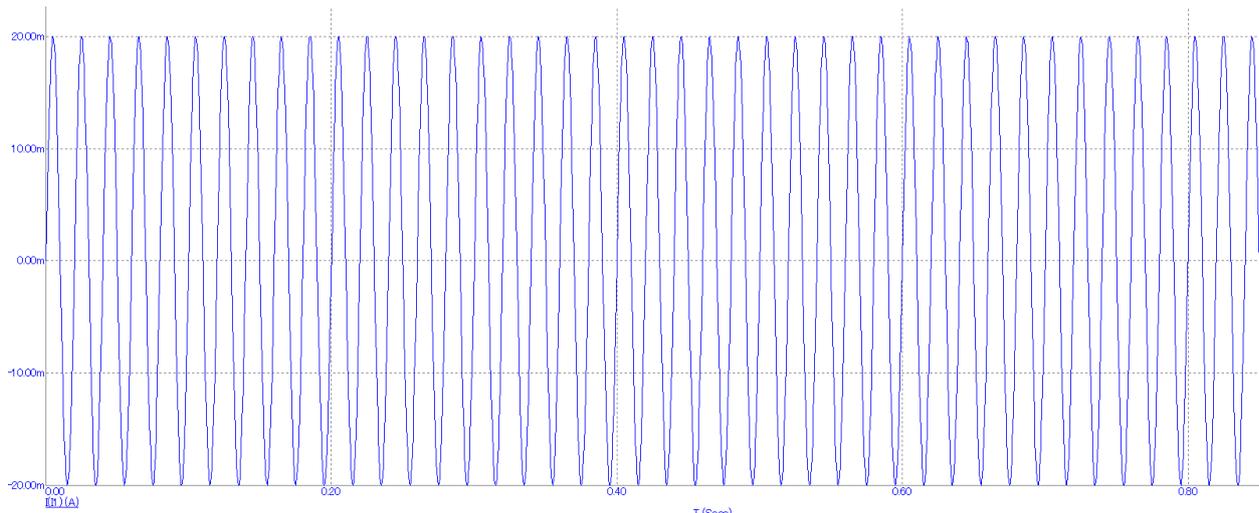


Figura 15. Señal sinusoidal después de pasar por el transformador de corriente.

Para evitar que picos de corrientes dañen el circuito se utilizan dos diodos zener, los diodos escogidos tiene una  $V_z = 6,2V$ . Cualquier valor por encima de 40 A hace que los diodos actúen.

Las resistencias R1a y R2a forman un divisor de tensión consiguiendo que la señal se reduzca a  $\pm 1,6V$ . Después, existe un amplificador inversor, cuya fórmula al finalizar el desarrollo teórico queda de la siguiente forma  $V_{out} = -V_{ent} + 2V_{ref}$ .

De esta forma si  $V_{ref} = 0,8V$  la salida del amplificador la oscila entre 0 y 3,2V, consiguiendo que el dispositivo la lea correctamente.

Para llegar a tener 0,8V de referencia, se diseña una referencia en tensión con las resistencias Ra y Rb.

Para evitar tener que dar una alimentación externa, tanto para esta referencia en tensión como para la alimentación del amplificador, se hace uso de un regulador, de esta forma existe una alimentación constante de 3,3V independiente de la forma que se alimente el circuito. ¿Si se alimenta un amplificador a 3,3V a la salida llegará a dar esta tensión? La respuesta es sí, solo hay que seleccionar el tipo de amplificador adecuado, en este caso se selecciona un amplificador "Rail to Rail" del fabricante Maxim, el cual permite obtener a la salida un rango muy cercano a la tensión de alimentación.

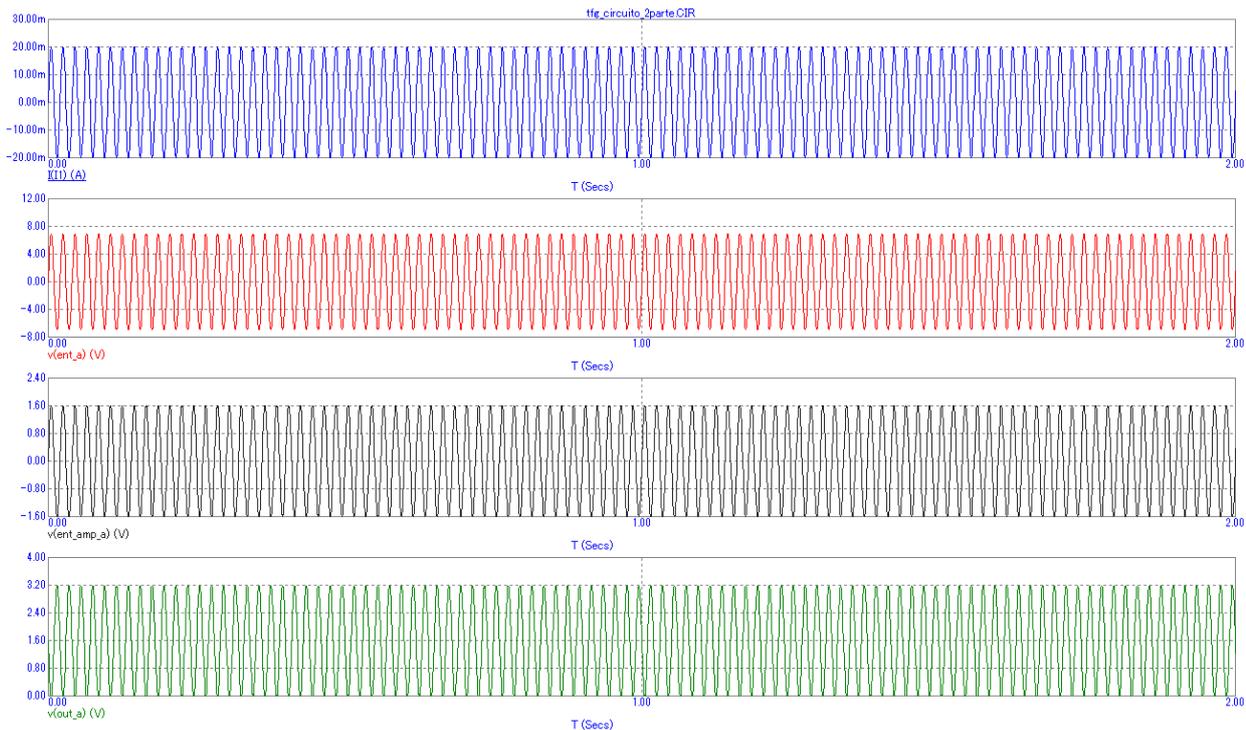


Figura 16. Señales del circuito de simulación de la parte de intensidad.

Después de resolver los cálculos teóricos<sup>7</sup>, se utiliza el software Microcap10, donde se dibujará el circuito con los valores reales de componentes así como sus modelos teóricos dependiendo del modelo y fabricante. De esta forma se asegura que los cálculos son correctos y que no habrá fallos en la placa PCB.

Como se puede ver en la figura 16, la señal azul (1ª) es la señal de entrada del circuito, la proporcionada por el transformador de corriente. La señal está entre los límites establecidos<sup>8</sup>. La siguiente señal, la roja, es la señal obtenida detrás de los diodos de seguridad y también es correcta, ya que se espera una señal de  $+6,9V^9$ . La señal negra y verde corresponde a la señales de entrada del amplificador y salida del mismo, respectivamente, y se puede ver que está entre los límites que se preveía en el estudio teórico.

#### - Tensión

La señal eléctrica de una vivienda es de 230Vrms, la placa se diseña a partir de estos datos, pero al igual que antes, por seguridad, en la placa se instala una borna de 3 pines, para evitar simular la placa a 230Vrms; un pin de la borna irá a tierra, otro esperará 230Vrms y el último se conectará al ánodo de un diodo de protección, de esta forma se podrá simular sin problemas.

La señal eléctrica suele tener fluctuaciones, y como se desea diseñar una placa robusta, se ha añadido un margen de seguridad del 15%, requisito técnico, evitando que estas fluctuaciones dañen la placa. Se procede de la misma manera que antes, los diodos se usarán para evitar que se dañe el resto del circuito por algún pico de corriente<sup>10</sup>. Posteriormente con un divisor de tensión, el voltaje es adaptado a lo requerido en la entrada del amplificador, 1,6V. Al tratar con tensiones tan altas, las resistencias son de valor elevado para que la potencia que consuma la

<sup>7</sup> Los cálculos se resuelven en memoria de cálculos.

<sup>8</sup> 40 A de la intensidad de entrada después de pasar por el transformador de 100A :50 mA se obtiene los 20mA de entrada del circuito.

<sup>9</sup>  $V = V_z + 0,7$ . La tensión zener, más la tensión del diodo en continua.

<sup>10</sup> Valor de pico es  $230 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,15 = 374V$

resistencia sea menor.<sup>11</sup> El amplificador será el mismo modelo, y las resistencias para el amplificador serán del mismo valor, con respecto a la referencia en tensión, no hace falta duplicarla, por lo que será la misma.

Después de tener los valores de resistencias adecuados se simula el circuito con el software MicroCap10, quedando de la siguiente manera:

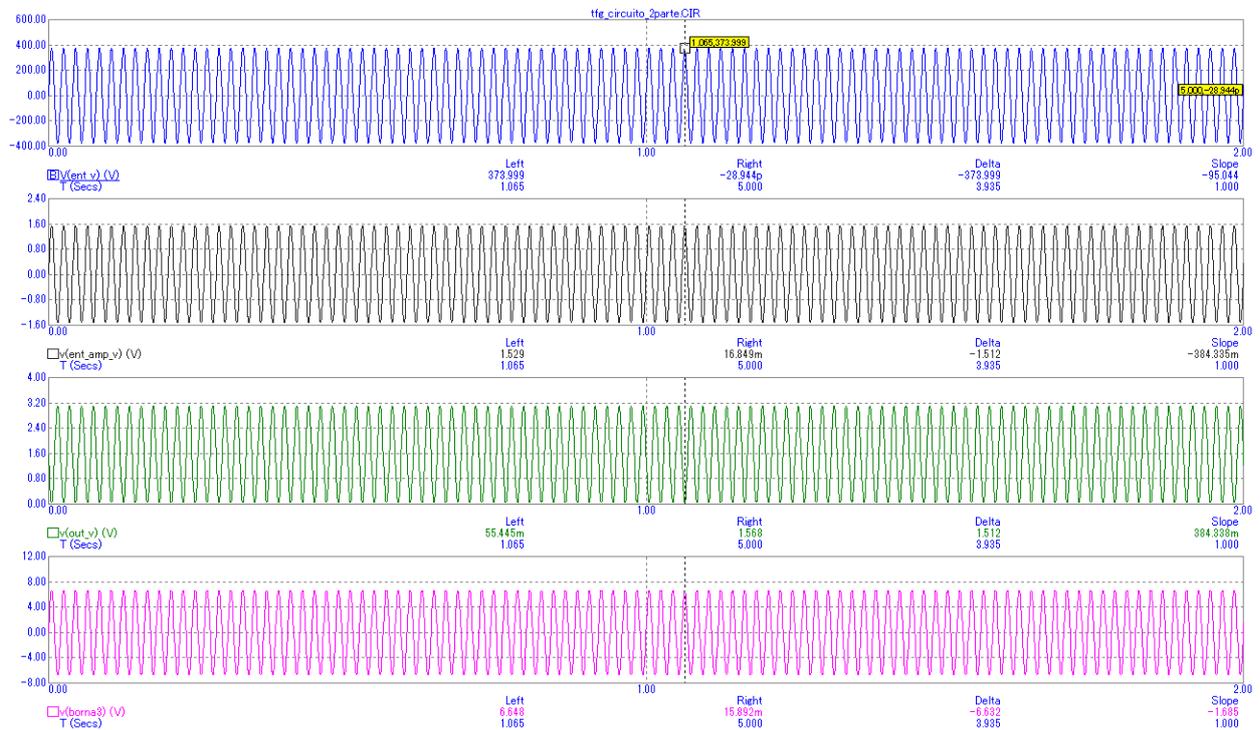


Figura 17. Señales del circuito de simulación de la parte de tensión.

Como se observa en la figura 17, las señales son correctas, se corresponde con lo esperado teóricamente. La señal negra corresponde a la entrada del amplificador, donde se espera una señal de  $\pm 1,6V$ , la señal verde, es la señal que leerá el dispositivo, por lo que debe de estar entre 0 y 3,3V.

La última señal, rosa, es la señal que se debe generar en el generador de onda para simular correctamente el circuito sin problemas de seguridad, es la señal que se leería justo después de los diodos, si a la entrada hubiera los 230Vrms.

En estas simulaciones se considera que la entrada es de 230Vrms, al hacerlo de esta manera se observa el correcto funcionamiento del circuito. Además, se obtiene de forma fácil la tensión externa que se le debe dar para que las pruebas sean lo más reales posibles.

<sup>11</sup>  $P = V * I$ ;  $I = V/R \rightarrow P = V^2/R$

### 3.2.1.2 Hardware de adaptación del Imp002.

Es imprescindible alimentar el Imp002. Por lo que se alimentará de dos maneras posibles, requisito técnico, con una batería de litio o por USB.

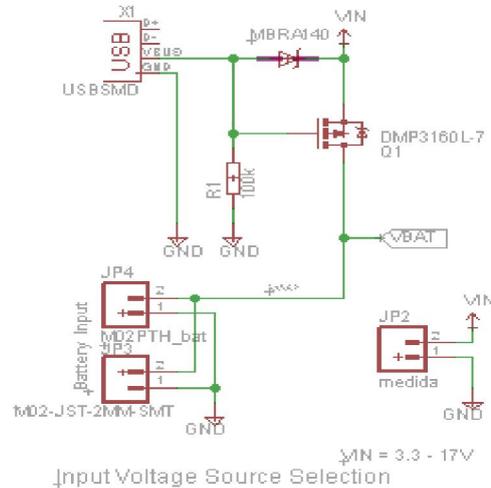


Figura 18. Alimentación del Imp002.

USBSMD es un USB hembra por el que se podrá alimentar el integrado, M02-JST-2MM-SMT es el conector macho para baterías.



Figura 19. Conector macho para baterías.

A continuación se detallará el porqué de cada componente de la figura:

Vin es la referencia en tensión, será útil para otras partes del circuito. Se utiliza la misma para cuando se alimenta por USB y por batería para simplificar el conexionado.

MBRA140 es un diodo de protección evita que se inyecte intensidad al USB, cuando es alimentado por la batería.

DMP3160L-7 es un mosfet de tipo P que evita que si se conecta el USB estando la batería conectada esta última sufra algún daño.

R1 es una resistencia de 100KΩ, cuando el USB está conectado circula intensidad por ella consiguiendo que el mosfet actúe de barrera para que no entre intensidad a la batería. Siguiendo la siguiente formula:

$$V_{GS} \geq V_T, V_{DS} < 0; \rightarrow I_D = 0$$

Los demás elementos son pines que ayudarán a chequear la placa una vez fabricada.

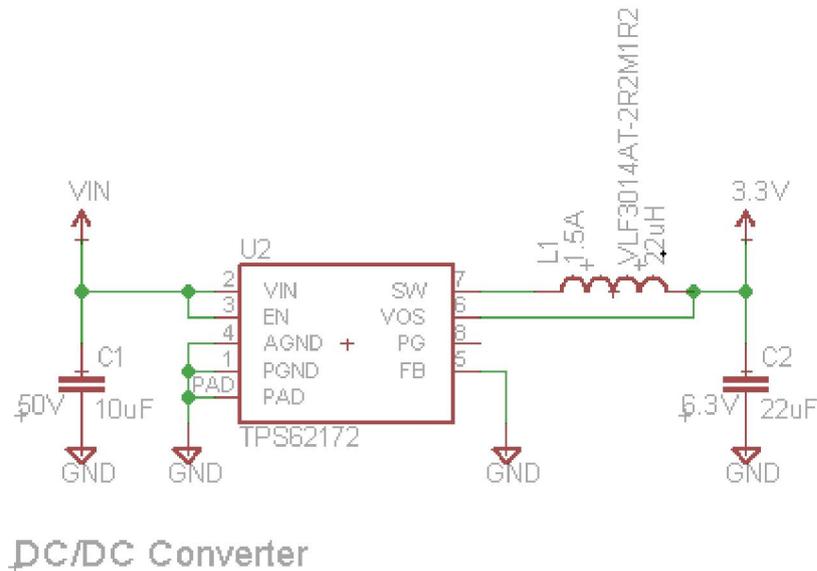


Figura 20. Convertidor reductor TSP62172.

Los estándares de USB dan una tensión nominal de 5V aunque en la práctica suele dar menos [20], mientras que las baterías de litio dan un máximo de 4.2V [21]. Como se quiere tener una tensión constante de 3,3V, se utiliza el convertidor TPS62172. Siguiendo el diseño que aconseja el desarrollador Sparkfun y apoyándose también en el datasheet del fabricante [22] obtenemos la configuración del convertidor reductor.

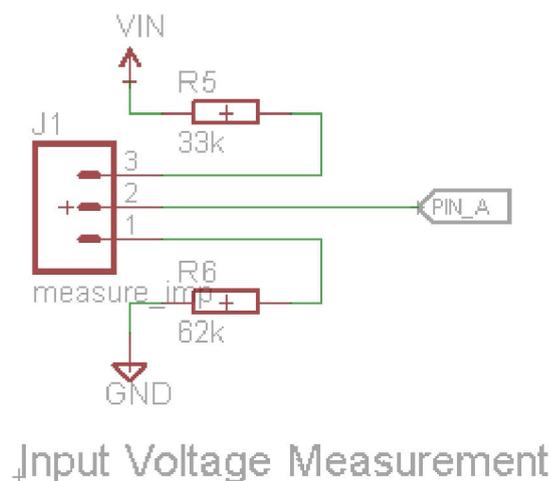


Figura 21. Jumper que permite leer Vin al Imp.

En la imagen 21, se presenta una serie de pines que sirven para poder medir a través Imp, cual es la medida exacta de la referencia Vin, hay que tener precaución ya que Vin tiene que ser como máximo 5V para que no dañe al Imp. Esto ocurre porque el valor de resistencia del

divisor de tensión está calculado para este valor máximo. Por seguridad estará normalmente abierto.

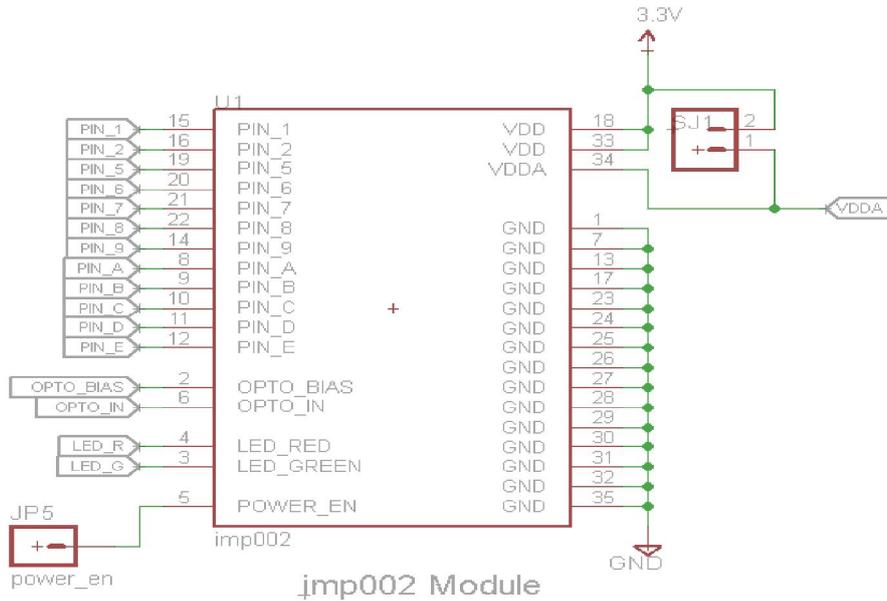


Figura 22. Módulo Imp002 en EAGLE.

Este es el modelo del Imp, en el módulo Imp002 cada pin tiene una posible configuración de entrada y salida, por lo que se debe conectar dos pines con ACD al circuito, de este modo el integrado interpreta bien la señal. Lo mismo pasa cuando se desea actuar sobre el exterior, se deberá a hacer desde un pin que disponga de DAC. Además se saca una conexión para el power\_en, por si necesita en el futuro usar un convertidor externo y un jumper que conecte VDDA y VDD para igualar las dos tensiones, la tensión de operación y la tensión analógica de entrada. Además de todo esto todos los pines del integrado serán accesible desde el exterior.

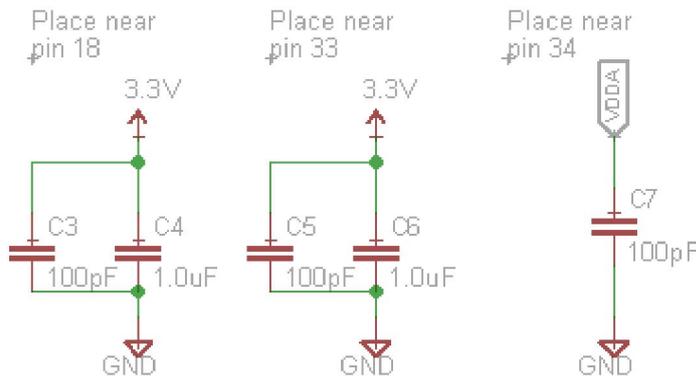


Figura 23. Capacidad de desacoplo.

Las fuentes de alimentación no pueden suministrar corrientes muy rápidas a los circuitos integrados, provocando una caída de tensión, lo que se conoce como “rail collapse” [23], por lo que se utiliza condensadores de desacoplo, consiguiendo que se minimice el ruido generado por la conmutación de la salidas del integrado. Además, evita que se produzcan emisiones radiadas, también proporciona a la corriente de alta frecuencia un camino de baja impedancia, y asegura una baja impedancia entre la fuente y tierra.

Los valores de estos condensadores son proporcionados por el fabricante.

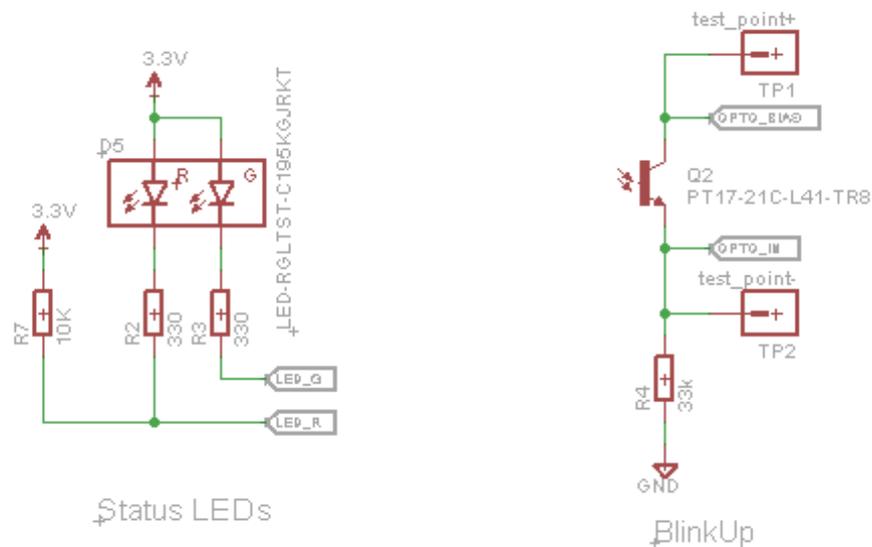


Figura 24. Leds y fototransistor.

Es necesario dimensionar de forma correcta el circuito de fototransistor para lograr conectar el Imp002 a internet, para ello, se conectan dos pines que harán las funciones de test points , con ellos se miden las señales, pudiendo así dimensionar la R4 de forma correcta.

Se instala un led bicolor que dispone de un led rojo y otro verde, de esta manera se puede ver el estado del integrado. Con la combinación de colores y la frecuencia de parpadeo se obtiene información del estado de configuración y sobre un posible fallo.

La forma de actuar será la siguiente:

Con toda la placa terminada, se ejecuta el proceso de blinkUp con el teléfono Android, y se observan las señales a través de un osciloscopio, dependiendo de los resultados, se deberá aumentar o disminuir el valor de R4<sup>12</sup>, para conseguir una configuración satisfactoria.

<sup>12</sup> R4 toma un valor inicial de 33kΩ que es un valor estándar para el fototransistor utilizado.

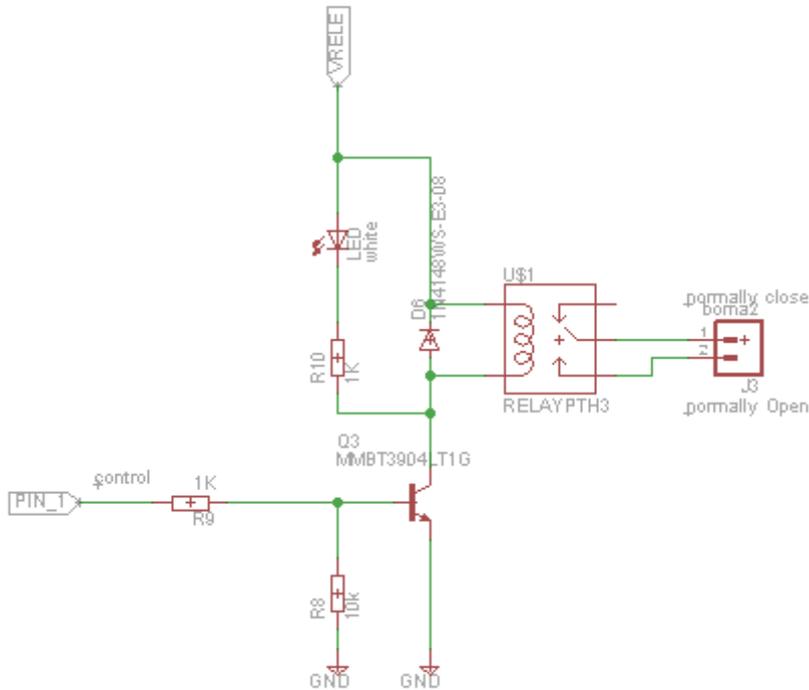


Figura 25. Configuración de relé.

Otro de los objetivos del proyecto es poder actuar sobre la vivienda para ello se utilizará un relé de las siguientes características:

- Tensión nominal 5V.
- Tensión de conmutación máxima 240VAC.
- Señal de control a 3,75V (aunque en práctica con menos funciona).

Para habilitar o deshabilitar el relé se utilizará el PIN\_1 del Imp002, el funcionamiento del circuito es el siguiente:

Cuando se activa la señal del PIN\_1 empieza a circular intensidad por R8 haciendo que el BJT pase a conducción, de esta manera el led se encenderá y el relé cambiará la salida.

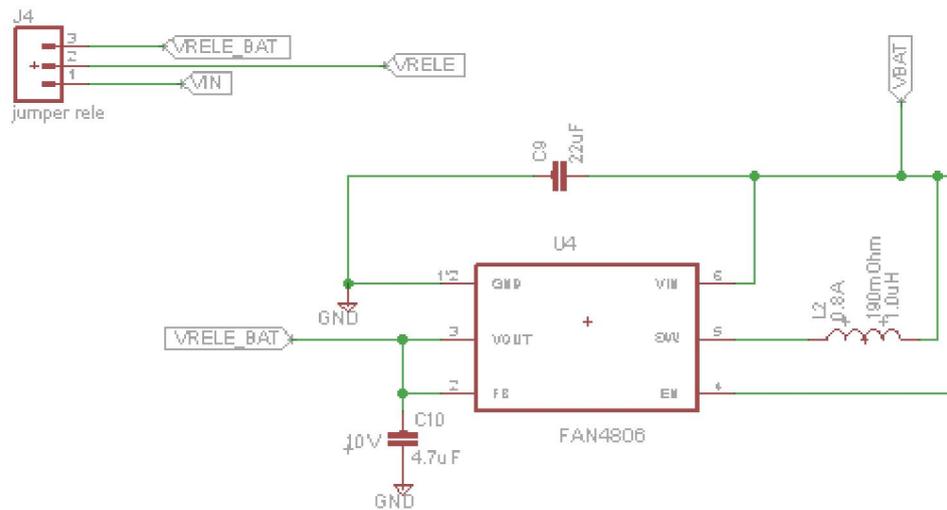


Figura 26. Convertidor elevador.

El relé tiene una tensión nominal de 5V, cuando está conectado por batería nunca se llega a esa tensión, impidiendo al relé funcionar correctamente, por eso se diseña un convertidor elevador que dé esos 5V. Los demás componentes están sacados del datasheet del fabricante.

Además, se dispone de 3 pines, VIN, que se utilizará como alimentación del relé cuando se esté conectado por USB, VRELE es la alimentación con la que se alimentará el relé y VRELE\_BAT, que es el voltaje que sale del elevador cuando se conecta la batería. El circuito se ha diseñado que para que con un jumper se seleccione el tipo de alimentación, dependiendo de si se alimenta el circuito por batería o por USB. De esta forma siempre se obtiene 5V para alimentar al relé, logrando un correcto funcionamiento.

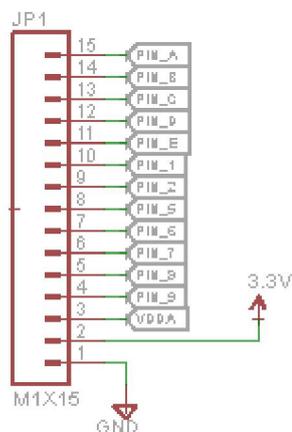


Figura 27. Tira de pines.

Para que la placa pueda ser accesible desde fuera y el módulo Imp002 se pueda reutilizar, se utiliza esta tira de pines.

La siguiente imagen muestra el diseño completo que se ha hecho en EAGLE

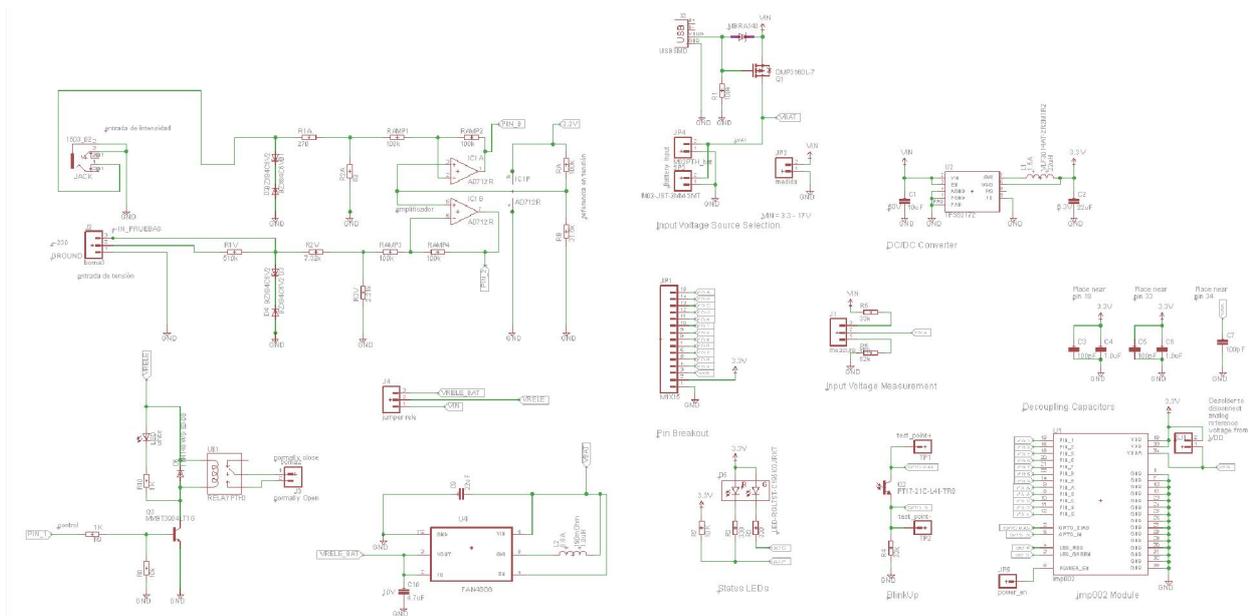


Figura 28. Diseño completo en EAGLE.

### 3.2.2 Selección de componentes.

Después del diseño hardware y del cálculo de todos los valores de los componentes, hay que seleccionar los componentes y compararlos.

Esta es una parte fundamental del proyecto, hay que seleccionar componentes que tengan una huella que sea fácil de soldar. En principio se pensó en hacerlo con componentes THD (Through Hole Devices), es decir, de agujeros pasantes, pero finalmente se optó por hacer una placa de montaje superficial (SMD). Con este tipo de tecnología se reduce en espacio. Al hacer la placa de forma manual y no mandándose a fabricar hay que seguir una serie de recomendaciones: los componentes seleccionados deben tener un tamaño mínimo para conseguir una soldadura con el material disponible, a la vez deben ser lo más económicos posible, pero algunos componentes por precio o por requisitos es imposible encontrarlos de un tamaño mayor.

Para mayor legibilidad se separarán los componentes en diferentes grupos:

Código RS <sup>13</sup>	Huella	Descripción	Cantidad	Precio €
732- 7927	Soic8	MAX4477	1	2,34
505-1485	1503	Conector Jack Lumberg	1	2,47
679-1761	1206	R 100 $\Omega$	5	0.033
679-2351	1206	R 82 $\Omega$	1	0,045
679-1998	1206	R 2,21K $\Omega$	1	0,031
679-1279	0805	R 31,6K $\Omega$	1	0,035
678-7037	0805	R 510K $\Omega$	1	0,014
679-1951	1206	R 270 $\Omega$	1	0,012
679-1682	0805	R 7,32 $\Omega$	1	0,028
751-3853	Sot-23	Diodo Vz=6,2V	4	0,029
220-4060	2-2.54mm	Borna	1	0.666
220-4276	3-2.54mm	Borna	1	1.126

Tabla 6. Componentes hardware de adaptación de señal.

Código RS	Huella	Descripción	Cantidad	Precio €
223-2265	1206	R 1K $\Omega$	1	0,017
223-2394	1206	R 10K $\Omega$	1	0,019
700-3677	SOD-323	1n4148	1	0,037
545-0343	SOT-23	2n3901	1	0,081
758-7630	PLCC 2	LED Osram	1	0,042
10924 <sup>14</sup>	RELAY-T9A-2	RELE JQX-15F	1	2,95

Tabla 7. Componentes para relé.

<sup>13</sup> Página web <http://es.rs-online.com/web/>

<sup>14</sup> Salvo esta referencia que es <https://www.sparkfun.com/>

Código RS	Huella	Descripción	Cantidad	Precio €
698-3706	1206	1206	1	0,56
813-5555	SRN2510	Bobina 2,2uH 1,5A Idc	1	0,221
825-6958	WSON-8	TPS62172DSGT, Convertidor reductor	1	1,76
788-3073	1210	Condensador 10uF, 50Vdc	1	0,314
674-2397	2x2,54mm	Jumper hembra	2	0,052
904-8225	USB-MINIB	Conector USB	1	1,75
822-2649	SOT23-3	Mosfet tipo P	1	0,058
688-1325	JST-2-SMD	Conector macho PCB JST	1	0,033
698-3614	1206	Condensador 100pF	3	0,069
669-8414	1206	Condensador 1uF	2	0,034
710-3853P	0805	Fototransistor Vishay	1	0,439
692-1307	0605	LED Bi-color	1	0,298
679-2049	1206	R 330 $\Omega$	2	0,012
669-6604	1206	R 33K $\Omega$	2	0,188
625-5650	DO-214AC	MBRA140T3G	1	0,297
721-9967	1206	R 62K $\Omega$	1	0,15
896-7620	2x2.54mm	Conector de contacto macho	20	0,04

Tabla 8. Componentes para la adaptación del Imp002.

Referencia	Huella	Descripción	Cantidad	Precio €
739-5986	UMLP	Convertidor subida DC-DC	1	0,434
698-3579	0805	Condensador 4,7uF	1	0,034
792-6388	0805	Bobina 1uH	1	0,176

Tabla 9. Componentes convertidor elevador.

Los componentes deben cumplir una serie de requisitos, tales como un rango de temperatura de funcionamiento, la presión, la humedad, golpes y vibraciones que soportan. Como esta información no se tiene de todos los componentes se ha supuesto el relé como elemento más restrictivo en todas las condiciones excepto en el rango de temperatura, donde el USB marca el rango soportado por la placa.

Quedando demostrado que la placa actuaría correctamente bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura de funcionamiento mínimo 0°C máximo 50 °C.
- Humedad relativa 98% a +40°C.
- Golpes a 98 m/s<sup>2</sup>.
- Vibración 10~55Hz.
- Presión 86~106kPa.

### 3.2.3 Diseño de layout.

Después de tener todos los componentes seleccionados, es muy importante elegir el componente adecuado en las librerías de Eagle, comprobando que su huella es la correcta y en caso contrario diseñarla con los datos del datasheet, como ha pasado con bastantes componentes menos comunes.

Según el fabricante hay que colocar los condensadores de desacoplo lo más cerca posible de los pines del Imp002.

Se han usado diferentes anchos de pistas para evitar problemas, ya que las patas de algunos integrados son muy finas la pista se va variando de tamaño progresivamente. Tras varios intentos y recolocación de los componentes, se obtiene el siguiente diseño:



### 3.2.4 Fabricación PCB.

Existen diversos métodos de fabricación de PCBs, en este caso, debido a la disponibilidad de elementos necesarios y por su precio, se usa el método llamado fotolitografía.

Se imprime el PCB en papel de acetato, por un lado la parte top y por otro la cara bottom.

El siguiente paso es preparar las disoluciones para el revelado de la placa: para preparar el líquido revelador se disuelve una cucharada de bicarbonato de sodio en un litro de agua; para el líquido atacante la proporción será 100cc de agua fuerte, 100cc de agua oxigenada y 100cc de agua.

Después de tener listas las disoluciones, se comienza a revelar el PCB. Se hace uso de la insoladora de rayos UVA que elimina la resina de aquellas zonas expuestas directamente a la luz. En un ambiente lúgubre, se despega la cubierta adhesiva de la placa para dejar al descubierto su cara fotosensible, coloca hacia arriba, superponiendo el papel de acetato con el circuito impreso, teniendo cuidado de colocarlo de la forma correcta. En la placa aparece el circuito que ve directamente el observador. Después, se hace el vacío y durante aproximadamente 3 minutos se deja actuar la radiación, este proceso se vuelve a repetir para la otra cara de la placa con cuidado de no mover el papel de acetato para que los pasos de cara coincidan.

Una vez sacada la placa, ésta se sumerge en el líquido revelador, que actuará de capa protectora sobre las zonas de la placa que no han sido insoladas; tras varios minutos se saca de la disolución y se enjuaga. Justo después se introduce en el líquido atacante, tras varios minutos se enjuaga y se seca.

El líquido revelador es reutilizado, pero el líquido atacante pierde su poder corrosivo por lo que se deposita en un recipiente para su correspondiente tratado.

### 3.2.5 Montaje de los componentes.

Antes de taladrar la placa hay que retirar la resina que protege al cobre de su oxidación, para ello se utiliza acetona. Con esto el estaño se adhiere correctamente. Después de esto, se taladra la placa para conseguir hacer los pasos de cara y soldar los componentes THD.

La soldadura que se realizará será manual, con estaño y flux para facilitar la soldadura de los componentes a la placa.

Lo primero es soldar los pasos de caras, y comprobar la continuidad con ayuda de un voltímetro. Después de haber soldado todos los pasos de caras, se empieza a soldar los demás componentes, de menor a mayor tamaño, evitando que los componentes más grandes dificulten las demás soldaduras.

A la hora de desoldar algunos componentes por problemas con el soldador, la pista de cobre se levanta, para poder solucionar esto se busca alternativas, como la colocación de cables para su correcta conexión o rascar un poco la placa para poder colocar el estaño correctamente y lograr el enlace.

## 3.3 Comprobación de funcionalidad.

Después de tener la placa soldada se prosigue con diferentes pruebas para comprobar su funcionamiento. Antes de soldar el Imp002, se comprobará que toda la placa funciona correctamente, para ello se utiliza el Imp001 que hará las funciones del Imp002 gracias a los pines externo.

Mientras la soldadura de componentes, siempre se comprueba continuidad con el fin de saber si se ha hecho correctamente o se produce un cortocircuito indeseado. Pero una vez completado la soldadura se comprueba si todos los componentes funcionan correctamente.

Para ello se alimenta la PCB con 3,3V y con la ayuda del voltímetro se miden las tensiones en diferentes puntos, de esta manera se comprueba que no hay cortocircuitos y que todos los componentes funcionan correctamente. Los que tienen un comportamiento indeseado se estudia con detenimiento su caso, para actuar en consecuencia y conseguir un correcto funcionamiento. Varios componentes como el USB o LED presentan problemas de conexión o mal funcionamiento del componente, por lo que se extrae el componente de la placa, siempre con ayuda del soldador y malla de desoldar, y se vuelve a soldar otro nuevo, esta vez se comprueba que efectivamente todo funciona.

A la hora de hacer estas comprobaciones se observa que ciertos componentes THD no hacen contacto de forma correcta debido a que los agujeros de dichos componentes se aprovechan de paso de cara o que las pistas de un mismo componente llegan desde la cara TOP y la cara BOTTOM. Esto no resulta un problema si la placa se manda a fabricar, pero la forma de fabricación de esta placa sí crea incompatibilidad con el diseño, para solventar este pequeño inconveniente se conecta un cable para hacer contacto donde la pista no crea la conexión. En el caso de los pines, este problema se soluciona soldando tanto por la cara TOP como por la cara BOTTOM. Una vez solventados estos problemas, la placa quedaría de la siguiente manera:

- Cara TOP

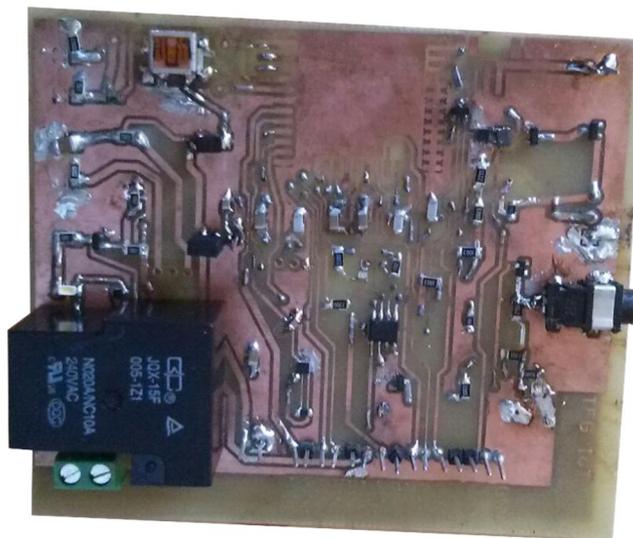


Figura 30. Cara top de Cara TOP de la placa terminada.

-Cara BOTTOM

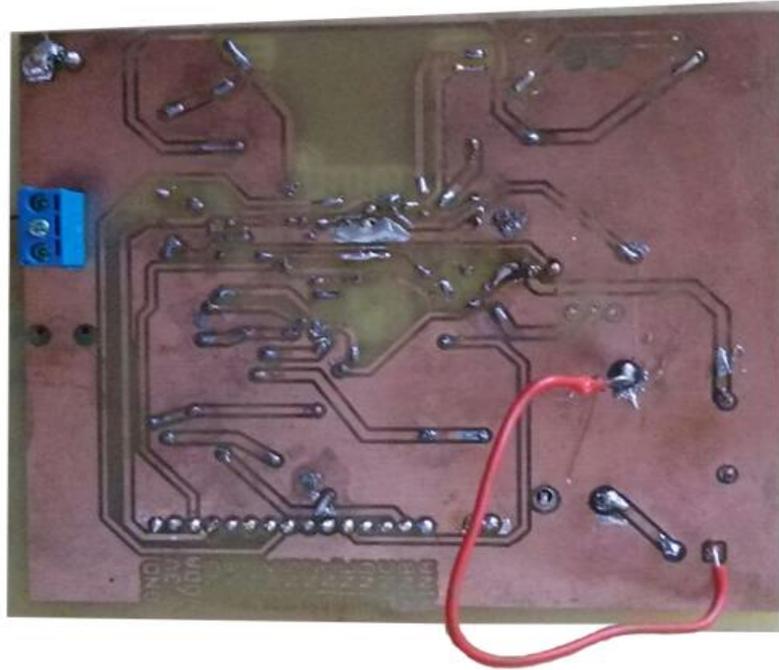


Figura 31. Cara BOTTOM de la placa terminada.

Una vez terminadas todas las comprobaciones de conexionado se empieza con las siguientes pruebas:

### 3.3.1 PRUEBA A: Circuito de tensión con alimentación externa.

- Para simular la señal de 230Vrms de la línea eléctrica se genera una onda de 50 Hz y de amplitud 6,9V, ésta es la tensión que se leería en los diodos zener, se genera esta onda en vez de coger la línea eléctrica por motivos de seguridad.

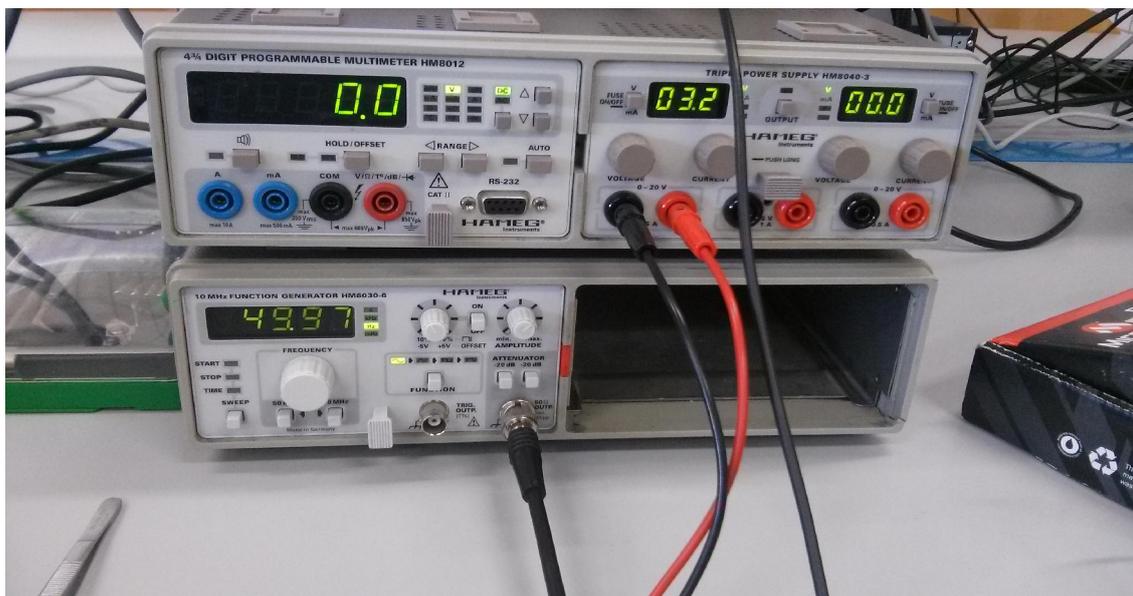


Figura 32. Generador de onda y fuente de tensión.

En la figura 32, también se observa una fuente de tensión, que genera de forma constante 3,3V para alimentar la placa.

Se debe conectar de la siguiente manera:

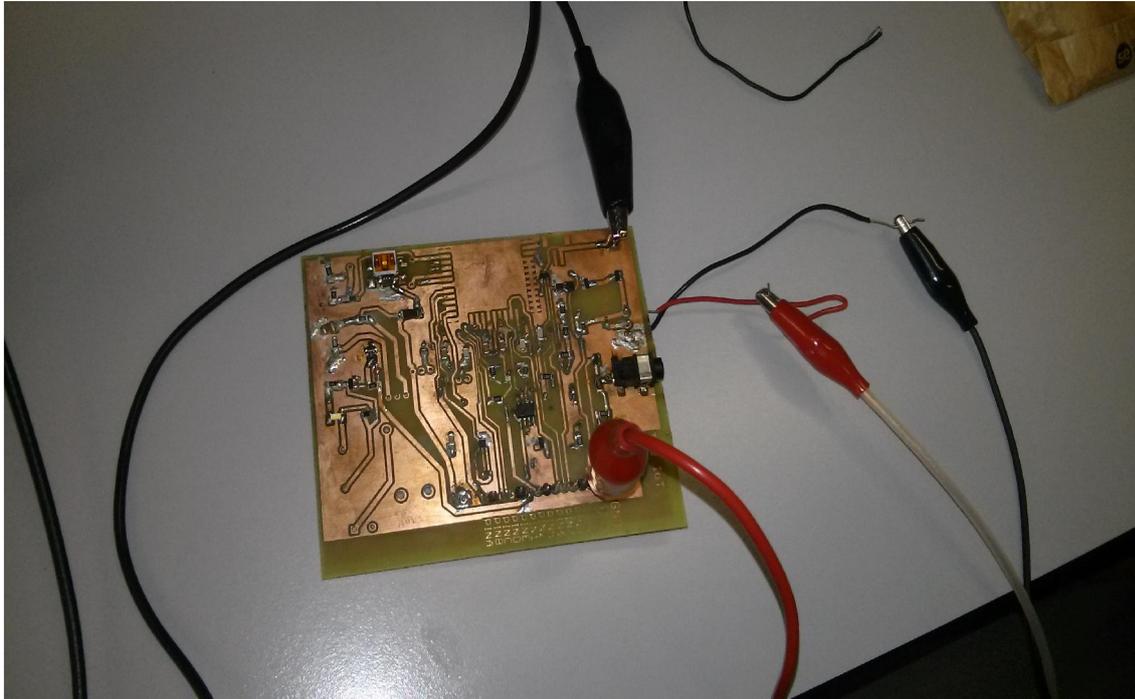


Figura 33. Conexionado para introducir la señal de tensión.

La salida se obtiene del pin 2, por lo tanto la sonda se debe conectar a este pin. La siguiente imagen muestra la señal representada por el osciloscopio:

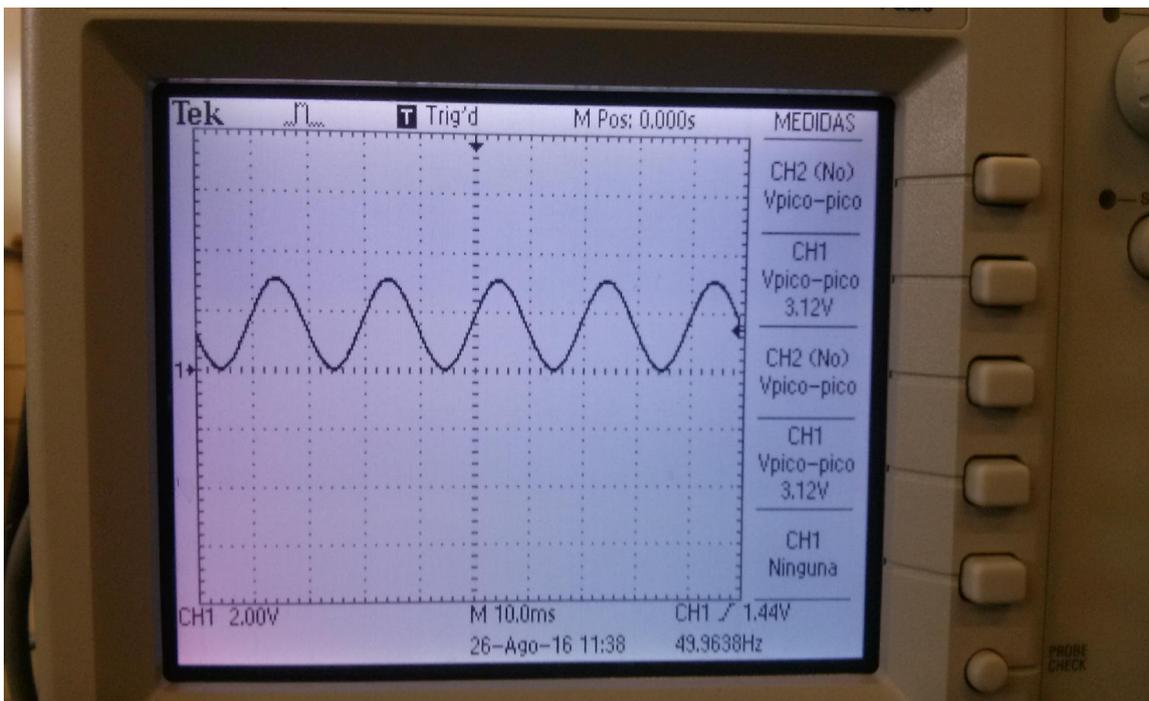


Figura 34. Señal de salida con entrada 6,9V.

La señal está entre los extremos esperados, 0 y 3,3V, por lo que es correcto.

- Otra prueba que se realiza es aumentar la señal de entrada, de esta manera se comprueba que ocurre cuando hay un pico de tensión inesperado, como se muestra en la imagen, los diodos de protección actúan cortando la señal e impidiendo que al Electric Imp le lleguen más de 3,3V.

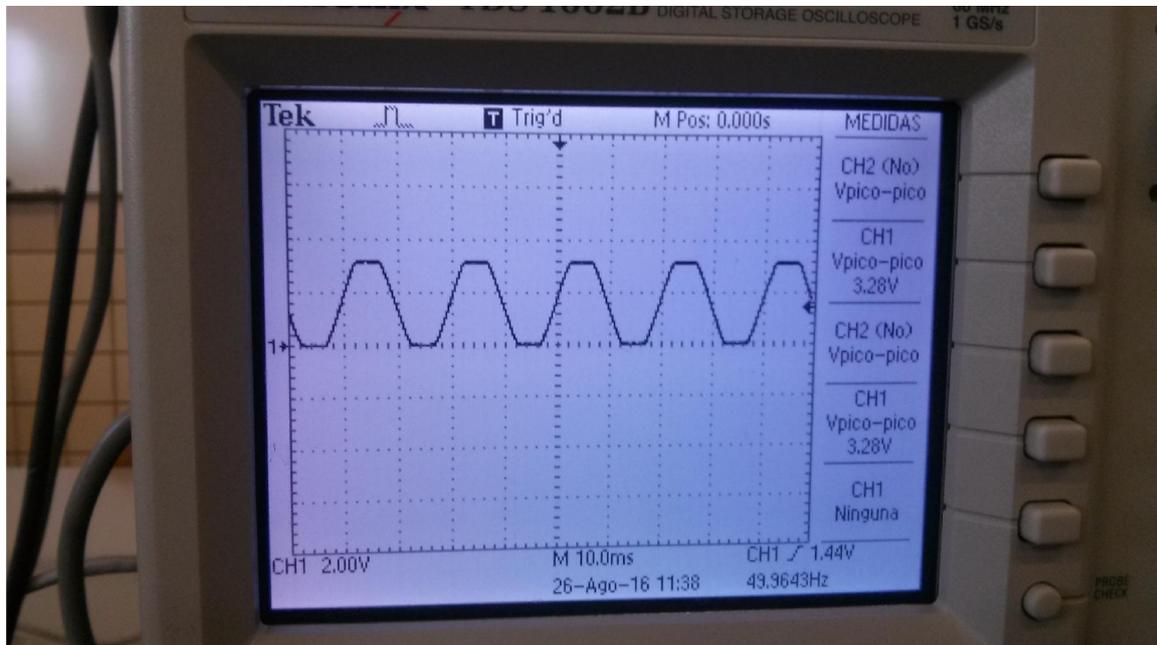


Figura 35. Señal cuando la entrada excede lo permitido.

- La prueba consiste en quitar la señal de entrada, esto significa que se leería 0V y debería salir 1,58V en el pin 2. Este valor es el offset que se le mete al amplificador.<sup>15</sup>

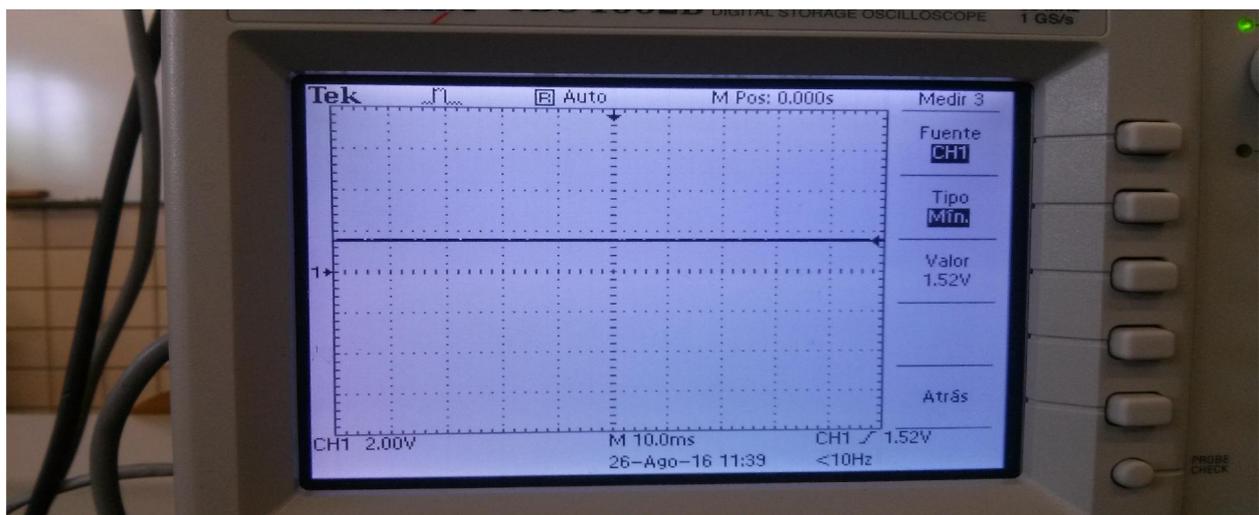


Figura 36. Osciloscopio con entrada 0V.

Estas pruebas verifican que esta parte del circuito es correcta.

<sup>15</sup>  $V_{out} = -V_{in} + 2V_{ref} \rightarrow V_{ref} = 0,8V$

### 3.3.2 PRUEBA B: Circuito de intensidad con alimentación externa.

Para lograr medir la intensidad con el transformador se pela un cable y se introduce uno dentro del transformador, con cuidado de que no sea tierra porque no leería intensidad. Se debe pelar y no meterlo directamente porque la intensidad se anularía y no leeríamos nada.

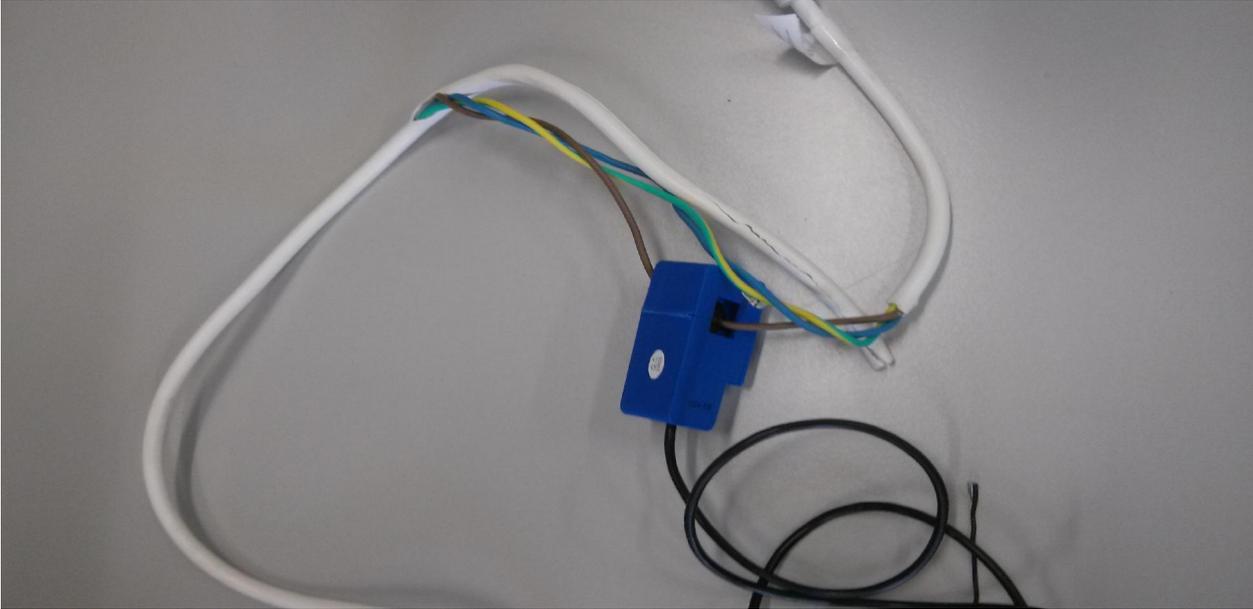


Figura 37. Transformador midiendo intensidad.

En la siguiente imagen se muestra como se debe colocar los cables para medir la intensidad.

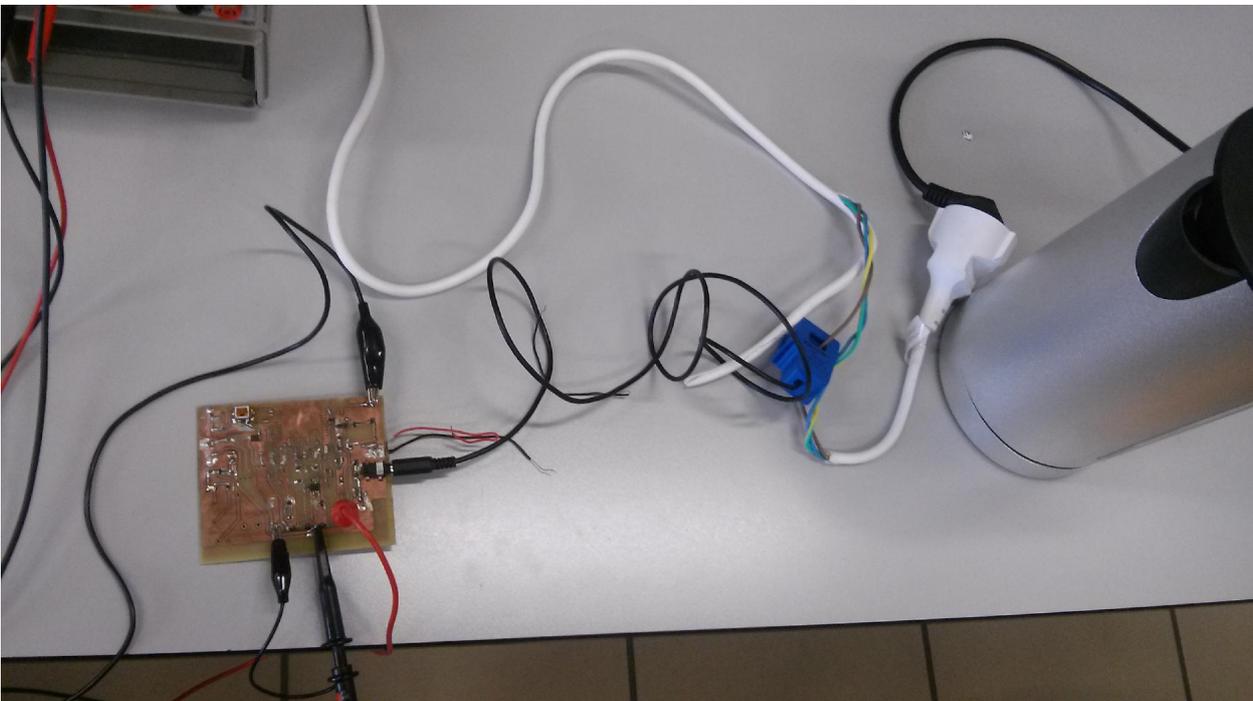


Figura 38. Configuración para medir la intensidad.

La alimentación de la placa sigue siendo la misma que en el caso anterior. En este caso se mide desde el pin B. Para lograr medir intensidad se conecta una cafetera de 1850-2200W



Figura 39. Características de la batidora.

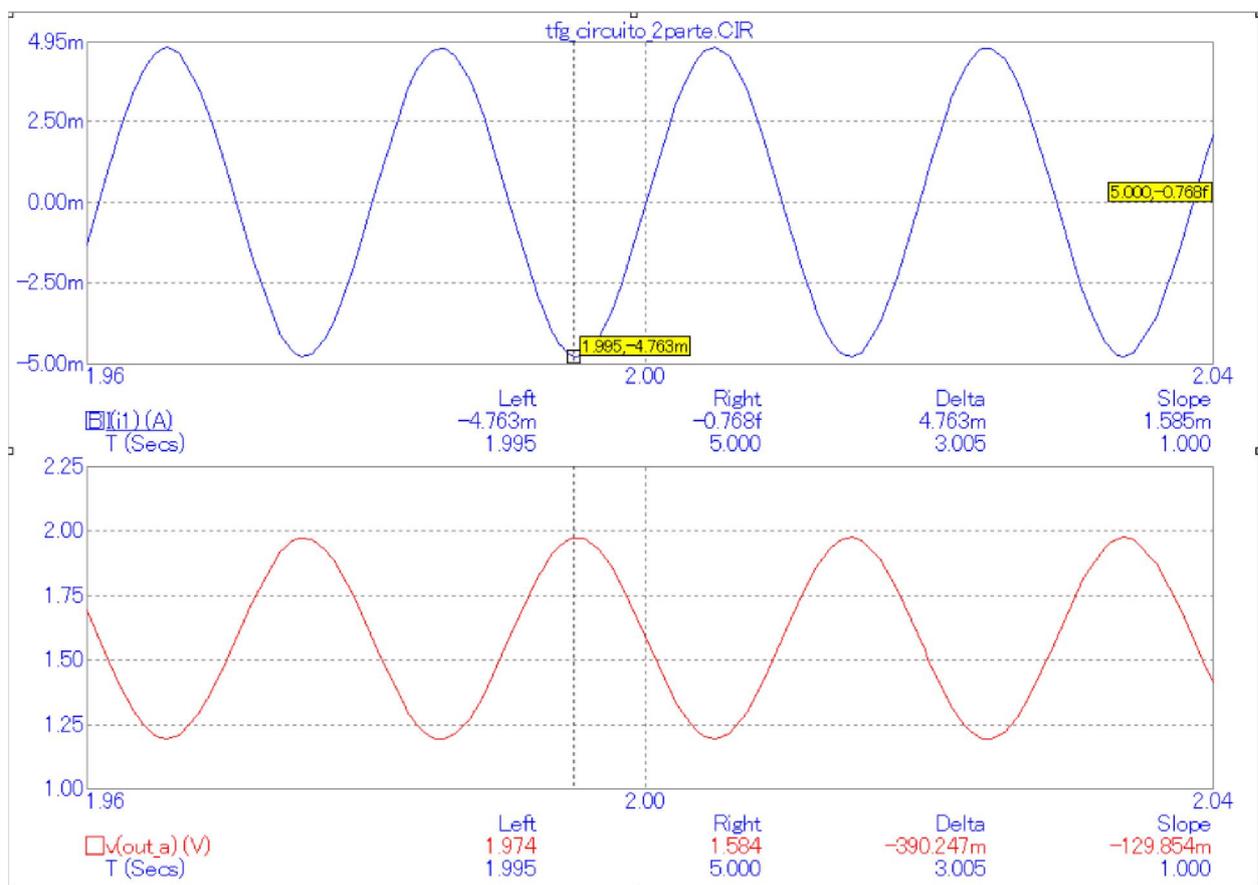


Figura 40. Salida del circuito intensidad con MC10.

Para comprobar que la salida es la esperada se simula el circuito con una fuente de intensidad de valor 4.78mA de amplitud en MicroCap10. Este valor es calculado de la siguiente manera:

$$P = 2200 \text{ W} \quad P = V * I \rightarrow V = 230V_{rms}; I = \frac{2200}{230} = 9.565 \text{ A}$$

El transformador tiene una relación de 100A:50mA por lo que en el circuito entra 4.78mA. Al medir con el osciloscopio se presenta la siguiente señal:

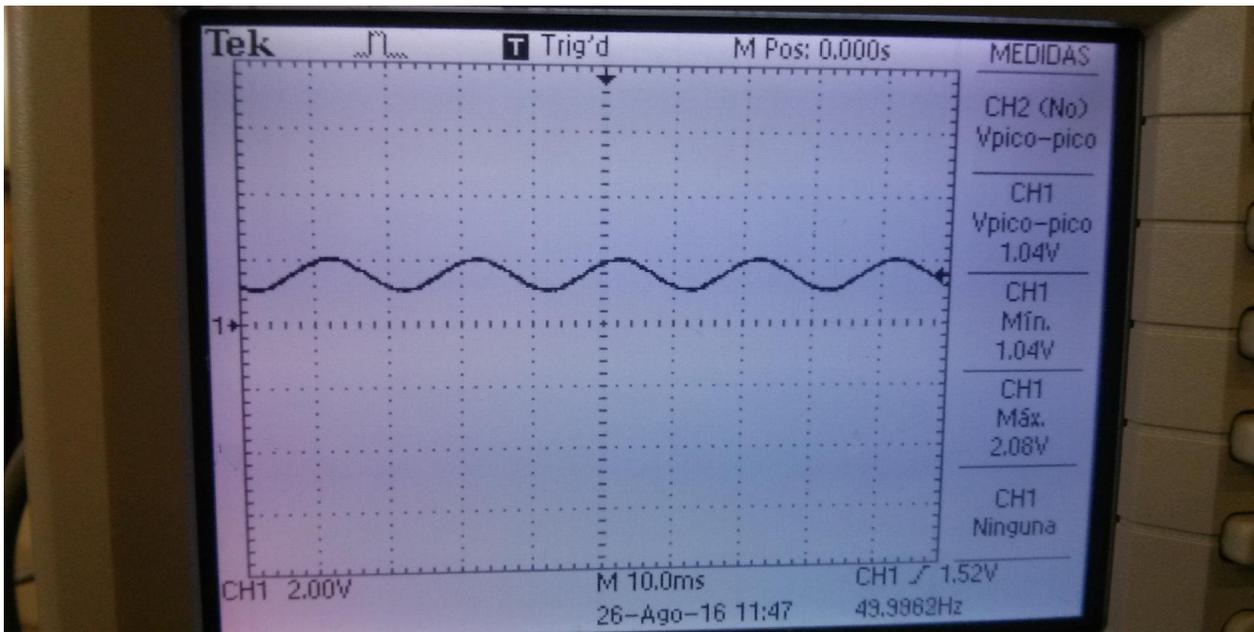


Figura 41. Salida del osciloscopio del circuito de intensidad con batidora.

La señal representada en el osciloscopio corresponde de forma aproximada con la señal de salida del software del MC10, por lo que se comprueba que esta parte del circuito también es correcta.

### 3.3.3 PRUEBA C: Rele, encender y apagar en el laboratorio.

Esta prueba consiste en hacer cambiar de posición al relé, para ello éste se debe de alimentar en 5V, en el diseño se colocaron 3 pines donde cada uno representa, la alimentación de la batería, la alimentación del relé y la alimentación del USB. Con la ayuda de un jumper se selecciona el tipo de alimentación externa. En este caso se hará alimentando por USB.

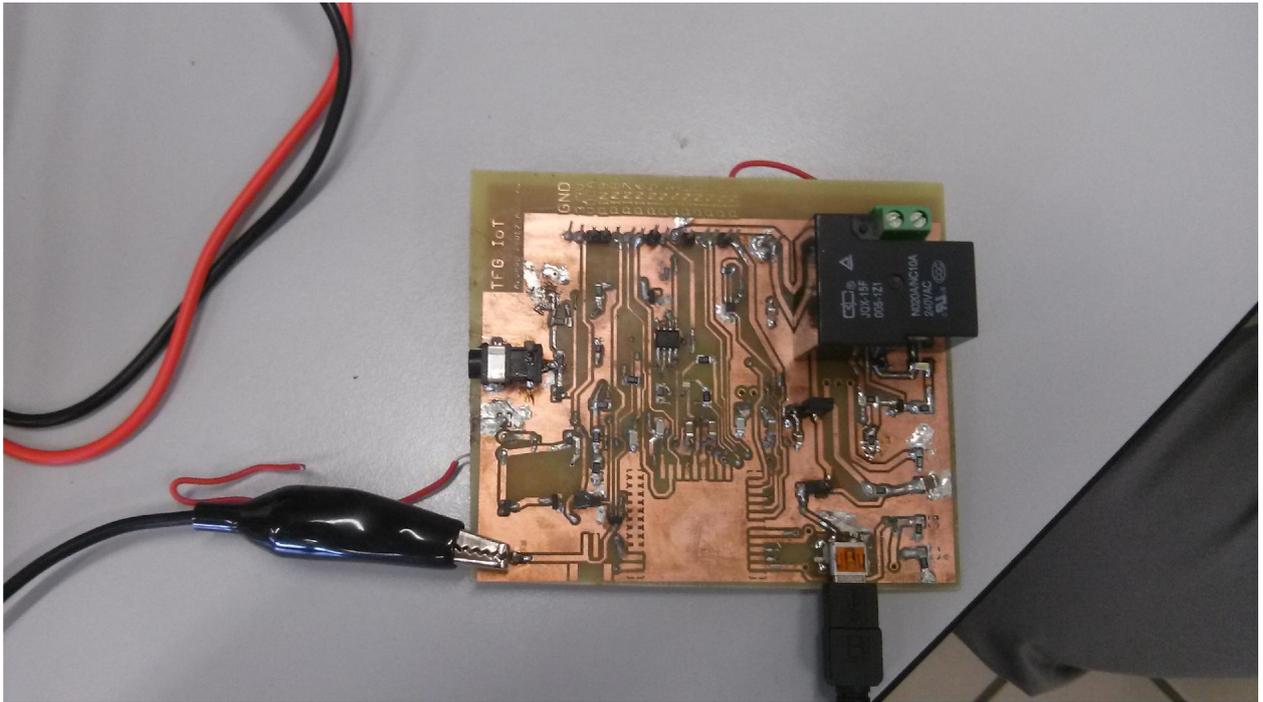


Figura 42. Placa alimentada por relé.

Con la alimentación y el jumper conectado se comprueba que el relé está cerrado, para que relé cambie de estado se debe alimentar el pin 1, salida DAC del Electrip Imp, de esta manera el transistor comienza a circular intensidad logrando que cambie de estado el relé. En la siguiente figura se muestra el relé encendido.

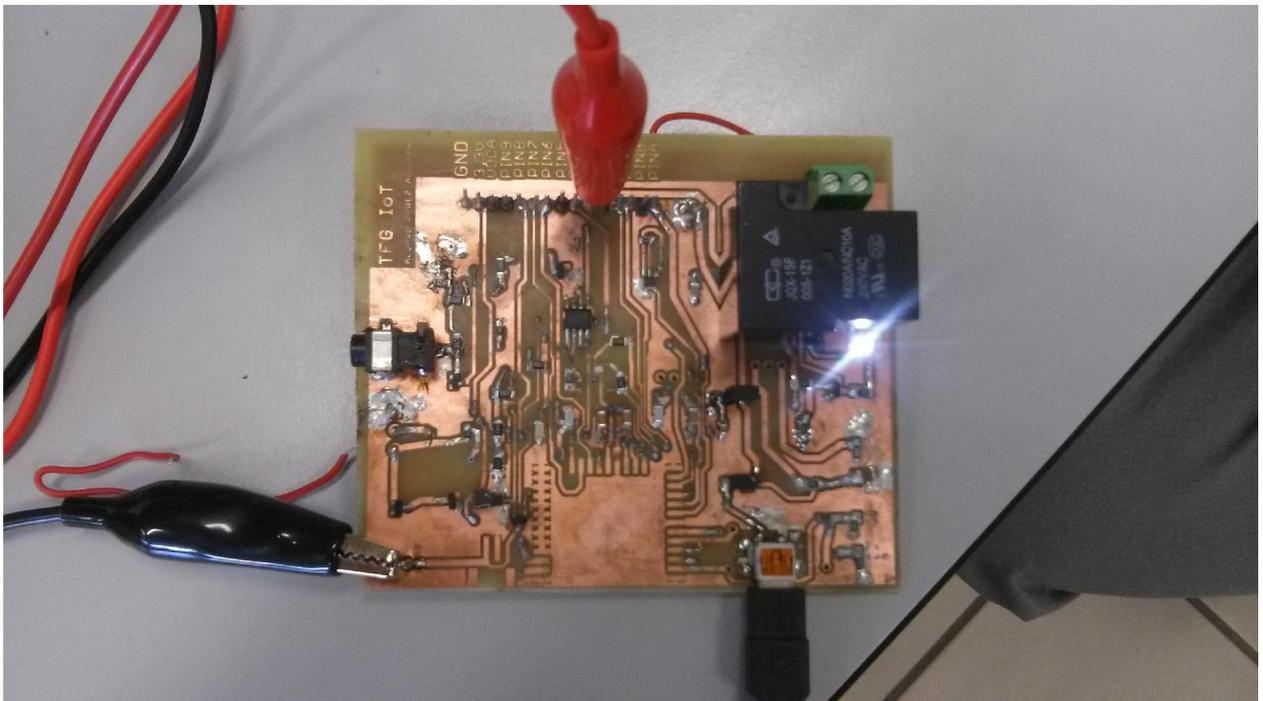


Figura 43. Relé encendido.

### 3.3.4 PRUEBA D: Rele encender y apagar con Electric Imp.

- Para apagar y encender el relé se comprueba mediante el código *Hello Word*.

De esta manera a cada 20 segundos se logra que se encienda o se apague a través de las órdenes del Electric Imp.

- Para esta prueba se utiliza el código agent por primera vez, en este caso la información del estado del relé se recibirá a través de la URL. Código *Hello Word Agent*.



```

Device Logs - 23075d4cead3dbee
Logging: On Off
2016-09-03 22:16:23 UTC+2[Agent] Turn LED On: https://agent.electricimp.com/yZN3Z2ScqYV?led=1
2016-09-03 22:16:23 UTC+2[Agent] Turn LED Off: https://agent.electricimp.com/yZN3Z2ScqYV?led=0
2016-09-03 22:16:25 UTC+2[Status] Downloading new code; 0.74% program storage used
2016-09-03 22:16:51 UTC+2[Device] Set LED to state: 1
2016-09-03 22:16:56 UTC+2[Device] Set LED to state: 0
  
```

Figura 44. Device logs.

La URL del dispositivo, saldrá en el registro del dispositivo, tal y como se programó anteriormente, la URL es única de cada dispositivo y ésta permite manejarlo desde cualquier red. Solamente hay que introducirla en un navegador tal como muestra la siguiente imagen.



Figura 45. URL en el navegador.

Este es la colocación del sistema en este caso. Los dos USB están conectados al mismo ordenador por lo que no hace falta conectar las masas entre las dos placas.

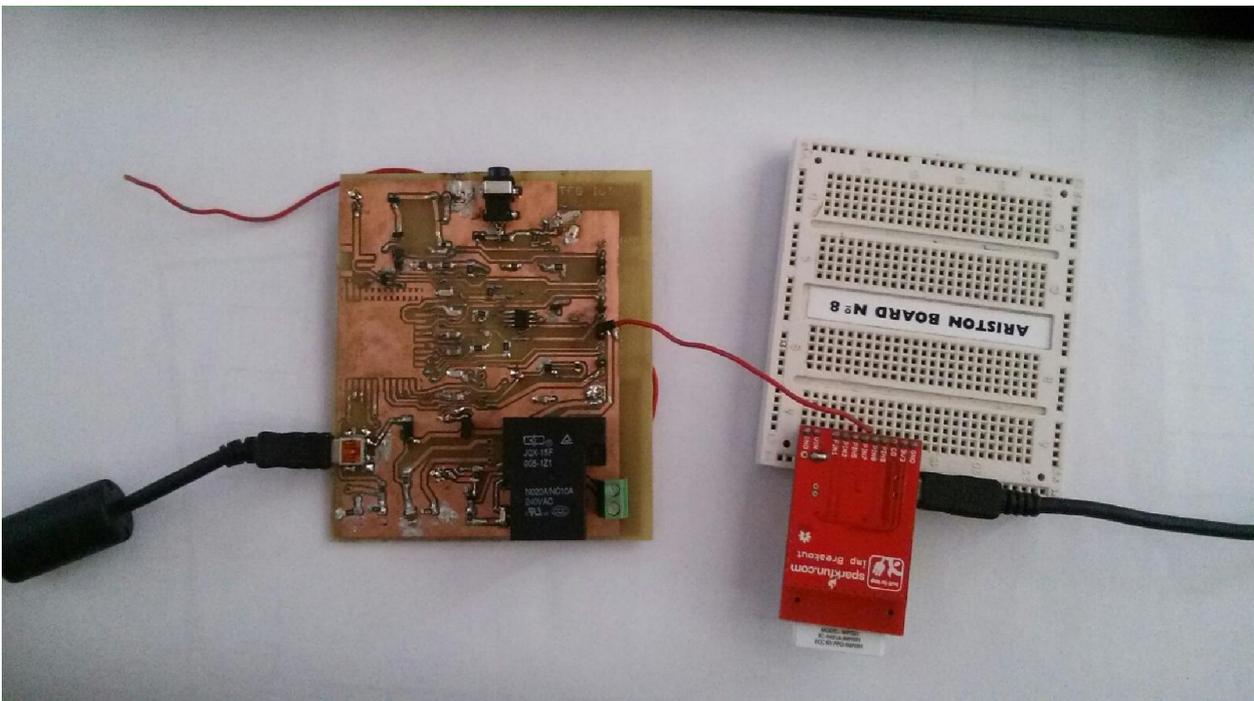


Figura 46. Sistema para encender y apagar el relé.

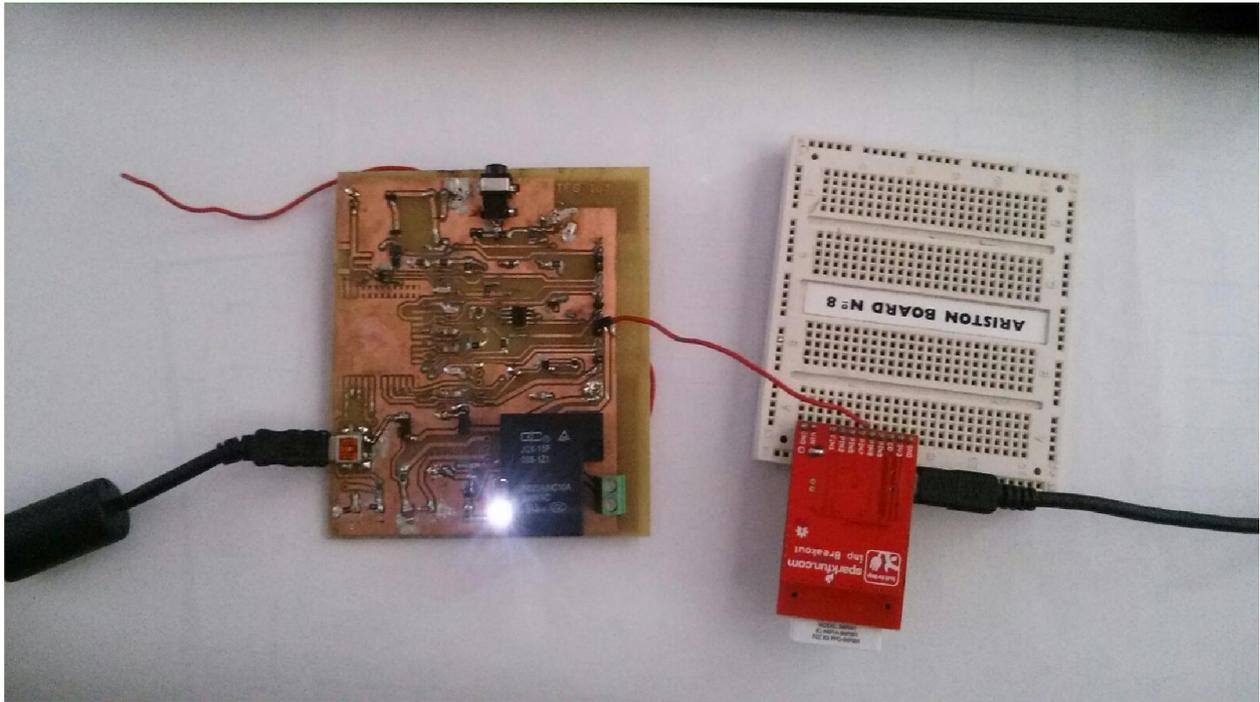


Figura 47. Sistema con relé encendido.

### 3.3.5 PRUEBA E: Cálculo de potencia.

Por motivos de seguridad, no se introducirá 230Vrms a la placa, ni se puede generar una señal externa con un generador de señal puesto que debe de estar en fase con la intensidad. Se lee la señal de intensidad y la señal de tensión será la misma señal multiplicada por un factor, de esta manera se consigue que las dos señales estén en fase y poder hacer las pruebas una manera correcta.

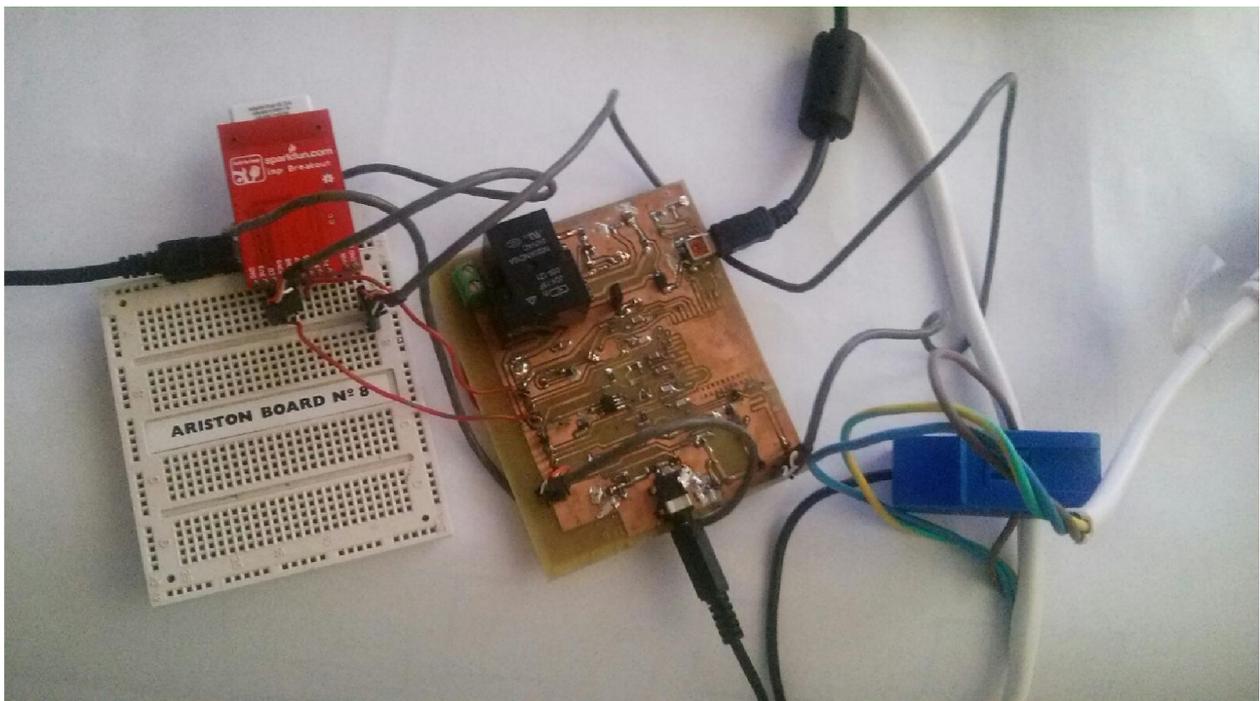


Figura 48. Sistema completo.

Para este caso, se prueba con el código calculador Irms y se conectará un electrodoméstico, esta vez de 700W,

$$P = 700 \text{ W} \quad P = V * I \rightarrow V = 230 ; I = \frac{700}{230} = 3A$$



Figura 49. Potencia del electrodoméstico de 700W.

Ejecutamos el código calculador Irms y se obtienen los siguientes resultados

```

Device Logs - 23075d4cead3dbee
2016-09-03 21:59:09 UTC+2 [Device] stop
2016-09-03 21:59:10 UTC+2 [Agent] 10146
2016-09-03 21:59:25 UTC+2 [Device] buffer 2000
2016-09-03 21:59:25 UTC+2 [Device] RMS value of current 2.94144
2016-09-03 21:59:25 UTC+2 [Device] Power active 676.531
2016-09-03 21:59:26 UTC+2 [Device] stop
2016-09-03 21:59:27 UTC+2 [Agent] 10147
2016-09-03 21:59:42 UTC+2 [Device] buffer 2000
2016-09-03 21:59:42 UTC+2 [Device] RMS value of current 2.93884
2016-09-03 21:59:42 UTC+2 [Device] Power active 675.933
2016-09-03 21:59:43 UTC+2 [Device] stop
  
```

Figura 50. Device logs corriente y potencia activa.

Los valores obtenidos de 2,94A y 676,5W son muy aproximados a los estudios teóricos, no se puede asegurar que el electrodoméstico esté consumiendo en todo momento 700W por lo se afirma que los valores son correctos.

Y también los resultados que se representan en la página web [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com).

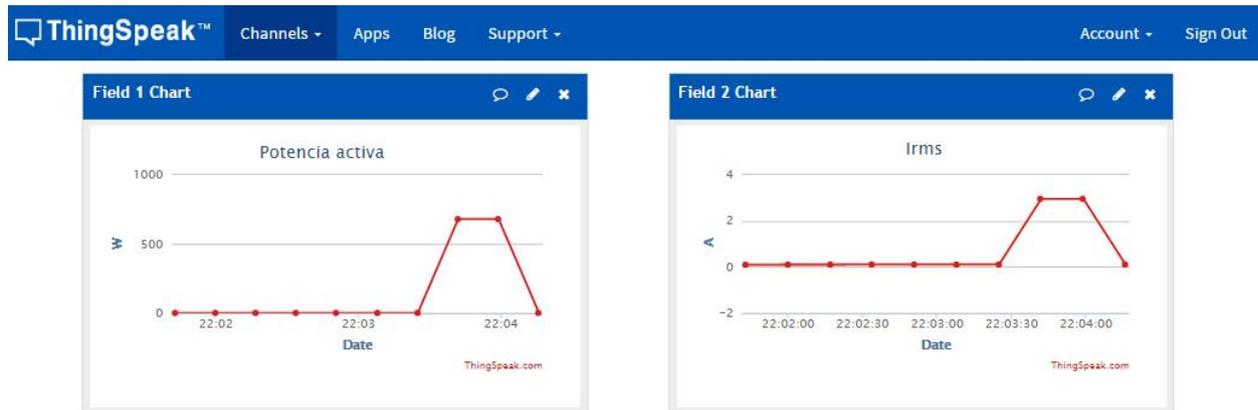


Figura 51. Página thingSpeak gráficas potencia activa e Irms.

Los resultados de las figuras corresponden a los datos esperados. Los picos de las gráficas representan el momento en el electrodoméstico está encendido, los datos se toman en intervalos de 15 segundos.

El código utilizado es: *calculador irms y potencia activa*.

### 3.3.6 PRUEBA F: Trabajo final.

Esta prueba utiliza el código *TFG*. A él se han sumado todas las funcionalidades anteriores, además de añadirles algunas nuevas: un temporizador para apagar y encender el relé a la hora elegida, la hora será pasada por URL, siendo así más interactivo con el usuario; envío de nuevas gráficas como la referida a la potencia aparente, a la potencia reactiva, al valor eficaz de la tensión y a la tensión de alimentación del dispositivo, muy útil en la utilización de la batería por ejemplo para informar sobre el estado de su carga.

En esta prueba, se muestra cómo la aplicación es capaz de leer la potencia consumida y de actuar simultáneamente sobre la vivienda.

El sistema montado será el mismo que el de la figura 48.

```

Device Logs - 23075d4cead3dbee
2016-09-03 20:51:15 UTC+2 [Agent] Turn rele On: https://agent.electricimp.com/yZN3Z2ScqYV?state=1
2016-09-03 20:51:15 UTC+2 [Agent] Turn rele Off: https://agent.electricimp.com/yZN3Z2ScqYV?state=0
2016-09-03 20:51:15 UTC+2 [Agent] Turn rele On at: https://agent.electricimp.com/yZN3Z2ScqYV?hora=--&minuto=--&turn=1
2016-09-03 20:51:15 UTC+2 [Agent] Turn rele Off at: https://agent.electricimp.com/yZN3Z2ScqYV?hora=--&minuto=--&turn=0

```

Figura 52. Registro del dispositivo al ejecutar el código TFG.

En la figura 52 se muestran las opciones que se dan al usuario para interactuar con la aplicación. Las primeras opciones sirven para encender o apagar el relé a través de un navegador, al que se le pueden conectar electrodomésticos o bombillas entre otras cosas.

Las dos opciones siguientes enseñan el formato que debe ser puesto en el navegador para activar o desactivar el relé, solo habría que modificar los dos guiones por la hora y el minuto que se desea. Como se muestra en las siguientes dos imágenes.



Figura 53. Navegador desactivación del relé.



Figura 54. Navegador activación del relé.

Si se utiliza la URL de la figura 54, el relé a las 21:30 se encenderá tal y como aparece en la siguiente imagen.

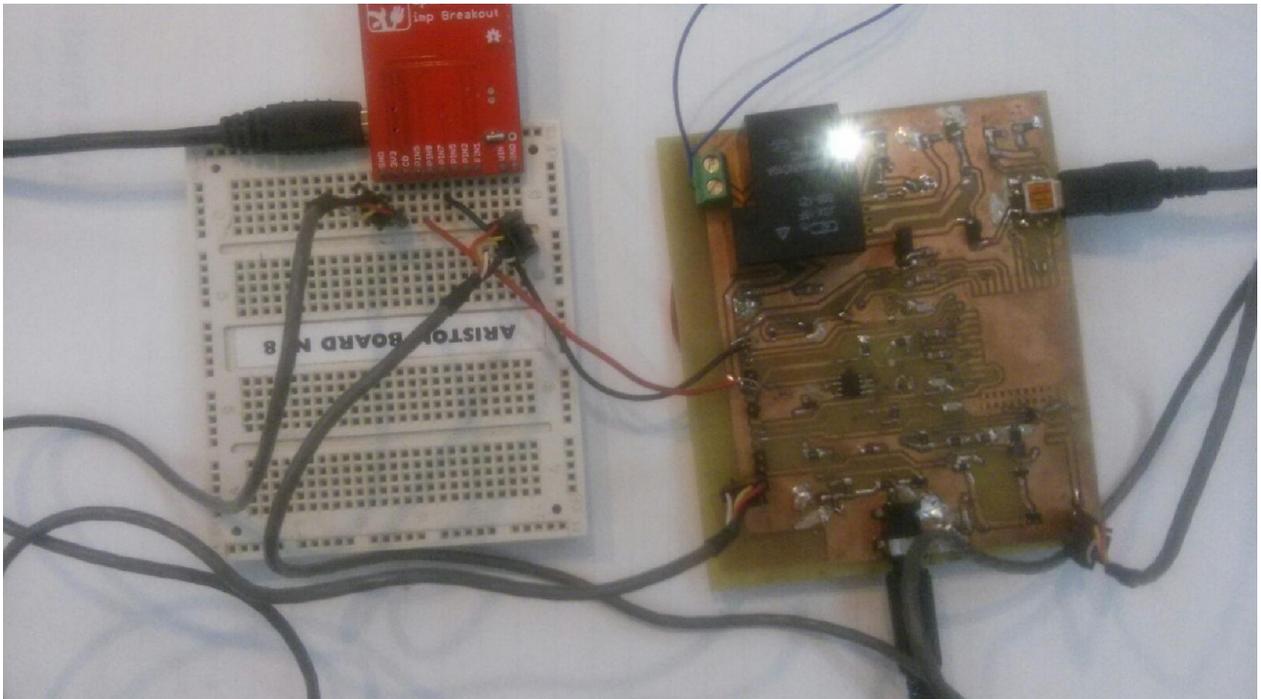


Figura 55. Relé encendido con temporizador.

Si por el contrario, se pusiera una hora incorrecta saltaría el siguiente mensaje de error.



Figura 56. . Navegador con mensaje de error.

Al mismo tiempo que la aplicación espera estas instrucciones y las ejecuta, puede seguir calculando la potencia. Basta con encender de forma manual el electrodoméstico (700W) y esperar que el dispositivo envíe al servidor los datos leídos.

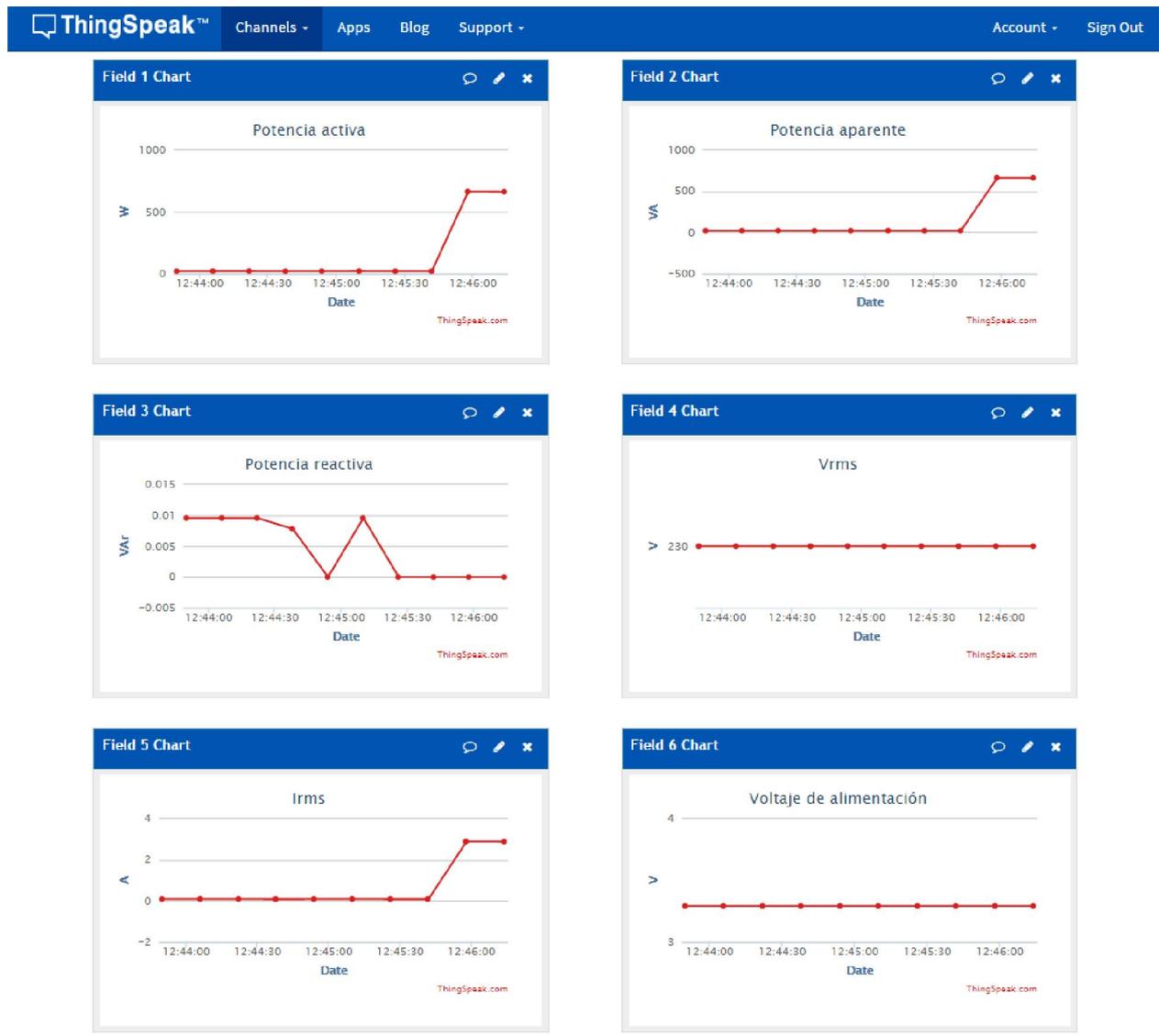


Figura 57. Página ThingSpeak trabajo

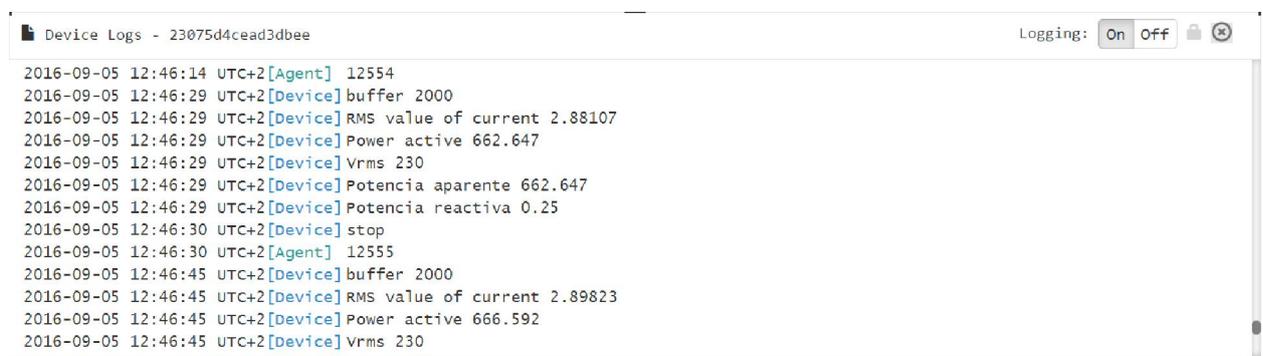
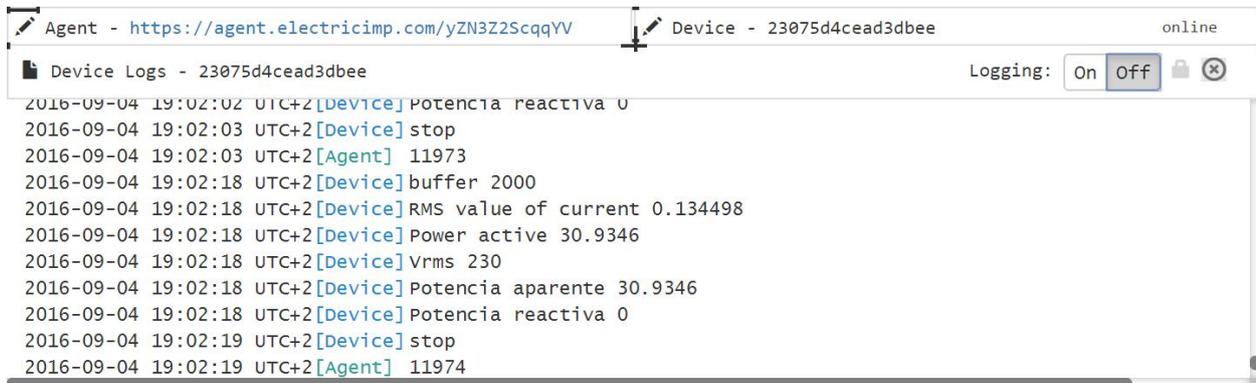


Figura 58. Device logs trabajo final.

Todo es correcto, tal y como puede comprobarse. El Vrms sale 230 que es lo que está establecido, la potencia aparente coincide con la potencia activa y tiene un valor de con los 660W muy similar a las 700W del electrodoméstico, la potencia reactiva sale 0 y, por último, el valor de Irms es muy similar al esperado teóricamente de 3 A. Aunque los valores no coincidan con los teóricos no significa que el resultado esté mal, porque nadie asegura que el electrodoméstico este consumiendo su máxima potencia continuamente.



```

Agent - https://agent.electricimp.com/yZN3Z2ScqqYV Device - 23075d4cead3dbee online
Device Logs - 23075d4cead3dbee Logging: On Off
2016-09-04 19:02:02 UTC+2[Device] Potencia reactiva 0
2016-09-04 19:02:03 UTC+2[Device] stop
2016-09-04 19:02:03 UTC+2[Agent] 11973
2016-09-04 19:02:18 UTC+2[Device] buffer 2000
2016-09-04 19:02:18 UTC+2[Device] RMS value of current 0.134498
2016-09-04 19:02:18 UTC+2[Device] Power active 30.9346
2016-09-04 19:02:18 UTC+2[Device] Vrms 230
2016-09-04 19:02:18 UTC+2[Device] Potencia aparente 30.9346
2016-09-04 19:02:18 UTC+2[Device] Potencia reactiva 0
2016-09-04 19:02:19 UTC+2[Device] stop
2016-09-04 19:02:19 UTC+2[Agent] 11974
  
```

Figura 59 . Registro del dispositivo valores residuales.

En la figura 59 aparecen las medidas obtenidas cuando no hay ninguna resistencia conectada, como se puede observar estos valores son valores residuales debido a los errores en la medida. Uno de los requisitos de la placa era tener un error límite de corriente eficaz menor a 1%, y un error límite de potencia menor a 1%.

$$error_{límiteIrms} = \frac{Valor_{residual}}{Fondo\ de\ escala} * 100 = \frac{0.135}{40} * 100 = 0.3375\%$$

$$error_{límitePot} = \frac{Valor_{residual}}{Fondo\ de\ escala} * 100 = \frac{30,94}{9200} * 100 = 0.336\%$$

Queda demostrado que la placa cumple con los requisitos.

# 4 MEMORIA DE CÁLCULOS

En este anexo se explicará los cálculos realizados para la obtención de los valores de las resistencias del apartado 3.2.1

## 4.1 Circuito de intensidad.

La amplitud máxima es de 40A y después de pasar por el transformador de corriente de relación 100A:50mA, realizando una simple regla de tres se obtiene que la amplitud máxima de la intensidad que entrará en el circuito es de 20mA.

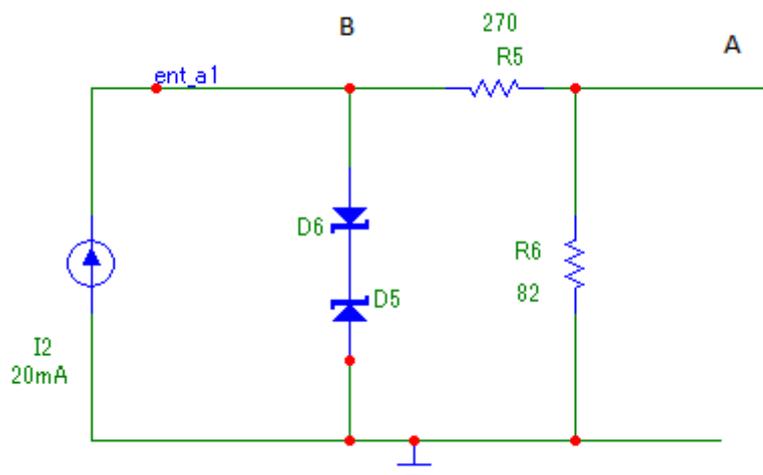


Figura 60. Diseño entrada de intensidad.

El diodo tiene una  $V_z = 6,2V$  y suponemos que en conducción toma un valor de  $0,7V$  por lo que en el punto B se esperan  $6,9V$  y en el punto A se busca que haya  $1,6V$ . Por lo que resolviendo el divisor de tensión siguiente:

$$V_B - V_A / I_{max} = R5$$
$$6,9 - 1,6 / 20m = R5 = 265\Omega$$
$$V_A / I_{max} = R6$$
$$1,6 / 80 = R6 = 80\Omega$$

Como estos valores de resistencias no existen, se buscan resistencias de similar valor, seleccionando

$$R5 = 270\Omega$$

$$R6 = 82\Omega$$

## 4.2 Referencia en tensión.

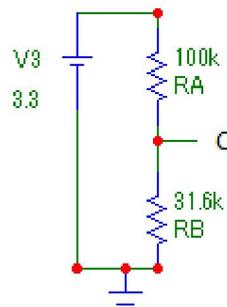


Figura 61. Diseño referencia en tensión.

Para diseñar la referencia en tensión hay que saber que en el punto C se desean 0.8V, y que hay una tensión constante de 3,3V. Se resuelve el sistema de ecuaciones siguiente y se obtiene los valores de las resistencias.

$$\frac{3,3V - V_C}{R_A} = I$$

$$\frac{V_C}{R_B} = I$$

$$\frac{3,3V - V_C}{R_A} = \frac{V_C}{R_B} \rightarrow R_B = \frac{V_C}{3,3V - V_C} * R_A$$

Se tiene un grado de libertad por lo que se fija  $R_A$  a 100kΩ con lo que se consigue una  $R_B$  de 32kΩ. Se tiene el mismo problema que antes y se selecciona una resistencia de 31,6 kΩ.

## 4.3 Diseño amplificador.

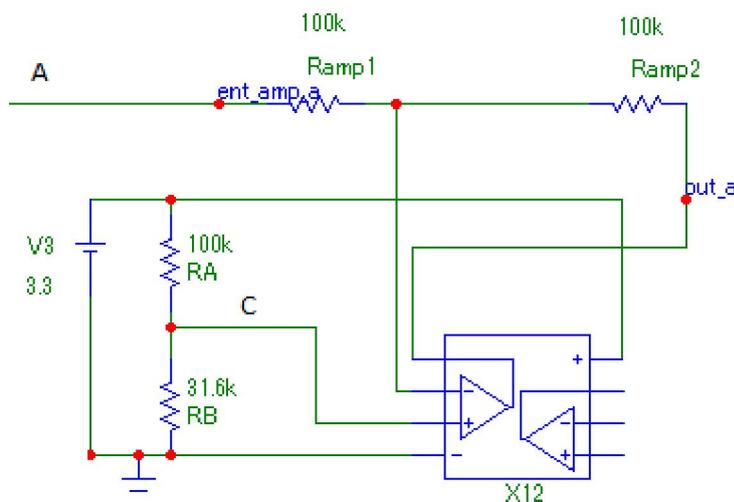


Figura 62. Diseño amplificador.

En el punto A se tiene 1,6V, en el punto C hay 0,8V y a la salida se desea tener 3,3V.

Se resuelve el amplificador quedando de la siguiente manera:

$$V_{out} = -\frac{R_{amp2}}{R_{amp1}}V_1 + V_C\left(1 + \frac{R_{amp2}}{R_{amp1}}\right)$$

Se fija  $R_{amp1} = R_{amp2} = 100k\Omega$  aprovechando que ya se ha seleccionado anteriormente.

$$V_{out} = -V_1 + 2 * V_C$$

#### 4.4 Circuito de tensión.

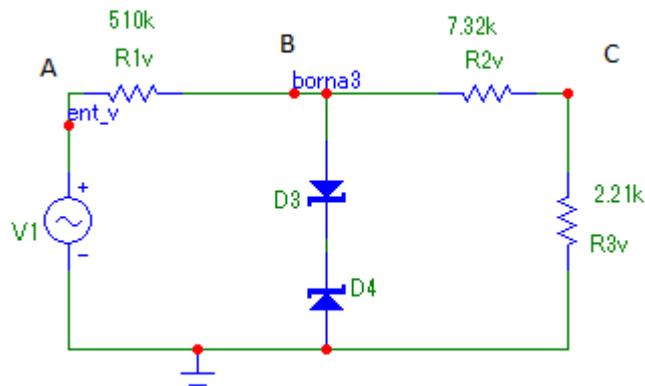


Figura 63. Diseño entrada voltaje.

El voltaje máximo de 374V, este valor sale de 230Vrms de la señal eléctrica y un 15% de margen de seguridad,  $V_A = 230 * \sqrt{2} * 1.15 = 374V$

En el punto B, como anteriormente, es de 6,9V debido a 0,7V del diodo en conducción y  $V_z = 6.2V$  y en el punto C se espera 1,6V

$$V_A = V_{R_{1V}} + V_{R_{2V}} + V_{R_{3V}}$$

$$\frac{V_C}{V_{R_{3V}}} = \frac{(V_B - V_C)}{V_{R_{2V}}} \rightarrow V_C * V_{R_{2V}} = (V_B - V_C) * V_{R_{3V}}$$

$$\frac{V_A - V_B}{R_{1V}} = \frac{V_B - V_C}{R_{2V}}$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones, que se obtiene de resolviendo por mallas el circuito.

$$R_{1V} = 229,47 * R_{3V}$$

$$R_{2V} = 3,3125 * R_{3V}$$

Existe un grado de libertad con el que se fija  $R_{1V} = 510k\Omega$ , obteniendo  $R_{3V} = 2,22k\Omega$  y  $R_{2V} = 7,36k\Omega$ . Por falta de disponibilidad de estos valores se acaba escogiendo:

$$R_{1V} = 510k\Omega$$

$$R_{2V} = 7,32k\Omega$$

$$R_{3V} = 2,21k\Omega$$



# 5 CONCLUSIÓN

---

Las conclusiones extraídas después de realizar este proyecto son múltiples, destacando la gran capacidad de la plataforma y que la convierte en una herramienta muy completa, capaz de llegar a dar soluciones globales a los problemas de una forma eficiente.

Tanto en España como otros países, el “Internet de las Cosas” no está suficientemente implantado; no obstante, se espera un gran avance para los próximos años.

Electric Imp facilita soluciones globales que permiten la conexión de cualquier sensor a internet de forma segura y eficiente. La simplicidad de conexión de estos dispositivos logra un despliegue rápido y eficaz. Permite a sus clientes centrarse en resolver la aplicación final, ya que ellos se encargan de resolver todo lo demás: conectividad, infraestructura y, sobre todo, seguridad. Convertida en seña de identidad de la compañía, los mecanismos de seguridad utilizados están basados en certificados que garantizan la imposibilidad de redirigir o interceptar cualquier conexión.

La combinación del “Internet de las Cosas” con la eficiencia energética se ha convertido en un tema de especial relevancia en la actualidad; estudiado y analizado en profundidad, hoy sigue jugando un papel de capital importancia en nuestra vida cotidiana, en continua expansión por el aumento de la concienciación ciudadana.

Esta realidad abre un mundo de posibilidades de negocio ante nuestros ojos, ya sea como mejora de la producción industrial propia o como solución a potenciales clientes en su deseo de tener una vida más tecnológica.

Mi experiencia personal ha sido muy grata, el adentrarme en un mundo inédito y encontrar una plataforma con estas posibilidades, me ha sido de gran ayuda. Una de las cosas que destacaría son los numerosos ejemplos que el fabricante ha puesto a mi servicio para posibilitar una rápida familiarización con el producto, hasta entonces desconocido para mí. Además, la existencia de una gran comunidad de usuarios activa y organizada en foros, supervisados por personal cualificado de la empresa, me ha permitido acelerar el proceso de aprendizaje.

Con este trabajo, he desarrollado una de las cualidades más importantes que voy a necesitar en mi futuro laboral, la resolución de conflictos. He tenido que afrontar problemas reales y buscar soluciones reales. Además, creo que he descubierto cualidades indispensables que todo gran profesional debe desarrollar, constancia, esfuerzo, superación, organización, sacrificio, planificación, conocimiento,...

Este ha sido la primera piedra de mi “catedral” particular. He descubierto un mundo tecnológico a mi alcance, con unas posibilidades inmensas, interesante, motivador y, quién sabe, si mi futura pasión.



## 6 TRABAJO FUTURO

---

En un futuro inmediato, la autonomía será una de las piedras angulares en el desarrollo de esta placa. Añadida la alimentación por batería, se antoja imprescindible un cargador con una doble función, por un lado, alimentar el dispositivo y por otro, cargar la batería. De este modo, ganaría en autonomía y, por ende, en libertad.

Además, para mejorar la placa el Imp002 debería estar activo. La PCB ha sufrido errores en la soldadura, debido al material y a los componentes utilizados, hasta tal punto que obliga a descartar la unión de este dispositivo a esta PCB. Aunque la PCB estuviera preparada para su uso, estos errores hacen necesaria la utilización de una alimentación externa.

Como solución y para evitar realizar una PCB de nuevo, se propone la realización de otra PCB pequeña conectada de forma externa a la primera logrando la tensión constante.

Un último apunte interesante. Es importante realizar las pruebas de campo teniendo en cuenta la seguridad y el riesgo eléctrico a la hora de manipular el dispositivo.



# ANEXO A. PLANOS

## A.1 Cara top.

Cara top de la placa, están representadas las pistas y los componentes.

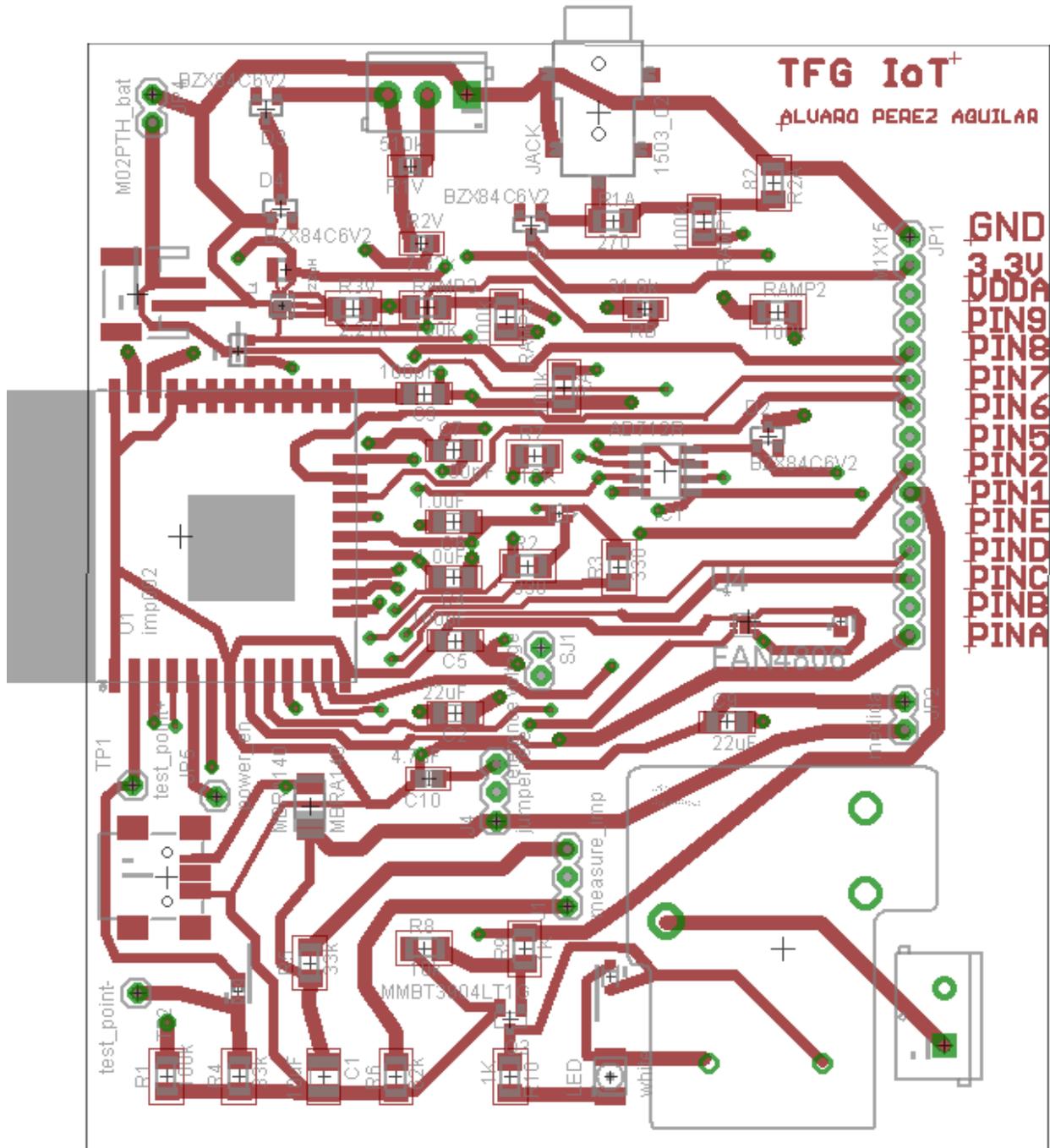


Figura 64. Cara top.



### A.3 Cara top impresión.

Cara top de la placa, esto es lo que se imprimirá en la placa.

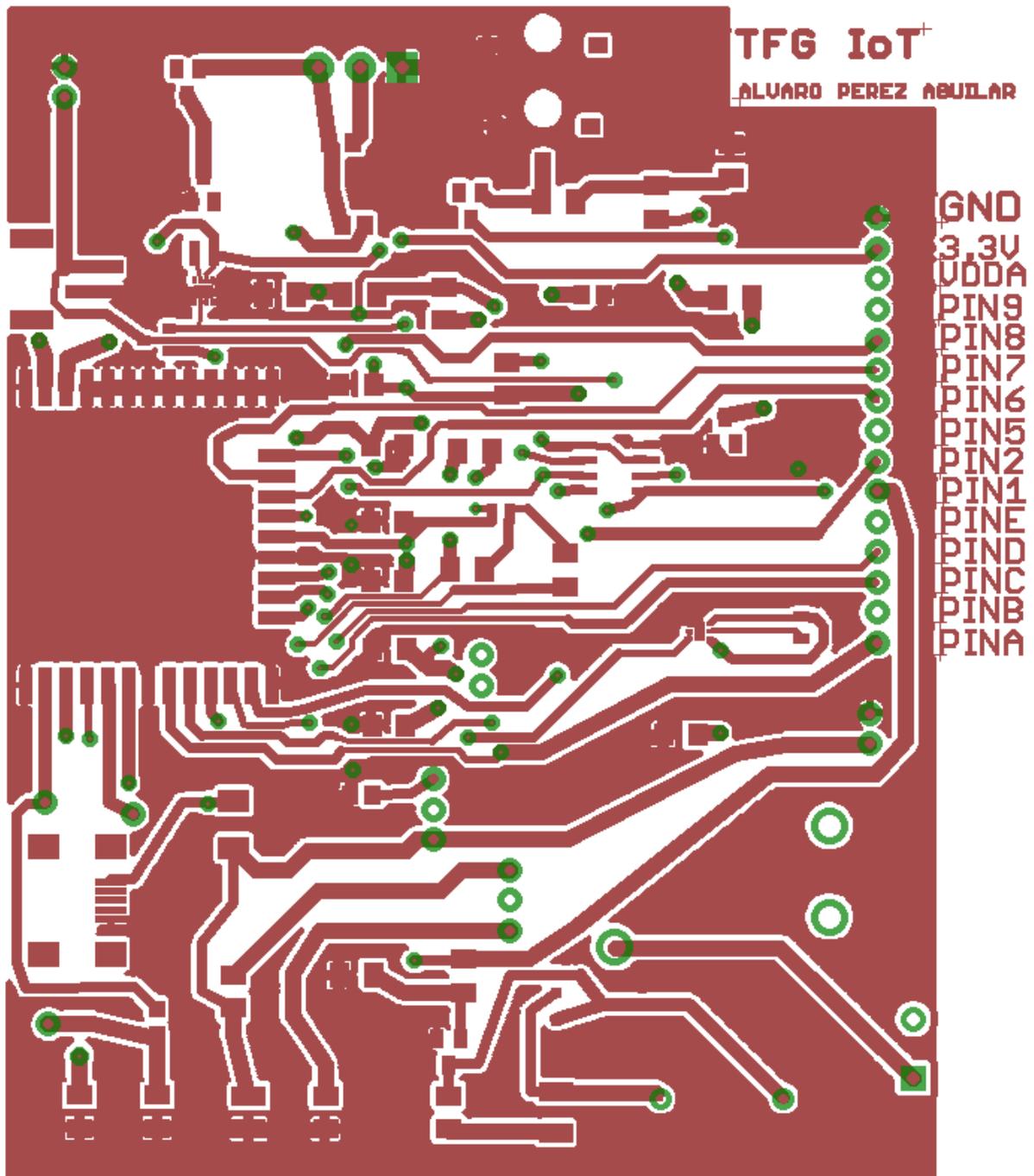


Figura 66. Placa cara top impresión.



# ANEXO B. CÓDIGO TFG

---

## B.1 Código calculador de irms y potencia activa.

### B.1.1 Código Agent.

```
local thingSpeakUrl = "http://api.thingspeak.com/update";
local headers = {
  "Content-Type" : "application/x-www-form-urlencoded",
  "X-THINGSPEAKAPIKEY" : "7YOW0DNY51UMAHP4"
};
local field1 = "field1"; // variable para potencia activa
local field2 = "field2"; // variable para Irms

device.on("sendAnalogInput", function(analog_value) {
  local request = http.post(thingSpeakUrl, headers, analog_value);
  local response = request.sendsync();
  server.log(response.body);
});
```

### B.1.2 Código Device.

```
sampleI <- 0; // variable donde se guardan las muestras
voltaje_pin <- 0.0; //variable auxiliar que mide el valor del voltaje en el
pin B
sqI <- 0.0; // variable donde se guarda el cuadrado
sumI <- 0.0; // sumatorio de intensidad
int_amp <- 0; //intensidad que se mide antes del amplificador
int_real <- 0; // intensidad real que mide el circuito
power <- 0; // variable para el calculo de pontencia I*I
poweract <-0; //sumatorio de la potencia
var_int <-0; // variable intermedia donde se aplicara el factor de escala de
la potencia
variable <-0; // variable auxiliar para imprimir y enviar los datos
correctamente
Irms <-0;
j <- 0; // bandera que sirve para solo leer un periodo
function samplesReady(buffer, length)
{
  if (j==0){ // esta condición asegura que solo se lea 1 periodo y se calcula
el promedio

    if(length>0)
    {
      server.log("buffer " + length);

      for(local i = 0; i < length; i=i+2)
      {

        sampleI = buffer[i+1]<<8; // los datos tienen 16 bits y se
buffer tiene en cada posicion 8 bits, por lo que se desplaza
        sampleI+=buffer[i];
        voltaje_pin = sampleI*3.3/65536.0; // calculo para saber el valor
del voltaje, 3,3 es la referencia y 65536 es el numero de bit
        int_amp= 1.583 - voltaje_pin; // valor de offset
        int_real = int_amp/82; // resistencia del circuito
```

```

        power= 2000*int_real*2000*int_real; // 2000 es el valor de
transformacion inverso
        poweract += power;
        sqI = 2000*int_real*2000*int_real;
        sumI += sqI;
    }

    Irms = math.sqrt(2*sumI/length); // se multiplica por 2 porque solo
se cogen 1000 muestras
    sumI = 0;
    server.log("RMS value of current " + Irms);
    if ( Irms > 1 ) { // si la intensidad es menor que 1 es que lo que
lee es basura
        var_int = poweract*230/Irms; // es el valor de escala entre el
voltaje y la intensidad
    }
    else
    {
        var_int = poweract*60;
    }
    variable = 2*var_int/length;
    server.log("Power active " + variable);
    poweract=0;
    j=1;
}

else
{
    server.log("Overrun");
}
}
}
function stopSampler()
{
    server.log("stop");
    hardware.sampler.stop();

agent.send("sendAnalogInput", ("field1"+"="+"variable+"&"+"field2"+"="+Irms));
// se envian los dos campos a la vez
    j=0;
    imp.sleep(15); // se duerme durante 15 segundos
    hardware.sampler.configure(hardware.pin7, 50000, [buffer1, buffer2],
samplesReady); // se muestrea el pin 7
    hardware.sampler.start(); // cuando se acaba se vuelve a lanzar
    imp.wakeup(1,stopSampler); // esta actuando durante 1 segundo y después
llama a la funcion stopSampler
}
buffer1 <- blob(2000);
buffer2 <- blob(2000);

hardware.sampler.configure(hardware.pin7, 50000, [buffer1, buffer2],
samplesReady); // se muestrea el pin 7
hardware.sampler.start();

imp.wakeup(1, stopSampler); // está actuando durante 1 segundo y después
llama a la función stopSampler, da tiempo a leer buffer varias veces en este
tiempo

```

### B.1.3 Explicación del código.

El objetivo de este código es calcular la corriente eficaz y la potencia activa, para ello se hace uso de la función *hardware.sampler*, para esta función muestrea la señal que se recibe por el pin número 7 a una frecuencia de 50000Hz<sup>16</sup> y seguidamente llama a la función *samplesReady()*. Los datos tienen 16bits, pero la función *samplesReady()* guarda en buffer 8 bits, por lo que se necesitarán dos posiciones de buffer para obtener un dato real, para ello se desplaza 8 bits y después se suma.

El siguiente paso es obtener un valor en decimal, por lo que se multiplica por 3.3 que es el valor de referencia del ADC y se divide por el número de bits<sup>17</sup>, seguidamente se sigue el camino inverso del circuito anteriormente diseñado, se le resta el offset del código y se divide por la resistencia de 82Ω para obtener la intensidad. Esta es la intensidad que lee la PCB pero al multiplicarla por 2000 obtenemos el valor de intensidad que está consumiendo la vivienda, este valor se saca de la relación del transformador a la inversa ( $\frac{100}{5 \cdot 10^{-3}}$ ).

Para calcular la potencia se usa el valor Irms para obtener la tensión de forma proporcional a la intensidad leída. La tensión por razones de seguridad no se probará conectando a la toma de la vivienda. El valor proporcional es 230/Irms, consiguiendo que el valor se auto calcule dependiendo de la potencia que lea.

Como la página thingSpeak representa valores cada 15 segundos, el Electrip Imp se “duerme” durante este tiempo para ahorrar batería. Por lo que se leerá la potencia cada 15 segundos.

---

<sup>16</sup> Se trabaja con 1000 muestra y se necesita hacer el promedio cada 20ms por lo que la conversión debe hacerse cada 20ms/1000 = 20us -> f=1/20us

<sup>17</sup> 2<sup>16</sup> -> 65536

## B.2 Código Hello Word.

### B.2.1 Código Device.

```
//una variable global
led <- hardware.pin9 ;

// configura una salida digital con un valor inicial de 0
led.configure(DIGITAL_OUT, 0);

state <- 0; // variable para el estado
local i = 0; // variable para numero de repeticiones

function blink() {
  // invierte el estado
  state = 1 - state;
  led.write(state);
}

// empieza el bucle
do {
  i++;
  blink();
  imp.sleep(20);
  server.log("ok");
} while (i < 10000);
```

### B.2.2 Explicación del código.

El código hace cambiar el valor del LED cada 20 segundos. Invierte el valor anterior

## B.3 Código Hello Word Agent.

### B.3.1 Código Device.

```
led <- hardware.pin9; //una variable global

led.configure(DIGITAL_OUT, 0); // configura una salida digital con un valor
inicial de 0

function setLedState(state) {
  server.log("Set LED to state: " + state); selecciona el estado que le
envia el agente
  led.write(state);
}

agent.on("set.led", setLedState); //envía información al agent
```

### B.3.2 Código agent.

```
server.log("Turn LED On: " + http.agenturl() + "?led=1"); // Imprime la url
para encender
server.log("Turn LED Off: " + http.agenturl() + "?led=0"); // Imprime la url
para apagar

function requestHandler(request, response) {
  try {
    // comprobar y enviar el estado del led
    if ("led" in request.query) {
      // tiene que ser 1 o 0 sino da error
      if (request.query.led == "1" || request.query.led == "0") {
        // Convertir a entero
        local ledState = request.query.led.toInteger();

        // Envía el dato al dispositivo
        device.send("set.led", ledState);
      }
    }
    // Send a response back to the browser saying everything was OK.
    response.send(200, "OK");
  } catch (ex) {
    response.send(500, "Internal Server Error: " + ex);
  }
}

// Registrar el controlador HTTP para empezar a ver las peticiones HTTP desde
el navegador
http.onrequest(requestHandler);
```

### B.3.3 Explicación del código.

En código se utiliza el agente, gracias a él el dispositivo puede comunicarse con internet, el código device se comunica con el agent y cambia el valor de led según lo que reciba de éste.

Mientras que el código agent, recibe la información a través de su url, y espera que la información venga detrás de su url seguido de "?led=" y 1 si se desea encender y 0 si se desea apagar. Este valor se convierte en entero y se envía al dispositivo a través de device.send.

## B.4 Código TFG

### B.4.1 Device

```

/*
The MIT License (MIT)

Copyright (c) 2013 Electric Imp

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy
of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal
in the Software without restriction, including without limitation the rights
to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in
all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR
IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY,
FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE
AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER
LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM,
OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN
THE SOFTWARE.
*/
// -----
---
// Timer class: Implements a simple timer class with one-off and interval
timers
// all of which can be cancelled.
//
// Author: Aron
// Created: October, 2013
// Updated: March, 2014
//
//
=====
class Timer {

    self = null;
    cancelled = false;
    paused = false;
    running = false;
    callback = null;
    interval = 0;
    params = null;
    send_self = false;
    alarm_timer = null;

    // -----
---
    constructor(_params = null, _send_self = false) {
        params = _params;
        send_self = _send_self;

```

```
        self = this;
    }

    // -----
---
function tzoffset(offset = null) {
    // Store and retrieve the tzoffset from the global scope
    if (!("timer_tzoffset" in ::getroottable())) ::timer_tzoffset <- 0;
    if (offset != null) ::timer_tzoffset <- offset;
    return ::timer_tzoffset;
}

    // -----
---
function update(_params) {
    params = _params;
    return self;
}

    // -----
---
function set(_duration, _callback = null) {
    if (_callback) callback = _callback;
    running = true;
    cancelled = false;
    paused = false;
    if (alarm_timer) imp.cancelwakeup(alarm_timer);
    if (_duration == 0) {
        alarm();
    } else {
        alarm_timer = imp.wakeup(_duration, alarm.bindenv(self))
    }
    return self;
}

    // -----
---
function repeat(_interval, _callback) {
    interval = _interval;
    return set(_interval, _callback);
}

    // -----
---
function now() {
    return alarm(true);
}

    // -----
---
function at(_time, _callback) {
    if (typeof _time == "string") {
        local target = strtodate(_time, tzoffset())
        _time = target.time;
    }
    local diff = _time - time();
    if (diff < 0) diff = 0;
    return set(diff, _callback)
}
```

```
    }

    // -----
    ---
function daily(_time, _callback) {
    interval = 24*60*60;
    return at(_time, _callback)
}

// -----
    ---
function hourly(_time, _callback) {
    interval = 60*60;
    return at(_time, _callback)
}

// -----
    ---
function minutely(_time, _callback) {
    interval = 60;
    return at(_time, _callback)
}

// -----
    ---
function repeat_from(_time, _interval, _callback) {
    interval = _interval;
    return at(_time, _callback)
}

// -----
    ---
function cancel() {
    if (alarm_timer) imp.cancelwakeup(alarm_timer);
    alarm_timer = null;
    cancelled = true;
    running = false;
    callback = null;
    return self;
}

// -----
    ---
function pause() {
    paused = true;
    return self;
}

// -----
    ---
function unpause() {
    paused = false;
    return self;
}

// -----
    ---
function alarm(immediate = false) {
```

```

    if (!immediate) {
        if (interval > 0 && !cancelled) {
            alarm_timer = imp.wakeup(interval, alarm.bindenv(self))
        } else {
            running = false;
            alarm_timer = null;
        }
    }
}

if (callback && !cancelled && !paused) {
    if (!send_self && params == null) {
        callback();
    } else if (send_self && params == null) {
        callback(self);
    } else if (!send_self && params != null) {
        callback(params);
    } else if (send_self && params != null) {
        callback(self, params);
    }
}
}

// -----
// Converts a string (of various formats) to a time stamp
function strtodate(str, tz=0) {

    // Prepare the variables
    local year, month, day, hour, min, sec;

    // Capture the components of the date time string
    local ex = regexp(@" ([a-zA-Z]+) ([0-9]+), ([0-9]+) ([0-9]+):([0-9]+)
([AP]M)");
    local ca = ex.capture(str);
    if (ca != null) {
        year = str.slice(ca[3].begin, ca[3].end).tointeger();
        month = str.slice(ca[1].begin, ca[1].end);
        switch (month) {
            case "January": month = 0; break; case "February": month = 1;
break; case "March": month = 2; break;
            case "April": month = 3; break; case "May": month = 4; break;
            case "June": month = 5; break;
            case "July": month = 6; break; case "August": month = 7;
break; case "September": month = 8; break;
            case "October": month = 9; break; case "November": month =
10; break; case "December": month = 11; break;
            default: throw "Invalid month";
        }
        day = str.slice(ca[2].begin, ca[2].end).tointeger()-1;
        hour = str.slice(ca[4].begin, ca[4].end).tointeger();
        min = str.slice(ca[5].begin, ca[5].end).tointeger();
        sec = 0;

        // Tweak the 12-hour clock
        if (hour == 12) hour = 0;
        if (str.slice(ca[6].begin, ca[6].end) == "PM") hour += 12;
    } else {
        ex = regexp(@"([0-9]+):([0-9]+):([0-9]+)");
        ca = ex.capture(str);
        if (ca.len() == 5) {

```

```

        local local_now = date(time() + tz);
        year = local_now.year;
        month = local_now.month;
        day = local_now.day-1;
        hour = str.slice(ca[1].begin, ca[1].end).tointeger();
        min = str.slice(ca[2].begin, ca[2].end).tointeger();
        if (ca[4].begin == ca[4].end) sec = 0;
        else sec = str.slice(ca[4].begin, ca[4].end).tointeger();

        // Tweak the 24 hour clock
        if (hour*60*60 + min*60 + sec < local_now.hour*60*60 +
local_now.min*60 + local_now.sec) {
            hour += 24;
        }

        // Adjust back to UTC
        tz = -tz;

    } else {
        throw "We are currently expecting, exactly, this format:
'Tuesday, January 7, 2014 9:57 AM'";
    }
}

// Do some bounds checking now
if (year < 2012 || year > 2017) throw "Only 2012 to 2017 is currently
supported";

// Work out how many seconds since January 1st
local epoch_offset = { "2012":1325376000, "2013":1356998400,
"2014":1388534400, "2015":1420070400, "2016":1451606400, "2017":1483228800 };
local seconds_per_month = [ 2678400, 2419200, 2678400, 2592000,
2678400, 2592000, 2678400, 2678400, 2592000, 2678400, 2592000, 2678400];
local leap = ((year % 4 == 0) && (year % 100 != 0)) || (year % 400 ==
0);
if (leap) seconds_per_month[1] = 2505600;

local offset = epoch_offset[year.toString()];
for (local m = 0; m < month; m++) offset += seconds_per_month[m];
offset += (day * 86400);
offset += (hour * 3600);
offset += (min * 60);
offset += sec;
offset += tz;

// Finally, generate a date object from the offset
local dateobj = date(offset);
dateobj.str <- format("%02d-%02d-%02d %02d:%02d:%02d Z",
dateobj.year, dateobj.month+1, dateobj.day, dateobj.hour, dateobj.min,
dateobj.sec);
return dateobj;
}
}

// create a global variable called led and assign pin9 to it
led <- hardware.pin9;
// configure led to be a digital output
led.configure(DIGITAL_OUT, 0);

```

```

rep <-100;
state<-0;
hora_clock<-0;
minuto_clock<-0;
ix2<-0; //variable donde se guardara el sumatorio
vx2<-0; // variable donde se guardara el sumatorio
pact<-0;
qrea<-0;
int <-0;
constante <- 191; // constante para calcular el voltaje
int_real <-0;
int_vol <-0;
int_amp <-0;
irms <-0;

function setLedState(state) {
  led.write(state); // funcion para cambiar el estado
}

function preparar_hora(hora){ // funcion que lee la hora
  hora_clock = hora;
  server.log(format("hora_clock:%d",hora));
}
function preparar_minuto(minuto){ //funcion que le los minutos
  minuto_clock = minuto;
  server.log(format("minuto_clock:%d",minuto));
}
function preparar_rele(estado){
  Timer.tzoffset(7200); //offser debido al cambio horario
  Timer().daily(hora_clock+" "+minuto_clock,function(){
    led.write(estado)
  });
  if (estado == 1) {
    server.log(format("El rele se activara a las:
%d:%d",hora_clock,minuto_clock)); // imprimir lo que hara
  }
  else
  {
    server.log(format("El rele se apagara a las: %d:%d"
,hora_clock,minuto_clock));
  }
}

function sendAnalogInput()

{
  local batteryvoltage = hardware.voltage(); // Para saber cuantos voltios
está alimentado
  sampleI <- 0; // variable donde se guardan las muestras
  voltaje_pin <- 0.0; //variable auxiliar que mide el valor del voltaje en
el pin B
  sqI <- 0.0; // variable donde se guarda el cuadrado
  sumI <- 0.0; // sumatorio de intensidad
  int_amp <- 0; //intensidad que se mide antes del amplificador
  int_real <- 0; // intensidad real que mide el circuito
  power <- 0; // variable para el calculo de pontencia I*I
  poweract <-0; //sumatorio de la potencia
  var_int <-0; // variable intermedia donde se aplicara el factor de escala
de la potencia
  activa <-0; // variable auxiliar para imprimir y enviar los datos
correctamente
  Irms <-0;

```

```

Vrms <-0;
aparente <-0; //potencia aparente
Q <-0; //potencia reactiva que se toma como cero
j <- 0; // bandera que sirve para solo leer un periodo
function samplesReady(buffer, length)
{
  if (j==0){ // esta condición asegura que solo se lea 1 periodo y se
calcula el promedio

    if(length>0)
    {
      server.log("buffer " + length);

      for(local i = 0; i < length; i=i+2)
      {

        sampleI = buffer[i+1]<<8; // los datos tienen 16 bits y se
buffer tiene en cada posición 8 bits, por lo que se desplaza
        sampleI+=buffer[i];
        voltaje_pin = sampleI*3.3/65536.0; // calculo para saber el valor
del voltaje, 3,3 es la referencia y 65536 es el número de bit
        int_amp= 1.583 - voltaje_pin; // valor de offset
        int_real = int_amp/82; // resistencia del circuito
        power= 2000*int_real*2000*int_real; // 2000 es el valor de
transformación inverso
        poweract += power;
        Vrms += 2000*int_real; // para después multiplicar por el factor
y obtener Vrms
        sqI = 2000*int_real*2000*int_real;
        sumI += sqI;
      }

      Irms = math.sqrt(2*sumI/length); // se multiplica por 2 porque solo
se cogen 1000 muestras
      sumI = 0;
      server.log("RMS value of current " + Irms);

      var_int = poweract*230/Irms; // es el valor de escala entre el
voltaje y la intensidad
      activa = 2*var_int/length;
      Vrms = math.sqrt(2*poweract*(230/Irms)*230/(Irms*length)); //
la suma del cuadro de intensidades por la constante al cuadrado entre el
número de muestras
      aparente = Vrms*Irms;
      Q = math.sqrt (aparente*aparente-activa*activa);

      server.log("Power active " + activa);
      server.log("Vrms " + Vrms);
      server.log("Potencia aparente " + aparente);
      server.log("Potencia reactiva " + Q);
      poweract=0;
      j=1;
    }

  else
  {
    server.log("Overrun");
  }
}
}
function stopSampler()

```

```

{
  server.log("stop");
  hardware.sampler.stop();

agent.send("sendAnalogInput", ("field1"+"="+activa+"&"+"field2"+"="+aparente+"
&"+"field3"+"="+Q+"&"+"field4"+"="+ Vrms+"&"+"field5"+"="+Irms + "&"+
"field6"+"="+ batteryvoltage)); // se envian los dos campos a la vez
  j=0;
  imp.sleep(15); // se duerme durante 15 segundos
  hardware.sampler.configure(hardware.pin7, 50000, [buffer1, buffer2],
samplesReady); // se muestrea el pin 7
  hardware.sampler.start(); // cuando se acaba se vuelve a lanzar
  imp.wakeup(1, stopSampler); // esta actuando durante 1 segundo y después
llama a la funcion stopSampler
}
buffer1 <- blob(2000);
buffer2 <- blob(2000);

hardware.sampler.configure(hardware.pin7, 50000, [buffer1, buffer2],
samplesReady); // se muestrea el pin 7
hardware.sampler.start();

imp.wakeup(1, stopSampler); // esta actuando durante 1 segundo y después
llama a la funcion stopSampler
}

imp.onidle(function() {
  sendAnalogInput();

  });

agent.on("set.led", setLedState);
agent.on("set.hora", preparar_hora);
agent.on("set.minuto", preparar_minuto);
agent.on("set.estado", preparar_rele);

```

## B.4.2 Agent

```

// Log the URLs we need
server.log("Turn rele On: " + http.agenturl() + "?state=1");
server.log("Turn rele Off:" + http.agenturl() + "?state=0");
server.log("Turn rele On at:" + http.agenturl() + "?hora=---&minuto=---
&turn=1");
server.log("Turn rele Off at:" + http.agenturl() + "?hora=---&minuto=---
&turn=0");
//server.log("Turn LED Off: " + http.agenturl() + "?led=0");
hora_time <- 0;
minuto <- 0;
function requestHandler(request, response) {
  try {
    // Check if the user sent led as a query parameter
    if ("state" in request.query) {
      // If they did, and led=1.. set our variable to 1
      if (request.query.state == "1" || request.query.state == "0") {
        // Convert the led query parameter to an integer
        local ledState = request.query.state.tointeger();

        // Send "set.led" message to device, and send ledState as the
data
        device.send("set.led", ledState);
      }
    }
  }
}

```

```

    }
    if ("hora" in request.query){
        if (request.query.hora >= "00" && request.query.hora <= "24"){
//debe de estar entre este rango

            hora_time = request.query.hora.tointeger();
            device.send("set.hora", hora_time);

        }
        else
        {
            response.send(500,"Esperamos una hora valida, entre 00 y 24")
        }

    }
    if ("minuto" in request.query){
        if (request.query.minuto >= "00" && request.query.minuto <=
"60"){ //debe de estar entre este rango

            local minuto_time = request.query.minuto.tointeger();
            device.send("set.minuto", minuto_time);
        }
        else
        {
            response.send(500,"Esperamos unos minutos valido, entre 00 y
60")

        }

    }

    if ("turn" in request.query){
        if (request.query.turn == "1" || request.query.turn == "0") {
            // Convert the led query parameter to an integer
            local turn_state = request.query.turn.tointeger();

            device.send("set.estado", turn_state);
        }

    }

    // Send a response back to the browser saying everything was OK.
    response.send(200, "OK");
} catch (ex) {
    response.send(500, "Internal Server Error: " + ex);
}
}

// Register the HTTP handler to begin watching for HTTP requests from your
browser
http.onrequest(requestHandler);

local thingSpeakUrl = "http://api.thingspeak.com/update";
local headers = {
    "Content-Type" : "application/x-www-form-urlencoded",
    "X-THINGSPEAKAPIKEY" : "7YOW0DNY51UMAHP4"
};
local field1 = "field1";
local field2 = "field2";

```

```
local field3 = "field3";
local field4 = "field4";
local field5 = "field5";
local field6 = "field6";

device.on("sendAnalogInput", function(analog_value) {

    local request = http.post(thingSpeakUrl, headers, analog_value);
    local response = request.sendsync();
    server.log(response.body);
});
```

### B.4.3 Explicación del código.

Este código es la suma de los anteriores al que se le ha añadido la funcionalidad del temporizador, este código lo proporciona el fabricante, solo hay que adaptarlo a nuestro código, la funcionalidad que se le ha añadido es que reciba los datos mediante URL en vez de escribirlo directamente. Esto permite que a través de un navegador se pueda programar la hora de apagado y de encendido, para ello se utilizan las funciones *preparar\_hora*, *preparar\_minuto* y *preparar\_rele*.

Además de esto se añade el cálculo de  $V_{rms}$  de manera artificial y el código de la potencia aparente, y de la potencia reactiva.

Para calcular la potencia aparente se multiplica  $V_{rms} * I_{rms}$  y para la potencia reactiva la fórmula utilizada es:  $Reactiva = \sqrt{Pot_{aparente}^2 - Pot_{activa}^2}$ . En este caso debería salir cero porque están en fase.



# ANEXO C. ESPECIFICACIONES DE COMPONENTES

## C.1. Transformador de corriente.

### Split-Core Current Transformer



#### Model: SCT-013 Series

**Characteristics:** Opening size: 13mm×13mm

Non-linearity±3% ( 10%—120% rated input current )

1.5m leading wire. Diagram for standard three-output

Current output type or Voltage output type  
( Voltage output type built-in sampling resistor )

**Purpose:** Suitable for the current measuring  
monitoring and protection of AC motor  
lighting equipment air compressor and so on

**Core material:** Ferrite

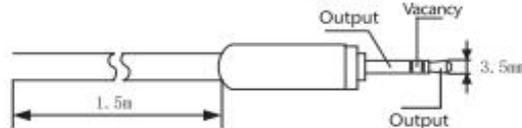
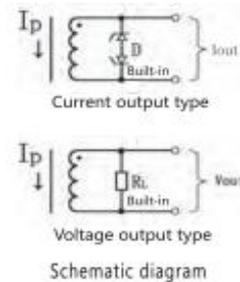
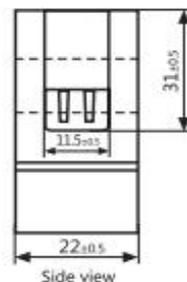
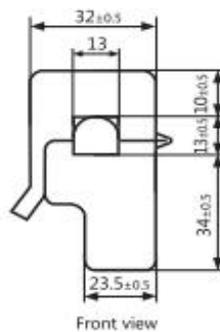
**Mechanical strength:** The number of switching is not less than 1000 times  
(Test under 20°C ).

**Safety index:** Dielectric strength 6000V AC/1min

**Fire resistance property:** in accordance with UL94-V0

**Working temperature:** -25°C—+70°C

**Outline size diagram:** (in mm)



互感器系列

Table of technical parameters:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output mode	Current/33mA	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-070
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	
Output mode	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	

Output mode: Voltage output type built-in sampling resistor; Current output type built-in protective diode;  
Forbidden to be opening operating for current type.

## C.2. Max4477.

19-2137; Rev 5; 7/10

## SOT23, Low-Noise, Low-Distortion, Wide-Band, Rail-to-Rail Op Amps

### General Description

The MAX4475–MAX4478/MAX4488/MAX4489 wide-band, low-noise, low-distortion operational amplifiers offer rail-to-rail outputs and single-supply operation down to 2.7V. They draw 2.2mA of quiescent supply current per amplifier while featuring ultra-low distortion (0.0002% THD+N), as well as low input voltage-noise density (4.5nV/√Hz) and low input current-noise density (0.5fA/√Hz). These features make the devices an ideal choice for applications that require low distortion and/or low noise.

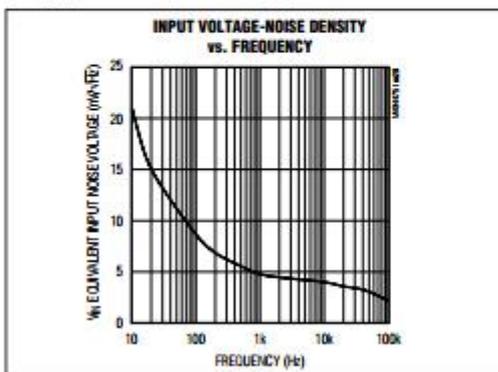
For power conservation, the MAX4475/MAX4488 offer a low-power shutdown mode that reduces supply current to 0.01μA and places the amplifiers' outputs into a high-impedance state. These amplifiers have outputs which swing rail-to-rail and their input common-mode voltage range includes ground. The MAX4475–MAX4478 are unity-gain stable with a gain-bandwidth product of 10MHz. The MAX4488/4489 are internally compensated for gains of +5V/V or greater with a gain-bandwidth product of 42MHz. The single MAX4475/MAX4476/MAX4488 are available in space-saving, 6-pin SOT23 and TDFN packages.

### Applications

ADC Buffers  
DAC Output Amplifiers  
Low-Noise Microphone/Preamplifiers  
Digital Scales  
Strain Gauges/Sensor Amplifiers  
Medical Instrumentation

μMAX is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

### Typical Operating Characteristic



### Features

- ♦ Low Input Voltage-Noise Density: 4.5nV/√Hz
- ♦ Low Input Current-Noise Density: 0.5fA/√Hz
- ♦ Low Distortion: 0.0002% THD+N (1kΩ load)
- ♦ Single-Supply Operation from +2.7V to +5.5V
- ♦ Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- ♦ Rail-to-Rail Output Swings with a 1kΩ Load
- ♦ 10MHz GBW Product, Unity-Gain Stable (MAX4475–MAX4478)
- ♦ 42MHz GBW Product, Stable with  $A_V \geq +5V/V$  (MAX4488/MAX4489)
- ♦ Excellent DC Characteristics
  - V<sub>OS</sub> = 70μV
  - I<sub>BIAS</sub> = 1pA
  - Large-Signal Voltage Gain = 120dB
- ♦ Low-Power Shutdown Mode:
  - Reduces Supply Current to 0.01μA
  - Places Output in High-Impedance State
- ♦ Available in Space-Saving SOT23, TDFN, μMAX®, and TSSOP Packages

### Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
MAX4475AUT+T	-40°C to +125°C	6 SOT23	AAZV
MAX4475AUA+	-40°C to +125°C	8 μMAX	—
MAX4475ASA+	-40°C to +125°C	8 SO	—
MAX4475ATT+T	-40°C to +125°C	6 TDFN-EP*	+ADD
MAX4475AUT/V+T	-40°C to +125°C	6 SOT23	+ACQQ

+ Denotes a lead(Pb)-free/RoHS-compliant package.

\*EP = Exposed pad (connect to V<sub>SS</sub>).

V denotes an automotive qualified part.

T = Tape and reel.

Ordering Information continued at end of data sheet.

Pin Configurations and Typical Operating Circuit appear at end of data sheet.

### Selector Guide

PART	GAIN BW (MHz)	STABLE GAIN (V/V)	NO. OF AMPS	SHDN
MAX4475	10	1	1	Yes
MAX4476	10	1	1	—
MAX4477	10	1	2	—
MAX4478	10	1	4	—
MAX4488	42	5	1	Yes
MAX4489	42	5	2	—

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com).

MAX4475–MAX4478/MAX4488/MAX4489

## SOT23, Low-Noise, Low-Distortion, Wide-Band, Rail-to-Rail Op Amps

**MAX4475-MAX4478/MAX4488/MAX4489**

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power-Supply Voltage ( $V_{DD}$ to $V_{SS}$ ).....	-0.3V to +6.0V	14-Pin SO (derate 8.33mW/°C above +70°C).....	667mW
Analog Input Voltage ( $IN_+$ , $IN_-$ ).....( $V_{SS} - 0.3V$ ) to ( $V_{DD} + 0.3V$ )		14-Pin TSSOP (derate 9.1mW/°C above +70°C).....	727mW
$\overline{SHDN}$ Input Voltage.....( $V_{SS} - 0.3V$ ) to +6.0V		Operating Temperature Range .....	-40°C to +125°C
Output Short-Circuit Duration to Either Supply .....	Continuous	Junction Temperature .....	+150°C
Continuous Input Current ( $IN_+$ , $IN_-$ ).....	$\pm 10mA$	Storage Temperature Range .....	-65°C to +150°C
Continuous Power Dissipation ( $T_A = +70^\circ C$ )		Lead Temperature (soldering, 10s).....	+300°C
6-Pin SOT23 (derate 9.1mW/°C above +70°C).....	727mW	Soldering Temperature (reflow)	
6-Pin TDFN (derate 18.2mW/°C above 70°C).....	1454mW	SOT23, $\mu$ MAX, TSSOP, TDFN, and 8-Pin SO.....	+260°C
8-Pin $\mu$ MAX (derate 4.5mW/°C above +70°C).....	362mW	14-Pin SO.....	+240°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C).....	471mW		

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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

( $V_{DD} = +5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = 0V$ ,  $V_{OUT} = V_{DD}/2$ ,  $R_L$  tied to  $V_{DD}/2$ ,  $\overline{SHDN} = V_{DD}$ ,  $T_A = -40^\circ C$  to +125°C, unless otherwise noted. Typical values are at  $T_A = +25^\circ C$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage Range	$V_{DD}$	(Note 3)		2.7		5.5	V
Quiescent Supply Current Per Amplifier	$I_Q$	Normal mode	$V_{DD} = 3V$		2.2		mA
			$V_{DD} = 5V$		2.5	4.4	
		Shutdown mode ( $\overline{SHDN} = V_{SS}$ ) (Note 2)			0.01	1.0	$\mu A$
Input Offset Voltage	$V_{OS}$	$T_A = +25^\circ C$			$\pm 70$	$\pm 350$	$\mu V$
		$T_A = -40^\circ C$ to +125°C				$\pm 750$	
Input Offset Voltage Tempco	$TC_{VOS}$				$\pm 0.3$	$\pm 6$	$\mu V/^\circ C$
Input Bias Current	$I_B$	(Note 4)			$\pm 1$	$\pm 150$	pA
Input Offset Current	$I_{OS}$	(Note 4)			$\pm 1$	$\pm 150$	pA
Differential Input Resistance	$R_{IN}$				1000		G $\Omega$
Input Common-Mode Voltage Range	$V_{CM}$	Guaranteed by CMRR Test	$T_A = +25^\circ C$	-0.2		$V_{DD} - 1.6$	V
			$T_A = -40^\circ C$ to +125°C	-0.1		$V_{DD} - 1.7$	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$(V_{SS} - 0.2V) \leq V_{CM} \leq (V_{DD} - 1.6V)$	$T_A = +25^\circ C$	90	115		dB
			$T_A = -40^\circ C$ to +125°C	90			
		$(V_{SS} - 0.1V) \leq V_{CM} \leq (V_{DD} - 1.7V)$	$T_A = -40^\circ C$ to +125°C	90			
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{DD} = 2.7$ to 5.5V		90	120		dB
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VOL}$	$R_L = 10k\Omega$ to $V_{DD}/2$ ; $V_{OUT} = 100mV$ to ( $V_{DD} - 125mV$ )		90	120		dB
		$R_L = 1k\Omega$ to $V_{DD}/2$ ; $V_{OUT} = 200mV$ to ( $V_{DD} - 250mV$ )		85	110		
		$R_L = 500\Omega$ to $V_{DD}/2$ ; $V_{OUT} = 350mV$ to ( $V_{DD} - 500mV$ )		85	110		

## SOT23, Low-Noise, Low-Distortion, Wide-Band, Rail-to-Rail Op Amps

### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

( $V_{DD} = +5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = 0V$ ,  $V_{OUT} = V_{DD}/2$ ,  $R_L$  tied to  $V_{DD}/2$ ,  $\overline{SHDN} = V_{DD}$ ,  $T_A = -40^\circ C$  to  $+125^\circ C$ , unless otherwise noted. Typical values are at  $T_A = +25^\circ C$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	$V_{OUT}$	$I_{VIN+} - I_{VIN-} \geq 10mV$ , $R_L = 10k\Omega$ to $V_{DD}/2$	$V_{DD} - V_{OH}$	10	45	mV
			$V_{OL} - V_{SS}$	10	40	
		$I_{VIN+} - I_{VIN-} \geq 10mV$ , $R_L = 1k\Omega$ to $V_{DD}/2$	$V_{DD} - V_{OH}$	80	200	
			$V_{OL} - V_{SS}$	50	150	
		$I_{VIN+} - I_{VIN-} \geq 10mV$ , $R_L = 500\Omega$ to $V_{DD}/2$	$V_{DD} - V_{OH}$	100	300	
			$V_{OL} - V_{SS}$	80	250	
Output Short-Circuit Current	$I_{SC}$			48		mA
Output Leakage Current	$I_{LEAK}$	Shutdown mode ( $\overline{SHDN} = V_{SS}$ ), $V_{OUT} = V_{SS}$ to $V_{DD}$		$\pm 0.001$	$\pm 1.0$	$\mu A$
$\overline{SHDN}$ Logic Low	$V_{IL}$				$0.3 \times V_{DD}$	V
$\overline{SHDN}$ Logic High	$V_{IH}$		$0.7 \times V_{DD}$			V
$\overline{SHDN}$ Input Current		$\overline{SHDN} = V_{SS}$ to $V_{DD}$		0.01	1	$\mu A$
Input Capacitance	$C_{IN}$			10		pF

### AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

( $V_{DD} = +5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = 0V$ ,  $V_{OUT} = V_{DD}/2$ ,  $R_L$  tied to  $V_{DD}/2$ ,  $\overline{SHDN} = V_{DD}$ ,  $T_A = +25^\circ C$ .)

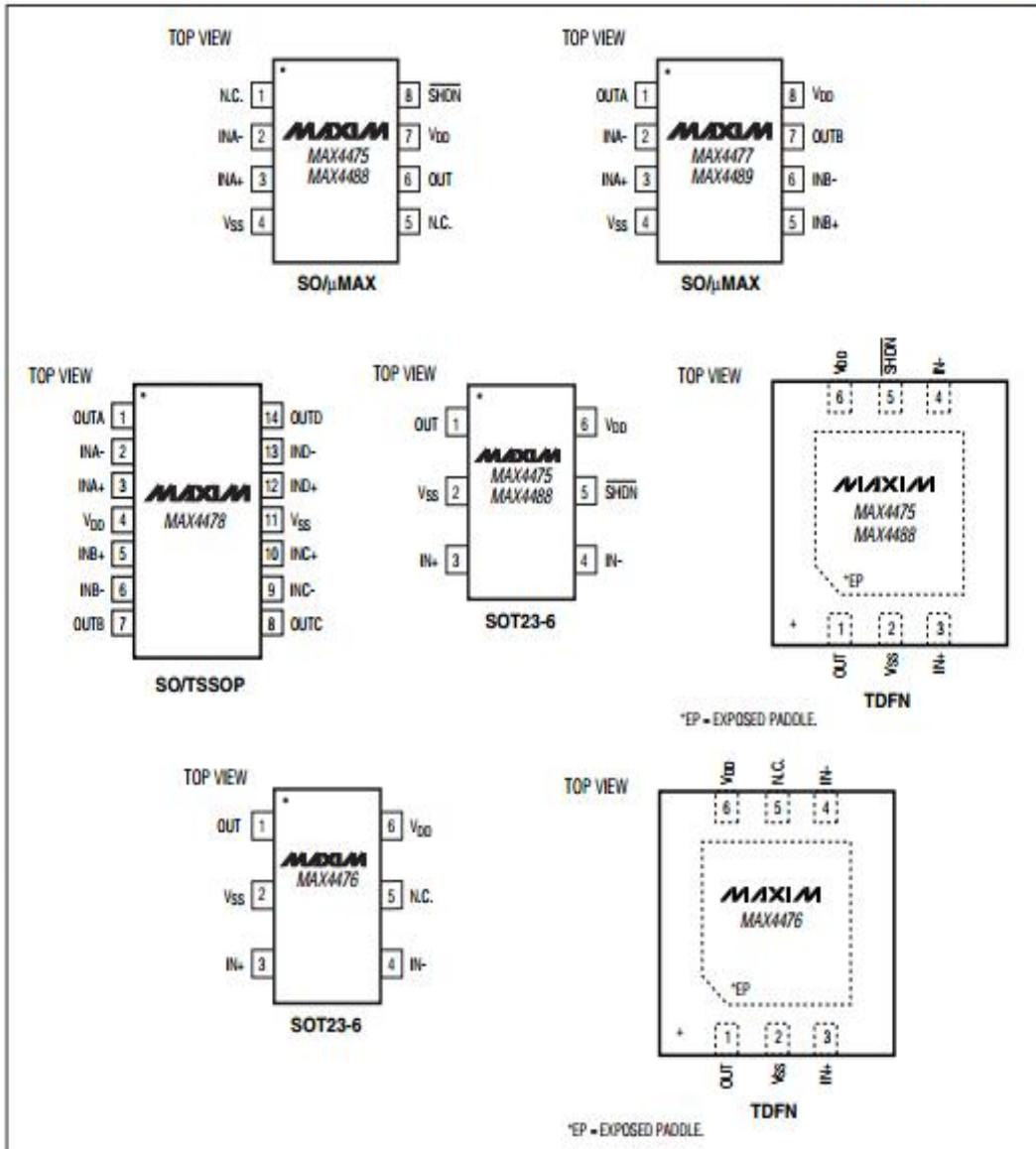
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Gain-Bandwidth Product	GBWP	MAX4475-MAX4478 $A_V = +1V/V$		10		MHz
		MAX4488/MAX4489 $A_V = +5V/V$		42		
Slew Rate	SR	MAX4475-MAX4478 $A_V = +1V/V$		3		V/ $\mu s$
		MAX4488/MAX4489 $A_V = +5V/V$		10		
Full-Power Bandwidth (Note 5)		MAX4475-MAX4478 $A_V = +1V/V$		0.4		MHz
		MAX4488/MAX4489 $A_V = +5V/V$		1.25		
Peak-to-Peak Input Noise Voltage	$e_{n(p-p)}$	$f = 0.1Hz$ to $10Hz$		260		nV $_{p-p}$
Input Voltage-Noise Density	$e_n$	$f = 10Hz$		21		nV/ $\sqrt{Hz}$
		$f = 1kHz$		4.5		
		$f = 30kHz$		3.5		
Input Current-Noise Density	$i_n$	$f = 1kHz$		0.5		fA/ $\sqrt{Hz}$
Total Harmonic Distortion Plus Noise (Note 6)	THD + N	$V_{OUT} = 2V_{p-p}$ , $A_V = +1V/V$ (MAX4475-MAX4478), $R_L = 10k\Omega$ to GND	$f = 1kHz$	0.0002		%
			$f = 20kHz$	0.0007		
		$V_{OUT} = 2V_{p-p}$ , $A_V = +1V/V$ (MAX4475-MAX4478), $R_L = 1k\Omega$ to GND	$f = 1kHz$	0.0002		
			$f = 20kHz$	0.001		
		$V_{OUT} = 2V_{p-p}$ , $A_V = +5V/V$ (MAX4488/MAX4489), $R_L = 10k\Omega$ to GND	$f = 1kHz$	0.0004		
			$f = 20kHz$	0.0006		

**MAX4475-MAX4478/MAX4488/MAX4489**

**MAX4475-MAX4478-MAX4488/MAX4489**

## SOT23, Low-Noise, Low-Distortion, Wide-Band, Rail-to-Rail Op Amps

### Pin Configurations

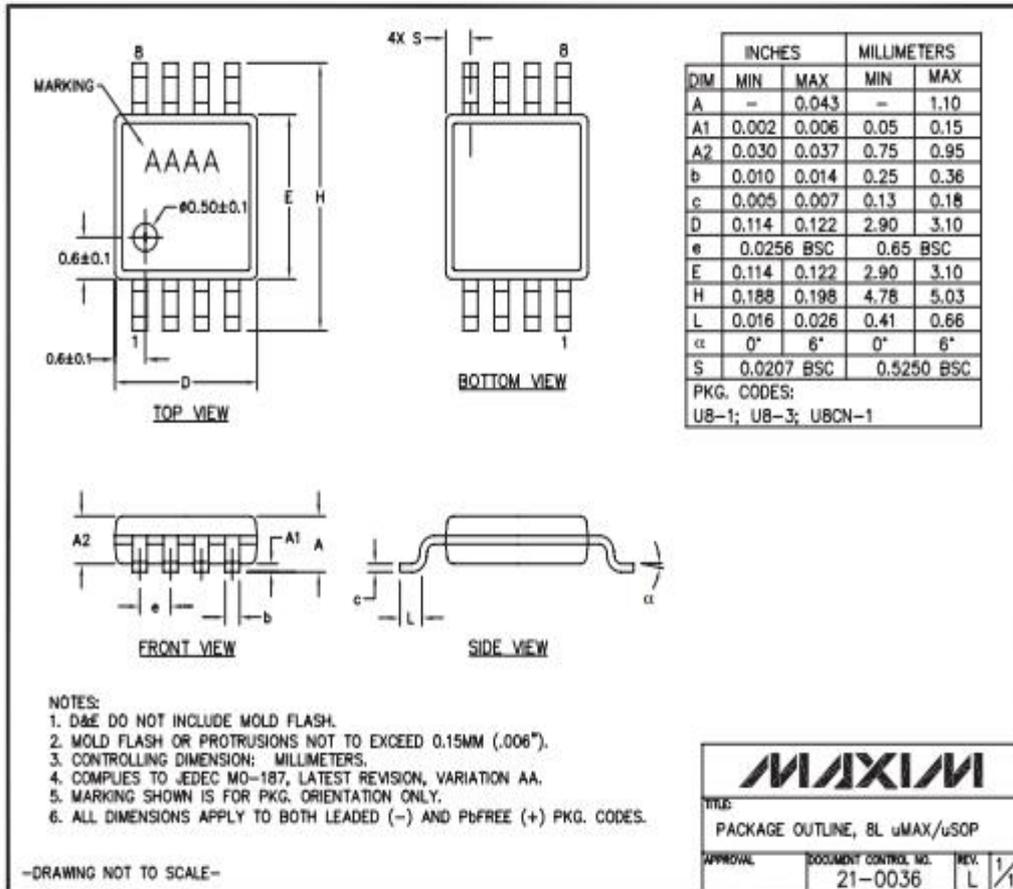


**MAX4475-MAX4478/MAX4488/MAX4489**

## SOT23, Low-Noise, Low-Distortion, Wide-Band, Rail-to-Rail Op Amps

### Package Information (continued)

For the latest package outline information and land patterns, go to [www.maxim-ic.com/packages](http://www.maxim-ic.com/packages). Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.



### C.3 Fan4860.



**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

November 2010



## FAN4860

### 3MHz, Synchronous TinyBoost™ Regulator

#### Features

- Operates with Very Small External Components: 1µH Inductor and 0402 Case Size Input and Output Capacitors
- Input Voltage Range from 2.3V to 4.5V
- Fixed 3.3V or 5.0V Output Voltage Options
- Maximum Load Current >200mA at V<sub>IN</sub>=2.3V
- Maximum Load Current 300mA at V<sub>IN</sub>=3.3V, V<sub>OUT</sub>=5V
- Maximum Load Current 300mA at V<sub>IN</sub>=2.7V, V<sub>OUT</sub>=3.3V
- Up to 92% Efficient
- Low Operating Quiescent Current
- True Load Disconnect During Shutdown
- Variable On-time Pulse Frequency Modulation (PFM) with Light-Load Power-Saving Mode
- Internal Synchronous Rectifier (No External Diode Needed)
- Thermal Shutdown and Overload Protection
- 6-Pin 2 x 2mm UMLP
- 6-Bump WLCSP, 0.4mm Pitch

#### Applications

- USB "On the Go" 5V Supply
- 5V Supply – HDMI, H-Bridge Motor Drivers
- Powering 3.3V Core Rails
- PDAs, Portable Media Players
- Cell Phones, Smart Phones, Portable Instruments

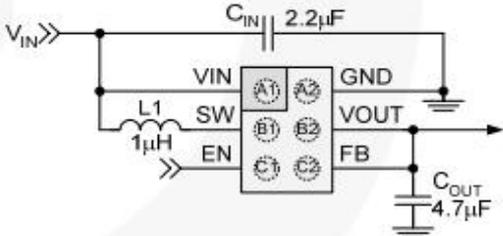
#### Description

The FAN4860 is a low-power boost regulator designed to provide a regulated 3.3V or 5V output from a single cell Lithium or Li-Ion battery. Output voltage options are fixed at either 3.3V or 5.0V with a guaranteed maximum load current of 200mA at V<sub>IN</sub>=2.3V and 300mA at V<sub>IN</sub>=3.3V. Input current in shut-down mode is less than 1µA, which maximizes battery life.

Light-load PFM operation is automatic and "glitch-free". The regulator maintains output regulation at no-load with as low as 37µA quiescent current.

The combination of built-in power transistors, synchronous rectification, and low supply current make the FAN4860 ideal for battery powered applications.

The FAN4860 is available in 6-bump 0.4mm pitch Wafer-Level Chip Scale Package (WLCSP) and a 6-lead 2x2mm ultra-thin MLP package.



**Figure 1. Typical Application**

#### Ordering Information

Part Number	Operating Temperature Range	Package	Packing Method
FAN4860UC5X	-40°C to 85°C	WLCSP, 0.4mm Pitch	Tape and Reel
FAN4860UMP5X	-40°C to 85°C	UMLP-6, 2 x 2mm	Tape and Reel
FAN4860UC33X	-40°C to 85°C	WLCSP, 0.4mm Pitch	Tape and Reel

Please refer to tape and reel specifications at <http://www.fairchildsemi.com/packaging>.

© 2010 Fairchild Semiconductor Corporation
www.fairchildsemi.com

FAN4860 — 3MHz, Synchronous TinyBoost™ Regulator

**Block Diagrams**

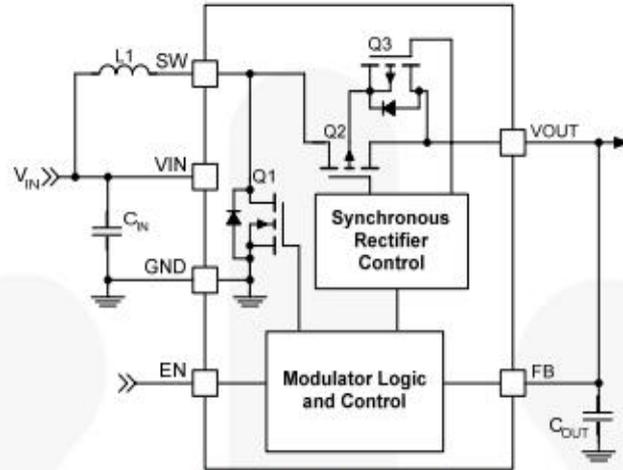


Figure 2. IC Block Diagram

**Pin Configuration**



Figure 3. WLCSP (Top View)

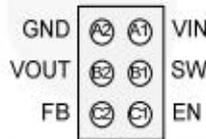


Figure 4. WLCSP (Bottom View)

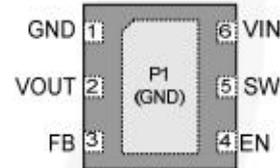


Figure 5. 2X2mm UMLP (Top View)

**Pin Definitions**

Pin #		Name	Description
WLCSP	UMLP		
A1	6	VIN	<b>Input Voltage.</b> Connect to Li-Ion battery input power source and input capacitor ( $C_{IN}$ ).
B1	5	SW	<b>Switching Node.</b> Connect to inductor.
C1	4	EN	<b>Enable.</b> When this pin is HIGH, the circuit is enabled. This pin should not be left floating.
C2	3	FB	<b>Feedback.</b> Output voltage sense point for $V_{OUT}$ . Connect to output capacitor ( $C_{OUT}$ ).
B2	2	VOUT	<b>Output Voltage.</b> This pin is both the output voltage terminal as well as an IC bias supply.
A2	1, P1	GND	<b>Ground.</b> Power and signal ground reference for the IC. All voltages are measured with respect to this pin.

### Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only.

Symbol	Parameter		Min.	Max.	Units
V <sub>IN</sub>	VIN Pin		-0.3	5.5	V
V <sub>OUT</sub>	VOUT Pin		-2	6	V
V <sub>FB</sub>	FB Pin		-2	14	V
V <sub>SW</sub>	SW Node	DC	-0.3	5.5	V
		Transient: 10ns, 3MHz	-1.0	6.5	
V <sub>EN</sub>	EN Pin		-0.3	5.5	V
ESD	Electrostatic Discharge Protection Level	Human Body Model per JESD22-A114	2		kV
		Charged Device Model per JESD22-C101	1		
T <sub>J</sub>	Junction Temperature		-40	+150	°C
T <sub>STG</sub>	Storage Temperature		-65	+150	°C
T <sub>L</sub>	Lead Soldering Temperature, 10 Seconds			+260	°C

### Recommended Operating Conditions

The Recommended Operating Conditions table defines the conditions for actual device operation. Recommended operating conditions are specified to ensure optimal performance to the datasheet specifications. Fairchild does not recommend exceeding them or designing to absolute maximum ratings.

Symbol	Parameter		Min.	Max.	Units
V <sub>IN</sub>	Supply Voltage	5.0 V <sub>OUT</sub>	2.3	4.5	V
		3.3 V <sub>OUT</sub>	2.5	3.2	V
I <sub>OUT</sub>	Output Current			200	mA
T <sub>A</sub>	Ambient Temperature		-40	+85	°C
T <sub>J</sub>	Junction Temperature		-40	+125	°C

### Thermal Properties

Junction-to-ambient thermal resistance is a function of application and board layout. This data is measured with four-layer 2s2p boards in accordance to JEDEC standard JESD51. Special attention must be paid not to exceed junction temperature T<sub>J(max)</sub> at a given ambient temperature T<sub>A</sub>.

Symbol	Parameter		Typical	Units
θ <sub>JA</sub>	Junction-to-Ambient Thermal Resistance	WLCSP	130	°C/W
		UMLP	57	°C/W

### Electrical Specifications

Minimum and maximum values are at  $V_{IN}=V_{EN}=2.3V$  to  $4.5V$  ( $2.5$  to  $3.2 V_{IN}$  for  $3.3 V_{OUT}$  option),  $T_A=-40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$ ; circuit of Figure 1, unless otherwise noted. Typical values are at  $T_A=25^{\circ}C$ ,  $V_{IN}=V_{EN}=3.6V$  for  $V_{OUT}=5V$ , and  $V_{IN}=V_{EN}=2.7V$  for  $V_{OUT}=3.3V$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
$I_{IN}$	$V_{IN}$ Input Current	5.0 $V_{OUT}$	Quiescent: $V_{IN}=3.6V$ , $I_{OUT}=0$ , $EN=V_{IN}$		37	45	$\mu A$
			Shutdown: $EN=0$ , $V_{IN}=3.6V$		0.5	1.5	
		3.3 $V_{OUT}$	Quiescent: $V_{IN}=2.7V$ , $I_{OUT}=0$ , $EN=V_{IN}$		50	65	
			Shutdown: $EN=0$ , $V_{IN}=2.7V$		0.5	1.5	
$I_{LK\_OUT}$	$V_{OUT}$ Leakage Current	$V_{OUT}=0$ , $EN=0$ , $V_{IN}\geq 3V$		10		nA	
$I_{LK\_RVS}$	$V_{OUT}$ to $V_{IN}$ Reverse Leakage	$V_{OUT}=5V$ , $V_{IN}=3.6V$ , $EN=0$			2.5	$\mu A$	
		$V_{OUT}=3.3V$ , $V_{IN}=3V$ , $EN=0$					
$V_{UVLO}$	Under-Voltage Lockout	$V_{IN}$ Rising		2.2	2.3	V	
$V_{UVLO\_HYS}$	Under-Voltage Lockout Hysteresis			190		mV	
$V_{ENH}$	Enable HIGH Voltage		1.05			V	
$V_{ENL}$	Enable LOW Voltage				0.4	V	
$I_{LK\_EN}$	Enable Input Leakage Current			0.01	1	$\mu A$	
$V_{OUT}$	5.0 $V_{OUT}$ Output Voltage Accuracy <sup>(1)</sup>	$V_{IN}$ from 2.3V to 4.5V, $I_{OUT}\leq 200mA$	4.80	5.05	5.15	V	
		$V_{IN}$ from 2.7V to 4.5V, $I_{OUT}\leq 200mA$	4.85	5.05	5.15		
		$V_{IN}$ from 3.3V to 4.5V, $I_{OUT}\leq 300mA$	4.85	5.05	5.15		
	3.3 $V_{OUT}$ Output Voltage Accuracy <sup>(1)</sup>	$V_{IN}$ from 2.5V to 3.2V, $I_{OUT}\leq 200mA$	3.17	3.33	3.41		
$V_{REF}$	Reference Accuracy	Referred to $V_{OUT}=5V$	4.975	5.050	5.125	V	
		Referred to $V_{OUT}=3.3V$	3.280	3.330	3.380		
$t_{OFF}$	Off Time	$V_{IN}=3.6V$ , $V_{OUT}=5V$ , $I_{OUT}=200mA$	195	240	265	ns	
		$V_{IN}=2.7V$ , $V_{OUT}=3.3V$ , $I_{OUT}=200mA$	240	290	350		
$I_{OUT}$	Maximum Output Current <sup>(2)</sup>	5.0 $V_{OUT}$	$V_{IN}=2.3V$	200		mA	
			$V_{IN}=3.3V$	300			
			$V_{IN}=3.6V$		400		
		3.3 $V_{OUT}$	$V_{IN}=2.5V$	250			
			$V_{IN}=2.7V$	300			
$I_{SW}$	SW Peak Current Limit	5.0 $V_{OUT}$	$V_{IN}=3.6V$ , $V_{OUT}>V_{IN}$	930	1100	1320	mA
		3.3 $V_{OUT}$	$V_{IN}=2.7V$ , $V_{OUT}>V_{IN}$	650	800	950	
$I_{SS}$	Soft-Start Input Peak Current Limit <sup>(2)</sup>	5.0 $V_{OUT}$	$V_{IN}=3.6V$ , $V_{OUT}<V_{IN}$		850		mA
		3.3 $V_{OUT}$	$V_{IN}=2.7V$ , $V_{OUT}<V_{IN}$		700		
$t_{SS}$	Soft-Start Time <sup>(3)</sup>	5.0 $V_{OUT}$	$V_{IN}=3.6V$ , $I_{OUT}=200mA$		100	300	$\mu s$
		3.3 $V_{OUT}$	$V_{IN}=2.7V$ , $I_{OUT}=200mA$		250	750	
$R_{DS(ON)}$	N-Channel Boost Switch	$V_{IN}=3.6V$		300		m $\Omega$	
	P-Channel Sync Rectifier	$V_{IN}=3.6V$		400			
$T_{TSD}$	Thermal Shutdown	$I_{LOAD}=10mA$		150		$^{\circ}C$	
$T_{TSD\_HYS}$	Thermal Shutdown Hysteresis			30		$^{\circ}C$	

#### Notes:

- $I_{LOAD}$  from 0 to  $I_{OUT}$ ; also includes load transient response.  $V_{OUT}$  measured from mid-point of output voltage ripple. Effective capacitance of  $C_{OUT} > 1.5\mu F$ .
- Guaranteed by design and characterization; not tested in production.
- Elapsed time from rising  $EN$  until regulated  $V_{OUT}$ .

## Application Information

### External Component Selection

Table 2 shows the recommended external components for the FAN4860:

**Table 2. External Components**

REF	Description	Manufacturer
L1	1.0μH, 0.8A, 190mΩ, 0805	Murata LQM21PN1R0MCO, or equivalent
C <sub>IN</sub>	2.2μF, 6.3V, X5R, 0402	Murata GRM155R60J225M TDK C1005X5R0J225M
C <sub>OUT</sub>	4.7μF, 10V, X5R, 0603 <sup>(4)</sup>	Kemet C0603C475K8PAC TDK C1608X5R1A475K

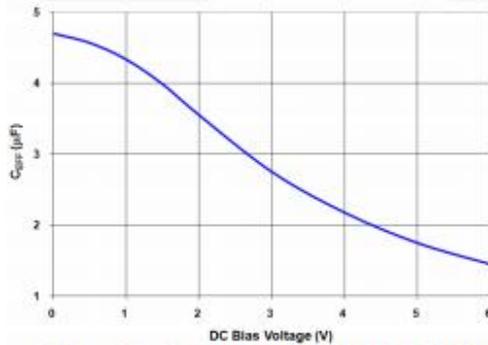
#### Note:

- A 6.3V-rated 0603 capacitor may be used for C<sub>OUT</sub>, such as Murata GRM188R60J225M. All datasheet parameters are valid with the 6.3V-rated capacitor. Due to DC bias effects, the 10V capacitor offers a performance enhancement; particularly output ripple and transient response, without any size increase.

### Output Capacitance (C<sub>OUT</sub>)

#### Stability

The effective capacitance (C<sub>EFF</sub>) of small, high-value, ceramic capacitors decrease as their bias voltage increases, as shown in Figure 40.



**Figure 40. C<sub>EFF</sub> for 4.7μF, 0603, X5R, 6.3V (Murata GRM188R60J475K)**

FAN4860 is guaranteed for stable operation with the minimum value of C<sub>EFF</sub> (C<sub>EFF(MIN)</sub>) outlined in Table 3.

**Table 3. Minimum C<sub>EFF</sub> Required for Stability**

Operating Conditions		C <sub>EFF(MIN)</sub> (μF)
V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>LOAD</sub> (mA)	
2.3 to 4.5	0 to 200	1.5
2.7 to 4.5	0 to 200	1.0
2.3 to 4.5	0 to 150	1.0

C<sub>EFF</sub> varies with manufacturer, dielectric material, case size, and temperature. Some manufacturers may be able to provide an X5R capacitor in 0402 case size that retains C<sub>EFF</sub> >1.5μF with 5V bias; others may not. If this C<sub>EFF</sub> cannot be economically obtained and 0402 case size is required, the IC can work with the 0402 capacitor as long as the minimum V<sub>IN</sub> is restricted to >2.7V.

For best performance, a 10V-rated 0603 output capacitor is recommended (Kemet C0603C475K8PAC, or equivalent). Since it retains greater C<sub>EFF</sub> under bias and over temperature, output ripple can be reduced and transient capability enhanced.

#### Output Voltage Ripple

Output voltage ripple is inversely proportional to C<sub>OUT</sub>. During t<sub>ON</sub>, when the boost switch is on, all load current is supplied by C<sub>OUT</sub>.

$$V_{\text{RIPPLE(P-P)}} = t_{\text{ON}} \cdot \frac{I_{\text{LOAD}}}{C_{\text{OUT}}} \quad (2)$$

and

$$t_{\text{ON}} = t_{\text{SW}} \cdot D = t_{\text{SW}} \cdot \left(1 - \frac{V_{\text{IN}}}{V_{\text{OUT}}}\right) \quad (3)$$

Therefore:

$$V_{\text{RIPPLE(P-P)}} = t_{\text{SW}} \cdot \left(1 - \frac{V_{\text{IN}}}{V_{\text{OUT}}}\right) \cdot \frac{I_{\text{LOAD}}}{C_{\text{OUT}}} \quad (4)$$

where:

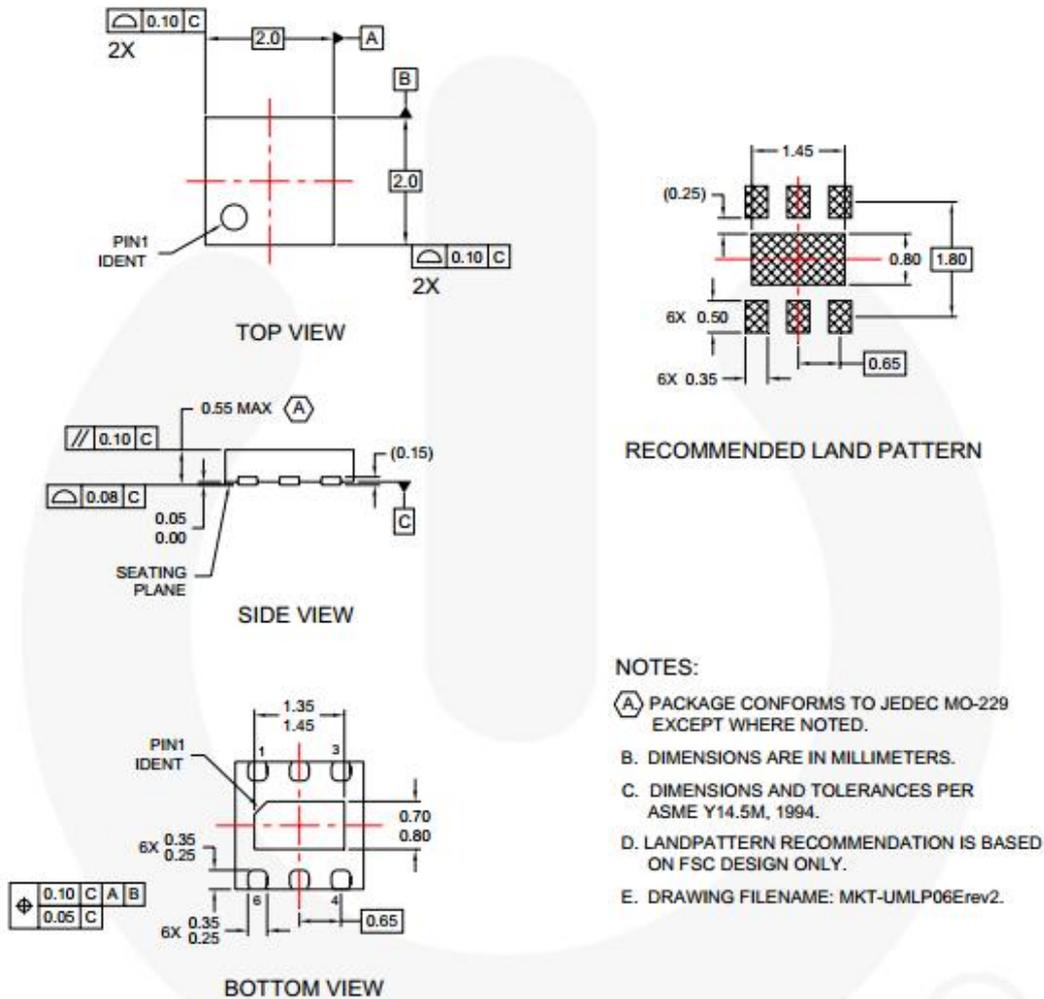
$$t_{\text{SW}} = \frac{1}{f_{\text{SW}}} \quad (5)$$

As can be seen from Equation 4, the maximum V<sub>RI</sub>PPLE occurs when V<sub>IN</sub> is minimum and I<sub>LOAD</sub> is maximum.

#### Startup

Input current limiting is in effect during soft-start, which limits the current available to charge C<sub>OUT</sub>. If the output fails to achieve regulation within the time period described in the soft-start section above; a FAULT occurs, causing the circuit to shut down, then restart after a significant time period. If C<sub>OUT</sub> is a very high value, the circuit may not start on the first attempt, but eventually achieves regulation if no load is present. If a high-current load and high capacitance are both present during soft-start, the circuit may fail to achieve

**Physical Dimensions**



**Figure 45. 6-Lead UMLP Package**

Package drawings are provided as a service to customers considering Fairchild components. Drawings may change in any manner without notice. Please note the revision and/or date on the drawing and contact a Fairchild Semiconductor representative to verify or obtain the most recent revision. Package specifications do not expand the terms of Fairchild's worldwide terms and conditions, specifically the warranty therein, which covers Fairchild products.

Always visit Fairchild Semiconductor's online packaging area for the most recent package drawings:  
<http://www.fairchildsemi.com/packaging/>

## C.4 TPS 62172.



TPS62170, TPS62171, TPS62172, TPS62173

SLVSAT8D – NOVEMBER 2011 – REVISED DECEMBER 2015

### TPS6217x 3-V to 17-V, 0.5-A Step-Down Converters with DCS-Control™

#### 1 Features

- DCS-Control™ Topology
- Input Voltage Range from 3 V to 17 V
- Up to 500-mA Output Current
- Adjustable Output Voltage from 0.9 V to 6 V
- Fixed Output Voltage Versions
- Seamless Power Save Mode Transition
- Typically 17- $\mu$ A Quiescent Current
- Power Good Output
- 100% Duty Cycle Mode
- Short Circuit Protection
- Over Temperature Protection
- Pin to Pin Compatible with [TPS62160](#) and [TPS62125](#)
- Available in a 2-mm  $\times$  2-mm 8-Pin WSON Package

#### 2 Applications

- Standard 12-V Rail Supplies
- POL Supply from Single or Multiple Li-Ion Battery
- LDO Replacement
- Embedded Systems
- Digital Still Camera, Video
- Mobile PCs, Tablet-PCs, Modems

#### 3 Description

The TPS6217x device family are easy to use synchronous step-down DC-DC converters optimized for applications with high power density. A high switching frequency of typically 2.25 MHz allows the use of small inductors and provides fast transient response as well as high output voltage accuracy by utilization of the DCS-Control™ topology.

With its wide operating input voltage range of 3 V to 17 V, the devices are ideally suited for systems powered from either a Li-Ion or other battery as well as from 12-V intermediate power rails. It supports up to 0.5-A continuous output current at output voltages between 0.9 V and 6 V (with 100% duty cycle mode).

Power sequencing is also possible by configuring the enable and open-drain power good pins.

In power save mode, the devices show quiescent current of about 17  $\mu$ A from VIN. Power save mode, entered automatically and seamlessly if the load is small, maintains high efficiency over the entire load range. In shutdown mode, the device is turned off and shutdown current consumption is less than 2  $\mu$ A.

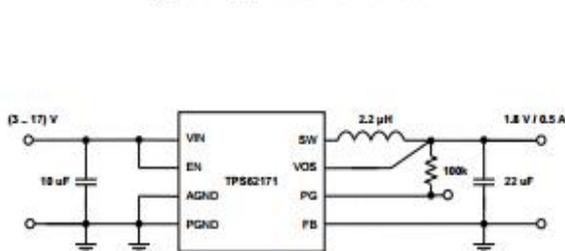
The TPS6217x devices operate over a free air temperature range of  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ . They are available in adjustable and fixed output voltage versions. The devices are packaged in a 2-mm  $\times$  2-mm 8-pin WSON package (DSG).

#### Device Information<sup>(1)</sup>

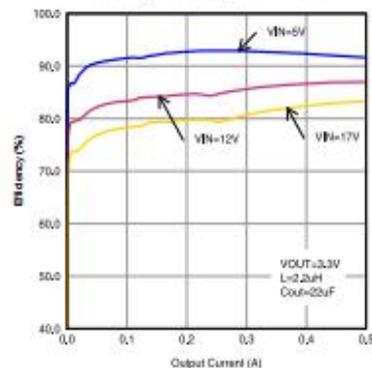
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
TPS6217x	WSON (8)	2.00 mm $\times$ 2.00 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Typical Application Schematic



Efficiency vs Output Current




**TPS62170, TPS62171, TPS62172, TPS62173**
[www.ti.com](http://www.ti.com)

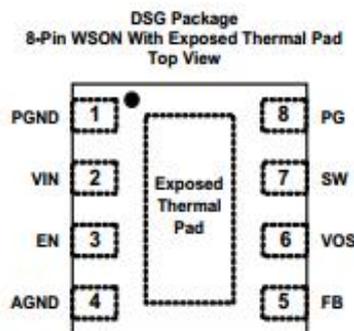
SLVSAT8D – NOVEMBER 2011 – REVISED DECEMBER 2015

## 5 Voltage Options

OUTPUT VOLTAGE	PART NUMBER <sup>(1)</sup>	PACKAGE
adjustable	TPS62170	WSON (8)
1.8 V	TPS62171	
3.3 V	TPS62172	
5.0 V	TPS62173	

(1) Contact the factory to check availability of other fixed output voltage versions.

## 6 Pin Configuration and Functions



### Pin Functions

PIN <sup>(1)</sup>		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
PGND	1	—	Power ground
VIN	2	IN	Supply voltage
EN	3	IN	Enable input (High = enabled, Low = disabled)
AGND	4	—	Analog ground
FB	5	IN	Voltage feedback of adjustable version. Connect resistive voltage divider to this pin. It is recommended to connect FB to AGND on fixed output voltage versions for improved thermal performance.
VOS	6	IN	Output voltage sense pin and connection for the control loop circuitry.
SW	7	OUT	Switch node, which is connected to the internal MOSFET switches. Connect inductor between SW and output capacitor.
PG	8	OUT	Output power good (High = VOUT ready, Low = VOUT below nominal regulation); open drain (requires pull-up resistor; goes high impedance, when device is switched off)
Exposed Thermal Pad		—	Must be connected to AGND. Must be soldered to achieve appropriate power dissipation and mechanical reliability.

(1) For more information about connecting pins, see [Detailed Description](#) and [Application Information](#) sections.



## THERMAL PAD MECHANICAL DATA

DSG (S-PWSON-N8)

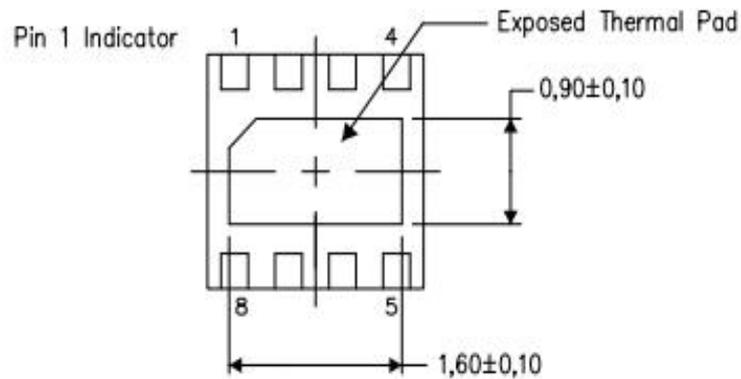
PLASTIC SMALL OUTLINE NO-LEAD

## THERMAL INFORMATION

This package incorporates an exposed thermal pad that is designed to be attached directly to an external heatsink. The thermal pad must be soldered directly to the printed circuit board (PCB). After soldering, the PCB can be used as a heatsink. In addition, through the use of thermal vias, the thermal pad can be attached directly to the appropriate copper plane shown in the electrical schematic for the device, or alternatively, can be attached to a special heatsink structure designed into the PCB. This design optimizes the heat transfer from the integrated circuit (IC).

For information on the Quad Flatpack No-Lead (QFN) package and its advantages, refer to Application Report, QFN/SON PCB Attachment, Texas Instruments Literature No. [SLUA271](#). This document is available at [www.ti.com](http://www.ti.com).

The exposed thermal pad dimensions for this package are shown in the following illustration.



Bottom View

Exposed Thermal Pad Dimensions

4208347/1 06/15

NOTE: All linear dimensions are in millimeters

# REFERENCIAS

---

- [1] M. J. S. Gómez, «smart-lighting,» 16 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://smart-lighting.es/iot-2020-business-report-analisis-schneider-electric-futuro-las-empresas/>.
- [2] «Gas Natural Fenosa,» [En línea]. Available: <http://www.gasnaturalfenosa.es/es/conocenos/eficiencia+y+bienestar/1297117802057/la+importancia+de+la+eficiencia.html>.
- [3] D. Evans, «Cisco,» Abril 2011. [En línea]. Available: [http://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf).
- [4] P. Maroto, «pacomaroto.wordpress,» 2014. [En línea]. Available: <https://pacomaroto.wordpress.com/about/introduccion-a-la-internet-de-las-cosas/>.
- [5] L. R. LLC, «An introduction to the Internet of Things,» 2013.
- [6] RS, «rs-online,» [En línea]. Available: <http://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=i/iot-internet-of-things>.
- [7] I. Romdhani, «Architecting the Internet of Things: State of the Art,» Julio 2015. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/274718805\\_Architecting\\_the\\_Internet\\_of\\_Things\\_State\\_of\\_the\\_Art](https://www.researchgate.net/publication/274718805_Architecting_the_Internet_of_Things_State_of_the_Art).
- [8] M. Roberti, «The History of RFID Technology,» *RFIDJOURNAL*, 2005.
- [9] D. o. B. Studies, «Near Field Communication: Technology and Market Trends,» *MPDI*, 2014.
- [10] «NFC Forum, March 2009. <http://www.nfc-forum.org>».
- [11] D. V. J. S. Sosa, «MIDDLEWARE: Arquitectura para Aplicaciones Distribuidas,» 2014.
- [12] «electricimp,» 2016. [En línea]. Available: <https://electricimp.com/businesssolutions/>.
- [13] E. Inc., «www.arm.com,» 100. [En línea]. Available: [http://www.arm.com/files/word/Yiu\\_Ch2.pdf](http://www.arm.com/files/word/Yiu_Ch2.pdf).
- [14] «electricimp,» 2016. [En línea]. Available: <https://electricimp.com/platform/>.
- [15] e. imp, «specification,» 12 08 2014. [En línea]. Available: [https://electricimp.com/docs/attachments/hardware/datasheets/lmp001\\_specification.pdf](https://electricimp.com/docs/attachments/hardware/datasheets/lmp001_specification.pdf).

- [16] e. imp, «specification,» 16 07 2015. [En línea]. Available: [https://electricimp.com/docs/attachments/hardware/datasheets/Imp002\\_specification.pdf](https://electricimp.com/docs/attachments/hardware/datasheets/Imp002_specification.pdf).
- [17] «electricimp,» 23 06 2015. [En línea]. Available: <https://electricimp.com/docs/hardware/blinkuptuning/>.
- [18] A. Eléctrica, «nuevatribuna,» 22 Agosto 15. [En línea].
- [19] E. Y. T. MINISTERIO DE INDUSTRIA, «Guía técnica de aplicación: Instalaciones de interiores,» Julio 2012.
- [20] E. P. Vivas, «ehowespanol,» [En línea]. Available: [http://www.ehowenespanol.com/potencia-salida-estandar-usb-hechos\\_310842/](http://www.ehowenespanol.com/potencia-salida-estandar-usb-hechos_310842/).
- [21] «Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_de\\_ion\\_de\\_litio](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_ion_de_litio).
- [22] «sparkfun,» 2015. [En línea]. Available: [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Wireless/WiFi/Electric\\_Imp\\_Imp002\\_Breakout.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Wireless/WiFi/Electric_Imp_Imp002_Breakout.pdf).
- [23] M. Á. M. Montaner, «<http://miguelangelmoreno.jimdo.com>,» [En línea]. Available: <http://miguelangelmoreno.jimdo.com/inicio/simulaciones-y-preguntas-de-electr%C3%B3nica/para-qu%C3%A9-sirven-los-condensadores-de-desacoplo/>.
- [24] I. Romdhani, «Architecting the Internet of Things: State of theArt,» 2015.

# GLOSARIO

---

- SIGLAS

3G: third Generation

AC: Alternating Current.

ADC: Analog-to-Digital Converter.

API: Application Programming Interface.

BJT: Bipolar Junction Transistor.

CE: Conformidad Europea.

DAC: Digital-to-Analog Converter.

DC: Direct Current.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute.

FCC: Federal Communications Commission.

GPIO: General Purpose Input/Output.

GPRS: General Packet Radio Service.

GSM: Global System for Mobile communications.

HTML: HyperText Markup Language.

HTTP: HyperText Transfer Protocol.

I2C: Inter-Integrated Circuit.

IDE: Integrated Development Environment.

IOT: Internet of Things.

ISO: International Organization for Standardization.

JSON: JavaScript Object Notation.

LED: Light-Emitting Diode.

MTBF: Mean time between failures.

MOSFET: Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor

NFC: Near Field Communication.

PCB: Printed Circuit Board.

PWM: Pulse-Width Modulation.

REST: REpresentational State Transfer.

RFID: Radio Frequency IDentification.

SMD: Surface Mount Device

SOAP: Simple Object Access Protocol.

SPI: Serial Peripheral Interface.

TFG: Trabajo Fin de Grado.

THD: Through Hole Device.

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

USB: Universal Serial Bus.

VAC: Volts Alternating Current

VRMS: Voltios Root Mean Square:

XML: eXtensible Markup Language

- Abreviaturas

$\mu$ A: micro Amperio.

$\mu$ F: micro Faradio.

$\mu$ H: micro Henrio.

A: Amperio.

dB: Decibelio.

dBi: Decibels relative to Isotropic.

dBm: Decibelio-milivatio.

E/S: Entrada salida.

Fps: Frames Per Second.

GND: Ground.

Hz: Hercio.

I: Intensidad

Kbits: kilo bits

kW: kilo Watio

k $\Omega$ : kilo Ohmio.

mA: mili Amperio.

Mbps: Mega Bits Per Second.

Mhz: mega Hercio.

mm: milímetros.

mV: mili Voltio.

P: Potencia

pF: pico Faradio

Secs: Segundos.

Seg: Segundos.

TX: Transmission

V: Voltio.

$\Omega$ : Ohmio.