

# **DOCUMENTO NÚMERO 1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

 <p>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR SEVILLA</p>	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>8</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 9 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1 – OBJETO .....</b>	<b>15</b>
1.1 – Introducción y justificación .....	15
1.2 – Descripción del proyecto.....	16
1.3 – Objetivos específicos .....	17
<b>CAPÍTULO 2 – ALCANCE.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 3 – ANTECEDENTES.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 4 – NORMATIVA Y REFERENCIAS .....</b>	<b>21</b>
4.1 – Disposiciones legales y normas aplicadas.....	21
4.1.1 – Ámbito europeo .....	21
4.1.2 – Ámbito nacional.....	22
4.1.3 – Normas.....	22
4.2 – Programas informáticos .....	24
4.3 – Referencias.....	25
<b>CAPÍTULO 5 – DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO 6 – PLANIFICACIÓN DE TRABAJO.....</b>	<b>33</b>
6.1 – Plan de acción .....	33
6.2 – Diagrama de Gantt.....	35
<b>CAPÍTULO 7 – ESTUDIO DEL ESTADO DE LA TÉCNICA.....</b>	<b>37</b>
7.1 – Métodos de comunicación inalámbrica .....	37
7.1.1 – Wifi .....	37
7.1.2 – Wi-Max.....	39
7.1.3 – Bluetooth .....	39
7.1.4 – ZigBee.....	40
7.1.5 – Dash7.....	40

7.1.6 – LoRaWAN .....	41
7.1.7 – Conclusiones y elección del método .....	41
7.2 – Microcontroladores .....	43
7.2.1 – Arduino MKR WAN 1300.....	43
7.2.2 – LoPy + Placa de expansión.....	44
7.2.3 – Conclusiones y elección del microcontrolador .....	45
7.3 – Métodos de comunicación entre sonómetro y microcontrolador .....	46
7.3.1 – Bus I2C .....	46
7.3.2 – Bus SPI .....	47
7.3.3 – Conclusiones y elección del método de comunicación entre sonómetro y microcontrolador.....	47
7.4 – Fuentes de alimentación.....	48
7.4.1 – Fuentes lineales .....	48
7.4.2 – Fuentes conmutadas.....	49
7.4.3 – Conclusiones y elección del tipo de fuente de alimentación .....	49
7.5 – Curvas de ponderación.....	50
<b>CAPÍTULO 8 – REQUISITOS DE DISEÑO .....</b>	<b>52</b>
8.1 – Requisitos del equipo.....	52
8.1.1 – Características físicas del equipo.....	52
8.1.2 – Alimentación del equipo .....	52
8.1.3 – Coste del equipo .....	52
8.2 – Requisitos del sonómetro .....	53
8.2.1 – Componentes .....	53
8.2.2 – Placa de circuito impreso .....	53
8.3 – Requisitos de la comunicación entre microcontroladores .....	53
8.4 – Requisitos de la interfaz gráfica.....	53

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 11 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

<b>CAPÍTULO 9 – ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....</b>	<b>54</b>
9.1 – Elección de los componentes .....	54
9.1.1 – Micrófono .....	54
9.1.2 – Operacional.....	55
9.1.3 – Convertidor RMS-DC .....	56
9.1.4 – Convertidor analógico-digital.....	57
9.1.5 – Interruptor analógico .....	58
9.1.6 – Convertidor Buck.....	59
9.1.7 – Bomba de carga.....	60
9.1.8 – Placa solar .....	60
9.1.9 – Cargador de batería .....	61
9.1.10 – Batería.....	61
9.2 – Descripción del equipo.....	62
9.2.1 – Descripción de la fuente de alimentación autónoma.....	62
9.2.2 – Descripción del sonómetro .....	63
9.2.2.1 – Etapa de generación de tensiones de alimentación .....	64
9.2.2.1.1 – Subetapa reductora de tensión .....	64
9.2.2.1.2 – Subetapa inversora de tensión.....	65
9.2.2.1.3 – Subetapa de alimentación del micrófono .....	66
9.2.2.2 – Etapa adaptadora del micrófono.....	67
9.2.2.3 – Etapa preamplificadora.....	68
9.2.2.4 – Etapa del filtro de ponderación A.....	69
9.2.2.5 – Etapa de autorango .....	70
9.2.2.5.1 – Subetapa detectora del nivel de la señal .....	71
9.2.2.5.2 – Subetapa del comparador con histéresis .....	72

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 12 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

9.2.2.5.3 – Subetapa de ganancia .....	74
9.2.2.6 – Etapa de conversión RMS-DC .....	75
9.2.2.7 – Etapa de conversión analógico-digital .....	76
9.2.2.8 – Diseño de la placa de circuito integrado .....	77
9.2.3 – Microcontroladores .....	78
9.2.4 – Ordenador .....	78
9.3 – Códigos de programación .....	79
9.3.1 – Código de la LoPy emisora .....	79
9.3.2 – Código de la LoPy receptora .....	84
9.3.3 – Código de matlab .....	86
<b>CAPÍTULO 10 – ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO .....</b>	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO 11 – PRUEBAS REALIZADAS.....</b>	<b>90</b>
<b>CAPÍTULO 12 – CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS .....</b>	<b>102</b>
12.1 – Conclusiones .....	102
12.2 – Futuras mejoras .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Gantt del proyecto .....	36
Figura 2. Curvas de ponderación A, C y Z .....	51
Figura 3. Subetapa reductora de tensión tras modificaciones.....	65
Figura 4. Subetapa inversora de tensión tras modificaciones .....	66
Figura 5. Subetapa de alimentación del micrófono tras modificaciones .....	67
Figura 6. Etapa adaptadora del micrófono .....	67
Figura 7. Etapa preamplificadora tras modificaciones .....	69
Figura 8. Etapa del filtro de ponderación A .....	70
Figura 9. Subetapa detectora del nivel de la señal tras modificaciones .....	72
Figura 10. Subetapa del comparador con histéresis tras modificaciones.....	74
Figura 11. Subetapa de ganancia tras modificaciones.....	75
Figura 12. Etapa de conversión RMS-DC tras modificaciones.....	76
Figura 13. Etapa de conversión analógico-digital tras modificaciones .....	77
Figura 14. Interfaz gráfica .....	79
Figura 15. Importación de las librerías del código de la LoPy emisora .....	80
Figura 16. Inicialización de las comunicaciones del código de la LoPy emisora .....	80
Figura 17. Creación de las variables globales del código de la LoPy emisora .....	81
Figura 18. Definición de la función complemento a dos del código de la LoPy emisora .....	81
Figura 19. Parte 1 de la definición de la función comunicación SPI del código de la LoPy emisora.....	82
Figura 20. Parte 2 de la definición de la función comunicación SPI del código de la LoPy emisora.....	82

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 14 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Figura 21. Parte 1 de la creación del temporizador del código de la LoPy emisora .....	83
Figura 22. Parte 2 de la creación del temporizador del código de la LoPy emisora .....	83
Figura 23. Cuerpo principal del código de la LoPy emisora .....	84
Figura 24. Importación de las librerías del código de la LoPy receptora .....	84
Figura 25. Inicialización de las comunicaciones del código de la LoPy emisora .....	85
Figura 26. Cuerpo principal del código de la LoPy emisora .....	85
Figura 27. Función inicial del código de matlab.....	86
Figura 28. Parte 1 de la función principal del código de matlab .....	87
Figura 29. Parte 2 de la función principal del código de Matlab .....	87
Figura 30. Función de cierre del código de matlab.....	88
Figura 31. Tensión de salida de la subetapa reductora de tensión .....	91
Figura 32. Tensión de salida de la subetapa inversora de tensión.....	91
Figura 33. Tensión de salida de la subetapa de alimentación del micrófono ...	92
Figura 34. Relación entre la tensión de entrada y salida de la etapa adaptadora del micrófono.....	93
Figura 35. Relación entre la tensión de entrada y salida de la etapa del filtro de ponderación A .....	94
Figura 36. Relación entre la tensión de entrada y salida de la etapa de autorrango .....	95
Figura 37. Tensión de salida de la etapa del conversor RMS-DC.....	96

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Distribución temporal de las tareas del proyecto .....	35
---	----

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 15 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## CAPÍTULO 1 – OBJETO

---

### 1.1 – Introducción y justificación

La contaminación acústica es un tipo de contaminación ambiental causada por un exceso de ruido que puede alterar la calidad de vida de las personas de la zona. Este ruido tiene como principal fuente el tráfico de automóviles, pero también hay otras muchas causas como las industrias, los locales de ocio, las obras públicas, etc.

El más conocido problema que causa una exposición continuada a esta contaminación es la pérdida de audición, pero también puede llegar a causar graves trastornos psicológicos y fisiológicos, además de reducir el rendimiento de todas las tareas que se desempeñen en el día a día [33].

Según un informe de la Organización Mundial de la Salud, se establecen los 70 decibelios como el límite superior de lo deseable, siendo establecido el nivel de confort acústico en 55 decibelios [19]. Esto significa que cualquier sonido que supere los 55 decibelios resultaría perjudicial para el descanso y la comunicación.

Este tipo de contaminación ha estado creciendo enormemente cada año [31], lo cual provoca que en Europa haya, según estudios de la Agencia Europea de Medio Ambiente de 2007 a 2012, 100 millones de europeos expuestos diariamente a niveles de ruido superiores al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud. Adicionalmente, este estudio revela que el ruido provoca molestias en 31,7 millones de europeos adultos y trastornos del sueño en más de 13 millones, además de 72 000 hospitalizaciones y 16.600 muertes prematuras al año.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 16 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Con todo esto, queda demostrado que la contaminación acústica es un grave problema que hay que erradicar o minimizar en lo posible, y de esa necesidad surgió este proyecto.

## 1.2 – Descripción del proyecto

El objetivo de este proyecto es la medida del nivel de presión sonora de las diferentes zonas de una ciudad, de manera que se pueda averiguar qué zonas son problemáticas y realizar medidas correctoras y protectoras sobre ellas, aumentando de esta manera la calidad de vida de las personas.

Para ello, se va a realizar un circuito sonómetro que acondicione la señal capturada por un micrófono, que será el que capte el ruido ambiental, y lo transmita a un microcontrolador. Este microcontrolador, al que llamaremos a partir de ahora emisor, se encargará de pedir la medida de ruido al circuito cuando corresponda, de procesarla y de mandarla de manera inalámbrica a otro microcontrolador, al que llamaremos a partir de ahora receptor.

El receptor se encargará de recibir la información transmitida por el emisor, de procesarla y de mandarla a un ordenador para su posterior representación gráfica.

Ya que el sonómetro debe realizar las medidas de ruido ambiental en la calle, donde puede no haber conexionado eléctrico, se utilizará un sistema de alimentación autónomo.

Aunque el proyecto está diseñado para que haya sonómetros y emisores distribuidos por diferentes puntos de la ciudad y un único receptor que centralice toda la información, para la realización del prototipo se ha realizado un único equipo de toma de datos y transmisión y un equipo de recepción y representación.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 17 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

### 1.3 – Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la realización de este proyecto son los siguientes:

- Diseñar un circuito que acondicione la señal proporcionada por un micrófono, calcule su valor RMS y lo transmita a un microcontrolador
- Realizar dicho circuito en una placa de circuito impreso
- Realizar el montaje de los componentes en la placa de circuito impreso
- Comprobar el correcto funcionamiento del circuito mediante pruebas y diseñar soluciones a los problemas encontrados dichas pruebas
- Dimensionar un sistema de alimentación autónomo que provea de energía al circuito
- Elegir los microcontroladores
- Realizar la programación de los microcontroladores
- Comunicar los dos microcontroladores de una manera inalámbrica
- Representar la información obtenida mediante una interfaz gráfica en un ordenador

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 18 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## **CAPÍTULO 2 – ALCANCE**

---

Este proyecto alcanza hasta la realización de un prototipo inicial de laboratorio, por lo que no contiene el diseño y desarrollo de un prototipo pre-industrial ni uno comerciable.

Se realizarán las siguientes tareas para la consecución del proyecto:

- Diseño básico del equipo
- Estudio del estado de la técnica
- Elección de los componentes del sonómetro
- Diseño del sonómetro
- Diseño de las placas de circuito impreso
- Fabricación de las placas de circuito impreso y montaje de los componentes
- Testeo del funcionamiento de cada etapa del circuito
- Diseño y montaje de las modificaciones necesarias para cada etapa del circuito
- Testeo del funcionamiento global del circuito
- Realización del software de cada microcontrolador
- Realización del software del programa que permitirá representar gráficamente la información
- Comprobación del funcionamiento global del equipo

Estas tareas aparecen descritas en el capítulo 6 de esta memoria.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 19 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## CAPÍTULO 3 – ANTECEDENTES

---

No se ha prestado atención al nivel de ruido ambiental hasta hace relativamente poco, cuando la OMS estableció el término de contaminación acústica.

A partir de ese momento se comenzó a investigar cuáles eran las principales causas del ruido, como se podían minimizar los efectos de dicho ruido y cuáles eran los problemas físicos y psíquicos generados por estar sometido a un alto nivel de ruido ambiental durante un tiempo prolongado.

En la actualidad aún no se conocen con certeza cuales son los efectos del exceso de ruido sobre la salud humana, y por ello se siguen investigando, pero ya hay en el mercado varias alternativas para analizar la contaminación acústica en las ciudades.

Un ejemplo es la alternativa propuesta por Urbiotica:

*“Urbiotica ofrece un sistema de monitorización del ruido que mide los niveles de ruido en la ciudad de manera autónoma y continua, las 24 horas del día durante los 7 días de la semana. A partir de la medición realizada por los sensores, se proporciona información en tiempo real y se generan alertas cuando se superan los límites acústicos establecidos.*

*La información generada por el sistema es accesible tanto por el gestor como por el ciudadano a través de las herramientas web U-Admin Control Center y VisorAcustic.” [23]*

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>20</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Otro ejemplo es la alternativa propuesta por Audiotec:

*“Audiotec ha desarrollado una plataforma diseñada y desarrollada para facilitar el control integral y la vigilancia de ruidos. Permite a la administración pública y a particulares conocer de manera sencilla e intuitiva el nivel de ruido existente en tiempo real en una determinada ubicación exterior o interior, verificar la correcta instalación y funcionamiento de los equipos y actuar rápidamente sobre un posible problema una vez sea detectado.*

*Los datos recibidos de cada equipo son alojados en un servidor de alta seguridad y con mantenimiento las 24 horas del día, pudiendo descargarse en diferentes formatos y en cualquier lugar con tan solo disponer de una conexión a Internet. Un sistema de alertas totalmente configurable avisa por diferentes medios de los posibles problemas existentes.” [26]*

La solución proporcionada en este proyecto para el análisis de la contaminación acústica será una versión básica de las opciones que hay actualmente en el mercado.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 21 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## **CAPÍTULO 4 – NORMATIVA Y REFERENCIAS**

---

### **4.1 – Disposiciones legales y normas aplicadas**

#### **4.1.1 – Ámbito europeo**

- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2011, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2012 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
- Directiva 2014/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética. Aplicación 20 de abril de 2016.
- Directiva 2014/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>22</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- Directiva 2014/53/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos radioeléctricos, y por la que se deroga la Directiva 1999/5/CE.

#### **4.1.2 – Ámbito nacional**

- Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto 219/2013, de 22 de marzo, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Real Decreto 123/2017, de 24 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico.

#### **4.1.3 – Normas**

- UNE-EN 61000-3-2:2014 - Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada  $\leq 16$  A por fase).

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>23</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- UNE-EN 50419:2006 - Marcado de equipos eléctricos y electrónicos de acuerdo con el artículo 11(2) de la Directiva 2002/96/EC, sobre residuos de equipos eléctricos y electrónicos.
- UNE-EN 55032:2013 - Compatibilidad electromagnética de equipos multimedia. Requisitos de emisión.
- UNE-EN 61672-1:2014 - Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.
- UNE-EN 61672-2:2014 - Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo.
- UNE-EN 60950-22:2017 - Equipos de tecnología de la información. Seguridad. Parte 22: Equipos para instalación en exteriores.
- UNE-EN 55024:2011 - Equipos de tecnología de la información. Características de inmunidad. Límites y métodos de medida.
- UNE 157001:2014 - Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- UNE 50132:1994 - Documentación. Numeración de las divisiones y subdivisiones en los documentos escritos.
- UNE 1027:1995 - Dibujos Técnicos. Plegado de planos.
- UNE 1032:1982 - Dibujos Técnicos. Principios generales de representación.
- UNE-EN ISO 7200:2004 - Documentación técnica de productos. Campos de datos en bloques de títulos y en cabeceras de documentos.
- UNE-EN ISO 3098 - Documentación Técnica de Productos. Escritura.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>24</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- UNE-EN ISO 5455:1996 - Dibujos Técnicos. Escalas.
- UNE-EN ISO 5457:2000 - Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.
- UNE-EN ISO 6433:2012 - Documentación técnica de producto. Referencias de partes.
- UNE-ISO 690:2013 - Información y documentación. Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.

#### **4.2 – Programas informáticos**

- Atom:  
Utilizado para programar las LoPy emisora y receptora.
- Matlab:  
Utilizado para programar la interfaz gráfica donde se representará la información en el ordenador.
- DesignSpark:  
Utilizado para diseñar el esquemático y la placa de circuito integrado del sonómetro.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>25</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

### 4.3 – Referencias

- [1] ANGUERA, Silvia. ¿Qué son las ponderaciones de frecuencia A, C y Z? *Cirrus research S.L.* [En línea] 10 de Septiembre de 2012. [Consultado 16 Octubre 2017]. Disponible en: <https://www.cirrusresearch.es/blog/2012/09/que-son-las-ponderaciones-de-frecuencia-a-c-y-z/>.
- [2] Arduino. Arduino MKR WAN 1300 (LoRa connectivity). *Arduino.* [En línea]. [Consultado 20 Octubre 2017]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/mkr-wan-1300>.
- [3] ARRADI HOMAR, Adel (2016). Plataforma de información de tiempo de espera en un entorno de circulación forzada de vehículos. (Trabajo Fin de Grado Inédito). *Universidad de Sevilla, Sevilla.* [Consultado 20 Marzo 2018].
- [4] AVM FRITZ! Estándares WiFi, todo lo que debes saber. *Muycomputer.* [En línea] 16 de Febrero de 2018. [Consultado 26 Octubre 2017]. Disponible en: <https://www.muycomputer.com/2018/02/16/estandares-wifi-lo-debes-saber/>.
- [5] Cesar. Fuentes Lineales vs Fuentes Conmutadas. *Ayuda electrónica.* [En línea] 11 de Septiembre de 2009. [Consultado 16 Octubre 2017]. Disponible en: <http://ayudaelectronica.com/fuente-lineal-vs-fuente-conmutada/>.
- [6] Cómo calcular una instalación solar fotovoltaica en 5 pasos. *Click Renovables.* [En línea]. [Consultado 15 Diciembre 2017]. Disponible en: <http://clickrenovables.com/blog/como-calcular-una-instalacion-solar-fotovoltaica-en-5-pasos/>.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>26</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- [7] Dash 7. *IoT One*. [En línea]. [Consultado 27 Octubre 2017]. Disponible en: <https://www.iotone.com/term/dash-7/t147>.
- [8] DASH7 Alliance Protocol intro. *Github*. [En línea]. [Consultado 27 Octubre 2017]. Disponible en: <https://mosaic-lopow.github.io/dash7-ap-open-source-stack/docs/d7ap-intro/>.
- [9] Departamento técnico de SunFields Europe. Cómo dimensionar y calcular paneles solares fotovoltaicos necesarios. *SunFields Europe*. [En línea]. [Consultado 15 Diciembre 2017]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-calculo-paneles-solares-fotovoltaicos/>.
- [10] ESNOZ, Ignacio. Internet de las Cosas de largo alcance (LoRa). *Teldat*. [En línea] 14 de Noviembre de 2017. [Consultado 26 Octubre 2017]. Disponible en: <http://www.teldat.com/blog/es/internet-de-las-cosas-de-largo-alcance-lora/>.
- [11] FELIPE SEXTO, Luis. ¿Cómo elegir un sonómetro? *Facultad de ciencias exactas, ingeniería y agrimensura*. [En línea]. [Consultado 17 Octubre 2017]. Disponible en: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/sonometr.htm>.
- [12] FERNÁNDEZ CABALLERO, Manuel Alejandro (2017). Interfaz de control can-bluetooth para robots Lego-NXT. (Trabajo Fin de Grado Inédito). *Universidad de Sevilla, Sevilla*. [Consultado 24 Abril 2018]. Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/65130>.
- [13] GAO, Yuan. What are the pros and cons of an I2C versus an SPI interface? *Quora*. [En línea] 16 de Febrero de 2014. [Consultado 27 Octubre 2017]. Disponible en: <https://www.quora.com/What-are-the-pros-and-cons-of-an-I%C2%B2C-versus-an-SPI-interface>.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 27 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- [14] GLEN M., Marla y MORENO, Julian. ZIGBEE. *Wiki de Sistemas de transmisión IUE*. [En línea] 23 de Mayo de 2012. [Consultado 28 Octubre 2017]. Disponible en: <https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>.
- [15] GUERRERO BLANCO, Sergio (2016). Prototipo de sistema de localización y alerta en interiores mediante radio. (Trabajo Fin de Grado Inédito). *Universidad de Sevilla, Sevilla*. [Consultado 26 Marzo 2018]. Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/49233>.
- [16] GUTIÉRREZ REINA, Daniel (2011). *Diseño de redes móviles AD HOC en aplicaciones de transporte sobre entornos NS-2. Documento 2: Tecnologías inalámbricas. (Trabajo de Fin de Master Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla*. [Consultado 29 Octubre 2017]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70218/fichero/2.Tecnolog%C3%A4Das+Inal%C3%A1mbricas.pdf>.
- [17] Introduction to I2C and SPI protocols. *Byte paradigm*. [En línea]. [Consultado 27 Octubre 2017]. Disponible en: <https://www.byteparadigm.com/applications/introduction-to-i2c-and-spi-protocols/>.
- [18] J. GUTIÉRREZ, Manuel. Todo sobre ZigBee, la tecnología ultrabarata para comunicación inalámbrica. *El androide libre*. [En línea] 10 de Agosto de 2015. [Consultado 28 Octubre 2017]. Disponible en: <https://elandroidelibre.lespanol.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>.
- [19] Junta de Andalucía, Union Europea, OSMAN. Ruido y salud. Diputación de Barcelona (diba). [En línea]. [Consultado 21 Marzo 2018]. Disponible en: [https://www.diba.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824](https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824)

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>28</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- [20] Microchip Technology Inc. Microchip's Long-Range Low-Power End Node Solution. *Microchip*. [En línea]. [Consultado 26 Octubre 2017]. Disponible en: <http://www.microchip.com/design-centers/wireless-connectivity/embedded-wireless/lora-technology>.
- [21] Ministerio de energía, turismo y agenda digital. Gobierno de España. Acceso inalámbrico: WiMAX. *Minetad.gob*. [En línea]. [Consultado 30 Octubre 2017]. Disponible en: <http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/tecnologias/inalambrico/Paginas/WiMAX.aspx>.
- [22] MIYARA, Federico. Sonómetro libre. *Scribd*. [En línea]. [Consultado 15 Noviembre 2017]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/291028324/Sonometro-Libre-v2>.
- [23] Monitorización del ruido. *Urbiotica*. [En línea]. [Consultado 24 Marzo 2018]. Disponible en: <http://www.urbiotica.com/soluciones-inteligentes-3/monitorizacion-del-ruido/>.
- [24] MUELA GALÁN, Daniel (2017). Construcción de un pulsómetro usando FPGAS. (Trabajo Fin de Grado Inédito). *Universidad de Sevilla, Sevilla*. [Consultado 30 Marzo 2018]. Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/65128>.
- [25] Pycom: go invent. lopy. *Pycom*. [En línea] Marzo de 2018. [Consultado 20 Octubre 2017]. Disponible en: [https://pycom.io/wp-content/uploads/2018/03/Pycom\\_Specsheet\\_LoPy.pdf](https://pycom.io/wp-content/uploads/2018/03/Pycom_Specsheet_LoPy.pdf).

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>29</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- [26] RIESCO GARCÍA, José Ignacio y LORA ESPINEL, Marco. Gestión del ruido ambiental en entornos urbanos mediante estaciones de medición de ruido y sonógrafos registradores. *Esmartcity*. [En línea] 6 de Julio de 2016. [Consultado 23 Marzo 2018]. Disponible en: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/gestion-ruido-ambiental-entornos-urbanos-mediante-estaciones-medicion-ruido-sonografos-registradores>.
- [27] ROMERO HINOJOSA, Francisco (2017). Enchufe controlable con control, medida y comunicacion bluetooth. (Trabajo Fin de Grado Inédito). *Universidad de Sevilla, Sevilla*. [Consultado 21 Marzo 2018]. Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/65132>.
- [28] Sabas. Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 1.- ¿Qué es LoRa y LoRaWAN? *Medium*. [En línea] 25 de Septiembre de 2017. [Consultado 26 Octubre 2017]. Disponible en: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>.
- [29] SANCHO ÁVILA, Juan Manuel y otros. Atlas de radiación solar en España utilizando datos del SAF de clima de EUMETSAT. *Gobierno de España; Agencia estatal de meteorología*. [En línea]. [Consultado 15 Diciembre 2017]. Disponible en: [http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas radiacion solar/atlas de radiacion 24042012.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas%20radiacion%20solar/atlas%20de%20radiacion%2024042012.pdf).
- [30] TABAKOV, Yordan. DASH7 Alliance Protocol . *Dash7 Alliance*. [En línea] 16 de Junio de 2014. [Consultado 27 Octubre 2017]. Disponible en: <http://dash7-alliance.org/wp-content/uploads/2014/08/005-Dash7-Alliance-Mode-technical-presentation.pdf>.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>30</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- [31] Uno de cada cinco europeos está expuesto al ruido del tránsito rodado por encima del umbral de la UE. *Universidad autonoma de Barcelona*. [En línea] 25 de Abril de 2017. [Consultado 21 Marzo 2018]. Disponible en: <http://www.uab.cat/web/sala-de-prensa/detalle-noticia/uno-de-cada-cinco-europeos-esta-expuesto-al-ruido-del-transito-rodado-por-encima-del-umbral-de-la-ue-1345667994339.html?noticiaid=1345724335049>.
- [32] VIALFA, Carlos. Introducción a wifi (802.11 o WiFi). *CCM*. [En línea] 13 de Febrero de 2018. [Consultado 26 Octubre 2017]. Disponible en: <http://es.ccm.net/contents/789-introduccion-a-wifi-802-11-o-wifi>.
- [33] ZAMORANO GONZÁLEZ, Benito y otros. Contaminación por ruido en el centro histórico de Matamoros. Scientific Electronic Library Online (SciELO). *Unidad Académica Multidisciplinaria Matamoros, Universidad Autónoma de Tamaulipas*. [En línea] 1 de Septiembre de 2015. [Consultado 21 Marzo 2018]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-62662015000500003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662015000500003).

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 31 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## CAPÍTULO 5 – DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

---

### Sonómetro:

Es el circuito encargado de adaptar la señal del micrófono, de calcular el valor rms de dicha señal y de enviarla al microcontrolador emisor.

### Microcontrolador emisor:

Es el microcontrolador dedicado a recoger la información de salida del sonómetro, procesarla y mandarla cada cierto tiempo al microcontrolador receptor.

### Microcontrolador receptor:

Es el microcontrolador dedicado a recoger la información transmitida por el microcontrolador emisor y a mandarla al ordenador para que se represente gráficamente.

### Atom:

Es un programa de edición de texto desarrollado por GitHub que permite escribir código en diferentes lenguajes de programación y que posee una enorme cantidad de plugins y una gran capacidad de personalización.

### Matlab:

Es un programa de calculo que posee su propio lenguaje de programación y que permite crear interfaces de usuario y simular circuitos entre otras cosas.

### Micropython:

Es un lenguaje de programación que consiste en optimizar el lenguaje de programación Python para su uso en microcontroladores.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>32</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

PCB:

PCB son las siglas de Printed Circuit Board, lo que traducido al español es Placa de Circuito Impreso.

LoPy:

Es el nombre de un microcontrolador de Pycom go invent de buenas prestaciones y bajo consumo centrado en las comunicaciones inalámbricas con LoRa.

SPL:

SPL son las siglas de Sound Pressure Level, lo que traducido al español es nivel de presión sonora. Esto mide la intensidad sonora que produce una determinada presión sonora.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>33</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## CAPÍTULO 6 – PLANIFICACIÓN DE TRABAJO

---

En este capítulo se comentará brevemente el plan a seguir para realizar el proyecto junto a un diagrama de GANTT.

### 6.1 – Plan de acción

➤ Tarea 1 - Diseño básico del equipo:

Consiste en plantear un esquema básico del interconexión de los diferentes componentes del proyecto y un diseño básico por bloques y etapas del sonómetro.

➤ Tarea 2 - Estudio del estado de la técnica:

Consiste en analizar y evaluar los diferentes métodos que hay para cumplir con los requisitos del proyecto y con las necesidades del circuito, basándose en el esquema general diseñado anteriormente, y elegir el más apropiado. Adicionalmente hay que investigar que microcontrolador se utilizará de entre las opciones que ofrece el mercado.

➤ Tarea 3 - Elección de los componentes del sonómetro:

Consiste en buscar los componentes que se necesitarán para el circuito teniendo en cuenta los requisitos de diseño explicados en el punto 8.2.1 de este documento. Para ello antes se ha realizado un estudio de las características de cada componente para tener mayor criterio a la hora de la elección.

➤ Tarea 4 - Diseño del sonómetro:

Consiste en realizar el diseño del sonómetro en detalle.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>34</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

➤ Tarea 5 - Diseño de las placas de circuito impreso:

Consiste en realizar el diseño de las PCB. Para ello hay que tener en cuenta los requisitos de diseño explicados en el punto 8.2.2 de este documento.

➤ Tarea 6 - Fabricación de las placas de circuito impreso y montaje de los componentes:

Consiste en fabricar la placa PCB y en montar y soldar los componentes electrónicos.

➤ Tarea 7 - Testeo del funcionamiento de cada etapa del circuito:

Consiste en ir aislando las etapas y realizar pruebas individuales a cada una de ellas para comprobar su funcionamiento.

➤ Tarea 8 - Diseño y montaje de las modificaciones necesarias para cada etapa del circuito:

Consiste en rediseñar las etapas para corregir los malos funcionamientos observados durante la tarea 7.

➤ Tarea 9 - Testeo del funcionamiento global del circuito:

Consiste en realizar pruebas del circuito incluyendo todas las etapas para asegurar el correcto funcionamiento del conjunto.

➤ Tarea 10 - Realización del software de cada microcontrolador:

Consiste en realizar el código de ambos microcontroladores y testear su correcto funcionamiento.

- Tarea 11 - Realización del software del programa que permitirá representar gráficamente la información:

Consiste en realiza el código del programa de representación de la información. El programa que se va a utilizar es Matlab, ya que permite la captación de información del puerto serie y es relativamente sencilla su programación.

- Tarea 12 - Comprobación del funcionamiento global del equipo:

Consiste en dejar funcionando el equipo durante varias horas para comprobar el correcto funcionamiento continuado del equipo completo.

- Tarea 13 - Realización de la documentación:

Consiste en realizar la documentación del proyecto.

## 6.2 – Diagrama de Gantt

La tabla de adjudicación de tiempos a cada tarea es la mostrada a continuación en la tabla 1:

Numero de tarea	Fecha de inicio	Fecha final	Duración (días)
Tarea 1	02/10/2017	16/10/2017	14
Tarea 2	16/10/2017	31/10/2017	15
Tarea 3	31/10/2017	15/11/2017	15
Tarea 4	15/11/2017	18/12/2017	33
Tarea 5	18/12/2017	29/12/2017	11
Tarea 6	29/12/2017	06/01/2018	8
Tarea 7	06/01/2018	21/01/2018	15
Tarea 8	06/01/2018	21/01/2018	15
Tarea 9	21/01/2018	27/01/2018	6
Tarea 10	27/01/2018	04/03/2018	36
Tarea 11	04/03/2018	12/03/2018	8
Tarea 12	12/03/2018	19/03/2018	7
Tarea 13	19/03/2018	29/04/2018	41

*Tabla 1. Distribución temporal de las tareas del proyecto*

En base a la anterior tabla, el diagrama de Gantt del proyecto es el mostrado a continuación en la figura 1:

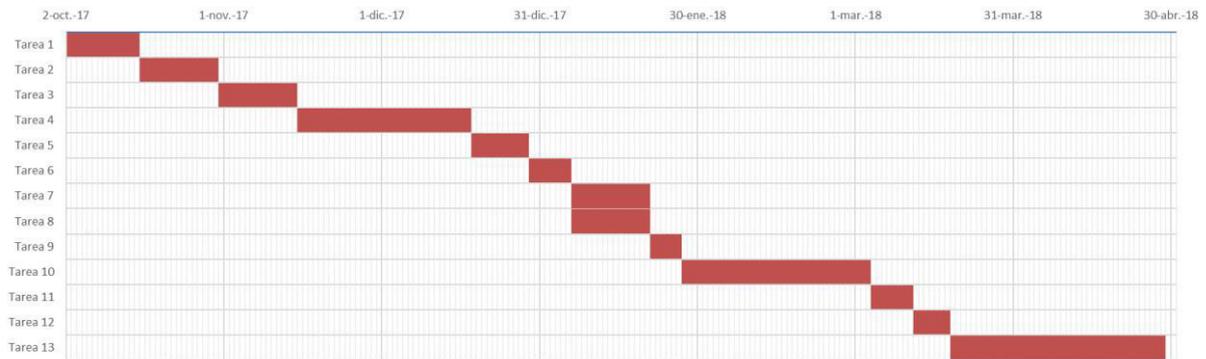


Figura 1. Diagrama de Gantt del proyecto

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 37 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

# CAPÍTULO 7 – ESTUDIO DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

---

## 7.1 – Métodos de comunicación inalámbrica

Para este proyecto se necesita implementar una comunicación inalámbrica, por lo que se analizaron las siguientes alternativas:

### 7.1.1 – Wifi

La palabra Wifi es el nombre de la certificación otorgada por Wi-Fi Alliance que garantiza la compatibilidad entre dispositivos que utilizan el estándar IEEE 802.11 [4] [16] [32]. Este estándar internacional define las características de una red de área local inalámbrica y establece la capa física y la del enlace de datos del modelo OSI. Adicionalmente tiene la ventaja de que permite encriptar la información para proporcionar seguridad a la transmisión, pero tiene un gran consumo.

Como se ha indicado, inicialmente la comunicación wifi está basada en el estándar IEEE 802.11, pero posteriormente se crearon muchas variedades de este estándar, siendo algunas de ellas las siguientes:

➤ IEEE 802.11b:

Permite un ancho de banda de hasta 11 Mbps y utiliza la banda de 2,4 GHz. Tiene un rango máximo de 500 metros al aire libre.

Este fue el estándar más utilizado en Europa, aunque esto tuvo el inconveniente de que había problemas de interferencias debido a la saturación de esta banda de frecuencias.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>38</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

➤ IEEE 802.11a:

Permite un ancho de banda de hasta 54 Mbps y utiliza la banda de 5 GHz. Tiene un rango máximo de 70 metros en ambientes cerrados.

Fue bastante utilizada en los Estados Unidos pero su uso estuvo prohibido en Europa. Esto es debido a que en Estados Unidos esta banda de frecuencias está dedicada a la infraestructura de red de información universal (UNII), pero en Europa esta banda de frecuencias estaba dedicada al estándar HyperLAN2.

➤ IEEE 802.11g:

Permite un ancho de banda de hasta 54 Mbps y utiliza la banda de 2,4 GHz. Tiene un rango máximo de 400 metros al aire libre y compatible con el estándar IEEE 802.11b.

Surgió para aumentar la velocidad de transmisión de los dispositivos que utilizaran el estándar IEEE 802.11b, aunque por ello seguía presentando el mismo problema de interferencias que este.

➤ IEEE 802.11n:

Permite un ancho de banda de hasta 600 Mbps y hace un uso simultáneo de las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz. Tiene un rango máximo de 800 metros al aire libre y es compatible con las versiones anteriores del estándar.

Para cuando salió este estándar, ya se podía utilizar en Europa la banda de los 5 GHz. Esto era una ventaja ya que esta banda de frecuencia estaba vacía y, por lo tanto, no había interferencias.

➤ IEEE 802.11ac o Wifi 5G:

Es el último estándar implementado y permite un ancho de banda de hasta 1733 Mbps y utiliza la banda de 5 GHz.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>39</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

### 7.1.2 – Wi-Max

Es un estándar parecido al Wifi, pero pensado para definir las características de una red de área metropolitana [16] [21]. La palabra Wi-Max es el nombre con el que se comercializa el estándar IEEE 802.16 y permite un ancho de banda de hasta 100 Mbps. Se pueden realizar comunicaciones de hasta 50 Km con conexiones fijas y de hasta 15 Km con conexiones móviles. Permite comunicaciones en estrella.

Originalmente utilizaba un rango de frecuencias de 10 GHz a 66 GHz, pero esta versión tenía el inconveniente de que debía de existir visión directa entre los diferentes nodos. Posteriormente se utilizó un rango de frecuencias de 2 GHz a 11 GHz, para lo cual no se necesitaba tener línea de visión directa y además disponía de un rango que necesitaba licencia y otro que no.

Es necesario utilizar una antena de gran tamaño para realizar la comunicación y tiene un alto consumo.

Hay una versión Wi-Max 2.0, que está basado en el estándar IEE 802.16m, que aumenta el ancho de banda hasta 1 Gbps para conexiones fijas y hasta 365 Mbps para conexiones móviles.

### 7.1.3 – Bluetooth

Es un estándar nacido para simplificar las comunicaciones entre dispositivos informáticos con una solución de bajo coste y bajo consumo [16]. Trabaja en la banda de 2,4 GHz y tiene un ancho de banda de hasta 3 Mbps. Tiene un alcance máximo de 100 metros y está pensado para realizar comunicaciones punto a punto.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>40</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

#### **7.1.4 – ZigBee**

La palabra ZigBee es el nombre con el que se comercia el estándar IEEE 802.15.4 [14] [16] [18]. Este estándar internacional define las capas física y de enlace de datos del modelo OSI y además establece reglas para el resto de capas. Adicionalmente tiene la ventaja de que permite encriptar la información para proporcionar seguridad a la transmisión.

Con este estándar se buscaba implementar una red inalámbrica de una manera fácil y robusta. Utiliza la banda de 2,4 GHz y tiene un ancho de banda de hasta 250 Kbps. Adicionalmente permite realizar sistemas de bajo coste y consumo y comunicaciones en estrella. Tiene un alcance nominal de 75 metros, pero puede llegar hasta 500 metros en exteriores.

#### **7.1.5 – Dash7**

La palabra Dash7 es el nombre con el que se comercia el estándar ISO/IEC 18000-7 [7] [8] [30]. Este estándar define todas las capas del modelo OSI.

Trabaja en las bandas de 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz, permite conexiones en estrella, proporciona comunicaciones de gran seguridad, tiene un alcance de hasta 2 Km en exteriores y un ancho de banda de hasta 200 Kbps.

Adicionalmente tiene la ventaja de que permite realizar sistemas de bajo coste y consumo.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 41 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

### 7.1.6 – LoRaWAN

Es un protocolo de red que utiliza LoRa para comunicar equipos [10] [20] [28], siendo LoRa una tecnología inalámbrica desarrollada por Semtech Coporation que posee las siguientes características:

- Permite topología en estrella con hasta un millón de nodos
- Posee un alcance de más de 15 km
- Su utilización en los equipos consume muy poco, lo que permite una vida de la batería de hasta 10 años
- Posee un ancho de banda de hasta 255 Bps
- Puede aplicarse un cifrado AES-128 extremo a extremo a la información para hacer prácticamente imposible interceptarla
- Es inmune a las interferencias
- Utiliza la banda de 915 Mhz en América, la de 868 MHz en Europa y la de 433 MHz en Asia
- Se pueden realizar sistemas de comunicación de bajo coste
- Se puede realizar una geolocalización de los equipos sin necesidad de un GPS
- La antena es de pequeño tamaño

### 7.1.7 – Conclusiones y elección del método

Según lo expuesto anteriormente y teniendo en cuenta que en este proyecto la información a transmitir será pequeña, por lo que el ancho de banda no será un factor que influya, se puede concluir lo siguiente:

- Wifi:  
No es un método de comunicación válido para el proyecto debido a su pequeño alcance y a su gran consumo.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 42 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

➤ Wi-Max:

Este método de comunicación presenta las ventajas de que tiene un gran alcance y que admite la topología en estrella, pero tiene los inconvenientes de que posee un gran consumo, que necesita una gran antena para transmitir la información y que los equipos son caros.

Debido a esto podría llegar a ser un método de comunicación válido para el proyecto si no hay otro que consuma menos y necesite una antena de menor tamaño.

➤ Bluetooth:

No es un método de comunicación válido para el proyecto debido a su pequeño alcance.

➤ ZigBee:

No es un método de comunicación válido para el proyecto debido a su pequeño alcance.

➤ Dash7:

Este método de comunicación presenta las ventajas de que admite la topología en estrella, que la comunicación tiene una buena seguridad y que los equipos son baratos y consumen poco, pero tiene el inconveniente de que el alcance solo llega hasta 2 Km, lo cual es una gran limitación.

Debido a esto podría llegar a ser un método de comunicación válido para el proyecto si no hay otro con buenas características y que tenga un mayor rango.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>43</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

➤ LoRaWAN:

Evaluando las características de este método de comunicación, se llega a la conclusión de que solo posee ventajas para su utilización en este proyecto, por lo que es la que se utilizará.

Como las comunicaciones únicamente transmitirán medidas de presión sonora y de la batería, no hace falta integrar un sistema de cifrado, por lo que se puede hacer una comunicación LoRa más ligera utilizando LoRa-MAC, también conocido como RAW LoRa. Esta comunicación es idéntica a LoRaWAN, pero la información carece de cifrado. El resto de características también son idénticas.

## 7.2 – Microcontroladores

La elección del microcontrolador está condicionada principalmente a que permita el uso de la comunicación RAW LoRa. Se plantean las siguientes alternativas:

### 7.2.1 – Arduino MKR WAN 1300

Las características de este microcontrolador [2] son las siguientes:

- Tiene una gran comunidad activa con multitud de librerías y proyectos disponibles
- Alimentación a 3.3 V o a 5 V
- Dispone de un microcontrolador SAMD21 Cortex M0 más otro de 32 bit ARM MCU de baja potencia
- Posee una memoria flash de 256 KB, 32 KB de SRAM y un reloj de 48 MHz
- Permite 1 comunicación SPI, 1 comunicación I2C y 1 comunicación UART y LoRa

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>44</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- Posee 8 pines digitales, 12 posibles salidas PWM, 7 entradas analógicas con un conversor A/D de 8, 10 o 12 bits y 1 salida analógica con un conversor D/A de 10 bits.
- Potencia de la antena de 2 db
- Se programa en C++

### 7.2.2 – LoPy + Placa de expansión

Consiste en un microcontrolador LoPy [25] con una placa de expansión que permite su conexión al ordenador entre otras cosas. Las características de este conjunto son las siguientes:

- Tiene una comunidad activa
- Alimentación entre 3.3 V y 5 V
- Dispone de un microcontrolador ESP32 de doble núcleo más otro dedicado a wifi y bluetooth y un transceptor de lora SX1272. El microcontrolador ESP32 posee doble hilo y está optimizado para Python.
- Posee aceleración por hardware para las operaciones de coma flotante
- Posee una memoria flash de 4 MB, 512 KB de SRAM, un reloj de 48 MHz y un reloj de tiempo real de 32 KHz
- Permite 2 comunicaciones SPI, 1 comunicación I2C, 1 comunicación I2S, 2 comunicaciones UART, 1 comunicación Wifi 802.11b/g/n de 16 Mbps, 1 comunicación bluetooth, 1 comunicación LoRa
- Posibilita el acceso a tarjetas micro SD
- Tiene un cargador de batería y un generador de 3.3 V con hasta 400 mA
- Posee 24 pines de uso general. Los convertidores A/D y D/A tienen son de 12 bits

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>45</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- Tiene las siguientes certificaciones y medidas de seguridad:
  - SSL/TLS
  - WPA
  - FCC - 2AJMTWIPY2R
  - CE 0700
- Posee los sistemas de encriptación SHA, MD5, DES y AES
- Tiene acceso directo a memoria en todos los periféricos
- Alcance del wifi de hasta 1 Km
- Potencia de la antena LoRa de 14 db con hasta 40 Km de alcance
- Se programa en Micropython
- Está diseñada para tener un consumo muy bajo

### **7.2.3 – Conclusiones y elección del microcontrolador**

Evaluando las características anteriormente expuestas, se concluye que la mejor elección es un microcontrolador LoPy por los siguientes motivos:

- Tiene un mayor rango de comunicación LoRa
- Tiene un consumo mucho menor
- Tiene más versatilidad en el uso de los pines
- Tiene muchas medidas de seguridad y de encriptación
- Permite una gran variedad de comunicaciones y acceso a tarjetas micro SD, lo cual permite una futura ampliación
- Tiene un microcontrolador principal mucho más potente y otros microcontroladores dedicados
- Su programación es en micropython, lo que es una ventaja ya que es un lenguaje de programación dedicado a su utilización en microcontroladores, por lo que está optimizado para ello

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 46 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- Tiene una mayor memoria tanto flash como RAM y además posee un reloj de tiempo real

El único inconveniente es que el conjunto de LoPy más placa de expansión es un poco más caro que el arduino, pero merece la pena por todas las ventajas que ofrece.

### **7.3 – Métodos de comunicación entre sonómetro y microcontrolador**

La transmisión entre el sonómetro y el microcontrolador emisor será digital y transmitirá poca información cada cierto tiempo, por lo que se analizarán los siguientes dos métodos de comunicación [13] [17] que permite la LoPy:

#### **7.3.1 – Bus I2C**

Este bus presenta las siguientes características:

- Es un protocolo de comunicación de multimaestro
- Se necesitan dos hilos para la transmisión
- La selección de esclavo es mediante direcciones de 7 bits
- Es fácil añadir un dispositivo al bus
- Permite transmisiones de hasta 100 Kbps
- Genera una gran carga en el microcontrolador
- Es una comunicación Half-Duplex

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 47 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

### 7.3.2 – Bus SPI

Este bus presenta las siguientes características:

- Es un protocolo de comunicación de maestro único
- Se necesitan 3 hilos más uno adicional por cada esclavo que haya conectado al bus para la transmisión
- La selección de esclavo es mediante la salida de chip select (CS)
- Para añadir un dispositivo al bus hay que tirar un cable de chip select hasta el maestro
- Permite transmisiones de hasta 10 Mbps
- Genera una baja carga en el microcontrolador
- Es una comunicación Full-Duplex

### 7.3.3 – Conclusiones y elección del método de comunicación entre sonómetro y microcontrolador

Evaluando las características anteriormente expuestas, se concluye que la mejor elección es utilizar SPI por los siguientes motivos:

- No supone apenas carga a la LoPy
- Permite mayores velocidades de transmisión
- Posee una comunicación Full-Duplex

Al solo haber un maestro y un esclavo, el cableado adicional no supone un problema ya que se puede prescindir de la señal de chip select, por lo que el montaje solo tendrá 3 cables.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 48 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## 7.4 – Fuentes de alimentación

Se necesitarán varias fuentes de alimentación para adaptar la tensión de la batería a la necesaria por los componentes del sonómetro, por lo que se estudiarán los dos tipos de fuentes de alimentación [5] posibles:

### 7.4.1 – Fuentes lineales

Las ventajas son las siguientes:

- Se puede implementar con un diseño simple
- Genera muy poco ruido a la salida
- Tiene una respuesta dinámica muy rápida
- Para potencias menores de 10 W el coste de los componentes es mucho menor que en las fuentes conmutadas

Los inconvenientes son los siguientes:

- Solo pueden ser reductores de tensión
- Tiene que haber una gran caída de tensión para controlar la polarización de la etapa de potencia lineal y la regulación en la línea
- Los transformadores son de gran tamaño
- Cada fuente solo puede tener una salida
- Tiene una muy baja eficiencia de entre el 30% y el 60%

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>49</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

#### **7.4.2 – Fuentes conmutadas**

Las ventajas son las siguientes:

- Tiene una gran eficiencia de entre el 68% y el 90%
- Puede comportarse como reductor, elevador o inversor de tensión con múltiples salidas
- No necesita de un transformador, por lo que cabe en un integrado de reducido tamaño

Los inconvenientes son los siguientes:

- Requiere un diseño más complejo que la fuente lineal
- Genera mucho ruido a la salida
- Responde de una manera lenta a las variaciones de la tensión de entrada

#### **7.4.3 – Conclusiones y elección del tipo de fuente de alimentación**

Evaluando las características anteriormente expuestas, se concluye que la mejor elección es utilizar una fuente conmutada por los siguientes motivos:

- Tiene un tamaño y peso muy inferior
- Tiene una mayor eficiencia, lo cual es importante ya que se desea que el sistema sea de bajo consumo
- Puede comportarse como un reductor, elevador e inversor de tensión, por lo que es más versátil

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>50</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## 7.5 – Curvas de ponderación

Los filtros de ponderación se utilizan para permitir que el sonómetro capte el ruido ambiental como lo haría una persona. Hay varias curvas de ponderación [1] [11] de la ganancia con respecto a la frecuencia, pero las principales son:

➤ Curva de ponderación A:

Se utilizaba inicialmente para analizar ruidos de baja intensidad. Actualmente es independiente de la intensidad.

➤ Curva de ponderación B:

Se utilizaba inicialmente para analizar ruidos de media intensidad. Actualmente está en desuso.

➤ Curva de ponderación C:

Se utilizaba inicialmente para analizar ruidos de gran intensidad. Actualmente se utiliza para medir picos de ruido.

➤ Curva de ponderación D:

Se utilizaba inicialmente para analizar ruidos enorme intensidad. Actualmente está en desuso.

➤ Curva de ponderación Z:

Se utiliza para proporcionar una respuesta plana en la frecuencia.

Aunque originalmente se diseñaron para ser usadas en función de la intensidad sonora a captar, la norma UNE-EN 61672-1:2014 rediseñó la curva A para ajustarla a todos los niveles de intensidad sonora para que pueda ser utilizada como referencia, por lo que es esta la que se utilizará. Adicionalmente esta norma no implementó las curvas B y D y dio más importancia a la C.

Las curvas de ponderación A, C y Z son la mostradas en la figura 2.

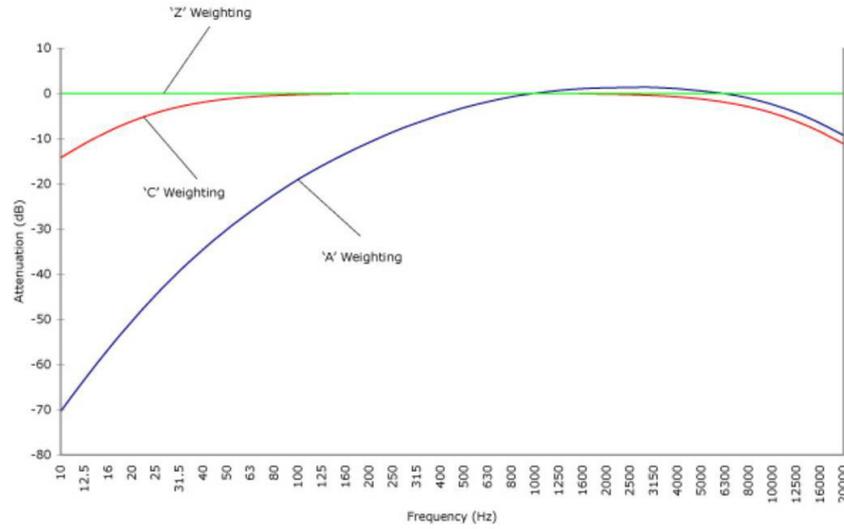


Figura 2. Curvas de ponderación A, C y Z

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>52</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## **CAPÍTULO 8 – REQUISITOS DE DISEÑO**

---

### **8.1 – Requisitos del equipo**

A continuación, se indicarán los requisitos de diseño del conjunto sonómetro y microcontrolador emisor:

#### **8.1.1 – Características físicas del equipo**

El equipo estará instalado en diferentes puntos de la ciudad a media altura, por lo que debe de ser pequeño y liviano para ser sujetado con facilidad al soporte que haya disponible en la zona y que este no tenga problemas en aguantarlo. De manera adicional, al ser pequeño, sufrirá menos los efectos del viento.

#### **8.1.2 – Alimentación del equipo**

Se desea que el equipo comercial tenga una alimentación autónoma, por lo que se utilizará una placa solar como fuente de alimentación y una batería que le proporcione una autonomía de 2 días. En el proyecto del prototipo no hace falta implementar la autonomía, pero si realizar los cálculos pertinentes.

#### **8.1.3 – Coste del equipo**

El coste de los materiales del equipo deberá ser lo menor posible.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>53</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## **8.2 – Requisitos del sonómetro**

A continuación, se indicarán los requisitos de diseño del sonómetro:

### **8.2.1 – Componentes**

Todos los componentes deberán ser de bajo consumo y será preferible que sean through hole.

### **8.2.2 – Placa de circuito impreso**

Como la placa de circuito impreso se realizará manualmente con el método de los ácidos, esta será recomendable que tenga un ancho de pista de 1 milímetro y una separación mínima entre pistas de 1 milímetro. Además, las vías no tendrán recubrimiento interno conductor, por lo que deberá de utilizarse un pin metálico.

## **8.3 – Requisitos de la comunicación entre microcontroladores**

El microcontrolador emisor transmitirá el nivel de presión sonora inalámbricamente al microcontrolador receptor cada segundo. Adicionalmente enviará cada 10 segundos el nivel de su batería.

### **8.4 – Requisitos de la interfaz gráfica**

La interfaz gráfica deberá mostrar numéricamente el nivel de presión sonora de la última medición del micrófono recibida por el microcontrolador receptor, una gráfica en la que se muestren los niveles de presión sonora de las últimas medidas y, por último, deberá mostrar numéricamente el nivel de la batería.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 54 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## CAPÍTULO 9 – ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

---

### 9.1 – Elección de los componentes

A continuación, se indicarán los criterios de elección de los diferentes componentes del sonómetro y cuál es el elegido.

#### 9.1.1 – Micrófono

Para la elección del micrófono se busca lo siguiente:

- Que tenga una respuesta en frecuencia lo más lineal posible
- Que sea omnidireccional, ya que tiene que captar ruido en todas las direcciones.
- Que tenga una gran sensibilidad.
- Que tenga una gran relación señal-ruido (SNR), lo cual permitirá que tenga un gran rango dinámico
- Que tenga un bajo consumo

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, se elige el micrófono KECG2738PBJ-A de RS Pro, cuyas características básicas son las siguientes:

- Micrófono electret
- Omnidireccional
- Sensibilidad de -38 db (1 KHz, 1 Pa)
- Tensión de alimentación de 2 V
- Frecuencia de 20 Hz a 20 KHz

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>55</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- Consumo máximo de 400  $\mu$ A
- SNR de 58 db (1 KHz, 1 Pa, Ponderación A)
- Respuesta en frecuencia prácticamente lineal

### 9.1.2 – Operacional

Para la elección de los operacionales se busca lo siguiente:

- Que tenga un bajo offset
- Que tenga un gran Slew Rate
- Que tenga una gran ganancia por ancho de banda
- Que sea rail to rail
- Que tenga un gran factor de rechazo a la fuente de alimentación (PSRR)
- Que tenga bajo ruido a la entrada
- Que permita una baja tensión de alimentación
- Que tenga un bajo consumo

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, se elige el operacional LMP7704MA-NOPB de Texas Instruments, cuyas características básicas son las siguientes:

- Tensión de offset típica de 56  $\mu$ V
- Corriente de offset típica de 40 fA
- Corriente de polarización típica de 200 fA
- CMRR de 130 db
- PSRR de 98 db
- Ganancia en lazo abierto de 130 db

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>56</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- Rail to rail tanto en entrada como en salida con 30 mV de margen desde el terminal de alimentación positivo y con 20 mV desde el negativo
- Permite alimentación a  $\pm 3.3$  V
- Consumo típico de 2.9 mA
- Slew Rate de 0.9 V/ $\mu$ s
- Ganancia por ancho de banda de 2.5 MHz
- Densidad de ruido en tensión de 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Densidad de ruido en corriente de 1 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$

### 9.1.3 – Convertidor RMS-DC

Para la elección del convertidor RMS-DC se busca lo siguiente:

- Que tenga un buen rango dinámico
- Que sea rail to rail
- Que se pueda alimentar a la tensión de los operacionales
- Que proporcione salida logarítmica
- Que tenga un bajo error
- Que tenga un buen factor de cresta
- Que tenga un bajo consumo
- Que tenga un bajo offset

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, en un principio se pensó en elegir el convertidor AD636 de Analog Devices, ya que posee salida logarítmica, pero finalmente se elige el convertidor AD8436ARQZ de Analog Devices ya que posee un precio bastante menor, un menor consumo y un enorme rango dinámico.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>57</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

El inconveniente de este componente es que no posee salida logarítmica, pero esto no supone un problema ya que se puede realizar mediante código en la LoPy.

Las características del convertidor son las siguientes:

- Rango dinámico de 89 db
- Permite factores de cresta de hasta 10
- Rail to rail tanto en entrada como en salida
- No linealidad de  $\pm 0.2\%$
- Consumo típico de 325  $\mu V$
- Error típico de  $\pm 0.013\%/V$
- Permite alimentación a  $\pm 3.3 V$
- Ancho de banda de 1 MHz
- Tensión de offset máxima de 10  $\mu V$

#### **9.1.4 – Convertidor analógico-digital**

La LoPy posee un convertidor analógico-digital, pero con unas características pésimas, por lo que se decide utilizar un convertidor externo. Para la elección del convertidor analógico-digital se busca lo siguiente:

- Que se pueda alimentar a la tensión de los operacionales
- Que tenga una buena resolución
- Que tenga un bajo consumo

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, se elige el convertidor ADS1118IDGST de Texas Instruments, cuyas características básicas son las siguientes:

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>58</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- Permite alimentación a  $\pm 3.3$  V
- Permite modo de funcionamiento por activación, lo que reduce mucho su consumo
- Consumo típico de 150  $\mu$ A en funcionamiento y 0.5  $\mu$ A en espera
- Data rate programable desde 8 hasta 860 muestras por segundo
- Posee 16 bits de resolución, lo que ofrece un rango dinámico de 96 db
- CMRR de 100 db

Adicionalmente, este convertidor posee un sensor de temperatura que se podría utilizar en futuras mejoras para controlar la temperatura del equipo y una salida SPI que se utilizará para transmitir los resultados de la información a la LoPy.

### 9.1.5 – Interruptor analógico

Para la elección del interruptor analógico se busca lo siguiente:

- Que se pueda alimentar a la tensión de los operacionales
- Que tenga una baja resistencia
- Que tenga una baja corriente de fuga
- Que permita accionarse con una tensión de 3 V
- Que sea rail to rail
- Que tenga un bajo consumo

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, se elige el interruptor analógico ADG602BRMZ de Analog Devices, cuyas características básicas son las siguientes:

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>59</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

- Permite alimentación a  $\pm 3.3$  V
- Rail to rail
- Resistencia típica de  $2 \Omega$
- Corriente de fuga máxima de 1 nA
- Se puede accionar con una tensión mayor o igual a 2.4 V
- Consumo máximo de 1  $\mu$ A

### 9.1.6 – Convertidor Buck

Para la elección del convertidor Buck se busca lo siguiente:

- Que se pueda alimentar a la tensión de la batería
- Que pueda proporcionar 3.3 V
- Que tenga una gran eficiencia
- Que tenga un bajo consumo
- Que pueda proporcionar bastante intensidad por si se necesitase en futuras ampliaciones

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, se elige el convertidor buck TPS62200DBVT de Texas Instruments, cuyas características básicas son las siguientes:

- Eficiencia del 95%
- Proporciona un máximo de 300 mA
- Consumo típico de 15  $\mu$ A
- Corriente de polarización de 10 nA
- Frecuencia de oscilación típica de 1 MHz

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>60</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

### 9.1.7 – Bomba de carga

Para la elección de la bomba de carga se busca lo siguiente:

- Que pueda operar a 3.3 V
- Que tenga una gran eficiencia
- Que tenga un bajo consumo
- Que pueda proporcionar bastante intensidad por si se necesitase en futuras ampliaciones

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, se elige la bomba de carga LM2664M6-NOPB de Texas Instruments, cuyas características básicas son las siguientes:

- Eficiencia del 91%
- Proporciona un máximo de 40 mA
- Consumo típico de 220  $\mu$ A
- Frecuencia de oscilación típica de 160 KHz

### 9.1.8 – Placa solar

Para la elección de la placa solar se busca que, tal y como se ha calculado en el punto 10.3 de la memoria de cálculo, genere una potencia mayor que 2,88 W.

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones/tamaño, se elegiría la placa solar KS-M3W de Kaxidy, pero como para la realización del prototipo no se tendrá en cuenta la autonomía del mismo, se utilizará otra placa solar que hay disponible en el laboratorio, la cual posee características muy similares a la elegida y cumple también con los requisitos de potencia.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>61</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

La placa solar que se utilizará en el equipo tiene las siguientes características:

- Potencia máxima de 3 W
- Tensión máxima de 5,82 V
- Intensidad máxima de 0,52 A
- Dimensiones de 225x155x18

#### **9.1.9 – Cargador de batería**

Para la elección del cargador de batería se busca que su tensión máxima de entrada sea superior a la tensión máxima de la placa solar.

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, se elige el cargador de batería STEVAL-ISA076V1 de STMicroelectronics, cuyas características son las siguientes:

- Tensión de entrada máxima de 12 V
- Tensión de salida de 4,2 V
- Corriente de carga de hasta 1 A

#### **9.1.10 – Batería**

Para la elección de la batería se busca lo siguiente:

- Que su tensión máxima sea inferior a la tensión de salida del cargador de batería
- Que posea una potencia mayor a la calculada en el punto 10.4 de la memoria de cálculo

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>62</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Tras evaluar las alternativas del mercado en base a su relación calidad/precio/prestaciones, se escogería la batería de Ion-Litio de Ansmann con referencia 2447-3005, pero como para la realización del prototipo no se tendrá en cuenta la autonomía del mismo, se utilizará otra batería que hay disponible en el laboratorio. La batería que se utilizará en el equipo tiene las siguientes características:

- Tensión nominal de 3.7 V
- Capacidad nominal de 2600 mAh

## **9.2 – Descripción del equipo**

El equipo consiste en una fuente de alimentación autónoma que proporciona energía al sonómetro y a la LoPy emisora. El sonómetro se comunica con la LoPy emisora mediante una comunicación SPI, la LoPy emisora se comunica mediante LoRa con la LoPy receptora y la LoPy receptora se comunica con el ordenador mediante una comunicación serie.

El interconexionado del montaje se puede observar en los planos 1 y 2, mostrando el primero imágenes de los aparatos físicos y un esquema el segundo.

### **9.2.1 – Descripción de la fuente de alimentación autónoma**

El equipo tiene que ser autónomo, por lo que se utiliza una fuente de energía renovable. Debido a que el equipo se va a localizar en diferentes puntos de la ciudad, la opción más razonable es la alimentación mediante un panel solar fotovoltaico.

Ya que no todos los días del año serán idóneos para que la placa solar sea capaz de abastecer al equipo, se utiliza una batería para proporcionar la autonomía.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>63</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Como se va a utilizar una batería, se hace necesario un cargador de batería que adapte la energía proporcionada por la placa solar a la batería utilizada y que controle la carga de la misma.

### **9.2.2 – Descripción del sonómetro**

Este sonómetro ha sido basado en el realizado por Federico Miyara en su documento titulado “Sonómetro libre”, el cual está liberado al público y se puede observar en la referencia [22].

El sonómetro tiene la alimentación de la batería y el micrófono como entradas y el cableado de la comunicación SPI y una señal llamada VAR como salidas.

Tal y como se puede observar en el plano 3, está conformado por las siguientes etapas:

- Etapa de generación de tensiones de alimentación
- Etapa adaptadora del micrófono
- Etapa preamplificadora
- Etapa del filtro de ponderación A
- Etapa de autorango
- Etapa de conversión RMS-DC
- Etapa de conversión analógica-digital

A continuación, se explica en detalle cada etapa:

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>64</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

### **9.2.2.1 – Etapa de generación de tensiones de alimentación**

El circuito inicial de esta etapa se puede observar en el plano 3.1 y el circuito tras realizar las modificaciones en el plano 3.5.

En esta etapa se realiza la adaptación de la tensión de la batería a las diferentes tensiones que se necesitan en el sonómetro, por lo que hay una subetapa que reduce la tensión hasta +3.3 V, una subetapa que invierte el valor de esos +3.3 V y otra subetapa que reduce la tensión hasta +2 V.

#### **9.2.2.1.1 – Subetapa reductora de tensión**

En esta subetapa se reduce la tensión de +3.7 V proporcionada por la batería hasta +3.3 V, la cual es la alimentación positiva de la mayoría de los componentes del circuito.

Esto se realiza mediante un convertidor buck y los cálculos necesarios para realizar esta subetapa se encuentran en el capítulo 7 de la memoria de cálculo.

El circuito tiene un potenciómetro para permitir una mayor precisión en el ajuste.

Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que hay mucho ruido en la señal de +3.3 V, por lo que se realiza un filtrado adicional en la entrada de la subetapa, para minimizar el ruido externo al sonómetro, y en la salida de la subetapa, para minimizar el ruido de la señal de +3.3 V generada. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 7 de la memoria de cálculo.

El circuito tras implementar las modificaciones es el que se puede observar en la figura 3:

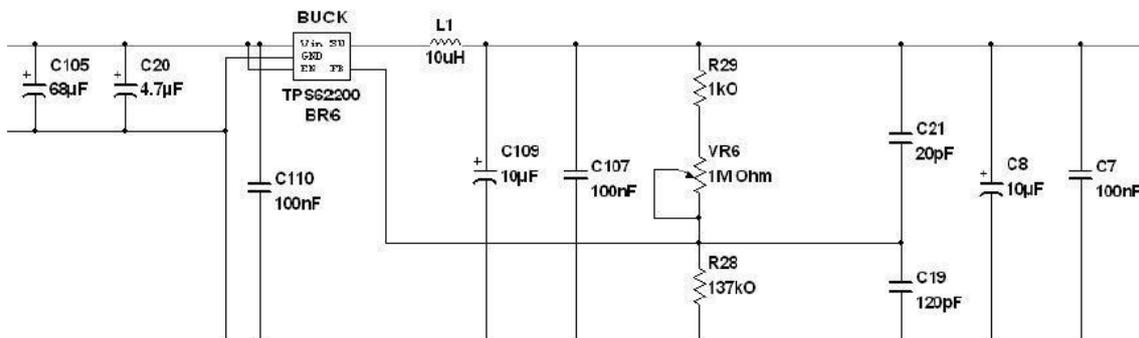


Figura 3. Subetapa reductora de tensión tras modificaciones

#### 9.2.2.1.2 – Subetapa inversora de tensión

En esta subetapa se invierte la tensión de +3.3 V generada en la anterior subetapa para obtener -3.3 V, la cual es la alimentación negativa de la mayoría de los componentes del circuito.

Esto se realiza mediante una bomba de carga y los cálculos necesarios para realizar esta subetapa se encuentran en el capítulo 8 de la memoria de cálculo.

Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que hay mucho ruido en la señal de -3.3 V, por lo que se realiza un filtrado adicional en la entrada de la subetapa, para minimizar el ruido proveniente de la subetapa anterior. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 8 de la memoria de cálculo.

El circuito tras implementar las modificaciones es el que se puede observar en la figura 4:

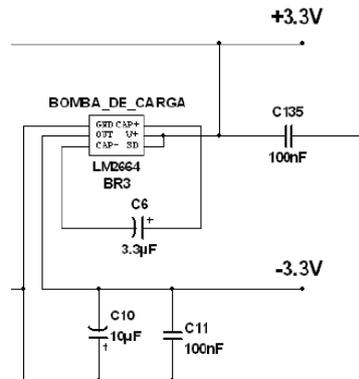


Figura 4. Subetapa inversora de tensión tras modificaciones

### 9.2.2.1.3 – Subetapa de alimentación del micrófono

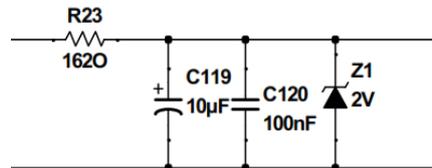
En esta subetapa se reduce la tensión de +3.7 V proporcionada por la batería hasta obtener +2 V, la cual es la alimentación del micrófono.

Esto se realiza mediante un diodo zener, ya que el micrófono no consumirá mucha intensidad y colocar un convertidor buck adicional supondría un mayor coste. Los cálculos necesarios para realizar esta subetapa se encuentran en el capítulo 9 de la memoria de cálculo.

Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que la LoPy, al conmutar a altas velocidades y tener su alimentación también conectada a +3.7 V, genera mucho ruido sobre la señal de +3.7 V, el cual se introduce directamente en la alimentación del micrófono. Todo este ruido se confunde con la señal generada por el micrófono y es amplificado de igual manera.

Para minimizar el ruido introducido en la alimentación del micrófono se realiza un filtrado en la entrada de la subetapa. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 9 de la memoria de cálculo.

El circuito tras implementar las modificaciones es el que se puede observar en la figura 5:



*Figura 5. Subetapa de alimentación del micrófono tras modificaciones*

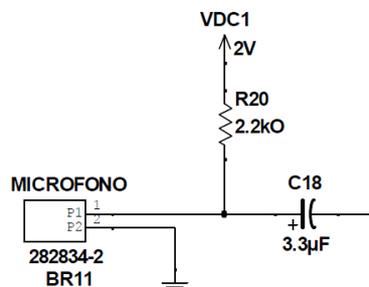
### 9.2.2.2 – Etapa adaptadora del micrófono

El circuito de esta etapa se puede observar en el plano 3.2 y en el plano 3.6. En ambos planos el circuito es el mismo ya que no se ha realizado ninguna modificación sobre esta etapa.

En esta etapa se realiza la adaptación de la alimentación de +2 V y de la señal generada por el micrófono.

Los cálculos necesarios para realizar esta etapa se encuentran en el capítulo 1 de la memoria de cálculo.

El circuito es el que se puede observar en la figura 6:



*Figura 6. Etapa adaptadora del micrófono*

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>68</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

### 9.2.2.3 – Etapa preamplificadora

El circuito inicial de esta etapa se puede observar en el plano 3.2 y el circuito tras realizar las modificaciones en el plano 3.6.

En esta etapa se realiza una primera amplificación de la señal del micrófono para adecuarla al resto de componentes del sonómetro. Esto se realiza mediante un operacional con un montaje amplificador no inversor.

El operacional tiene un potenciómetro para permitir una mayor precisión en el ajuste.

Los cálculos necesarios para realizar esta etapa se encuentran en el capítulo 2 de la memoria de cálculo.

Debido a que inicialmente se planeaba utilizar un convertidor rms-dc con un rango dinámico mucho menor, se diseñó la etapa de autorrango ya que esta era necesaria. Posteriormente se decidió utilizar el convertidor indicado en el punto 9.1.3 de esta memoria, el cual posee un enorme rango dinámico, lo que hace que el micrófono pase a ser el que imponga el rango inferior del rango dinámico, por lo que la etapa de autorrango quedó obsoleta. Debido a esto se aumenta la ganancia de la etapa preamplificadora para ajustar el nuevo rango dinámico entre 40 y 120 decibelios.

Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que hay mucho ruido en las alimentaciones del operacional, por lo que se realiza un filtrado adicional en ambas alimentaciones para minimizarlo. Adicionalmente se descubre que no se permitía la circulación de la corriente de polarización de la entrada positiva del operacional, por lo que se añade una resistencia para solucionarlo. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 2 de la memoria de cálculo.

El circuito tras implementar las modificaciones es el que se puede observar en la figura 7:

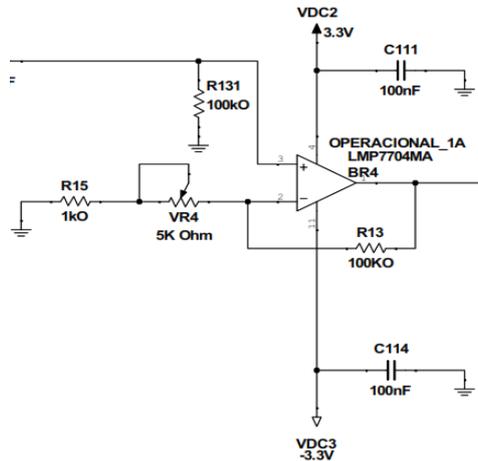


Figura 7. Etapa preamplificadora tras modificaciones

#### 9.2.2.4 – Etapa del filtro de ponderación A

El circuito de esta etapa se puede observar en el plano 3.2 y en el plano 3.6. En ambos planos el circuito es el mismo ya que no se ha realizado ninguna modificación sobre esta etapa.

El micrófono se eligió para que tenga una respuesta lo más lineal posible, lo que significa que su respuesta no varía con la frecuencia, pero el oído humano si lo hace. En esta etapa se procesa la señal de salida de la etapa anterior para hacer que el micrófono responda como el oído humano, atenuando las altas y bajas frecuencias y respondiendo mejor a las frecuencias intermedias.

Posee un potenciómetro al final de la etapa para ajustar la ganancia a 1 en 1 KHz.

Los cálculos necesarios para realizar esta etapa se encuentran en el capítulo 3 de la memoria de cálculo.

El circuito es el que se puede observar en la figura 8:

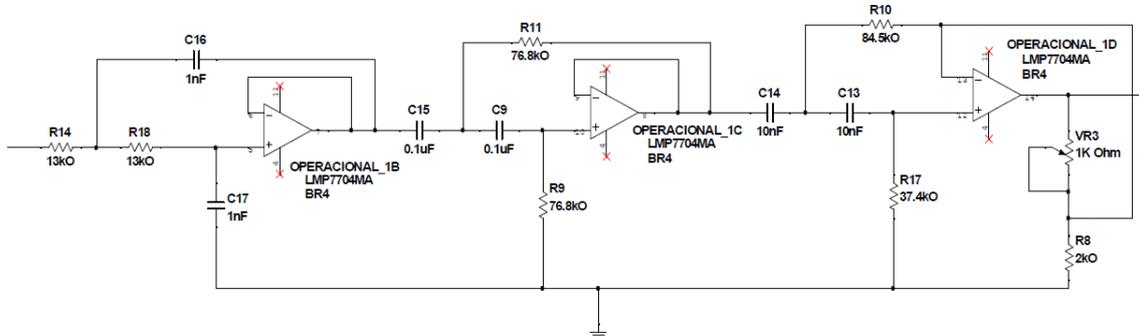


Figura 8. Etapa del filtro de ponderación A

### 9.2.2.5 – Etapa de autorango

El circuito inicial de esta etapa se puede observar en el plano 3.3 y el circuito tras realizar las modificaciones en el plano 3.7.

En esta etapa se adapta la señal de salida de la anterior etapa para que siempre llegue al convertidor rms-dc en un margen aceptable de tensiones, independientemente de si la señal es muy grande o muy pequeña, por lo que hay una subetapa que detecta el nivel de la señal, otra subetapa que compara el nivel de la señal con una referencia y una última subetapa que aplica la ganancia.

Esta etapa se diseñó porque, tal como se indica en el punto 9.1.3 de esta memoria, en un principio se planeaba utilizar un convertidor rms-dc con un rango dinámico muy pequeño, de manera que el límite inferior del rango dinámico lo marcaba el convertidor, por lo que era necesaria una etapa de autorango para ajustar la señal a este.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 71 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Posteriormente se encontró el convertidor actual, el cual posee un enorme rango dinámico y muchas otras ventajas sobre el anterior convertidor. Utilizando este nuevo convertidor, los límites inferiores del rango dinámico de los diferentes elementos, fijando el máximo en 120 decibelios, son de 24 decibelios para el convertidor analógico-digital, de 31 decibelios para el convertidor rms-dc y de 36 decibelios para el micrófono, por lo que el límite inferior del rango dinámico lo pasa a marcar el micrófono, haciendo que esta etapa deje de ser necesaria.

El cálculo de los rangos dinámicos del micrófono, del convertidor rms-dc y del convertidor analógico-digital se encuentran en los capítulos 1, 5 y 6 de la memoria de cálculo respectivamente.

#### 9.2.2.5.1 – Subetapa detectora del nivel de la señal

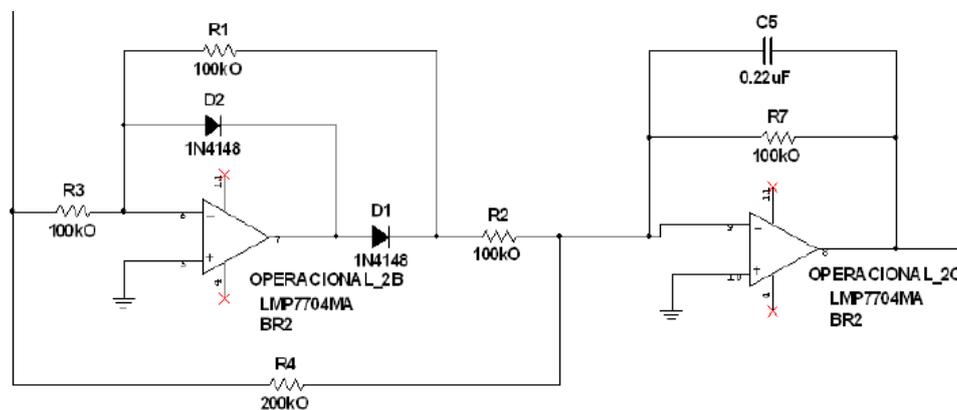
En esta subetapa se calcula de manera aproximada el valor RMS de la señal.

Esto se realiza mediante un rectificador de onda completo inversor seguido de un filtro paso bajo. Con el rectificador y el filtro se obtiene el valor medio de la señal senoidal, el cual teóricamente es de  $\frac{2}{\pi} V_{\text{Pico}}$ . Conociendo que el valor RMS de una señal senoidal es  $\frac{1}{\sqrt{2}} V_{\text{Pico}}$  se puede observar que la relación entre ambas es de  $\frac{\text{Valor}_{\text{RMS}}}{\text{Valor}_{\text{Medio}}} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11 \Rightarrow \text{Valor}_{\text{Medio}} = 0,9 \cdot \text{Valor}_{\text{RMS}}$ , por lo que difieren poco y esto serviría para medir de una manera aproximada el valor RMS de la señal.

Los cálculos necesarios para realizar esta subetapa se encuentran en el capítulo 4 de la memoria de cálculo, más específicamente en los puntos 4.2 y 4.3 de dicha memoria.

Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que hay mucho ruido en las alimentaciones de los operacionales, por lo que se realiza un filtrado en todas las alimentaciones para minimizarlo. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 4 de la memoria de cálculo.

El circuito tras implementar las modificaciones es el que se puede observar en la figura 9:



*Figura 9. Subetapa detectora del nivel de la señal tras modificaciones*

#### 9.2.2.5.2 – Subetapa del comparador con histéresis

En esta subetapa se invierte el valor de la señal y se compara con las tensiones límite de la histéresis con el objetivo de activar o desactivar la ganancia de la etapa de autorrango.

Esto se realiza mediante un inversor de ganancia 1 seguido de un comparador con histéresis. Con el inversor de ganancia 1 se convierte la señal en positiva, ya que el operacional del comparador está alimentado con 0 V y +3.3 V, por lo que no admite señales de entrada negativas. El comparador tiene histéresis para evitar que la ganancia se active y desactive muy rápidamente cuando el valor de la señal está muy cercano al de referencia.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>73</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

El comparador con histéresis tiene dos potenciómetros para permitir una mayor versatilidad y precisión en el ajuste.

Se ha utilizado un encapsulado con un único operacional para el comparador con histéresis, ya que este funciona en todo o nada y esto podría causar interferencias en el resto de operacionales del encapsulado.

Si la señal de entrada es mayor que la del límite superior de la histéresis, el operacional satura positivamente y desactiva la ganancia. Para que conmute de nuevo, la tensión tiene que pasar a ser menor que el límite inferior de la histéresis. En este caso el operacional satura a cero voltios y activa la ganancia.

Adicionalmente, se genera una salida con el valor de tensión de la salida del comparador. Esta salida se llama VAR y se utiliza para que la LoPy sepa cuando está aplicada la ganancia y cuando no, de manera que pueda ajustar la fórmula para obtener el correcto nivel de presión sonora.

Los cálculos necesarios para realizar esta subetapa se encuentran en el capítulo 4 de la memoria de cálculo, más específicamente en el punto 4.4 de dicha memoria.

Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que hay mucho ruido en las alimentaciones de los operacionales, por lo que se realiza un filtrado en todas las alimentaciones para minimizarlo. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 4 de la memoria de cálculo.

Debido al gran aumento de la ganancia de la etapa preamplificadora, esta subetapa ya no conmuta, permaneciendo siempre la subetapa de ganancia como seguidor.

El circuito tras implementar las modificaciones es el que se puede observar en la figura 10:

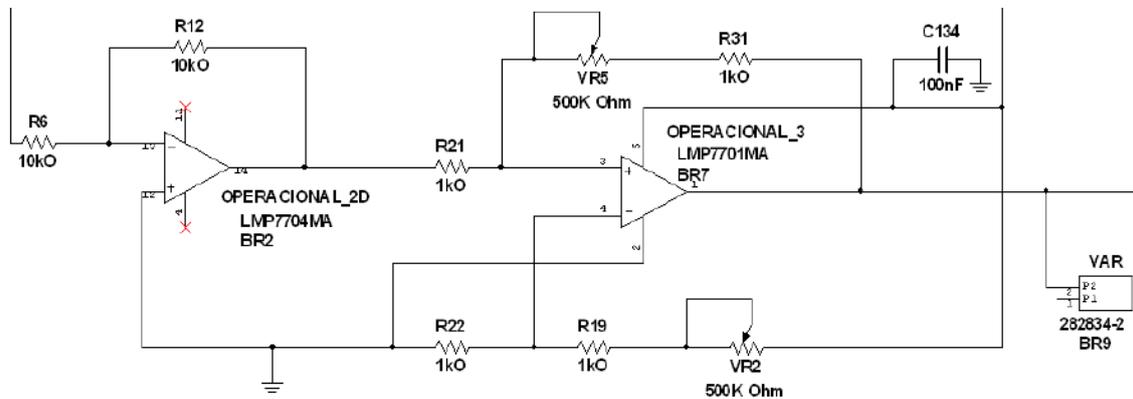


Figura 10. Subetapa del comparador con histéresis tras modificaciones

### 9.2.2.5.3 – Subetapa de ganancia

En esta subetapa se aplica la ganancia a la señal cuando procede.

Esto se realiza mediante un operacional que funciona como seguidor o como amplificador no inversor en función del estado de un interruptor analógico que es accionado por el comparador con histéresis.

Los cálculos necesarios para realizar esta subetapa se encuentran en el capítulo 4 de la memoria de cálculo, más específicamente en el punto 4.1.2 de dicha memoria.

El amplificador no inversor tiene un potenciómetro para permitir una mayor precisión en el ajuste.

Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que hay mucho ruido en las alimentaciones del operacional y del interruptor, por lo que se realiza un filtrado en las alimentaciones para minimizarlo. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 4 de la memoria de cálculo.

El circuito tras implementar las modificaciones es el que se puede observar en la figura 11:

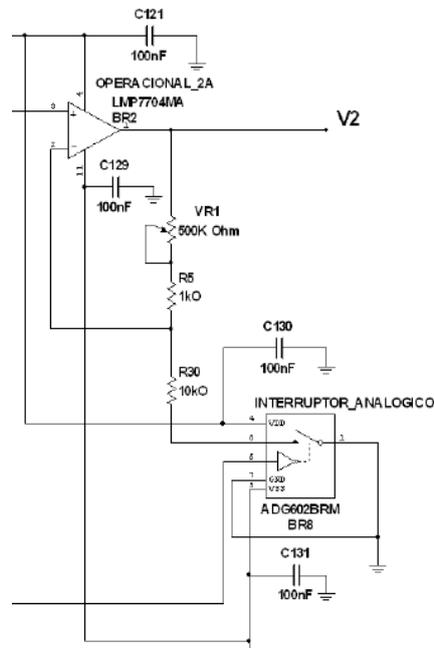


Figura 11. Subetapa de ganancia tras modificaciones

### 9.2.2.6 – Etapa de conversión RMS-DC

El circuito inicial de esta etapa se puede observar en el plano 3.4 y el circuito tras realizar las modificaciones en el plano 3.8.

En esta etapa se realiza el cálculo del valor RMS de la señal de entrada.

Los cálculos necesarios para realizar esta etapa se encuentran en el capítulo 5 de la memoria de cálculo.

Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que hay mucho ruido en las alimentaciones del convertidor, por lo que se realiza un filtrado adicional en ambas alimentaciones para minimizarlo. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 5 de la memoria de cálculo.



Tras realizar pruebas de funcionamiento, se observa que hay mucho ruido en la alimentación del convertidor, por lo que se realiza un filtrado adicional en dicha alimentación para minimizarlo. Las medidas correctoras están indicadas al final del capítulo 6 de la memoria de cálculo.

El circuito tras implementar las modificaciones es el que se puede observar en la figura 13:

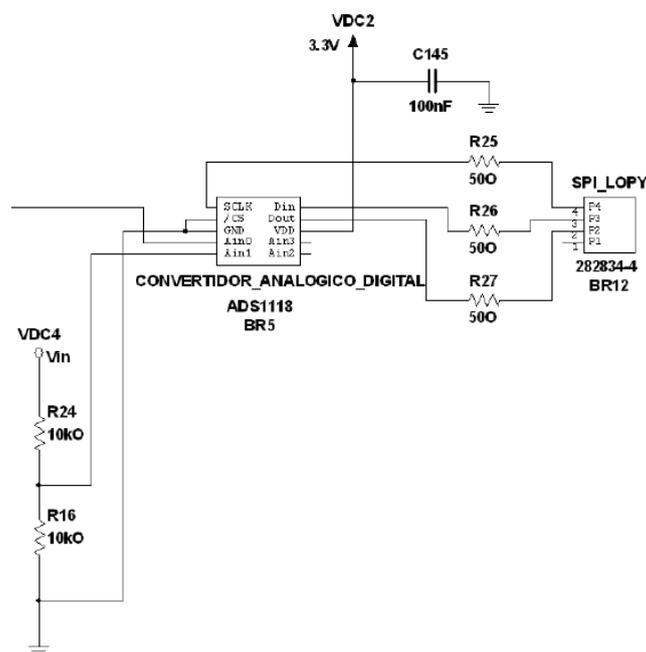


Figura 13. Etapa de conversión analógico-digital tras modificaciones

### 9.2.2.8 – Diseño de la placa de circuito integrado

El diseño se ha realizado teniendo en cuenta los requisitos de diseño especificados en el punto 8.2.2 de esta memoria.

El layout de placa se puede observar en los planos 4, 5 y 6, mostrando las pistas de la cara top en el primero, las pistas y el plano de masa de la cara bottom en la segunda y el contorno y el nombre de los componentes en la tercera.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>78</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Adicionalmente al diseño, se ha añadido con cobre en la cara top la identificación de lo que tiene que ir conectado en cada conector, el nombre del creador de la placa y la funcionalidad de la placa. Se ha realizado con cobre porque, al realizar la placa manualmente, no se podían utilizar serigrafías.

Además, se han realizado placas auxiliares para adaptar los encapsulados smd a orificio pasante, con el objetivo de facilitar el cambio de los componentes smd si estos resultaran dañados. El layout de estas placas auxiliares se puede observar en el plano 7.

### **9.2.3 – Microcontroladores**

La LoPy emisora obtiene el valor RMS de la señal sonora captada por el micrófono cada 400 milisegundos y la mitad del valor de la batería cada 5 segundos mediante una comunicación SPI con el convertidor analógico-digital. Tras obtener esta información, la procesa y envía a la LoPy receptora por LoRa el nivel de presión sonora cada segundo y el nivel de la batería cada 10 segundos.

La LoPy receptora transmite la información recibida al ordenador mediante una comunicación serie.

### **9.2.4 – Ordenador**

El ordenador recibe la información transmitida por la LoPy receptora y la representa gráficamente en la interfaz gráfica de usuario creada con matlab.

La interfaz gráfica ha sido creada siguiendo los requisitos especificados en el punto 8.4 de este documento y es la mostrada en la figura 14.

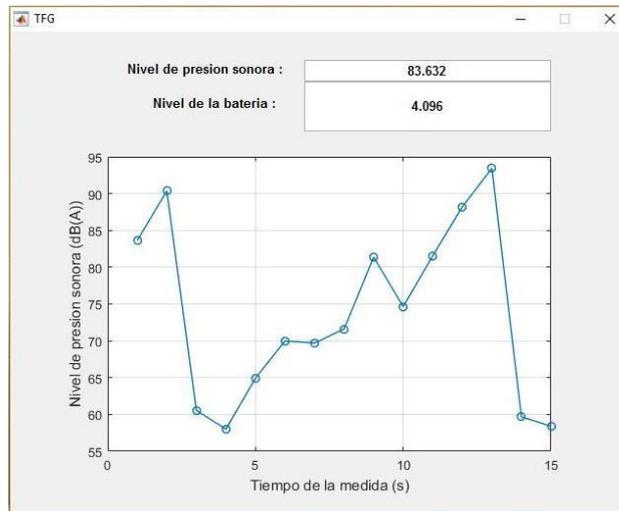


Figura 14. Interfaz gráfica

### 9.3 – Códigos de programación

En este subapartado se explicará el código de programación de los microcontroladores y del ordenador. La explicación no será muy detallada ya que cada línea del código está comentada indicando su función.

#### 9.3.1 – Código de la LoPy emisora

El código de este microcontrolador se encuentra en el capítulo 1 del documento anexos.

Este código se divide en varias partes:

➤ Importación de las librerías:

En esta parte se importan todas las librerías que se necesitarán para la ejecución del código. Esta parte es la correspondiente a la figura 15:

```

from machine import Timer
from machine import SPI
from math import log
from network import LoRa
import socket
import time
from struct import *
from network import Bluetooth
from network import WLAN

# Importa la librería necesaria para utilizar temporizadores
# Importa la librería necesaria para la transmisión SPI
# Importa la librería necesaria para realizar logaritmos
# Importa la librería necesaria para la transmisión LoRa
# Importa la librería necesaria para crear sockets
# Importa la librería necesaria para realizar esperas
# Importa la librería necesaria para utilizar la función pack/unpack
# Importa la librería necesaria para la transmisión Bluetooth
# Importa la librería necesaria para la transmisión Wifi

```

*Figura 15. Importación de las librerías del código de la LoPy emisora*

➤ Inicialización de las comunicaciones:

En esta parte se desactivan el bluetooth y el wifi de la LoPy emisora para reducir el consumo de esta y se inicializan las dos comunicaciones que utilizará la LoPy emisora. Esta parte es la correspondiente a la figura 16:

```

Bluetooth1 = Bluetooth()
Bluetooth1.deinit()
Wifi = WLAN()
Wifi.deinit()

# Crea una variable y la vincula al bluetooth
# Desactiva el bluetooth
# Crea una variable y la vincula al wifi
# Desactiva el wifi

spi = SPI(0, mode=SPI.MASTER, baudrate=100000, polarity=0, phase=1, firstbit=SPI.MSB)
# Inicializa el SPI con frecuencia de 100KHz en los pines P10-CLK, P11-MOSI, P14-MISO

lora = LoRa(mode=LoRa.LORA, frequency=868200000)
# Inicializa lora con una frecuencia de 868.2 MHz

s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)
# Inicializa el socket para ejecutar lora raw

s.setblocking(False)
# No bloquea el socket

```

*Figura 16. Inicialización de las comunicaciones del código de la LoPy emisora*

➤ Creación de las variables globales:

En esta parte se crean e inicializan las variables globales que se utilizarán en el código. La creación de variables globales es necesaria porque se utilizarán dentro de funciones. Esta parte es la correspondiente a la figura 17:

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>81</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

```

global Bandera
Bandera = 1
global Dato_Microfono
Dato_Microfono = 0
global Dato_Bateria
Dato_Bateria = 0
global Recien_Conectado
Recien_Conectado = 1

```

```
# Crea variables globales y las inicializa
```

*Figura 17. Creación de las variables globales del código de la LoPy emisora*

➤ Definición de las funciones:

En esta parte se definen las dos funciones utilizadas.

La primera de ellas es la encargada de convertir a decimal el valor proporcionado como dato. Esto es necesario porque el convertidor analógico-digital transmite por SPI la información codificada en complemento a 2. Esta función es la correspondiente a la figura 18:

```

def complemento_dos(valor):
    return (valor - int((valor << 1) & 2**16))

```

# Función para convertir el número que se le pase como dato de complemento a 2 a decimal  
# Desplaza a la izquierda 1 bit el valor y le aplica la and con "2 elevado al número de bits del valor", de manera que si el último bit del valor es 0, el resultado es 0 y si el último bit del valor es 1, el resultado es "2 elevado al número de bits del valor". Tras esto, se le resta al valor este resultado, devolviendo el valor en decimal.

*Figura 18. Definición de la función complemento a dos del código de la LoPy emisora*

La segunda de ellas es la encargada de realizar la comunicación SPI y de procesar los datos obtenidos. Esta función es la correspondiente a las figuras 19 y 20:

```

def Comunicacion_SPI(Config_Alto, Config_Bajo):
    rbuf = bytearray(4)

    spi.write(bytes([Config_Alto, Config_Bajo, Config_Alto, Config_Bajo]))
    time.sleep_ms(20)
    spi.write_readinto(bytes([Config_Alto, Config_Bajo, Config_Alto, Config_Bajo]), rbuf)
    time.sleep_ms(20)

    Dato_Completo = (rbuf[0] << 8) | rbuf [1]

    Dato_Complemento_Dos = complemento_dos(Dato_Completo)
    Tension_Entrada = (Dato_Complemento_Dos / 2**15) * 2.048

```

# Función para realizar la comunicación SPI  
# Crea una variable rbuf que es un vector de 4 bytes

# Manda los dos bytes de configuración dos veces por SPI  
# Espera 20 milisegundos para que al ADC le dé tiempo a generar el dato  
# Manda los dos bytes de configuración dos veces por SPI y guarda en rbuf la respuesta  
# Espera 20 milisegundos de nuevo para darle tiempo al ADC a generar el dato, evitando que la siguiente transmisión colisione con esta

# Genera el dato original uniendo los dos bytes de datos  
# Se realiza la conversión a decimal del dato  
# Calcula el valor de tensión de la entrada dividiendo el numero entre "2 elevado al número de bits de la trama menos 1" y multiplicándolo por el fondo de escala

*Figura 19. Parte 1 de la definición de la función comunicación SPI del código de la LoPy emisora*

```

if Config_Alto == 0xD5:
    Resultado = Tension_Entrada * 2

if Config_Alto == 0xC5:
    Ajuste = 1
    Ganancia_Total = 100
    Sensibilidad = 0.012589
    Pref = 0.00002

    Valor_de_tension = (Tension_Entrada * Ajuste) / (Ganancia_Total * Sensibilidad * Pref)

    if Valor_de_tension > 0:
        Resultado = 20 * log(Valor_de_tension, 10)
    else:
        Resultado = 0

return Resultado

```

# BATERÍA  
# Multiplico por 2 la tensión para obtener la de la batería

# MICRÓFONO  
# Para ajustar el valor exacto de presión sonora  
# Ganancia total que ha sufrido la señal  
# 0.012589 V/Pa  
# 20uPa

# Operación para calcular la medida de tensión equivalente a la medida de presión sonora

# Si el valor de tension es positivo  
# Realiza la conversión a decibelios de la tensión  
# Si no lo es  
# Se notifica poniendo a 0 el resultado

# Devuelve el resultado

*Figura 20. Parte 2 de la definición de la función comunicación SPI del código de la LoPy emisora*

➤ Creación del temporizador:

En esta parte se crea un temporizador que llamará a una función cada segundo. En esta función se transmite el valor de la presión sonora cada segundo y el valor de la batería cada 10 segundos. Antes de mandar el dato, se le añade un código identificativo y se codifica en bytes, ya que la

comunicación LoRa manda grupos de bytes. Esta parte es la correspondiente a las figuras 21 y 22:

```

class Temporizador:
    # Define una clase llamada temporizador para crear una alarma

    def __init__(self):
        self.seconds = 0
        self.__alarm = Timer.Alarm(self._seconds_handler, 1, periodic=True)
        # Crea una alarma que llama a la función interna "_seconds_handler" cada segundo de manera periódica

```

*Figura 21. Parte 1 de la creación del temporizador del código de la LoPy emisora*

```

def _seconds_handler(self, alarm):
    global Bandera
    global Dato_Microfono
    global Dato_Bateria

    self.seconds += 1
    # Aumenta en 1 la variable interna llamada "seconds"

   Codigo_Microfono = 1
    Dato_Bytes_Microfono = pack('ddd', Dato_Microfono, Codigo_Microfono)
    # Código Micrófono
    # Convierte el dato a un objeto de bytes codificados con el formato double double double (ddd)

    s.send(Dato_Bytes_Microfono)
    # Manda el objeto de bytes por lora

    if self.seconds == 5:
        # Activa la bandera cada 5 segundos para medir la tensión de la batería
        Bandera = 1

    if self.seconds == 10:
        Bandera = 1
        Codigo_bateria = 2
        Dato_Bytes_Bateria = pack('ddd', Dato_Bateria, Codigo_bateria)
        # Código Batería
        # Convierte el dato a un objeto de bytes codificados con el formato double double double (ddd)

        s.send(Dato_Bytes_Bateria)
        # Manda el objeto de bytes por lora
        self.seconds = 0
        # Reinicia el contador de segundos

    return Bandera
    # Devuelve la variable "Bandera"

```

*Figura 22. Parte 2 de la creación del temporizador del código de la LoPy emisora*

➤ Cuerpo principal:

En esta parte se activa el temporizador. También se realiza un bucle infinito donde se toma el valor del micrófono, el valor de la batería cuando corresponda y, tras esto, se pone la LoPy en suspensión por 400 ms para ahorrar batería. Esta parte es la correspondiente a la figura 23:

```

Temporizador()                                     # Activa el temporizador

while 1:
    global Bandera
    global Dato_Microfono
    global Dato_Bateria
    global Recien_Conectado

    if Recien_Conectado == 1:
        time.sleep(1)
        Recien_Conectado = 0
        # Si se acaba de encender la LoPy
        # Espera 1 segundo para que la alimentación se estabilice
        # Hace que no se vuelva a entrar a este if hasta que se reinicie la LoPy

    Dato_Microfono = Comunicacion_SPI(0xC5,0x8B)
    # Llama a la función "Comunicacion_SPI" y le paso los bytes de
    # configuración correspondientes a la petición del dato del micrófono

    if Bandera == 1:
        Dato_Bateria = Comunicacion_SPI(0xD5,0x8B)
        # Si la "Bandera" está a 1
        # Llama a la función "Comunicacion_SPI" y le paso los bytes de
        # configuración correspondientes a la petición del dato de la batería
        # Pone la "Bandera" a 0

        Bandera = 0

    time.sleep(0.4)
    # Pone a dormir la LoPy 0.4 segundos para ahorrar batería

```

*Figura 23. Cuerpo principal del código de la LoPy emisora*

### 9.3.2 – Código de la LoPy receptora

El código de este microcontrolador se encuentra en el capítulo 2 del documento anexos.

Este código se divide en varias partes:

➤ Importación de las librerías:

En esta parte se importan todas las librerías que se necesitarán para la ejecución del código. Esta parte es la correspondiente a la figura 24:

```

from network import LoRa
import socket
import time
from struct import *
from machine import UART

# Importa la librería necesaria para la transmisión LoRa
# Importa la librería necesaria para crear sockets
# Importa la librería necesaria para realizar esperas
# Importa la librería necesaria para utilizar la función pack/unpack
# Importa la librería necesaria para la transmisión por el puerto serie

```

*Figura 24. Importación de las librerías del código de la LoPy receptora*

➤ Inicialización de las comunicaciones:

En esta parte se inicializan las dos comunicaciones que utilizará la LoPy receptora. Esta parte es la correspondiente a la figura 25:

```

lora = LoRa(mode=LoRa.LORA, frequency=868200000)      # Inicializa lora con una frecuencia de 868.2 MHz
s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)    # Inicializa el socket para ejecutar lora raw
s.setblocking(False)                                  # No bloquea el socket

uart = UART(0, 115200)                                # Inicializa el puerto serie 0 con un baudrate de 115,2 KHz

```

*Figura 25. Inicialización de las comunicaciones del código de la LoPy emisora*

➤ Cuerpo principal:

En esta parte se comprueba si se ha recibido algo por LoRa y, si es así, se decodifican los bytes y se envía el código y el dato al ordenador. Tras eso entra en suspensión por 200 ms para no saturar la LoPy. Esta parte es la correspondiente a la figura 26:

```

while True:
    Dato_Bytes = s.recv(64)                            # Lee hasta 64 datos recibidos por lora y los guarda en "Dato_Bytes"

    if (len(Dato_Bytes) != 0):                          # Si se ha recibido algo por lora
        Dato = unpack('ddd', Dato_Bytes)               # Convierte el objeto de bytes codificados con el formato double double double (ddd)
                                                         # a una cadena de datos
        uart.write("%d\n" %Dato[1])                    # Escribe el código que indica si el dato es del micrófono o de la batería en el puerto
                                                         # serie. Al final tiene un terminador para su correcta lectura en matlab
        uart.write("%0.3f\n" %Dato[0])                 # Escribe el resultado de la medida con tres decimales en el puerto serie. Al final
                                                         # tiene un terminador para su correcta lectura en matlab

    time.sleep(0.2)                                    # Espera 200 ms para no saturar la LoPy

```

*Figura 26. Cuerpo principal del código de la LoPy emisora*

### 9.3.3 – Código de matlab

El código de matlab se encuentra en el capítulo 3 del documento anexos.

Este código incluye muchas funciones que corresponden a la creación de la interfaz gráfica, pero principalmente se divide en tres partes:

➤ Función inicial:

En esta función se crean las variables, se configura el puerto serie y se crea un temporizador que comprobará si hay información en el puerto serie. Esta parte es la correspondiente a la figura 27:

```
function TFG_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

global PS; % Creación de las variables globales
global t;
global x_tiempo;

PS = serial('COM4','BaudRate',115200); % Inicializa el puerto serie a 115,2 KHz
set(PS, 'Timeout',0.5); % Establece el timeout del puerto serie a 0.5 segundos
fopen(PS); % Arranca el puerto serie

x_tiempo=zeros(15,1); % Crea un vector de 1 fila de 15 elementos inicializados a cero

t = timer('TimerFcn',{@Leer_Serial, handles},'Period', 0.3, 'ExecutionMode', 'fixedSpacing'); % Inicializa el temporizador para que
                                                                                               % cada 0,3 segundos llame a la función
                                                                                               % "Leer_Serial"

start(t); % Arranca el temporizador
```

*Figura 27. Función inicial del código de matlab*

➤ Función principal:

En esta función se lee el código del puerto serie. Si el código indica que el dato a continuación es del micrófono, se coloca en la caja de texto y en la gráfica. Esa parte de la función puede observarse en la figura 28:

```

function Leer_Serial(obj, event, handles)

global PS;
global x_tiempo;

Codigo = fscanf(PS,'%d'); % Lee el puerto serie y guarda lo que haya en la variable "Codigo"

if(Codigo == 1) % Si el código es 1, es que el dato que se envía es la medida del
microfono

    [Dato_Microfono, tam_Microfono] = fscanf(PS,'%f'); % Lee el puerto serie y guarda lo que haya en "Dato_Microfono",
    además guarda el número de datos leídos en "tam_Microfono"

    while (tam_Microfono == 0) % Continúa leyendo hasta que encuentre el dato
        [Dato_Microfono, tam_Microfono] = fscanf(PS,'%f');
    end

    set(handles.edit1,'string',Dato_Microfono); % Escribe el valor del micrófono en la caja de texto

    x_tiempo = [Dato_Microfono; x_tiempo(1:14)]; % Empuja el vector 1 espacio a la derecha e introduce el valor del
    micrófono

    Grafica = plot(handles.axes1, x_tiempo); % Representa el vector en una gráfica
    xlabel(handles.axes1,'Tiempo de la medida (s)'); % Determina el título del eje x
    ylabel(handles.axes1,'Nivel de presion sonora (dB(A))'); % Determina el título del eje y
    set(Grafica,'Marker','o','LineWidth',1); % Determina la representación de los valores en la gráfica con un
    círculo y el ancho de la línea en 1

    grid(handles.axes1, 'on') % Pone una rejilla en la representación grafica

end

```

*Figura 28. Parte 1 de la función principal del código de matlab*

Si el código indica que el dato a continuación es de la batería, se coloca en la caja de texto. Esta parte de la función es la correspondiente a la figura 29:

```

if(Codigo == 2) % Si el código es 2, es que el dato que se envía es la medida de la batería

    [Dato_Bateria, tam_Bateria] = fscanf(PS,'%f'); % Lee el puerto serie y guarda lo que haya en "Dato_Bateria", además guarda
    el número de datos leídos en "tam_Bateria"

    while (tam_Bateria == 0) % Continúa leyendo hasta que encuentre el dato
        [Dato_Bateria, tam_Bateria] = fscanf(PS,'%f');
    end

    set(handles.edit2,'string',Dato_Bateria); % Escribe el valor de la batería en la caja de texto

end

```

*Figura 29. Parte 2 de la función principal del código de Matlab*

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>88</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

➤ Función de cierre:

Esta función se ejecuta cuando se quiere cerrar la interfaz gráfica y se ocupa de hacerlo. Esta parte es la correspondiente a la figura 30:

```
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)

global PS;
global t;

fclose(PS);           % Cierra el puerto serie
stop(t);              % Detiene el temporizador

delete(hObject);     % Cierra la ventana gráfica
clear all;            % Borra la ventana de comandos
```

*Figura 30. Función de cierre del código de matlab*

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>89</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## CAPÍTULO 10 – ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

---

➤ Consumo energético:

- El sonómetro tiene un consumo medio de 14,27 mA
- La LoPy emisora tiene un consumo medio de 50 mA

➤ Dimensiones:

El sonómetro tiene unas dimensiones de 16,5 cm por 16 cm

➤ Rango dinámico:

El sonómetro posee un rango dinámico de 80 db, siendo el mínimo valor 40 db y el máximo 120 db.

➤ Tiempos de transmisión de la información:

La información del micrófono es tomada cada 400 milisegundos y enviada cada segundo.

La información de la batería es tomada cada 5 segundos y enviada cada 10 segundos.

➤ Tiempo de autonomía de la batería:

El equipo comercial está diseñado para que posea una autonomía de 2 días, aunque el prototipo únicamente tiene una autonomía de 21 horas.

➤ Distancia máxima de la transmisión LoRa:

La distancia máxima entre nodos, según la limitación de la comunicación LoRa, es de 40 Km

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>90</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## CAPÍTULO 11 – PRUEBAS REALIZADAS

---

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

1. Comprobación de que el cargador de batería funciona correctamente:

Se conectó la placa solar al cargador de batería y este a la batería de litio. Tras esto, se midió la intensidad que circulaba desde el cargador hacia la batería, demostrando que la placa solar cargaba la batería ante la acción directa e indirecta del sol.

También se midió la tensión de la batería de litio para comprobar su valor nominal, resultando este el que indica su datasheet.

2. Comprobación del ruido a la salida del cargador de batería:

Se midió el ruido a la salida del cargador de batería con la placa solar y la batería conectada y se comprobó que era despreciable.

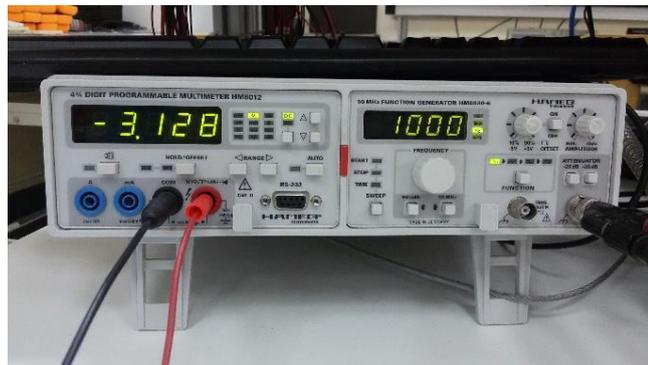
3. Comprobación de la etapa de generación de tensiones de alimentación:

Antes de realizar el montaje se colocaron los potenciómetros en una posición aproximada a la que tendrían que tener, se conectó el generador de tensiones a la entrada de alimentación del sonómetro con una tensión de +3,7 V y, tras esto, se ajustó el potenciómetro VR6 hasta conseguir que la tensión a la salida de la subetapa reductora de tensión fuera la deseada. Tal y como se puede ver en la figura 31, se consiguió una tensión de +3.299 V, la cual es prácticamente la tensión de cálculo de +3.3 V que se deseaba.



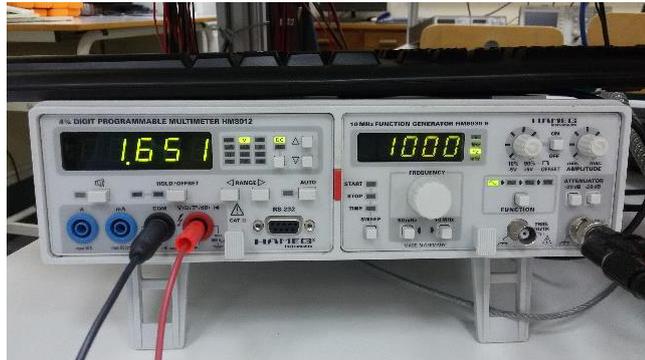
*Figura 31. Tensión de salida de la subetapa reductora de tensión*

Tras esto, se midió la tensión a la salida de la subetapa inversora de tensión, la cual resultó ser de -3.128 V tal y como se puede ver en la figura 32. Debido a que esta etapa no posee ajuste y que la diferencia con el valor ideal de -3.3 V es mínima y aceptable, se dejó así.



*Figura 32. Tensión de salida de la subetapa inversora de tensión*

Tras esto, se midió la tensión de la subetapa de alimentación del micrófono. Se observó que, aunque idealmente debía de ser de +2 V, esta proporcionaba una tensión de +1,651 V tal y como se puede observar en la figura 33. Esto es debido a la mala calidad del diodo zener, pero como la tensión mínima de alimentación que necesita el micrófono es de 1 V, esta tensión resultó admisible.



*Figura 33. Tensión de salida de la subetapa de alimentación del micrófono*

4. Comprobación del ruido en la etapa de generación de tensiones de alimentación:

Se midió el ruido en las tensiones de +3.3 V, de -3.3 V y de +2 V y se observó que, mientras que en la tercera el ruido era despreciable, en las dos primeras era bastante importante, siendo del orden de las decenas de milivoltios. Debido a esto, se colocaron condensadores de desacoplo en la alimentación de cada integrado y una etapa de filtrado adicional en la subetapa reductora de tensión. Estas medidas correctoras están especificadas al final de los capítulos 7 y 8 de la memoria de cálculo.

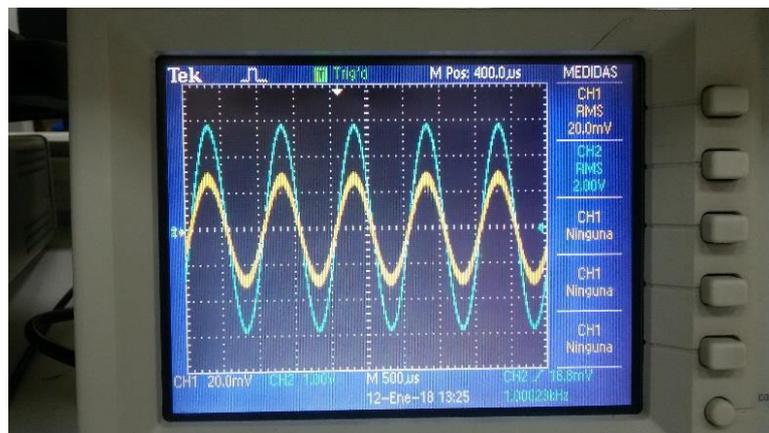
Con esta medida, aunque seguía habiendo algo de ruido, este se redujo bastante.

5. Comprobación del correcto funcionamiento de la etapa adaptadora del micrófono:

Esta prueba se realizó una vez utilizado el nuevo convertidor rms-dc, por lo que se buscaba que esta ganancia fuera de 100 y no la inicialmente calculada.

Antes de empezar esta comprobación se descubre un fallo de diseño, y es que es necesario añadir una resistencia al montaje para permitir el paso de la corriente de polarización del operacional. Se añadió y se comenzó con la comprobación.

Ya que no se disponía de un pistófono, se utilizó el generador de señales para introducir una señal en la entrada del micrófono de 20 mV rms y 1 KHz y se ajustó el potenciómetro VR4 hasta que la salida fue de 2,00 V rms. Esto puede observarse en la figura 34 mostrada a continuación:

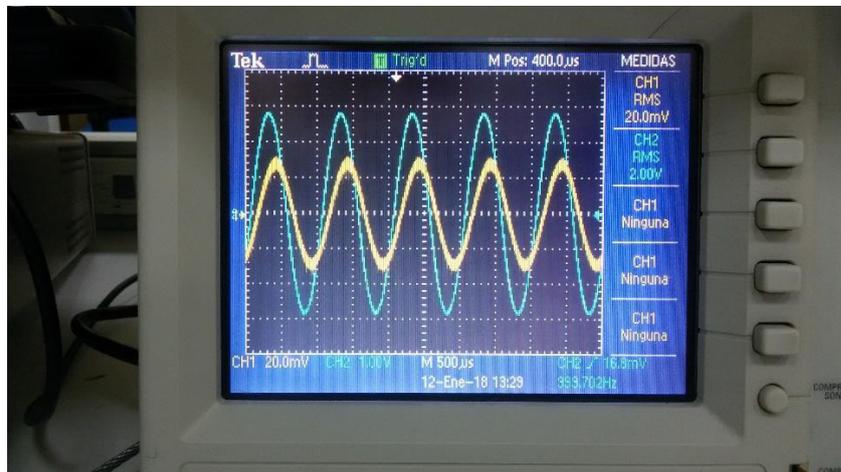


*Figura 34. Relación entre la tensión de entrada y salida de la etapa adaptadora del micrófono*

Adicionalmente, se comprobó que el operacional tuviera una alimentación limpia, y se observó que había ruido en ambas alimentaciones, por lo que se colocaron un par de condensadores de desacoplo para minimizarlo. Con esta medida se limpiaron las alimentaciones de los operacionales 1A, 1B, 1C y 1D, ya que están en el mismo encapsulado. Estas medidas correctoras están especificadas al final del capítulo 2 de la memoria de cálculo.

6. Comprobación del correcto funcionamiento de la etapa del filtro de ponderación A:

Para esta comprobación se ajustó el potenciómetro VR3 para que, ante la entrada de la señal anterior de 1 KHz, hubiera a la salida los 2,00 V rms de la entrada. Con esto se ajustó la etapa para que su ganancia a 1 KHz fuera 1, tal y como tiene el filtro ideal. En la figura 35 mostrada a continuación puede observarse la relación entre la tensión de entrada del sonómetro y la de salida de esta etapa.



*Figura 35. Relación entre la tensión de entrada y salida de la etapa del filtro de ponderación A*

Tras esto se fue variando la frecuencia desde 20 Hz hasta 20 KHz y se observó que la etapa respondía correctamente, dejando pasar casi sin atenuar las señales entre 600 Hz y 10 KHz y atenuando las señales fuera de este margen.

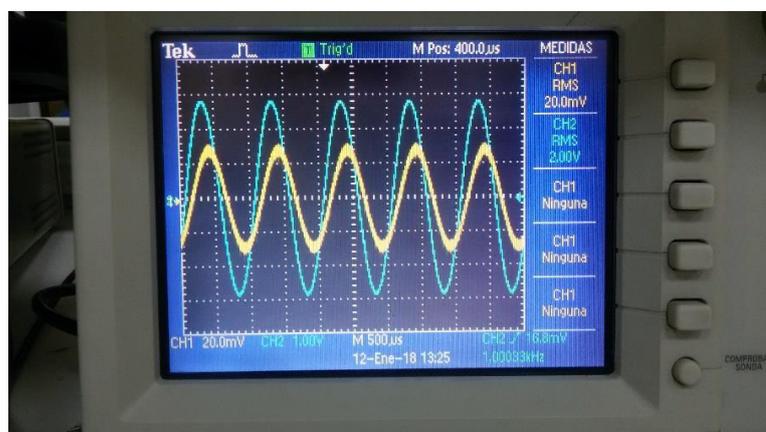
## 7. Comprobación del correcto funcionamiento de la etapa de autorrango:

Primero se analizó la tensión de salida de la subetapa detectora del nivel de la señal ante la entrada anterior y se observó cómo se obtenía el valor medio de dicha señal.

Después se analizó la subetapa del comparador con histéresis y se observó que, debido al aumento de la ganancia de la etapa preamplificadora, aunque se ajustaran los potenciómetros VR2 y VR5 no conmutaba. Debido a la falta de tiempo y a que esta etapa ya no era necesaria no se implementó ninguna mejora.

Por último, se analizó la subetapa de ganancia y se observó que, como el comparador no conmutaba, el interruptor analógico tampoco, por lo que el operacional de la etapa de ganancia se encontraba siempre funcionando como seguidor.

Conociendo esto y teniendo como entrada la señal de 2,00 V rms de la etapa anterior, se observó que a la salida de esta etapa se tienen 2,00 V rms. En la figura 36 mostrada a continuación puede observarse la relación entre la tensión de entrada del sonómetro y la de salida de esta etapa.

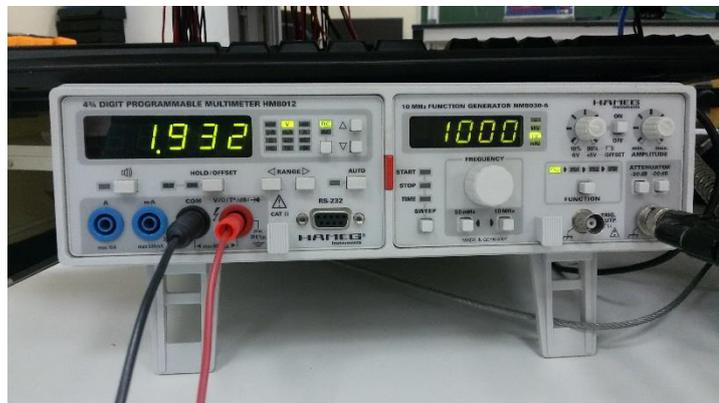


*Figura 36. Relación entre la tensión de entrada y salida de la etapa de autorrango*

Adicionalmente, se comprobó que los operacionales tuvieran una alimentación limpia, y se observó que había ruido en las alimentaciones, por lo que se colocaron condensadores de desacoplo en las alimentaciones del encapsulado de los operacionales 2A, 2B, 2C y 2D, en las del operacional 3 y en las del interruptor analógico para minimizarlo. Estas medidas correctoras están especificadas al final del capítulo 4 de la memoria de cálculo.

#### 8. Comprobación del correcto funcionamiento de la etapa del convertor RMS-DC:

Teniendo la señal anterior en la entrada, se midió la tensión de salida y se comprobó que, tal y como muestra la figura 37, era de 1,932 V en lugar de 2 V. Este error es asumible y es debido a las características de los condensadores del montaje y al propio error que comete el convertidor.



*Figura 37. Tensión de salida de la etapa del convertor RMS-DC*

También se comprobó el lento tiempo de respuesta de la señal de salida, siendo este de aproximadamente 1 segundo.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página 97 de 222
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Se comprobó también el ruido en las alimentaciones y, al igual que con el resto de componentes, se colocaron un par de condensadores de desacoplo para minimizarlo. Esta medida correctora está especificada al final del capítulo 5 de la memoria de cálculo.

9. Comprobación del correcto funcionamiento de la etapa del conversor analógico-digital:

Inicialmente se comprobó que había la mitad de la tensión de alimentación en el divisor resistivo de la entrada Ain1 y luego se procedió a comprobar la correcta transmisión de la información por el SPI. Para ello, una vez se completó el código de la LoPy emisora, se conectó el SPI a esta, se solicitó el dato de la batería y del micrófono y se vio que es lo que recibía.

Se observó que la LoPy emisora recibía correctamente la señal de la batería, pero no la del micrófono. Tras esto se evaluó el código de la LoPy emisora, pero tras comprobar línea a línea que todo estaba correcto, se pasó a comprobar el integrado.

Tras no ver ningún fallo aparente, se procedió a soldar de nuevo las patillas del integrado por si se hubiera realizado alguna soldadura fría. Una vez resoldado el integrado, la LoPy emisora recibió correctamente ambas señales, por lo que el error era una soldadura fría en alguna patilla del integrado.

Se comprobó también el ruido en la alimentación y se colocó un condensador de desacoplo para minimizarlo. Esta medida correctora está especificada al final del capítulo 6 de la memoria de cálculo.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>98</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

10. Comprobación del correcto funcionamiento del sonómetro ante la entrada del micrófono:

Tras haber comprobado que todas las partes del sonómetro funcionaban por separado, se pasó a analizar la respuesta del equipo ante la entrada del micrófono, por lo que se desconectó el generador de señales y se conectó el micrófono a la entrada de señal del sonómetro.

El equipo respondió correctamente. Tras probar haciendo ruidos de diferentes intensidades y frecuencias, se observó que la mínima medida de SPL es de 36 db y que la máxima que se pudo medir es de 105 db. No se pudo comprobar que el máximo fuera de 120 db debido a que no se pudo generar un ruido tan estruendoso, pero no saturaba en ese nivel por lo que el máximo empírico debería de ser el máximo teórico de 120 db.

11. Comprobación del correcto funcionamiento del código SPI de la LoPy emisora:

Cuando se acabó la primera versión del código encargado de realizar la comunicación SPI, se probó y no funcionó. Tras analizarlo, se descubrió que un posible fallo podría ser que se estableció la comunicación SPI a 2 MHz. Como no se necesita una velocidad de transmisión tan alta se redujo a 100 KHz y se probó de nuevo.

Tras este cambio seguía sin funcionar, por lo que se siguió evaluando el código. Se encontró otro posible fallo, y era que las dos comunicaciones SPI se hacían una detrás de otra con un tiempo de espera de 100  $\mu$ s entre ellas, por lo que al convertidor analógico-digital podría no darle tiempo a tomar la medida y colocarla en el registro antes de la segunda transmisión. Acudiendo al datasheet del convertidor se observó que, con la configuración establecida, el tiempo de generación del dato es de 7 ms, por lo que se puso un tiempo de 10 ms para tener un margen de seguridad.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>99</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Tras este cambio siguió sin funcionar, por lo que se siguió evaluando el código. Se encontró otro fallo, y era que las variables que se utilizaban en las funciones no eran globales, por lo que no se mantenían entre funciones. Se crearon las variables globales y se utilizaron dentro de las funciones.

Tras este cambio siguió sin funcionar, por lo que se siguió evaluando el código. Se encontró otro posible fallo, y era que no había tiempo de espera después de la segunda transmisión SPI. Esto podría ser un fallo ya que, cuando se solicita la medida del micrófono y, acto seguido, se solicita la de la batería, las transmisiones SPI se realizarían una tras otra y al convertidor no le daría tiempo a preparar el dato. Se añadió otro tiempo de espera de 10 ms tras la segunda transmisión SPI para evitar esto.

Tras estos cambios la transmisión SPI funcionó correctamente.

## 12. Comprobación del correcto funcionamiento del código LoRa de las LoPy emisora y receptora:

Cuando se acabó la primera versión del código encargado de realizar la comunicación LoRa, se probó y no funcionó. Tras analizarlo, no se descubrió ningún posible fallo. Tras mucho buscar, se pensó que a lo mejor era un fallo del firmware de la LoPy, por lo que se buscó la última actualización y se instaló.

Tras esto la transmisión LoRa funcionó correctamente, por lo que el error era debido a un fallo del firmware anterior.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>100</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

13. Comprobación del correcto funcionamiento del código serie de la LoPy receptora:

Cuando se acabó la primera versión del código encargado de realizar la comunicación serie, se probó y no funcionó. Tras analizarlo, se descubrió que un posible fallo podría ser que la transmisión era muy lenta, ya que estaba fijada a 8600 baudios. Se aumentó a 115.200 baudios y funcionó correctamente.

14. Comprobación del correcto funcionamiento del código de matlab:

Cuando se acabó la primera versión del código de matlab, se probó y no funcionó. Tras analizarlo, se descubrió que el fallo estaba en que la función de leer del puerto serie no sabía cuándo acababa un dato y comenzaba el siguiente, por lo que se cambió el código serie de la LoPy receptora para añadir un terminador al dato enviado.

Tras este cambio se recibían los datos correctamente.

15. Comprobación del equipo al completo:

Se implementaron todas las partes de los códigos en uno solo y se cargó en las LoPy emisora y receptora. Tras esto se realizó el conexionado completo, incluyendo alimentación del sonómetro por placa solar a sonómetro y LoPy emisora, comunicación SPI entre sonómetro y LoPy emisora, comunicación Lora entre las LoPy y comunicación serie entre el ordenador y la LoPy receptora.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>101</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

Se observó que todas las medidas aumentaron en torno a 30 db, por lo que se supuso que debía de ser causado por el equipo que aún no había sido probado en conjunto, la alimentación por placa solar. Tras realizar medidas en la alimentación se comprobó que era muy ruidosa. Esto era debido a que la LoPy, al ser un microcontrolador y conmutar a muy alta velocidad, inducía ruido en la alimentación.

Tras analizar por qué este ruido aumentaba tanto las medidas, se descubrió que el ruido en la alimentación se colaba directamente en la alimentación del micrófono, confundiendo el ruido con la señal del micrófono y amplificándose en gran medida. Para minimizar este ruido se colocaron un par de condensadores de filtrado en esta subetapa, lo cual disminuyó mucho el mismo.

Tras haber añadido los condensadores, se volvió a probar el equipo, obteniéndose esta vez un mínimo valor de SPL de 44 db y un máximo de 105 db que, al igual que antes, es teóricamente de 120 db.

#### 16. Calibración del sonómetro:

Debido a que no se disponía de un pistófono, la calibración se llevó a cabo generando un ruido constante y comparando la respuesta que ofrecía el sonómetro con la respuesta que ofrecía una aplicación móvil de captación de nivel de presión sonora. El resultado fue que, dentro del rango dinámico del sonómetro, ambas respuestas eran muy similares, por lo que no se necesitó realizar ningún ajuste.

#### 17. Medida del consumo:

Tras medir el consumo del equipo, se observó que el sonómetro posee un consumo estable de 14,27 mA y que la LoPy emisora tiene un consumo de 47,30 mA con picos instantáneos de 100 mA cuando transmite por LoRa. Para incluir estos picos se fijó el consumo de la LoPy en 50 mA.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>102</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## **CAPÍTULO 12 – CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS**

---

### **12.1 – Conclusiones**

El equipo diseñado calcula el nivel de presión sonora de una zona determinada y lo transmite inalámbricamente a un ordenador que centraliza la información y la representa en una sencilla interfaz de usuario, por lo que se han cumplido todos los objetivos del proyecto.

También se tomaron muchas medidas para la reducción del ruido eléctrico en el sonómetro, con lo que se consiguió reducirlo en gran medida.

Aunque en este proyecto, el cual abarca la realización de un prototipo, no se ha implementado la autonomía de la fuente de alimentación solar, si se han realizado los cálculos del dimensionado de la misma, por lo que no habría que hacerlo en el proyecto definitivo si se deseara comercializar el equipo.

En base a todo esto, se puede concluir que el prototipo cumple con las expectativas y proporciona unos resultados fiables dentro de su rango dinámico, por lo que es viable realizar un proyecto definitivo una vez se hayan implementado las mejoras deseadas al prototipo.

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>103</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

## 12.2 – Futuras mejoras

1. Reducir el tamaño de la placa. Para ello se puede:
  - a. Cambiar todos los componentes de orificio pasante por componentes smd
  - b. Cambiar la técnica de fabricación de la PCB para permitir la realización de pistas más estrechas
  - c. Prescindir de la realización de placas auxiliares, colocando los circuitos integrados directamente en la PCB
  - d. Optimizar el diseño de la PCB
2. Investigar soluciones para minimizar aún más el ruido eléctrico
3. Mejorar la distribución de los componentes en la PCB para minimizar el ruido eléctrico
4. Realizar mediante otro convertidor buck la alimentación del micrófono para minimizar el ruido de alimentación de este
5. Incorporar al diseño de la PCB todos los componentes añadidos tras las pruebas
6. Eliminar la etapa de autorrango, ya que en este circuito no tiene utilidad
7. Cambiar el micrófono actual por otro con un mayor rango dinámico y con unas dimensiones estandarizadas
8. Realizar un calibrado profesional del equipo

	Red de equipos de medida de ruido con comunicación Lora	Página <b>104</b> de <b>222</b>
	DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA	

9. Optimizar el código de los microcontroladores para minimizar aún más su consumo
10. Incluir un sistema de hibernación en la LoPy emisora que se active cuando el nivel de la batería esté muy bajo para evitar dañar la LoPy
11. Mejorar el aspecto estético de la PCB
12. Realizar una caja adecuada con impresión 3D donde colocar el sonómetro, la LoPy emisora y el cargador de batería
13. Cambiar los tiempos de toma de datos y envío de información para reducir los consumos del microcontrolador. Una opción sería que la LoPy emisora tomara el dato del micrófono cada minuto y el dato de la batería cada hora y, posteriormente, transmita por LoRa el dato del micrófono cada 10 minutos y el dato de la batería cada 5 horas.
14. Utilizar el sensor de temperatura del convertidor analógico-digital para controlar la temperatura del equipo
15. Calcular el nivel de presión sonora medio
16. Añadir un sistema de detección software en el ordenador que mande una alerta cuando el nivel de presión sonora medio supere un umbral determinado y otro que mande una alerta cuando la batería se descargue por debajo de otro umbral
17. Realizar un software en el ordenador que represente en un mapa de la ciudad donde se tomen las medidas el nivel de presión sonora medio de cada zona con colores para su fácil y rápida visualización
18. Añadir comunicación con los móviles. Una opción sería que el ordenador enviara vía internet a una aplicación móvil el nivel de presión sonora medio en la zona solicitada