

MEMORIA

MEDIDOR DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

VOLUMEN 2



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

EINA – UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Datos del proyecto

Número de Volumen	Volumen 2.
Código de proyecto	MCA21
Título de proyecto	Medidor de contaminación ambiental.
Documento	Memoria.
Cliente	Miguel Ángel Torres Portero y Pablo Bosque Obon, profesores del departamento de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza.
Autor	Víctor Gutiérrez García, estudiante de Ingeniería Electrónica y Automática, en la Universidad de Zaragoza.
Fecha y Firma:	

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Índice

1. Objeto	3
2. Alcance	3
3. Antecedentes	4
4. Normas y referencias diversas	7
a. Disposiciones legales y normas aplicadas	7
b. Bibliografía	7
c. Programas de cálculo utilizados	11
d. Plan de gestión de calidad aplicado	11
e. Otras referencias	11
5. Definiciones y abreviaturas	11
a. Abreviaturas	11
b. Definiciones	12
6. Requisitos de diseño	13
a. Requisitos del cliente	13
b. Legislación, reglamentación y normativa aplicables	14
c. Emplazamiento y entorno socio-económico y ambiental	14
d. Estudios realizados encaminados a la definición de la solución adoptada	15
e. Interfaces con otros sistemas y elementos externos	15
7. Análisis de soluciones	16
a. Carcasa	17
b. Fuente de alimentación	18
c. Señales de alerta	20
d. Firmware	21
e. Interfaz de comunicación con usuario	21
f. Almacenamiento de datos	23
g. Gestión del tiempo	24
h. Comunicación	24
i. Unidad de control	25
j. Subsistema RF	26
k. Subsistema acústico	27

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

<i>l.</i>	<i>Subsistema lumínico.....</i>	<i>28</i>
<i>m.</i>	<i>Subsistema de calidad del aire.....</i>	<i>29</i>
8.	<i>Resultados finales</i>	<i>30</i>
<i>a.</i>	<i>Fuente de alimentación.....</i>	<i>30</i>
<i>b.</i>	<i>Interfaz de comunicación con usuario</i>	<i>31</i>
<i>c.</i>	<i>Sistema de almacenamiento.....</i>	<i>31</i>
<i>d.</i>	<i>Sistema de gestión del tiempo.....</i>	<i>31</i>
<i>e.</i>	<i>Sistema de alerta visual LED.....</i>	<i>32</i>
<i>f.</i>	<i>PCB - A.....</i>	<i>32</i>
I.	Conexionado con PCB - B	32
II.	Otros conectores.....	32
III.	Unidad de control.....	33
IV.	Subsistema RF	34
<i>g.</i>	<i>PCB - B.....</i>	<i>34</i>
I.	Conexionado con PCB – A	35
II.	Subsistema acústico	35
III.	Subsistema lumínico	35
IV.	Subsistema calidad del aire.....	36
9.	<i>Planificación.....</i>	<i>37</i>
<i>a.</i>	<i>Etapas</i>	<i>37</i>
<i>b.</i>	<i>Cronograma de fabricación o Diagrama de Gant.....</i>	<i>38</i>
10.	<i>Orden de prioridad entre los documentos básicos.....</i>	<i>40</i>

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

1. Objeto

Con este proyecto se pretende desarrollar un medidor de contaminación ambiental de uso doméstico capaz de recoger información acerca de los principales elementos contaminantes que rodean a una persona en su entorno, ya sea de trabajo o doméstico.

El sistema de medición consta de diferentes sensores que capturan los niveles de contaminación acústica (ruido ambiental), lumínica (radiación solar y ultravioleta), atmosférica (calidad del aire) y electromagnética (densidad de radiaciones electromagnéticas). Además, el medidor consta de una pantalla de visualización y 4 botones que permiten la navegación a través de la interfaz gráfica pudiendo acceder a la información registrada por los sensores en un lapso de tiempo.

Actualmente, los niveles de contaminación del entorno que nos rodea es una preocupación, y existe mucha información, estudios y artículos acerca de qué es contaminante y qué no lo es para un ser humano. Pero no siempre ha sido así, hasta hace unos años no se prestaba mucha atención a si el ambiente en que vive o trabaja una persona es saludable. Por lo que no existen gran cantidad de productos a nivel usuario o doméstico que cubran estas necesidades, de ahí la realización de este medidor, en cambio, a nivel industrial, sí que existen gran variedad de medidores de multitud de elementos contaminantes en todo tipo de industrias, que requieren una gran precisión, y, por tanto, un gran coste económico, lo que no es objetivo de este proyecto.

2. Alcance

Los medidores ambientales industriales están destinados al control de sistemas que generan contaminantes para asegurar que no superan los niveles dañinos tanto para el sistema como para el propio ser humano, son medidores muy específicos que trabajan expuestos a dichos contaminantes.

El medidor ambiental para entorno doméstico está diseñado para lugares de interior donde los datos de contaminantes medidos oscilan lentamente con el tiempo, y donde no va a estar expuesto a condiciones extremas de temperatura ($<-20^{\circ}\text{C}$ y $>50^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa ($> 80\%$).

Los datos obtenidos son guardados para que el usuario pueda consultarlos cuando desee y así obtener un resultado del análisis de su entorno. Dichos datos son almacenados mientras la tarjeta microSD tenga espacio de almacenamiento, en el momento en que ésta se quede sin memoria, los datos serán sobrescritos.

 <p>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</p>	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

El tiempo de almacenado de datos dependerá de la capacidad de la tarjeta microSD. En Anexos¹, se expone un ejemplo de uso para una tarjeta con 2Gb de memoria.

Si en algún momento un contaminante adquiere niveles perjudiciales para la salud, el medidor es capaz de hacer una señal lumínica al usuario para que éste sea consciente.

Las características ambientales de trabajo del medidor de contaminación ambiental, expuestas en base a la temperatura y humedad, son:

- -15°C a 60°C de temperatura
- 5% a 85% de humedad relativa

3. Antecedentes

Los controladores ambientales se utilizan para la medición de influencias medioambientales que se realizan tanto en empresas, fábricas como en el ámbito privado o al aire libre. La técnica medioambiental, es ahora en la actualidad, cuando cobra cada vez mayor importancia.

Durante el siglo XX, la creciente sensibilización respecto al impacto de las actividades humanas en el medio ambiente y la salud pública, ha dado lugar al desarrollo y utilización de diferentes métodos y tecnologías para reducir los efectos de la contaminación. En este sentido, los gobiernos han adoptado medidas de carácter normativo y político para minimizar los efectos negativos y garantizar el cumplimiento de las normas sobre calidad ambiental.

La rápida industrialización ha dado lugar a innumerables accidentes tanto humanos, como ambientales, dando lugar a la contaminación de recursos terrestres, atmosféricos y acuáticos con materiales tóxicos y otros contaminantes. Antes de este periodo (inicios siglo XX), apenas existía un control ambiental, y menos aún, orientado al entorno local de un ser humano. Dicho control se orientaba principalmente al tratamiento de residuos para evitar daños locales en las inmediaciones de una fábrica o lugar de producción, y siempre con una perspectiva a muy corto plazo.

Con todo ello, fue en Europa, a partir de la década de 1970 [1] cuando se empezaron a implementar las primeras leyes relativas a la contaminación ambiental. En consecuencia, la OMS (Organización Mundial de la Salud), creó la primera guía relativa a los contaminantes que constituyen un riesgo para la salud [2].

¹ Apartado “2. Cálculos que justifican la solución adoptada”, subapartado “j. Almacenamiento de datos”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Desde 1996, año en el que Europa estable la “Guía de calidad del Aire para Europa”, hasta el año 2004, se van aprobando sucesivamente una serie de directivas relativas a la protección de la calidad del aire:

- Directiva 1999/30/CE de Consejo de 22 de abril de 1999 acerca de valores límites para dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiental.
- Directiva 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 16 de noviembre de 2000 acerca de valores límite para benceno y monóxido de carbono en el aire ambiental.
- Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de febrero de 2002 acerca de ozono en aire ambiente.
- Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 15 de diciembre de 2004 acerca de arsénico, cadmio, mercurio, níquel e hidrocarburos aromáticos policíclicos en aire ambiente.

En España, a partir de 1968 es cuando se creó la Red de Vigilancia, donde se instalaron dispositivos de vigilancia y control para conocer en tiempo real el estado de la calidad del aire, concretamente en Madrid, por medio de redes manuales, que captaban muestras para ser recogidas a diario y analizadas posteriormente en un laboratorio.



Figura 1 - Captador de muestras contaminantes manual de la RED de Vigilancia de Madrid (1968)

Fue a partir de la década de 1980 cuando se empezaron a utilizar dispositivos electrónicos para la captación de niveles contaminantes. En este sentido, los antecedentes son los registradores de datos ambientales o “data loggers”, que son aparatos electrónicos que miden y registran parámetros (contaminante o no) relativos al medio ambiente en tiempo real para obtener información o para actuar sobre otro sistema en función de los datos obtenidos, enviándolos a un centro de control que analiza dichos datos. Funcionan con sensores integrados o externos y microcontroladores, circuitos programables que ejecutan las instrucciones que han sido grabadas previamente en su memoria.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021



Figura 2 - Estación de vigilancia ambiental actual

Toda esta tecnología fue integrada gradualmente en las industrias, con el fin de controlar el entorno en el que se encuentran los trabajadores, principalmente en las industrias más contaminantes, como las metalúrgicas, las de quema de combustibles fósiles, etc. Concretamente, con el Real Decreto 773/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual [3].

La tecnología integrada en éstos “data loggers” ha ido evolucionando conforme lo ha hecho la propia industria tecnológica, ofreciendo mediciones de mayor precisión, así como el análisis de parámetros contaminantes a través de sensores electrónicos, sin necesidad de usar componentes químicos para observar su reacción a un contaminante.



Figura 3 - Ejemplo de medidor ambiental fijo



Figura 4 - Ejemplo de medidor ambiental portátil

Uno de los sectores que más se aprovecha de estos dispositivos es el industrial, donde se suelen utilizar para controlar los niveles contaminantes de los entornos de trabajo, ya que están rodeados de maquinaria que necesita sustancias contaminantes tanto para su uso como para su mantenimiento, o que expulsa dichos contaminantes a la atmósfera. Las industrias más contaminantes en este sentido son las químicas, metalúrgicas, o las de generación eléctrica mediante combustibles fósiles.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021



Figura 5 - Trabajador de industria metalúrgica



Figura 6 - Trabajador de industria química

Además, los registradores electrónicos de datos ambientales tienen un papel fundamental en el desarrollo de proyectos de arquitectura sostenible, orientando las decisiones hacia un mayor ahorro energético y el correcto uso de los recursos disponibles.

También existen proyectos [4] que utilizan las nuevas tecnologías para ofrecer los datos de contaminación a nivel doméstico, aunque analizan datos ambientales comunes como la temperatura, humedad o intensidad de luz, y no se centran en muchos de los parámetros importantes para definir la calidad del aire (p.e. compuestos orgánicos volátiles), u otro tipo de contaminantes como puede ser la intensidad de ondas de radiofrecuencia.

Por lo tanto, en la actualidad no existe ningún producto que sea capaz de ofrecer los mismos datos de contaminantes a nivel usuario.

4. Normas y referencias diversas

a. Disposiciones legales y normas aplicadas

Criterios generales para la realización de proyectos: UNE 157001 -febrero 2014.

Especifica los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión de calidad: ISO 9001:2015.

b. Bibliografía

- [1] C. Europea, «European Union - Environment,» [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/environment/air/index_en.htm.
- [2] R. C. C. Francisco Javier Rey Martinez, «Biblioteca digital,» de *Edificios saludables para trabajadores sanos: calidad de ambientes en interiores*, Castilla y León, Junta de Castilla y León, 2006, pp. 25-26.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

- [3] M. d. I. presidencia, «Real Decreto 773/1997, disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual,» Madrid, 1995.
- [4] SmartCitizen, «Smart Citizen,» 2015. [En línea]. Available: <https://smartcitizen.me/>.
- [5] I. O. f. Standardization, «ISO,» [En línea]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>.
- [6] P. Europeo, «Boletín oficial del Estado,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2011-81307>.
- [7] I. N. d. S. e. H. e. e. Trabajo, «Boletín Oficial del Estado,» 2001. [En línea]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_234.pdf/528209f8-f019-4027-8005-3162e4b17100.
- [8] F. E. d. M. y. Provincias, «Universidad Politécnica de Cataluña,» 2012. [En línea]. Available: https://www.upct.es/estudios/grado/5041/documentos/salidas_profesionales/L%C3%ADmit es%20radiofrecuencias.pdf.
- [9] P. Europeo, «Directiva 2002\49\CE Evaluación y gestión del ruido ambiental,» [En línea]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>.
- [10] R. D. 286/2006, «Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo,» [En línea]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+al+ruido/96a86542-1ac3-42c1-9df2-8c385c67db60>.
- [11] M. d. T. y. A. Sociales, «Iluminación de los centros de trabajo,» [En línea]. Available: <https://www.diba.cat/documents/7294824/11610426/E05ntp211+iluminacion+de+los+centros+de+trabajo.pdf/054b53c0-bb26-4a1a-9f9a-fa24d180f59b>.
- [12] O. M. d. I. Salud, «Guía práctica solar,» [En línea]. Available: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42633/9243590073.pdf;jsessionid=8FE977C2FCF58A266E3F60E038DC446A?sequence=1>.
- [13] O. d. S. y. M. A. d. Andalucía, «Calidad del aire en interior,» [En línea]. Available: https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824.
- [14] U. P. d. Cataluña, «Calidad del aire en interiores,» [En línea]. Available: <https://lcma.upc.edu/es/control-de-la-calidad-del-aire-en-areas-urbanas/calidad-aire-interior>.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

- [15] B. O. d. Estado, «Real Decreto 102/2011,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-1645>.
- [16] Sensirion, «Total Volatile Organic Compounds (TVOC) and Indoor Air Quality (IAQ),» [En línea]. Available: https://www.catsensors.com/media/pdf/Sensor_Sensirion_IAM.pdf.
- [17] Kingbright, «Led RGB,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2046599.pdf>.
- [18] DFRobot, «Display OLED + Botonera,» [En línea]. Available: <https://www.mouser.es/ProductDetail/DFRobot/DFR0507?qs=sGAEpiMZZMve4%2FbfQkoj%252BJm1f%252BpxDyW%252BDtH229wNLJs%3D>.
- [19] TiendaTec, «Módulo microSD,» [En línea]. Available: https://www.tiendatec.es/arduino/modulos/631-modulo-adaptador-microsd-para-arduino-8406311180004.html?search_query=modulo+uSD&results=1.
- [20] TiendaTec, «Modulo RTC, ZS-042,» [En línea]. Available: <https://www.tiendatec.es/arduino/modulos/400-modulo-zs-042-reloj-en-tiempo-real-rtc-basado-en-ds3231-at24c32-arduino-y-raspberry-pi-8404001180013.html>.
- [21] Atmel, «ATMEGA32U4-AU,» [En línea]. Available: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4_Datasheet.pdf.
- [22] Bourns, «CD1206-S01575,» [En línea]. Available: https://www.mouser.es/datasheet/2/54/CD1206_S01575-777369.pdf.
- [23] Q. Crystals, «HC-49S,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1497894.pdf>.
- [24] Bourns, «MH2029-300Y,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1914019.pdf>.
- [25] Bourns, «CG0603MLC-05E,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2360367.pdf>.
- [26] Bourns, «MF-MSMF050-2,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2264697.pdf>.
- [27] Maxim, «MAX2015EUA+,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/668933.pdf>.
- [28] R. Solutions, «ANT-24G-S21,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1637081.pdf>.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

- [29] C. C. - F. S. Valero, «Grupo San Valero,» [En línea]. Available: http://profesores.sanvalero.net/~arnadillo/Documentos/Apuntes/Radiofrecuencia/UD7_CO_MUNICACIONES%20INAL%C1MBRICAS/UD7_4_CALCULO%20ANTENA%20VERTICAL%20RF.pdf
- [30] Maxim, «MAX4466EXK + T,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2001217.pdf>.
- [31] M. Pro, «Electret - ABM715,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2869768.pdf>.
- [32] Silonex, «NSL-19M51,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/77395.pdf>.
- [33] Vishay, «VEML6070,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2245072.pdf>.
- [34] Vishay, «Application note - VEML6070,» [En línea]. Available: <https://www.vishay.com/docs/84310/designingveml6070.pdf>.
- [35] Sharp, «GP2Y1010AU0F,» [En línea]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/gp2y1010au_e.pdf.
- [36] Sharp, «Application note of Sharp dust sensor GP2Y1010AU0F,» [En línea]. Available: https://www.mouser.es/datasheet/2/365/gp2y1010au_appl_e-1483236.pdf.
- [37] C. Nafis, «Air Quality Monitoring,» [En línea]. Available: <https://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/>.
- [38] Sensirion, «SGP30,» [En línea]. Available: https://www.mouser.es/datasheet/2/682/Sensirion_Gas_Sensors_Datasheet_SGP30-2320451.pdf.
- [39] Micrel, «MIC5225,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1580469.pdf>.
- [40] O. Semiconductor, «BSS138,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2304519.pdf>.
- [41] Arduino, «Downloads,» [En línea]. Available: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-leonardo-schematic_3b.pdf.
- [42] Adafruit, «Downloads,» [En línea]. Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-sgp30-gas-tvoc-eco2-mox-sensor/download>.
- [43] R. C. C. Franciso Javier Rey Martinez, «Edificios saludables para trabajadores sanos: calidad de ambientes interiores,» [En línea]. Available: https://bibliotecadigital.jcyl.es/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=10121878.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

[44] X. G. Solá, «Riesgos generales de la calidad del aire en interiores,» [En línea]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+44.+Calidad+del+aire+interior.>

c. Programas de cálculo utilizados

Nombre	Fabricante	Versión
Altium designer	<i>Altium Limited</i>	2004
SketchUp	<i>Google LLC</i>	2017

Tabla 1 - Programas de cálculo utilizados

d. Plan de gestión de calidad aplicado

Para la gestión de la calidad se ha seguido la normativa ISO 9001:2015 - Sistemas de gestión de la calidad [5]

e. Otras referencias

Punto no aplicado en este proyecto.

5. Definiciones y abreviaturas

a. Abreviaturas

Abreviatura	Significado
OLED	<i>Organic light-emitting diode</i>
Micro / uP / uC	<i>Microprocesador o microcontrolador</i>
AO	<i>Amplificador operacional</i>
V	<i>Voltio</i>
A	<i>Amperio</i>
D	<i>Diodo</i>
R	<i>Resistencia</i>
C	<i>Condensador</i>

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Abreviatura	Significado
Vcc	<i>Voltaje de tensión continua</i>
GND	<i>Ground (masa)</i>
Bat	<i>Batería</i>
SW	<i>Switch (interruptor)</i>
uSD	<i>Micro SD</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
Mic	<i>Micrófono</i>
CCD	<i>Charged-coupled device</i>
LiPo	<i>Litio Polímero</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

Tabla 2 - Abreviaturas

b. Definiciones

- **Batería:** dispositivo acumulador de energía que consiste en una o varias celdas electroquímicas que convierten energía química almacenada en electricidad. Es capaz de cargarse en energía cuando se conectan sus bornes a una fuente de alimentación, aunque los ciclos de carga y descarga de una batería son limitados.
- **Resistencia:** componente pasivo de un circuito eléctrico que se opone al paso de la corriente en forma de electrones. La unidad en el sistema internacional es el ohmio, que se denota con la letra griega omega (Ω).
- **Condensador:** dispositivo eléctrico pasivo capaz de almacenar energía a través de un campo eléctrico. Está formado por dos superficies conductoras, separadas por un material dieléctrico, en situación de influencia total, es decir, que todas las líneas de campo eléctrico de una placa pasan a la otra.
- **Amplificador Operacional:** elemento electrónico con dos entradas y una única salida, en el que la salida está definida como la diferencia de las entradas multiplicadas por un factor K llamado ganancia. ($V_{out}=K*(V_{in1}-V_{in2})$).

 <p>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</p>	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

- *Sensor*: dispositivo que transforma una magnitud física en una señal eléctrica (normalmente en tensión). Los parámetros característicos más importantes de los sensores son el rango o margen de medida que es capaz de dar el sensor, la precisión y la fidelidad que nos dice si al tomar varias medidas se obtiene el mismo valor en todas las mediciones.
- *Regulador Lineal de tensión*: es un regulador de voltaje basado en un elemento activo que opera en zona lineal, o uno pasivo (diodo zener) que opere en su zona de ruptura inversa. El dispositivo regulador está diseñado para actuar como una resistencia variable, ajustada continuamente a una red divisor de tensión para mantener constante dicha tensión de salida. La potencia que disipan es muy pequeña, ya que la diferencia entre la entrada y la salida suele ser baja.
- *Display Oled*: es un tipo de pantalla formada por diodos OLED, diodos que se basan en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos.
- *Microcontrolador*: es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una función específica. En su interior incluye las tres principales unidades funcionales de un computador: unidad central de procesamiento, memoria, periféricos (contadores, conversores analógico-digitales...)
- *LED*: Light Emitting Diode (diodo emisor de luz), es un tipo de diodo que emite luz de diferentes longitudes de onda al pasar una corriente eléctrica a través de él.
- *PCB*: son las siglas para tarjeta de circuito impreso, se utiliza para conectar eléctricamente, a través de caminos conductores, diferentes componentes electrónicos. Está construida por un material base o sustrato laminado que puede ser rígido o flexible y que actúa como aislante. Pueden ser de una o varias capas en las que en cada una de ellas hay un circuito diferente.

6. Requisitos de diseño

a. Requisitos del cliente

Se pretende diseñar un medidor de contaminación ambiental para uso doméstico con las siguientes características:

- Facilidad de uso con controles simples e intuitivos.
- Monitorización de los siguientes cuatro contaminantes:
 - Ruido
 - Intensidad luz visible y ultravioleta

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

- Compuestos orgánicos volátiles
- Concentración de polvo en el aire
- Intensidad de las señales de radiofrecuencia
- Precisión en las mediciones:
 - Ruido: +/- 1 dB
 - Intensidad luz visible: +/- 5 lux
 - Compuestos orgánicos volátiles: +/- 10 ppb
 - Concentración de polvo en el aire: +/- 5%
 - Intensidad de las señales de radiofrecuencia: +/- 10 μ W
- Posibilidad de configurar y modificar los parámetros límite de cada contaminante.
- Alimentación con batería recargable 3.7V tipo lipo, con autonomía mínima de 2 días.
- Alarma lumínica indicando el estado de los contaminantes medidos en base a tres colores: verde, amarillo, rojo.
- Unidad central de lógica programable basada en microcontrolador.
- Características físicas: para el montaje del equipo se debe utilizar una caja plástica de PLA (poliácido láctico), diseñada con propósito comercial.
- Diseño del equipo para asegurar la compatibilidad electromagnética (EMC) y cumplimiento de las directivas comunitarias que son de aplicación.
- Características ambientales de trabajo:
 - Rango de temperatura: -15°C a 60°C
 - Rango de humedad relativa: 5% a 85%.

b. Legislación, reglamentación y normativa aplicables

Se tendrá en cuenta que todos los componentes y elementos que forman parte del medidor ambiental cumplan con la normativa RoHS (Restriction of Hazardous Substances), incluida en la Directiva 2011/65/UE [6] que garantiza que el sistema es seguro y no supone un riesgo para la salud ni para el medio ambiente, evitando la utilización de ciertas sustancias, o niveles elevados de éstas, para fabricar los componentes.

c. Emplazamiento y entorno socio-económico y ambiental

El medidor ambiental no es un producto de lujo, ni se trata de un producto de precisión, sino que está orientado para uso doméstico y cumple una función específica, principalmente a nivel informativo.

Por lo que sus características y prestaciones han de ajustarse a las especificaciones exigidas por el consumidor objetivo. Es decir, todas las decisiones tomadas están orientadas a obtener la mejor relación calidad-precio, procurando diseñar un equipo que se ajuste al precio de productos de uso doméstico.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

d. *Estudios realizados encaminados a la definición de la solución adoptada*

La mayoría de los estudios realizados son estudios de mercado, ya que la finalidad de este producto es su producción en masa y su posterior venta, por lo que los análisis están centrados en el emplazamiento de este artículo dentro del mercado económico y necesidades actuales de la sociedad o país donde se quiera vender.

Es un producto poco habitual en el mercado, sobre todo para uso doméstico, puesto que los ya existentes no miden los mismos parámetros que el medidor ambiental, por lo que no resultan una competencia directa.

Igualmente, sería necesario realizar estudios que analicen las ventajas y desventajas del medidor ambiental en comparación con los dispositivos parecidos del mercado y la posible competencia indirecta de otros dispositivos, para así encontrar el mercado de venta más favorable.

También será necesario realizar estudios sobre la viabilidad de producir el medidor ambiental, de encomendar la tarea de producción a otra empresa, de su almacenaje y de su venta a través de internet o tienda física.

Por ello, la mejor opción, en este caso, sería la venta a través de internet haciendo una campaña de marketing en redes sociales y diferentes páginas web, así como realizar una campaña de crowdfunding (micro mecenazgo) para financiar el proyecto. Todo ello consigue que se puedan reducir los costes que harán más competitivo el medidor ambiental frente a otros productos relacionados.

e. *Interfaces con otros sistemas y elementos externos*

A la hora de realizar el diseño se ha tenido en cuenta ciertas características para garantizar la protección tanto del medidor ambiental como del usuario que lo manipula.

Para ellos se ha aislado completamente los cables conductores por los que circulen corrientes elevadas, la carcasa es de plástico PLA aislando al usuario de los componentes eléctricos, además, ésta va a envolver todo el sistema eléctrico, para que el usuario no tenga la posibilidad de tocar ningún contacto eléctrico.

También los botones están elegidos específicamente para garantizar este aislamiento entre el sistema eléctrico y el usuario.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

7. Análisis de soluciones

A la hora de desarrollar el medidor contaminación ambiental se han seguido una serie de premisas que pretenden garantizar los requisitos impuestos, así como un producto robusto en todos los aspectos:

- *Consumo*: debe ser lo más reducido posible. Está diseñado para minimizar el consumo de energía puesto que el objetivo es que sea capaz de recopilar datos el mayor tiempo posible. Para ello será necesario la programación en modo “Bajo consumo”, tanto del microcontrolador como del resto del sistema, ahorrando batería.
- *Tamaño*: el medidor ambiental debe estar situado en la parte central de la habitación donde se encuentre para maximizar el análisis de la información que recoge, o en el lugar donde se desee medir los diferentes parámetros de contaminación, por lo que su tamaño debe ser reducido para que no destaque, pero suficiente para poder ser manipulado por el usuario y los datos mostrados puedan ser legibles. Ha de tener una forma ergonómica para su mejor manipulación con una o dos manos.
- *Sencillez*: el sistema está diseñado para que su uso sea fácil y sencillo, solo dispone de 3 botones principales para guiarse a través de los menús y un botón de “reset”. Cuanto menor sea el número de componentes, menor será la probabilidad de fallo y, por tanto, menor será el coste.
- *Facilidad de uso*: el medidor ambiental resulta sencillo de manejar y muy intuitivo, lo que hace que la configuración y programación de los parámetros sea sencilla.

Se restringe el uso de sustancias en la fabricación del sistema que superen el valor máximo de concentración en peso de los materiales homogéneos que lo componen, dichas sustancias son:

- Plomo (0.1%)
- Mercurio (0.1%)
- Cadmio (0.01%)
- Cromo hexavalente (0.1%)
- Polibromobifenilos (0.1%)
- Polibromomodifeniléteres (0.1%)

Se establecen una serie de requisitos de control, expuestos a continuación:

- Asegurar el cumplimiento de restricción de uso de sustancias peligrosas
- Se debe elaborar documentación técnica
- Necesaria la elaboración de declaración UE de conformidad, y colocar el marcado CE sobre el producto final. Dicho marcado CE, debe ser visible, legible e indeleble, y será colocado antes de la introducción del dispositivo en el mercado.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

- Se debe conservar la documentación técnica realizada y la declaración de conformidad durante un periodo de 10 años posteriores a la introducción del medidor ambiental en el mercado.
- Asegurar que cualquier modificación o actualización de cualquiera de los elementos del medidor de contaminación ambiental se adapta a las modificaciones de las normativas aplicadas.
- Se debe incluir un identificador en cada producto comercializado.
- Se deben realizar medidas correctoras cuando algún producto resulte no conforme, y avisar a las autoridades competentes.
- Se debe elaborar la documentación en un idioma comprensible por las autoridades competentes en el país o países de venta del medidor de contaminación ambiental.

a. Carcasa

A la hora de elegir un material para el conjunto de piezas que conforman la caja envolvente del dispositivo se ha tenido en cuenta la resistencia, y el peso.

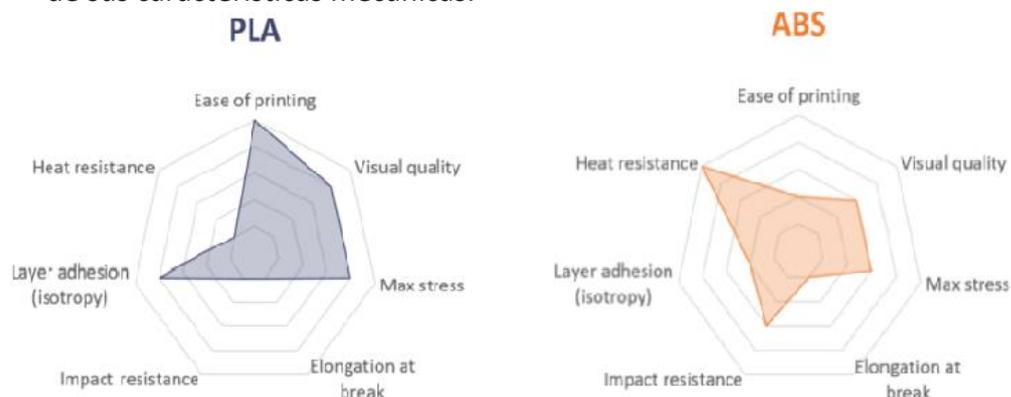
La carcasa plástica ofrece un conjunto de ventajas frente a la metálica que la hacen más apropiada para el medidor ambiental.

El plástico es un material no conductor, que permite aislar al usuario frente a contactos eléctricos.

Además, es menos denso, entre 0.9 g/cm³ (polibutadieno) y 1.5 g/cm³ (poliimidas), que el metal, entre 269 g/cm³ (aluminio) y 1134 g/cm³ (plomo), por lo tanto, contribuye a la disminución del peso final.

Posee un coste de producción mucho menor que una metálica, y, por tanto, permite un abaratamiento del coste de fabricación del producto final, y, por ende, el coste de venta.

Dentro de los materiales disponibles para impresión 3D, los más utilizados, son el PLA (ácido poliláctico), y el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno). En la siguiente figura se muestran las principales diferencias entre un material y otro en función de sus características mecánicas.



 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Figura 7 - Comparativa entre material PLA y ABS

El material de fabricación elegido es PLA, puesto que es biodegradable (sus componentes se obtienen a partir del almidón), lo que permite ser más respetuosos con el medio ambiente en el proceso de diseño y fabricación del producto. Además, su coste de compra es menor que el ABS, y sus propiedades físicas permiten imprimir con mayor facilidad, teniendo que utilizar temperaturas menores que en el caso del ABS.

b. Fuente de alimentación

A la hora de alimentar todo el dispositivo existen dos opciones:

1. Alimentación por conexión permanente con red eléctrica.
2. Alimentación por batería

Se ha optado por la opción 2, es decir, una batería como fuente de alimentación para todo el circuito debido a que la función principal del medidor ambiental es medir los contaminantes de un entorno, por lo que es necesaria la portabilidad del producto por diferentes lugares y espacios, sin necesidad de tener cerca una toma de corriente. Todo ello provoca un aumento de la versatilidad del medidor ambiental.



Figura 8 - Batería LiPo

Una vez elegida la fuente de alimentación inicial, se plantean dos opciones para gestionar la batería:

1. Diseñar un circuito específico para la carga de la batería, y un circuito para la estabilización de la tensión a 5V.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

2. Optar por la compra de módulos prefabricados que realicen tanto la carga de la batería, como la estabilización de la tensión de alimentación del dispositivo.

Por tanto, se ha optado por la opción 2, es decir, por utilizar módulos independientes prefabricados, puesto que no es objeto del mismo el análisis y la gestión de la carga y descarga de la batería, que facilitan el desarrollo del dispositivo y garantizan un correcto control de la batería.

Igualmente, se ha optado por la no inclusión de interruptor de encendido y apagado del dispositivo, puesto que se presupone que siempre debe estar encendido y así poder registrar los datos de contaminación en una línea temporal constante.

Existen varios modelos diferentes, para ambas tareas (carga de batería, estabilizar tensión a 5V). En el caso del módulo de carga de baterías, se diferencian en la intensidad de corriente con la que son capaces de cargar la batería, ofreciendo un mayor o menor tiempo de carga en función de dicho parámetro, así como el voltaje al que se carga la batería. Cuanto menor es el tiempo de carga ofrecido, mayor es el coste de compra.

En el caso del convertor step-up, se diferencian en su eficiencia de conversión, y en el rango de tensión de entrada y salida. Cuanto mayor es la eficiencia, mayor es su coste de compra.

También, existen opciones que integran los dos módulos descritos anteriormente en una misma PCB, pero esto incrementa su precio notablemente.

Los componentes que forman el sistema de alimentación se han elegido en base a las especificaciones de consumos globales de todo el sistema, a su precio de compra y a las capacidades que carga de batería en caso del módulo TP4056, y a la eficiencia de conversión, y facilidad de montaje y conexionado, en el caso del convertor step-up.

Con todo ello, se han escogido los módulos TP4056 y el convertor step-up basado en S9V11F5, además de una batería de gran capacidad, lo que garantiza más tiempo de funcionamiento entre carga y carga.

En el documento “Anexos”, se dispone del cálculo de consumos de todo el sistema².

² Apartado “2. Cálculos que justifican las soluciones adoptadas”, subapartado “c. Fuente de alimentación”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

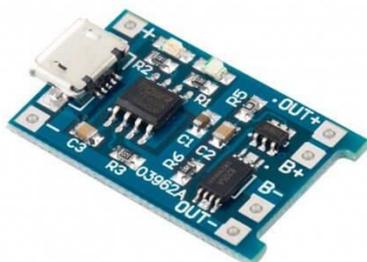


Figura 9 - Módulo cargador de batería TP4056



Figura 10 - Modulo step-up

c. Señales de alerta

Para poder establecer una alerta que permita identificar al usuario si su entorno es saludable de una manera rápida y eficaz, se han planteado dos opciones:

1. Alerta visual mediante LEDs
2. Alerta sonora mediante un zumbador

Finalmente, se ha optado por una alerta visual, ya que es menos invasiva para el usuario. Además, que una alerta sonora, que se active de manera intermitente, o constante, cuando se superen el límite de los contaminantes, puede resultar molesto para un usuario.

Por tanto, la señal de alerta visual elegida es en base a colores generados con iluminación led RGB desde el interior de la carcasa.



Figura 11 - LED RGB

En el documento “Anexos”³, se especifica el modelo concreto elegido, y los cálculos necesarios para su uso, así como la gestión de los colores del LED en base a los contaminantes.

³ Apartado “2. Cálculos que justifican la solución adoptada”, subapartado “d. Señales de alerta”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

d. Firmware

En este sentido, se pueden optar por varias opciones a la hora de elegir el firmware que debe llevar el sistema integrado. Existe la posibilidad de crear un firmware específico para el microcontrolador elegido, o se puede optar por instalar en su memoria, un firmware ofrecido por una empresa ajena.

Se ha optado por la segunda opción, ya que el objetivo del medidor de contaminación ambiental no es el desarrollo de un microcontrolador y sus periféricos. Esto permite reducir costes y tiempo en el desarrollo del medidor ambiental.

Por todo ello, y debido a la elección del microcontrolador expuesto anteriormente, se ha optado por el firmware de Arduino, ya que es una tecnología conocida, y su instalación es sencilla a través de un programa facilitado por el propio Atmel. Además, dispone de gran cantidad de información para su uso, y ofrece multitud de librerías que permiten gestionar casi cualquier sensor o dispositivo extra.

e. Interfaz de comunicación con usuario

En este sentido, las opciones planteadas para realizar la comunicación con el usuario, y poder ofrecer así los datos de contaminación, son escasas.

1. No incluir interfaz, y que el usuario solo pueda acceder a la información de contaminantes mediante la tarjeta microSD.
2. Una interfaz sonora mediante la inclusión de altavoces que lean los datos de contaminación.
3. Interfaz visual, mediante un display, ya sea táctil, o a través de una botonera.

Entre las opciones expuestas anteriormente, la primera no es viable, ya que uno de los requisitos del dispositivo es que el usuario tenga acceso a los datos de contaminación en tiempo real de manera rápida y sencilla. La segunda opción, complica el desarrollo en gran medida, además que acceder al dato de un contaminante en concreto podría resultar muy tedioso.

Por tanto, se ha optado por una interfaz visual, como es un display, que ofrezca los datos de manera legible al usuario.

Este componente se ha elegido como un módulo prefabricado por una empresa externa, con motivo de facilitar el desarrollo del dispositivo, así como la compatibilidad con el resto de componentes, y el mantenimiento del mismo en las sucesivas versiones.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

En este sentido, existen diferentes tipos de tecnologías para un display, como son IPS-LCD (In-Plane Switching), OLED (Organic Light-Emitting Diode Liquid Crystal Display), TFT-LCD (Thin-Film Transistor Liquid Crystal Display), pero entre todas ellas, se ha optado por la tecnología OLED, ya que en los últimos años ha sufrido un gran desarrollo que ha permitido reducir su precio de fabricación y compra en gran medida. Además de ser la tecnología que menos consumo de corriente presenta respecto al resto mencionadas. Otro motivo para elegir tecnología OLED, es que apenas existen opciones de displays del resto de tecnologías que tengan un tamaño reducido que permita ser usado en el medidor de contaminación ambiental.

Además de las tecnologías mencionadas anteriormente, existe la tecnología LCD, cuyo precio de compra es reducido, pero tiene otras limitaciones relativas a la manera de mostrar los datos en el display, ya que suelen presentar líneas de escritura predefinidas, y que hacen que sea descartada como opción, puesto que en el medidor de contaminación ambiental se pretende mostrar el logotipo del producto.

Una vez se ha elegido el tipo de tecnología, existen varias opciones:

1. Display OLED táctil
2. Display OLED + Botonera independiente
3. Módulo display OLED + botonera

La opción del display táctil ha sido descartada debido, principalmente, al elevado precio de este tipo de tecnología, además de la complejidad técnica que supone integrar un display táctil, se añade la ergonomía, ya que el medidor de contaminación ambiental no está diseñado para un uso prolongando de la observación de los contaminantes mediante el display, sino para consultas esporádicas de dichos contaminantes.

Por otro lado, la opción de integrar una botonera independiente que permita navegar por los diferentes menús, se ha descartado debido a la existencia de módulos que ya integran todo lo necesario en un único dispositivo, facilitando tanto la lectura de los botones pulsados como la comunicación entre display y microcontrolador.

Por tanto, la opción 3 ha sido la elegida, con el módulo que se ve en la siguiente figura.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021



Figura 12 - Módulo display OLED + Botonera

f. Almacenamiento de datos

A la hora de almacenar los datos de cada contaminante, es inviable utilizar la memoria del propio microcontrolador, ya que es muy escasa, y es necesaria para alojar tanto el firmware, como el software de control de todo el dispositivo.

Por tanto, para gestionar el almacenamiento de los datos es necesaria la inclusión de memoria externa al sistema, y en este sentido, se plantean dos opciones:

1. Incluir chipset de memoria, junto con los periféricos que necesita
2. Optar por un módulo prefabricado

Para facilitar el almacenado de todos los datos, y evitar la gestión que supone la inicialización y mantenimiento de una tarjeta microSD, se ha escogido la opción 2, utilizar un módulo prefabricado con las comunicaciones necesarias para poder almacenar los datos leídos en los sensores en una tarjeta microSD.

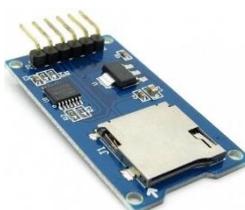


Figura 13 - Módulo lector tarjeta microSD

En el documento “Anexos”⁴, se expone el cálculo aproximado de duración de la capacidad de almacenamiento para una tarjeta microSD de 2GB. Así como la estructura de ficheros necesaria para el correcto funcionamiento del medidor ambiental.

⁴ Apartado “2. Cálculos que justifican la solución adoptada”, subapartado “j. Almacenamiento de datos”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

g. Gestión del tiempo

Debido a las características que dispone el medidor ambiental, se ve obligado cumplimiento la inclusión de un módulo RTC (Real Time Clock), que permita una correcta gestión temporal de todo el sistema.

Existen dos opciones para mantener este control temporal:

1. Utilizar el propio timer interno del microcontrolador
2. Utilizar un módulo externo

Se ha elegido la opción 2, puesto que el dispositivo debe almacenar datos de cada sensor en diferentes rangos de tiempo, es necesario el módulo para mantener siempre una referencia temporal, independientemente de que el medidor ambiental esté encendido o apagado, ya que el propio módulo cuenta con una alimentación propia para evitar que se apague. En cambio, si se hubiese escogido la primera opción, esta funcionalidad se perdería y sería necesario reestablecer la fecha y hora cada vez que se encienda el dispositivo.

Se ha escogido un módulo prefabricado por una empresa externa para facilitar la conexión con el medidor ambiental, por el bajo coste de compra y por la disponibilidad del mismo.

Con este módulo, se puede mantener la fecha y hora y cada registro almacenado en la tarjeta microSD, para poder obtener la línea temporal de las mediciones de cada sensor.



Figura 14 - Módulo Real Time Clock (RTC) DS3231

En anexos, se puede observar la forma de gestionar el tiempo para permitir obtener los datos de los sensores en instantes de tiempo concretos⁵.

h. Comunicación

La mayoría de comunicaciones entre dispositivos situados físicamente cerca se realiza mediante USB, por lo que se ha elegido dicho protocolo y tipo de conector para poder cargar el software de control en el microcontrolador.

⁵ Propuesta de software “Software 12 - Función para la gestión de los tiempos de las interrupciones”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Por otro lado, existen diferentes protocolos de comunicación que permitan comunicar el microcontrolador con periféricos, ya sean módulos prefabricados, o los subsistemas que conforman el resto del medidor ambiental.

Por ello, se ha optado por los protocolos SPI para la comunicación con el módulo que gestiona el almacenamiento, y comunicación I2C para el resto de elementos, ya que permite crear una red de sensores (maestro-esclavo) con tan solo dos líneas de comunicación.

Los protocolos basados en comunicaciones inalámbricas, como puede ser wifi, o bluetooth, han sido descartadas por su complejidad, porque todos los elementos del dispositivo van a estar confinados en una misma carcasa, y por las posibles interferencias que se generan en las comunicaciones inalámbricas, que dificulta el envío de datos.

i. Unidad de control

A La hora de elegir los elementos de control de todo el sistema, hay dos opciones de circuitería, una basada en electrónica analógica, y otra en electrónica digital.

Se ha optado por un circuito basado en electrónica digital debido a que el microcontrolador permite realizar todas las acciones necesarias para el correcto funcionamiento del medidor de contaminación ambiental mostrando en el display OLED todos los parámetros necesarios, así como poder almacenarlos de manera estructurada.

Adicionalmente, el uso de un microcontrolador aumenta la robustez del circuito electrónico al estar compuesto por menos componentes que una circuitería basada en electrónica analógica.

Otra ventaja del uso de microcontroladores, es tener un mayor control tanto de las variables a medir como del flujo de información dentro del sistema.

Una vez se ha optado por la electrónica digital, se presentan dos opciones:

1. Utilizar un microcontrolador, la tecnología actual permite disponer en este tipo de circuitos integrados varios muchas de aplicaciones que se necesitan para el medidor ambiental, y que permiten el manejo de los diferentes elementos del sistema, como pueden ser las comunicaciones con los sensores, la lectura de datos o el display OLED.
2. Utilizar un microprocesador, el cual no dispone de algunas de los periféricos que, si contiene un microcontrolador, ya que el microprocesador solo dispone de una CPU, a favor de ofrecer una capacidad de operaciones lógicas mayor y más velocidad de procesamiento.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Con todo ello, se ha optado por la opción 1, ya que el medidor de contaminación ambiental es un sistema relativamente sencillo que no requiere manejar gran cantidad de datos, ni velocidad de procesamiento alta, ni realizar operaciones matemáticas complejas. Además, del reducido precio que tienen los microcontroladores frente a los microprocesadores.

A la hora de elegir el microcontrolador que controlará el medidor ambiental, existen varias empresas fabricantes de chips de microcontroladores. Entre ellas, destacan Microchip, Atmel, Analog Devices, National Semiconductors o Toshiba.

Se ha elegido al fabricante Atmel debido a que es una de las mayores empresas en este sector, tienen una gran experiencia y fiabilidad garantizando muy buenas prestaciones.

Dentro de toda la gama de procesadores que ofrece la empresa Atmel, se ha buscado un microcontrolador que ofrezca suficientes pines de puertos de entrada y salida tanto analógicos como digitales, que tenga una memoria ROM que permita tener alojado tanto el firmware como el software de control del medidor ambiental, y que tenga un consumo muy reducido al ponerlo en modo “stand by”.

Además de todo lo anterior, los microcontroladores de la empresa Atmel, son también los elegidos por la empresa Arduino para sus desarrollos, lo que la elección de un microcontrolador de Atmel, facilita notablemente la tarea de instalación del firmware de Arduino.

j. Subsistema RF

A la hora de elegir un chip que permita la lectura de la intensidad de la señal de radiofrecuencia, se ha elegido entre dos opciones:

1. Uso de un amplificador operacional convencional
2. Uso de un chipset con control y ajuste de la tensión de salida

Se ha optado por la opción 2, ya que existen chipsets que incluyen el modo RSSI, que permite obtener la potencia (en DB's) de la señal de radiofrecuencia leída, a través de una tensión de salida con una pendiente creciente constante, lo que facilita en gran medida la lectura y análisis del contaminante. Con todo ello, se ha elegido un chipset que tenga poco consumo de corriente, y que tenga un rango de detección de frecuencias que englobe las más comunes en un entorno doméstico, como pueden ser las de radio, bluetooth, o las de wifi (2.5G).

En cuanto a la antena, existen varios tipos de configuraciones diferentes, como las antenas monopolo, dipolo, de panel plano, parabólicas, etc., y que difieren en sus características físicas de ganancia, polarización o el patrón de irradiación.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Por ello, se ha optado por una antena de tipo cuarto de onda (monopolo), ya que es la más sencilla de implementar, y debido a que, el objetivo de la antena es poder captar la onda para analizar su potencia, y no la información que contiene.

En este sentido, los componentes elegidos son:



Figura 15 - Sensor intensidad RF MAX2015EUA+



Figura 16 - Antena RF

En el documento “Anexos”, se especifican cada uno de los cálculos necesarios que determinan la elección de los componentes, además de lo expuesto anteriormente⁶.

k. Subsistema acústico

Relativo al amplificador, existen multitud de empresas fabricantes de chips que contienen 1,2 o incluso más AOs en su interior. Y sus características difieren principalmente en su tensión de trabajo, en el ancho de banda, o en la velocidad de respuesta ante la entrada de una señal, así como las limitaciones de consumo.

Con todo ello, se ha elegido un amplificador que cumple con las necesidades de su propósito, que es amplificar la señal del micrófono para ser leída por el microcontrolador, que tenga un coste de compra barato, ya que no se necesita un amplificador de precisión (que incrementaría el precio notablemente), puesto que el objetivo es medir la intensidad media de la señal en un lapso de tiempo, y no es necesario muestrear y reconstruir dicha señal, ya que no se analiza la información que contiene.

En cuanto al micrófono, existen variedad de alternativas y opciones a elegir, pero se pueden englobar en dos tipos de micrófonos:

1. Electret
2. De condensador

⁶ Apartado “2. Cálculos que justifican la solución adoptada”, subapartado “i. Subsistema RF”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Se ha escogido la opción de micrófono electret, ya que es el que ofrece una mejor relación calidad precio, además de una gran estabilidad ante el calor y la humedad.



Figura 17 - Amplificador MAX4466EXK + T Figura 18 - Micrófono electret

En el documento “Anexos”, se especifica la manera de obtener y manipular la información recogida por el micrófono⁷.

I. Subsistema lumínico

En cuanto a la medición de la intensidad de luz visible, la tecnología más ampliamente presente en el mercado son las fotorresistencias, por lo que se ha optado por dicha opción, ya que su precio es más reducido frente a otras tecnologías como el fotodiodo, el fototransistor, la célula fotoeléctrica, o los sensores CCD y CMOS.

Por otro lado, existen luxímetros compactos, y que podrían resultar una opción interesante, de no ser por la baja precisión que tiene en el rango de precios en que se encuentra una fotorresistencia.

Respecto a los sensores de radiación ultravioleta presentes en el mercado, las opciones se ven más reducidas, sobre todo, en una gama media/baja de precios. Todas las opciones consultadas se basan en una tecnología de fotodiodo que es capaz de convertir la luz de longitud de onda ultravioleta en corriente. En este sentido, las opciones planteadas son el sensor GUVA-S12SD, y el sensor VEML6070.

La segunda opción ha sido la escogida (VEML6070), principalmente por su mayor sensibilidad, su mayor rango de detección del espectro de frecuencias, y por el uso del protocolo I2C para la transmisión de los datos. Además, existen librerías que permiten la conversión directa de la intensidad de luz ultravioleta al parámetro de índice ultravioleta, que es el usado comúnmente para definir este tipo de contaminante.

⁷ Apartado “2. Cálculos que justifican la solución adoptada”, subapartado “j. Subsistema Acústico”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Por tanto, los sensores elegidos son:

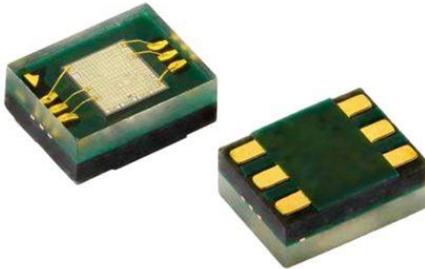


Figura 19 - Sensor VEML6070



Figura 20 - Fotorresistencia NSL-19M51

En el documento “Anexos”, se especifican los cálculos necesarios que permiten leer e interpretar tanto los datos de intensidad de luz visible, como el índice de luz ultravioleta⁸.

m. Subsistema de calidad del aire

Para la medición de la calidad del aire, la mayoría de sensores se basan en la concentración de gases del entorno, como puede ser CO₂, etanol, etc, los cuales no son objeto de este proyecto. Para la medición de compuesto orgánicos volátiles, existen pocos sensores capaces de ofrecer un dato con una mínima precisión y cuyo precio se ajuste a las necesidades de este proyecto. Debido a ello, a que dispone de comunicación I2C, y a que existen librerías que permiten leer los datos del sensor fácilmente, se ha optado por el sensor SGP30.

En cuanto a la lectura de concentración de polvo, la tecnología usada comúnmente está basada en LED, lo que provoca que su precio sea relativamente bajo. Por ello, se ha escogido el sensor SHARP, ya que es el único encontrado que se ajusta a las necesidades de precio del proyecto, además de ofrecer los datos de concentración de polvo a través una tensión de salida con una pendiente constante, lo que facilita su análisis, y de existir librerías específicas para el sensor que permiten leer fácilmente los datos.

Los sensores escogidos son:

⁸ Apartado “2. Cálculos que justifican la solución adoptada”, subapartado “k. Subsistema lumínico”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021



Figura 21 - Sensor calidad aire SGP30 Figura 22 - Sensor concentración de polvo GP2Y1010AU0

En el documento “Anexos”, se expresa la forma de obtener tanto el dato de concentración de polvo, como la el de compuesto orgánicos volátiles a través de los sensores escogidos⁹.

8. Resultados finales

a. Fuente de alimentación

Gracias al uso de un módulo de carga de baterías LiPo basado en el chip TP4056, que dispone de un conector microUSB como punto de entrada de alimentación, se puede gestionar la carga de la batería Li-Po de 3.7V y 2600mAh de capacidad a través de un cargador convencional que proporcione 5V a su salida. Dicho módulo, dispone de 4 pines de salida, de los cuales, dos (bat+, bat -) son conectados a los bornes de la batería, mientras que los otros dos (V+, V-), son conectados a las entradas del convertor step-Up.

A partir de la tensión proporcionada del regulador de carga de la batería (módulo TP4056), que directamente da la tensión de la batería, y mediante la regulación de un convertor step-up que permite la transformación de la tensión de 3.7V-4.2V variables de la salida del regulador de carga TP4056 a 5V fijos, obtenemos la tensión necesaria para alimentar todo el sistema, y que son conectados al conector macho de dos pines (POWER_IN) a través de conectores hembra.

Los dos módulos elegidos (step-up y TP4056), disponen de protecciones frente a cortocircuitos y sobrecargas térmicas, y fusibles de protección, por lo que no resulta necesaria la inclusión de más elementos de seguridad.

⁹ Apartado “2. Cálculos que justifican la solución adoptada”, subapartado “I. Subsistema lumínico”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

Los 5V fijos obtenidos, que alimentan tanto la PCB – A, como la PCB – B, son llevados mediante dos cables (%V y GND) al conector POWER_IN de tipo “Bloque Terminal Cable a Placa”, siendo atornillados a dicho conector.

La PCB – B es alimentada a través de dos pines macho de conexión (POWER-PCB_B), que son conectados mediante dos cables con conectores hembra-hembra al pin correspondiente de la PCB - B (Con1).

b. Interfaz de comunicación con usuario

La interfaz de comunicación del medidor de contaminación ambiental con el usuario se realiza mediante un módulo externo que dispone de un display OLED con resolución de 128x64px y de 0.96 pulgadas, y una botonera que consta de dos pulsadores, y un joystick direccional de 4 posiciones.

Es alimentado a través de los pines de entrada de la alimentación (POWER_IN) de todo el sistema.

Se comunica con el micro procesador gracias al protocolo I2C, mediante la conexión a los pines D2-SDA y D3-SCL del conector “DIGITAL PIN” de la PCB - A.

c. Sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento se realiza mediante un módulo externo que gestiona el almacenamiento de los datos en una tarjeta microSD.

Se alimenta mediante la conexión de sus dos pines macho de entrada (Vcc, GND), que son conectados a los pines de entrada de la alimentación (POWER_IN) de todo el sistema.

La comunicación con el microcontrolador se realiza mediante el protocolo SPI, conectando los pines MISO y MOSI del módulo microSD a los pines 1 y 4 del conector “ICSP” de la PCB – A respectivamente.

d. Sistema de gestión del tiempo

El sistema de gestión de tiempo es un módulo externo RTC (real time clock) basado en el chipset DS3231SN + AT24C32. Dispone de una fuente de alimentación independiente en forma de pila de botón (CR2032) que permite mantener siempre alimentado el chipset.

Es alimentado a través de los pines Vcc y GND, conectados a los pines de entrada de la alimentación (POWER_IN) de la PCB – A.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

La comunicación con el microcontrolador se realiza mediante el protocolo de comunicación I2C, a través de la conexión de los pines SDA y SCL del módulo a los pines D2-SDA y D3-SCL del conector “DIGITAL PIN” de la PCB – A.

e. Sistema de alerta visual LED

La alerta visual, realizada mediante un LED RGB y una resistencia de 330Ω que limita la corriente que circula por los pines del LED. Cada uno de los pines RGB están conectados mediante tres cables hembra al conector “DIGITAL PIN”, en los terminales D11, D12 y D13 respectivamente, y el pin de cátodo común, a la pista de masa de la PCB a través de una resistencia de 1K.

f. PCB - A

En la PCB - A se encuentra la unidad de control, el subsistema de captación del nivel de radiofrecuencia, y los pines de conexión con la fuente de alimentación, el conector de alimentación para la PCB – B, y los conectores de comunicación con la PCB – B.

i. *Conexionado con PCB - B*

Se trata de tres conectores de pines macho, uno de alimentación, otro de lectura de datos de los sensores de la PCB - B, y otro de salidas digitales y comunicación.

- Conector de alimentación, POWER_PCB-B: 2 pines de alimentación (5V y GND), que está unido mediante cables hembra-hembra al conector Con1 de la PCB – B.
- Conector de comunicaciones entre PCBs, COM: 7 pines macho con la siguiente nomenclatura:
 - ACK VEML
 - VO LDR
 - VO mic
 - VO SHARP
 - EN SHARP
 - SDA
 - SCL

Y que se encuentran unidos a la PCB – B, al conector Con2, mediante cables hembra-hembra, cada uno al pin correspondiente con el mismo nombre.

ii. *Otros conectores*

Además de los puertos cuyo uso está destinado a la comunicación y transferencia de datos con la PCB – B, también se dispone de otros

- Conector de puertos de entrada analógica, ANALOG PIN: 2 pines macho, sin uso específico, con la siguiente nomenclatura:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

- A5
- A4
- Conector de comunicación con micro procesador, ICSP: 6 pines macho, con la siguiente nomenclatura:
 - 1: conectado al pin PB3 (MISO) del micro porcesador para gestionar la comunicación SPI
 - 2: conectado a la pista de 5V de la PCB - A
 - 3: conectado al pin PB2 (MOSI) del micro porcesador para gestionar la comunicación SPI
 - 4: conectado al pin PB1 (SCLK) del micro porcesador para gestionar la comunicación SPI
 - 5: conectado a uno de los pines del botón de “reset”
 - 6: conectado a GND
- Conector microUSB, uUSB connector 614105150621: 7 pines macho, con la siguiente nomenclatura:
 - GND_1: conectado al puerto uGND del microcontrolador y a las pistas de masa de la PCB – A mediante la perla de ferrita L2
 - GND_2: conectado directamente a las pistas de masa de la PCB - A
 - GND_3: conectado directamente a las pistas de masa de la PCB - A
 - VBUS: conectado al puerto VBus del microcontrolador a través del fusible F1
 - D +: conectado tanto a masa a través del varistor Z1, como al pin D – del micro procesador a mediante la resistencia RN3A
 - D -: conectado tanto a masa a través del varistor Z2, como al pin D – del micro procesador a mediante la resistencia RN3D
 - ID: conector libre

III. *Unidad de control*

Se usa un microcontrolador que cumple con las necesidades tanto de velocidad, como de capacidad que se necesitan para el dispositivo, dispone de un tamaño reducido que permite miniaturizar la PCB en la que se incorpora. Además, incorpora una serie de puertos que facilitan el conexionado con el resto de periféricos.

Dispones puertos de comunicación de los protocolos SPI, I2C y UART. Además, incorpora los siguientes pines que permiten la gestión y control de todo el sistema:

- 4 puertos analógicos con sus respectivos conversores analógico digitales. Uno de ellos conectado a la salida del subsistema RF, y los otros tres, al conector “DIGITAL PIN”, para recibir los datos de subsistemas de la PCB – B.
- 2 puertos analógicos libres que se llevan directamente al conector “ANALOG PIN”

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión N°: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

- 10 puertos digitales que están conectados al conector “DIGITAL PIN”, para gestionar el color del LED del subsistema de alerta, y para el control de la lectura del resto de sensores ubicados en la PCB – B.
- 2 pines para la comunicación I2C, que son llevados al conector “DIGITAL PIN” para establecer la comunicación con algunos de los sensores de la PCB – B.
- 2 pines para la comunicación UART, conectados al conector “DIGITAL PIN”.
- 2 pines para la comunicación SPI, llevados al conector ICSP, que permite el grabado del firmware al microcontrolador, así como establecer la comunicación con el módulo de la tarjeta microSD.
- 4 pines conectados al conector usb que permite grabar el software al microcontrolador
- 2 pines conectados a dos LEDS (amarillo y rojo), que permiten observar la comunicación por puerto serie.
- 2 pines conectados al oscilador que establece la base de tiempos de todo el microcontrolador.
- 1 pin para gestionar el pulsador de reset conectado al microcontrolador.
- El resto de pines están conectados a masa (GND) o a Vcc (5V), según lo indicado por el fabricante.

IV. *Subsistema RF*

El subsistema de captación del nivel de radiofrecuencia del entorno está basado en el chip MAX2015EUA+, y que tiene un rango de detección de 0.1GHz a 3GHz, un conector BCN que lleva conectada una antena de 3cm de longitud para captar las ondas de radiofrecuencia.

El conector BNC es conectado al chip desde su salida V0 al pin INHI del chip MAX2015, teniendo un condensador de filtrado (C8).

Todo el conjunto es alimentado internamente a través de las pistas de la PCB – A a 5V. Dispone de una resistencia (R4) para regular la tensión de entrada al chip, y un conjunto de condensadores de filtrado (C9, C10, C11, C12, C13) para eliminar las posibles interferencias.

La salida obtenida del chip es llevada directamente a un pin analógico del microcontrolador (PF7), donde a través del convertor analógico digital del microcontrolador es leída y gestionada por el software de control.

g. PCB - B

En la PCB - B se encuentran los pines de conexionado con la PCB - A, y los subsistemas de los sensores de captación del nivel de ruido, de intensidad de luz, índice rayos UVA, concentración de polvo y de concentración de compuestos orgánicos volátiles.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

I. Conexionado con PCB – A

Se trata de dos conectores de pines macho, uno de alimentación, y otro de comunicación de datos entre PCBs.

- Conector de alimentación, Con1: 2 pines de alimentación (5V y GND), que está unido mediante cables hembra-hembra al conector POWER-PCB_B de la PCB – A.
- Conector de comunicaciones entre PCBs, Con2: 7 pines macho con la siguiente nomenclatura:
 - VO SHARP
 - VO mic
 - EN SHARP
 - ACK VEML
 - SDA
 - SCL
 - VO LDR

Y que se encuentran unidos a la PCB – A, al conector COM, mediante cables hembra-hembra, cada uno al pin correspondiente con el mismo nombre.

II. Subsistema acústico

El subsistema de captación del nivel de ruido del entorno está basado en el chip MAX4466EXK+T y un micrófono electret (CMC-9745-44P). Todo el conjunto es alimentado a través de las pistas de la PCB – B a 5V.

Dispone de un conjunto de resistencias y condensadores que determinan la ganancia del amplificador por el que pasa la señal del micrófono, conectados entre la entrada IN- y la salida OUT. Tiene circuitos de filtrado de la señal del micrófono para eliminar las posibles interferencias.

III. Subsistema lumínico

El subsistema de captación del nivel de luz recibida está compuesto por dos sensores, que son una fotorresistencia (NSL-19M51) y un sensor de luz ultravioleta (VEML6070).

Ambos sensores están alimentados a través de las pistas de alimentación de 5V de la PCB – B.

La fotorresistencia está acompañada de una resistencia (R1) que permite realizar un divisor de tensión, cuya salida es llevada al pin “VO LDR” del conector “Con2”.

El sensor VEML6070 se alimenta a 5V por las pistas internas de la PCB – B, a través de los pines VDD y GND (1 y 6 respectivamente), entre los que se

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

encuentra un condensador (C1) que permite estabilizar la tensión ante variaciones. La comunicación con el microcontrolador se realiza con el protocolo I2C a través de los pines SDA y SCL (3 y 5), que son conectados a los pines SDA y SCL del conector “Con2”, además disponen de 2 resistencias que regulan la tensión de los dos pines de comunicación (R4 y R5). Dispone, también, de un pin ACK que se conecta al pin ACK VEML del conector “Con2”, y un pin de reset (RSET), conectado a los pines de masa de la PCB – B a través de una resistencia (R2).

IV. *Subsistema calidad del aire*

El subsistema de captación de la calidad del entorno está compuesto por dos sensores, de concentración de polvo (SHARP GP2Y1010AU0F) y el sensor de concentración de compuestos orgánicos volátiles SGP30.

El sensor SHARP GP2Y1010AU0F se alimenta a 5V a través de sus pines Vcc y S_GND (6 y 4 respectivamente) conectados a las pistas de alimentación (5V) de la PCB – B. La salida, V0, es llevada directamente al pin V0 SHARP del conector “Con2”.

Además, hay un transistor NPN cuya base está conectada directamente al pin EN SHARP del conector “Con2” a través de una resistencia, R13, que permite iniciar la lectura del sensor, el emisor está directamente conectado a la pista de GND de la PCB – B, y el colector está directamente unido al pin LED (3) del sensor.

La resistencia R12 y el condensador C6, necesarios para la generación del pulso que necesita el driver interno del sensor, están conectados a los pines V_LED (1) y LED_GND (2) respectivamente, y una de las pistas de 5V de la PCB – B.

Para alimentar el sensor SGP30, hay un chip regulador de voltaje (MIC5225) que reduce la tensión de 5V de una de las pistas de la PCB – B a 1.8V, y cuya salida es conectada al pin VD0 (1) del sensor a través de dos condensadores de filtrado de interferencias (C7, C8 y C10).

La comunicación del sensor se realiza con el protocolo I2C a través de los pines SDA y SCL (3 y 6 respectivamente), y que están conectados a los pines SDA y SCL del conector “Con2” a través de un circuito adaptador de tensiones lógicas formado por las resistencias R16 y R17, y los transistores Mosfet T2 y T3 (BSS138).

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

9. Planificación

a. Etapas

- Búsqueda de información sobre los medidores ambientales.
- Objetivos a cumplir con el medidor.
- Diseño del circuito.
- Elección de componentes.
- Diseño de la placa de circuito impreso.
- Cálculo del presupuesto.
- Diseño de la caja contenedora.
- Realización del manual de instrucciones.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

b. Cronograma de fabricación o Diagrama de Gant

FASES Y TAREAS/TIEMPO (SEMANAS)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FASE DE FACTIBILIDAD														
a:	Estudio de mercado	■												
b:	Obtención de especificaciones	■												
FASE DE LANZAMIENTO														
c:	Comienzo de elaboración de documento Memoria	■												
d:	Creación del Plano Diagrama de Bloques de la PCB - A		■											
e:	Creación del Plano Diagrama de Bloques de la PCB - B		■											
f:	Creación del Plano de Esquema General del Circuito de la PCB - A		■	■										
g:	Creación del Plano de Esquema General del Circuito de la PCB - B			■	■									
h:	Búsqueda y selección de componentes				■									
i:	Recopilación de datasheets				■									
j:	Selección de proveedores				■									
k:	Elaboración del documento Estado de las Mediciones				■	■								
l:	Elaboración del documento Presupuesto (Estimación inicial del coste de producción)					■								
m:	Comienzo de elaboración del documento Pliego de Condiciones					■								
n:	Comienzo de elaboración del documento Anexos					■	■							
FASE DE DISEÑO														
o:	Búsqueda importación de Footprints (librerías de fabricantes) de la PCB - A						■							
p:	Diseño de la PCB - A						■	■						
q:	Creación de la lista de materiales (BOM) de la PCB - A							■						

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

FASES Y TAREAS/TIEMPO (SEMANAS)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
r:	Búsqueda importación de Footprints (librerías de fabricantes) de la PCB - B													
s:	Diseño de la PCB - B													
t:	Creación de la lista de materiales (BOM) de la PCB - B													
u:	Generación de planos de la PCB - A													
v:	Generación de planos de la PCB - B													
w:	Diseño de la caja													
x:	Generación de planos de la caja													
FASE DE PRODUCCIÓN														
y:	Búsqueda y selección de fabricantes de las PCBs													
z:	Búsqueda y selección de proveedores para la impresión 3D de la caja													
aa:	Impresión 3D de la caja													
FASE DE CIERRE														
bb:	Cierre del documento Planos													
cc:	Cierre del documento Memoria													
dd:	Cierre del documento Estado de las Mediciones													
ee:	Cierre del documento Anexos													
ff:	Cierre del documento Pliego de condiciones													
gg:	Elaboración del documento Índice													
hh:	Elaboración del documento Manual de Instrucciones													

Tabla 3 - Diagrama de Gant

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Medidor de contaminación ambiental	Revisión Nº: 3
	Vol. 2 Memoria	Fecha revisión: 02/11/2021

10. Orden de prioridad entre los documentos básicos

El orden de prioridad de los documentos es el siguiente:

1. Planos
2. Pliego de condiciones
3. Presupuesto
4. Memoria
5. Estado de las mediciones
6. Anexos
7. Índice