



ugr | Universidad
de Granada

TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

DIPOMAC

**Dispositivo portable de medición de agentes contaminantes para
monitorización ambiental en Smart City**

Autor

David Sánchez Montés

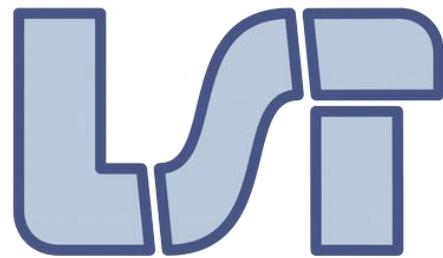
Director

Juan Antonio Holgado Terriza



Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación

—
Granada, Noviembre de 2020



DIPOMAC

Dispositivo portable de medición de agentes contaminantes para monitorización ambiental en Smart City

Autor

David Sánchez Montés

Director

Juan Antonio Holgado Terriza

DIPOMAC: Dispositivo portable de medición de agentes contaminantes para monitorización ambiental en Smart City.

David Sánchez Montés

Palabras clave: internet de las cosas, Smart City, LoRa, Arduino, Grove, Dragino, redes inalámbricas, contaminación, sensores ambientales, sensores de gases.

Resumen

El principal objetivo de este proyecto va a ser desarrollar y poner en funcionamiento un dispositivo que sea capaz de leer de forma precisa parámetros ambientales como temperatura, humedad y presión atmosférica, y parámetros de distintos tipos de gases contaminantes que hay en el aire, como son por ejemplo el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO_2), etc.

Este dispositivo enviará los datos que ha generado a una plataforma que estará basada en la nube, donde se guardarán y se podrá luego visualizar y analizar todos estos parámetros. Se intentará hacer que el dispositivo sea lo más portable posible.

DIPOMAC: Portable device for measuring pollutants for environmental monitoring in Smart City.

David Sánchez Montés

Keywords: internet of things, Smart City, LoRa, Arduino, Grove, Dragino, wireless networks, pollution, environmental sensors, gas sensors.

Abstract

The main objective of this project will be to develop and put start up a device that is able to read accurately environmental parameters such as temperature, humidity and atmospheric pressure, and parameters of different types of polluting gases that are in the air, such as for example carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), etc.

This device will send the data it has generated to a platform that will be based on the cloud, where they will be saved and then it will be possible to view and analyze all these parameters. An attempt will be made to make the device as portable as possible.

Yo, **David Sánchez Montés**, alumno de la titulación **Grado en Ingeniería Informática de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 45604264W, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Grado en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: David Sánchez Montés

Granada a 18 de Noviembre de 2020.

D. Juan Antonio Holgado Terriza, Profesor del Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos del Departamento Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada.

Informa:

Que el presente trabajo, titulado **DIPOMAC: Dispositivo portable de medición de agentes contaminantes para monitorización ambiental en Smart City**, ha sido realizado bajo su supervisión por **David Sánchez Montés**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a 18 de Noviembre de 2020.

El director:

Juan Antonio Holgado Terriza

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar mi gratitud a mi tutor, Juan Antonio Holgado Terriza, por su ayuda y dedicación para hacer posible este proyecto. También agradecer a toda la comunidad de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y Telecomunicación de la Universidad de Granada, por ofrecerme los recursos necesarios y enseñarme las habilidades para poder desarrollar este proyecto y así concluir el Grado.

A todos mis familiares, especialmente a mi padre, Fulgencio Sánchez Valera, por todo su esfuerzo y sacrificio para ofrecerme lo mejor siempre y que nunca me haya faltado nada, a mi madre, Ana María Montés Navarro, por sus ganas enormes de disfrutar de la vida, a mi hermana, Ana María Sánchez Montés, y cuñado, Baltasar Viudez Chacón, por darnos dos pequeñas alegrías pero de las más grandes que puede tener alguien en la vida.

A mis compañeros de piso, Carlos, Picón y Pato, por convivir juntos y aguantándonos durante 6 años, sufriendo la vida del estudiante y apoyándonos mutuamente para llegar a ser lo que somos hoy en día.

A mis amigos Vicente y Sergio por ser mis maestros. A Pedro y Alonso, por todos los momentos de Katarsis vividos. A Javier Gallardo, por estar siempre disponible y por su ayuda. Y especialmente a Andrés Gallardo, por ser mi mentor, consejero y mejor amigo, por darme y ofrecerme todo lo que un hermano puede dar e incluso más. Gracias de todo corazón a todos vosotros.

Por último, también agradecer infinitamente a aquellas personas que me han estado acompañando durante todo este camino, aunque a veces un camino se divide en trayectos diferentes. Siempre os llevaré en mi memoria y habéis dejado una marca imborrable en mi corazón.

Índice general

1. Introducción	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo principal.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Estructura del trabajo.....	3
2. Contaminación y cambio climático	5
2.1 Causas de contaminación.....	6
2.2 Recomendaciones OMS.....	6
2.3 Agentes contaminantes y síntomas	6
2.4 Rango de valores y normativas.....	8
2.4.1 Niveles en Europa	8
2.4.2 Niveles en España	10
2.4.3 Niveles para Andalucía.....	11
2.5 Datos en Andalucía.....	13
3. Tecnologías utilizadas.....	15
3.1 Comunicaciones inalámbricas	15
3.2 LPWAN.....	15
3.2.1 Ventajas y desventajas de las redes LPWAN	17
3.2.2 Proveedores de las redes LPWAN	18
3.2.2.1 LoRa	18
3.2.2.2 Sigfox.....	20
3.2.2.3 NarrowBand IoT(NB-IoT)	21
3.2.2.4 LTE CAT-M.....	22
3.2.3 Otras tecnologías LPWAN.....	23
3.2.4 Comparación.....	24
3.3 LoRa.....	25

3.3.1	Elementos en una red LoRa.....	25
3.3.2	Estructuras de red.....	25
3.3.3	Bandas ISM en Europa y restricciones.....	27
3.3.4	Ciclo de trabajo y tiempo en el aire (ToA)	29
3.3.5	Zona de Fresnel.....	29
3.3.6	Modulación y CSS	31
3.3.7	Factor de propagación.....	32
3.3.8	Ajuste dinámico	33
3.3.9	Coding rate.....	33
3.3.10	Presupuesto de enlace.....	33
3.3.11	Limitaciones de LoRa.....	34
3.3.12	MQTT.....	34
3.4	LoRaWAN.....	34
3.4.1	Servicios y plataformas para LoRaWAN.....	35
3.5	Dispositivos LoRa.....	36
3.5.1	Comparación.....	46
3.6	Sensores.....	47
3.6.1	Sensores de temperatura	48
3.6.2	Sensores de humedad.....	49
3.6.3	Sensores de presión atmosférica	49
3.6.4	Sensores para calidad del aire, PM ₁₀	50
3.6.5	Sensores para calidad del aire, NO ₂	50
3.6.6	Sensores para calidad del aire, CO.....	51
3.6.7	Sensores para calidad del aire, O ₃	51
3.6.8	Sensores para calidad del aire, SO ₂	51
3.6.9	Sensores de ubicación geográfica	52
4.	Desarrollo del dispositivo	53
4.1	Especificación informal	53
4.2	Análisis.....	54
4.2.1	Requisitos funcionales	54
4.2.2	Casos de uso	60
4.3	Diseño.....	61
4.3.1	Arquitectura	62
4.4	Implementación.....	63
4.4.1	Capa de percepción.....	63
4.4.1.1	Hardware.....	63

4.4.1.2 Software.....	69
4.4.2 Capa de gateway.....	72
4.4.3 Capa de almacenamiento.....	78
4.4.4 Capa de visualización.....	87
4.5 Pruebas.....	94
4.5.1 Valores registrados en la calle.....	94
4.5.2 Modificando valores.....	97
5. Gestión y costes del proyecto	101
5.1 Gestión del proyecto.....	101
5.1.1 Metodología SCRUM.....	101
5.1.2 Diagrama de Gantt	103
5.2 Costos del proyecto.....	104
5.3 Estimación del producto.....	105
6. Conclusiones.....	107
6.1 Análisis de los objetivos.....	107
6.2 Trabajos futuros.....	109
Bibliografía	111

Índice de figuras

Imagen2.1. Formulario de informes diarios. Fuente: imagen de elaboración propia.....	13
Figura2.2. Datos cualitativos. Fuente: imagen de elaboración propia.....	13
Figura2.2. Datos cuantitativos. Fuente: imagen de elaboración propia.....	14
Figura2.3.Informe ayuntamiento de Granada. Fuente: imagen de elaboración propia.....	14
Figura3.1. Fuente: Egli, P (2015) LPWAN. Overview of Emerging Technologies for Low Power Wide Area Networks in Internet of Things and M2M Scenarios. Indigoo.com. Disponible en: http://indigoo.com/dox/itdp/12_MobileWireless/LPWAN.pdf	16
Figura3.2. Fuente: Capas de red, Semtech. Disponible en: https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/images/Technology_stack.png	19
Figura3.3. Fuente: Esquema de Sigfox. vicentferrer.com . Disponible en: https://cdn.vicentferrer.com/wp-content/uploads/esquema-sigfox-1024x620.jpg	21
Image3.4. Red en malla. Fuente: Imagen de elaboración propia.....	26
Figura3.5. Red de estrella. Fuente: Imagen de elaboración propia.....	27
Figura 3.6. Fuente: Fresnel Zone, lora.readthedocs.io . Disponible en: https://lora.readthedocs.io/en/latest/_images/fresnel.PNG	30
Figura3.7. Fuente: Fresnel Zone, lora.readthedocs.io . Disponible en: https://lora.readthedocs.io/en/latest/_images/fresnel3.PNG	30
Figura3.8.Fuente: LoRa Chirp Spread Spectrum, Semtech. Disponible en: https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/images/CSS.png	31
Figura3.9. Fuente: Transceptores Moteino, lowpowerlab.com . Disponible en: https://lowpowerlab.com/wp-content/uploads/2016/09/LowPowerLab_transceivers-1.png	37
Figura3.10. Fuente: Placa Moteino-USB, lowpowerlab.com . Disponible en: https://lowpowerlab.com/shop/image/cache/data/Moteino/USB/DSC_1202_500-500x375.jpg	38
Figura3.11. Fuente: Placa LoPy4, pycom.io . Disponible en: https://pycom.io/wp-content/uploads/2018/08/lopy4TopN.png	40

Figura3.12. Fuente: Arduino MKR WAN 1300, store.arduino.cc. Disponible en: https://store-cdn.arduino.cc/uni/catalog/product/cache/1/image/500x375/f8876a31b63532bbba4e781c30024a0a/a/b/abx00017_iso_antenna_1.jpg	41
Figura3.13. Fuente: Dragino LoRa Shield, seeedstudio.com. Disponible en: https://static-cdn.seeedstudio.site/media/catalog/product/cache/b2267b506d4e4594666ef83a79896a9a/h/t/httpsstatics3.seeedstudio.comseedfile2018-11bazaar990536_draginolorashield1.jpg	42
Figura3.14. Fuente: Grove – LoRa Radio, seeedstudio.com. Disponible en: https://static-cdn.seeedstudio.site/media/catalog/product/cache/9d0ce51a71ce6a79dfa2a98d65a0f0bd/h/t/httpsstatics3.seeedstudio.comseedimg2016-127bfuzdvndcm3snhihyztuxu.jpg	43
Figura3.15. Fuente: TTGO LoRa32, randomnerdtutorials.com. Disponible en: https://i1.wp.com/randomnerdtutorials.com/wp-content/uploads/2019/10/TTGO-LoRa-ESP32-Dev-Board.jpg	44
Figura3.16. Fuente: Microchip Technology RN2483 LoRa Mote, mouser.es. Disponible en: https://www.mouser.es/images/marketingid/2016/img/174028492_Microchip_RN2483LoRaMote.png	45
Figura4.1. Caso de uso de DIPOMAC. Fuente: imagen de elaboración propia.....	60
Figura4.2. Caso de uso de la plataforma IoT. Fuente: imagen de elaboración propia.	61
Figura4.3. Arquitectura. Fuente: imagen de elaboración propia.	62
Figura4.4. Placa Arduino Uno. Fuente: imagen de elaboración propia.	64
Figura4.5. Placa Grove Shield. Fuente: imagen de elaboración propia.	65
Figura4.6. Grove Shield y Arduino Uno. Fuente: imagen de elaboración propia.	65
Figura4.7. Sensor Grove BME280. Fuente: imagen de elaboración propia.	66
Figura4.8. Sensor Grove Multichannel Gas. Fuente: imagen de elaboración propia.	67
Figura4.9. Sensor Grove LoRa. Fuente: imagen de elaboración propia.....	67
Figura4.10. Diseño del dispositivo DIPOMAC. Fuente: imagen de elaboración propia.....	68
Figura4.11. Dispositivo DIPOMAC montado. Fuente: imagen de elaboración propia.....	68
Figura4.12. Librerías cargadas. Fuente: imagen de elaboración propia.	69
Figura4.13. Detalle de variables String. Fuente: imagen de elaboración propia.....	70
Figura4.14. Detalle del uso de frecuencia. Fuente: imagen de elaboración propia.	70
Figura4.15. Detalle del formato. Fuente: imagen de elaboración propia.	70
Figura4.58. Diagrama de flujo del Arduino. Fuente: imagen de elaboración propia.	71
Figura4.59. Detalle del paquete enviado y su tamaño. Fuente: imagen de elaboración propia.	72
Figura4.16. Dragino LG01-N. Fuente: imagen de elaboración propia.	73
Figura4.17. Conexión SSH a Dragino LG01-N. Fuente: imagen de elaboración propia.	74
Figura4.18. Panel de acceso web a Dragino LG01-N. Fuente: imagen de elaboración propia.	74
Figura4.19. Buscar rede WiFi. Fuente: imagen de elaboración propia.....	75
Figura4.20. Seleccionar red WiFi. Fuente: imagen de elaboración propia.	75

Figura4.21. Conexión a red WiFi. Fuente: imagen de elaboración propia.	75
Figura4.22. Subir firmware. Fuente: imagen de elaboración propia.	76
Figura4.23. Actualizar firmware. Fuente: imagen de elaboración propia.	76
Figura4.24. Fecha y hora del gateway. Fuente: imagen de elaboración propia.	77
Figura4.25. Configuración de LoRa. Fuente: imagen de elaboración propia.	77
Figura4.26. API Keys generadas. Fuente: imagen de elaboración propia.	80
Figura4.27. Canal para los datos ambientales. Fuente: imagen de elaboración propia.	80
Figura4.27. Canal para los gases. Fuente: imagen de elaboración propia.	81
Figura4.28. Canal para los gases. Fuente: imagen de elaboración propia.	82
Figura4.29. Permisos de canal. Fuente: imagen de elaboración propia.	82
Figura4.30. Configuración servidor MQTT. Fuente: imagen de elaboración propia.	83
Figura4.31. Valores ID y Write API Key. Fuente: imagen de elaboración propia.	84
Figura4.32. Valores canal. Fuente: imagen de elaboración propia.	84
Figura4.32. Canales guardados. Fuente: imagen de elaboración propia.	85
Figura4.33. Datos ambientales recibidos. Fuente: imagen de elaboración propia.	85
Figura4.34. Datos de gases recibidos. Fuente: imagen de elaboración propia.	86
Figura4.35. Datos recibidos en el gateway. Fuente: imagen de elaboración propia.	86
Figura4.36. Configuración gráficas. Fuente: imagen de elaboración propia.	87
Figura4.37. Creación de una nueva visualización. Fuente: imagen de elaboración propia....	88
Figura4.38. Nombre y campo para el código. Fuente: imagen de elaboración propia.	89
Figura4.39. Opciones de visualización. Fuente: imagen de elaboración propia.	89
Figura4.40. De ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Fuente: imagen de elaboración propia.	90
Figura4.41. Límites NO ₂ . Fuente: imagen de elaboración propia.	91
Figura4.42. Configuración gráficas. Fuente: imagen de elaboración propia.	91
Figura4.43. Visualización del canal de gases. Fuente: imagen de elaboración propia.	92
Figura4.44. Visualización del canal ambiental. Fuente: imagen de elaboración propia.	93
Figura4.45. JSON generado del canal de gases. Fuente: imagen de elaboración propia.	93
Figura4.60.Importar y descargar CSV. Fuente: imagen de elaboración propia.	94
Figura4.50. DIPOMAC al aire libre. Fuente: imagen de elaboración propia.	95
Figura4.51. Cambio de valores en gráficas para el ambiente. Fuente: imagen de elaboración propia.	95
Figura4.52. Cambio de valores en gráficas para gases. Fuente: imagen de elaboración propia.	96
Figura4.53. Cambio de valores en gráficas para gases. Fuente: imagen de elaboración propia.	96
Figura4.54. Cambiada gráfica para ser admisible. Fuente: imagen de elaboración propia. ...	97

Figura4.55. Cambiada gráfica para ser mala. Fuente: imagen de elaboración propia.	98
Figura4.56. Cambiada gráfica para ser muy mala. Fuente: imagen de elaboración propia.	98
Figura4.57. Cambiada gráfica para superar el límite. Fuente: imagen de elaboración propia.	99

Índice de tablas

Tabla2.1: Valores UE	9
Tabla2.2: Valores UE y OMS.....	9
Tabla2.3: Valores contaminación para España	11
Tabla2.4: Rango de valores de contaminación de Andalucía.	12
Tabla3.1, alcance y velocidad de distintos tipos de redes.	18
Tabla3.2, comparación de las distintas LPWAN.....	24
Tabla3.3. Característica banda ISM Europa.	28
Tabla3.4. Características según SF.	33
Tabla3.4: Tabla de comparación de dispositivos LoRa.	47
Tabla3.5: Tabla de sensores para temperatura.	49
Tabla3.6: Tabla de sensores para humedad.	49
Tabla3.7: Tabla de sensores para presión atmosférica.....	50
Tabla3.8: Tabla de sensores para PM ₁₀	50
Tabla3.9: Tabla de sensores para NO ₂	50
Tabla3.10: Tabla de sensores para CO.	51
Tabla3.11: Tabla de sensores para O ₃	51
Tabla3.12: Tabla de sensores para SO ₂	51
Tabla3.13: Tabla de sensores para ubicación geográfica.	52
Tabla4.1. Comparación de usuario gratuito o estándar	78
Tabla5.1. Costos del proyecto.....	105
Tabla5.2. Estimación del proyecto.....	105
Tabla6.1. Análisis de los objetivos.....	109

Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación.

La principal motivación para realizar este proyecto es la preocupación que existe actualmente por el medio ambiente. Actualmente vivimos en una sociedad que cada vez más se preocupa por el planeta y somos más conscientes de todas las adversidades que genera el cambio climático. Queremos vivir también de forma saludable y deseamos por ello que el aire sea lo más limpio posible de agentes contaminante, pues aunque algunos de ellos están presentes de forma natural, la ayuda de la humanidad hace que la mayoría de estos agentes lleguen a niveles críticos los cuales son perjudiciales tanto para humanos como para el resto de seres vivos, incluso pudiendo llegar a generar enfermedades respiratorias graves.

Gracias a este dispositivo vamos a ser capaces de ver cómo de contaminado está el aire y si es saludable o no para nosotros estar expuestos a ellos. Poder analizar los niveles de contaminación de forma directa, motiva más la idea de realizar este proyecto.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo principal.

El principal objetivo de este proyecto va a ser desarrollar y poner en funcionamiento un dispositivo basado en Arduino que sea capaz de leer con diferentes sensores de forma precisa los diferentes parámetros. Estos parámetros van a ser ambientales y de gases. Por un lado tenemos temperatura, humedad y presión atmosférica. Por otro, tenemos una serie de gases contaminantes, los cuales tendremos en cuenta qué es lo que dicen y recomiendan las leyes vigentes sobre contaminación, para tener en cuenta cuáles son los gases que afectan a la calidad del aire.

Este dispositivo enviará estos datos mediante un transceptor, que usa un tipo de conexión inalámbrica denominada LPWAN, a una puerta de enlace, la cual se encargará de conectarse a internet para enviar los datos recibidos. La puerta de enlace enviará de forma directa los datos a una plataforma basada en la nube donde se guardarán y podremos acceder a ellos. Esta plataforma dispone de una API que nos servirá para poder descargarnos los datos y así poder visualizarlo mediante una página web.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Explorar las normativas y estudios que hay sobre los agentes contaminantes más importante para medir la calidad del aire, y determinar los límites establecidos para cada uno de dichos agentes para tener una calidad del aire saludable.
- Estudiar las tecnologías inalámbricas más interesantes para la construcción de un dispositivo de medida de calidad del aire, y en especial las tecnologías basadas en LPWAN.
- Comparar las diferencias que hay entre las distintas tecnologías LPWAN y profundizar en particular con LoRa.
- Analizar los distintos dispositivos o transceptores que hay para utilizar LORA, así como los sensores más apropiados para medir agentes contaminantes.
- Valorar las plataformas y herramientas más adecuadas para monitorizar los agentes contaminantes en un servidor remoto.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

- Realizar pruebas para estudiar la validez del dispositivo desarrollado.
- Diseñar una interfaz para la visualización de los datos.
- Utilizar buenas prácticas de ingeniería del software para el desarrollo del sistema.

1.3 Estructura del trabajo.

Para el desarrollo del proyecto se ha estructurado la memoria en un conjunto de capítulos.

En el capítulo 1 se introduce la motivación para realizar este proyecto y la idea principal del proyecto y los diferentes objetivos que deseamos cumplir durante todo el proceso de desarrollo del proyecto.

El capítulo 2 va dedicado a la contaminación y la calidad del aire, donde se habla sobre las causas del cambio climático y leyes y valores establecidos que deben usarse para analizar el aire.

En el capítulo 3 se estudia y analizan las diferentes tecnologías utilizadas y se profundiza sobre las tecnologías principales que van a ser usadas para la realización del proyecto.

El capítulo 4 está dedicado al desarrollo del dispositivo. Es la parte principal del proyecto, donde se encuentra las labores de ingeniería del software y todos los pasos necesarios para poner en funcionamiento el proyecto.

El capítulo 5 va dedicado a la gestión y costes del proyecto. Se explica la metodología usada para la gestión del proyecto, el diagrama de Gantt resultante y los costos necesarios del proyecto.

El capítulo 6 es el último ya se dedica a las conclusiones del proyecto, donde se estudia el alcance de los objetivos establecidos y los posibles trabajos que se pueden realizar para mejorar todo el proyecto.

Y al final del trabajo encontramos la bibliografía, indicando las fuentes de información usados en este proyecto.

Capítulo 2

Contaminación y cambio climático

Vivimos en una época donde se emite al aire una gran cantidad de sustancias contaminantes, principalmente en zonas urbanas e industriales. Algunas de estas sustancias existen de forma natural en el aire, pero con la ayuda de la humanidad, estas sustancias pueden llegar a unos niveles que son perjudiciales para la salud. Para analizar como de saludable es el aire que respiramos, se usa el índice de calidad del aire.

El índice de calidad del aire puede medirse en base a una serie de valores que sirve para representar la cantidad de sustancias contaminantes que se encuentran en el aire. Se puede representar de forma gráfica. Son las autoridades de una zona en concreto, normalmente de zonas urbanas o industriales, los que motorizan la calidad del aire, teniendo en cuenta las leyes establecidas para ello, y también de hacérselo saber a la población. Si los niveles de agentes químicos se encuentran elevados, respirarlos puede afectar a la salud de forma más o menos severa, pudiendo incluso, en los peores casos, dar irritaciones oculares o problemas respiratorios o cardíacos. Para mejorar la calidad del aire, depende dichas autoridades aplicar las medidas necesarias para mejorarla.

Para saber que contaminantes se deben medir y cuáles son sus cantidades ideales, existen valores establecidos en la legislación vigente, como directivas europeas, leyes nacionales y Reales Decretos, e incluso indicaciones de la Organización Mundial de la Salud.

2.1 Causas de contaminación.

La humanidad tiene una influencia directa en el clima del planeta, al hacer uso de combustibles fósiles, talas masivas en selvas tropicales y explotación de ganaderías. Todo esto genera enormes cantidades de gases de efecto invernadero, afectando a la atmósfera, ayudando al calentamiento global. Estos gases son principalmente el dióxido de carbono (CO_2), pero también el metano (CH_4) y gases fluorados.

2.2 Recomendaciones OMS.

La Organización Mundial de la Salud [OMS20] ha creado una serie de directrices recogidas en Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire, publicada en 2005 [OMSDir20], donde nos informa sobre el cómo se originan los principales contaminantes, los efectos perjudiciales que causan a la salud y cuáles son los valores máximos a lo que podemos estar expuestos con estas sustancias.

Se aplican a todo el mundo y están basadas en evaluación hechas por expertos, las cuales nos dice que de entre todos los contaminantes presentes en el aire las principales sustancias más comunes a medir son el dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), monóxido de carbono (CO) y partículas en suspensión de menos de 10 micras (PM_{10}). Las Directrices de la OMS sobre calidad del aire se encuentran actualmente en revisión y su publicación se prevé para 2020.

2.3 Agentes contaminantes y síntomas.

En las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire [OMSDir20] nos indican los siguientes agentes contaminantes y los síntomas que producen.

Partículas en suspensión (PM)

Las partículas en suspensión, o PM, son un indicador representativo común de la contaminación del aire. Es el contaminante que más afecta a las personas. Son en realidad una mezcla de sustancias sólidas o líquidas ya sean orgánicas o inorgánicas. Las principales sustancias de las PM son los sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, hollín, polvos minerales y el agua.

CAPÍTULO 2. CONTAMINACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO.

Se clasifican en diversos tamaños. Las de 10 micras de diámetro (PM_{10}) pueden entrar y quedarse dentro de los pulmones. Las de 2.5 micras pueden llegar al sistema sanguíneo o atravesar la barrera pulmonar. Una exposición prolongada ayuda a desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón.

En las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire se orientan a llegar concentraciones de partículas lo más baja posible, ya que aún no se ha podido identificar un umbral que no sea dañino para la salud. Se fijan entonces unos valores para un metro cúbico de aire. Las directrices fijan los valores a:

- Para partículas finas ($PM_{2.5}$), $10\mu g/m^3$ de media anual y $25\mu g/m^3$ de media en 24 horas.
- Para partículas gruesas (PM_{10}), $20\mu g/m^3$ de media anual y $50\mu g/m^3$ de media en 24 horas.

Ozono (O_3)

El ozono a nivel del suelo, que no es el mismo que el de la capa de ozono, provocando efectos negativos en la salud a estas alturas. Es una de las sustancias principales que se encuentran en nieblas tóxicas. Se forma por la reacción de la luz solar con los óxidos de nitrógeno. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado.

El ozono es un importante factor de mortalidad y de padecer asma. En exceso puede provocar problemas respiratorios.

El límite recomendado en las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire, es de $100\mu g/m^3$ de media en 8 horas.

Dióxido de nitrógeno (NO_2)

El dióxido de nitrógeno se origina principalmente en procesos de combustión, como las emisiones de los vehículos y las industrias.

Tiene influencia en la aparición de asma, síntomas bronquiales, las alveolitis e insuficiencia respiratoria. También se asocia a la disminución del desarrollo pulmonar.

El límite recomendado en las Directrices es de $40\mu g/m^3$ de media anual y $200\mu g/m^3$ de media en 1 hora.

Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre, SO₂, es un gas incoloro con un olor penetrante, generado por la combustión de carbón o petróleo y al fundir menas que contienen azufre.

Estar expuesto a esta sustancia puede afectar al sistema respiratorio y al funcionamiento de los pulmones, y causar irritación en los ojos. Puede inflamar el sistema respiratorio provocando tos, secreción mucosa y empeorar el asma y la bronquitis crónica. En combinación con el agua, se convierte en ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida.

El límite recomendado en las Directrices es de 20µg/m³ media en 24 horas y 500µg/m³ de media en 10 minutos.

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono tiene como fuentes principales los procesos de combustión, actividades en el sector agropecuario y, en menor medida debido a la mejora tecnológica de los vehículos, por el tráfico.

Inhalar monóxido de carbono puede provocar que la sangre no transporte la cantidad adecuada de oxígeno, disfunciones cardíacas, daños en el sistema nervioso y mareos. Es peligroso también para la atmósfera porque ayuda a generar gases de efecto invernadero.

2.4 Rango de valores y normativas.

2.4.1 Niveles en Europa.

La Unión Europea ha desarrollado una serie de legislaciones para establecer estándares y objetivos para una serie de contaminantes que están presentes en el aire [EUEn20], basados en cómo afectan a la salud. Estos se aplican durante diferentes períodos de tiempo, ya que los diferentes contaminantes impactan a la salud de forma diferente según el tiempo de exposición. La Directiva 2008/50/EU es la que recoge toda esta información.

Dichas legislaciones son las que luego aplican y regulan cada país miembro de la Unión, adecuándolas a los criterios y circunstancias de cada uno. Dentro de ellas se analizan varios contaminantes junto con sus valores máximos establecidos, pero para

CAPÍTULO 2. CONTAMINACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO.

medir la calidad del aire las sustancias que nos interesan son las mismas que nos indica la Organización Mundial de la Salud.

En la Tabla2.1 se muestra los valores para las principales sustancias a medir.

Contaminante	Valor límite	Periodo medio	Excedencias permitidas cada año
Dióxido de azufre (SO ₂)	350µg/m ³	1 hora	24
	125µg/m ³	24 horas	3
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	200µg/m ³	1 hora	18
	40µg/m ³	1 año	-
PM ₁₀	50µg/m ³	24 horas	35
	40µg/m ³	1 año	-
Monóxido de carbono (CO)	10000µg/m ³	Media máxima diaria en 8 horas.	-
Ozono (O ₃)	120µg/m ³	Media máxima diaria en 8 horas.	Media de 25 días durante 3 años.

Tabla2.1: Valores UE.

En la Tabla2.2 se recogen los valores legislados a nivel europeo frente a los valores guía de la OMS. Como podemos observar la mayoría de valores se mantiene pero en otros se incrementan un poco.

Contaminante	Valores límite UE	Valores límite OMS
Dióxido de azufre (SO ₂)	350µg/m ³ , 1 hora	500µg/m ³ , 10 minutos
	125µg/m ³ , 24 horas	20µg/m ³ , 24 horas
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	200µg/m ³ , 1 hora	200µg/m ³ , 1 hora
	40µg/m ³ , 1 año	40µg/m ³ , 1 año
PM ₁₀	50µg/m ³ , 24 horas	50µg/m ³ , 24 horas
	40µg/m ³ , 1 año	20µg/m ³ , 1 año
Monóxido de carbono (CO)	10000µg/m ³ , 8 horas	10µg/m ³ , 8 horas
Ozono (O ₃)	120µg/m ³ , 8 horas	100µg/m ³ , 8 horas

Tabla2.2: Valores UE y OMS.

2.4.2 Niveles en España.

Normativa española

En España, la legislación sobre la calidad del aire viene dada por las siguientes normas.

Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

En esta Ley [Ley3420] se actualiza la base legal para la evaluación y gestión de la calidad del aire. Tiene como fin alcanzar niveles saludables para las personas y el medio ambiente, y para reducir o evitar los efectos negativos que puedan generar.

El gobierno definió y estableció los objetivos a cumplir sobre la calidad del aire y qué requisitos deben tener los sistemas que lo evalúan. También sirve como marco regulador para la creación de diferentes planes a los niveles territoriales, nacional, autonómico o local.

Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

En este Real Decreto [RealDec20] se transpone al ordenamiento jurídico español el contenido de la Directivas Europeas 2008/50/CE, de 21 de mayo de 2008 y la 2004/107/CE, de 15 de diciembre de 2004, con objetivo de evitar o reducir los efectos negativos de las sustancias contaminantes sobre la salud y el medio ambiente.

Según el artículo 3 de este Real Decreto, es competencia de las comunidades autónomas establecer objetivos de calidad del aire iguales o más estrictos que los fijados en el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero. En este Real Decreto, se establece, respecto a las partículas en suspensión, que si se demuestra que superan los límites establecidos debido a causas naturales, no se considera que exceda el límite.

Criterios de evaluación

Según lo indicado en la legislación anterior [CritES20], los distintos objetivos de calidad del aire para la salud, se resume en la Tabla2.3. Los valores son idénticos a los establecidos por Europa.

CAPÍTULO 2. CONTAMINACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO.

Contaminante	Valor límite	Periodo medio	Excedencias permitidas cada año	Umbral de alerta
Dióxido de azufre (SO ₂)	350µg/m ³	1 hora	24	500µg/m ³ en 3 horas.
	125µg/m ³	24 horas	3	-
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	200µg/m ³	1 hora	18	400µg/m ³ en 3 horas.
	40µg/m ³	1 año	-	-
PM10	50µg/m ³	24 horas	35	-
	40µg/m ³	1 año	-	-
Monóxido de carbono (CO)	10000µg/m ³	Media máxima diaria en 8 horas.	-	-
Ozono (O ₃)	120µg/m ³	Media máxima diaria en 8 horas.	Media de 25 días durante 3 años.	240µg/m ³

Tabla 2.3: Valores contaminación para España.

2.4.3 Niveles para Andalucía.

En Andalucía, la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio aplica desde el 19 de julio de 2001 los valores límite establecido por la normativa europea, aparte de la legislación española [JdA20].

Hay que tener en cuenta que en Andalucía un porcentaje alto de las partículas en el aire son procedentes de regiones áridas, al estar próximo al continente africano, o a la resuspensión atmosférica. Aunque estas partículas son de causas naturales, también se tienen en cuenta en las mediciones, respetándose en todo caso los valores establecidos.

Criterios de evaluación

Se establecen unos rangos para cada contaminante. Con estos rangos podemos definir el índice de calidad del aire.

El índice de calidad del aire sirve para informar a las personas de una forma simple y sencilla qué tan buena es la calidad del aire. Este índice tiene en cuenta los valores procedentes de las normativas, como se ha visto anteriormente.

2.4 Rango de valores y normativas

Una medición de cada contaminante tiene asociado un valor, siendo 0 cuando la cantidad es nula y siendo 100 cuando la cantidad coincide con el valor límite. Si falta algún contaminante por medir, se le asigna valor 0, ya que no es necesario que estén las cinco medidas. Además tiene una etiqueta asociada indicando cómo de buena es y un color para una mejor representación. En Andalucía se dividen en 4 tramos, siendo buena, admisible, mala y muy mala. En la Tabla2.4 se muestra la cantidad de los contaminantes, expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Rango	SO_2	NO_2	PM_{10}	CO	O_3	Calidad del aire	Color asociado
0-50	0-63	0-100	0-25	0-5000	0-60	Buena	Verde
51-100	63-125	100-200	25-50	5000-10000	60-120	Admisible	Amarillo
101-150	125-187	200-300	50-75	10000-15000	120-180	Mala	Rojo
>150	>187	>300	>75	>15000	>180	Muy mala	Marrón

Tabla2.4: Rango de valores de contaminación de Andalucía.

A parte del contenido de la Tabla2.4, hay que tener en cuenta los límites establecidos por el Real Decreto y los correspondientes a la zona [AGr20]. Si se supera el valor límite diario para el dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, la calidad del aire pasará a mala directamente y siempre que se supere el umbral de alerta establecido de cada contaminante, la calidad del aire se considerará muy mala.

Finalmente, hay que dar un valor global del índice de calidad del aire. Para esto, hay que tener en cuenta todas las mediciones y la calidad del aire que ha dado la sustancia. Entonces se tomará como índice global la sustancia que tenga la peor medición. Por ejemplo, si tenemos que SO_2 es buena, NO_2 es buena, PM_{10} es mala, CO es admisible y O_3 es buena, el índice global será malo, debido a las PM_{10} .

2.5 Datos en Andalucía.

La Junta de Andalucía nos ofrece informes diarios [JdAInf20], para cada provincia. En la Figura2.1 podemos ver el formulario que nos ofrece para la búsqueda. Dependiendo si elegimos cualitativo o cuantitativo, se mostrará de forma diferente. La Figura2.2 corresponde a los datos cualitativos y la Figura2.3 a los datos cuantitativos. Si entramos en detalle en una de ellas, por ejemplo la de Granada [JdAGra20], vemos que nos indica el estado de la calidad del aire en los distintos puntos de la ciudad, así como su evolución. En estos informes se tiene en cuenta todos los valores límite establecido por las leyes vigentes.

Figura2.1. Formulario de informes diarios. Fuente: imagen de elaboración propia.

Municipio	Estación	SO2	CO	NO2	Partículas	O3	Global
ARMILLA	CIUDAD DEPORTIVA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	ADMISIBLE	ADMISIBLE
GRANADA	GRANADA-NORTE	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	Sin Datos	BUENA
GRANADA	PALACIO DE CONGRESOS	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	ADMISIBLE	ADMISIBLE
MOTRIL	MOTRIL	Sin Datos	BUENA	BUENA	Sin Datos	ADMISIBLE	ADMISIBLE

Municipio	Estación	Situación Anterior	Situación Actual	Evolución
ARMILLA	CIUDAD DEPORTIVA	ADMISIBLE	ADMISIBLE	PEOR
GRANADA	GRANADA-NORTE	BUENA	BUENA	PEOR
GRANADA	PALACIO DE CONGRESOS	ADMISIBLE	ADMISIBLE	MEJOR
MOTRIL	MOTRIL	ADMISIBLE	ADMISIBLE	MEJOR

Figura2.2. Datos cualitativos. Fuente: imagen de elaboración propia.

2.5 Datos en Andalucía

Provincia	GRANADA				
Municipio	GRANADA				
Estación	PALACIO DE CONGRESOS				
Dirección	PASEO DE VIOLÓN S/N				
FECHA-HORA	SO2	PART	NO2	CO	O3
17/08/20-00:10	5	18	18	211	56
17/08/20-00:20	4	18	16	216	56
17/08/20-00:30	5	14	15	204	57
17/08/20-00:40	4	14	11	194	60
17/08/20-00:50	4	13	11	191	60
17/08/20-01:00	4	12	10	185	61
17/08/20-01:10	3	12	8	196	62
17/08/20-01:20	3	12	8	198	62
17/08/20-01:30	5	12	6	193	63
17/08/20-01:40	4	12	6	165	62
17/08/20-01:50	4	12	6	172	63
17/08/20-02:00	3	11	6	161	62
17/08/20-02:10	3	11	4	160	64
17/08/20-02:20	3	11	3	179	63
17/08/20-02:30	3	11	4	155	62
17/08/20-02:40	3	12	5	171	59

Figura2.2. Datos cuantitativos. Fuente: imagen de elaboración propia.

También, el ayuntamiento de Granada [AGr20] nos ofrece estos informes diarios, mostrado en la Figura2.3.



Figura2.3.Informe ayuntamiento de Granada. Fuente: imagen de elaboración propia.

Capítulo 3

Tecnologías utilizadas

Se va a tratar las diferentes tecnologías y materiales que pueden usarse para crear el proyecto.

3.1 Comunicaciones inalámbricas.

En la actualidad existen multitud de redes inalámbricas, muchas de ellas conocidas y otras no tanto. Cada una de ellas tiene distintos propósitos y formas de funcionar. También ofrecen ciertas características que las distinguen unas de otras. Dependiendo de qué es lo que queremos transmitir y la distancia a la que debe llegar, nos convendrá más utilizar un tipo de red u otro. Las más conocidas son WiFi, Bluetooth, Zigbee y LPWAN.

En este proyecto nos centramos en las de tipo LPWAN, ya que es la más indicada para lo que queremos ofrecer.

3.2 LPWAN.

Las redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) son redes de área amplia y de baja potencia. También se conoce también como LPWA (Low Power Wide Area) o como LPN (Low Power Network). Es una tecnología de transporte de datos el cual hoy en día se entiende como uno de los más básicos para la implementación del conocido Internet de las cosas (IoT). Está diseñada para permitir comunicaciones de largo alcance, incluso de varios kilómetros, a una velocidad de bits baja entre los objetos conectados a este tipo de red.

La baja potencia de consumo que requiere, la baja velocidad de bits y el uso previsto que le vayamos a dar distinguen este tipo de red de una WAN inalámbrica en que la WAN está diseñada para conectar usuarios o incluso empresas, y transportar más cantidad de datos, utilizando para ello más energía eléctrica. La tasa de datos LPWAN varía de 0,3 kbit/s a 50 kbit/s por canal, transmitiendo poco volumen de información, y a veces no de forma constante en el tiempo.

Se puede usar para crear una red privada de sensores inalámbricos, pero también para ser un servicio o infraestructura ofrecida por un tercero.

En la Figura3.1 [Pan20], vemos la LPWAN en comparación con las prestaciones de otras tecnologías inalámbricas, mostrando en el eje vertical el ancho de banda y en el eje horizontal la distancia del alcance de la señal.

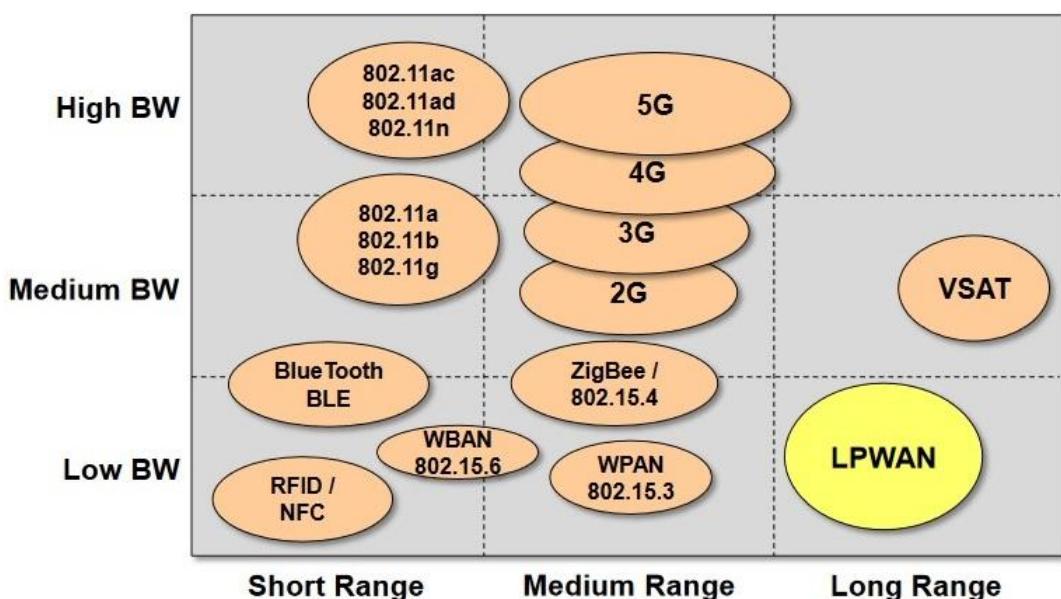


Figura3.1. Fuente: Egli, P (2015) LPWAN. Overview of Emerging Technologies for Low Power Wide Area Networks in Internet of Things and M2M Scenarios. Indigoo.com. Disponible en:
http://indigoo.com/dox/itdp/12_MobileWireless/LPWAN.pdf

Banda ISM

Las redes LPWAN trabajan en la banda ISM. Esta banda es importante porque en este grupo de frecuencias a veces es necesario pagar por algún tipo de licencia de uso, siempre y cuando se respeten las restricciones de potencia transmitidas. Son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas como industria, científica y médica, como son las WLAN o Bluetooth.

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

Para redes LPWAN, existe una diferencia en la frecuencia utilizada dependiendo de la región del mundo donde se vaya a usar. En Europa se utiliza la franja de frecuencias entre 867 y 869MHz. La ventaja de trabajar en este tipo de franja de frecuencias es que ofrece unas características superiores en cuanto al alcance se refiere, siendo 2 o 3 veces mayor que las frecuencias en la banda de 2,4GHz.

3.2.1 Ventajas y desventajas de las redes LPWAN.

Las principales ventajas de las redes LPWAN son las siguientes.

- El alcance geográfico, dado que LPWAN está diseñado para el transporte inalámbrico de datos entre dispositivos, separados por distancias en el rango de kilómetros y no de metros.
- La cantidad de datos transmitida. La idea de LPWAN es regular el envío de datos no constante, transmitiendo pequeñas cantidades de datos.
- El bajo consumo eléctrico. El protocolo se fundamenta en el uso de dispositivos cuyas baterías permiten una duración de años en lugar de semanas y meses.

Y las desventajas de las redes LPWAN son las siguientes.

- La limitación del ancho de banda de las redes LPWA no sirve para la mayoría de las aplicaciones comerciales ni para los usuarios, como la transmisión de voz, vídeo, audio, imágenes o incluso la mensajería de texto.
- Existen problemas de atenuación de las señales cuando la red LPWAN tiene dispositivos ubicados en edificios o separados con elementos físicos en medio de ellos, funcionando de forma más eficiente en espacios abiertos y sin obstáculos.
- La conectividad entre los dispositivos y su aplicación o servidor no es constante y puede ser unidireccional; del dispositivo a un elemento de captura, lo cual dificulta actividades como por ejemplo el control de movimiento de objetos en tiempo real.
- La confiabilidad de las transmisiones, al enviarse los datos públicamente. Las diferentes implementaciones de LPWAN introducen diferentes procesos de encriptación y autenticación para resolver esta deficiencia del protocolo.

En la Tabla3.1 [DifBet20], vemos una comparación del alcance y velocidad de cada una de los principales tipos de red que existen.

Red	Alcance	Velocidades
WAN	1000KM	10-100Mbps
MAN	100KM	5-10Mbps
LAN	<1KM	10-1000Mbps
PAN	Pocos metros	< 1Mbps
WLAN	Pocos metros	54 – 300Mbps
LPWAN	Varios Km, 10- 15Km	0.3 - 50Kbps

Tabla 3.1, alcance y velocidad de distintos tipos de redes.

3.2.2 Proveedores de las redes LPWAN.

Existen distintos proveedores que compiten en el espacio LPWAN. Comentamos los más conocidos.

3.2.2.1 LoRa.

LoRa es una tecnología inalámbrica que emplea un esquema de modulación de radio de espectro expandido (Chirp Spread Spectrum o CSS) para LPWAN, pudiendo utilizar LoRaWAN como protocolo de comunicación. Ha sido creado por la empresa Semtech Corporation. Esta empresa diseña y produce, entre otros elementos, los chips LoRa que serán utilizados como base física de estas redes.

Las principales ventajas de LoRa son:

- Alta tolerancia a las interferencias.
- Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB).
- Bajo consumo de energía.
- Alcance de varios kilómetros.
- Baja transferencia de datos.
- Conexión punto a punto.
- Frecuencias de trabajo: 915Mhz América, 868Mhz Europa, 433Mhz Asia.
- Se pueden desplegar rápidamente a bajo coste y sin necesidad de disponer de un espectro con licencia.

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

LoRaWAN es una implementación del protocolo LPWAN. Es desarrollado por la denominada LoRa Alliance, integrada entre otros por las empresas Cisco, IBM y Orange. Podemos ver a LoRaWAN como la definición del protocolo y la arquitectura de red sobre el cual interactuarán directamente las aplicaciones, trabajando en la capa de control de acceso. Es importante no confundir LoRa con LoRaWAN, ya que LoRa corresponde a la capa 1 del modelo OSI encargándose del tipo de modulación, ancho de banda o frecuencias a usar, mientras que LoRaWAN corresponde a la capa 2 del modelo OSI, estableciendo la forma en la que se harán las comunicaciones, uniendo diferentes dispositivos LoRa y estableciendo los parámetros de conexión. Esta explicación se puede ver en la Figura3.2.

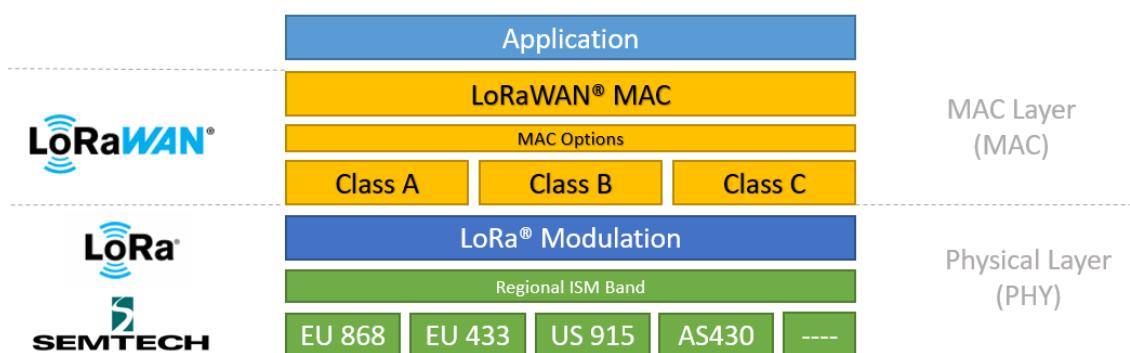


Figura3.2. Fuente: Capas de red, Semtech. Disponible en: https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/images/Technology_stack.png

Algunos ejemplos de uso real donde se ha utilizado LoRa es en logística inteligente, otro en la conservación de parques naturales, como hace la empresa Smart Parks, que utiliza LoRa para el cuidado de espacios naturales en Ruanda.

Senet

Senet es un proveedor de red de tecnología basada en LoRa, siendo actualmente el único proveedor público de LPWAN que utiliza la modulación LoRa. Las redes Senet se han expandido con miles de nodos sensores, 500 torres y más de 250,000 kilómetros cuadrados. Un ejemplo de su uso ha sido en San Francisco, donde esta compañía desarrolló una red para facilitar la expansión de los servicios de IoT. También ha alcanzado a proporcionar cobertura y servicio a 110 ciudades en Estados Unidos.

3.2.2.2 Sigfox.

Sigfox [Sigfox20] es una compañía que usa UNB, Ultra Narrow Band, tecnología de modulación que utiliza LPWAN. Es una red de LPWAN propietaria, ofrecida por una compañía francesa. Actualmente, se trata de una de las redes LPWA más grandes del mundo, presente en más de 70 países y utiliza las frecuencias sin licencia de las bandas ISM de 868MHz o 902MHz. Se caracteriza como una transmisión de radio de banda ultraestrecha y su cobertura abarca largas distancias con una baja tasa de transferencia de datos. Esto obliga a Sigfox a no ocupar el canal más de cierto tiempo, conocido como “duty cycle”, limitando el número de mensajes que puede enviar un dispositivo a unos 140 al día. Sigfox ha creado un protocolo a medida, para manejar los pequeños mensajes y así reducir el gasto energético. Junto con los distintos operadores de telecomunicaciones encargados en cada país, en España Cellnex, se ha creado una red que permite la comunicación de datos entre dispositivos conectados ligado a la cobertura y disponibilidad de la red móvil.

Se puede comunicar a distancias de hasta 50 kilómetros o más utilizando una arquitectura de red en estrella, donde cualquier estación base dentro del rango puede recibir cualquier transmisión. Sigfox ha diseñado su red para cumplir con los requisitos que deben tener las aplicaciones del IoT, como dispositivos con una duración de batería larga, bajo coste económico, largo alcance y bajo uso de recursos de red.

Como caso de éxito de Sigfox, podemos destacar el despliegue de un sistema de teleasistencia para personas mayores en la ciudad de Chengdu, China. Otro caso de éxito es el uso para alarmas, en España, por parte de Securitas Direct.

Seguridad

En cuanto a seguridad, Sigfox ofrece una firma digital de apenas 16 bits, una cifra muy inferior al estándar de la industria, que se sitúa en 128 bits. LoRaWAN, sin embargo, ofrece cifrado y autenticación AES de 128 bits. Además, como Sigfox utiliza saltos de frecuencia, es más complicada de inhibir la red, y siendo por tanto más segura para sistemas de seguridad.

Estructuras de red

Los dispositivos que usan Sigfox están casi siempre en modo de espera, lo que les permite consumir poca energía. Estos dispositivos no tienen una estación base en particular a la que transmitir la información, si no que lo recibe cualquier base a su alcance, que suelen ser unas 3 bases de media. Los mensajes emitidos por los dispositivos son recolectados por las estaciones base de Sigfox, después son

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

transmitidos a la nube de Sigfox y finalmente a la plataforma del usuario. En caso de ser necesario mejorar la cobertura, se pueden colocar repetidores para ayudar a cubrir el área. La plataforma de Sigfox es una aplicación web donde nuestros dispositivos son registrados, asignándoles un ID que los hace únicos. Gracias a esto y a una conexión a la API de Sigfox, podemos desarrollar nuestras aplicaciones. En la Figura3.3 vemos la arquitectura de red de Sigfox.

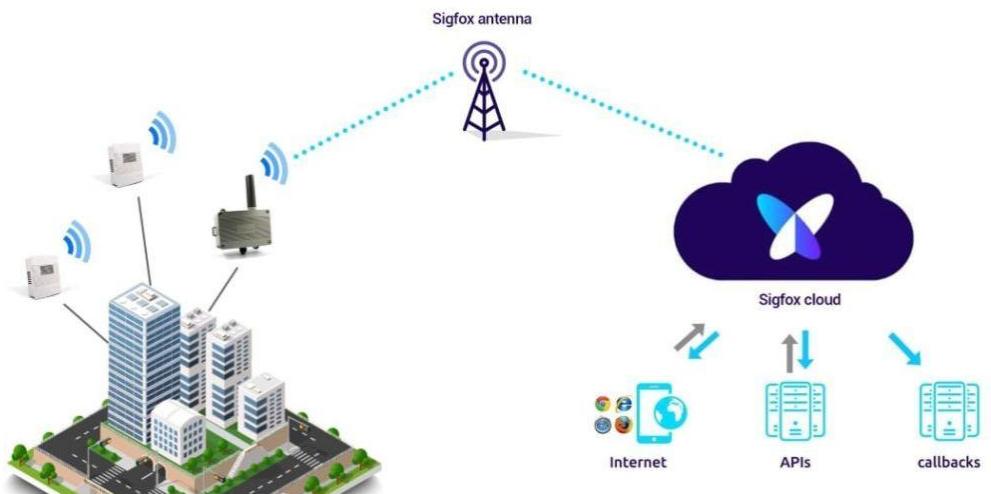


Figura3.3. Fuente: Esquema de Sigfox. vicentferrer.com. Disponible en: <https://cdn.vicentferrer.com/wp-content/uploads/esquema-sigfox-1024x620.jpg>

3.2.2.3 NarrowBand IoT(NB-IoT)

NB-IoT quiere decir “banda estrecha para el internet de las cosas” (*NarrowBand Internet of Things* o *NarrowBand IoT*), siendo un estándar de tecnología de radio creado por 3GPP. Con las NB-IoT se pueden obtener velocidades de hasta 20 kbit/s en monótono y 250 kbit/s en multitonos, velocidades bastante superiores a la de otras tecnologías LPWAN. Está siendo impulsada por los principales operadores móviles. Es un servicio con necesidad de licencia y de uso exclusivo.

NarrowBand IoT se centra de forma específica en la cobertura de espacios cerrados y con el resto de particularidades de una red LPWAN, como bajo coste, larga duración de la batería... Como ejemplo de uso destacan los aparcamientos inteligentes y los contadores de gas inteligentes.

3.2.2.4 LTE CAT-M

LTE-M [Acc20], abreviación de LTE Cat-M1, es una tecnología LPWAN desarrollada para aplicaciones IoT. Es un protocolo para comunicaciones telefónicas para la banda ISM, que conectan a internet dispositivos propios de las redes LPWAN, pudiendo transmitir pequeñas cantidades de datos con un bajo consumo de energía.

LTE-M dispone de un ancho de banda mayor, la cual permite velocidades de datos mayores, menos latencia y una localización del dispositivo con mucha más precisión. Al tener una mayor velocidad, este protocolo también permite enviar voz, y es ideal para comunicaciones “machine to machine” (M2M) y soluciones que utilicen dispositivos IoT.

- Las ventajas de usar este protocolo son:
- Ideal para aplicaciones en movimiento.
- Menor coste del dispositivo.
- Duración de batería de hasta 10 años.
- Gran alcance en interiores y bajo tierra, cobertura mejorada.
- Mayor alcance que el resto de tecnologías LPWAN.

La tecnología CAT-M, basada en LTE, es la que se está preparando para llevar el estándar inalámbrico al territorio LPWAN. CAT-M se considera una tecnología telefónica que cae bajo la estandarización 3GPP. Se diferencia de Sigfox y LoRa en que utiliza una licencia para la banda ISM, permitiéndole evitar que competidores potenciales en estas bandas puedan hacerle competencia.

CAT-M es la segunda generación de la tecnología LTE. En la primera generación, Cat-M1 LTE, se consiguió reducir el consumo de baterías al limitar las velocidades de descarga a 10Mb/s y las velocidades de carga hasta 5Mb/s. Tiempo después, se limitaron las velocidades de descarga entre 200Kb/s y 300Kb/s. En la segunda generación, Cat-M2, se va a reducir todavía más el consumo de baterías, con el fin de utilizar un ancho de banda más limitado, manteniendo la eficiencia de los dispositivos. Para conseguir esto, se reducirá la velocidad hasta un margen de entre 10Kb/s y 30Kb/s.

3.2.3 Otras tecnologías LPWAN.

A parte de las tecnologías mencionadas anteriormente, existen otras tecnologías LPWAN, pero por motivos de cómo se han diseñado o están implementados, no son adecuadas para este proyecto.

El protocolo de red DASH7 [Das7A20] y su código fuente es un estándar abierto para la comunicación inalámbrica bidireccional, de rango medio, diseñada para aplicaciones de sensores que utilizan redes privadas. DASH7 opera en las bandas ISM. La especificación del protocolo es de uso gratuito sin ningún requisito de patente o de licencia. Sus funciones de sincronización local y direccionamiento inteligente, permiten actualizar multitud de sensores de forma simultánea, reduciendo drásticamente el tiempo de actualización total. DASH7 permite hasta distancias de 500 metros.

MySensors [MSe20] es una fuente de código abierto tanto para hardware como para software. Se usa para dispositivos que han sido creados de forma casera, para usar con Arduino y Raspberry Pi.

EC-GSM-IoT [GSMA20], llamado cobertura extendida GSM IoT, es una tecnología LPWAN basada en eGPRS, un tipo de red de telefonía móvil, y está diseñado como un sistema móvil de largo alcance, con bajo consumo de energía y baja complejidad para comunicaciones de tipo IoT. Las redes EC-GSM-IoT convivirán con las redes móviles 2G, 3G y 4G. También se beneficiarán de todas las funciones de seguridad y privacidad de las redes móviles, como soporte para la confidencialidad de la identidad, la autenticación, la integridad de los datos y la identificación del dispositivo móvil.

Weightless [Wei20] es un conjunto de estándares abiertos para tecnología LPWAN. Aunque puede operar en cualquier banda de frecuencia, actualmente está definido para operar en bandas de frecuencia inferiores a GHz exentas de licencia, las bandas ISM. Su comunicación es bidireccional, asegurando la confiabilidad como requisito de seguridad. Weightless se ha optimizado para una gran cantidad de dispositivos de baja complejidad con comunicación asincrónica. Se ha optimizado también para un consumo de energía bajo, a costa de tener latencia y perder rendimiento en general. Permite una tasa de datos de 0.625Kbps a 100Kbps.

3.2.4 Comparación.

En la Tabla3.2 resumimos a modo de comparación los distintos proveedores LPWAN.

Tecnología	Ventajas	Inconvenientes
LoRa	<ul style="list-style-type: none"> • De uso gratuito, puede configurar su propia red. • Envía tantos mensajes como quieras, a velocidades de hasta 50Kb/s. • Alcance muy largo (algunos kilómetros en ciudades, hasta 40Km en áreas rurales con antenas direccionales). • Se puede elegir la frecuencia a usar. • Cifrado y autenticación AES de 128 bits. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debe administrar su propia red. • Chips solo disponibles de Semtech, y bajo patente.
Sigfox	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance muy largo (algunos kilómetros en ciudades, hasta 40Km en áreas rurales con antenas direccionales). • Muy poco consumo. • API y aplicación web. 	<ul style="list-style-type: none"> • Servicio pago por suscripción. • Límite mensajes de 140 al día • Frecuencia fija por ubicación. • Firma digital de 16 bits.
NarrowBand IoT (NB-IoT)	<ul style="list-style-type: none"> • 20Kb/s en monótono y 250Kb/s en multitonos. • Estándar internacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Con licencia, exclusividad. • Para espacio cerrados, poco alcance.
LTE CAT-M	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor alcance, incluso bajo tierra. • Mayores velocidades, 200 y 300Kb/s. • Menos latencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Con licencia, exclusividad.

Tabla3.2, comparación de las distintas LPWAN.

3.3 LoRa.

Vamos a entrar más en detalle con LoRa [Sem20], dando una serie de conceptos que debemos tener en cuenta para que el funcionamiento de la red sea lo más robusta posible y que respete las normativas establecidas.

3.3.1 Elementos en una red LoRa

Para que una red LoRa [Sem20] funcione, son necesarios una serie de elementos que aseguren la conexión. No es necesario que estén todos los elementos para que funcione, pero lo normal es que si estén. Estos elementos son:

- Dispositivos LoRa, son los dispositivos que recolectan los datos que deseamos y los cuales también se encargan de enviar dichos datos a uno o varios gateway. Los dispositivos envían sus paquetes sin saber que gateway los recibirá.
- Gateway, o pasarela, es el dispositivo que recibe los datos que envían los dispositivos LoRa. Solamente recolecta los datos de todos los dispositivos conectados y los envía hacia los servidores de servicios. Pueden incluso comunicarse con los dispositivos, aunque esto no es necesario.
- Red IP pública, es el medio por el cual los datos llegan a los servidores de servicios, como son Internet, alguna plataforma estilo Cloud...
- Servidores de servicios, encargados de procesar los datos que han sido recolectados.

3.3.2 Estructuras de red

Una red LoRa puede hacer uso de varias estructuras de red. Para estas redes, no es nada recomendable que los nodos finales se conecten entre sí, ya que aumenta la sobrecarga de la red y el consumo de energía de estos nodos.

Además, LoRa permite conexiones punto a punto. La característica principal es que no es necesario elementos intermedios para administrar la comunicación, sino que son los dispositivos los que se envían la información directamente. Este tipo de arquitectura solamente es ideal para comunicaciones muy simples.

En una red en malla LoRa permite la comunicación directa entre los gateways sin la necesidad de un elemento intermedio, lo que facilita una comunicación básica entre

elementos. Solo es posible para los gateways, ya que la idea es que el resto de dispositivos se conecten solamente y de forma directa a los gateways.

La estructura de red en malla con los elementos de una red LoRa puede ser representada de la Figura3.4.:

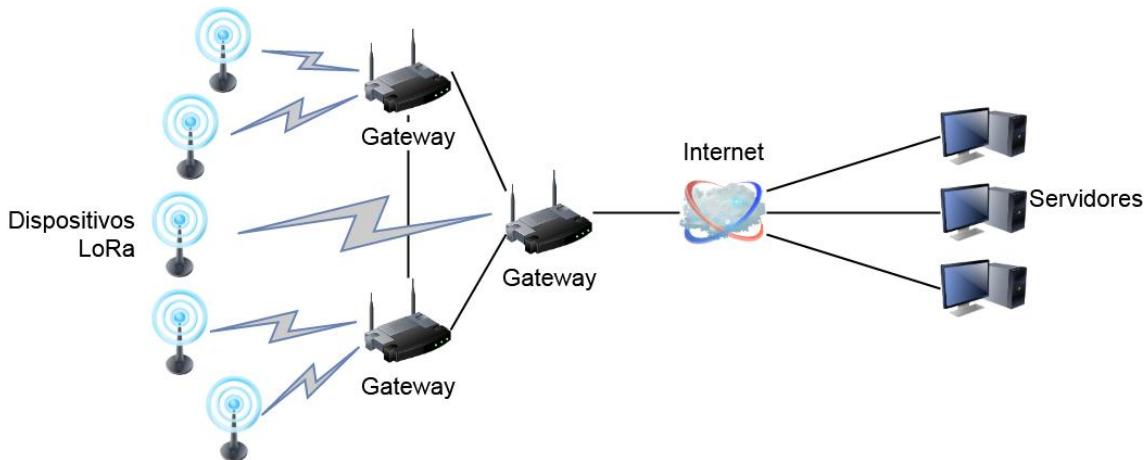


Figura3.4. Red en malla. Fuente: Imagen de elaboración propia.

En una red en estrella los nodos finales transmiten sus mensajes a los gateway, donde un mismo mensaje enviado puede ser recibido por más de un gateway. Luego, los gateway envían los mensajes a un servidor, que será el encargado de procesar los datos del mensaje.

Otra red posible es una derivación de la red en estrella, que es una red de redes en estrella, y es la más usada para redes LoRa. Esta arquitectura de red proporciona una mejor comunicación a largo plazo, número de gateways y duración de la batería de los dispositivos.

Por una parte tenemos una red en estrella correspondiente a los nodos y los gateways y por la otra una red en estrella con los gateways con los servidores. Los nodos se pueden conectar a varios gateways formando así la red en estrella. Normalmente, los gateways se comunican con los servidores a través de conexiones IP, actuando de forma transparente al transformar los paquetes recibidos de los nodos en paquetes IP. Esta red se ve representada en la Figura3.5.

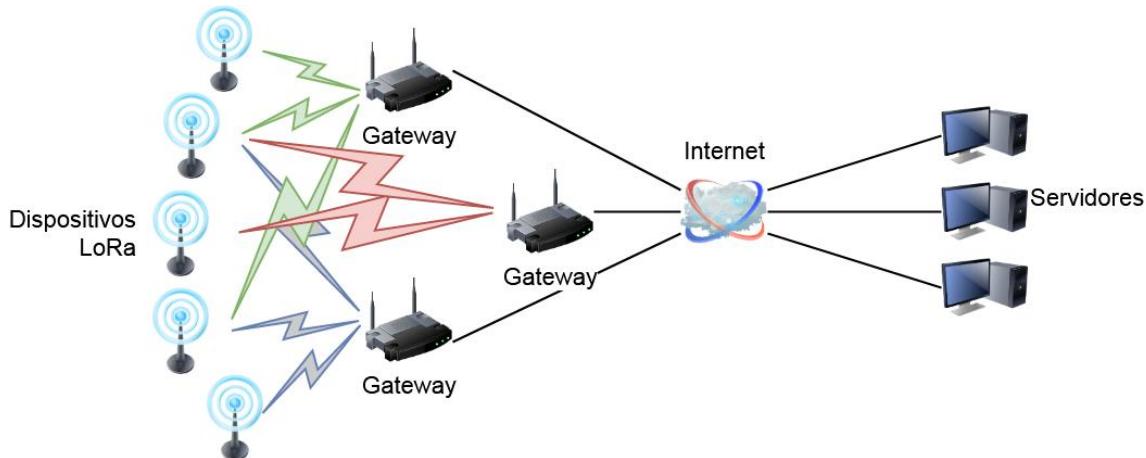


Figura 3.5. Red de estrella. Fuente: Imagen de elaboración propia.

En cualquiera de estas estructuras de red, las comunicaciones entre los nodos y los gateways pueden ser unidireccionales o bidireccionales, aunque el estándar de LoRa también permite multidifusión, como por ejemplo para tareas de actualización de nodos o mensajes de distribución masiva. Estas comunicaciones, al ser inalámbricas, se pueden hacer en diferentes canales de frecuencia y con velocidades de datos distintas. Los gateways escuchan en todos los canales de frecuencia, mientras que los nodos solo pueden transmitir en un canal. Cuantos más gateways reciban los mensajes de los nodos, mejor será la consistencia de la red, mejorando el número de mensajes recibidos con éxito. Obviamente, esto aumenta el costo de la red LoRa.

3.3.3 Bandas ISM en Europa y restricciones

En Europa, el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) regula el acceso a la bandas ISM de 868MHz, denominada ISM EU868, y existe una serie de reglas a cumplir para el uso de este tipo de bandas:

- Para el enlace ascendente, la transmisión máxima está limitada a 14dBm.
- Para el enlace descendente, la transmisión máxima está limitada a 27dBm.
- El uso de la frecuencia o ciclo de trabajo debe de ser del un 1% en el periodo de 1 día. Esta regla es muy importante de cumplir para garantizar un correcto funcionamiento de la banda.

Cuando un nodo se comunica con el gateway, se conoce como enlace ascendente. Cuando ocurre al revés, se conoce como enlace descendente.

Aparte de esto, luego las distintas compañías que proveen un servicio para LoRa pueden imponer sus propias restricciones.

El canal de la banda es la frecuencia que representa el canal. La banda ISM EU868 tiene disponible 10 canales. Por ejemplo, el canal número 10 dentro de la banda 868MHz es la frecuencia de 865.2MHz. Según el documento de Parámetros Regionales de LoRa [LoRaAlli20], cada nodo final que trabaje con la frecuencia 868MHz debe implementar estos 3 canales de forma predeterminada, las cuales puede usar de forma aleatoria cualquiera de ellas:

- 868.10MHz, con ancho de banda de 125KHz
- 868.30MHz, con ancho de banda de 125KHz.
- 868.50MHz, con ancho de banda de 125KHz.

Al trabajar con diversas frecuencias, se consigue que la red sea más robusta contra interferencias. Aparte de estas 3, se puede también implementar 5 frecuencias adicionales. Normalmente estas 5 frecuencias se elijen libremente, por quien opera de la red.

A modo de resumen, en la Tabla3.3 se indica las características de la banda ISM EU868 para Europa:

Bandas de frecuencia	867-869MHz
Canales	10
Ancho de banda enlace ascendente	125/250KHz
Ancho de banda enlace descendente	125KHz
Transmisión ascendente	+14dBm
Transmisión descendente	+14dBm
Spreading factor	7-12
Velocidad de datos	250bps - 50Kbps
Presupuesto de enlace (link budget)	155dB
Ciclo de trabajo máximo	1% al día

Tabla3.3. Característica banda ISM Europa.

3.3.4 Ciclo de trabajo y tiempo en el aire (ToA)

Se conoce como tiempo en el aire, Time over Air (ToA), el tiempo que transcurre desde que un nodo envía su señal o mensaje hasta que un gateway la reciba. Por eso la distancia aquí juega un papel importante. A mayor distancia, más tiempo en el aire estará el paquete enviado y menor será el número de paquete que puede enviar un dispositivo.

El ciclo de trabajo es una proporción de tiempo durante un nodo está transmitiendo sus datos. Como se ha mencionado, en Europa no se debe pasar del 1% diario y LoRa no regula si se supera o no este límite. Al no tener que regularse se reduce la latencia y el consumo de energía y simplifica los dispositivos. Por el contrario, es más propenso a colisiones, mensajes que coinciden en el tiempo, en la frecuencia y en el factor de propagación.

Para ver claro estas definiciones, lo veremos con un ejemplo. Si se tarda en enviar un mensaje 600 milisegundos, que es el tiempo que está en el aire, tenemos que esperar $500 \times 99 = 59400$ milisegundos = 59.4 segundos antes de poder enviar un nuevo mensaje, por lo que el ciclo de trabajo es esa cantidad de tiempo.

Los datos a enviar deben tener el menor tamaño posible. Por eso se recomienda enviarlos como datos binarios, en vez de enviar texto sin formato (ASCII) o un JSON. El consumo de energía en un dispositivo LoRa no depende de los datos a transmitir, sino del tiempo en el aire y de la potencia de salida del dispositivo.

3.3.5 Zona de Fresnel

La zona de Fresnel [ReadDocs20] es una zona con forma elíptica alrededor de la línea recta que va desde un nodo al gateway. Es muy importante saber que existe esta zona, ya que cualquier obstáculo dentro de esta zona, como árboles o edificios, debilita la señal de transmisión. En la Figura3.6 se muestra visualmente en color cian la zona de Fresnel.

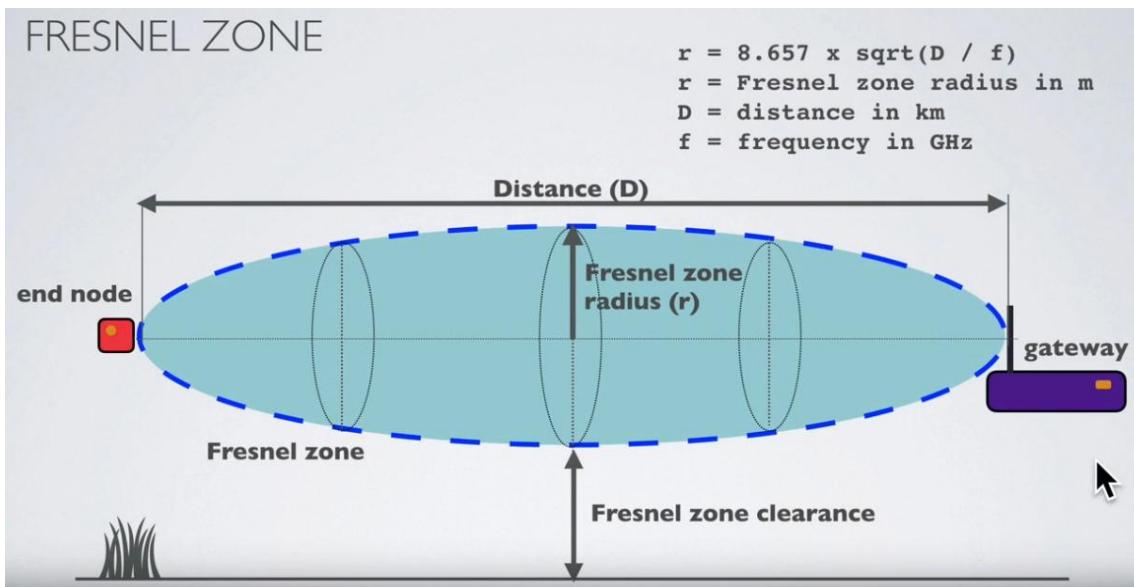


Figura 3.6. Fuente: Fresnel Zone, lora.readthedocs.io. Disponible en:
https://lora.readthedocs.io/en/latest/_images/fresnel.PNG

Esta zona debe estar lo más limpia de obstáculos posible, aunque en la práctica es muy difícil de conseguir. Por ello, más allá del 40% de esta zona por la parte externa de la elipse, la pérdida de señal se ve gravemente afectada. Podemos ver estos márgenes en la Figura 3.7.

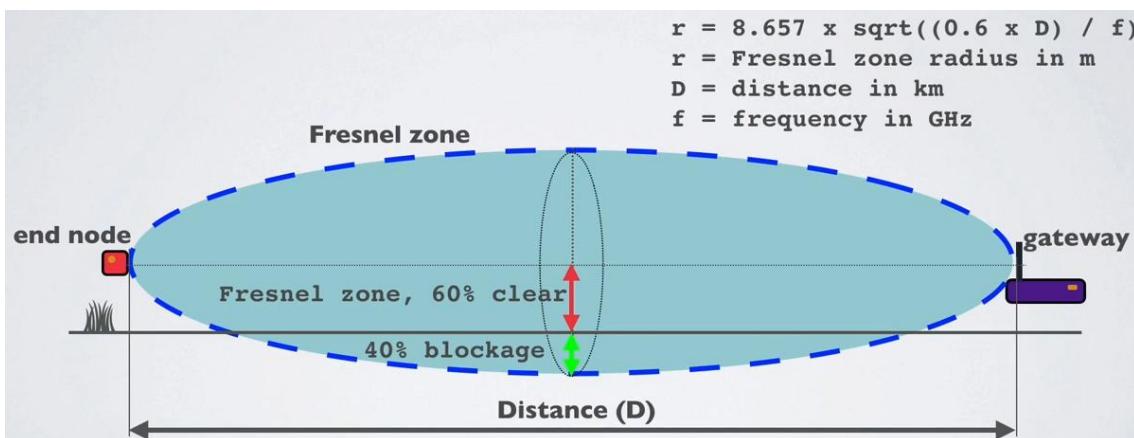


Figura 3.7. Fuente: Fresnel Zone, lora.readthedocs.io. Disponible en:
https://lora.readthedocs.io/en/latest/_images/fresnel3.PNG

Una buena práctica para mejorar el rendimiento de la señal es colocar el gateway en una zona alta, para así garantizar que en la zona de Fresnel haya la menor cantidad de obstáculos posibles.

3.3.6 Modulación y CSS

LoRa usa un esquema de modulación de espectro extendido (SSM) [Digi20]. Los datos de la señal base se multiplica con una secuencia de alta frecuencia que con el tiempo se propaga haciendo un mayor ancho de banda, lo que ayuda a reducir el consumo de energía y mejorar la resistencia a interferencias.

Debido a que esta modulación es de tipo ortogonal, se puede decodificar varias señales aunque usen la misma frecuencia. A esta característica se le conoce como canales virtuales, la cual nos permite poder transmitir en el mismo canal con diferentes factores de propagación, el cual se explicará más adelante, y en el mismo tiempo sin que haya interferencias entre sí, viéndose entre ellas como si fuera ruido. Por lo tanto, si coinciden dos paquetes con diferente factor de propagación, no van a colisionar y serán procesados por el gateway que los reciba. Si fuera el mismo factor de propagación para ambos paquetes, se produciría una colisión.

El esquema SSM que usa LoRa es una variante, llamada modulación de espectro extendido de chirp, Chirp Spread Spectrum (CSS). CSS codifica los datos con un chirp, que es una señal senoidal y modulada, creciendo o decreciendo según avanza el tiempo. Cada bit de los datos se divide en múltiples chirps. La Figura3.8 corresponde a una ilustración del CSS.

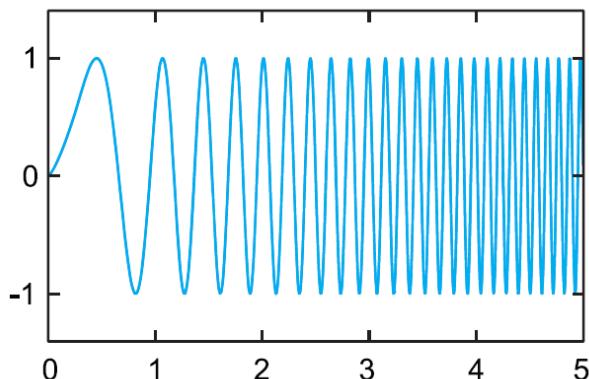


Figura3.8.Fuente: LoRa Chirp Spread Spectrum, Semtech. Disponible en: <https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/images/CSS.png>

Se usa este tipo de modulación porque es muy adecuado en aplicaciones que requieren baja velocidad de datos, ayudando así la consumo de energía. Una desventaja de este tipo de modulación es implicar una complejidad mayor de los dispositivos, aumentando el precio de estos.

3.3.7 Factor de propagación

En LoRa, la cantidad de número de bits que se usa para codificar la señal de datos original se denomina factor de propagación, spreading factor (SF). Esta cantidad de bits es una relación entre la velocidad a la que se envía la información y la velocidad de los chirps.

Este factor es variable y LoRa tiene 6 factores para Europa, del SF7 al SF12. A mayor SF mejor será la sensibilidad del receptor, tendrá mejor alcance e inmunidad a interferencias y el tiempo en el aire será menor, a cambio de que la velocidad de transmisión decrezca, debido a que hay menos chirps que codificar. Un dispositivo cercano a un gateway transmitirá los datos con un SF bajo, al requerir menos presupuesto de enlace. Si el dispositivo está lejos del gateway, se transmitirán los datos con un SF mayor.

Los gateways son los encargados de escanear y detectar paquetes en cualquiera de los factores. Cada factor tiene un ancho de banda disponible, que son los rangos de 125, 250 y 500KHz para el enlace ascendente y 500KHz para el enlace descendente. Dependiendo de la región, se utilizará uno u otro, debido a que están reguladas. En Europa, solo se puede utilizar los anchos de banda de 125 y 250KHz, aunque el más utilizado es el de 125KHz.

A mayor factor de propagación menor será la tasa de bits y mayor consumo de energía del nodo. La tasa de bits viene dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de bit} = SF \times \frac{\text{Ancho Banda}}{2^{SF}}$$

En la Tabla3.4 tenemos la tasa de bits que tiene los SF, junto con la distancia que podría alcanzar, el tiempo que estaría en el aire un paquete de 10 bytes y la sensibilidad de recepción. A menor sensibilidad, más alcance tiene. Todos ellos son datos de forma aproximada, pueden variar según el entorno.

SF (enlace ascendente a 125KHz)	Tasa de bits	Distancia aproximada	Tiempo en el aire (10bytes)	Sensibilidad de recepción (dBm)
SF12	250b/s	14Km	1400ms	-136
SF11	440b/s	11Km	740ms	-133

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

SF10	980b/s	8Km	370ms	-132
SF9	1760b/s	6Km	200ms	-129
SF8	3125b/s	4Km	100ms	-126
SF7	5470b/s	2Km	56ms	-123

Tabla 3.4. Características según SF.

3.3.8 Ajuste dinámico

LoRa usa un ajuste dinámico para la tasa de transferencia de datos, denominada ADR (Adaptive Data Rate), permitiendo a los nodos de la red un ajuste dinámico de sus parámetros, según distancia o tamaño del mensaje. El objetivo principal de ADR es ahorrar energía de los dispositivos de la red.

3.3.9 Coding rate

LoRa usa un coding rate (CR) para codificar la corrección de errores. Añade bits de control para saber si los datos son o no correctos. Sirve para recuperar de forma parcial transmisiones corruptas. Por cada 4 bits de datos enviados, se añade 1 bit para informar de la paridad. La desventaja de usar esto, es que aumenta de forma negativa el ToA a cambio de una comunicación más robusta.

3.3.10 Presupuesto de enlace

El presupuesto de enlace, o link budget, es la contabilidad de todas las ganancias y pérdidas de potencia que experimenta una señal. Dicha contabilidad va desde que un dispositivo envía la señal hasta que la recibe un gateway. Sirve para ayudar que la información enviada se reciba correctamente con una relación señal ruido adecuada.

Es una ecuación donde da como resultado la potencia recibida. Se suma la potencia de transmisión del dispositivo con las ganancias de la antena o de amplificadores de señal y se resta la atenuación de la señal debida a la propagación.

El link budget es un parámetro más propio de los dispositivos que de la red LoRa, pero como hemos visto en Europa el valor máximo es de 155dB. En la mayoría de dispositivos que usa LoRa viene presente este valor.

3.3.11 Limitaciones de LoRa

Un número elevado de dispositivos en una red LoRa la perjudica gravemente. Cuantos más dispositivos haya, menor serán las velocidades de transmisión y más propensas las colisiones. A medida que el número de dispositivos alejados del gateway aumenta, la fiabilidad de la red decrecerá de forma significativa. En principio, cualquier solución que use una LPWAN debería ser compatible con multitud de dispositivos, pero este requisito se verá con el paso del tiempo, según aumenten el número de dispositivos.

Un gran problema que afronta también LoRa es que al hacer uso de bandas las cuales no tienen licencia, se pierde el control del ancho de banda. Por eso se debe usar la regla del 1%. Los usuarios de estas bandas tampoco pueden ser controlados o ser obligados a reducir su uso, incluso si esto perjudica a la red.

También es un problema por el uso que otras compañías le dan a estas bandas, haciendo que se compita por el control de estas. Al compartirse las bandas, puede dar lugar a interferencias o bloqueos en los enlaces ascendentes en cualquiera de las redes. Obviamente, cuanto menor sea el número de dispositivos simultáneos, mejor funcionamiento tendrán las redes.

3.3.12 MQTT

En una red de tipo LoRa se permite el uso de un protocolo de red muy utilizado en el ámbito del IoT. MQTT (MQ Telemetry Transport o Message Queuing Telemetry Transport) [MQTT20] es un protocolo abierto, ligero, bidireccional y con un estándar ISO (ISO/IEC 20922) que transporta mensajes entre dispositivos. El protocolo generalmente se ejecuta sobre TCP/IP. Está diseñado para conexiones con sitios remotos donde el ancho de banda está limitado o no permita enviar a gran velocidad.

3.4 LoRaWAN.

El protocolo de red LoRaWAN apunta a requerimientos característicos del IoT, tales como conexiones bidireccionales seguras, bajo consumo de energía, largo alcance de comunicación, bajas velocidades de datos, baja frecuencia de transmisión, movilidad y servicios de localización. Permite la interconexión entre objetos inteligentes sin la necesidad de instalaciones locales complejas, y además otorga amplia libertad de uso

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

al usuario final, al desarrollador y a las empresas que quieran instalar su propia red de IoT.

LoRaWAN también es responsable de gestionar las frecuencias de comunicación, velocidad de datos y potencia para todos los dispositivos. Los dispositivos en la red son asincrónicos y transmiten cuando tienen datos disponibles para enviar.

Clases de dispositivos.

El protocolo LoRaWAN define tres tipos de clases para los nodos. Cada clase tiene diferentes necesidades según su trabajo destinado y requisitos optimizados. La diferencia clave es el compromiso de latencia y de consumo de energía.

Los nodos de clase A utilizan la potencia más baja y deben ser compatibles con todos los dispositivos LoRa. Son asíncronos y la comunicación siempre se origina con el nodo final. Tras enviar datos o comunicarse a un enlace de subida, se abre una ventana corta de tiempo durante la cual se pueden enviar una respuesta a estos nodos, creando la posibilidad de disponer de comunicación bidireccional. Estos nodos no tienen restricciones de latencia y tienen la mejor eficiencia energética.

Los nodos de la clase B se sincronizan con señales periódicas o con balizas, además de las conexiones iniciadas por el nodo final. Dichas sincronizaciones crean ventanas de escucha durante las cuales el nodo puede recibir señales o comandos, creando una comunicación bidireccional real.

Los nodos de la clase C están orientados a mantener un receptor abierto en el nodo final en todo momento, de modo que se ofrezca un canal de comunicación bidireccional de baja latencia. No obstante, ya que este procedimiento incrementa significativamente el uso de energía, esta clase solo es adecuada cuando disponemos de una fuente de alimentación continua.

3.4.1 Servicios y plataformas para LoRaWAN.

Actualmente, existen diversos servicios orientados al Internet de las cosas que implementan este protocolo que nos ayuda a gestionar una red de tipo LoRa. Estas plataformas se encargan de recoger y almacenar los datos que captamos con los nodos de la red LoRa. Nos ofrece también acceso a ellos para poder usarlos como deseemos.

Las plataformas más conocidas son The Things Network y Things Speak.

The Things Network

The Things Network [TTN20] proporciona herramientas totalmente gratis y es una red global gratuita adecuada para el Internet de las cosas. Proporciona seguridad con un cifrado robusto de extremo a extremo en la red. Esta muy expandida por el mundo y podemos acceder a diferentes gateways que han subido otros usuarios.

ThingSpeak

ThingSpeak [TS20] es un servicio de plataforma de análisis de IoT que le permite añadir, ver y analizar flujos de datos de forma directa en la nube. Se puede crear visualizaciones instantáneas de datos en vivo y enviar alertas mediante servicios web como Twitter. Incluye MATLAB para realizar análisis sobre los datos, pudiendo escribir y ejecutar código MATLAB.

3.5 Dispositivos LoRa.

En el mercado existen multitud de dispositivos, microcontroladores y transceptores que permiten el uso de LoRa. Muchos de estos usan el mismo transceptor para crear placas con diferentes características, esto ya depende de la empresa que los haga y que características quiera proporcionar. Es importante tener en cuenta que deben trabajar entre 687 y 689MHz, ya que es la banda ISM que está permitida en Europa.

No todos estos dispositivos tienen un software que permiten programarlos o gestionarlos, por eso existen multitud de librerías y de software proveniente de terceros, para poder realizar estas acciones.

Transceptores Moteino

Moteino son transceptores que han sido diseñados para ser una plataforma de desarrollo compacta, personalizable y asequible, adecuada para IoT, domótica y proyectos inalámbricos de largo alcance. Tienen la ventaja de ser baratos y de tener un tamaño reducido. Para programarlos es necesario un adaptador FTDI externo para poder cargar las instrucciones. La variante Moteino-USB, de la cual hablaremos más adelante, incluye el adaptador FTDI.

Los transceptores Moteino son compatibles y pueden comunicarse con cualquier Arduino o plataforma de desarrollo que los use.

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

Estas son algunas de las características que distinguen a Moteino:

- Diseño modular pequeño y ligero.
- Se permite el uso de varios transceptores.
- Potencia baja: Las radios de MHz y LoRa producen un alcance mucho más largo que las bandas de 2.4Ghz.
- Programable de forma inalámbrica(solo con radios RFM69).
- Fácil de usar desde la IDE de Arduino.
- Bandas de frecuencia 433Mhz, 868Mhz (UE), 915Mhz (EE. UU., Australia, etc.)
- Voltaje de entrada de 3.6V-16V
- Voltaje de funcionamiento del núcleo 3.3V
- Pines de E/S digital: 14 + 6
- Pines analógicos: 8
- Memoria de 32 KB, de los cuales 1 KB es utilizado por el gestor de arranque.
- SRAM 2 KB.
- EEPROM 1 KB.
- Velocidad de reloj de 16 MHz
- Uso de energía ~8mA (sin suspensión)

Son varios los transceptores que tiene Moteino. En la Figura3.9 se muestran cuales son.

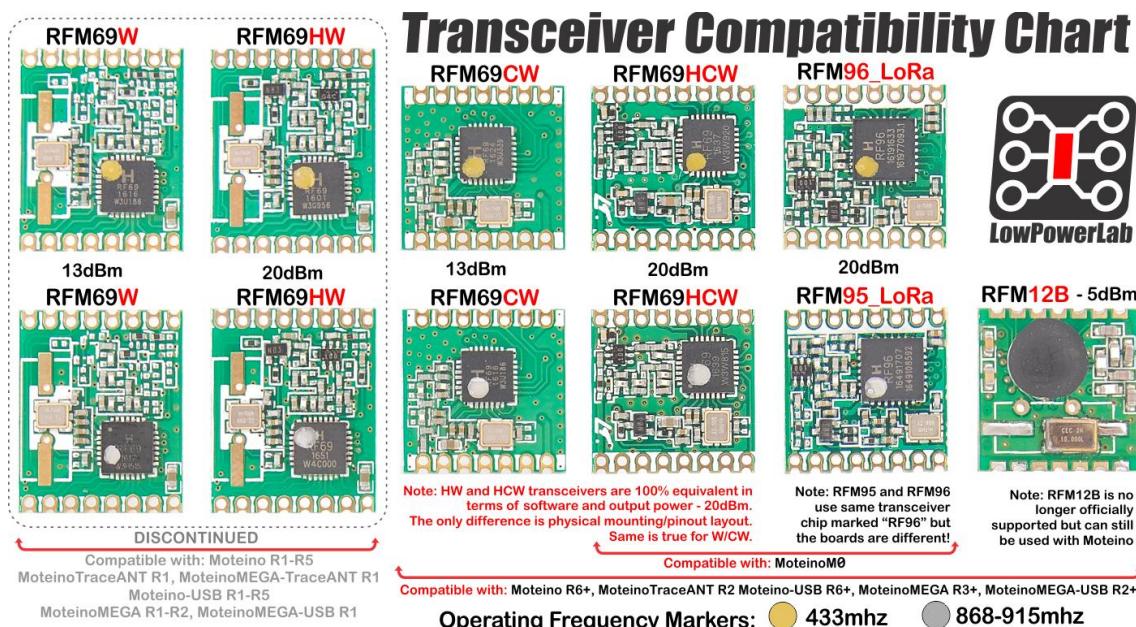


Figura3.9. Fuente: Transceptores Moteino, lowpowerlab.com. Disponible en:
https://lowpowerlab.com/wp-content/uploads/2016/09/LowPowerLab_transceivers-1.png

La diferencia entre cada uno de ellos depende de las siglas W / CW / HW y de la pegatina dorada o plateada. Los W / CW / HW son configuraciones diferentes del mismo transceptor. Vienen con diferentes potencias de transmisión. Por ejemplo, W y CW tienen una potencia de salida de 13dBm y el HW y el HCW de 20dBm. Las pegatinas plateadas indican que trabajan a una frecuencia de 868-915MHz y las doradas a 433MHz.

Visto esto, el transceptor que más nos interesa en el RFM95_LoRa, puesto que es el transceptor que trabaja con LoRa en la frecuencia Europea y es uno de los más usados para la creación de dispositivos.

Moteino-USB R6

Moteino-USB R6 [LowPw20] es una placa que incluye un chip FTDI junto con un microcontrolador Moteino, vistos anteriormente. Está diseñado para usarse sin la necesidad de un adaptador FTDI adicional, al tener un chip adaptador USB FTDI incorporado. Solo requiere un cable micro-USB normal para programarlo y para poder alimentarse, aunque también puede funcionar con una batería.

Está diseñada para usarse con transceptores FSK (RFM69HCW, RFM69CW) y transceptores LoRa (RFM95, RFM96). Su precio es unos 18€, pero depende del microcontrolador que le pongamos variará el precio. Con un chip RFM95 su precio asciende a unos 32€. Las versiones que operan a 868 / 915Mhz, tienen antenas más cortas. En la Figura 3.10 podemos ver esta placa.

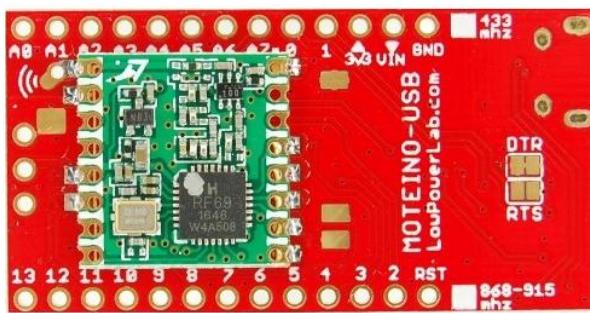


Figura 3.10. Fuente: Placa Moteino-USB, lowpowerlab.com. Disponible en:
https://lowpowerlab.com/shop/image/cache/data/Moteino/USB/DSC_1202_500-500x375.jpg

LoPy4

LoPy4 [Pycom20] es una placa de desarrollo de red, habilitada para MicroPython. Permite el uso de redes LoRa, Sigfox, WiFi y Bluetooth, siendo una completa plataforma de IoT. Esta placa viene con un 1 año de conectividad para Sigfox incluido.

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

Puede actuar como puerta de enlace LoRa y como una plataforma de desarrollo. Es programable con MicroPython y los complementos de Pymakr permiten un rápido desarrollo de aplicaciones. Si queremos conectarla a un ordenador a través de USB, es necesario tener también la tarjeta de expansión 2.0, Pysense o Pytrack, también de la misma empresa.

Dispone de las siguientes características:

- Chipset Espressif ESP32
- El procesador de red maneja la conectividad WiFi 802.1b/g/n a 16Mbps e IPv6.
- Precio de 34,95€
- Soporte SSL / TLS y seguridad WPA
- Cifrado/Hash SHA, MD5, DES, AES
- Memoria RAM de 4MB y memoria Flash de 8MB
- Consumo con WiFi: 12mA en modo activo, 5uA en espera.
- Consumo con LoRa: 15mA en modo activo, 1-uA en espera.
- Consumo con Sigfox (Europa): 12mA en modo recibir, 42mA en modo transmisión y 0.5uA en espera.
- Consumo con Sigfox (Australia, Nueva Zelanda y Sudamérica): 12mA en modo recibir, 120mA en modo transmisión y 0.5uA en espera.

Características de Sigfox:

- RCZ1 - 868MHz (Europa)
- RCZ2 - 902MHz (EE. UU., Canadá y México)
- RCZ3 - (Japón y Corea)
- RCZ4 - 920-922MHz (ANZ, América Latina y S-E Asia)
- Potencia máxima de transmisión de 14dBm en Europa.
- Potencia máxima de transmisión de 20dBm en América, Australia y Nueva Zelanda.
- Rango de hasta 50Km.

Características de LoRa:

- Transceptor Semtech LoRa SX1276
- Pila de LoRaWAN
- Dispositivo de clase A y C
- 868MHz (Europa) a 14dBm
- 915MHz (América del Norte y del Sur, Australia y Nueva Zelanda) a 20dBm

- 433MHz (Europa) a 10dBm
- 470-510MHz (China) a 14dBm
- Rango de hasta 40Km.



Figura 3.11. Fuente: Placa LoPy4, pycom.io. Disponible en: <https://pycom.io/wp-content/uploads/2018/08/lopy4TopN.png>

Arduino MKR WAN 1300

MKR WAN 1300 [MKR20] es una placa Arduino que combina la funcionalidad de una placa Arduino MKR Zero y la conectividad de LoRa, por lo que tiene soporte para aplicaciones de 32 bits y la ventaja de poder usar el IDE de Arduino para el desarrollo de código. El puerto USB que tiene se puede usar para suministrar energía (5V) a la placa, aunque también permite que se pueda alimentar usando dos baterías de tamaño AA o AAA de 1,5V.

Las características de Arduino MKR WAN 1300 son las siguientes:

- Precio de 35€.
- Microcontrolador SAMD21 Cortex-M0+ de 32 bits a 32.768KHz (RTC).
- Módulo de LoRa: CMWX1ZZABZ:
 - Frecuencia mínima de 860MHz y máxima de 930MHz.
 - Rango de temperatura en funcionamiento de -40°C a +85°C.
 - Chip modelo (SX1276) + STM (STM32L).
 - Velocidad de reloj de 32MHz.
 - Potencia de transmisión de 18.5dBm.
 - Voltaje de 3.3V.
 - Sensibilidad del receptor de -135.5dBm.
 - Consumo transmitiendo de 128mA y en modo receptor de 21.5mA.
- Fuente de alimentación de placa (USB) 5V.
- Voltaje de funcionamiento de 3.3V.
- 8 pines digitales de E/S.
- 7 pines de entrada analógica.
- 1 pin de salida analógica.

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

- Memoria Flash de 256KB y SRAM de 32KB.
- Antena con 2dB de potencia.



Figura 3.12. Fuente: Arduino MKR WAN 1300, store.arduino.cc. Disponible en: https://store-cdn.arduino.cc/uni/catalog/product/cache/1/image/500x375/f8876a31b63532bbba4e781c30024a0a/a/b/abx00017_iso_antenna_1.jpg

Dragino LoRa Shield

Un diseño Shield quiere decir que es una placa modular, se puede montar directamente sobre un Arduino.

El Dragino LoRa Shield [DragS20] es un transceptor de largo alcance con esta peculiaridad de ser Shield, y basado en una biblioteca de código abierto. El LoRa Shield permite al usuario enviar datos y alcanzar rangos extremadamente largos a bajas tasas de datos. Proporciona alta inmunidad a interferencias mientras se minimiza el consumo de energía. Está basado en el transceptor RFM95 de Moteino.

Sus características son:

- Compatible con placas Arduino de E/S de 3.3V o 5V, como Leonardo, Uno, Mega.
- Banda de frecuencia: 868 MHz.
- Bajo consumo de energía.
- Antena externa a través del conector I-Pex.
- Máximo de 168dB de presupuesto de enlace.
- Potencia de 20dBm.
- Velocidad de bits programable hasta 300Kbps.

- Motor de paquetes de hasta 256 bytes con CRC (Verificación de redundancia cíclica).
- Sensor de temperatura incorporado e indicador de batería baja.
- Precio: unos 18,50€.



Figura 3.13. Fuente: Dragino LoRa Shield, seeedstudio.com. Disponible en: https://static-cdn.seeedstudio.site/media/catalog/product/cache/b2267b506d4e4594666ef83a79896a9a/h/t/httpsstatics3.seeedstudio.comseeedfile2018-11bazaar990536_draginolorashield1.jpg

Grove - LoRa

El sistema Grove nos simplifica mucho a la hora de conectar diferentes dispositivos y en esta ocasión también tenemos este sistema con un dispositivo LoRa.

El módulo principal en Grove-LoRa [GrovL20] es el transceptor RFM95, del que ya se habló anteriormente, proporcionando largo alcance e inmunidad a interferencias. El procesador de Grove-LoRa es el chip ATmega168, un chip ampliamente utilizado de alto rendimiento y con bajo consumo de energía.

Tiene integrada una antena de cable simple para poder recibir, aunque si la señal recibida es demasiado débil, proporciona un conector MHF justo al lado, para agregar una segunda antena con esta interfaz y así mejorar la señal recibida.

Características de Grove-LoRa:

- Uso del transceptor RFM95, basado en SX1276.
- Voltaje de entrada: 5V / 3.3V.
- Consumo de ~28mA transmitiendo, de ~8.4mA en modo espera y de ~20mA en modo receptor.
- Temperatura de trabajo de -20°C a 70°C.

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

- Frecuencia de 868MHz.
- Potencia de 20dBm.
- Precio de unos 18€.



Figura 3.14. Fuente: Grove – LoRa Radio, seeedstudio.com. Disponible en: <https://static-cdn.seeedstudio.site/media/catalog/product/cache/9d0ce51a71ce6a79dfa2a98d65a0f0bd/h/t/httpsstastics3.seeedstudio.comseeedimg2016-127bmfuzdvndcm3snhihyztuxu.jpg>

Semtech SX1276

Semtech, empresa creadora de LoRa, tiene desarrollado multitud de transceptores. Uno de los más utilizados en el mercado es el SX1276 [Sem20], aunque existen más transceptores con diferentes características. Los transceptores SX1276 proporcionan una comunicación entre las frecuencias de 137MHz a 1020MHz y alta inmunidad a interferencias, mientras se minimiza el consumo de energía.

Características del transceptor:

- Transceptor de 137MHz a 1020MHz.
- Potencia de 20dBm.
- Velocidad de bits programable, hasta 300 Kbps.
- Sensor de temperatura incorporado e indicador de batería baja.
- Máximo de 168dB de presupuesto de enlace.
- Certificado LoRa.

TTGO LORA32 SX1276 OLED

El TTGO LoRa32 SX1276 OLED es una placa de desarrollo con un chip Semtech SX1276 incorporado y una pequeña pantalla OLED. Permite también conectividad Bluetooth y WiFi. Dispone de un conector microUSB para alimentación y para poder programarlo directamente desde el IDE de Arduino.

- Características de TTGO LORA32 SX1276 OLED:
- Chip SX1276 a 80MHz,
- WiFi 802.11 b/g/n.
- Compatible con Arduino.
- Pantalla OLED 128x64 píxeles, 0.96 pulgadas.
- Conexión microUSB para alimentación y programación.
- Antena de 2dB.
- Consumo de 20mA en modo espera.
- Coste alrededor de 20€.
- 20dBm de potencia.

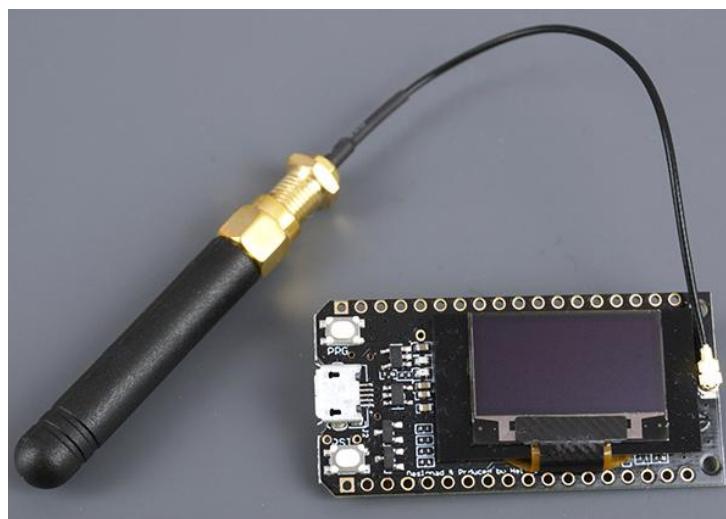


Figura 3.15. Fuente: TTGO LoRa32, randomnerdtutorials.com. Disponible en:
<https://i1.wp.com/randomnerdtutorials.com/wp-content/uploads/2019/10/TTGO-LoRa-ESP32-Dev-Board.jpg>

Microchip Technology RN2483 LoRa Mote

Microchip Technology RN2483 LoRa Mote es un dispositivo de la clase A de LoRaWAN, basado en el módulo RN2483 LoRa. Incluye sensores de luz y temperatura para generar algunos datos, que pueden transmitirse en un horario fijo o presionando un botón que tiene incorporado. Tiene una pantalla OLED que proporciona información sobre el estado de la conexión, los valores de los sensores y los datos del nodo enlace. Proporciona una interfaz USB estándar para poder conectarlo a un ordenador.

Características de Microchip Technology RN2483 LoRa Mote:

- Precio de unos 64€.
- Conector USB Mini-B.
- Pantalla OLED.
- Interruptores S1 y S2 para navegación de menú.
- Sensores de luz ambiental y temperatura incluidos.
- LED descriptivos.
- Ranura de baterías "AAA".
- Interruptor de energía.
- Opera en bandas de 433MHz y 868MHz.
- Protocolo integrado LoRaWAN clase A.
- Potencia de salida de 14dBm.
- Rango de temperatura de funcionamiento de -40ºC a 85ºC.
- Consumo de 14.2mA en modo receptor.
- Consumo de 40mA en modo transmisor.



Figura 3.16. Fuente: Microchip Technology RN2483 LoRa Mote, mouser.es. Disponible en: https://www.mouser.es/images/marketingid/2016/img/174028492_Microchip_RN2483LoRaMote.png

3.5.1 Comparación.

La Tabla3.4 resume las características más importantes de estos dispositivos.

Nombre dispositivo	Tipo de dispositivo	Precio	Características principales
Microcontroladores Moteino	Transceptor	-	Fácil de usar desde la IDE de Arduino. 433Mhz, 868Mhz, 915Mhz Memoria de 32 KB Velocidad de reloj de 16 MHz Uso de energía ~8mA (sin suspensión)
Moteino-USB	Dispositivo nodo	18€	Transceptor Moteino y conexión con USB.
LoPy4	Dispositivo nodo	35€	Consumo con LoRa: 15mA en modo activo, 1-uA en espera. Pila de LoRaWAN Dispositivo de clase A y C 868MHz a 14dBm, 915MHz a 20dBm Rango de hasta 40Km.
Arduino MKR WAN 1300	Placa nodo	35€	860MHz - 930MHz. Chip modelo SX1276 Potencia de transmisión de 18.5dBm. Consumo transmitiendo de 128mA y en modo receptor de 21.5mA. Antena con 2dB de potencia.
Dragino LoRa Shield	Dispositivo nodo	18.50€	Compatible con placas Arduino Velocidad de bits programable hasta 300 Kbps. Potencia de 20dBm.
Grove - LoRa	Dispositivo nodo	18€	Uso del transceptor RFM95. Consumo de ~28mA transmitiendo, de ~8.4mA en modo espera y de ~20mA en modo receptor. Potencia de 20dBm.

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

Semtech SX1276	Transceptor	-	Transceptor de 137MHz a 1020MHz. Potencia de 20dBm. Velocidad de bits programable, 300Kbps.
TTGO LORA32 SX1276 OLED	Dispositivo nodo	20€	Compatible con Arduino. Consumo de 20mA en modo espera. Pantalla OLED de 0.96 pulgadas. 20dBm de potencia.
Microchip Technology RN2483 LoRa Mote	Placa nodo	64€	Pantalla OLED. Ranura de baterías "AAA". Potencia de salida de 14dBm. Consumo de 14.2mA en modo receptor. Consumo de 40mA en modo transmisor.
LoRa Bee	Dispositivo nodo	14,50€	Presupuesto de enlace de 168dB. Potencia de 20dBm. Bandas de frecuencia: 868MHZ / 433MHZ / 915MHZ. Compatible con Arduino. Velocidad de transmisión configurable, hasta 300Kbps.

Tabla 3.4: Tabla de comparación de dispositivos LoRa.

3.6 Sensores.

Para el desarrollo de este proyecto, va a ser necesario una serie de sensores que nos permitan medir valores de temperatura, humedad, presión atmosférica, los diferentes tipos de gases contaminantes requeridos para analizar la calidad del aire y también, aunque no son necesarios, sensores de ubicación. Estos sensores van a funcionar en un Arduino.

Algunos de estos sensores usan un sistema de conectores estandarizados y modulares denominado “Grove System”, diseñado por Seeedstudio [SeeedGrov20]. Este sistema adopta un enfoque de bloques de construcción para conectar los

elementos electrónicos, facilitando la conexión al no haber necesidad de hacer soldaduras o usar cables de conexión sueltos junto con resistencias y demás elementos electrónicos. Para conectar los dispositivos al sistema Grove es necesario una unidad base y varios módulos con estos conectores estandarizados. La unidad base normalmente se conecta a un Arduino. Luego cada módulo, de forma general, realiza una sola función.

3.6.1 Sensores de temperatura.

En el mercado hay gran diversidad de sensores que miden temperatura [ProyArd20]. Estos sensores por lo general no suelen ser caros y hay una gran variedad. Algunos incluso tienen más funcionalidades que otros al poder leer varios parámetros en un sensor, incluso con el sistema Grove incluido [GroBME20]. La Tabla 3.5 indica las características más relevantes de diferentes sensores.

Dispositivo	Rango	Precisión	Consumo	Muestra	Precio	Extra
DHT11	0ºC a 50ºC	±2ºC	de 3V a 5.5V	0.5	< 2€	Lee humedad
DHT22	-40ºC a 80ºC	±0,5ºC	de 3,3V a 6V	0.5	5€	Lee humedad
LM35DZ	-55ºC a 150ºC	±0,5ºC	de 4V a 30V	-	0.6€	-
TMP36	-40ºC a 125ºC	±2ºC	de 2.7V a 5.5V	-	2,5€	-
LM75	-55ºC a 125ºC	±2ºC	de 2.8V a 5.5V	-	1€	-
TMP100	-55ºC a 125ºC	±2ºC	de 2.7V a 5.5V	-	6€	-
DS18B20	-55ºC a 125ºC	±0,5ºC	de 3V a 5.5V	-	0.7€	-
TC74	-40ºC a 125ºC	± 2ºC	de 2.7V a 5.5V	8	5€	-
BMP280	-40º C a 85ºC	± 1.0ºC	de 3.3V a 5V	-	Sobre 10€	Lee presión

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍA UTILIZADAS

Grove - Barometer (BME280)	-40º C a 85ºC	$\pm 1.0^\circ\text{C}$	de 3.3V a 5V	-	Sobre 14.50€	Lee presión y humedad
----------------------------	---------------	-------------------------	--------------	---	--------------	-----------------------

Tabla3.5: Tabla de sensores para temperatura.

3.6.2 Sensores de humedad.

Para medir humedad, existen también sensores que leen más de un parámetro. No son muy caros y son bastante precisos. La Tabla3.6 indica las características más relevantes de este tipo de sensores.

Dispositivo	Rango	Precisión	Consumo	Muestra	Precio	Extra
DHT11	20% al 90%	$\pm 4\%$	de 3V a 5.5V	1	< 2€	Lee temperatura
DHT22	0% al 100%	$\pm 2\%$	de 3.3V a 6V	2	5€	Lee temperatura
Grove - Barometer (BME280)	0% al 100%	$\pm 3\%$	de 3.3V a 5V	-	Sobre 14.50€	Lee presión y temperatura

Tabla3.6: Tabla de sensores para humedad.

3.6.3 Sensores de presión atmosférica.

En la Tabla3.7 tenemos las características de diferentes tipos de sensores que leen la presión atmosférica. Cada uno de ellos ofrece diferentes prestaciones.

Dispositivo	Rango	Precisión	Consumo	Precio	Extra
BMP180	300 a 1100hPa	0.06hPa en bajo consumo, 0.02hPa en alta precisión	de 3.3V a 5V	0.5€	Versión mejorada del BMP085 Lee temperatura
BMP085	300 a 1100hPa	0.03hPa	de 1.8V a 3.6V	0.5€	-
MS5611	10 a 1200hPa	0.012hPa	de 3V a 5V	Sobre 15€	-

3.6 Sensores

BMP280	300 a 1100hPa	$\pm 1\text{hPa}$	de 3.3V a 5V	Sobre 10€	Versión mejorada del BMP180 Lee temperatura
Grove - Barometer (BME280)	300 a 1100hPa	$\pm 1\text{hPa}$	de 3.3V a 5V	Sobre 14.50€	Lee humedad y temperatura

Tabla3.7: Tabla de sensores para presión atmosférica.

3.6.4 Sensores para calidad del aire, PM₁₀.

Para medir las partículas del aire, no hay muchos sensores que realicen esto. El sistema Grove dispone de dos de ellos [GroVOC20]. Se resume en la Tabla3.8 sus características.

Dispositivo	Rango	Precisión	Consumo	Precio	Extra
Grove - Laser PM2.5 Sensor (HM3301)	1~500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	3.3V - 5V	25.26€	Partículas de 2.5 μm , 5 μm , 10 μm
Grove - VOC and eCO ₂ Gas Sensor (SGP30)	0-60000ppb	10~15%	3.3V - 5V	13.43€	Lee CO ₂

Tabla3.8: Tabla de sensores para PM₁₀.

3.6.5 Sensores para calidad del aire, NO₂.

Para medir NO₂ disponemos de sensores con sistema Grove [GroGas20]. La ventaja de estos sensores es que no solo leen este gas, sino muchos de ellos. La Tabla3.9 muestra sus características.

Dispositivo	Rango	Consumo	Precio	Extra
Grove - Multichannel Gas Sensor v2	0.1-10ppm	3.3V-5V	30€	4 sensores en 1, detección de múltiples gases.
Grove - Multichannel Gas Sensor	0.05-10ppm	3.3V-5V	33.71€	Lee multitud de gases.

Tabla3.9: Tabla de sensores para NO₂.

3.6.6 Sensores para calidad del aire, CO.

Para medir CO, disponemos tanto de sensores con sistema Grove como sensores para conectar a un Arduino [Lui20]. Ofrecen diferentes prestaciones, como se ve en la Tabla3.10.

Dispositivo	Rango	Consumo	Precio	Extra
Grove - Multichannel Gas Sensor v2	5-5000ppm	3.3V-5V	30€	4 sensores en 1, detección de múltiples gases.
Grove - Multichannel Gas Sensor	1-1000ppm	3.3V-5V	33.71€	Lee multitud de gases.
MQ-7	10-500ppm	5V	5 - 6 €	-
MQ-9	0-1000ppm	1,5V a 5V	1.20 €	-

Tabla3.10: Tabla de sensores para CO.

3.6.7 Sensores para calidad del aire, O₃.

Para medir ozono, no hay gran cantidad de sensores que se dediquen a ello. Solo disponemos de uno y requiere calentarse para un perfecto funcionamiento. En la Tabla3.11 se muestra sus características.

Dispositivo	Rango	Consumo	Precio	Calentamiento
MQ-131	10-1000ppm.	5V	20€	Necesita calentarse durante 2 días para medir óptimo.

Tabla3.11: Tabla de sensores para O₃.

3.6.8 Sensores para calidad del aire, SO₂.

Tampoco existen una gran cantidad de sensores que mida SO₂. El más conocido se muestra en la Tabla3.12 y también requiere tiempo para funcionar perfectamente.

Dispositivo	Rango	Consumo	Precio	Extra
MQ-136	1-200ppm.	5V	Sobre 40€.	Necesita calentarse durante 2 días para medir óptimo.

Tabla3.12: Tabla de sensores para SO₂.

3.6.9 Sensores de ubicación geográfica.

Otro tipo de sensor interesante son los de ubicación geográfica, pues a veces es esencial saber la localización del dispositivo. La Tabla 3.13 indica las características más relevantes de estos sensores.

Dispositivo	Precisión altura	Precisión velocidad	Altura máxima	Velocidad máxima	Consumo	Precio	Muestra
GY-GPS6MV2	±5m	±3.6km/h	-	500m/s	3.3V - 5V	5-16€	1s
Grove - GPS Module	±5m	±3.6km/h	18000m	515m/s	3.3V - 5V	21€	1s

Tabla 3.13: Tabla de sensores para ubicación geográfica.

Capítulo 4

Desarrollo del dispositivo

En este apartado vamos a explicar todo el análisis y desarrollo del sistema. Al dispositivo portable de medición de agentes contaminantes lo vamos a denominar DIPOMAC.

4.1 Especificación informal.

El sistema de DIPOMAC funciona de la siguiente manera. DIPOMAC está compuesto de un dispositivo basado en Arduino el cual tiene conectado una serie de sensores que van a leer temperatura, humedad, presión atmosférica y gases contaminantes. Estos valores se enviarán a un gateway mediante LoRa, un tipo de red LPWAN, el cual los recibe y lo envía a Internet, concretamente a un servidor basado en Internet de las cosas. Este servidor nos permite poder ver estos datos y nos ofrece la posibilidad de realizar análisis de datos con ellos. También permiten visualizarlos en el mismo servidor o acceder a ellos mediante una API la cual tiene ya implementada.

4.2 Análisis.

4.2.1 Requisitos funcionales.

El proyecto tiene los siguientes requisitos funcionales:

Código	RF1
Nombre	Capturar la temperatura actual.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer la temperatura actual.

Código	RF2
Nombre	Capturar la humedad actual.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer la humedad actual.

Código	RF3
Nombre	Capturar la presión atmosférica actual.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer la presión atmosférica actual.

Código	RF4
Nombre	Situación del dispositivo.
Descripción	Queremos localizar la ubicación del dispositivo DIPOMAC.

Código	RF5
Nombre	Temperatura media diaria.
Descripción	Queremos consultar cuál es la temperatura media diaria.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

Código	RF6
Nombre	Temperatura máxima diaria.
Descripción	Queremos consultar cuál es la temperatura máxima diaria.

Código	RF7
Nombre	Humedad media diaria.
Descripción	Queremos consultar cuál es la humedad media diaria.

Código	RF8
Nombre	Humedad máxima diaria.
Descripción	Queremos consultar cuál es la humedad máxima diaria.

Código	RF9
Nombre	Presión atmosférica media diaria.
Descripción	Queremos consultar cuál es la media diaria de presión atmosférica.

Código	RF10
Nombre	Presión atmosférica máxima diaria.
Descripción	Queremos consultar cuál es la máxima diaria de presión atmosférica.

Código	RF11
Nombre	Correlación de temperatura y humedad
Descripción	Queremos consultar la correlación entre la temperatura y la humedad.

Código	RF12
Nombre	Valores de temperatura leídos.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos de la temperatura.

Código	RF13
Nombre	Valores de humedad leídos.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos de la humedad.

Código	RF14
Nombre	Valores de la presión atmosférica leídos.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos de la presión atmosférica.

Código	RF15
Nombre	Capturar valor del amoníaco.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer el valor del amoníaco en el aire.

Código	RF16
Nombre	Valores leídos del amoníaco.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos del amoníaco.

Código	RF17
Nombre	Capturar valor del monóxido de carbono.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer el valor del monóxido de carbono.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

Código	RF18
Nombre	Valores leídos del monóxido de carbono.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos del monóxido de carbono.

Código	RF19
Nombre	Capturar valor del dióxido de nitrógeno.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer el valor del dióxido de nitrógeno.

Código	RF20
Nombre	Valores leídos del dióxido de nitrógeno.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos del dióxido de nitrógeno.

Código	RF21
Nombre	Capturar valor del propano.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer el valor del propano.

Código	RF22
Nombre	Valores leídos del propano.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos del propano.

Código	RF23
Nombre	Capturar valor del butano.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer el valor del butano.

Código	RF24
Nombre	Valores leídos del butano.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos del butano.

Código	RF25
Nombre	Capturar valor del metano.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer el valor del metano.

Código	RF26
Nombre	Valores leídos del metano.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos del metano.

Código	RF27
Nombre	Capturar valor del hidrógeno molecular.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer el valor del hidrógeno molecular.

Código	RF28
Nombre	Valores leídos del hidrógeno molecular.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos del hidrógeno molecular.

Código	RF29
Nombre	Capturar valor del etanol.
Descripción	DIPOMAC debe ser capaz de leer el valor del etanol.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

Código	RF30
Nombre	Valores leídos del etanol.
Descripción	Queremos consultar los valores leídos del etanol.

Código	RF31
Nombre	Índice de calidad del aire del CO.
Descripción	Queremos poder ver cuál es el nivel de CO y su índice de calidad.

Código	RF32
Nombre	Nivel máximo de CO diario.
Descripción	Queremos poder ver cuál es el máximo nivel de CO y si supera los umbrales de alerta.

Código	RF33
Nombre	Índice de calidad del aire del NO ₂ .
Descripción	Queremos poder ver cuál es el nivel de NO ₂ y su índice de calidad.

Código	RF34
Nombre	Nivel máximo de NO ₂ diario.
Descripción	Queremos poder ver cuál es el máximo nivel de NO ₂ y si supera los umbrales de alerta.

Código	RF35
Nombre	Exportar datos almacenados.
Descripción	Queremos poder descargar los datos almacenados en el servidor.

Código	RF36
Nombre	Crear nuevas visualizaciones.
Descripción	El encargado del sistema web debe de poder crear visualizaciones a partir de los datos almacenados.

Código	RF37
Nombre	Enviar datos leídos.
Descripción	DIPOMAC envía los datos que ha leído con los sensores para guardarlos en la plataforma IoT.

4.2.2 Casos de uso.

A continuación en la Figura4.1 se muestra los casos de uso del dispositivo DIPOMAC y en la Figura4.2 la de la plataforma IoT.

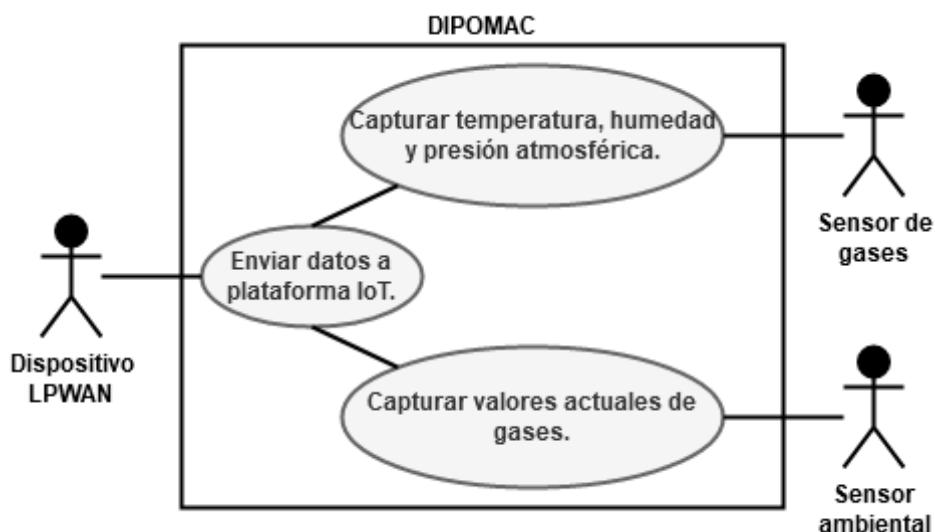


Figura4.1. Caso de uso de DIPOMAC. Fuente: imagen de elaboración propia.

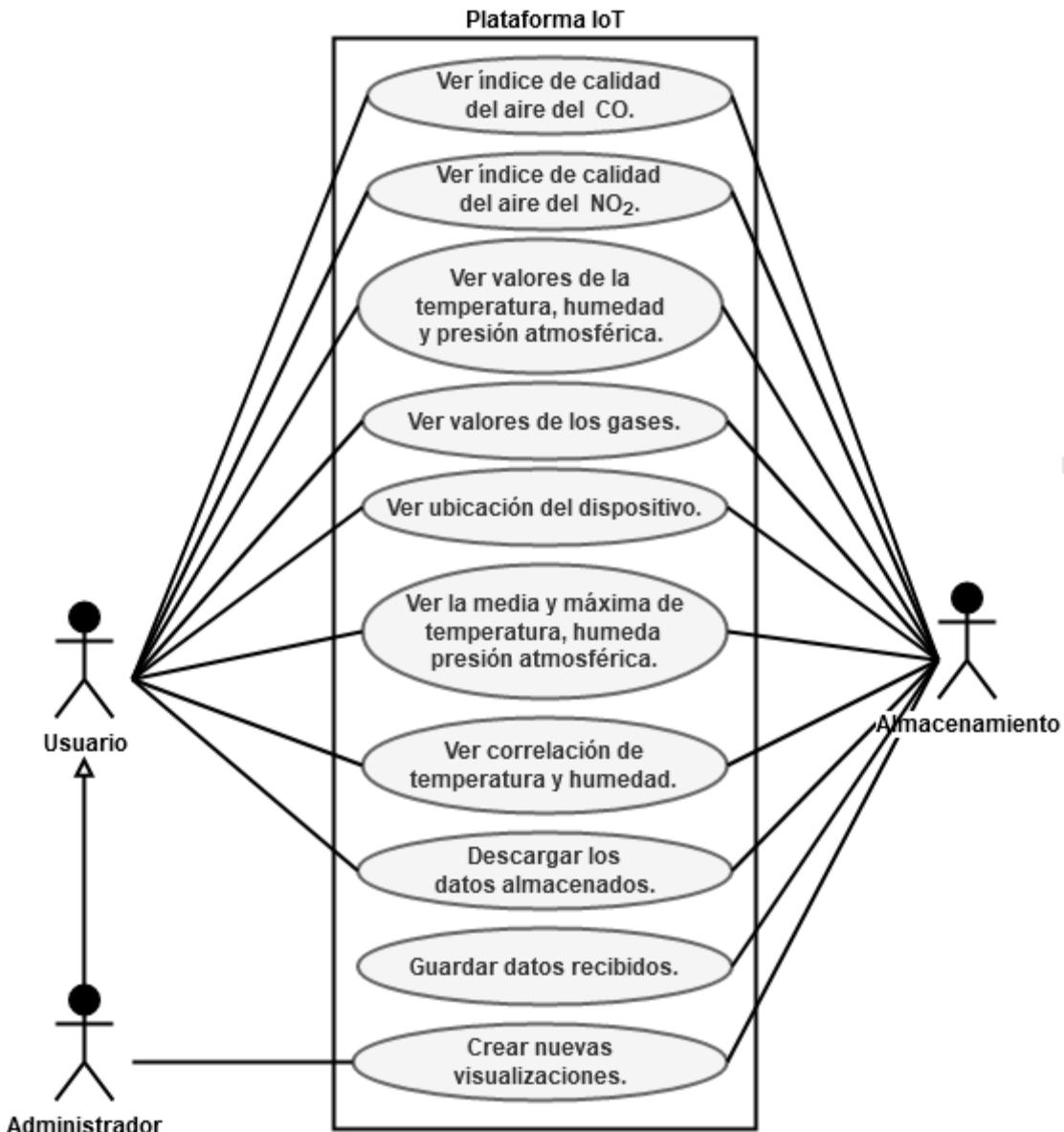


Figura 4.2. Caso de uso de la plataforma IoT. Fuente: imagen de elaboración propia.

4.3 Diseño.

El sistema se compone de los siguientes elementos:

- El dispositivo DIPOMAC, encargado de recolectar y enviar los datos.
- El gateway Dragino LG01-N, encargado de recibir estos datos y enviarlos a la plataforma ThingSpeak.
- ThingSpeak, plataforma IoT que almacena y analiza los datos para luego mostrarlos.

4.3.1 Arquitectura.

En la Figura 4.3 vemos cómo es la arquitectura correspondiente al diseño del sistema. Consta de 4 niveles:

- DIPOMAC. El dispositivo encargado de capturar y enviar los datos a través de LoRa.
- Gateway LG01-N. Se encarga de recibir los datos recolectados y de enviarlos a Internet.
- ThingSpeak. Recibe los datos enviados a través de Internet por el gateway.
- Visualización. Muestra los datos almacenados de ThingSpeak.

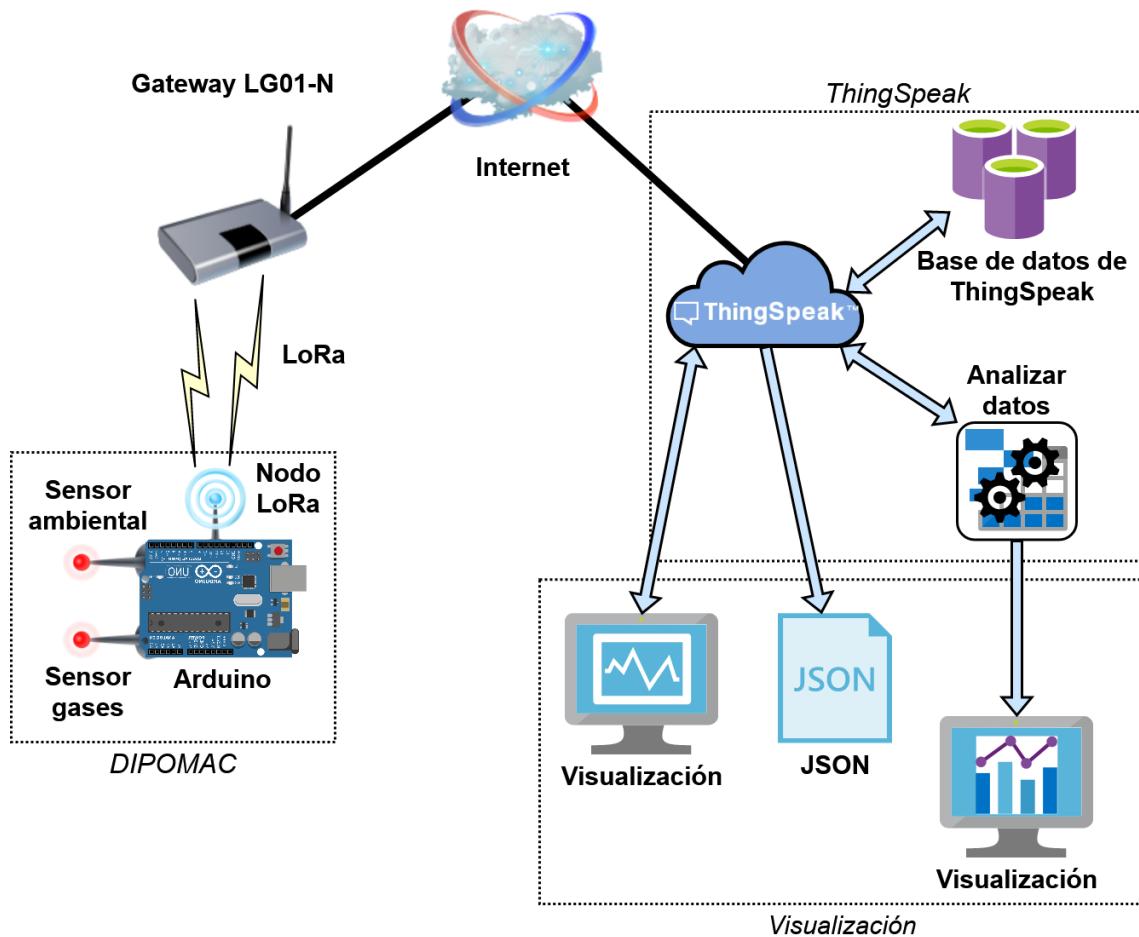


Figura 4.3. Arquitectura. Fuente: imagen de elaboración propia.

4.4 Implementación.

A continuación, en este apartado se va a explicar cómo se ha creado DIPOMAC y la puesta en marcha de todo el sistema. También se va a explicar las decisiones adoptadas en cada apartado y los problemas encontrados durante la implementación.

Para enviar los datos de DIPOMAC vamos a usar la tecnología LPWAN, ya que queremos enviar poca cantidad de datos y queremos que tenga cierto alcance. Se podría usar WiFi, pero este gasta más energía eléctrica, y como DIPOMAC es un Arduino queremos que use la menos energía posible.

De las cuatro tecnologías LPWAN vistas en el apartado 3.2, las más interesantes son LoRa y Sigfox, ya que también son las dos más destacadas a nivel mundial en redes LPWAN. NarrowBand IoT y LTE CAT-M las descartamos debido a que usan licencia para realizar las comunicaciones, y esto no es algo que estemos buscando, y tampoco son tan conocidas como las otras dos.

Sigfox tiene la ventaja de que el sistema ya está construido y nos permite facilidades, al disponer de una API y además de una aplicación web, cosa que en LoRa no disponemos, sino que somos nosotros quien administramos la red. El resto de características son muy similares, salvo que en Sigfox debemos pagar para hacer uso de su infraestructura, mientras que en LoRa no, lo que nos permite más libertad a la hora de enviar mensajes. Por ejemplo, si hacemos una medición con nuestro dispositivo cada 10 minutos al día, esto supone enviar 144 mensajes, superando el límite establecido por Sigfox. Por lo tanto, LoRa es la tecnología más indicada para este proyecto, al tener más libertad que las otras tecnologías y sin necesidad de usar licencias.

4.4.1 Capa de percepción.

La capa de percepción es la creación del dispositivo DIPOMAC. Mostraremos su montaje y las línea de código más relevantes para que funcione y envíe los datos correctamente.

4.4.1.1 Hardware.

Arduino Uno.

DIPOMAC es un Arduino Uno [ArdUno20] al cual le hemos añadido una serie de módulos para añadirle funcionalidad. Hemos elegido Arduino Uno porque es de una de

las placas de Arduino más utilizadas y la más genérica para cualquier ámbito de trabajo y también para que los diferentes elementos de DIPOMAC sean compatibles. En la Figura4.4 se muestra la placa Arduino Uno usada.

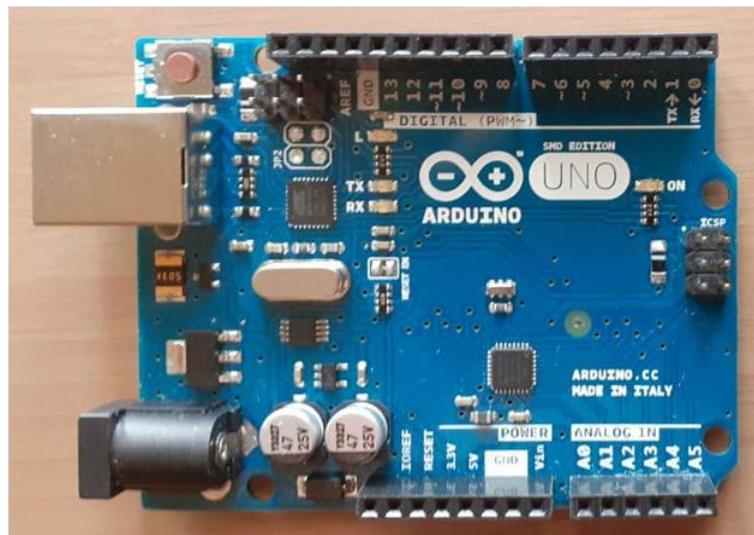


Figura4.4. Placa Arduino Uno. Fuente: imagen de elaboración propia.

Grove Shield

Para poder conectar los sensores al dispositivo DIPOMAC vamos a usar el sistema de Grove, ya que simplifica mucho el sistema de montaje al evitar tener que soldar componentes o disponer de una placa de conexiones con elementos que pueden salir fácilmente. Los shield de Arduino son placas que se conectan directamente al Arduino, y tenemos un shield de Grove [GrovS20]. Este shield también facilita la conexión a la hora de programar, ya que la mayoría de componentes que usan Grove no es necesario indicar los pines de conexión, son detectados automáticamente. Podemos ver Grove Shield en la Figura4.5.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

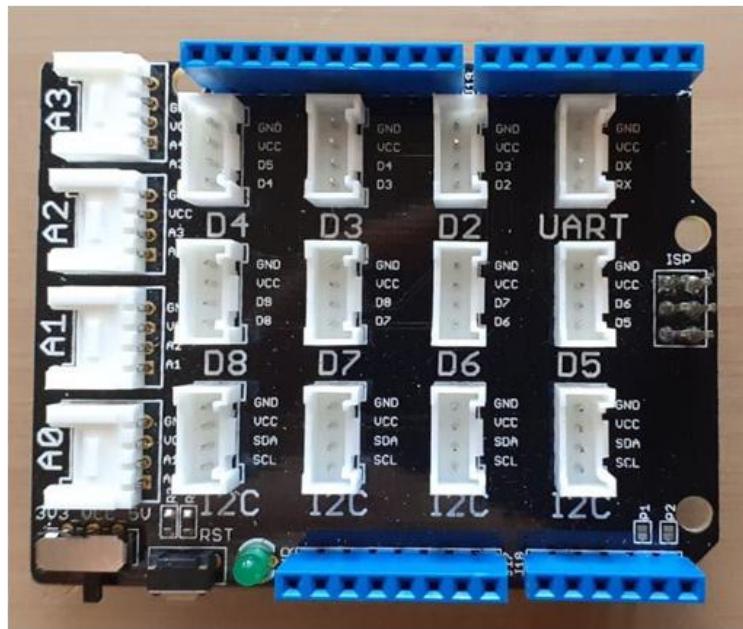


Figura4.5. Placa Grove Shield. Fuente: imagen de elaboración propia.

Para montar el shield, tan solo debemos acoplarlo en el Arduino. En la Figura4.6 muestra los dos elementos ya conectados.

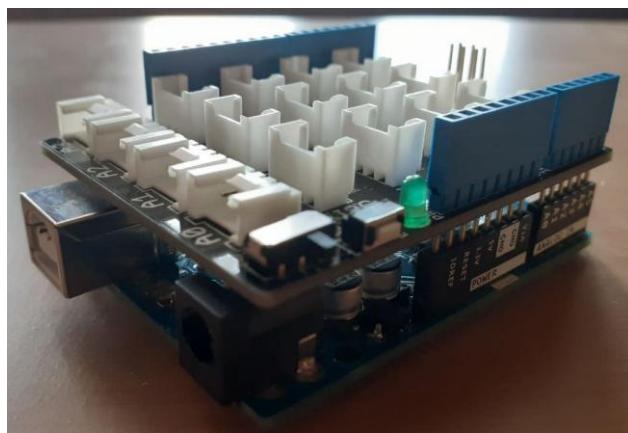


Figura4.6. Grove Shield y Arduino Uno. Fuente: imagen de elaboración propia.

Sensores

Como vimos en el apartado 3.6, existen multitud de sensores para cada uno de las medidas que queremos tomar. En algunos casos tenemos varios sensores donde elegir y en otros solo se limitan a un único sensor. Tras ver las prestaciones de cada uno y teniendo en cuenta la funcionalidad que buscamos, concluimos lo siguiente para cada uno de los diferentes parámetros.

Existe un sensor capaz de leer la temperatura, la humedad y la presión atmosférica, el sensor Grove - Barometer (BME280). Si miramos este sensor con el resto, vemos que ofrece las mismas prestaciones que el sensor BMP280 y el DHT22 juntos, con un precio muy similar. También el rango de temperaturas que abarca es más que suficiente para este proyecto, al igual que el rango para la humedad y la presión. Es de los que menos margen de error tiene, siendo bastante preciso, y con la ventaja del sistema Grove que buscamos. En la Figura4.7 vemos este sensor, el cual nos ayudará a cumplir los requisitos funcionales RF1, RF2 y RF3.

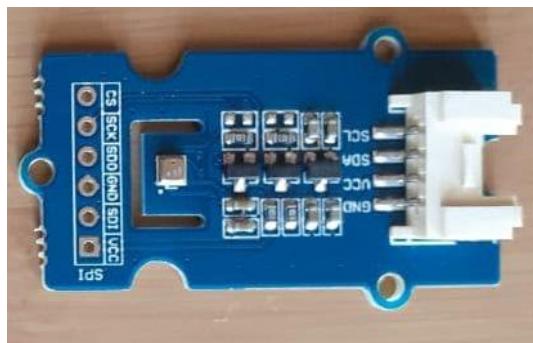


Figura4.7. Sensor Grove BME280. Fuente: imagen de elaboración propia.

Para las mediciones de la calidad del aire no disponemos de un dispositivo que lo mida todo, sino que dependemos de varios. Al tratarse también de gases muy específicos, no hay gran variedad en el mercado, se limitan a usar uno como base.

Para medir ozono solo disponemos del sensor MQ-131 y para medir dióxido de azufre solo disponemos del sensor MQ-136. Ambos sensores son muy robustos y ofrecen características muy buenas, aunque tiene las desventajas de que debemos esperar 2 días para que el sensor se caliente, y realice las medidas de forma más precisa. Como no son dispositivos Grove, estas mediciones no van a estar de momento en DIPOMAC.

El dispositivo Grove - Multichannel Gas Sensor permite detectar más una gran cantidad de gases que están en el aire. Con este sensor podemos medir el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno con la ventaja del sistema Grove. La Figura4.8 muestra este sensor. Cumplirá con los requisitos RF15, RF17, RF19, RF21, RF23, RF25, RF27 y RF29.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

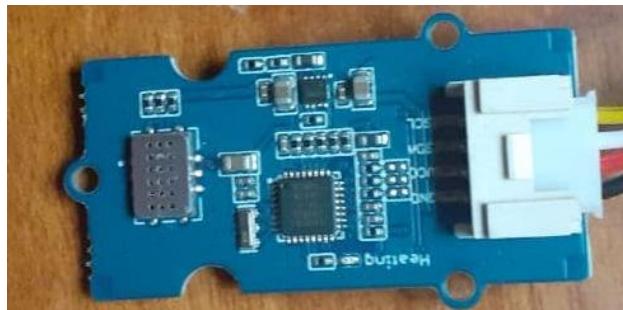


Figura4.8. Sensor Grove Multichannel Gas. Fuente: imagen de elaboración propia.

En cuanto al envío de datos, la mayoría de dispositivos LoRa que hay en el mercado, vistos en la sección 3.5, usan los transceptores de Moteino o de Semtech, aunque también existe la posibilidad de poder comprarlos para soldarlos sobre una placa que hayamos creado.

Para este proyecto, la mejor opción es usar dispositivos o placas que ya los tengan instalados. Dragino Shield es bastante fácil de configurar al ser uno de los más usados. Respecto al dispositivo Grove, no es tan conocido como este, aunque las ventajas del uso del sistema Grove y de usar un transceptor de Moteino, lo hacen muy atractivo, siendo también uno de los dispositivos más compactos que hay. Luego tenemos la placa de Arduino MK, que depende de si queremos el dispositivo con una placa Arduino incorporada, teniendo las ventajas de ser un 2 en 1 en contra de tener un mayor precio. Respecto a los otros dispositivos, poseen características que no buscamos, como tener una pequeña pantalla que no nos interesa para este proyecto, o tienen un precio demasiado elevado.

Teniendo en cuenta la funcionalidad que buscamos en este proyecto y que usamos Grove, usaremos el dispositivo Grove LoRa mostrado en la Figura4.9.



Figura4.9. Sensor Grove LoRa. Fuente: imagen de elaboración propia.

Diseño y montaje.

Ya tenemos los elementos del dispositivo DIPOMAC. Para montarlo debemos hacer tal y como se ha diseñado en la figura 4.10. Los sensores deben ir a un puerto I2C y el dispositivo LoRa debe ir al puerto denominado D5.

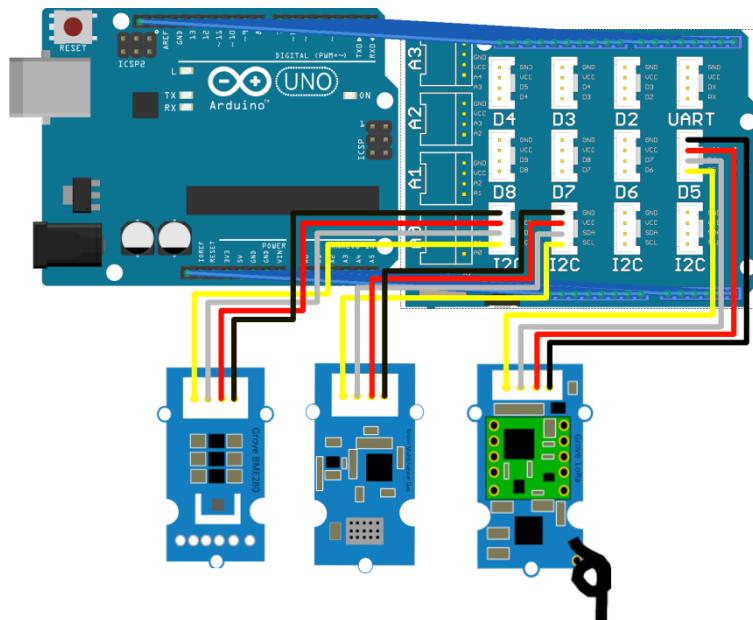


Figura 4.10. Diseño del dispositivo DIPOMAC. Fuente: imagen de elaboración propia.

Montamos el shield sobre el Arduino y luego se añade los otros sensores, teniendo en cuenta su puerto de conexión. La figura 4.11 muestra DIPOMAC montado.

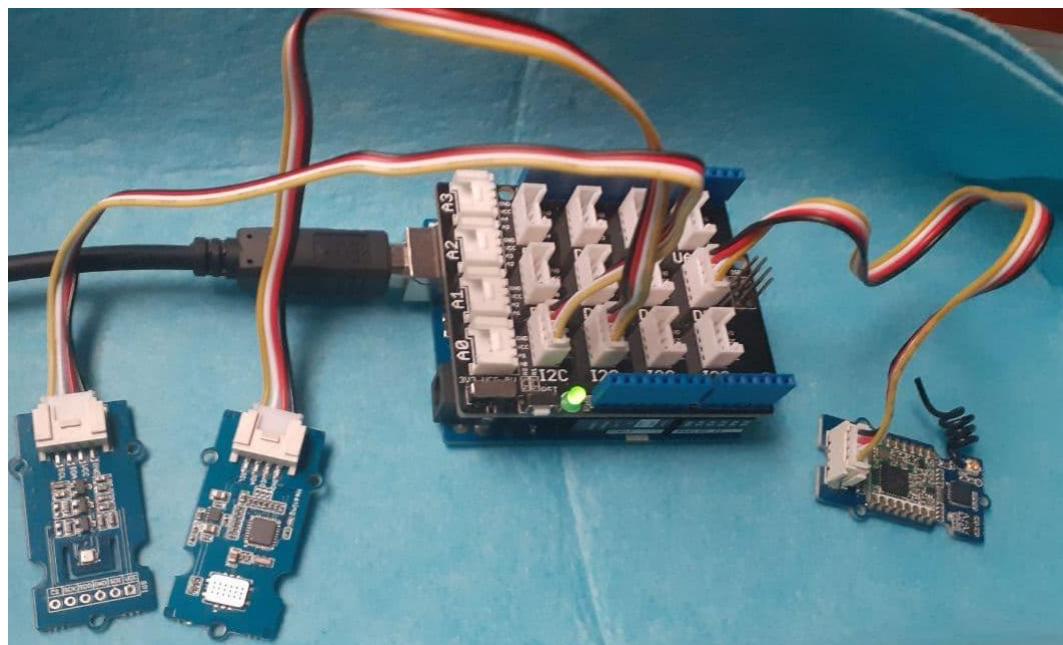


Figura 4.11. Dispositivo DIPOMAC montado. Fuente: imagen de elaboración propia.

4.4.1.2 Software.

Para hacer funcionar a DIPOMAC necesitamos cargar las librerías correspondientes a cada módulo y crear el código necesario para su puesta en marcha. Vamos a usar el IDE propio de Arduino para crear y editar el código. Las librerías necesarias son Grove_BME280¹, Grove_LoRa_433MHz_and_915MHz_RF² y Mutichannel_Gas_Sensor³. Estas librerías también nos proporcionan ejemplos de código para saber cómo usar los módulos. La Figura4.12 muestra las librerías cargadas en el IDE de Arduino.

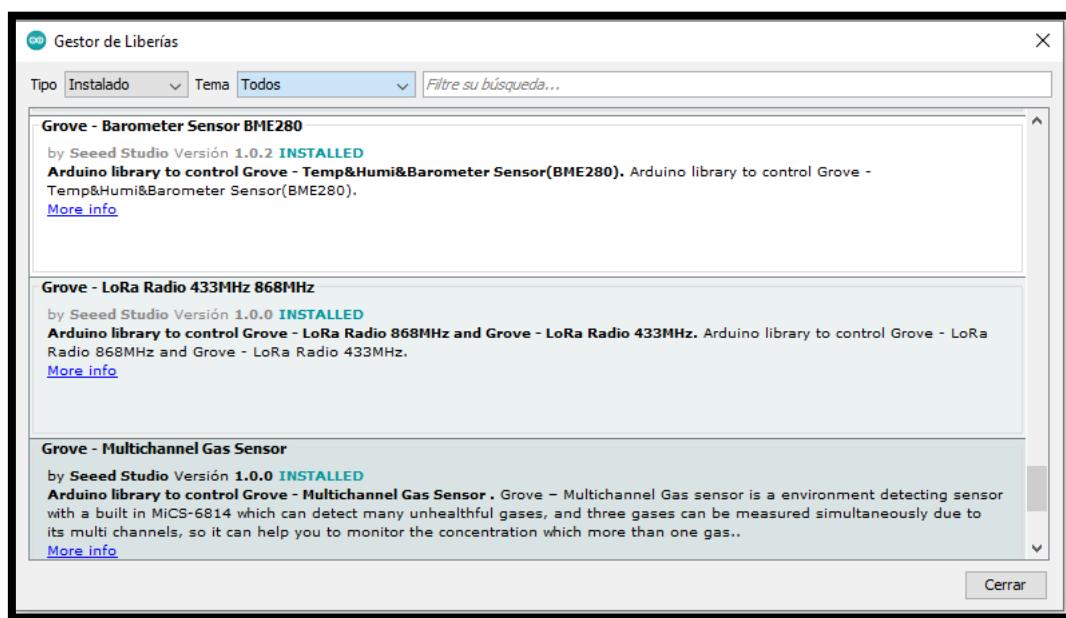


Figura4.12. Librerías cargadas. Fuente: imagen de elaboración propia.

Código

El código de DIPOMAC está disponible para su consulta en un repositorio creado en GitHub⁴. Aun así, hay que tener en cuenta una serie de parámetros para un correcto funcionamiento de DIPOMAC.

Lo primero de todo es que necesitamos crear una cadena de caracteres con un número aleatorio que decidimos y encerrado entre los símbolos de “menor que” y “mayor que”. En el apartado 4.4.3 se explicará el por qué de estas variables. Para DIPOMAC necesitamos dos, mostradas en la Figura4.13.

¹ Librería disponible en: https://github.com/Seeed-Studio/Grove_BME280

² Librería disponible en: https://github.com/Seeed-Studio/Grove_LoRa_433MHz_and_915MHz_RF/

³ Librería disponible en: https://github.com/Seeed-Studio/Mutichannel_Gas_Sensor

⁴ Repositorio del proyecto: <https://github.com/Nastard/DIPOMAC>

```
const String node_id_ambiente = "<5496>";
const String node_id_gases = "<5495>";
```

Figura4.13. Detalle de variables String. Fuente: imagen de elaboración propia.

También es importante establecer la frecuencia apropiada a la región donde estamos para el dispositivo LoRa. Esto se muestra en la Figura4.14.

```
// Defaults after init are 434.0MHz
rf95.setFrequency(868.1);
```

Figura4.14. Detalle del uso de frecuencia. Fuente: imagen de elaboración propia.

Para enviar los datos, es necesario usar una cadena de caracteres con un formato específico. Debe empezar por el número creado anteriormente y seguido de "field1=" y un valor. Cuantas más datos queramos enviar, más campos "&fieldX=" habrá que añadir a la cadena de caracteres. La Figura4.15 muestra como se crea este formato.

```
String cadena_gases = node_id_gases;
String cadena_ambiente = node_id_ambiente;

// BME280
cadena_ambiente += "field1=";
cadena_ambiente += bme280.getTemperature();
cadena_ambiente += "&field2=";
cadena_ambiente += bme280.getHumidity();
```

Figura4.15. Detalle del formato. Fuente: imagen de elaboración propia.

Es importante enviar esta cadena de caracteres de esta forma para que la plataforma IoT pueda leerlos correctamente. De otra forma, no funcionaría.

Y por último, comentar que DIPOMAC envía los datos que colecta cada 10 minutos. Este valor puede ser el que deseemos. El único requisito de este tiempo es que no sea inferior a 15 segundos, por políticas de la plataforma IoT usada. En la Figura4.58 vemos el diagrama de flujo que sigue el código desarrollado para el Arduino.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

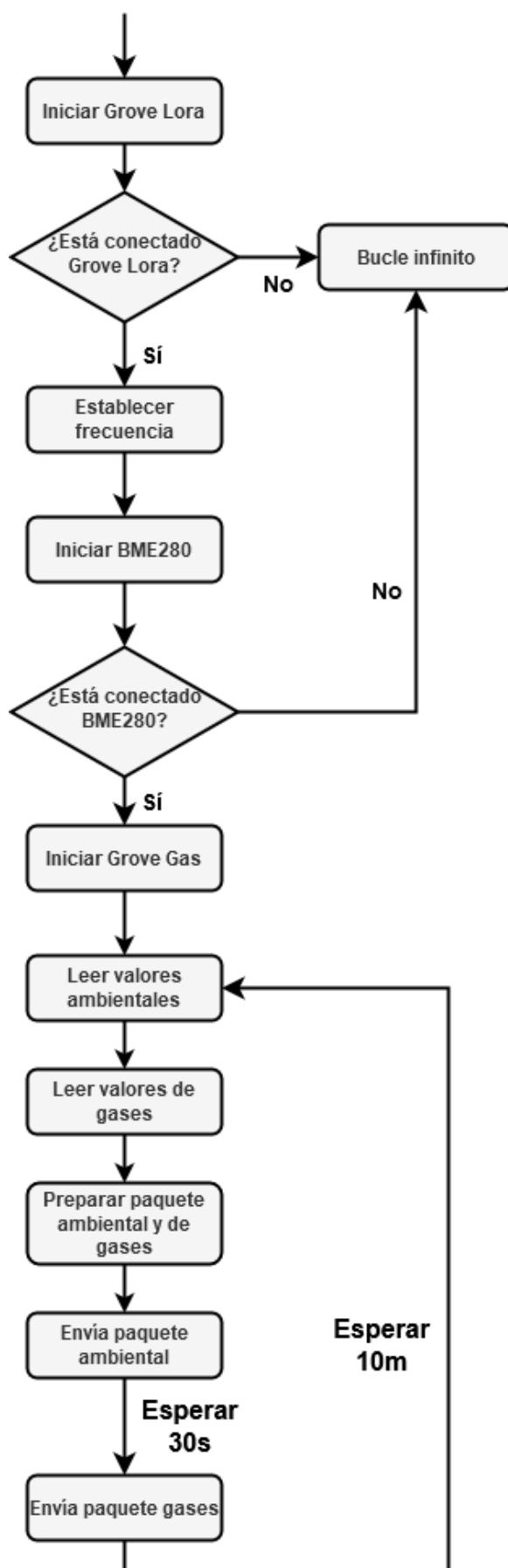


Figura 4.58. Diagrama de flujo del Arduino. Fuente: imagen de elaboración propia.

Paquetes enviados.

Los datos a ser enviados, deben cumplir una serie de requisitos. No pueden superar el tamaño de 255Bytes, pues es el máximo que puede gestionar cualquier dispositivo LoRa. Aun que nosotros enviamos dos paquetes debido a que son datos a tratar de forma diferente, vemos en la Figura4.59 que ninguno de los dos llega a este máximo. Así se respeta que el paquete sea pequeño, como obliga el ámbito de las redes LPWAN. En la Figura4.59 se muestra también cómo es el contenido de cada paquete enviado. Debe ser estrictamente así para que la plataforma IoT ThingSpeak lo procese correctamente.

```
-> Enviando el paquete ambiente...
-> Enviando el paquete gas...
-> <5495>field1=6.88&field2=35.91&field3=0.16&field4=18680.94&fie
-> 118
-> <5496>field1=20.31&field2=70&field3=94780
-> 42
```

Figura4.59. Detalle del paquete enviado y su tamaño. Fuente: imagen de elaboración propia.

4.4.2 Capa de gateway.

El gateway usado para recibir los datos va a ser un Dragino LG01-N [DraLG0120]. Es un gateway que permite usar LoRa y por tanto el protocolo LoRaWAN. La única desventaja es que solo se puede usar un canal. Esto hace que no cumple con las especificaciones de LoRaWAN ya que no es totalmente compatible, pero aun así permite usarlo. Por el resto, dispone de interfaz web para poder configurarlo de forma sencilla, aunque también podemos conectarnos a él mediante SSH. Para poner en funcionamiento el gateway, se debe realizar los siguientes pasos:

- Conexión. Cómo podemos conectarnos al gateway para poder configurarlo por primera vez.
- Conexión a Internet. Darle acceso a Internet, para enviar los datos recibidos.
- Actualizar firmware. Para mejoras de seguridad y rendimiento.
- Actualizar hora. La hora debe ser la actual a la zona horaria, ya que se usa en el envío de datos.
- Configurar lora. Configurar los distintos parámetros de LoRa.

Podemos ver al gateway en la Figura 4.16.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO



Figura 4.16. Dragino LG01-N. Fuente: imagen de elaboración propia.

Sus características son las siguientes:

- Sistema de código abierto OpenWrt.
- Bajo consumo de energía.
- Actualización de Firmware vía web.
- Varios protocolos para servidores IoT.
- Configurado vía SSH, interfaz web, LAN y WiFi.
- Conexión a Internet 3G o 4G
- Dispone de DHCP.
- Modulo Lora SX1276/SX1278
- Soporte limitado de LoRaWAN.
- Hasta 300 nodos.
- Bandas 433/868/915/920 MHz.
- Máximo alcance 5 - 10 Km.
- Precio de unos 46,40€.

Conexión.

Para poder configurar este gateway, disponemos de su manual de usuario⁵.

Primero se conecta el gateway a un ordenador mediante un cable de red. Es importante que en el gateway esté conectado en el puerto indicado como LAN. Ya podremos acceder a él mediante SSH o con un navegador web.

⁵ Manual Dragino LG01-N:

https://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/LG01N/LG01N_LoRa_Gateway_User_Manual_v1.3.1.pdf

Para conectarse mediante SSH necesitamos un cliente SSH donde indicaremos la dirección “10.130.1.1”, el usuario “root” y la contraseña “dragino”. La Figura4.17 vemos que estamos conectados correctamente, usando Putty como cliente.

Figura4.17. Conexión SSH a Dragino LG01-N. Fuente: imagen de elaboración propia.

Obviamente es más cómodo disponer de una interfaz que estar gestionando el gateway mediante comandos. Podemos acceder mediante un navegador web, indicando la dirección IP y las credenciales usadas en la conexión SSH. El panel de acceso se muestra en la Figura4.18.

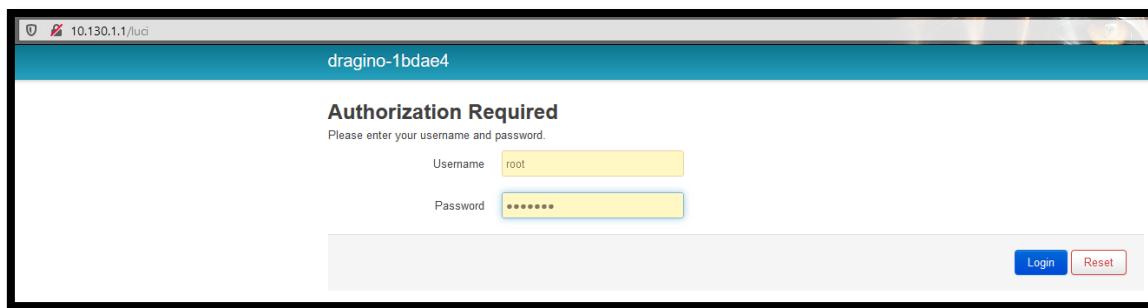


Figura4.18. Panel de acceso web a Dragino LG01-N. Fuente: imagen de elaboración propia.

Disponer de conexión a Internet.

Para que el gateway pueda enviar los datos a la plataforma IoT necesita disponer de acceso a Internet. Podemos darle acceso mediante una conexión inalámbrica. Para ello, en la interfaz web escaneamos en busca de redes WiFi, mostrado en la Figura4.19, y elegimos la red deseada, Figura4.20.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

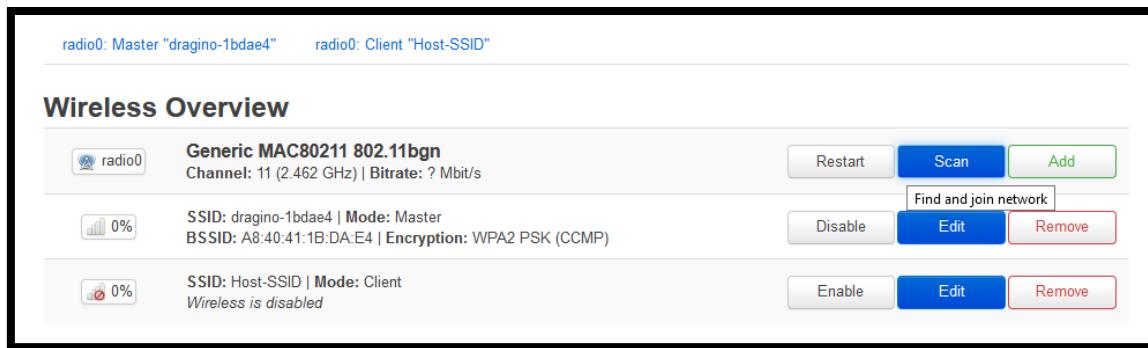


Figura4.19. Buscar rede WiFi. Fuente: imagen de elaboración propia.

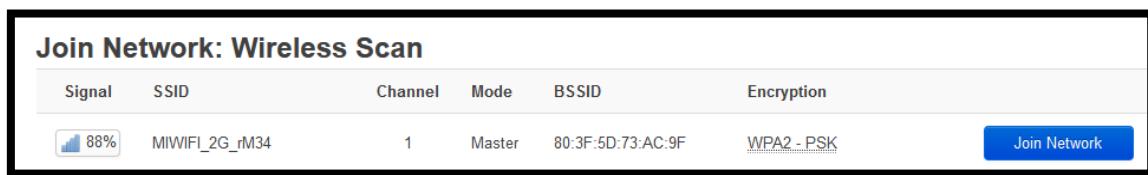


Figura4.20. Seleccionar red WiFi. Fuente: imagen de elaboración propia.

Y una vez elegida la deseada, nos conectamos a ella, indicando la contraseña de la red WiFi. La Figura4.21 muestra cómo estamos conectados ya a una red WiFi, teniendo acceso a Internet.

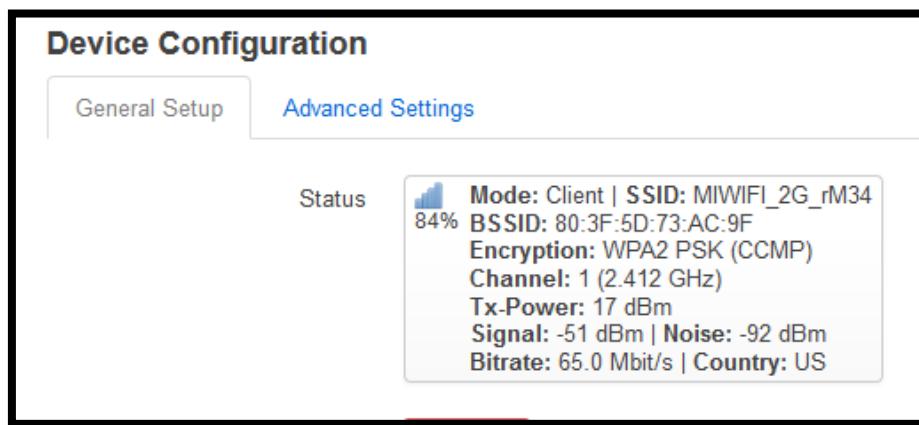


Figura4.21. Conexión a red WiFi. Fuente: imagen de elaboración propia.

Actualizar Firmware.

Como cualquier dispositivo, es recomendable tener actualizado el firmware para mejoras de rendimiento, seguridad y nuevas opciones. Dragino LG01-N dispone de una web los firmwares más actualizados⁶.

Podemos actualizar el firmware mediante la interfaz web. Vamos a la sección correspondiente y subimos el firmware más actual a la fecha al gateway, Figura4.22 y esperamos a que el proceso acabe, Figura4.23.



Figura4.22. Subir firmware. Fuente: imagen de elaboración propia.

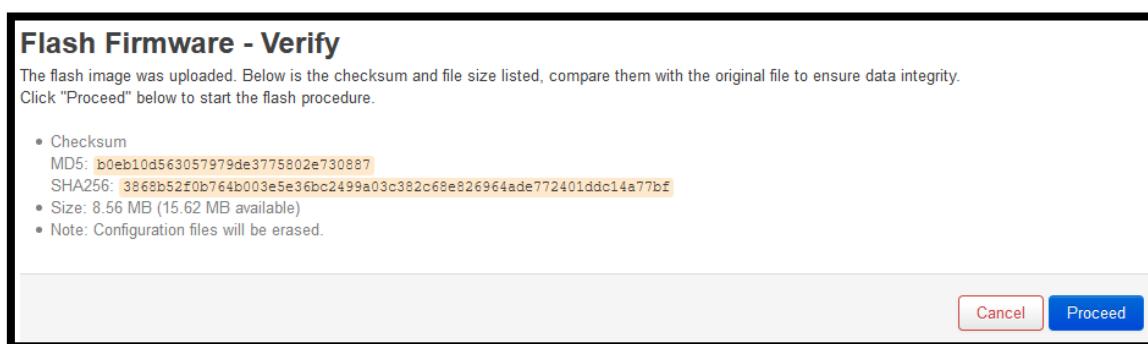


Figura4.23. Actualizar firmware. Fuente: imagen de elaboración propia.

Actualizar hora

Es importante tener bien sincronizada la hora del gateway, ya que cuando envíe los paquetes a la plataforma IoT, este añade la fecha junto con los datos recibidos. En la Figura 4.24 se define la zona horaria.

⁶ Web de firmwares:

http://www.dragino.com/downloads/index.php?dir=LoRa_Gateway/LG01N/Firmware/Release/

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

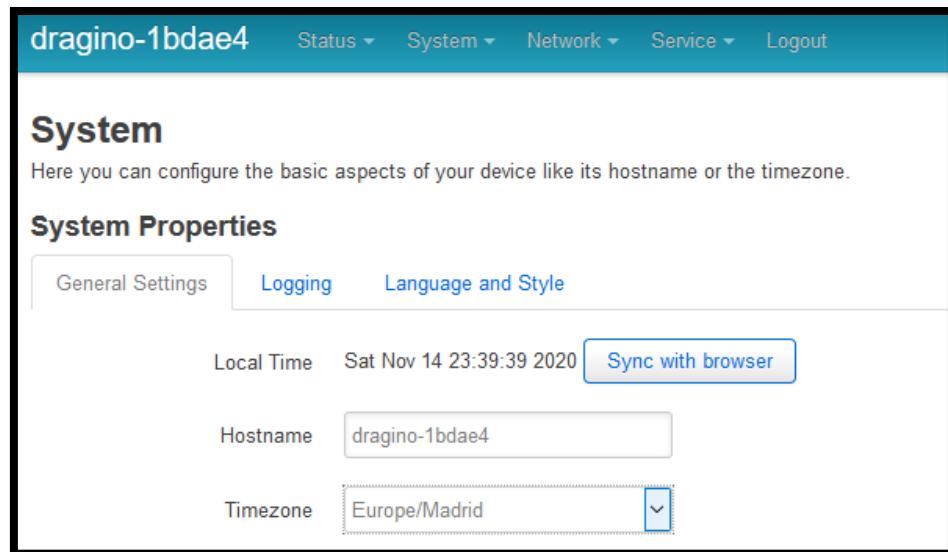


Figura4.24. Fecha y hora del gateway. Fuente: imagen de elaboración propia.

Configuración de LoRa

Para que pueda recibir datos de los nodos LoRa, debemos configurarlo acorde a estos. Cada nodo LoRa envía los datos con una configuración determinada. El dispositivo Grove Lora tiene por defecto una potencia de 13dBm, usa un ancho de banda de 125KHz, un “coding rate” de 4/5 y usa el SF7. Estas características de transmisión junto con la frecuencia utilizada se deben indicar en el gateway. La Figura4.25 muestra estas características. Si indicamos más potencia no es problema, ya que la frecuencia que nos indica aquí es la del gateway y puede ser diferente a la del dispositivo LoRa. El resto de parámetros se dejan por defecto.

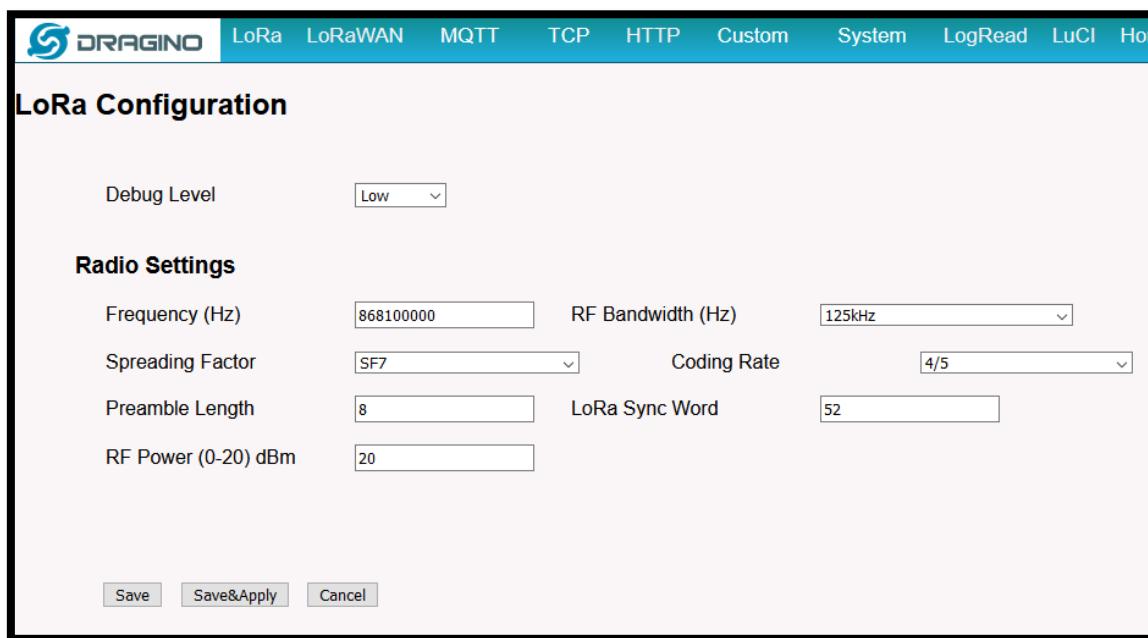


Figura4.25. Configuración de LoRa. Fuente: imagen de elaboración propia.

4.4.3 Capa de almacenamiento.

Para guardar los datos recolectados vamos a usar la plataforma IoT ThingSpeak [TS20]. Existen otras plataformas IoT como The Things Network [TTN20], pero se ha usado ThingSpeak debido a que The Things Network requiere que los gateway utilizados tengan implementado completamente el protocolo LoRaWAN, y nuestro gateway no cumple con los requisitos para ello, al solo escuchar en un SF. Aparte de esto, ThingSpeak ofrece la posibilidad de analizar los datos que recibe en MATLAB, funcionalidad la cual The Things Network no dispone.

Para que ThingSpeak reciba los datos, es necesario que el gateway los envíe mediante un protocolo denominado MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [MQTT20]. Es un protocolo de comunicación M2M (machine to machine) que mantiene una conexión se abierta y la reutiliza en cada comunicación, sin crear una nueva cada vez que recibe una comunicación, aligerando la carga de la red.

Para poder usar ThingSpeak es necesario crearse una cuenta y dispone de una serie de limitaciones [TSLim20], aunque también tiene opciones de pago la cual reduce estas limitaciones. En la Tabla4.1 se muestra las diferencias de limitaciones en cuanto a la gratuita y la de pago. Para este proyecto, la gratuita nos ofrece características más que suficientes.

	Gratis	Estándar
Número de mensajes	3 millones/año (~8200/día)	33 millones/año (~90.000/día)
Límite de tiempo entre mensajes	15 segundos	Cada segundo
Número de aplicaciones	4	250
Tiempo máximo de cómputo en MATLAB	20 segundo	60 segundos
Conexiones MQTT simultáneas	3	50
Compartir aplicaciones privadas	Sólo a 3 usuarios	Sin límite
Soporte técnico	Comunidad	MathWorks

Tabla4.1. Comparación de usuario gratuito o estándar

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

Los pasos a seguir para almacenar los datos a ThingSpeak son los siguientes:

- Crear API Keys. Creación de claves para acceder y guardar datos en ThingSpeak.
- Crear aplicaciones en ThingSpeak. Creación de las aplicaciones dentro de ThingSpeak.
- Envío con MQTT. Activar el envío de datos con MQTT.
- Canales en gateway. Indicar en el gateway las aplicaciones creadas en ThingSpeak.
- Recibiendo datos. Hacer que ThingSpeak reciba los datos recolectados.
- Configurar gráficas. Configuraciones disponibles para modificar las gráficas

Crear API Keys

Para poder almacenar los datos leídos de DIPOMAC, necesitamos generar unas llaves para poder acceder a la API en ThingSpeak. Debemos ir a nuestro perfil de usuario y generarlas. Estas keys son importantes, ya que las necesitaremos para configurar el gateway a este servicio. Se muestran ocultadas por seguridad en la Figura4.26.

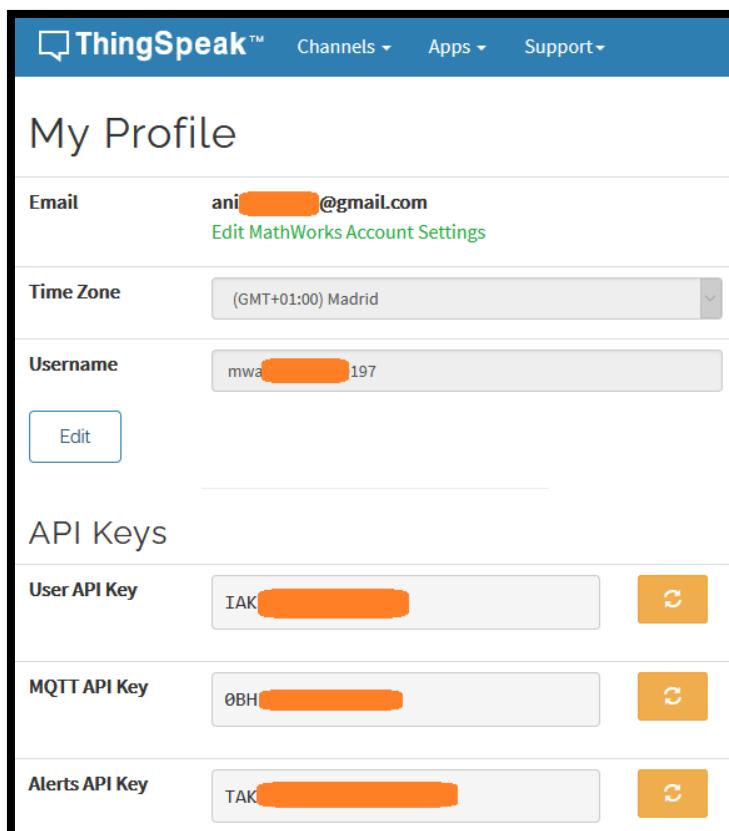


Figura4.26. API Keys generadas. Fuente: imagen de elaboración propia.

Crear aplicaciones en ThingSpeak.

El siguiente paso es crear las aplicaciones que mostrarán y recibirán los datos de DIPOMAC. ThingSpeak lo denomina “channels”, que no debemos confundir con el canal que usa LoRa. Se ha creado 2 “channels”, una para los datos ambientales y otro para los datos de los gases. Cada “channel” solo permite almacenar 8 campos. La Figura4.26 e Figura4.27 muestra la creación del canal de datos ambientales y la Figura4.28 la correspondiente al canal de gases. En estos canales se puede indicar las coordenadas del dispositivo, indicado en el requisito funcional RF4.

New Channel	
Name	DiPOMAC - Barometro
Description	Canal para guardar temperatura, humedad y presión atmosférica del dispositivo DIPOMAC
Field 1	Temperatura <input checked="" type="checkbox"/>
Field 2	Humedad <input checked="" type="checkbox"/>
Field 3	Presion <input checked="" type="checkbox"/>

Figura4.26. Canal para los datos ambientales. Fuente: imagen de elaboración propia.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

The form consists of several input fields and checkboxes:

- Link to External Site:** http://
- Link to GitHub:** https://github.com/
- Elevation:** 580
- Show Channel Location:**
- Latitude:** 37.1672
- Longitude:** -3.6012
- Show Video:**
 YouTube
 Vimeo
- Video URL:** http://
- Show Status:**

Save Channel button (green)

Figura 4.27. Canal para los gases. Fuente: imagen de elaboración propia.

Name: DIPOMAC

Description: Canal para leer gases ambientales del dispositivo DIPOMAC

Field	Value	Status
Field 1	NH3	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 2	CO	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 3	NO2	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 4	C3H8	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 5	C4H10	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 6	CH4	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 7	H2	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 8	C2H5OH	<input checked="" type="checkbox"/>

Metadata:

Tags: gas, contamination, lora, ammonia, carbon monoxide, nitrogen dioxide

(Tags are comma separated)

Figura4.28. Canal para los gases. Fuente: imagen de elaboración propia.

Una vez creados los canales, le damos permisos para que la visualización de estos datos sean públicos y no privados. La Figura4.29 muestra como compartir el canal. SE hace esto para los 2 canales.

Sharing

Channel Sharing Settings

- Keep channel view private
- Share channel view with everyone
- Share channel view only with the following users:

Email Address: Enter email here

Add User

Help

ThingSpeak allows you to share your channels with anyone. This requires the appro...

Channel Sh...

• Keep chan...

Figura4.29. Permisos de canal. Fuente: imagen de elaboración propia.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

Envío con MQTT.

Ahora para enviar los datos, el gateway debe estar correctamente configurado con MQTT. En la interfaz web podemos ir a la sección correspondiente a la configuración de MQTT y rellenarla con los datos correspondientes. Por defecto, nos permite elegir ThingSpeak como perfil de servidor, haciendo que la mayoría de campos se rellenen automáticamente. Debemos ver en nuestro perfil de ThingSpeak cuál es el valor de usuario y la MQTT API Key, mostradas en la Figura4.26, para indicarlas en la configuración. La Figura4.30 muestra la configuración ya completa.

The screenshot shows the 'MQTT Client Configuration' page of the DRAGINO web interface. The top navigation bar includes links for LoRa, LoRaWAN, MQTT, TCP, HTTP, Custom, System, LogRead, LuCI, and Home. The main section is titled 'MQTT Client Configuration'. It contains several configuration fields:

- MQTT Server Profile:** A dropdown menu set to 'ThingSpeak'.
- Broker Address [-h]:** An input field containing 'mqtt.thingspeak.com'.
- Broker Port [-p]:** A dropdown menu set to '1883'.
- User ID [-u]:** An input field containing 'mwa[REDACTED]197'.
- Password [-P]:** An input field containing 'OBH[REDACTED]'.
- Client ID [-i]:** An input field containing 'dragino-1bdae4'.

Below these fields are sections for 'Publish' and 'Subscribe' settings:

- Publish:**
 - Enable Publish:** A checked checkbox.
 - Quality of Service [-q]:** A dropdown menu set to '0'.
 - Topic Format [-t]:** An input field containing 'channels/CHANNEL/publish/WRITE_API'.
 - Data Format [-m]:** An input field containing 'DATA&status=MQTT_PUBLISH'.
- Subscribe:**
 - Enable Subscribe:** An unchecked checkbox.
 - Quality of Service [-q]:** A dropdown menu set to '0'.
 - Topic Format [-t]:** An input field containing 'status=MQTT_SUBSCRIBE'.

At the bottom of the form are two buttons: 'Save&Apply' and 'Cancel'.

Figura4.30. Configuración servidor MQTT. Fuente: imagen de elaboración propia.

Canales en gateway

Tan solo queda configurar los canales que hemos creado en ThingSpeak dentro del gateway para que envíe los datos correctamente. Dentro de un canal debemos ver su ID y cuál es el valor de Write API Key. La Figura4.31 muestra dónde se encuentran estos valores dentro del canal en ThingSpeak.

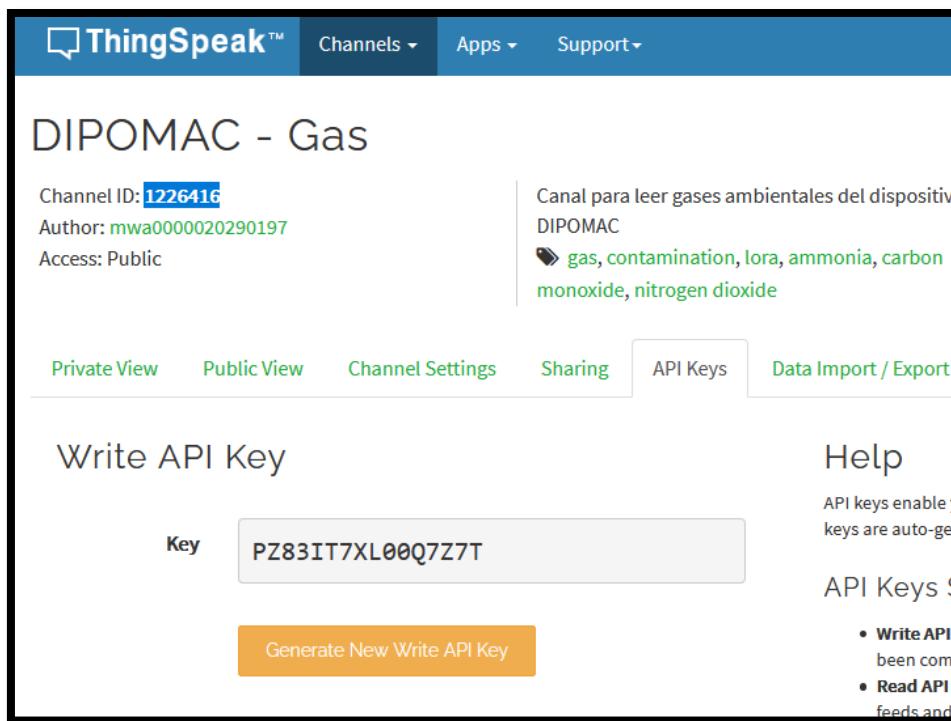


Figura4.31. Valores ID y Write API Key. Fuente: imagen de elaboración propia.

En el gateway se crean ahora 2 canales, uno correspondiente para los gases y otro para los datos ambientales. Los valores a rellenar son los siguientes:

- Número de canal, un número aleatorio que deseemos.
- Local ID, es el número indicado en el código de DIPOMAC, Figura4.13.
- RemoteID, es el ID del canal en ThingSpeak.
- Write API Key, el valor de Write API Key

Se muestran estos valores en la Figura4.32. Hay que hacer lo correspondiente para ambos canales, mostrado en la Figura4.33.



Figura4.32. Valores canal. Fuente: imagen de elaboración propia.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

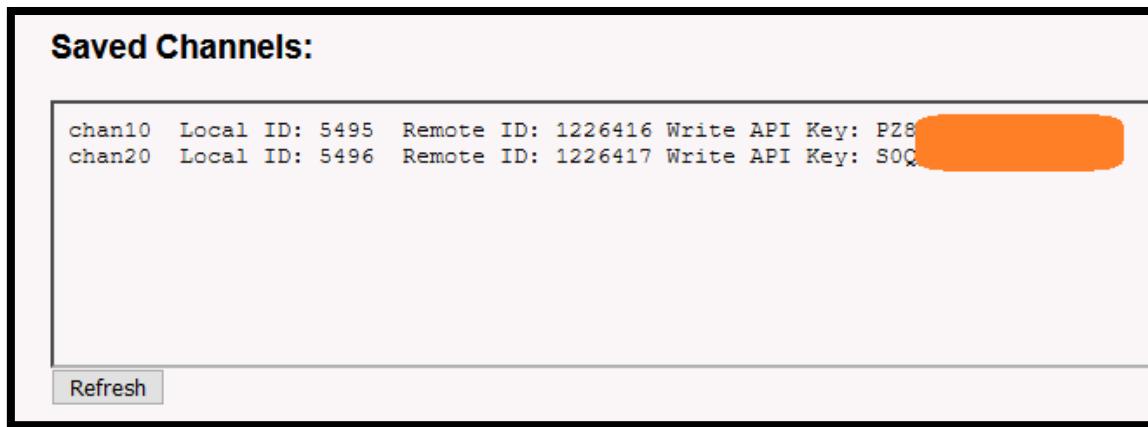


Figura4.32. Canales guardados. Fuente: imagen de elaboración propia.

Recibiendo datos.

Con esto, el gateway ya está enviando los datos que recoge de DIPOMAC a ThingSpeak, cumpliendo con el requisito funcional RF37. Podemos ver en la Figura4.33 cómo ha recibido los primeros datos capturados por DIPOMAC para el canal de datos ambientales. La Figura4.34 muestro lo mismo para el canal de gases.

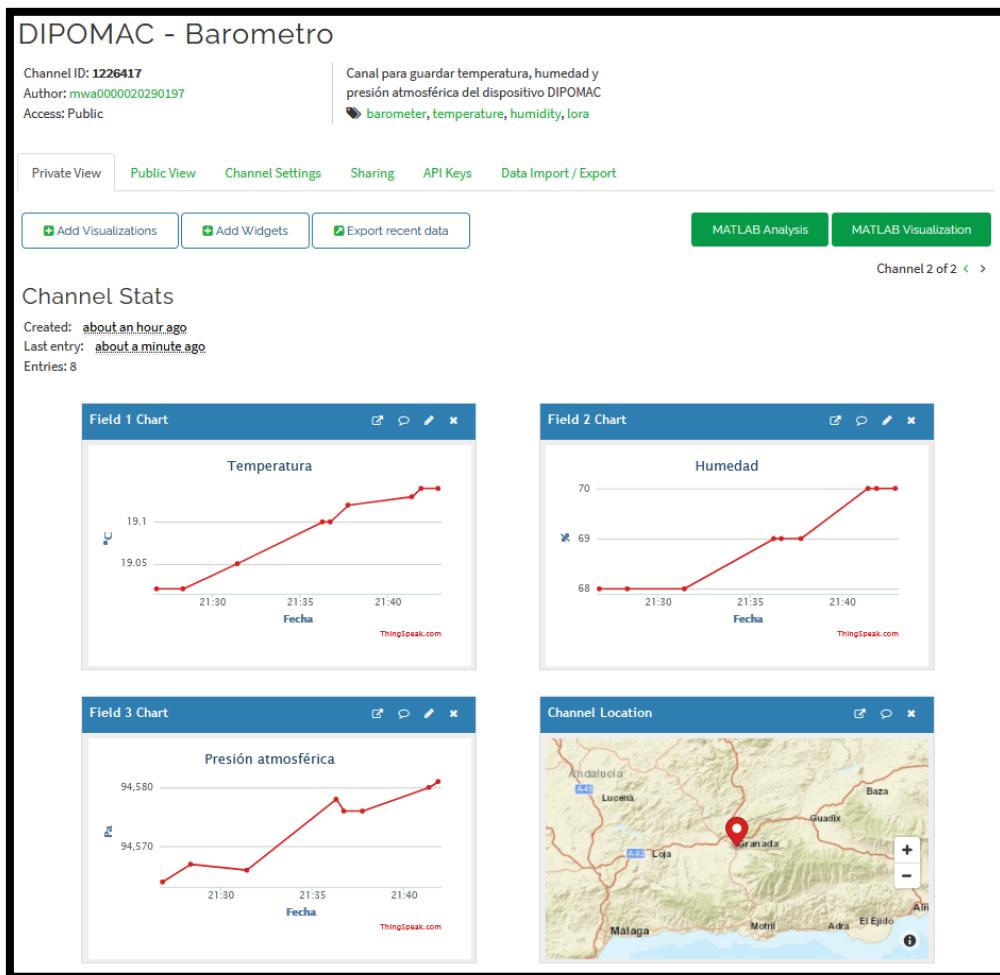


Figura4.33. Datos ambientales recibidos. Fuente: imagen de elaboración propia.



Figura 4.34. Datos de gases recibidos. Fuente: imagen de elaboración propia.

Estas gráficas completan los requisitos funcionales RF12, RF13, RF14, RF16, RF18, RF20, RF22, RF24, RF26, RF28 y RF30.

Podemos ver los paquetes de DIPOMAC recibidos por el gateway en la Figura 4.35 antes de enviarlos a ThingSpeak. Estos se muestran en formato ASCCI.

Logread RxTxJson:

```
Wed Nov 11 23:21:21 2020 daemon.info lg01_pkt_fwd[1940]: RXTX~ Receive(HEX):ffff00003c353439363e666c64313d352e3430266669656c64323d33362e3439266669656c
```

Figura 4.35. Datos recibidos en el gateway. Fuente: imagen de elaboración propia.

Configurar gráficas.

Las gráficas de cada campo se muestran por defecto, no podemos deshabilitarlas. En ellas nos muestra también la fecha de cada valor recibido. Da también la posibilidad de poder editarlas. Se ha editado cada gráfica para que muestre sólo los datos de 1 día, pero ThingSpeak tendrá almacenado todos los datos que ha recibido durante todo el tiempo. Se muestra en la Figura 4.36 cómo se ha editado las vistas de estas gráficas.

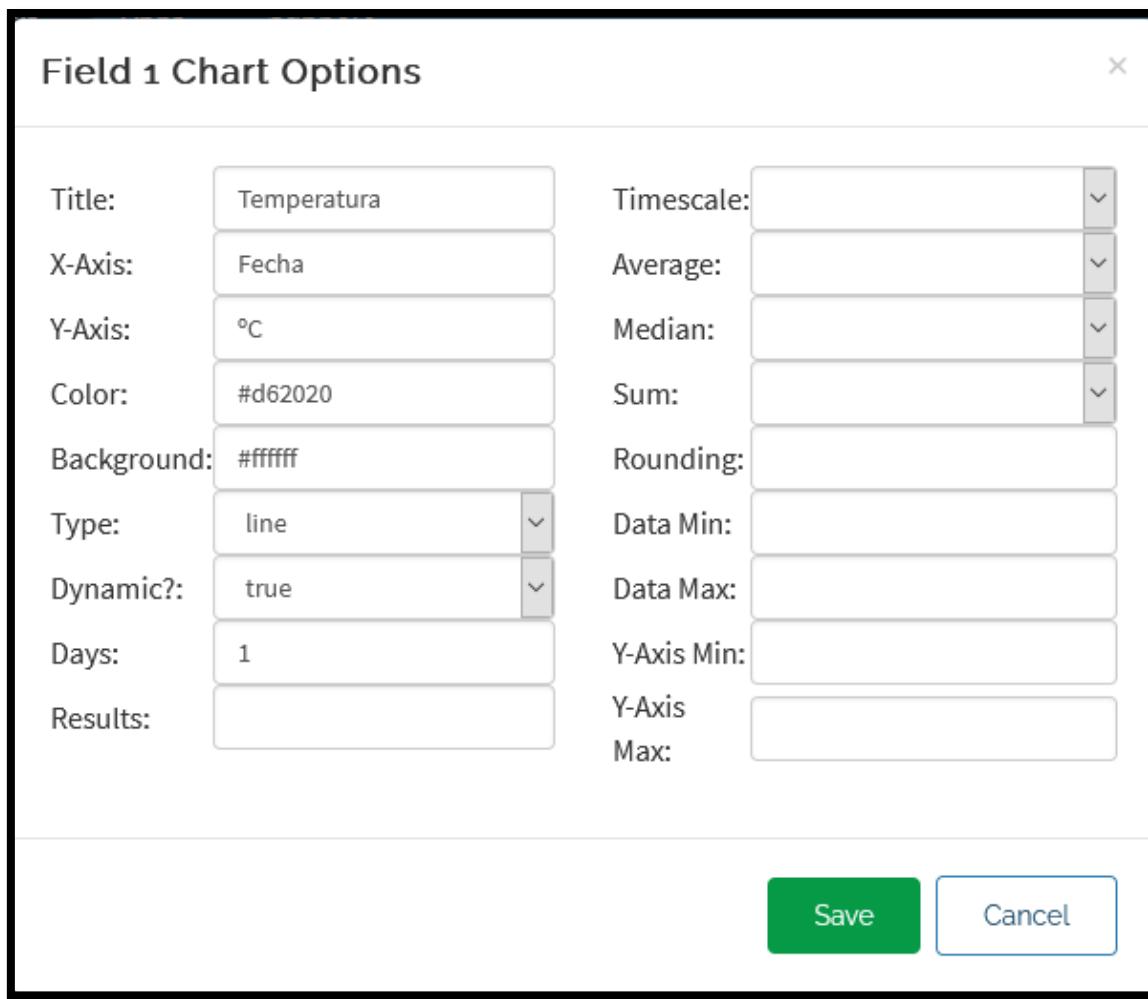


Figura 4.36. Configuración gráficas. Fuente: imagen de elaboración propia.

4.4.4 Capa de visualización.

A parte de disponer una gráfica para cada tipo de valor leído, ThingSpeak ofrece la posibilidad de dar otras visualizaciones de gráficas hechas con MATLAB [CodMAT20].

Para la visualización de datos se realizan los siguientes pasos:

- Crear visualizaciones. Crea visualizaciones dentro de ThingSpeak.
- Detalles de código en MATLAB. Partes del código más relevantes para las visualizaciones que se van a crear.
- Mostrar visualizaciones. Cómo hacer visibles a cualquier usuario las visualizaciones creadas.
- Descarga de datos. Posibles formas de descargar los datos almacenados en ThingSpeak.

Crear visualizaciones.

Cuando se crea una visualización, nos da la posibilidad de crear una desde cero o con un ejemplo o plantillas, mostrada en la Figura4.37.

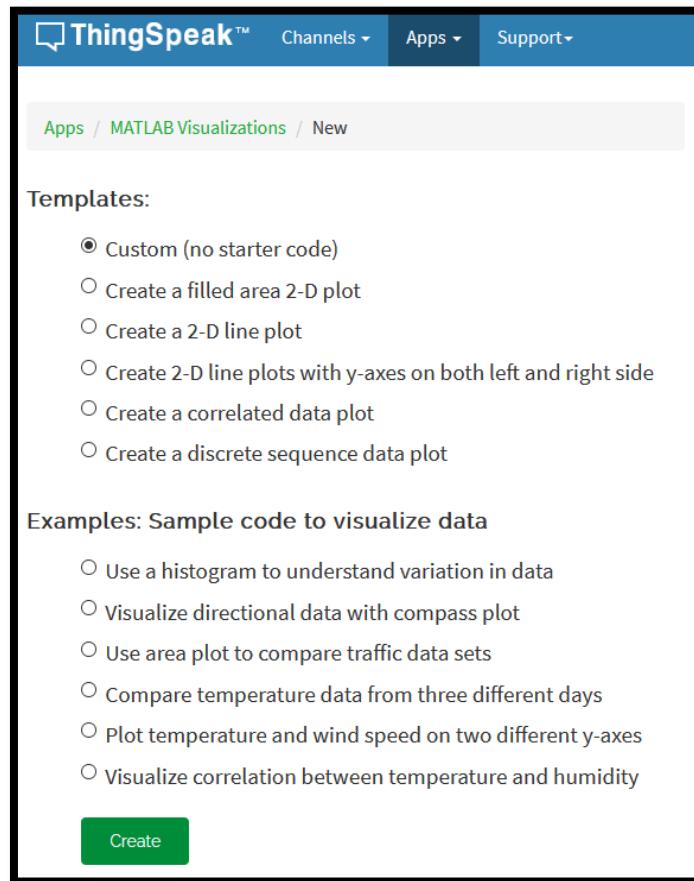
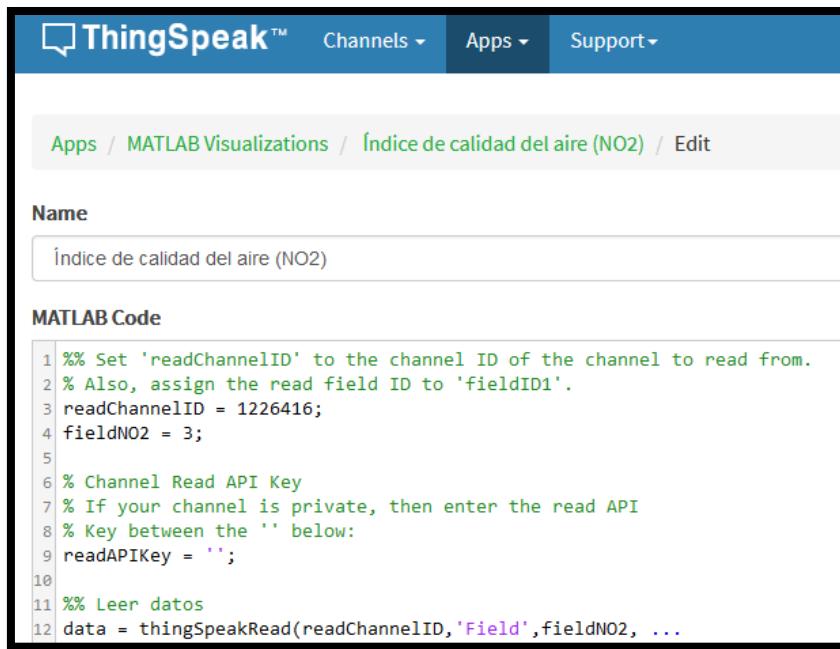


Figura4.37. Creación de una nueva visualización. Fuente: imagen de elaboración propia.

Se elige el deseado, y escribiremos el código necesario acorde a la visualización que deseamos mostrar, junto con un nombre. Esto se muestra en la Figura4.38.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO



The screenshot shows the ThingSpeak MATLAB Visualization editor interface. At the top, there are navigation links: 'ThingSpeak™', 'Channels', 'Apps', and 'Support'. Below the header, the path 'Apps / MATLAB Visualizations / Índice de calidad del aire (NO2) / Edit' is displayed. The main area is divided into two sections: 'Name' and 'MATLAB Code'. In the 'Name' section, the name 'Índice de calidad del aire (NO2)' is entered. In the 'MATLAB Code' section, the following code is pasted:

```
1 %% Set 'readChannelID' to the channel ID of the channel to read from.
2 % Also, assign the read field ID to 'fieldID1'.
3 readChannelID = 1226416;
4 fieldNO2 = 3;
5
6 % Channel Read API Key
7 % If your channel is private, then enter the read API
8 % Key between the '' below:
9 readAPIKey = '';
10
11 %% Leer datos
12 data = thingSpeakRead(readChannelID,'Field',fieldNO2, ...
```

Figura4.38. Nombre y campo para el código. Fuente: imagen de elaboración propia.

Una vez puesto el código, debemos elegir y guardar dónde se va a mostrar la visualización. La Figura4.39 muestra las diferentes opciones que tenemos para la visualización, pudiendo incluso hacer visualizaciones de otros canales

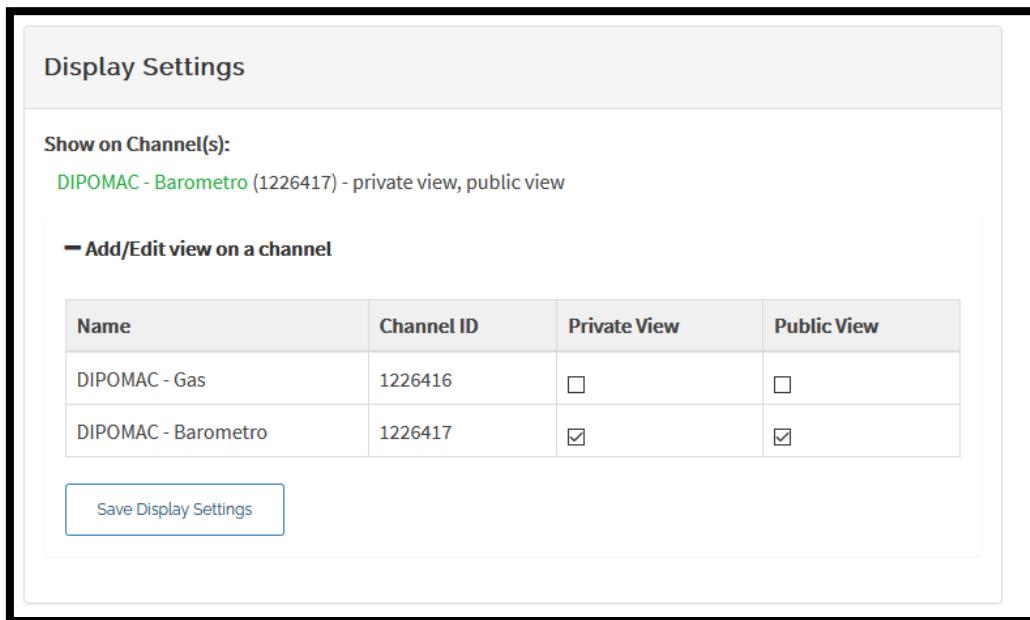


Figura4.39. Opciones de visualización. Fuente: imagen de elaboración propia.

De esta forma, se cumple el requisito funcional RF36.

Detalles código MATLAB.

El código de cada visualización se encuentra para su consulta en el repositorio de GitHub⁷. Pero se debe tener en cuenta una serie de aclaraciones.

Los datos recibidos de los gases están medidos en ppm, partículas por millón. Para poder indicar el índice de calidad del aire, es necesario pasar esta medida a $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta operación se realiza con la siguiente fórmula:

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \text{ppm} \times \text{PM} \times \frac{10^3}{24.5}$$

, donde PM es el peso molecular del gas. El monóxido de carbono tiene un peso molecular de 28,01g/mol y el dióxido de nitrógeno de 46,0055g/mol.

Esta operación queda reflejada en la Figura4.40, donde se aplica tanto al promedio como al máximo del gas.

```
17 % Calculo promedio de ppm a microgramos/m³
18 proNO2 = mean(NO2Data) * 28,01 * (1000 / 24.5);
19
20 % Calculo máximo de ppm a microgramos/m³
21 maxNO2 = max(NO2Data) * 28,01 * (1000 / 24.5);
```

Figura4.40. De ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Fuente: imagen de elaboración propia.

También se debe tener en cuenta los valores establecidos para el Índice de calidad del aire, mostrados en el apartado 2.4.2 y 2.4.3. La Figura4.41 muestra la definición de estos rangos de valores para el dióxido de nitrógeno. Se hace lo mismo para el monóxido de carbono teniendo en cuenta sus valores límites establecidos.

⁷ Repositorio del proyecto: <https://github.com/Nastard/DIPOMAC>

```

23 %% Intervalos y máximos
24 colorNO2 = 'green';
25 if proNO2 > 100
26     colorNO2 = 'yellow';
27     if proNO2 > 200
28         colorNO2 = 'red';
29         if proNO2 > 300
30             colorNO2 = 'black';
31         end
32     end
33 end
34 if maxNO2 > 200
35     colorNO2 = 'black';
36 end

```

Figura 4.41. Límites NO₂. Fuente: imagen de elaboración propia.

Mostrando visualizaciones.

Se han creado una serie de visualizaciones acorde a los requisitos funcionales requeridos. En la Figura 4.42 se ve cada visualización creada, cumpliendo con los requisitos RF32, RF33, RF34 y RF35.

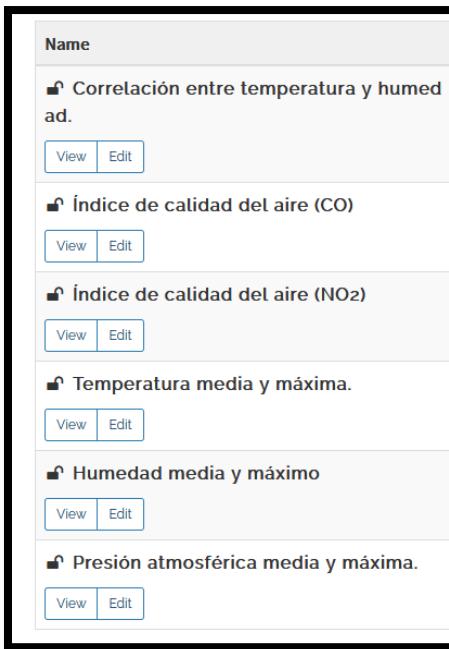


Figura 4.42. Configuración gráficas. Fuente: imagen de elaboración propia.

Estas visualizaciones son mostradas tanto para el canal de los gases⁸ como para el canal de los datos ambientales⁹ junto con los datos recibidos. La Figura 4.43

⁸ Enlace a las visualizaciones de gases: <https://thingspeak.com/channels/1226416>

4.4 Implementación

corresponde a las visualizaciones del canal de gas, cumpliendo los requisitos RF31, RF32, RF33, RF34 y la Figura 4.44 a la del canal ambiental, cumpliendo los requisitos RF5, RF6, RF7, RF8, RF9, RF10, RF11.

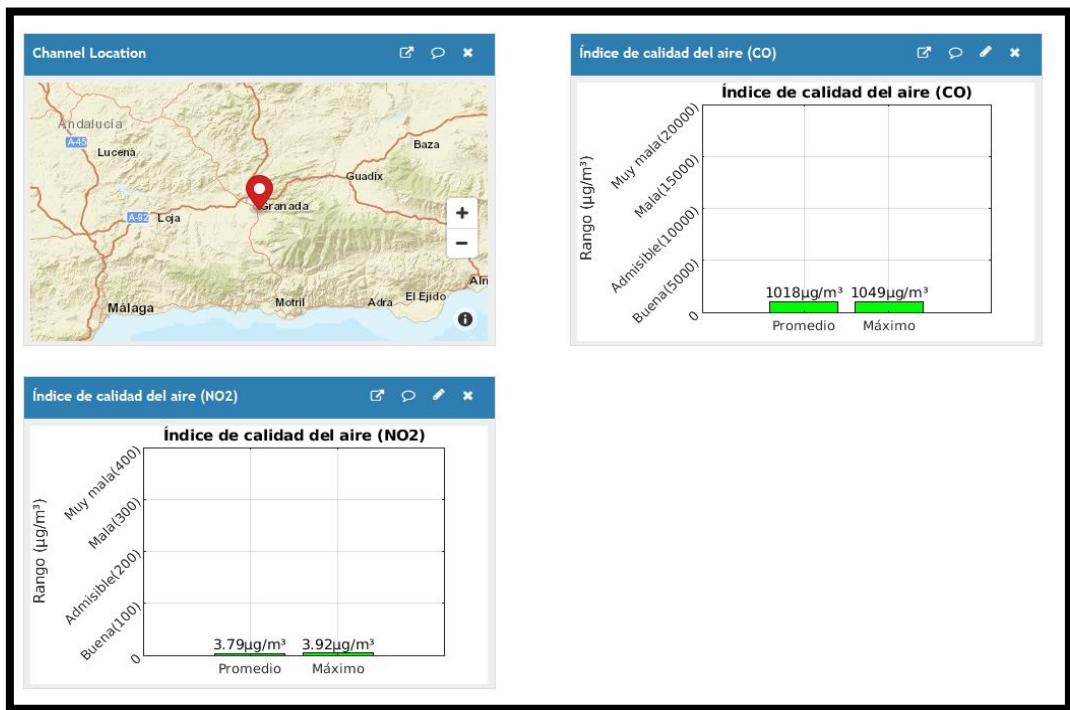
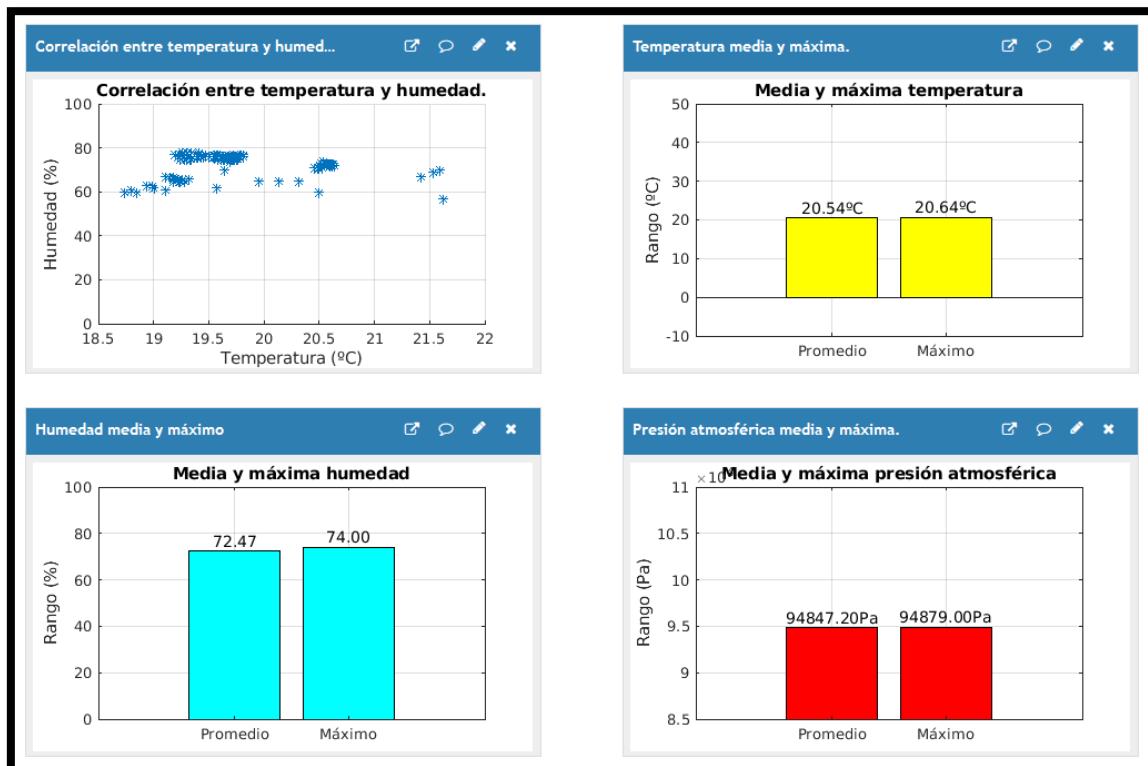


Figura 4.43. Visualización del canal de gases. Fuente: imagen de elaboración propia.



⁹ Enlace a las visualizaciones ambientales: <https://thingspeak.com/channels/1226417>

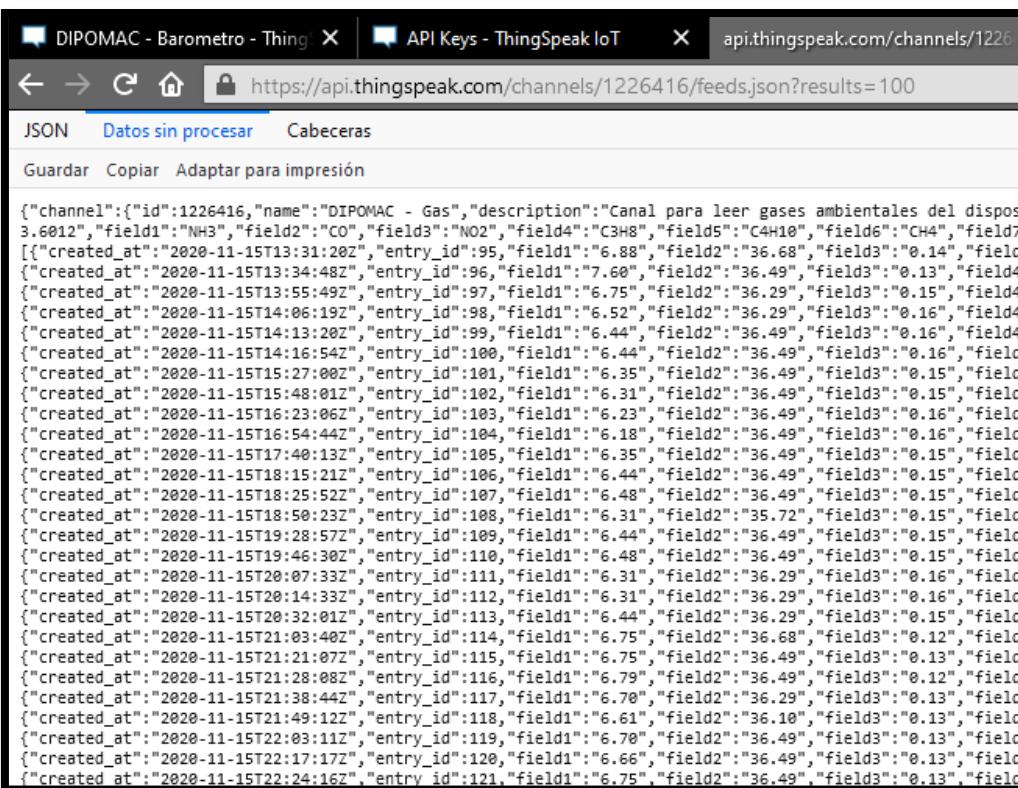
CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

Figura4.44. Visualización del canal ambiental. Fuente: imagen de elaboración propia.

Descarga de datos.

ThingSpeak nos permite acceder a los datos que han sido almacenados. Para ello dispone de un API para permitir el acceso a ellos. Se puede descargar los datos de cada canal en formato JSON o CSV, para luego usarlos libremente como se desee. Cualquier persona tiene acceso al JSON producido por ellos, tal y como se ha configurado en el canal.

Para el formato JSON, modificando la URL generada por la API, podemos elegir incluso si queremos todos los valores almacenados o tan solo una cantidad. Con esto se cumple el requisito funcional RF35. La Figura4.45 muestra el JSON generado para 100 lecturas del canal para gases¹⁰ en un navegador web. Funciona de la misma manera para el canal de datos ambientales¹¹.



```
{"channel":{"id":1226416,"name":"DIPOMAC - Gas","description":"Canal para leer gases ambientales del dispositivo 3.6012","field1":"NH3","field2":"CO","field3":"NO2","field4":"C3H8","field5":"C4H10","field6":"CH4","field7":"CH7"},["created_at":"2020-11-15T13:31:20Z","entry_id":95,"field1":6.88,"field2":36.68,"field3":0.14,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T13:34:48Z","entry_id":96,"field1":7.60,"field2":36.49,"field3":0.13,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T13:55:49Z","entry_id":97,"field1":6.75,"field2":36.29,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T14:06:19Z","entry_id":98,"field1":6.52,"field2":36.29,"field3":0.16,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T14:13:20Z","entry_id":99,"field1":6.44,"field2":36.49,"field3":0.16,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T14:16:54Z","entry_id":100,"field1":6.44,"field2":36.49,"field3":0.16,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T15:27:00Z","entry_id":101,"field1":6.35,"field2":36.49,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T15:48:01Z","entry_id":102,"field1":6.31,"field2":36.49,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T16:23:06Z","entry_id":103,"field1":6.23,"field2":36.49,"field3":0.16,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T16:54:44Z","entry_id":104,"field1":6.18,"field2":36.49,"field3":0.16,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T17:40:13Z","entry_id":105,"field1":6.35,"field2":36.49,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T18:15:21Z","entry_id":106,"field1":6.44,"field2":36.49,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T18:25:52Z","entry_id":107,"field1":6.48,"field2":36.49,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T18:50:23Z","entry_id":108,"field1":6.31,"field2":35.72,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T19:28:57Z","entry_id":109,"field1":6.44,"field2":36.49,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T19:46:30Z","entry_id":110,"field1":6.48,"field2":36.49,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T20:07:33Z","entry_id":111,"field1":6.31,"field2":36.29,"field3":0.16,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T20:14:33Z","entry_id":112,"field1":6.31,"field2":36.29,"field3":0.16,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T20:32:01Z","entry_id":113,"field1":6.44,"field2":36.29,"field3":0.15,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T21:03:40Z","entry_id":114,"field1":6.75,"field2":36.68,"field3":0.12,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T21:21:07Z","entry_id":115,"field1":6.75,"field2":36.49,"field3":0.13,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T21:28:08Z","entry_id":116,"field1":6.79,"field2":36.49,"field3":0.12,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T21:38:44Z","entry_id":117,"field1":6.78,"field2":36.29,"field3":0.13,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T21:49:12Z","entry_id":118,"field1":6.61,"field2":36.10,"field3":0.13,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T22:03:11Z","entry_id":119,"field1":6.78,"field2":36.49,"field3":0.13,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T22:17:17Z","entry_id":120,"field1":6.66,"field2":36.49,"field3":0.13,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}, {"created_at":"2020-11-15T22:24:16Z","entry_id":121,"field1":6.75,"field2":36.49,"field3":0.13,"field4":36.49,"field5":36.49,"field6":36.49,"field7":36.49}]}
```

Figura4.45. JSON generado del canal de gases. Fuente: imagen de elaboración propia.

10 Enlace API del canal gases para 100 lecturas:

[https://api.thingspeak.com/channels/1226416\(feeds\).json?results=100](https://api.thingspeak.com/channels/1226416(feeds).json?results=100)

11 Enlace API del canal de datos ambientales: [https://api.thingspeak.com/channels/1226417\(feeds\).json](https://api.thingspeak.com/channels/1226417(feeds).json)

Para el formato CSV, podemos exportar los datos directamente al ordenador o incluso poder importar nuestro propio CSV, respetando el formato para que ThingSpeak pueda leer y guardar los datos. La Figura4.60 muestra las opciones para CSV.

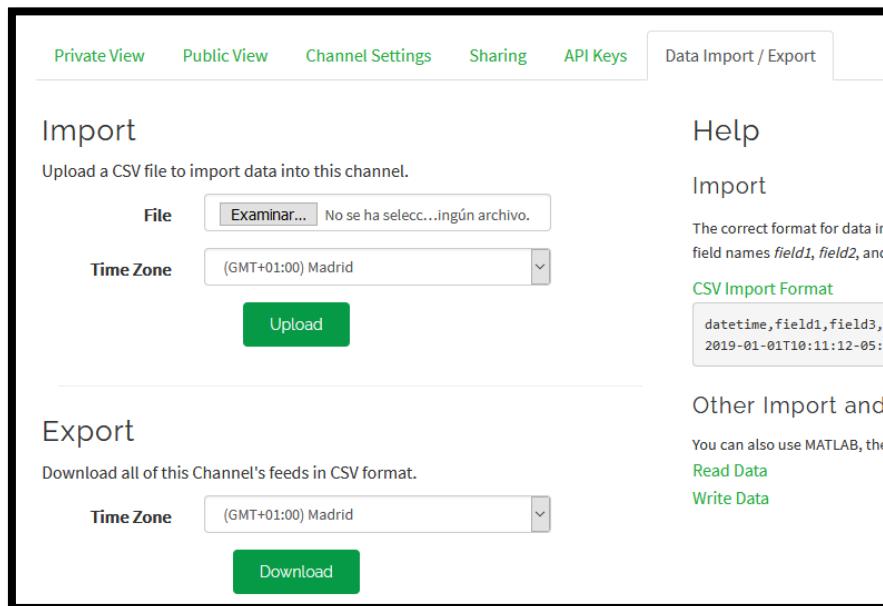


Figura4.60. Importar y descargar CSV. Fuente: imagen de elaboración propia.

4.5 Pruebas.

Todo el sistema ya está en funcionamiento. Vamos a realizar una serie de pruebas para ver que los datos capturados por los sensores son correctos y que las gráficas sobre el índice de calidad del aire funcionan correctamente.

4.5.1 Valores registrados en la calle.

Hasta ahora, los valores capturados no son valores registrados de algún lugar al aire libre. DIPOMAC necesita estar en la calle pues el índice de calidad de aire es una de las partes que deseamos medir. Hemos colocado DIPOMAC al aire libre, como se muestra en la Figura4.50.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

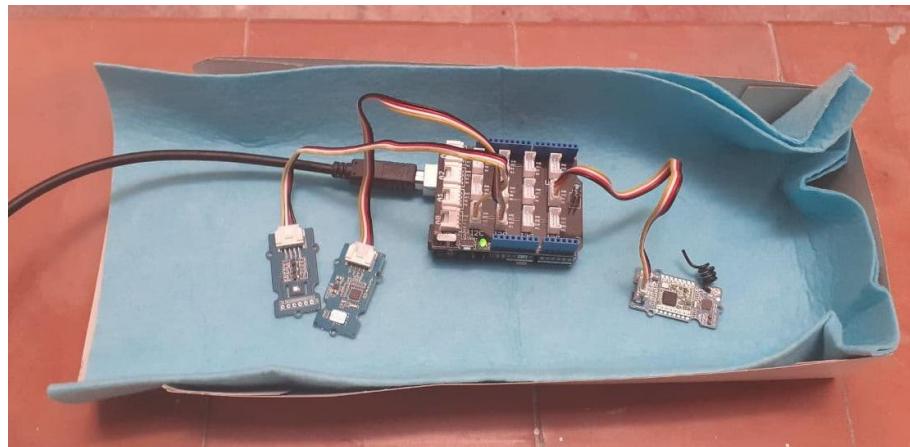


Figura4.50. DIPOMAC al aire libre. Fuente: imagen de elaboración propia.

Lectura de datos ambientales.

Tras esperar una mañana y una tarde, la captura de los datos ha cambiado. La Figura4.51 muestra los valores capturados de la temperatura y de la humedad.

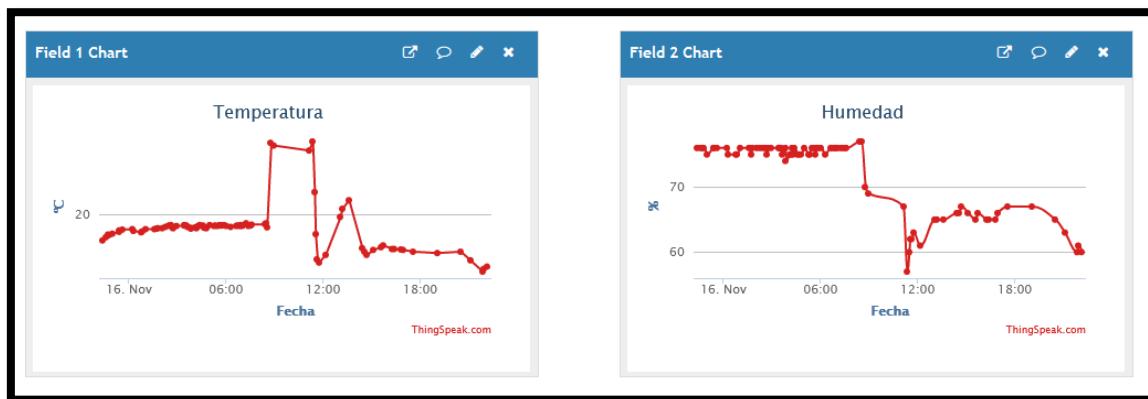


Figura4.51. Cambio de valores en gráficas para el ambiente. Fuente: imagen de elaboración propia.

Analizando los datos, vemos que aproximadamente a la mitad de los gráficos fue cuando DIPOMAC estuvo en la calle y los valores registrados presentaron bruscos cambios. La temperatura subió por la mañana y bajó por la tarde respecto al inicio de la gráfica, donde DIPOMAC leía datos de una habitación.

Respecto a la humedad, todo el rato que estuvo en la calle bajó considerablemente.

Lectura de los gases.

Dependiendo del valor capturado de cada tipo de gas, este subió o bajó de forma también brusca, ya que pasó de leer aire de una habitación a leer aire natural de la calle. Se puede apreciar estos cambios en la Figura4.52 e Figura4.53.



Figura4.52. Cambio de valores en gráficas para gases. Fuente: imagen de elaboración propia.



Figura4.53. Cambio de valores en gráficas para gases. Fuente: imagen de elaboración propia.

4.5.2 Modificando valores.

Respecto a las gráficas de los gases del índice de calidad del aire, vamos a modificar manualmente tanto el promedio como el máximo permitido que tiene cada gas. Vamos a usar la gráfica del dióxido de nitrógeno para esta prueba, pero funciona igualmente para el monóxido de carbono.

Si modificamos el promedio estableciendo un valor que sea admisible para la calidad del aire, vemos que la gráfica cambia al color amarillo, especificado en la Tabla2.4. El valor máximo no cambia en este ejemplo debido a que solo se modifica el valor promedio, y no el conjunto de datos entero, que es de donde sale el máximo permitido. Este cambio se aprecia en la Figura4.54.

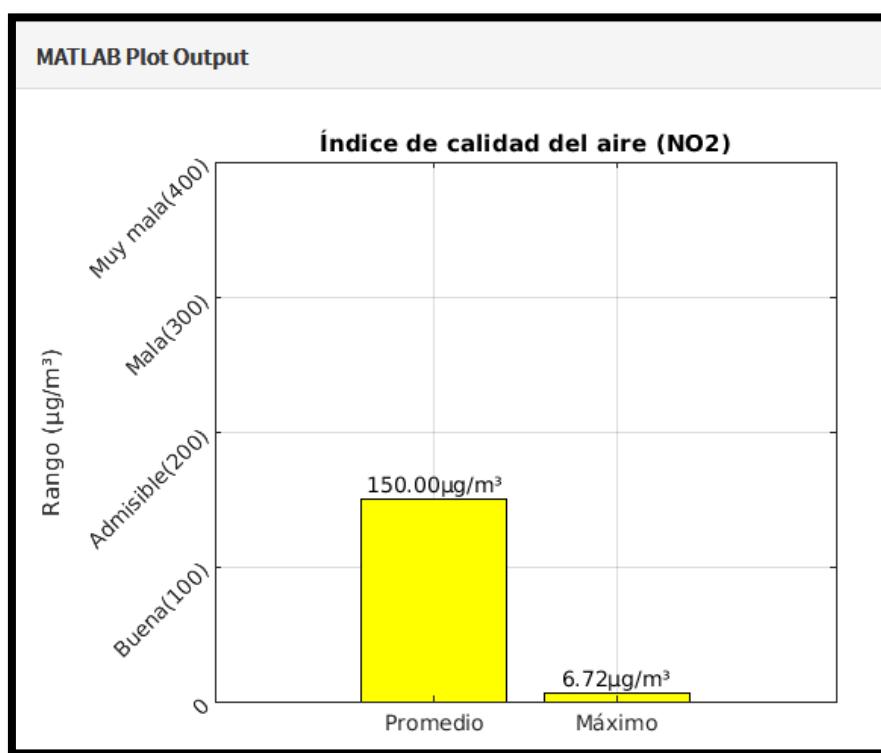


Figura4.54. Cambiada gráfica para ser admisible. Fuente: imagen de elaboración propia.

Si volvemos a cambiar el valor promedio a un valor que se considere mala para el índice de calidad del aire, la gráfica cambia a color rojo. Se aprecia este cambio en la Figura4.55.

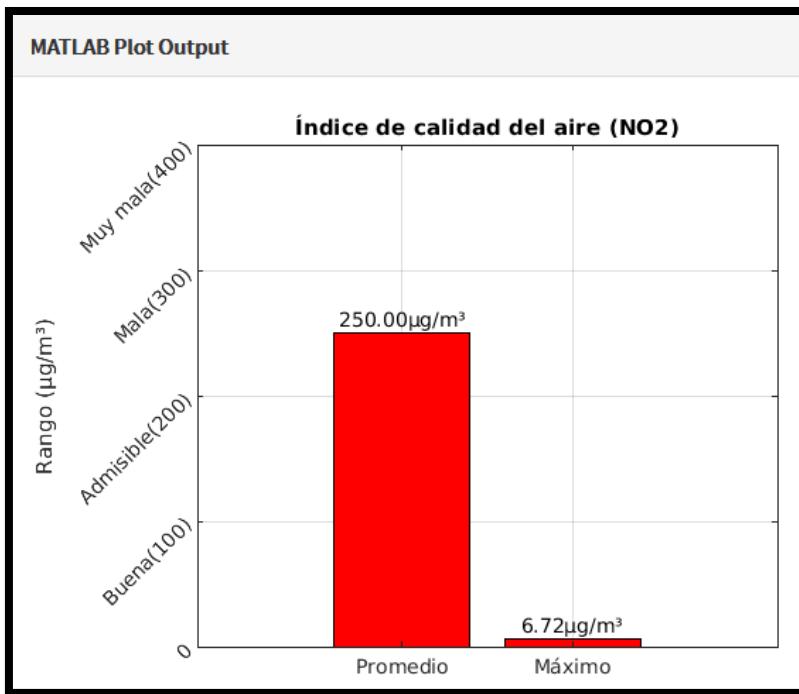


Figura 4.55. Cambiada gráfica para ser mala. Fuente: imagen de elaboración propia.

Si se establece una lectura que sea muy mala para el índice de calidad del aire, la gráfica cambia a color negro. En la Tabla 2.4 nos dice que el color indicado es el marrón, pero MATLAB no permite usar este color y por eso se ha decidido usar el negro.

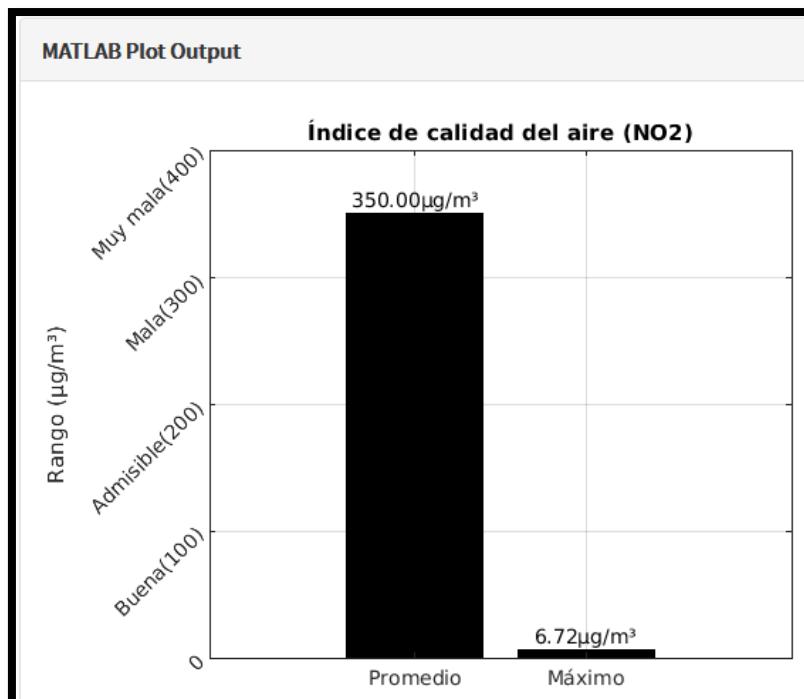


Figura 4.56. Cambiada gráfica para ser muy mala. Fuente: imagen de elaboración propia.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

Por último, si cambiamos de forma manual el límite establecido diario, la gráfica pasa a color negro directamente, e indicando que la calidad del aire es mala. En estos casos, el valor límite es el que más prioridad tiene, aunque el promedio indique que la calidad del aire es buena.

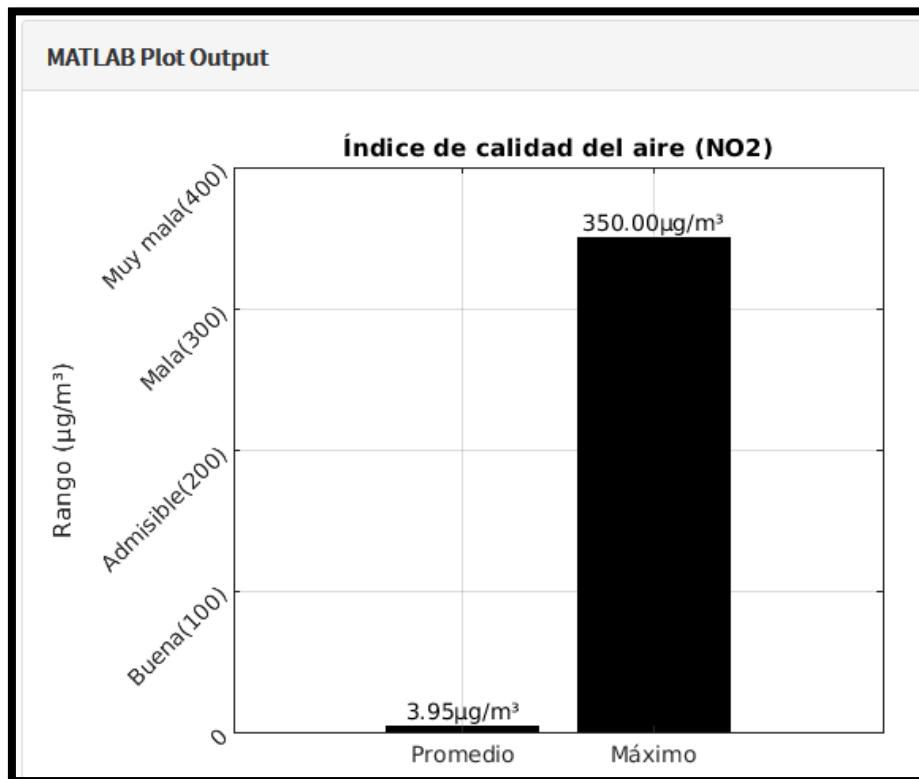


Figura 4.57. Cambiada gráfica para superar el límite. Fuente: imagen de elaboración propia.

Capítulo 5

Gestión y costes del proyecto

5.1 Gestión del proyecto.

Para gestionar el proyecto se ha usado diferentes herramientas. Una de ellas es usar la metodología ágil Scrum [SCRUM20]. Se creó un repositorio usando TortoiseSVN [Tortoise20] donde se ha ido añadiendo los diferentes documentos requeridos durante la realización del proyecto. También se ha usado la plataforma Redmine [Red20], propia de la Universidad de Granada, para indicar las reuniones y el trabajo realizado.

5.1.1 Metodología SCRUM.

Para el desarrollo completo de este proyecto se ha usado una metodología de desarrollo ágil, en concreto Scrum. Este tipo de metodología aporta métodos de desarrollo iterativo e incremental en la ingeniería del software, en los cuales los requisitos y soluciones propuestas evolucionan según avanza el tiempo del proyecto.

Scrum es un entorno de trabajo para desarrollar, entregar y mantener un proyecto. Es un marco de procesos y técnicas utilizado para gestionar el trabajo a realizar. Dentro de Scrum se definen roles, eventos y artefactos.

En los roles tenemos:

- Scrum Master, líder del proyecto Scrum y encargado de relacionarse con los otros roles.

- Equipo de desarrollo, encargados de realizar el proyecto y entregar productos funcionales de forma incremental.
- Product owner, encargado de relacionarse con el cliente y de gestionar el Product backlog.

En cuanto a los eventos en Scrum son los siguientes.

- Sprint, es un periodo de tiempo, normalmente de 2 semanas o un mes, en el que el equipo de desarrollo debe realizar un producto entregable e ir incrementando la funcionalidad de este producto. Cada Sprint tiene un Sprint Goal, que es el objetivo establecido a conseguir en cada Sprint. Un Sprint Goal no tiene que ser un proyecto ya funcional.
- Daily Scrum, que son pequeñas reuniones de unos 15 minutos donde el equipo de desarrollo plantea lo que se va a resolver durante un día.
- Sprint Review son eventos realizados al final de un Sprint para inspeccionar el proyecto. Aquí los diferentes roles colaboran para ver lo que se ha hecho en el Sprint y según lo que establezcan, se definen nuevas ideas para mejorar el valor del proyecto. Estas reuniones son informales.
- Sprint Retrospective tiene como propósito inspeccionar el último Sprint con respecto a las personas involucradas, los procesos hechos y las herramientas utilizadas. Se identifican y ordenan los elementos principales que han funcionado correctamente, junto con sus posibles mejoras, y se crea un plan de implementación para mejoras.

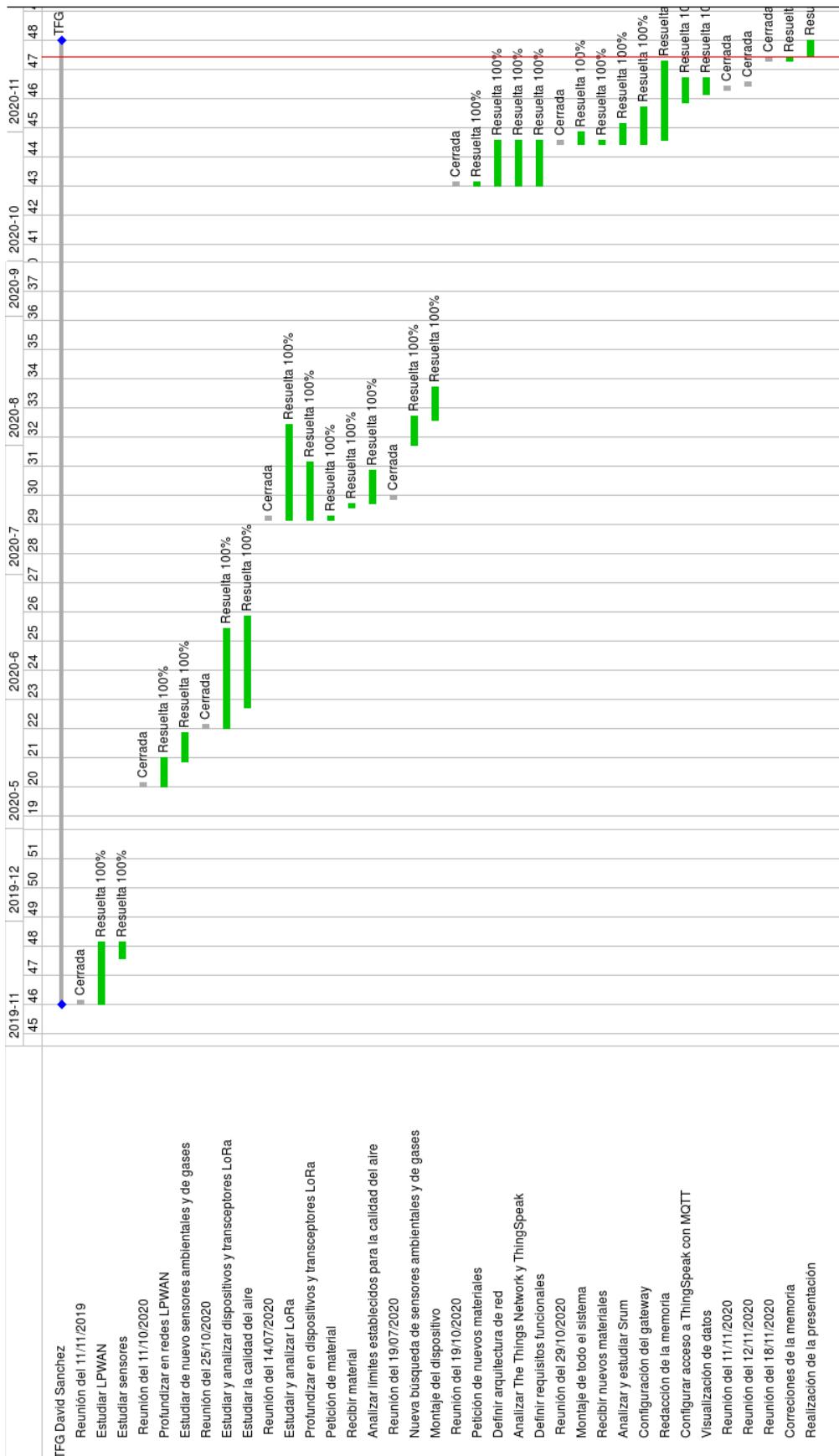
Los artefactos de Scrum son:

- Product backlog, lista de tareas que describe los requisitos del proyecto.
- Sprint backlog, lista de elementos específicos que se eligen del Product backlog para completar un Sprint.
- Los incrementos, suma de todas las tareas que se han completado desde la última versión de un producto en funcionamiento. El equipo debe asegurar que todo lo añadido en el incremento funciona correctamente.

Todos estos conceptos son fáciles de comprender, pero en la práctica se puede no cumplir todo lo que en un principio se debe realizar en cada definición.

5.1.2 Diagrama de Gantt.

Se muestra a continuación el diagrama de Gantt con las tareas y reuniones.



5.2 Costos del proyecto.

Vamos a comentar los costos generados para la realización del proyecto. Estos costos son los relacionados con todo lo que incumbe ponerlo en funcionamiento.

Los costos del proyecto son los siguientes:

- Horas de ingeniería. Se han usado aproximadamente unas 170 horas repartidas en unos 5 meses para entender y desarrollar el proyecto.
- Licencia de aplicaciones. Se han usado los siguientes programas software para la elaboración del proyecto:
 - Fritzing [Fritz20], para elaborar el boceto de DIPOMAC. Su precio es de 8€.
 - IDE de Arduino, para cargar el código desarrollado en el Arduino Uno. Licencia gratuita.
 - Navegador web, para acceder al gateway y a ThingSpeak. La mayoría de navegadores son gratuitos.
 - Putty, programa para conexiones SSH. Se trata de un programa de código abierto, por lo que es gratuito utilizarlo.
 - Plataforma IoT. ThingSpeak tiene una parte gratuita que es la usada en este proyecto, pero si fuese necesario, se podría comprar el paquete estándar que nos ofrece para mayores prestaciones. El paquete estándar cuesta 600€ al año.
- Electricidad e Internet. Es necesario tener acceso a Internet y disponer de electricidad. El precio mensual de los dos ronda sobre 50€.
- Equipos informáticos. Ha sido necesario usar un ordenador para poder configurar y desarrollar todo el proyecto. Como la mayoría de componentes usados no dependen del ordenador que se use, no es necesario disponer de un ordenador de alta o media baja, en un ordenador de gama baja se puede desarrollar el proyecto. En este caso, se ha usado un portátil MSI modelo GE60 2PE Apache Pro.

La Tabla5.1 nos muestra la suma de todos los costes de este proyecto.

Recurso	Precio
Horas de ingeniería	$170\text{h} \times 15\text{€}/\text{h} = 2550\text{€}$
Aplicación Fritzing	8€
Plataforma IoT	Gratis, con opción de pagar.
Electricidad e Internet	50€/mes x 5 meses = 250€
Equipos informáticos	1199.90€
Total costo del proyecto	4007.90€

Tabla5.1. Costos del proyecto.

5.3 Estimación del producto.

En cuanto a la estimación del producto desarrollado, la Tabla5.2 muestra los materiales que se han usado, horas dedicadas al montaje y la suma del precio de todos estos elementos.

Elemento	Precio
Dispositivo Grove LoRa	18€
Sensor BME280	14.50€
Sensor Grove Multichannel Gas	33.71€
Grove Base Shield. Venía junto con un kit de iniciación Grove	42€
Arduino Uno	20€
Gateway Dragino LG01-N	46.40€
Horas de montaje	$1.5\text{h} \times 8.52\text{€}/\text{h} = 12.78\text{€}$
Total costo del proyecto	187.39€

Tabla5.2. Estimación del proyecto.

Capítulo 6

Conclusiones

En este capítulo vamos a analizar los objetivos establecidos en el apartado 1.2, para ver si ha sido posible completarlos o no. También se hablará de posibles trabajos futuros para mejorar todo el sistema de DIPOMAC.

Como conclusión del proyecto, cabe destacar que ofrece la ventaja de que los datos se muestran siempre en tiempo real, en comparación de otros sistemas similares los cuales deben esperar un día para conseguir los datos y luego mostrarlos.

6.1 Análisis de los objetivos.

El objetivo principal indicado en el apartado 1.2.1 se ha cumplido en su totalidad. Todo lo que se indicaba se ha conseguido. En cuanto a los objetivos específicos, la Tabla 6.1 explica si se han cumplido o no.

Objetivos	Nivel de logro	Observaciones
Explorar las normativas y estudios que hay sobre los agentes contaminantes más importante para medir la calidad del aire.	100%	Completado en los apartados 2.4 y 2.5

Determinar los límites establecidos para cada uno de dichos agentes para tener una calidad del aire saludable.	100%	Completado en los apartados 2.4.1, 2.4.2. y 2.4.3
Estudiar las tecnologías inalámbricas más interesantes para la construcción de un dispositivo de medida de calidad del aire, y en especial las tecnologías basadas en LPWAN.	100%	Completado en los apartados 3.1 y 3.2
Comparar las diferencias que hay entre las distintas tecnologías LPWAN y profundizar en particular con LoRa.	100%	Completado en los apartados 3.2.4 y 3.3
Analizar los distintos dispositivos o transceptores que hay para utilizar LORA, así como los sensores más apropiados para medir agentes contaminantes.	100%	Completado en los apartados 3.5 y 3.6
Valorar las plataformas y herramientas más adecuadas para monitorizar los agentes contaminantes en un servidor remoto.	100%	Completado en los apartados 3.4.1 y 4.4.3
Realizar pruebas para estudiar la validez del dispositivo desarrollado.	75%	Completado en el apartado 4.5. Se podría haber realizado más pruebas, como de alcance o analizar el aire de un sitio con tráfico. No se han realizado debido a la situación actual.
Diseñar una interfaz para la visualización de los datos.	70%	Se ha usado la interfaz de ThingSpeak y no una propia, pero se ha conseguido mostrar los datos en el apartado 4.4.4

Utilizar buenas prácticas de ingeniería del software para el desarrollo del sistema.	100%	Completado en el apartado 5.1
---	------	-------------------------------

Tabla 6.1. Análisis de los objetivos.

6.2 Trabajos futuros.

Aunque el objetivo principal del proyecto se ha alcanzado, siempre se puede mejorar o añadir nuevas funcionalidades para mejorar el sistema completo de DIPOMAC.

Un posible trabajo futuro es mejorar el dispositivo al utilizar otros componentes, ya sean gateways o dispositivos para Arduino, más robustos y con mejores prestaciones de los que dispone ahora para una mejor conexión en la red LoRa, permitiendo más distancia incluso en kilómetros.

También es interesante usar el JSON que nos ofrece ThingSpeak de cada canal para mostrar los datos en una página web, en una aplicación a través de un bot que lee automáticamente estos datos o simplemente para realizar tratamiento de datos y así mejorar las gráficas que se han mostrado, haciendo que sean visualmente más atractivas e intuitivas para un usuario cualquiera o para mostrar mucha más información.

También se puede añadir como futuro trabajo el uso de más placas Arduino dentro de la red, incluso de cualquier modelo, para captar datos de otro lugar o usar más sensores de cualquier tipo, para capturar una mayor variedad de agentes contaminantes en el aire o simplemente para capturar cualquier parámetro deseado.

Bibliografía:

[OMS20] OMS. Organización Mundial de la Salud, en
[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (Consultado: Agosto de 2020)

[OMSDir20] OMS. Directrices de la calidad del aire (2005), en
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf (Consultado: Agosto de 2020)

[JdA20] Índice de calidad del aire para estaciones representativas. Junta de Andalucía, en:
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/indicadores/2013/CA02_2013.pdf (Consultado: Agosto de 2020)

[EUEn20] Environment Directorate General of the European Commission. European Environment Agency, en:
<https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm> (Consultado: Agosto de 2020)

[RealDec20] Real Decreto 102/2011. Gobierno de España, en:
https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/RD%20102-2011_tcm30-187912.pdf (Consultado: Agosto de 2020)

[Ley3420] LEY 34/2007. Gobierno de España, en:
https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ley34_2007calidad%20proteccion%20atmosfera_tcm30-187907.pdf (Consultado: Agosto de 2020)

[CritES20] Criterios de evaluación de la calidad del aire. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España, en:
https://www.miteco.gob.es/images/es/Cap3_Criterios%20evaluacion_tcm30-186479.pdf (Consultado: Agosto de 2020)

[AGr20] Calidad del aire. Ayuntamiento de Granada, en:
<https://www.granada.org/inet/calidadaire.nsf> (Consultado: Agosto de 2020)

[JdAlnf20] Informes diarios. Junta de Andalucía, en
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=7e612e07c3dc4010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnthirddoid=b31fb19c7acf2010VgnVCM1000001625e50aRCRD>
(Consultado: Agosto 2020)

[JdAGra20] Tabla calidad del aire Granada, Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, en:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/atmosfera/informes_siva/ag20/gr200816.htm (Consultado: Agosto 2020)

[Pan20] ¿Qué es LPWAN? PandoraFMS, Alexander La Rosa, en:
<https://pandorafms.com/blog/es/que-es-lpwan/> (Consultado: Mayo de 2020)

[DifBet20] Sagar Khillar. Difference Between, en:
<http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-lan-wan-and-man/> (Consultado: Mayo de 2020)

[Sigfox20] Sigfox España. Sigfox, en: <https://www.sigfox.es/%C2%BFque-es-iot>
(Consultado: Mayo de 2020)

[Acc20] Accent Systems, en: <https://accent-systems.com/es/item/>
(Consultado: Mayo de 2020)

[Das7A20] Dash7 Alliance, en: <https://dash7-alliance.org/try-it/>
(Consultado: Mayo de 2020)

[MSe20] MySensors. Sensnology AB, en: <https://www.mysensors.org/>
(Consultado: Mayo de 2020)

[GSMA20] Extended Coverage – GSM – Internet of Things (EC-GSM-IoT). GSM Association, en: <https://www.gsma.com/iot/extended-coverage-gsm-internet-of-things-ec-gsm-iot/> (Consultado: Mayo de 2020)

Bibliografía

- [Wei20] Weightless. Weightless SIG, en: <http://www.weightless.org/about/what-is-weightless> (Consultado: Mayo de 2020)
- [MQTT20] MQTT, en: <https://mqtt.org/> (Consultado: Noviembre de 2020)
- [ReadDocs20] Eric B. ReadTheDocs, en: <https://lora.readthedocs.io/en/latest/> (Consultado: Agosto de 2020)
- [Digi20] Desarrollar con LoRa para aplicaciones IoT de baja tasa y largo alcance. Digi-Key Electronics, en: <https://www.digikey.es/es/articles/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications> (Consultado: Agosto de 2020)
- [Sem20] What are LoRa and LoRaWAN? Semtech, en: <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/> (Consultado: Agosto de 2020)
- [LoRaAlli20] LoRaWAN Regional Parameters. LoRa Alliance, Inc., en: https://lorawan.org/sites/default/files/2019-11/rp_2-1.0.0_final_release.pdf (Consultado: Agosto de 2020)
- [TS20] Things Speak. The MathWorks, Inc., en: <https://thingspeak.com/> (Consultado: Noviembre de 2020)
- [TTN20] The Things Network. The Things Industrie, en: <https://www.thethingsnetwork.org/> (Consultado: Noviembre de 2020)
- [LowPw20] Moteino USB. Low Power Lab, en: <https://lowpowerlab.com/shop/product/100> (Consultado: Junio de 2020)
- [Pycom20] Lopy4. Pycom, en: <https://pycom.io/product/lopy4/> (Consultado: Junio de 2020)
- [MKR20] Arduino MKR WAN. Arduino., en: <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wan-1300-lora-connectivity-1414> (Consultado: Junio de 2020)
- [DragS20] LoRa shield. Dragino, en: https://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora_Shield (Consultado: Junio de 2020)

[GrovL20] Grove LoRa. Seeed Technology, en:
<https://www.seeedstudio.com/Grove-LoRa-Radio-868MHz.html> (Consultado: Junio de 2020)

[Sem20] LoRa transceivers. Semtech, en:
<https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1276> (Consultado: Junio de 2020)

[ProyArd20] Sensores de temperatura. Proyecto Arduino, en:
<https://proyectoarduino.com/sensor-de-temperatura/> (Consultado: Mayo de 2020)

[Luis20] Detector gas MQ. Luis Llamas, en:
<https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/> (Consultado: Mayo de 2020)

[SeeedGrov20] Grove system. Seeed Technology, en:
https://wiki.seeedstudio.com/Grove_System/ (Consultado: Mayo de 2020)

[GroBME20] Grove BME280. Seeed Technology, en:
https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Barometer_Sensor-BME280/ (Consultado: Agosto de 2020)

[GroVOC20] Grove VOC and eCO2. Seeed Technology, en:
https://wiki.seeedstudio.com/Grove-VOC_and_eCO2_Gas_Sensor-SGP30/ (Consultado: Agosto de 2020)

[GroGas20] Grove Multichannel Gas Sensor. Seeed Technology, en:
https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Multichannel_Gas_Sensor/ (Consultado: Agosto de 2020)

[ArdUno20] Arduino Uno Rev3. Arduino, en:
<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (Consultado: Noviembre de 2020)

[GrovS20] Grove Base Shield V2.0 for Arduino, Seeed Technology Co., Ltd, en:
<https://www.seeedstudio.com/Base-Shield-V2.html> (Consultado: Noviembre de 2020)

[DraLG0120] LG01-N. Dragino Technology Co., LTD., en:
<https://www.dragino.com/products/lora/item/143-lg01n.html> (Consultado: Noviembre de 2020)

Bibliografía

[TSLim20] ThingSpeak Standard License. The MathWorks, Inc., en:
https://thingspeak.com/prices/thingspeak_standard (Consultado: Noviembre de 2020)

[CodMAT20] Centro de ayuda MATLAB. The MathWorks, Inc., en:
<https://es.mathworks.com/help/matlab/index.html> (Consultado: Noviembre de 2020)

[SCRUM20] The Scrum Guide. ScrumGuides, en:
<https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html> (Consultado: Noviembre de 2020)

[Tortoise20] TortoiseSVN. The TortoiseSVN team, en: <https://tortoisessvn.net/> (Consultado: Noviembre de 2020)

[Fritz20] Fritzing, en: <https://fritzing.org/> (Consultado: Noviembre de 2020)

[Red20] Redmine. Jean-Philippe Lang, en: <https://www.redmine.org/> (Consultado: Noviembre de 2020)