



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

Diseño, desarrollo y fabricación de un medidor de
CO₂ de bajo coste con Wi-Fi

English title:

Design, development and manufacture of a low
cost CO₂ meter with Wi-Fi

Autor

Sergio Ruiz Portolés

Directores

Pedro Abad Martín
Juan Antonio Tejero Gómez

Titulación del autor

Ingeniería Mecánica

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA (EINA)

Año 2021

Agradecimientos

En primer lugar, antes de entrar en materia, quería dedicar un pequeño espacio y mostrar mi agradecimiento a todas las personas que me han ayudado a llegar hasta aquí. Primero, quería dar las gracias a mi familia y a mis amigos por haberme estado apoyado en todos los momentos por los que he pasado durante estos años. También mencionar a mis compañeros de clase y gente que he ido conociendo durante este tiempo, por haber hecho de este tiempo una experiencia muy importante para mí, no solo en los aspectos académicos sino también en los aspectos personales. También agradeceré a todos los profesores con los que he coincidido por su labor y su compromiso. Y por supuesto a Pedro y Juan Antonio, director y codirector de este proyecto, por su ayuda durante el desarrollo del presente proyecto.

Resumen

Antes de comenzar con el desarrollo en profundidad de la memoria, se va a realizar un resumen inicial en el que se va a explicar sobre que trata el presente TFG. Este TFG trata sobre el diseño, el desarrollo y la fabricación de un producto final como es nuestro medidor de CO₂. La realización de este proyecto surge como consecuencia de los momentos que se están viviendo en la actualidad y para poder hacer frente a los problemas que se tienen en multitud de lugares frecuentados por mucha gente. Por estos motivos, se va a desarrollar un medidor de CO₂ que sea capaz de medir la cantidad de CO₂ que hay en una sala en la que se encuentre y este sea capaz de mostrar los datos a toda persona que acceda a esta.

En una primera fase, se va a realizar una investigación sobre proyectos similares, sobre medidores de CO₂ ya fabricados, por marcas reconocidas en estos temas, sobre los diferentes sensores de CO₂, que puede tener un medidor, y sobre aspectos relacionados con la impresión 3D, con la que se realizará una carcasa para nuestro producto.

Y en una segunda fase, se van a desarrollar todos los aspectos a los que ha habido que ir haciendo frente a medida que se iba avanzando en el desarrollo del producto. Los aspectos a los que se les ha tenido que ir haciendo frente son: conseguir todos los componentes para poder llevar a cabo este proyecto, conseguir desarrollar un código para que el producto realice las tareas que se le piden de forma correcta, desarrollar un modelo 3D para proteger todos los componentes que tiene nuestro producto para posteriormente imprimirlo en 3D, y finalmente realizar un montaje de nuestro producto y ver que este es capaz de cumplir con todas las tareas que se le han encargado realizar. Por último, se realizará una estimación de costes para saber cuál sería el precio aproximado que tendría nuestro producto final.

Con la realización de este proyecto se desea conseguir que las personas que accedan a una sala, en la que se encuentre el medidor, tengan tranquilidad y seguridad de que es un espacio seguro y también, de que se sepa cuando es conveniente que se realice una ventilación de esta.

ÍNDICE

1. Introducción	11
1.1. Justificación	11
1.2. Objeto del proyecto	11
1.3. Alcance del proyecto	12
1.4. Metodología	12
2. Fase de investigación	13
2.1. Estudio de mercado de medidores de CO₂ de gama media y baja	13
2.2. Estudio de mercado de sensores digitales de CO₂	16
2.3. Proyectos similares	18
2.4. Impresión en 3D para la construcción de la carcasa	20
2.5. Entornos de trabajo	21
3. Fase de desarrollo del proyecto	26
3.1. Análisis funcional del producto	26
3.2. Componentes del producto	26
3.3. Desarrollo del código	29
3.4. Desarrollo del modelo 3D	30
3.5. Impresión del modelo 3D	33
3.6. Montaje del producto final	35
3.7. Estimación de costes	38
4. Conclusiones y trabajo futuro	40
4.1. Conclusiones	40
4.2. Futuras mejoras	40
5. Bibliografía	42
ANEXOS	5
Anexo I. Fichas técnicas de todos los componentes	5
I.1. Ficha técnica de la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266	5
I.2. Ficha técnica del sensor de CO₂ Keystudio CCS811	36
I.3. Ficha técnica de la pantalla OLED SSD1306	43
Anexo II. Código completo desarrollado para el producto	57

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Medidor de CO ₂ InLoveArts.....	13
Imagen 2. Medidor de CO ₂ Faraone4w.....	14
Imagen 3. Medidor de CO ₂ Netatmo.....	14
Imagen 4. Medidor de CO ₂ Dioxcare.....	15
Imagen 5. Medidor de CO ₂ Temtop M2000C.....	15
Imagen 6. Sensor de CO ₂ MQ135.....	16
Imagen 7. Sensor de CO ₂ MG 812 Minisize.....	16
Imagen 8. Sensor de CO ₂ MH-410D.....	17
Imagen 9. Sensor de CO ₂ Senseair S8 Residencial.....	17
Imagen 10. Sensor de CO ₂ Keystudio CCS811.....	18
Imagen 11. Medidor de CO ₂ del proyecto ZierzO2.....	19
Imagen 12. Placa de desarrollo NodeMCU Amica ESP 8266 (v2).....	19
Imagen 13. Pantalla OLED SSD1306.....	20
Imagen 14. Funcionamiento impresora FDM.....	21
Imagen 15. Entorno de trabajo del programa Arduino IDE.....	22
Imagen 16. Formato del envío de datos con el protocolo I2C.....	22
Imagen 17. Entorno de trabajo de Ubidots STEM.....	23
Imagen 18. Entorno de trabajo del programa Solid Edge.....	24
Imagen 19. Entorno de trabajo del programa Ultimaker Cura.....	24
Imagen 20. Impresora 3D “BQ Witbox 2”.....	25
Imagen 21. Placa de desarrollo NodeMCU ESP8266.....	27
Imagen 22. Sensor de CO ₂ Keystudio CCS811 y pantalla OLED SSD1306.....	28
Imagen 23. Batería externa recargable.....	28
Imagen 24. Bobina de filamento PLA.....	28
Imagen 25. Tornillos y tuercas de métrica 2 y 3 mm.....	29
Imagen 26. Código para iniciar el sensor de CO ₂	29
Imagen 27. Código para iniciar la pantalla OLED.....	29
Imagen 28. Código para conectarse al Wi-Fi y a la plataforma Ubidots.....	30
Imagen 29. Código para actualizar el valor de las variables que lee el sensor.....	30
Imagen 30. Código para actualizar el valor de los datos mostrados en la pantalla OLED.....	30
Imagen 31. Código para enviar el valor de los datos leídos a las variables de Ubidots.....	30
Imagen 32. Diseño 3D de la tapa.....	32
Imagen 33. Diseño 3D de la carcasa.....	33

Imagen 34. Vista de la tapa que muestra el proceso de impresión.....	34
Imagen 35. Vista de la carcasa que muestra el proceso de impresión.....	34
Imagen 36. Tapa del producto con la pantalla OLED fijada	36
Imagen 37. Carcasa del producto con los componentes internos fijados	36
Imagen 38. Conexiones de la placa de desarrollo con el sensor de CO₂.....	37
Imagen 39. Conexiones de la placa de desarrollo con la pantalla OLED	37
Imagen 40. Conexiones de la placa de desarrollo con el pulsador	37
Imagen 41. Producto final	38
Imagen 42. Producto final en uso	38

1. Introducción.

En este primer punto que se va a desarrollar en la memoria, se van a realizar unas breves explicaciones sobre los motivos que han hecho que se haya querido llevar a cabo este proyecto, sobre los objetivos que se desean que pueda llevar a cabo nuestro producto, sobre las tareas que va a tener el presente proyecto y sobre los métodos que se han utilizado para llevar a cabo este proyecto de una manera correcta.

1.1. Justificación.

En este primer apartado de la introducción, se va a justificar porque se ha querido llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto. La justificación para la realización de este proyecto viene porque en los tiempos actuales debido a la situación actual que hay, la demanda de los medidores de CO₂ se ha visto aumentada de una manera considerable, lo que ha provocado que sean un producto bastante buscado tanto por los propietarios de lugares que tengan acceso a diferentes usuarios, como por usuarios que lo quieran para fines domésticos. Este aumento en la demanda del producto también ha provocado que el coste de estos productos se haya visto aumentado en estos últimos tiempos.

Para dar solución al problema que se acaba de comentar y ayudar en este sector del mercado, este proyecto desarrolla una metodología para que se pueda desarrollar un medidor de CO₂ propio, con un coste económico asequible.

1.2. Objeto del proyecto.

En este punto de la introducción, se va a realizar una explicación de todos los objetivos que se quieren que lleve a cabo nuestro producto final. El objetivo principal de este proyecto es el de diseñar, desarrollar y fabricar un producto de bajo coste, pero para poder llevar a cabo este proyecto se han tenido que ir resolviendo objetivos más específicos, para así finalmente tener nuestro propio medidor de CO₂.

Los objetivos que se quieren que nuestro producto sea capaz de realizar son los que se van a explicar a continuación. Primero, se quiere realizar una correcta toma de datos gracias al sensor de CO₂, y que estos datos puedan ser mostrados en una pantalla, para saber la cantidad de CO₂ que hay en una sala. También se quiere que los datos que son leídos por el sensor se suban a una plataforma en internet, para así poder tener un registro histórico de estos valores. Después de esto, se va a realizar el diseño de una carcasa en un software de diseño 3D para así posteriormente poder realizar la impresión 3D de este modelo. El objetivo del diseño de esta carcasa es el de validar el producto para que este resista ante los golpes que pueda sufrir, que permita un correcto funcionamiento del sensor al dejar que se ventile el aire interior, y que el dispositivo tenga una forma que permita un uso fácil.

1.3. Alcance del proyecto.

Las principales tareas a las cuales llega el alcance de nuestro proyecto son las que se detallan en la lista que se va a realizar a continuación:

- Estudio de mercado de medidores de CO₂ de gama media y baja.
- Estudio de mercado de sensores de CO₂ digitales.
- Explicar el análisis funcional de nuestro producto.
- Desarrollar el código para la placa de desarrollo.
- Diseñar un modelo 3D de una carcasa.
- Impresión de la carcasa en una impresora 3D.
- Montaje de todos los componentes del producto.
- Estimación del coste del producto.
- Propuestas de mejorar diferentes partes del producto
- Conclusiones obtenidas del presente proyecto.

1.4. Metodología.

Para abordar todo el trabajo que se ha de realizar, se han desarrollado diversas fases de trabajo que se van a ejecutar en orden. Estas fases de trabajo son las siguientes que se van a definir y a explicar de forma breve en los siguientes párrafos.

Primero, se va a realizar una fase de investigación en la que se van a realizar dos estudios de mercado, uno de medidores de CO₂ y otro de sensores de CO₂ y también se van a buscar proyectos similares al que se va a realizar para así poder compararlos.

A continuación, se va a desarrollar un código en Arduino IDE, que se cargara en la placa de desarrollo para controlar la comunicación con el sensor de CO₂, la pantalla OLED y la plataforma de Internet, a la que se suban los datos.

Una vez desarrollado el código, se va a diseñar en el software Solid Edge una carcasa, que permita la correcta distribución y sujeción de los componentes en su interior y proteja a estos de las acciones externas que puedan producirse.

Una vez ya se tiene el diseño de la carcasa, esta se va a imprimir en una impresora 3D y posteriormente cuando ya se tiene la carcasa impresa se va a realizar el montaje completo de nuestro producto.

Finalmente, una vez se ha realizado todo el diseño, el desarrollo y la fabricación de nuestro producto se va a realizar una estimación de cuál sería el precio que tendría nuestro producto final, por si algún interesado lo quisiera adquirir.

2. Fase de investigación.

A continuación, en los siguientes apartados se va a explicar toda la información que se ha ido buscando sobre los diferentes temas a los que se han tenido que ir haciendo frente, a medida que se iba avanzando en el desarrollo del medidor de CO₂, para así poder tener un correcto funcionamiento y uso de nuestro producto.

2.1. Estudio de mercado de medidores de CO₂ de gama media y baja.

En este primer apartado de la fase de investigación, se va a realizar un estudio de mercado de los medidores de CO₂ de gama media y baja que hay en el mercado actualmente, para saber cuáles son las diferentes características y el precio que tienen cada uno de ellos, para así poder hacer una comparación posteriormente de las prestaciones que ofrecen y económicamente de cada uno de estos respecto a nuestro producto. Para realizar el estudio de mercado se han seleccionado cinco medidores de CO₂ de los que se van a detallar ahora todas sus características y el precio de cada uno de ellos en la misma tienda.

El primer medidor de CO₂ del que se va a hablar, va a ser el medidor de la marca InLoveArts, es el medidor de CO₂ más económico que se puede encontrar en el mercado y que ofrece un funcionamiento simple e intuitivo. Este medidor tiene batería recargable de 1000 mAh que posee una autonomía de 4 a 6 horas, es de dimensiones pequeñas y es capaz de detectar el CO₂, los compuestos orgánicos volátiles totales (a partir de ahora se les llamara a estos como TVOC), el gas formaldehído (a partir de ahora se le llamara a este gas como HCHO) y las materias particuladas con un tamaño inferior tanto de 2.5 micras (a partir de ahora se les llamara a estas partículas PM2.5) como de 10 micras (a partir de ahora se les llamara a estas partículas PM10). El medidor de InLoveArts tiene un precio de 54 € y está homologado por el mercado CE. Este producto tiene algunos extras como son un indicador luminoso, que dice si la lectura del aire es segura o por el contrario hay que realizar alguna acción, y que dispone de una alarma sonora que avisa cuando los datos recibidos no son valores recomendados.



Imagen 1. Medidor de CO₂ InLoveArts.

El segundo medidor de CO₂ que se va a analizar es el modelo Faraone4w que es el modelo que mejor facilidad de uso tiene y tiene un diseño simple y compacto. Este modelo de medidor también tiene batería recargable, es capaz de detectar el CO₂ en un rango que va desde las 400 a las 5000 ppm, la temperatura y la humedad relativa que hay en el ambiente y al ser un medidor efectivo y fácil de usar hace que sea ideal para usuarios que no quieren complicaciones, sino que solo desean tener información. El precio del medidor de CO₂ Faraone4w es de 54 € y está homologado por el mercado CE. Este medidor tiene el extra de que cuenta con un indicador en escala de colores que muestra el nivel de la calidad del aire: verde, bueno; amarillo, medio y rojo, malo.



Imagen 2. Medidor de CO₂ Faraone4w.

El tercer medidor de CO₂ del que se van a comentar sus características es de la marca Netatmo y es el mejor medidor de CO₂ en este nivel de gama, que tiene conexión a smartphones, solo precisa de una red Wi-Fi para poder enviar los datos o notificaciones al smartphone que se desee. Este modelo de medidor a diferencia de los otros dos que ya se han comentado no dispone de batería, respecto al tema de que es capaz de detectar, este medidor detecta el CO₂, la temperatura, la humedad relativa y la calidad del aire y decir que además de tener un diseño elegante el hecho de tener cuatro sensores de precisión para el ruido, la temperatura, la humedad y la calidad de aire hace que sea un dispositivo perfecto para controlar el ambiente que hay en el hogar. El precio de este medidor de CO₂ de la marca Netatmo es de 102 € y está homologado por el mercado CE. Este producto tiene como extra que tiene un sistema de alarma para el control del aire.



Imagen 3. Medidor de CO₂ Netatmo.

A continuación, se va a realizar el análisis del cuarto modelo de medidor de CO₂ del que se va a realizar un estudio de mercado, este es de la marca Dioxcare y es el medidor de CO₂ más preciso y fiable que hay en nuestro rango de gama, este sensor esta recomendado tanto para su uso en lugares públicos como para usos domésticos. En este

modelo al igual que en los dos primeros se dispone de batería recargable de 3000 mAh que tiene una duración entre 4 y 6 horas, con este modelo se detecta el nivel de CO₂ en un rango de valores entre 0 y 10000 ppm, la temperatura y la humedad relativa que hay, incluye un cómodo soporte de sobremesa para su uso y tiene la función de exportar los datos históricos que se han ido registrando, en formato PDF, para que se puedan analizar cómodamente. Este modelo de medidor de CO₂ tiene un valor económico de 149 € y también está homologado por el mercado CE, como los anteriores. Este medidor tiene como extra que posee una alarma sonora, que se activará cuando se detecte un valor más alto de lo recomendado.



Imagen 4. Medidor de CO₂ Dioxcare.

El quinto y último medidor de CO₂ del que se va a hablar en el estudio de mercado es el modelo Temtop M2000C, este modelo es un medidor fiable, bastante completo y fácil de transportar, lo que hace que sea un medidor de CO₂ muy bueno para hostelería, colegios y centros de trabajo. Este medidor de CO₂ dispone de batería recargable de 3000 mAh que proporciona una autonomía entre 4 y 6 horas al medidor, su funcionamiento es muy fácil, aunque hay que tener en cuenta que tarda 5 minutos en autocalibrarse cuando se enciende y se puede medir el CO₂, el HCHO, el PM2.5, el PM10, la temperatura y la humedad relativa. Este modelo Temtop M2000C tiene un precio de 190 € y como todos los anteriores está homologado por el mercado CE. Este sensor tiene algunos extras como son que tiene un rango de colores que te dice si los valores medidos son buenos, regulares o malos y además posee una alarma sonora que salta cuando el valor medido es malo.



Imagen 5. Medidor de CO₂ Temtop M2000C.

2.2. Estudio de mercado de sensores digitales de CO₂.

En el segundo apartado de la fase de investigación, se va a realizar un estudio de mercado de algunos de los sensores digitales de CO₂ que hay en el mercado actualmente para estudiar las características de cada uno de ellos y el precio que tiene cada uno, para así poder hacer una comparación de todos los sensores digitales de CO₂ que se van a analizar, y así poder elegir el sensor de CO₂ que más se ajuste a nuestras necesidades en la fabricación del producto que se está realizando. A continuación, se va a realizar una explicación de las características que tiene cada sensor digital de CO₂ y el precio que tiene cada uno de ellos, para finalmente explicar cuál es el sensor que se va a elegir para desarrollar nuestro producto.

El primer sensor de CO₂ del que se va a hablar, es el modelo MQ135, este sensor además de detectar la presencia del CO₂ también lo hace de otros gases como son el amoníaco, el benceno y el alcohol, el rango de detección de partículas es entre 10 y 1000 partes por millón (a partir de ahora se les nombrara a las partes por millón como ppm) y para que el sensor empiece a ofrecer valores de mediciones correctos necesita un tiempo de precalentamiento de 20 segundos. La señal de la salida digital de este sensor es TTL y tiene un consumo de energía de 150 mA. Este sensor de CO₂ tiene un precio aproximado de 5 €.



Imagen 6. Sensor de CO₂ MQ135.

El segundo sensor de CO₂ que se va a comentar es el modelo MG 812 Minisize, este modelo de sensor detecta solamente la presencia del CO₂ en un rango de valores que se comprende entre 350 y 10000 ppm de CO₂. Este sensor a diferencia del otro no necesita un tiempo de precalentamiento para que los valores que ofrece sean correctos. El consumo de energía que tiene este sensor es de 90 mA y la señal de salida digital de este sensor es UART. Este sensor de CO₂ tiene un precio aproximado de 15 €.



Imagen 7. Sensor de CO₂ MG812 Minisize.

Este tercer sensor que se va a analizar en este estudio de mercado es el modelo MH-410D, este modelo al igual que el anterior solo detecta la presencia del CO₂, pero en este caso tiene un rango de valores medibles que se sitúa entre 0 y 6000 ppm de CO₂. La señal digital de salida de este sensor al igual que en el sensor anterior es de tipo UART y tiene un consumo de energía de 85 mA. Este sensor al igual que el primero tiene un tiempo de precalentamiento, para que los valores que ofrece sean correctos, que en este caso es de 3 minutos. Este sensor de CO₂ tiene un precio aproximado de 100 €.



Imagen 8. Sensor de CO₂ MH-410D.

El cuarto modelo de sensor de CO₂ del que se va a hablar, es el Senseair S8 Residential, este modelo de sensor al igual que los dos anteriores solo detecta la presencia del CO₂ y este modelo de Senseair S8 Residential tiene un rango de valores medibles que va desde 400 hasta 2000 ppm de CO₂. El consumo de energía que tiene este sensor es de 90 mA y tiene una salida de señal digital tipo UART. Este sensor precisa como el anterior de un tiempo de precalentamiento, para poder ofrecer valores de lectura correctos, que es de 2 minutos. Este sensor de CO₂ tiene un precio aproximado de 25 €.



Imagen 9. Sensor de CO₂ Senseair S8 Residential.

Este quinto y último sensor de CO₂ que se va a comparar, es el modelo Keystudio CCS811, este modelo de sensor además de medir la presencia del CO₂ también lo hace de los TVOC, en este caso el sensor tiene un rango de valores medibles para el CO₂ entre 400 y 29000 ppm y para los TVOC entre 0 y 32000 ppb, para los TVOC se miden las partes por billón. El consumo de energía que tiene este sensor es de 30 mA y la salida de señal digital que tiene es del tipo I2C. Este modelo de sensor al igual que tres de los anteriores necesita un tiempo de precalentamiento hasta que ofrece una lectura de los valores correctos, que en este caso es de un tiempo de hasta 20 minutos. Este sensor de CO₂ tiene un precio aproximado de 10 €.



Imagen 10. Sensor de CO₂ Keystudio CCS811.

Una vez ya se ha hecho la explicación de las características de los sensores de CO₂ de los que se ha realizado el estudio de mercado vamos a explicar cuál de los cinco se va a elegir para la realización de nuestro proyecto.

Para nuestro proyecto se ha elegido finalmente el sensor digital de CO₂ Keystudio CCS811 por ser el que mejor cumplía todas las necesidades que se querían tener, que son un rango de medición entre 400 y 4000 ppm, un precio muy asequible como lo son los 10 € que cuesta, por el protocolo de comunicación que tiene que es I2C y que tuviera los pines con una buena disposición para el montaje del producto final que se está desarrollando. A continuación, se van a explicar los motivos por los que se han rechazado algunos de estos sensores de CO₂. En primer lugar, los sensores MQ135 y Senseair S8 Residential se han descartado porque no cumplían el rango de valores de ppm que se necesita abarcar para una correcta información, en segundo lugar, el MH-410D se ha descartado por su elevado precio de 100 €, y finalmente el MG812 Minisize se ha descartado por los problemas que nos podían dar los pines en el montaje y por no tener muy claro cuál es cada pin, pudiendo así dañar el sensor de CO₂ si se realizara un mal montaje del sensor en nuestro producto.

2.3. Proyectos similares.

En este apartado de la fase de investigación se va a hablar sobre algún proyecto similar que se ha encontrado y del que se ha sacado información sobre cuáles son los pasos que hay que seguir para poder llevar a cabo un buen desarrollo del proyecto.

Primero, se va a comentar un proyecto, llamado ZierzO2, que ha sido desarrollado por dos ingenieros aragoneses con el objetivo de poner a disposición de todos, de manera muy sencilla y mediante un divertido e instructivo montaje y programación, un medidor de CO₂ para poder ser usado tanto en viviendas como en lugares públicos. Este proyecto es bastante similar al que se está realizando porque trabaja la programación con Arduino, después se diseña una carcasa mediante impresión 3D para proteger los elementos y hacer que el producto sea más fácil de usar y respecto al tema económico porque se quiere tener un medidor de CO₂ a un precio razonablemente bajo como es en este caso, que en el caso de querer tener todos los extras que se ofrecen su precio es de 70 €.



Imagen 11. Medidor de CO₂ del proyecto ZierzO2.

También se han mirado en algunas páginas web proyectos de este tipo que han realizado otras personas, para ver las experiencias que han tenido, los problemas que se han ido encontrado y como los han ido solucionando y cuáles han sido los materiales que han utilizado cada uno de ellos y el porqué de esa decisión, para así poder tener un punto de partida, una base de conocimientos y una información con la que ir contrastando a medida que se va desarrollando el producto de nuestro proyecto. Los proyectos que se han mirado en otras páginas son los que se van a comentar el título a continuación, y los enlaces para acceder a las páginas en las que se encuentran estos proyectos se pueden encontrar en la bibliografía del final, estos proyectos son: un medidor de CO₂ casero con Wi-Fi contra el coronavirus de “eMariete” (ref.[10]), medidor de CO₂ casero con Arduino de “Asyoni Elektronik” (ref.[11]), y medidor de CO₂ con Arduino de “Eduardo Santos” (ref.[12]).

Cabe destacar en este punto de la investigación, que gracias a la lectura de estos proyectos se ha realizado un rápido estudio de mercado de las placas de desarrollo y se ha optado por elegir una placa de desarrollo NodeMCU ESP8266, que es la que se ha usado en la fabricación del medidor de CO₂ de “eMariete”, en lugar de una placa de desarrollo de Arduino. Además, el precio de la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266 es más económico que el que tiene una placa de desarrollo de Arduino, por poner en situación este caso una placa de desarrollo con Wi-Fi, que es la que necesitamos para la realización de nuestro producto, si es de Arduino tiene un precio cercano a los 35 €, mientras que si la placa es la NodeMCU ESP8266 su precio es de 5 €, por lo que la diferencia es bastante apreciable en cuanto al tema económico.



Imagen 12. Placa de desarrollo NodeMCU Amica ESP8266 (v2).

Finalmente, se va a comentar que al igual que se acaba de comentar respecto a la elección de la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266, que la pantalla OLED que se ha elegido para la realización de nuestro producto es la que se usa en el proyecto de “eMariete” y es bastante parecida a la que se usan en los otros dos proyectos de “Asyoni

Elektronik” y “Eduardo Santos”, pero con la diferencia de que la pantalla que usan en estos dos últimos proyectos es más baja pero más alargada. Esta pantalla OLED que se va a utilizar, es una pantalla OLED SSD1306 de 0.96 pulgadas (128 x 64 mm) y además se ha elegido también por tener los pines en una muy buena disposición, para cuando se vaya a realizar el montaje final de todas las partes de nuestro producto.



Imagen 13. Pantalla OLED SSD1306.

2.4. Impresión en 3D para la construcción de la carcasa.

En este cuarto apartado de la fase de investigación de nuestro proyecto, se va a comentar porque se ha elegido usar la impresión 3D o fabricación aditiva para generar la carcasa de nuestro proyecto. Esta carcasa va a ser la encargada de proteger a todos los componentes internos de las acciones externas, que esta pueda recibir, y su geometría va a ser la que haga que se tenga un producto con una buena facilidad de uso y que garantice una correcta operación del sensor de CO₂ de nuestro medidor.

La impresión en 3D tiene diferentes tecnologías de fabricación aditiva como son el modelado por deposición fundida (que se conoce abreviadamente como FDM), la estereolitografía (que se conoce abreviadamente como SLA) y el sinterizado laser selectivo (que se conoce abreviadamente como SLS). Para la realización de nuestro proyecto, la carcasa se va a realizar mediante la tecnología de fabricación aditiva de modelado por deposición fundida (FDM). Para llevar a cabo este proceso de fabricación, se pueden utilizar diferentes materiales como son el acrilonitrilo butadieno estireno (que se conoce abreviadamente como ABS), el ácido poliláctico (que se conoce abreviadamente como PLA) y la poliamida (que se conoce también como nylon), para la fabricación de nuestra carcasa se va a utilizar el ácido poliláctico (PLA), por ser un material con el que es más fácil imprimir respecto al ABS porque no hay que tener en cuenta tantos parámetros a la hora de configurar la impresora 3D, y además, tiene la ventaja medioambiental de que está compuesto en su mayoría por componentes naturales, lo que hace que sea un material fácil de reciclar por ser un plástico no petroquímico.

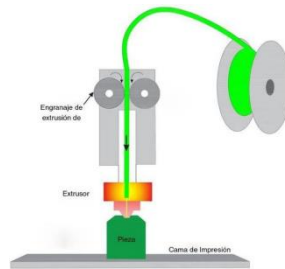


Imagen 14. Funcionamiento impresora FDM.

A continuación, se va a comentar las diferentes posibilidades que se tienen para conseguir un modelo en 3D que será el que se desea imprimir posteriormente, las diferentes posibilidades que se tienen son modelar la pieza usando un software CAD, obtener la geometría de la pieza mediante ingeniería inversa y escáneres 3D o descargar el modelo de la pieza de repositorios que hay en Internet. Para la realización de nuestra carcasa se ha optado por elegir la opción de modelar la pieza usando un software CAD, como es Solid Edge, porque se necesitaba que tuviera una dimensiones concretas en cada parte para el montaje de todos los componentes que se tienen, por lo que era bastante difícil que hubiera en algún repositorio algún pieza ya diseñada con nuestra geometría, y porque la opción de usar un escáner 3D no se podía llevar a cabo al no tener medios para realizarla, pero tampoco hubiera sido posible porque no se tiene un modelo real que se pueda escanear. Una vez se ha realizado el modelo en un software CAD se exporta el modelo a un archivo (.stl), para que este pueda ser abierto en un programa en el que se permita modificar todos los aspectos que se deseen, para poder tener los parámetros de la impresora como se necesiten, antes de comenzar con la impresión de la pieza.

Finalmente, se va a realizar una breve lista con todas las cosas que se han de realizar para llevar a cabo una buena impresión en 3D, primero se medirán todas las dimensiones necesarias, luego se obtendrá el modelo digital de nuestra pieza, tercero se exportará la pieza a un archivo (.stl), cuarto se generará el código que necesita la impresora, y finalmente se mandará el código que se ha generado para poder comenzar la impresión de la pieza en 3D.

2.5. Entornos de trabajo.

En este último apartado de la fase de investigación, se va a hablar de todos los entornos de trabajo y las herramientas más destacadas que se han ido usando, desde el comienzo hasta la finalización, para la realización de nuestro proyecto.

En primer lugar, se va a hablar sobre el software Arduino IDE (abreviatura de Entorno de Desarrollo Integrado) que es una herramienta, que proporciona Arduino, de programación de código abierto y fácil de usar para poder escribir código y subirlo a nuestra placa de desarrollo. Se ha elegido esta herramienta de programación porque además de ser de código abierto es un software multiplataforma, es decir, que puede funcionar en sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux. Además, Arduino IDE es un software fácil de usar para usuarios principiantes, pero bastante flexible para los

usuarios más avanzados. También cabe destacar, que Arduino IDE además de poder cargar el código que se haya generado en las placas de desarrollo de Arduino también permite cargar este código en otras placas de desarrollo como lo es nuestra NodeMCU ESP8266. Finalmente, hay que comentar que, al ser una herramienta de programación de código abierto, en todo el mundo, hace que se tengan multitud de códigos ya desarrollados en la nube, por otros programadores, para poder ser descargados y usados, haciendo unas mínimas adaptaciones, en la mayoría de los casos. En estos códigos que están ya desarrollados en la nube, se pueden encontrar todo tipo de proyectos que se nos puedan ocurrir y código desarrollado para todo tipo de dispositivos, sensores y piezas que se puedan conectar a la placa de desarrollo para que esta mande o reciba datos de estos.



Imagen 15. Entorno de trabajo del programa Arduino IDE.

A continuación, se va a comentar la comunicación I2C, que es la herramienta que se ha usado para poder comunicar la placa de desarrollo con el sensor de CO₂ y la pantalla OLED y que estas ejerzan las acciones deseadas por el código. La comunicación I2C es un protocolo de comunicación serial que define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre dos dispositivos digitales, el puerto para llevar a cabo esta comunicación incluye dos cables de comunicación, que son el SDA y el SCL. El protocolo de comunicación I2C, es uno de los más utilizados para comunicarse entre sensores digitales, porque su arquitectura permite tener una confirmación de los datos recibidos dentro de la misma trama de datos enviada. Para el caso de la comunicación I2C se diferencian dos elementos básicos, el maestro y el esclavo, el maestro es el que se encarga de controlar el cable de reloj (SCL) y de iniciar y detener la comunicación para enviar la información por el cable de datos (SDA), además también es el que envía o recibe la información del esclavo, y el esclavo es el que recibe o envía la información al maestro. Por último, se va a comentar los dos modos de comunicación que se pueden dar que son los siguientes: el primero es maestro – transmisor y esclavo – receptor y el segundo es maestro- receptor y esclavo – transmisor.

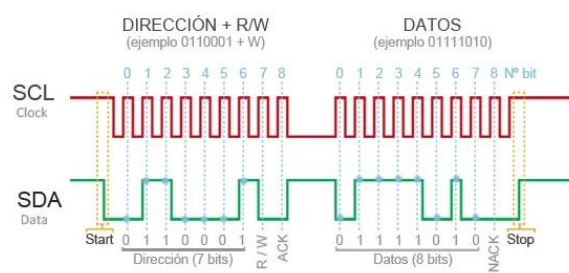


Imagen 16. Formato del envío de datos con el protocolo I2C.

En el párrafo que se va a desarrollar a continuación, se va a explicar la plataforma que se va a usar para almacenar datos en Internet y para mostrar gráficamente, tanto los últimos valores que se han medido por el sensor como los valores históricos que se han ido registrando a lo largo del tiempo. La plataforma que se va a usar para tener un registro de datos históricos es Ubidots STEM, se ha optado por usar esta plataforma porque es una plataforma que ha desarrollado Ubidots, plataforma muy avanzada en el tema del Internet de las Cosas (IoT, "Internet of Things"). Esta plataforma se ha elegido por ser de uso libre para la gente que realiza pequeños proyectos, y porque se ha desarrollado para que muchos estudiantes o investigadores prueben y aprendan sobre el tema del Internet de las cosas. Esta plataforma tiene diferentes ventajas como son que posee una interfaz muy fácil de aprender, para poder colocar diferentes dispositivos para ver los datos que se van subiendo, y que, al ser una plataforma libre, se tengan una gran cantidad de librerías y de tutoriales para poder realizar multitud de tareas. La única desventaja que se tiene con la plataforma de Ubidots, es que los datos que se pueden enviar a la plataforma están limitados en 5000 datos diarios, para cada dispositivo que se tenga en la plataforma, por lo que hay que tener cuidado para mandar actualización de los datos y no mandar estos de forma muy continua.

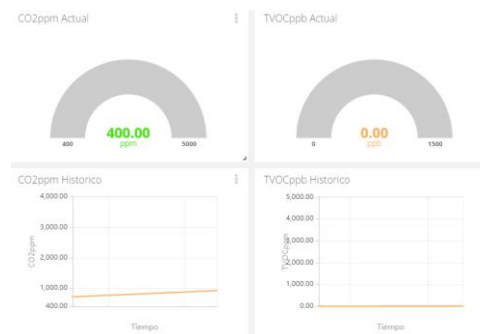


Imagen 17. Entorno de trabajo de Ubidots STEM.

A continuación, se va a explicar el software de diseño del producto que se ha elegido para realizar el diseño de nuestro modelo en 3D. El software con el que se va a trabajar para realizar el diseño de nuestro modelo 3D es Solid Edge, se ha elegido este software porque cuando se fue a realizar el modelo con los softwares de AutoCAD y Solid Works con los que se había trabajado en la titulación se tenían diferentes problemas. Primero con AutoCAD se probó a hacer el diseño, pero cuando se tenía el modelo y se quería exportar al formato (.stl) se tenían problemas y luego se probó a realizar el diseño con Solid Works, pero en este caso la licencia estaba caducada y no se pudo conseguir una, por lo que no se pudo usar este programa para hacer el modelo en 3D. En lugar de usar el software de Solid Edge del que se pudo conseguir una licencia, se podrían usar otros softwares de diseño que fueran libres, pero se optó por usar Solid Edge ya que es un programa bastante parecido a Solid Works y así se tenían unos conocimientos previos, cosa que no ocurriría en el caso de usar un software de diseño libre. Del software de Solid Edge cabe destacar, que es un software fácil de usar y que abarca todos los aspectos del proceso de desarrollo de productos, también destaca por utilizar tecnología síncrona para ayudar a acelerar el diseño de los productos y porque es un software que tiene bastantes herramientas para realizar un buen diseño que posteriormente se quiera imprimir en 3D.

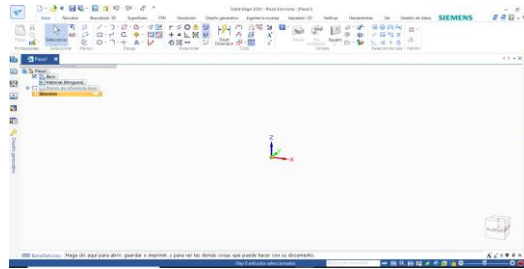


Imagen 18. Entorno de trabajo del programa Solid Edge.

En este párrafo, se va a explicar el programa Ultimaker Cura, que es un software libre utilizado para laminar los modelos 3D para su posterior impresión, el uso de este programa es imprescindible para llevar a cabo la impresión, porque es necesario que pase el modelo 3D que se ha creado por un proceso de laminado (slicing). El software Ultimaker Cura se encarga de abrir el archivo (.stl), en el que se ha exportado el diseño del modelo en 3D creado, y procede a dividirlo en varias partes, dándoles formas de láminas. De esta manera las trabaja y luego las convierte en código máquina (G-Code), que permite que la impresora entienda las instrucciones e imprima el modelo en 3D. Este software de laminado es uno de los más utilizados por los especialistas en la impresión 3D, por su código abierto y lo intuitivo que resulta. Además, este software tiene numerosas ventajas como: ser compatible con numerosas impresoras 3D y con un gran número de sistemas operativos, permite modificar el tamaño y la posición del modelo, realiza el laminado en un tiempo reducido y permite realizar configuraciones en la impresión según lo necesitado. Finalmente, hay que comentar que para obtener una impresión optimizada y de mayor calidad es necesario configurar el software, se debe tener en cuenta la altura y la velocidad de las capas, siendo recomendable que estas sean delgadas y se realicen a baja velocidad para obtener mejores resultados.

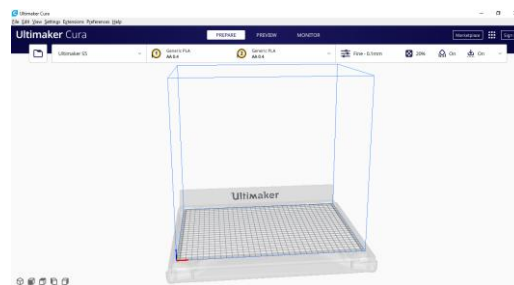


Imagen 19. Entorno de trabajo del programa Ultimaker Cura.

Por último, en este punto de la memoria se van a comentar las principales propiedades que tiene la impresora 3D que se ha utilizado para la impresión de la carcasa, la impresora 3D que se ha utilizado es la BQ Witbox 2. La Witbox 2 es una impresora 3D que parte de un producto excelente como es la primera edición de Witbox, una de las mejores impresoras a nivel mundial, y en el que se ha trabajado para hacer la impresora más segura, práctica y cómoda. Esta impresora es perfecta para trabajar en entornos domésticos, educativos y profesionales con unos resultados extraordinarios y está completamente lista para su uso cuando se adquiere. Las especificaciones que tiene esta impresora son una velocidad de impresión máxima de hasta 200 mm/s, una resolución de hasta 20 micras y las dimensiones del volumen de impresión son de 297 mm en el eje

“x”, 210 mm en el eje “y” y 200 mm en el eje “z”. Más especificaciones de esta impresora son que para la impresión se pueden usar diferentes filamentos de materiales, siempre que sean de 1.75 mm, como son el PLA, madera, bronce, cobre y filafex y la comunicación con esta impresora se puede realizar mediante una tarjeta SD estándar o con un USB de tipo B. Por último, se van a destacar tres características de la impresora que resultan bastante importantes como son que tiene un nuevo sensor de máxima precisión que hace que el extrusor trabaje siempre a una distancia correcta para obtener un resultado final perfecto, también incluye un nuevo sistema de autonivelado para que no se tenga que ajustar la base manualmente lo que hace que la impresión resulte más fácil que nunca y esta impresora tiene tanto el firmware como el hardware de código abierto al 100% para que se pueda compartir, mejorar y evolucionar de mejor manera la Witbox 2.

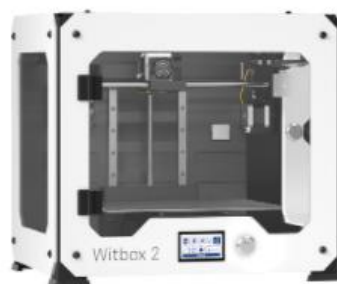


Imagen 20. Impresora 3D “BQ Witbox 2”.

3. Fase de desarrollo del producto.

En los siguientes apartados que se van a redactar, se van a explicar todas las tareas que se han realizado en cada una de las fases de trabajo que se van a explicar a continuación para poder seguir como ha sido todo el proceso de trabajo para así poder realizarlo siguiendo este orden y poder obtener el producto final que se ha diseñado, teniendo un correcto funcionamiento y un montaje fácil del producto.

3.1. Análisis funcional del producto.

En este primer apartado se van a comentar todas las tareas que va a tener que realizar nuestro producto para que tenga un funcionamiento correcto y cuando se van a tener que llevar a cabo estas tareas. Todas las tareas que tiene que realizar nuestro producto se van a explicar, siguiendo el orden en el que se van desarrollando una vez que se procede a encender nuestro medidor de CO₂, el encendido de nuestro producto se produce cuando se conecta la placa de desarrollo mediante un cable micro USB a una fuente de alimentación, que puede ser tanto una salida USB del ordenador, un cargador de 5V conectado a un enchufe o una batería externa portátil.

Una vez se conecta nuestro producto a una fuente de alimentación el producto puede comenzar a funcionar, cuando se recibe energía en la placa de desarrollo esta comienza a realizar todas las tareas que tiene detalladas que debe realizar en el código programado en ella, en nuestro producto lo primero que se va a realizar es proceder a conectarse a la red Wi-Fi que se le haya puesto en el código y también se va a iniciar el sensor de CO₂ desde el inicio para que se vaya precalentando, porque necesita un tiempo de 15 minutos aproximadamente para que los valores que mide sean valores más precisos, estos 15 minutos de precalentamiento se tienen que realizar en un entorno abierto para conseguir una buena calibración del sensor.

Cuando ya ha finalizado este tiempo de precalentamiento de 15 minutos, el producto está listo para ser usado y tener un buen funcionamiento. El funcionamiento que se desea conseguir de este producto es el de poder medir los datos de CO₂ que hay en ese momento en el lugar que nos encontremos y mostrar los datos en la pantalla OLED, si se solicita presionado el botón y además subir los datos a una plataforma de internet para tener un registro histórico de todos los datos que se hayan leído por el sensor.

3.2. Componentes del producto.

En este punto del desarrollo del producto, se va a hablar sobre todos los componentes que se han adquirido y que se necesitan, tanto para el interior como para el exterior de nuestro medidor, para poder tener nuestro producto final listo y que este pueda tener un correcto funcionamiento siempre que el usuario lo desee. Además, de la breve introducción que se va a realizar sobre cada uno de los componentes que se han

adquirido para poder llevar a cabo el desarrollo de nuestro producto, se va a escribir en el Anexo I todas las fichas técnicas de los componentes que se han usado.

El primer producto que se ha adquirido es la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266, que va a ser la encargada de hacer que se produzcan todas las tareas que va a tener que realizar nuestro producto. Esta placa de desarrollo es totalmente libre, tanto a nivel de software como a nivel de hardware. NodeMCU no es un microcontrolador, es una placa de desarrollo que tiene incorporado un chip que tiene un microcontrolador. La placa NodeMCU está dispuesta para facilitar la programación de un microcontrolador. La mayor ventaja que tiene la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266 es que incorpora un módulo Wi-Fi, que permite crear proyectos con plataformas a internet o sistemas inalámbricos. El objetivo que tienen las placas de desarrollo es el de facilitar el prototipado y el desarrollo de proyectos con microcontroladores. NodeMCU es uno de ellos y sus características principales son: un convertor serie – USB para poder programar y alimentar a través del USB, tiene un fácil acceso a los pines, tiene pines de alimentación para todos los componentes y dispone de un LED para poder indicar su estado y un botón de reset para poder volver a empezar el programa de nuevo.



Imagen 21. Placa de desarrollo NodeMCU ESP8266.

Tras la compra de la placa de desarrollo, se han comprado el sensor de CO₂ y la pantalla OLED, el sensor va a ser el encargado de medir la cantidad de CO₂ que hay en todo momento en el que se encuentre en uso nuestro producto, y la pantalla OLED va a ser la encargada de mostrar el valor de las mediciones que realice el sensor cada vez que se le pida. A continuación, se van a explicar las propiedades de la pantalla OLED, porque las del sensor de CO₂ ya se conocen, al haber realizado previamente un estudio de mercado sobre sensores de CO₂ en el que estaba incluido este sensor. Las pantallas OLED están compuestas por láminas de materiales orgánicos y estas emiten luz cuando se les aplica electricidad entre ellos. La principal ventaja de las pantallas OLED respecto a las LCD es que no requieren una luz de fondo, esto hace que las pantallas OLED sean más eficientes en términos de energía, más fáciles de fabricar y mucho más finas. La pantalla OLED SSD 1306 de 0'96" tiene un consumo de 0'08 W, cuando están encendidos todos los píxeles de la pantalla, y esta usa un lenguaje de comunicación I2C. Esta pantalla OLED puede trabajar con 3 – 5 V, sin necesidad de convertidores al tener un regulador de voltaje en la placa y tiene una buena conexión con los microcontroladores por poder conectar la interfaz I2C a través de solo cuatro pines.

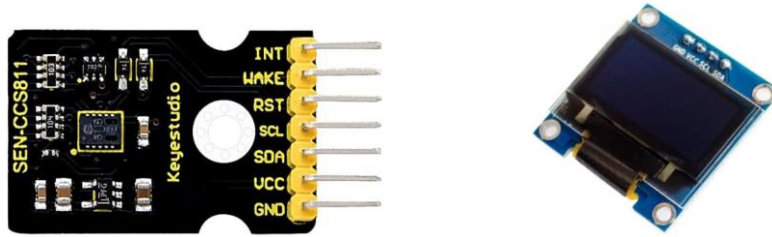


Imagen 22. Sensor de CO₂ Keystudio CCS811 y pantalla OLED SSD1306.

También se ha comprado un pulsador para nuestro medidor, para poder encender y apagar la pantalla de nuestro producto, solamente cuando se deseen ver los datos medidos y así tener un ahorro energético.

También se ha adquirido una batería externa para poder transportar el dispositivo y así poder tomar mediciones en diferentes lugares o poder buscarle una mejor ubicación sin la necesidad de utilizar mucho cableado, si en la zona que se desea colocar no hay ningún enchufe cerca. La batería externa recargable que se ha adquirido es la NGS Powerpump 2200, que tiene una capacidad de 2200 mAh, una entrada de 5 V y 500 mA y una salida de 5 V y 1 A.



Imagen 23. Batería externa recargable.

Para la realización de la impresión 3D, se ha comprado una bobina de filamento PLA de un kilogramo de peso y de un diámetro del filamento de 1,75 mm, que se usará en la impresora 3D para imprimir tanto la carcasa como la tapa de nuestro producto.



Imagen 24. Bobina de filamento PLA.

También se han adquirido tornillos y tuercas de métricas de 2 y 3 mm, para poder llevar a cabo la fijación de todos los componentes de nuestro producto, que se han adquirido, que así lo requieran y para poder fijar a nuestra carcasa la tapa para que nuestro medidor de CO₂ quede cerrado y todos los componentes estén protegidos.



Imagen 25. Tornillos y tuercas de métrica 2 y 3 mm.

3.3. Desarrollo del código.

En este tercer apartado del desarrollo del producto, se van a explicar las tareas más importantes que realizan algunos de los comandos que se han escrito en el desarrollo del código, en el entorno de Arduino IDE, para así poder tener un correcto funcionamiento de nuestro medidor de CO₂. El código completo que se ha desarrollado en Arduino IDE se va a escribir en el Anexo II, explicando además la tarea que realiza cada uno de los comandos que se han escrito durante el desarrollo de este código.

En primer lugar, se van a cargar en el entorno de Arduino IDE todas las librerías que se van a necesitar y se van a definir todas las variables que se necesitan, para poder llevar a cabo un buen desarrollo del código.

A continuación, en el setup, se va a llevar a cabo el proceso para iniciar todos los componentes físicos que se tienen en el producto, para iniciar la conexión inalámbrica que se desea tener para subir datos a una plataforma de Internet y para indicar todos los parámetros iniciales, que se les van a dar a todas las variables que se han definido anteriormente. En las siguientes imágenes se va a mostrar el código que se ha desarrollado para poder llevar a cabo la iniciación de tres aspectos importantes como son el sensor de CO₂, la pantalla OLED y la conexión Wi-Fi, para poder subir los datos a la plataforma de Internet.

```
// Iniciar sensor CCS811

while(sensor.begin() != 0) // se comprueba si el sensor se ha iniciado
{
  Serial.println("No se puede iniciar el sensor"); // en caso de que no se inicie el sensor se muestra que no se puede iniciar el sensor
  delay(1000);
}
sensor.setMeasCycle(sensor.eCycle_250ms);
```

Imagen 26. Código para iniciar el sensor de CO₂.

```
// Iniciar pantalla OLED en la direccion 0x3C

#ifdef __DEBUG__
Serial.begin(9600);
delay(100);
Serial.println("Iniciando pantalla OLED");
#endif

if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) // se comprueba si la pantalla OLED esta en la direccion desada
{
  #ifdef __DEBUG__
  Serial.println("No se encuentra la pantalla OLED"); // en caso de que no este en la direccion desada se muestra que no se encuentra la pantalla OLED
  #endif
  while (true);
}
```

Imagen 27. Código para iniciar la pantalla OLED.

```
// Iniciar la conexión al Wi-Fi y a Ubidots
|
|
| client.wifiConnect(ssid, password); // se conecta al Wi-Fi la placa para poder mandar datos a Ubidots
| client.setDebug(true);
```

Imagen 28. Código para conectarse al Wi-Fi y a la plataforma Ubidots.

Una vez ya se ha iniciado todo en el setup, se va a rellenar el loop de nuestro código, para que nuestro producto pueda realizar la toma de datos, mostrarlos y enviarlos, y vaya actualizándolos en el tiempo, se va a desarrollar el código necesario, para que estas acciones nombradas puedan ser llevadas a cabo. En las siguientes imágenes se va a mostrar el código que se ha desarrollado para poder realizar las importantes acciones de actualizar los valores de las variables cuando se lean del sensor, actualizar el valor de los datos mostrados en la pantalla y enviar los valores de las variables a las variables de Ubidots.

```
ValorCO2 = sensor.getCO2PPM(); // se asigna a las variables los valores que lee el sensor
ValorTVOC = sensor.getTVOCPPB();
```

Imagen 29. Código para actualizar el valor de las variables que lee el sensor.

```
display.clearDisplay(); // limpia lo que hay escrito en la pantalla OLED, para poder volver a mostrar datos

display.setCursor(6, 22); // se escribe en la pantalla OLED la cantidad que hay de CO2 en la línea que se indica
display.print("CO2: " + sensor.getCO2PPM() + "ppm");

display.setCursor(6, 54); // se escribe en la pantalla OLED la cantidad que hay de TVOC en la línea que se indica
display.print("TVOC: " + sensor.getTVOCPPB() + "ppb");

display.display(); // se envía todo a la pantalla OLED
```

Imagen 30. Código para actualizar el valor de los datos mostrados en la pantalla OLED.

```
client.add("VarCO2Id", ValorCO2); // se añade el valor de las variables del código a las variables de Ubidots
client.add("VarTVOCId", ValorTVOC);

bool bufferSent = false; // se mandan los valores de las variables a la plataforma de Ubidots
bufferSent = client.send();
```

Imagen 31. Código para enviar el valor de los datos leídos a las variables de Ubidots.

3.4. Desarrollo del modelo 3D.

En este apartado se van a explicar, en orden de ejecución, todos los pasos que se han ido realizando para poder llevar a cabo un buen desarrollo del modelo 3D de la carcasa y de la tapa, en el que hay que conseguir que todos los componentes que se encuentren en su interior estén fijos, puedan ser montados fácilmente y que se consiga una buena facilidad de uso.

En primer lugar, se ha procedido a medir todos los componentes que se van a usar en nuestro producto para saber las distancias que se le han de dar a la geometría de la pieza para que todos los componentes queden fijos, no se muevan una vez quede montado el

producto y todos estos queden bien ubicados, para que no se produzcan choques entre ellos.

A continuación, se va a estudiar la geometría que se va a querer y las distancias que va a tener esta, la forma que va a tener nuestro dispositivo va a ser la forma de una caja y esta forma se cerrara con una tapa. Se ha observado que la para la geometría lo mejor es hacer una parte en la que se van a ubicar todos los componentes, menos el sensor, que será bastante rígida para protegerlos y después se hará un saliente con ranuras, en el que se colocará el sensor, para que se produzca ventilación en esa parte, y no se generen zonas en las que el aire se quede parado, y así los datos que mide el sensor de CO₂ sean correctos.

Una vez ya se han realizado todas las mediciones de los componentes y se sabe cuál va a ser el tamaño de nuestro dispositivo, se va a pensar cual es la mejor ubicación que se le puede dar a cada componente y cuál debe ser la manera en la que se van a fijar los diferentes componente a nuestro producto, para que estos queden seguros y no se puedan soltar cuando se use nuestro medidor de CO₂. Para fijar la placa de desarrollo se van a hacer cuatro pilares para colocarla sobre ellos y fijarla a estos con cuatro tornillos, el conector micro USB de la placa quedara cerca de una pared en la que se colocara un agujero para poder meter el cable que se conectara a la batería externa. Para la fijación del sensor de CO₂, se ha optado por realizar una pequeña ranura en una pared del saliente, en la que se introducirá un poco la placa del sensor para que quede anclada, y al otro lado se va a colocar una pletina en la que hará tope la placa del sensor, para que este quede fijo y con los pines mirando hacia el interior de la carcasa para poder realizar las conexiones. Para colocar el pulsador, que enciende y apaga la pantalla OLED, se ha colocado un soporte con dos topes, uno delante y uno detrás, para sujetar el botón y este quedará fijo cuando se coloque la tapa, ya que impedirá el movimiento en el eje vertical del pulsador, también se va a hacer un agujero en la carcasa para poder accionarlo. Finalmente, la pantalla OLED en vez de ir fija a la carcasa va a ir fija con la tapa, para que cuando se deseen mostrar los datos medidos estos queden visibles en un buen lugar, para realizar la fijación de la pantalla OLED en la tapa se va a realizar un rebaje con unos apoyos, en los que reposara la pantalla, y en esos apoyos se realizaran cuatro agujeros pasantes para fijar la pantalla colocando cuatro tornillos.

A continuación, que ya se sabe la geometría que van a tener nuestra carcasa y nuestra tapa, se va a comenzar a realizar el modelo en un software de diseño como es Solid Edge. Hay que comentar que durante el diseño se han tenido dos problemas cuando se probó a realizar el modelo con los programas que se han explicado durante la titulación, uno que al realizarlo con AutoCAD se tenían problemas al exportar el archivo a formato (.stl) y después también se probó a realizar con Solid Works, pero no se podía usar porque la licencia que se tenía estaba caducada. Por lo que se optó por usar el programa de Solid Edge por ser un programa del que se pudo conseguir la licencia y ser bastante parecido a Solid Works, programa con el que se ha trabajado ya previamente. También se podría optar por realizar el diseño con un software de diseño que fuera libre, pero se ha optado por Solid Edge porque al conocer Solid Works nos hace tener un conocimiento ya al inicio y realizar el modelo de una manera más rápida, que si se tuviera que empezar a trabajar con un programa de diseño desde cero.

A continuación, se van a explicar los pasos que se han ido siguiendo en Solid Edge para llevar a cabo la diseño del modelo 3D de la tapa y de la carcasa de nuestro producto.

En primer lugar, se va a explicar el proceso que se ha seguido para diseñar la tapa por ser una geometría más fácil, primero se ha dibujado en Solid Edge la forma geométrica que va a tener nuestra tapa y se ha realizado una extrusión de 4 mm para darle espesor a la figura dibujada. Después se han dibujado las formas que van a tener las ranuras de ventilación que hay en la tapa, el rebaje en el que se va a colocar la pantalla OLED y los agujeros pasantes por los que van a introducir los tornillos, para fijar la tapa a la carcasa, y una vez se tienen las formas dibujadas se va a realizar un vaciado, para así dejar los huecos cuando se vaya a imprimir la pieza.

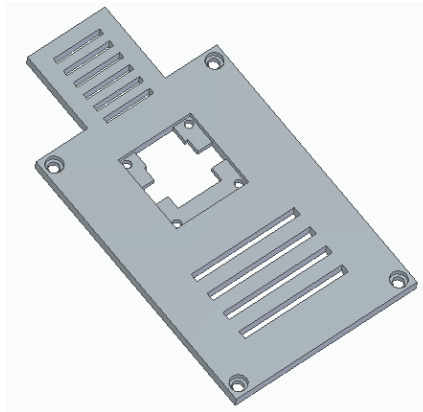


Imagen 32. Diseño 3D de la tapa.

Y, en segundo lugar, igual que en el párrafo anterior se va a explicar el proceso que se ha seguido para diseñar la carcasa, primero se ha dibujado la forma geométrica que va a tener nuestra base y se le ha dado un espesor de 3 mm. A continuación, se ha dibujado sobre la base la silueta que va a tener en el exterior la carcasa y se ha procedido a realizar una extrusión de 47 mm, para que la carcasa tenga una altura de 50 mm en total. Después, se han dibujado en el contorno de la carcasa los agujeros por los que se va a producir la ventilación, el agujero por el que se va a introducir el cable micro USB y el agujero que va a salir el pulsador, y se va a realizar un vaciado en las figuras dibujadas en el contorno, para así dejar los agujeros cuando se realice la impresión de la pieza. También se va a dibujar un rectángulo en la carcasa, para hacer un rebaje de material mientras se imprime, en el que se introducirá una parte del sensor de CO₂ para que quede fijo en el interior de la carcasa. Luego, se han dibujado en la base del interior cuatro círculos y dos rectángulos que se extruirán cada uno la distancia que se necesite, cuando se extruyan los cuatro agujeros quedaran cuatro pilares, en los que se hará un pequeño vaciado dentro para introducir las tuercas, en los que se fijara la placa de desarrollo de nuestro medidor, con unos tornillos que se roscaen sobre la rosca introducida en los rebajes que se han realizado en los pilares. El rectángulo que se extruirá pegado a la carcasa se le dará una altura de 35 mm para que el pulsador quede apoyado sobre él, al final de este pilar se colocaran dos pequeños toques para que el pulsador no caiga al interior de la carcasa cuando se pulse y el otro rectángulo que se va a extruir está justo en la zona en la que comienza el saliente, donde va ubicado el sensor de CO₂, y este tipo de pletina tiene la función de mantener fijo, aplicando un poco de

presión, al sensor en el rebaje que se ha comentado antes que se ha realizado en el interior del contorno de la carcasa. Para finalizar, se van a dibujar cuatro círculos en el medio de los cuadrados que hay en las esquinas del contorno para así realizar un vaciado de material y se puedan introducir las tuercas, en las que se roscaran los tornillos para que la tapa quede fija a la carcasa.

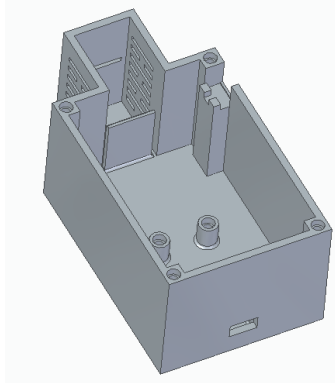


Imagen 33. Diseño 3D de la carcasa.

Una vez se ha finalizado el diseño de la carcasa y de la tapa en Solid Works y se tienen los archivos, estos se van a exportar a formato (.stl) para que se puedan abrir ambos modelos en el programa Ultimaker Cura y se puedan configurar en el programa todas las propiedades que hay que darle a la impresora para que se realice una impresión correcta de los dos modelos.

3.5. Impresión del modelo 3D.

En este quinto apartado, se van a explicar todas las acciones que se han tenido que realizar para poder llevar a cabo una buena impresión del modelo 3D, que se ha desarrollado en el punto anterior, tanto las acciones realizadas en Ultimaker Cura, para configurar los detalles de la impresión antes de realizarla como las acciones realizadas en el momento en el que se realiza la impresión y los momentos posteriores.

Una vez que ya se tienen los modelos de la carcasa y de la tapa, diseñados con la geometría que se desea, en formato (.stl) se van a abrir en el software de laminado Ultimaker Cura, para definir todos los parámetros que se necesitan para realizar una buena impresión de las piezas.

En primer lugar, se van a comentar todas las acciones que se han ido realizando en el software Ultimaker Cura para llevar a cabo la impresión de la tapa. Una vez que se ha abierto el archivo (.stl) de la tapa en Ultimaker Cura, se van a ajustar todos los parámetros necesarios para poder llevar a cabo una correcta impresión de la pieza que se desea. Los parámetros que se han ajustado son: la velocidad de impresión, que se ha puesto a 30 mm/s; el espesor de capa, que se le ha dado de 0'2 mm; la cantidad de material de relleno que se ha colocado en el interior, que en este caso es del 20 %; y que no se va a usar material de soporte para la impresión. Una vez se han ajustado todos estos parámetros el programa calcula el tiempo que le costara hacer la pieza, que en

este caso es un tiempo de 2 horas y 12 minutos, y la cantidad de material que se va a usar, que en este caso 25 gramos de material que equivalen a 8'28 metros del filamento PLA que se ha adquirido.

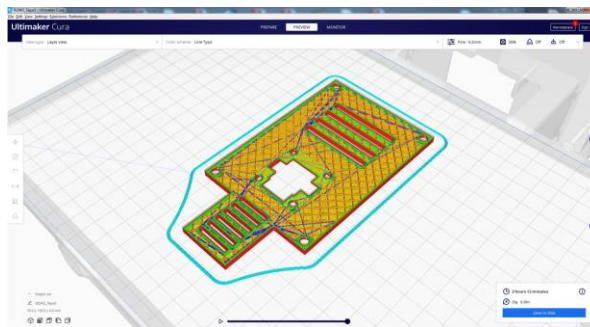


Imagen 34. Vista de la tapa que muestra el proceso de impresión.

En segundo lugar, se van a comentar todas las acciones que se han ido realizando en el software Ultimaker Cura para llevar a cabo la impresión de la carcasa. Una vez que se ha abierto el archivo (.stl) de la carcasa en Ultimaker Cura, se van a ajustar todos los parámetros necesarios para poder llevar a cabo una correcta impresión de la pieza que se desea. Los parámetros que se han ajustado son: la velocidad de impresión, que se ha puesto a 30 mm/s; el espesor de capa, que se le ha dado de 0'2 mm; la cantidad de material de relleno que se ha colocado en el interior, que en este caso es del 20 %; y que no se va a usar material de soporte para la impresión. Una vez se han ajustado todos estos parámetros el programa calcula el tiempo que le costara hacer la pieza, que en este caso es un tiempo de 11 horas y 52 minutos, y la cantidad de material que se va a usar, que en este caso 90 gramos de material que equivalen a 30'23 metros del filamento PLA que se ha adquirido.

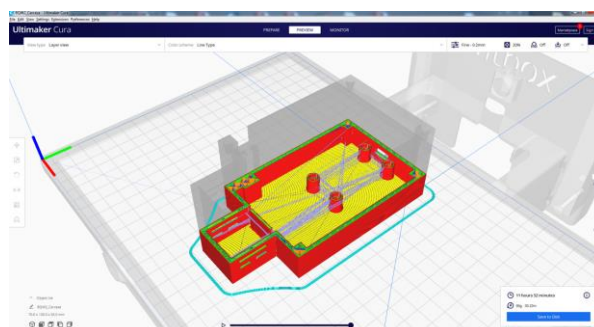


Imagen 35. Vista de la carcasa que muestra el proceso de impresión.

Una vez que se tienen las dos piezas en el programa Ultimaker Cura listas para ser impresas, este va a generar el código máquina (G-Code), que va a ser el encargado de hacer que la impresora funcione y así poder imprimir el modelo en 3D.

Por último, se va a comentar que antes de empezar con la impresión se tiene que comprobar que el extrusor está caliente, lo hace la propia impresora, y se va a rociar algún tipo de laca porque es muy recomendable para facilitar la futura extracción de la

pieza. Para realizar la extracción de la pieza, una vez está finalizada la impresión, se va a realizar a mano o utilizando algún tipo de cuchilla, si se ve que con la mano solo resulta difícil.

3.6. Montaje del producto final.

En este punto del desarrollo del producto se va a comentar, en orden de realización, todas las acciones de montaje que se han tenido que llevar a cabo sobre nuestro producto, para que este no se pueda desmontar durante su uso, proteja a todos los componentes internos y pueda ser usado con facilidad por todos los usuarios.

En primer lugar, una vez se tiene la carcasa impresa se van a colocar las tuercas en los vaciados que se han realizado en el diseño, en los pilares interiores y en los de las esquinas de la carcasa. Para colocar las tuercas en los agujeros mencionados, se va a utilizar un soldador eléctrico, con el que se va a calentar la tuerca que estará apoyada sobre el agujero en el que se desee introducir y así con este calor que se le da a la tuerca, esta entre en el agujero quedándose la forma que tiene la tuerca y quedando fija una vez se enfría el material. Hay que comentar, que para cuando se le aplique el calor a la tuerca esta se quede fija en el agujero que se hizo en la impresión, hay que darles a estos agujeros un radio un poco menor para que ceda el material y cuando la tuerca este dentro de este orificio y el material se enfríe la tuerca quede bien sujeta. Este proceso se va a realizar en los ocho agujeros que se han de colocar tuercas, cuatro de ellos para fijar la placa de desarrollo y los otros cuatro los encargados de hacer que la tapa quede bien unida a la carcasa de nuestro producto.

Una vez ya se han colocado todas las tuercas en los agujeros, se van a colocar en su ubicación todos los componentes internos que necesitan estar cableados entre ellos posteriormente. Primero, se va a colocar la placa de desarrollo sobre los pilares que hay en el interior de la carcasa y se van a enroscar cuatro tornillos sobre estos, con las tuercas que se han introducido anteriormente, para dejar la placa fija, hay que comentar que la placa se va a colocar del revés para ganar más espacio y que entre la placa y los pilares se ha puesto una tuerca extra porque sino los botones de la placa tocaban en los pilares. Después de colocar la placa, se va a colocar el sensor de CO₂ en el saliente que se le ha realizado a la carcasa, para la colocación primero se va a insertar un poco de la placa del sensor en el rebaje que se le ha hecho en una pared y después se va a realizar un poco de palanca sobre la pletina que se ha comentado antes, que se ha colocado en la base justo donde comienza el saliente en el que se encuentra el sensor, para permitir que el sensor entre y este quede fijo en esa ubicación, gracias a la leve presión que ejerce la pletina que se ha colocado. A continuación, se va a colocar la pantalla OLED sobre el hueco que se le ha realizado a la tapa, para fijar la pantalla OLED a la tapa se van a usar cuatro tornillos pasantes, en los que se va a colocar una tuerca al otro lado de la tapa para que la pantalla OLED quede bien fijada y con los pines hacia el interior de la carcasa. Finalmente, solo queda de colocar el pulsador, que se colocara sobre el soporte que se le hizo y que se quedara ahí fijo gracias a las topes que se han colocado, dos de estos se han colocado detrás y uno pequeño delante y a la tapa que cuando esta se cierre ya no se permitirá el movimiento del pulsador en ninguna de las direcciones.



Imagen 36. Tapa del producto con la pantalla OLED fijada.



Imagen 37. Carcasa del producto con los componentes internos fijados.

Una vez que ya se tienen todos los componentes fijados en el interior de nuestro producto, se va a realizar el cableado entre la placa de desarrollo con el resto de los componentes. Para conectar el sensor a la placa se van a necesitar cinco cables, uno de ellos es el que conecta el pin “VCC” del sensor al pin “Vin” de la placa que es la conexión que da energía para su funcionamiento, dos cables que conectaran los pines “GND” y “WAKE” del sensor al pin “GND” de la placa que es la toma a tierra, otro cable conectara el pin “SCL” del sensor con el pin “D1” de la placa para decir cuando se ha de recibir información del sensor, y finalmente se conectara el pin “SDA” del sensor con el pin “D2” de la placa para poder mandar la información a la placa. Una vez realizada la conexión del sensor se va a realizar la conexión entre la pantalla OLED y la placa de desarrollo, en este caso se van a necesitar cuatro cables, uno de ellos es el que conecta el pin de la pantalla “VCC” con el pin de la placa “3V3” y esta conexión es la que manda energía a la pantalla para su funcionamiento, otra cable se va a conectar desde el pin de la pantalla “GND” hasta el pin de la placa “GND” para tener la toma a tierra, otro cable se va a conectar desde el pin de la pantalla “SCL” a el pin de la placa “D1”, en este caso, para decir cuando se ha de enviar información a la pantalla OLED y finalmente se va a conectar el pin de la pantalla “SDA” al pin “D2” de la placa para que la pantalla OLED reciba la información que manda la placa. Con la conexión ya realizada de los dos componentes de comunicación I2C, se va a realizar la conexión del pulsador con la placa para poder decidir cuándo se enciende y cuando se apaga la pantalla. Para la conexión del pulsador se va a usar una resistencia pull down, para que este mande al pin digital de entrada de la placa de desarrollo un valor LOW cuando el pulsador está abierto o un valor HIGH cuando el pulsador este cerrado. En estas conexiones del pulsador se va a

conectar un pin del pulsador a una tensión de 3'3 V y el otro pin se le va a conectar un cable del que después van a salir dos, uno será la resistencia que va conectada a tierra y el otro es el cable que conecta al pulsador con el pin digital de la placa de desarrollo, para que pueda ser mandado el valor, LOW o HIGH, que sale del pulsador.

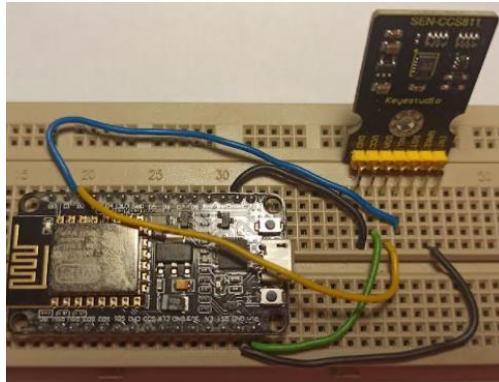


Imagen 38. Conexiones de la placa de desarrollo con el sensor de CO₂.

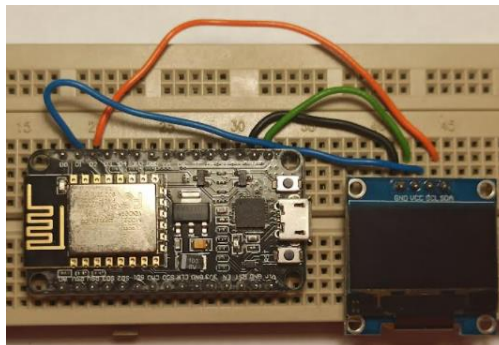


Imagen 39. Conexiones de la placa de desarrollo con la pantalla OLED.

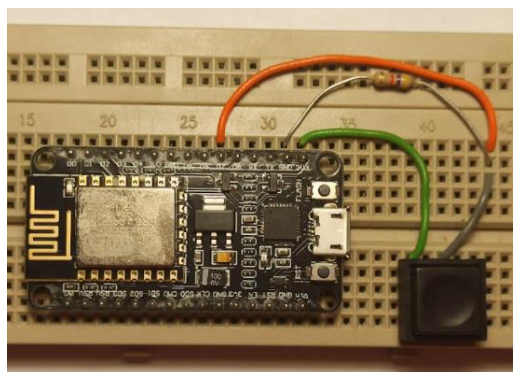


Imagen 40. Conexiones de la placa de desarrollo con el pulsador.

Finalmente, una vez ya se ha realizado el montaje de todos los componentes internos de nuestro producto, solo queda por realizar el cierre del producto, que se va a realizar colocando cuatro tornillos, uno en cada esquina. Una vez que se ha cerrado la tapa, el producto está listo para ser usado, cuando se conecte la placa de desarrollo con un cable micro USB a la batería externa.



Imagen 41. Producto final.



Imagen 42. Producto final en uso.

3.7. Estimación de costes.

En este último apartado del desarrollo del producto, se va a ejecutar un cálculo del precio final que tendría nuestro producto por si se deseara realizar la venta al consumidor. Para llevar a cabo esta estimación del coste que tendría nuestro producto se va a realizar una lista en la que se va a tener en cuenta el coste todos los componentes.

Para realizar la estimación de coste del producto, se hará un listado de los precios que tiene cada componente que se ha adquirido para poder llevar a cabo el desarrollo de este medidor de CO₂. Hay que comentar, que para la realización de la estimación de coste del producto no se van a tener en cuenta la amortización de maquinaria y herramientas que se hayan usado y tampoco se van a tener en cuenta los costes derivados del montaje y de la fabricación.

Para calcular el coste de las piezas se va a calcular la cantidad de material que se ha gastado del filamento de PLA y se va a hacer una proporción de lo que cuesta ese trozo de material respecto al coste total del filamento de PLA.

Componente	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Placa de desarrollo NodeMCU	5 € / un	1 un	5 €
Sensor de CO ₂	10 € / un	1 un	10 €
Pantalla OLED	6 € / un	1 un	6 €
Pulsador	2 € / un	1 un	2 €
Batería	9 € / un	1 un	9 €
Cables pin	0.125 € / un	12 uns	1.5 €
Tornillos y tuercas M2	0.05 € / un	4 uns	0.2 €
Tornillos y tuercas M3	0.05 € / un	8 uns	0.2 €
Tapa	0.02 € / g	25 g	0.5 €
Carcasa	0.02 €/g	90 g	1.8 €
		TOTAL	36.2 €

El precio final del producto, teniendo solo en cuenta los componentes que se han adquirido comercialmente sería de 36.2 €, a este precio posteriormente habría que sumarle todos los gastos de desarrollo y de montaje del producto, y los gastos adicionales que pudieran surgir si no se dispone de alguna maquina o herramienta necesaria para la fabricación de este producto. Por último, comentar que el tiempo de montaje de nuestro producto, contando que se tengan todas las piezas a mano, puede estar entre los 20 y los 30 minutos, este tiempo varía según la habilidad que pueda tener el montador, o si ya se ha realizado el montaje del producto previamente.

4. Conclusiones y futuras mejoras.

En este punto de la memoria, se van a comentar las conclusiones que se han sacado al llevar a cabo el desarrollo de este proyecto y se van a comentar posibles futuras mejoras que se le podrían hacer a nuestro producto, para poder tener posteriormente un medidor de CO₂ más desarrollado.

4.1. Conclusiones

En el presente trabajo fin de grado se ha desarrollado un producto, como es nuestro medidor de CO₂, con el fin de tomar mediciones de CO₂ en una sala y saber si esta sala es un lugar en el que se pueda estar con tranquilidad o no, y para saber en que momento es necesario realizar una ventilación de esta.

Cabe destacar que el producto final desarrollado a lo largo del presente TFG es un producto que está listo para su uso, lo que ha hecho que se haya realizado el TFG con una motivación extra por ver que todos los pasos que se iban realizando en el desarrollo, iban a tener una recompensa como es ver el producto final que se ha desarrollado.

También es importante destacar una conclusión respecto al tema económico, por el hecho de que se ha conseguido un producto final, lista para su uso, por un precio muy económico.

En cuanto a conclusiones personales, se pueden destacar aspectos como el reto personal que ha supuesto enfrentarse a la fabricación de un producto y por ser un proyecto que ha hecho que se asienten muchos de los conocimientos adquiridos en el grado y a aprender otros conocimientos que han resultado nuevos.

Finalmente, hay que comentar como conclusión, que todos los objetivos que se querían cumplir en el desarrollo del presente proyecto se han podido llevar a cabo y realizarlos de una manera satisfactoria, para obtener nuestro producto final.

4.2. Futuras mejoras.

A continuación, se van a comentar las posibles mejoras que se pueden realizar del producto que se ha desarrollado en el presente proyecto.

En primer lugar, se le podría poner al producto una luz de LED RGB para que según fueran los valores medidos por el sensor, esta luz cambiara de color, poniéndose verde cuando sean valores correctos, amarillo cuando sean valores que ya hay que empezar a tener en cuenta y rojo cuando los valores medidos sean peligrosos. Comentando esta mejora, también se ha pensado que sería una buena opción para un desarrollo futuro que el producto tuviera una alarma sonora, que avisara en caso de que se pasaran unos valores límites que fueran peligrosos.

Otra mejora que se ha pensado, sería hacer que un monitor que se pudiera conectar a Internet se configurara para poder abrir en este la plataforma de Ubidots y se mostraran

en el monitor tanto los valores de CO₂ actuales, como los valores históricos que se han registrado desde un tiempo anterior hasta la actualidad.

Finalmente, se van a comentar otras mejoras que han salido durante la finalización del presente proyecto. Estas mejoras pensadas son la de realizar unas mejoras en el diseño de la carcasa. Estas mejoras en el diseño de la carcasa se centrarían en aspectos como son: conseguir que se tuviera un mejor montaje, realizar algún apoyo para que se pudiera dejar la carcasa de forma vertical en el lugar que se deseara y una mejora en la ergonomía para que esta fuera más fácil de manipular una vez se tiene en las manos.

5. Bibliografía.

- [1] Apuntes de las asignaturas de *Dibujo Industrial y Vibraciones y ruido en máquinas*, para realizar el diseño del modelo 3D.
- [2] Apuntes de la asignatura de *Fundamentos de electrotecnia y Fundamentos de electrónica*, para realizar el montaje eléctrico y para el desarrollo del código.
- [3] Medidores de CO₂: <https://saludprev.com/medidores-de-calidad-del-aire/>
- [4] Sensor de CO₂ MQ135: <https://navlampmechatronics.com/sensores-gas/73-sensor-mq-135-gas-calidad-aire.html>
- [5] Sensor de CO₂ MG812 Minisize: <https://www.winsen-sensor.com/sensors/co2-sensor/mg812.html>
- [6] Sensor de CO₂ MH-410D: <https://www.winsen-sensor.com/sensors/co2-sensor/mh-410d.html>
- [7] Sensor de CO₂ Senseair S8 Residential: <https://senseair.com/products/sizes-counts/s8-residential/>
- [8] Sensor de CO₂ Keystudio CCS811: https://wiki.keystudio.com/KS0457_keystudio_CCS811_Carbon_Dioxide_Air_Quality_Sensor
- [9] Proyecto ZierzO2: <https://www.zierzo2.es/>
- [10] Proyecto de “eMariete”: <https://emariete.com/medidor-casero-co2/>
- [11] Proyecto de “Asoni Elektronik”: https://www.medidordeco2.es/co2_casero/
- [12] Proyecto de “Eduardo Santos”: <https://medidordeco2.info/medidor-de-co2-arduino/>
- [13] Resumen guía técnica de impresión 3D: Resumen_Tecnicas_Impresion_3D.pdf
- [14] Arduino IDE: <https://descubrearduino.com/instalar-arduino/>
- [15] Comunicación I2C: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/>
- [16] Ubidots STEM: <https://ubidots.com/stem/>
- [17] Solid Edge: <https://solidedge.siemens.com/es/>
- [18] Ultimaker Cura: <https://abax3dtech.com/2020/07/31/descubre-cura-software-de-laminado-3d/>
- [19] BQ Witbox 2: <https://www.pccomponentes.com/bq-witbox-2-impresora-3d-blanca>

[20] NodeMCU Amica ESP8266: <https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>

[21] NodeMCU Amica ESP8266:
https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/ESP8266-NodeMCU-Datasheet.pdf

[22] Pantalla OLED SSD1306: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ssd1306-pantalla-oled-con-arduino/>

[23] Pantalla OLED SSD1306: <http://www.inno-maker.com/wp-content/uploads/2019/03/096-OLED-Module-User-Manual-v1000-en.pdf>