



**Universidad de Jaén**

Escuela Politécnica Superior  
de Jaén

TRABAJO FIN DE MÁSTER

# **DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UN CONCENTRADOR DE GASES**

Alumna

**Alicia Montoro Lendínez**

Tutores

**Macarena Espinilla Estévez**

(Departamento de Informática)

**Javier Medina Quero**

(Departamento de Informática)

**Enero, 2022**

*(Página intencionalmente en blanco)*



## Universidad de Jaén

Departamento de Informática

Doña Macarena Espinilla Estévez y Don Javier Medina Quero, tutores del Trabajo Fin de Máster titulado: '**Diseño y prototipado de un concentrador de gases**', que presenta Doña Alicia Montoro Lendínez, otorgan el visto bueno para su entrega y defensa en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, enero de 2022

La alumna:

Los tutores:

Alicia Montoro Lendínez

Macarena Espinilla Estévez

Javier Medina Quero

*(Página intencionalmente en blanco)*

## Agradecimientos

Me gustaría empezar por agradecer a mis tutores, Macarena y Javier, la confianza depositada en mí. Siempre es un placer trabajar con dos tutores que desprenden tanta alegría y positivismo. A mi compañero José Luis por toda su ayuda y sus risas en los momentos donde me encontraba más desanimada. Por último, me gustaría dar las gracias también a mis padres, a mi hermana y a Alonso, por tener siempre las palabras adecuadas y mostrarme su más sincero apoyo días tras día desde que comencé esta aventura llamada “ingeniería”.

| FICHA DEL TRABAJO FIN DE TÍTULO               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titulación</b>                             | Máster universitario en Ingeniería Mecatrónica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modalidad</b>                              | Proyecto de Ingeniería                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Especialidad</b> <small>(solo TFG)</small> | Elija un elemento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Mención</b> <small>(solo TFG)</small>      | Elija un elemento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Idioma</b>                                 | Español                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Tipo</b>                                   | Elija un elemento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>TFT en equipo</b>                          | No                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Fecha de asignación</b>                    | 16/11/2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Descripción corta</b>                      | <p>Cada vez es más frecuente que el entorno sanitario en busca de actualizarse necesite la experiencia de un entorno más dedicado a la ingeniería. El análisis de muestras de aire suele ser complejo, y para que sea correcto, las muestras deben de estar estabilizadas y con un porcentaje elevado de sus compuestos. Además, la fabricación de este tipo de prototipos ayuda a validar un producto con un bajo coste de producción.</p> <p>El presente trabajo fin de máster está centrado en diseñar un prototipo de concentrador de gases obtenidos a partir de muestras de aire procedentes del sistema digestivo con la finalidad de ser utilizado en aplicaciones sanitarias</p> |

| NORMAS APLICADAS EN ESTE DOCUMENTO |                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LOCALES                            |                                                                                                                                                                  |
| TFT-UJA:2017                       | Normativa de Trabajos Fin de Grado, Fin de Máster y otros Trabajos Fin de Título de la Universidad de Jaén (Normativa marco UJA aprobada en Consejo de Gobierno) |
| TFT-EPSJ:2017                      | Normativa sobre Trabajos Fin de Grado y Fin de Máster en la Escuela Politécnica Superior de Jaén (Normativa EPSJ aprobada en Junta de Escuela)                   |
| TFT-EPSJ                           | Criterios de evaluación y normas de estilo para TFG y TFM de la Escuela Politécnica Superior de Jaén                                                             |
| NACIONALES                         |                                                                                                                                                                  |
| UNE 157001:2014                    | Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico                                                             |
| UNE 157801:2007                    | Criterios generales para la elaboración de proyectos de sistemas de información                                                                                  |
| INTERNACIONALES                    |                                                                                                                                                                  |
| ISO 2145:1978                      | Documentación - Numeración de divisiones y subdivisiones en documentos escritos                                                                                  |
| APA 6ª edición                     | Estilo de referencias y citas de APA (American Psychological Association)                                                                                        |

## Contenido

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 - Introducción.</b>                            | <b>13</b> |
| 1.1 - Marco teórico.                                | 13        |
| 1.2 - Propósitos generales y objetivos              | 14        |
| 1.2.1 - Objetivo general.                           | 14        |
| 1.2.2 - Objetivos específicos.                      | 15        |
| 1.3 - Estado del arte.                              | 15        |
| 1.4 - Análisis                                      | 20        |
| 1.4.1 - Requisitos                                  | 20        |
| 1.4.1.1 - Requisitos funcionales.                   | 21        |
| 1.4.1.2 - Requisitos no funcionales.                | 21        |
| 1.5 - Planificación de las tareas.                  | 22        |
| 1.5.1 - Diagrama de Gantt.                          | 22        |
| 1.6 - Estimación de los costes.                     | 23        |
| 1.6.1 - Costes de recursos humanos.                 | 23        |
| 1.6.2 - Costes de hardware y software.              | 27        |
| 1.6.3 - Costes indirectos.                          | 29        |
| 1.6.4 - Costes totales.                             | 29        |
| 1.7 - Metodología.                                  | 30        |
| 1.7.1 - Revisión de las metodologías.               | 30        |
| 1.7.2 - Elección de la metodología.                 | 33        |
| <b>2 - Diseño</b>                                   | <b>34</b> |
| 2.1 - Arquitectura del sistema IoT.                 | 34        |
| 2.2 - Diseño del modelo 3D                          | 36        |
| 2.3 - Diseño hardware.                              | 40        |
| 2.3.1 - Placas de desarrollo.                       | 40        |
| 2.3.2 - Sensor                                      | 41        |
| 2.3.3 - Actuadores.                                 | 46        |
| 2.3.4 - Otros.                                      | 47        |
| 2.3.5 - Diseño del circuito electrónico.            | 48        |
| 2.4 - Diseño del software.                          | 51        |
| 2.4.1 - Diagrama de flujo                           | 51        |
| 2.4.2 - Casos de uso                                | 52        |
| <b>3 - Implementación</b>                           | <b>59</b> |
| 3.1 - Entorno de desarrollo                         | 59        |
| 3.2 - Sumidero.                                     | 61        |
| 3.2.1 - Transmisión de los datos.                   | 61        |
| 3.2.1.1 - Topic                                     | 63        |
| 3.2.1.2 - Formato                                   | 64        |
| 3.2.1.3 - QoS (Quality of Service).                 | 64        |
| 3.2.1.4 - Seguridad.                                | 65        |
| 3.3 - Base de datos.                                | 65        |
| 3.3.1 - Tipos de bases de datos.                    | 65        |
| 3.3.2 - Selección de la base de datos.              | 66        |
| 3.4 - Prototipo de caja 3D para el concentrador.    | 67        |
| 3.5 - Plataforma IoT para la visualización de datos | 69        |



|                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.1 - Descripción general.....                               | 69         |
| 3.5.2 - Plataformas IoT del mercado.....                       | 70         |
| 3.5.3 - Selección de la plataforma IoT .....                   | 71         |
| 3.6 - Transmisión de los datos.....                            | 72         |
| <b>4 - Validación y evaluación.....</b>                        | <b>74</b>  |
| 4.1 - Primer caso de estudio del sistema. ....                 | 74         |
| 4.1.1 - Resultados obtenidos .....                             | 74         |
| 4.2 - Segundo caso de estudio del sistema. ....                | 77         |
| 4.2.1 - Resultados obtenidos .....                             | 77         |
| <b>5 - Conclusión.....</b>                                     | <b>87</b>  |
| <b>6 - Apéndices.....</b>                                      | <b>88</b>  |
| 6.1 - Manual instalación IDE Arduino para ESP8266 .....        | 88         |
| 6.1.1 - Proyecto creado en IDE Arduino.....                    | 90         |
| 6.2 - Manual instalación de importar paquetes en Pycharm. .... | 94         |
| 6.2.1 - Código creado en Pycharm .....                         | 95         |
| 6.3 - Croquis del prototipo de caja 3D.....                    | 96         |
| <b>7 - Definiciones y abreviaturas.....</b>                    | <b>100</b> |
| <b>8 - Bibliografía .....</b>                                  | <b>102</b> |

## Índice de ilustraciones

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Esquema de la instalación para extracción con fluido supercrítico(Sotelo et al., 2003).....                                                                            | 19 |
| Ilustración 2. Esquema para la extracción por absorción en espacio de cabeza (Bicchi et al., 2004).....                                                                               | 20 |
| Ilustración 3. Diagrama de Gantt del proyecto .....                                                                                                                                   | 23 |
| Ilustración 4. Diagrama del modelo en cascada (Carranza, 2021).....                                                                                                                   | 31 |
| Ilustración 5. Diagrama del modelo incremental (Marlady Ortiz, 2012) .....                                                                                                            | 32 |
| Ilustración 6. Esquema del sistema .....                                                                                                                                              | 35 |
| Ilustración 7. Dibujo caja para el concentrador .....                                                                                                                                 | 36 |
| Ilustración 8. Caja Base desde el perfil izquierdo .....                                                                                                                              | 37 |
| Ilustración 9. Pruebas de diámetros 16.5 mm, 17 mm,17.5 mm .....                                                                                                                      | 38 |
| Ilustración 10. Caja Base desde el perfil derecho .....                                                                                                                               | 38 |
| Ilustración 11. Tapa de la caja.....                                                                                                                                                  | 39 |
| Ilustración 12. Mango de la caja .....                                                                                                                                                | 39 |
| Ilustración 13. Placa de desarrollo NodeMcu Lolin V3 (NodeMcu V3 Lua ESP8266 ESP12E Wifi CH340 » IBEROBOTICS, n.d.) .....                                                             | 40 |
| Ilustración 14. Placa de desarrollo Raspberry Pi 4 Model B (MSRobotics - Raspberry PI 4, n.d.).....                                                                                   | 41 |
| Ilustración 15. Sensor de gas MQ135 (Mq-135-Gas-Sensor.Jpg (1350×1350), n.d.).....                                                                                                    | 42 |
| Ilustración 16. Gráfica de sensibilidad del MQ135 a los distintos gases .....                                                                                                         | 43 |
| Ilustración 17. Dependencia de las medidas del sensor MQ135 en función de las variables temperatura y humedad. ....                                                                   | 44 |
| Ilustración 18. Circuito divisor de tensión. ....                                                                                                                                     | 45 |
| Ilustración 19. Ventilador Noctua NF-P12 (ImagenGrande1.Jpg (510×510), n.d.) .....                                                                                                    | 46 |
| Ilustración 20. Botón interruptor (Color-Interruptor-Rojo-de-5-Piezas-Interruptor-de-Boton-Tactil-Para-Arduino-Pulsador-Momentaneo-de-12x12x73-Mm-Con-Tapa.Jpg (222×278), n.d.) ..... | 47 |
| Ilustración 21. Racor (Racor Autom.Recto Conico m 50000 8 1/8 - Ferretería Aubert, n.d.) .                                                                                            | 48 |
| Ilustración 22. Válvula con control de flujo(SMC Corporation - VHK2-02S-02S - Válvula Del Dedo, Puerto Del Cuerpo, 1/4 " - Allied Electronics y Automatización, n.d.) .....           | 48 |
| Ilustración 23. Esquemático del circuito.....                                                                                                                                         | 49 |
| Ilustración 24. Placa del prototipo final .....                                                                                                                                       | 50 |
| Ilustración 25. Placa alojada en el concentrador .....                                                                                                                                | 50 |
| Ilustración 26. Diagrama de flujo .....                                                                                                                                               | 51 |
| Ilustración 27. Caso de uso del sistema .....                                                                                                                                         | 52 |
| Ilustración 28. Diagrama caso uso 1.....                                                                                                                                              | 53 |
| Ilustración 29. Diagrama caso uso 2.....                                                                                                                                              | 54 |
| Ilustración 30. Diagrama caso uso 3.....                                                                                                                                              | 55 |
| Ilustración 31. Diagrama caso uso 4.....                                                                                                                                              | 56 |
| Ilustración 32. Diagrama caso uso 5.....                                                                                                                                              | 57 |
| Ilustración 33. Diagrama caso uso 6.....                                                                                                                                              | 58 |
| Ilustración 34. IDE Arduino .....                                                                                                                                                     | 59 |
| Ilustración 35. IDE PyCharm .....                                                                                                                                                     | 61 |
| Ilustración 36. Proceso CONNECT.....                                                                                                                                                  | 62 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 37. Proceso SUBSCRIBE.....                                                        | 62 |
| Ilustración 38. Proceso PUBLISH.....                                                          | 62 |
| Ilustración 39. Topics .....                                                                  | 63 |
| Ilustración 40. Estructura mensaje MQTT(Llamas, 2019) .....                                   | 64 |
| Ilustración 41. Habitación 2 con tapa.....                                                    | 68 |
| Ilustración 42. Prototipo final. Ambas flechas señalan las válvulas de control de flujo ..... | 69 |
| Ilustración 43. Dashboard completo .....                                                      | 72 |
| Ilustración 44. Con VS Sin concentrador medidas acetona .....                                 | 74 |
| Ilustración 45. Con VS Sin concentrador medidas CO .....                                      | 75 |
| Ilustración 46. Con VS Sin concentrador medidas alcohol.....                                  | 75 |
| Ilustración 47. Con VS Sin concentrador medidas CO <sub>2</sub> .....                         | 76 |
| Ilustración 48. Con VS Sin concentrador medidas NH <sub>4</sub> .....                         | 76 |
| Ilustración 49. Menú para incluir el gestor de tarjetas de ESP8266 .....                      | 88 |
| Ilustración 50. Menú para acceder al instalador de tarjetas .....                             | 89 |
| Ilustración 51. Ventana emergente para instalar el paquete de placas desarrollo.....          | 89 |
| Ilustración 52. Selección de la placa.....                                                    | 90 |
| Ilustración 53. Panel principal Pycharm .....                                                 | 94 |
| Ilustración 54. Ventana de Settings .....                                                     | 94 |
| Ilustración 55. Buscador de paquetes.....                                                     | 95 |

## Índice de tablas

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Planificación temporal del proyecto .....                     | 22 |
| Tabla 2. Seguridad social .....                                        | 24 |
| Tabla 3. Costes humanos.....                                           | 26 |
| Tabla 4. Costes hardware. ....                                         | 27 |
| Tabla 5. Costes software.....                                          | 28 |
| Tabla 6. Costes adicionales .....                                      | 29 |
| Tabla 7. Costes totales.....                                           | 29 |
| Tabla 8. Editar la base de datos .....                                 | 53 |
| Tabla 9. Editar el dashboard.....                                      | 54 |
| Tabla 10. Consultar la base de datos .....                             | 55 |
| Tabla 11. Visualizar el dashboard .....                                | 56 |
| Tabla 12. Etiquetar las recogidas .....                                | 57 |
| Tabla 13. Comenzar el soplado.....                                     | 58 |
| Tabla 14. Colección de datos del sensor de gas MQ135.....              | 67 |
| Tabla 15. Diferencia entre participantes Medidas CO <sub>2</sub> ..... | 79 |
| Tabla 16. Diferencia de participantes Medidas CO .....                 | 80 |
| Tabla 17. Diferencia de participantes Medidas NH <sub>4</sub> .....    | 81 |
| Tabla 18. Diferencia de participantes Medidas Acetona .....            | 81 |
| Tabla 19. Diferencia de participantes Medidas Alcohol .....            | 82 |
| Tabla 20. Medidas de CO <sub>2</sub> .....                             | 83 |
| Tabla 21. Medidas de CO .....                                          | 83 |
| Tabla 22. Medidas de NH <sub>4</sub> .....                             | 84 |
| Tabla 23. Medidas de acetona .....                                     | 85 |
| Tabla 24. Medidas de alcohol.....                                      | 85 |

# 1 - INTRODUCCIÓN.

En este trabajo de fin de máster (TFM) se presenta un prototipo de concentrador de gases que permite recoger y recolectar muestras de forma versátil y en condiciones controladas para optimizar su medición. Inicialmente, en este capítulo se presenta una visión global del proyecto desarrollado, su justificación, una idea general sobre qué consiste y la motivación que ha llevado a escogerlo.

## 1.1 - Marco teórico.

Hoy en día y cada vez se ha hecho cotidiano el despliegue e implantación de diferentes dispositivos, actuadores o sensores formando sistemas conectados entre sí. Gracias a esa creciente evolución, ha disminuido su costo y esta ventaja ha sido aprovechada por el novedoso concepto Internet of Things (IoT). El concepto IoT fue definido por primera vez en 1999 por el británico Kevin Ashton, describiendo un sistema en el cual los objetos del mundo físico se podían conectar a Internet por medio de sensores. El origen de este concepto surgió al explicar la conectividad con Internet de las etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) que se utilizaban para el seguimiento de mercancías sin la ayuda de los operarios (Atzori et al., 2010).

IoT es la unión de una variedad de tendencias en las áreas de computación, electrónica y telecomunicaciones que se vienen dando la mano desde hace mucho tiempo y cuyo objetivo es una interacción machine to machine (M2M) más ambiciosa. Actualmente, diferentes sectores de la industria, como el sector automotriz, el sanitario, la manufactura, la electrónica de consumo entre otros, se encuentra analizando e implantando la inmensa capacidad que proporciona la incorporación del IoT en sus servicios y productos (Conant, 2015).

Como se ha mencionado anteriormente, el desarrollo de la tecnología IoT lleva consigo la implementación de una gran variedad de sensores. Dentro del mercado se encuentran sensores de diversos tipos (de contacto, ópticos, térmicos, de humedad, de gases, magnéticos, infrarrojos, etc.), Actualmente, dentro de las distintas ramas de sensorización, en concreto, la dedicada a la sensorización de gases se encuentra novedosos estudios donde se ha demostrado el poder de éstos tratando de reproducir sentidos humanos, como es el olfato, el gusto o el tacto.

Rodriguez Gamboa et al.(Rodriguez Gamboa et al., 2019) presentan una nariz electrónica compuesta por sensores de gases para detectar la calidad del vino. De igual manera, Viejo et al. (Viejo et al., 2021) exponen otra nariz electrónica también compuesta por una matriz de sensores de gases pero, esta vez, para la distinción de cervezas. Y por último, debido a la pandemia mundial generada por el COVID-19, se ha visto incrementada la necesidad de cuantificar la calidad del aire. Komarudin et al. (Komarudin et al., 2021) presentan como solución un sistema de sensores de gases dedicado a la medición de la calidad del aire.

La realización de este TFM se ha centrado en la gran tendencia actual del paradigma IoT. Este paradigma oferta la posibilidad de un gran despliegue de dispositivos, sensores y actuadores integrados en un sistema, con la capacidad de realizar conexiones entre sí, siendo a su vez novedoso, útil y accesible.

En este contexto, en este TFM presentamos un dispositivo IoT realizado con impresión 3D que tiene como objetivo acercar la novedosa sensorización de gases a los entornos inteligentes.

## **1.2 - Propósitos generales y objetivos**

### **1.2.1 - Objetivo general.**

Este trabajo tiene como objetivo diseñar y fabricar un sistema IoT concentrador de gases de bajo coste para la recogida y monitorización de muestras de cuerpos gaseosos. El sistema IoT está compuesto por diferentes componentes que definen un sistema cuyas características son:

- Diseño de placas de desarrollo, sensores y actuadores ubicados en un prototipo 3D de caja diseñado ad hoc para facilitar la concentración y medición del gas.
- Integración de un sensor de gas determinado pudiendo acoplarse o reemplazarse de forma modular.
- Recepción en tiempo real de los datos recolectados que se envían de modo inalámbrico a un sumidero central de datos. Este nodo central es el encargado, por un lado, de almacenar la información en un servidor cloud

para realizar la persistencia y, por otro lado, de enviar la información a una plataforma IoT para la visualización de los datos.

### 1.2.2 - Objetivos específicos.

Para alcanzar el objetivo general, en este TFM se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Revisar la literatura asociada a las tecnologías implicadas en el trabajo.
- Analizar las distintas placas de desarrollo existentes para el desarrollo de sistemas IoT y seleccionar la más adecuada.
- Diseñar y construir el sistema IoT concentrador de gases con la placa de desarrollo seleccionada y los elementos electrónicos implicados.
- Diseñar e implementar una arquitectura del sistema capaz de recolectar los datos, almacenarlos en un servidor cloud para realizar la persistencia y visualizarlos en una plataforma IoT.
- Diseñar e imprimir el prototipo 3D del sistema IoT concentrador de gases.
- Validar el sistema a través de pruebas con usuarios reales.

### 1.3 - Estado del arte.

En este apartado se realiza una revisión de la literatura en la que se describen dispositivos IoT capaces de monitorizar gases para detectar posibles anomalías.

La integración del IoT dentro de la sensorización de los gases es clave para su evolución. Sin embargo, no todos los gases son iguales de importantes para su estudio (Gomes et al., 2019). Algunos de los gases más relevantes para su estudio y que servirán de base para este proyecto son:

- Oxígeno ( $O_2$ ), es el gas más importante para nuestra vida pero también lo es en otros campos. Desde su control en espacios cerrados para evitar la asfixia en espacios cerrados hasta en la industria del motor para realización de la mezcla adecuado para un mejor rendimiento.
- Dióxido de carbono ( $CO_2$ ), gas clave del efecto invernadero y la contaminación del aire. Y su aparición puede generar asfixia, al contrario del oxígeno.

- Monóxido de carbono (CO), resultado de una combustión incompleta. Su aparición en espacios cerrados como su prolongada exposición es capaz de producir enfermedades cardiovasculares y daños cerebrales.
- Compuestos orgánicos volátiles (COVs), son compuestos orgánicos a base de carbono.
- Gas licuado de petróleo (GLP), es un combustible fósil compuesto por una mezcla de hidrocarburos. Una fuga de este gas puede producir daños graves al ser altamente inflamable.
- Radón (Rn), es un gas radiactivo. La exposición prolongada a este tipo de gas puede producir cáncer de pulmón.
- Amoníaco (NH<sub>3</sub>), gas irritante y corrosivo de olor fuerte. Su fuga puede producir irritaciones en sistema ocular y olfativo e incluso, en algunos casos, la muerte.

Con respecto a las tecnologías desarrolladas para los sensores de detección de gases, a continuación, se detallan algunas de las más potenciales (Gomes et al., 2019):

- Electroquímicos, tratan de utilizar las reacciones químicas para detectar un gas objetivo.
- Semiconductores de óxido metal (MOS), al detectar el gas objetivo crea una variación en la resistencia interna, siendo equivalente a una tensión de salida. Esta tensión será proporcional a la concentración del gas objetivo detectado. Necesita una alta temperatura para operar pero su fabricación es de bajo coste con respecto a otras tecnologías.
- Catalítico, para la detección utiliza la reacción química que se produce entre el elemento catalítico y el gas presente en el ambiente que se quiere detectar. Esto genera un aumento de la temperatura en el sensor dando lugar a la variación de su resistencia.
- Polímeros, utiliza la variación de nivel de dopaje que se produce en la reacción entre el polímero y el gas objetivo para la detección.



- Nanotubos de carbono (CNT), la variación de conductividad eléctrica en la resistencia es el resultado del contacto del gas objetivo. La variación es proporcional a la concentración del gas detectado.
- Acústico, utiliza las diferentes velocidades de propagación del sonido en los distintos medios para detectar el gas objetivo.
- Óptico, utiliza las diferentes longitudes de onda de los gases y su correspondiente absorción para detectar el gas objetivo.

Algunas de las aplicaciones relevantes que integran los avances mencionados de sensorización y el concepto de IoT pueden ser:

- Área alimenticia y animal.
  - Predecir la frescura de la carne de cordero, cerdo y ternera (Chen et al., 2019).
  - Determinar el tiempo de maduración de la fruta (Abu et al., 2021).
  - Determinar el tiempo de celo de la vaca (Manzoli et al., 2019).
- Área de la detección
  - Determinar la calidad del aire (Harrou et al., 2018).
  - Determinar la concentración de contenido de ozono (Harrou et al., 2018).
  - Determinar la posición del petróleo o gas (Johny et al., 2016).
  - Detectar fugas en tuberías (Wang et al., 2017).
  - Detectar explosiones y gases tóxicos (Bhattacharyya et al., 2006).
  - Generar alarmas de incendio (Kanakam et al., 2015).
- Área industrial
  - Mejorar la productividad en la agricultura mediante IoT (Ali et al., 2018).
  - Diseñar máquinas para procesos industriales (Nieto et al., 2020).
  - Monitorizar y visualizar parámetros ambientales en la industria (Ibiricu Elizondo, 2020) .

- Monitorizar mediante IoT para la desinfección con ozono (Pous Casas, 2021).
- Área sanitaria
  - Detectar enfermedades gastrointestinales (Dan & Id, 2018).

Por otra parte en esta última área, existe una rama concreta de sensorización de gas proveniente de los humanos que es de especial interés. Existen evidencias científicas donde se ha demostrado que en el aire procedente del sistema digestivo se encuentran COVs en diferentes porcentajes, los cuales son “las huellas olfativa” de cada persona. El proceso de análisis y la monitorización de dichas huellas proporcionan una herramienta de gran potencial para el diagnóstico de enfermedades como el cáncer, la esclerosis múltiple, diabetes o Alzheimer (B et al., 2007),(Boots et al., 2012).

Inicialmente, se han hecho estudios donde se monitorizan estos COVs a través del sistema olfativo de los caninos capaz de detectar estos compuestos (Pirrone & Albertini, 2017).

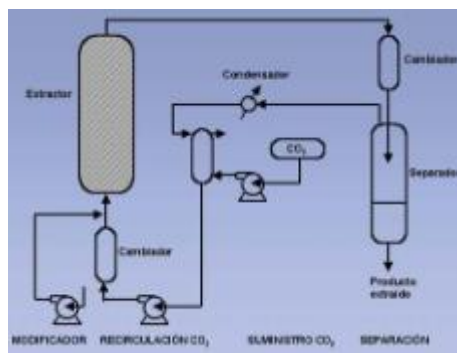
Sin embargo, cuando se analizan muestras de COVs que proceden del sistema digestivo, generalmente, necesita una fase previa para adecuar la concentración de COVs con el fin de detectar posibles anomalías.

Algunas de las técnicas más empleadas para la preparación del análisis de COVs se enumeran a continuación:

- Destilación-Extracción simultánea (SDE), pueden ser de tipo arrastre de vapor (SD), hidroestilación (HD) o destilación de agua-vapor. Se basa en la destilación de la muestra disuelta en agua y el disolvente, por separado y después, la condensación en la misma área realizando la extracción (Aparicio et al., 2013). El equipo solo sin los compuestos necesarios para la destilación-extracción, sin matraces y sin mantas calefactoras tiene un precio de alrededor 339,96€ (*Aparato Likens-Nickerson | Laborxing*, n.d.).
- Espacio de cabeza dinámico (DHS), cuyo objetivo es determinar gases disueltos en muestras líquidas. Con esta técnica se produce un arrastre de los COVs de la muestra, con una temperatura y un flujo de gas inerte controlado, hacia una trampa donde quedan retenidos y, posteriormente, se

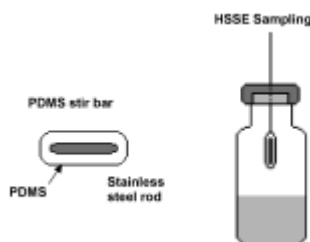
realiza su desorción e inyección en el cromatógrafo para separarlos (*Muestreo Por Espacio de Cabeza (Headspace Sampling, HS) | Cromlab S.L. Blog de Cromatografía, n.d.*).

- Microextracción en fase sólida en espacio de cabeza (HS-SPME), esta técnica se realiza una vez agitada y calentada la muestra hasta una temperatura dada. Entonces, se añaden unas fibras, manteniendo la temperatura y la agitación, las cuáles son las encargadas de adsorber los COVs de la muestra (González-Zúñiga et al., 2011). El equipo para realizar esta técnica ronda los 11.000€ (*CTC Analytics / Leap Technologies Combi PAL Autosampler with Headspace & SPME | Conquer Scientific, n.d.*).
- Extracción de fluidos supercríticos (SFE), esta técnica (Ilustración 1) se realiza de manera que la muestra se posiciona en el área de extracción, después se bombea CO<sub>2</sub>, y cuando alcanza el separado se calienta hasta cierta temperatura, finalmente, la muestra de CO<sub>2</sub> se descomprime y el CO<sub>2</sub> es recirculado obteniendo el producto (Sotelo et al., 2003). El equipo para realizar esta técnica ronda alrededor de un precio de 87.000 € (*PRECIOS DE Equipo Para Extracción Por Fluído Supercrítico (SFE) – Información Comercial | QuimiNet.Com, n.d.*).



**Ilustración 1. Esquema de la instalación para extracción con fluido supercrítico**(Sotelo et al., 2003)

- Extracción por absorción en espacio de cabeza (HSSE), en esta técnica (Ilustración 2) el dispositivo para la extracción se mantiene sobre el área gaseosa de la muestra que se encuentra dentro del vial.



**Ilustración 2. Esquema para la extracción por absorción en espacio de cabeza** (Bicchi et al., 2004).

Para superar el alto coste de los concentradores de COVs que provienen del sistema digestivo, nace la motivación de este trabajo fin de máster que es la creación de este sistema IoT concentrador con el que se busca adecuar las muestras procedentes del aire exhalado del sistema digestivo a la vez que se monitoriza con sensores la recogida de dicho aire.

Estos COVs pueden ser detectados por sensores de tipo MOS, ya mencionado también con anterioridad. Mientras, Movilla-Quesada et al. (Movilla-Quesada et al., 2021) estudiaron el uso de estos tipos de sensores, en concreto del tipo MQ, para el estudio de los gases de efecto invernadero. También, Hofstetter et al. (Hofstetter et al., 2021) exponen el uso de los sensores MQ, esta vez utilizados para cuantificar la cantidad de amoníaco en el ambiente, conociendo así sus niveles de concentración. Otra de las ventajas que proporcionan los sensores de gas pertenecientes a la familia MQ es su bajo coste que ha permitido su accesibilidad y que se haya expandido su uso. Por ello, existen multitud de librerías (Marco Millán & Delgado Gracia, 2016) que describen los pasos a seguir para realizar una correcta calibración.

Dadas las ventajas que se han enumerado del tipo de sensores MQ se ha decidido elegir un sensor perteneciente a la familia para desarrollar este TFM.

## 1.4 - Análisis

En este apartado se presenta el análisis llevado a cabo para el desarrollo del sistema IoT concentrador de gases. Para ello, es clave la determinación de los requisitos (funcionales y no funcionales) y los casos de uso.

### 1.4.1 - Requisitos

En este apartado se indican las restricciones que se han encontrado al realizar este TFM y que han promovido ciertas decisiones que se detallarán a lo largo de la

memoria. A continuación, se indican los requisitos funcionales y no funcionales contemplados en este TFM.

#### **1.4.1.1 - Requisitos funcionales**

Los requisitos funcionales que debe tener el sistema al realizar el proyecto, definiendo así el comportamiento de éste, son los siguientes:

- El sistema debe tener un botón cuya función es la de etiquetar y diferenciar las muestras entre “soplado” y “no soplado”, para ello, es el usuario el encargada de pulsar el botón para marcar el inicio de la recolección y volver a pulsarlo para marcar el fin de la recolección.
- La muestra recolectada debe ser transportada y concentrada hasta el habitáculo donde se encuentra el sensor que realiza la medición.
- Las mediciones recolectadas por el sensor deben realizar su persistencia en la base de datos.
- Las mediciones recolectadas deben poder ser visualizados en tiempo real desde una plataforma IoT.

#### **1.4.1.2 - Requisitos no funcionales.**

Los requisitos no funcionales que debe tener el sistema al realizar el proyecto, definiendo así las cualidades de éste, son los siguientes:

- La impresora 3D debe permitir imprimir la pieza base de la caja a su totalidad de tamaño. Es por ello que se debe realizar un diseño desglosado en partes y realizar posteriormente la unión de componentes.
- Realizar una precalibración y calentamiento de los sensores de la familia MQ, que necesitan en su primera vez de uso un precalentamiento de 48 horas. Por ello, es necesario realizar su precalentamiento. En los siguientes usos también necesita un precalentamiento pero esta vez el tiempo se ve reducido hasta 20 segundos, sin embargo, este tiempo se debe que tener en cuenta en la programación de éste.
- La plataforma IoT que se ha seleccionado para la visualización de los datos recogidos por el concentrador estará alojada en una red local debido al hecho de que este TFM se ha desarrollado en la Universidad de Jaén y

dicha universidad no permite actualmente conectar los dispositivos con plataformas IoT alojadas en la nube por motivos de seguridad.

## 1.5 - Planificación de las tareas.

En este apartado se describe la planificación de las tareas que se han llevado a cabo en este TFM.

La Tabla 1 enumera las etapas principales que se han llevado a cabo en la realización de este TFM junto con una estimación de las horas por cada una de ellas.

| Tarea                                                                  | Duración (Horas) |
|------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Revisión de literatura sobre IoT                                       | 20               |
| Revisión de literatura sobre COVs                                      | 15               |
| Análisis de requisitos del sistema IoT concentrador de gases           | 10               |
| Diseño iterativo e impresión del modelo 3D de la caja del concentrador | 10               |
| Diseño de la base de datos del sistema IoT                             | 10               |
| Desarrollo del dispositivo IoT concentrador de gases                   | 80               |
| Desarrollo de la plataforma de visualización                           | 30               |
| Realización de pruebas del sistema IoT                                 | 15               |
| Corrección de errores                                                  | 15               |
| Redacción de la memoria                                                | 70               |
| <b>TOTAL</b>                                                           | <b>275</b>       |

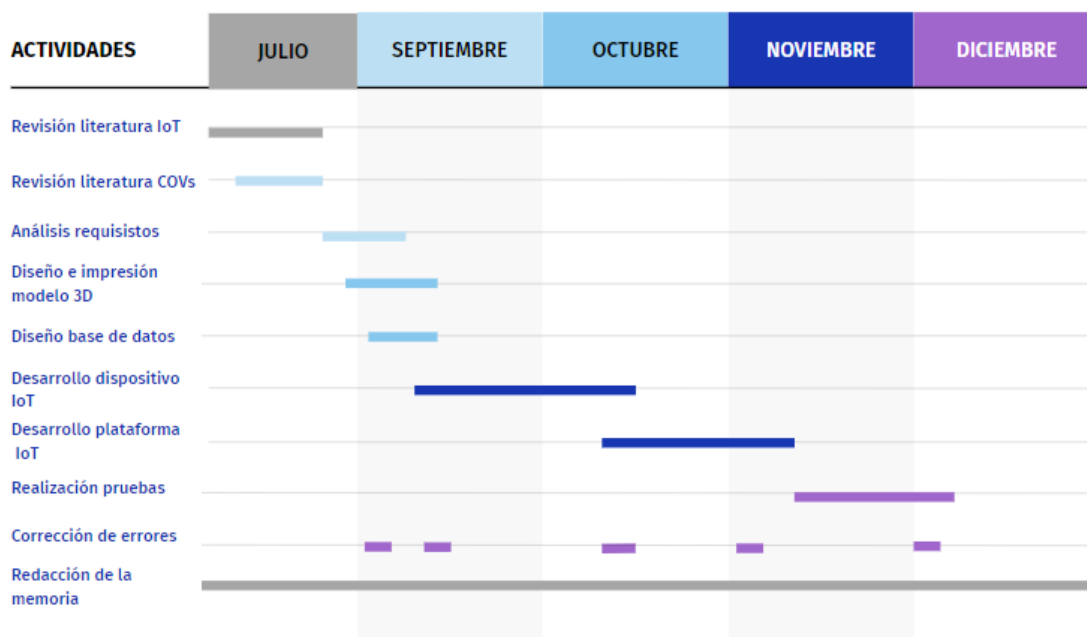
*Tabla 1. Planificación temporal del proyecto*

### 1.5.1 - Diagrama de Gantt

Es una herramienta de gestión dedicada a planificar y programar tareas a lo largo de un período de tiempo determinado en el desarrollo de un proyecto. Dicha herramienta permite realizar un seguimiento y control del progreso del proyecto en cada una de las etapas. Además, permite visualizar un gráfico de barras horizontal donde en el eje vertical se encuentra las actividades o tareas a realizar desde el comienzo hasta el final del proyecto. Mientras, en el eje horizontal, se encuentra el

período de tiempo exacto (*¿Qué Es Un Diagrama de Gantt y Para Qué Sirve? | OBS Business School*, n.d.).

Las herramientas de gestión facilitan la visualización de todas las actividades del proyecto, ayudando a tener una visión de la evolución de este a medida que se va actualizando. En la Ilustración 3 se muestra el diagrama de Gantt correspondiente a este proyecto.



*Ilustración 3. Diagrama de Gantt del proyecto*

## 1.6 - Estimación de los costes.

En este apartado se realiza una evaluación de los costes totales del desarrollo y la ejecución del proyecto. Se va a tener en cuenta tanto los costes directos como los costes indirectos.

### 1.6.1 - Costes de recursos humanos.

Los costes de recursos humanos se refieren al personal que es necesario para la realización del proyecto. Para calcular el coste asociado se debe tener en cuenta el tiempo empleado por cada trabajador y las tareas a realizar y así, finalmente, se determina su sueldo.

Un año laborable tiene períodos que no se pueden trabajar y que se deben de tener en cuenta para la estimación del coste de personal.

- Un mínimo de 30 días de vacaciones/año.
- 48 sábados/año y 48 domingo/año (excluidos los de las vacaciones).
- 14 festivos por año.

Como resultado se obtienen anualmente 255 días hábiles por trabajador o trabajadora. Se debe tener en cuenta que se supone que cada persona tiene una jornada de 8 horas laborales al día.

Los perfiles que se necesitan para realizar el proyecto son los siguientes:

- Jefe de proyectos
- Analista programador
- Programador

El coste de cada uno de ellos teniendo en cuenta la Seguridad Social se muestra en la Tabla 2:

| Concepto                          | Jefe de Proyectos | Analista Programador | Programador       |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Salario bruto mensual             | 2.454 €           | 1.998€               | 1.345€            |
| Pagas extras                      | 2                 | 2                    | 2                 |
| Base de cotización                | 2.863€            | 2.331€               | 1.569,17€         |
| Contingencias comunes: 23,60%     | 672,81€           | 550,12€              | 370,32€           |
| Desempleo: 5,5%                   | 157,47€           | 128,21€              | 86,30€            |
| Contingencias profesionales: 1,5% | 42,95€            | 34,97€               | 23,54€            |
| Formación profesional: 0,6%       | 17,18€            | 13,99€               | 9,42€             |
| Fogasa: 0,2%                      | 5,73€             | 4,66€                | 3,14€             |
| Total Seguridad Social            | 896,14€           | 731,95€              | 492,72€           |
| Total mensual                     | 3.350,14€         | 3.062,95€            | 1.837,72€         |
| Sueldo anual                      | 34.356€           | 27.972€              | 18.830€           |
| Seguridad Social anual            | 10.753,68€        | 8.783,4€             | 5.912,64€         |
| <b>Total anual</b>                | <b>45.109,68€</b> | <b>36.755,4€</b>     | <b>24.742,64€</b> |

*Tabla 2. Seguridad social*



**Jefe de proyectos** (*Salario de Un Jefe de Proyecto En España, n.d.*)

- Salario: 2.454 € mensuales brutos, con 2 pagas extraordinarias.
- Base de cotización:  $(2.454 \text{ €} \times 14) / 12 \rightarrow 2.863 \text{ €}$
- Gastos Seguridad Social  $\rightarrow 896,14 \text{ €}$ 
  - Contingencias comunes: 23,60%  $\rightarrow 672,81 \text{ €}$
  - Prestación por desempleo: 5,5%  $\rightarrow 157,47 \text{ €}$
  - Contingencias profesionales (programación, consultoría, y otras actividades relacionadas con la informática): 1,5%  $\rightarrow 42,95 \text{ €}$
  - Formación profesional: 0,60%  $\rightarrow 17,18 \text{ €}$
  - FOGASA: 0,20%  $\rightarrow 5,73 \text{ €}$
- Total mensual  $\rightarrow 3.350,14 \text{ €}$
- Sueldo  $\rightarrow 2.454 \text{ €} \times 14 \text{ pagas} \rightarrow 34.356 \text{ €}$
- Seguridad Social  $\rightarrow 896,14 \text{ €} \times 12 \rightarrow 10.753,68 \text{ €}$

**Analista programador** (*Salario de Un Comercial En España, 2021*)

- Salario: 1.998 € mensuales brutos, con 2 pagas extraordinarias.
- Base de cotización:  $(1.998 \text{ €} \times 14) / 12 \rightarrow 2.331 \text{ €}$
- Gastos Seguridad Social  $\rightarrow 731,95 \text{ €}$ 
  - Contingencias comunes: 23,60%  $\rightarrow 550,12 \text{ €}$
  - Prestación por desempleo: 5,5%  $\rightarrow 128,21 \text{ €}$
  - Contingencias profesionales (programación, consultoría, y otras actividades relacionadas con la informática): 1,5%  $\rightarrow 34,97 \text{ €}$
  - Formación profesional: 0,60%  $\rightarrow 13,99 \text{ €}$
  - FOGASA: 0,20%  $\rightarrow 4,66 \text{ €}$
- Total mensual  $\rightarrow 3.062,95 \text{ €}$
- Sueldo  $\rightarrow 1.998 \text{ €} \times 14 \text{ pagas} \rightarrow 27.972 \text{ €}$
- Seguridad Social  $\rightarrow 731,95 \text{ €} \times 12 \rightarrow 8.783,4 \text{ €}$

**Programador** (indeed, 2021)

- Salario: 1.345€ mensuales brutos, con 2 pagas extraordinarias.
- Base de cotización:  $(1.345 \text{ €} \times 14) / 12 \rightarrow 1.569,17\text{€}$
- Gastos Seguridad Social  $\rightarrow 492,72\text{€}$ 
  - Contingencias comunes: 23,60%  $\rightarrow 370,32\text{€}$
  - Prestación por desempleo: 5,5%  $\rightarrow 86,30\text{€}$
  - Contingencias profesionales (programación, consultoría, y otras actividades relacionadas con la informática): 1,5%  $\rightarrow 23,54\text{€}$
  - Formación profesional: 0,60%  $\rightarrow 9,42\text{€}$
  - FOGASA: 0,20%  $\rightarrow 3,14\text{€}$
- Total mensual  $\rightarrow 1.837,72\text{€}$
- Sueldo  $\rightarrow 1.345 \text{ €} \times 14 \text{ pagas} \rightarrow 18.830\text{€}$
- Seguridad Social  $\rightarrow 492,72\text{€} \times 12 \rightarrow 5.912,64\text{€}$

| Puesto de trabajo    | Coste/<br>anual | Tiempo                  | Coste total       |
|----------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| Jefe de proyecto 1   | 45.109,68€      | 4 meses/ tiempo parcial | 7.518,28€         |
| Jefe de proyecto 2   | 45.109,68€      | 4 meses/ tiempo parcial | 7.518,28€         |
| Analista programador | 36.755,4€       | 4 meses/ tiempo parcial | 6.125,9€          |
| Programador          | 24.742,64€      | 4 meses                 | 8.247,55€         |
|                      |                 | <b>TOTAL</b>            | <b>29.410,01€</b> |

**Tabla 3. Costes humanos**

### 1.6.2 - Costes de hardware y software.

En este apartado se muestran los costes de hardware y software necesarios para el desarrollo del proyecto.

| Hardware                    | Cantidad | Precio Unitario |
|-----------------------------|----------|-----------------|
| ESP8266                     | 1        | 8,47€           |
| Protoboard desarrollo       | 1        | 4,49€           |
| Raspberry Pi Model 4        | 1        | 61,61€          |
| Cables                      | 40       | 0,1€            |
| Protoboard de soldadura     | 1        | 5€              |
| Zócalo pines macho          | 1        | 0,1€            |
| Zócalo pines hembra         | 1        | 0,1€            |
| Resistencias                | 3        | 0,1€            |
| Sensor gas MQ-135           | 1        | 4,99€           |
| Ventilador Noctua           | 1        | 14,9€           |
| Boquillas                   | 20       | 0,2€            |
| Tubo silicona               | 1        | 8,84€           |
| Masilla                     | 1        | 0,75€           |
| Racord simple               | 1        | 10,99€          |
| Racord con control de flujo | 2        | 12,37€          |
| Tornillos                   | 4        | 0,14€           |
| Tuercas                     | 4        | 0,04€           |
| Manguito                    | 4        | 2,36€           |
| <b>TOTAL</b>                |          | <b>159,84€</b>  |

*Tabla 4. Costes hardware.*

| Software                           | Cantidad     | Precio Unitario |
|------------------------------------|--------------|-----------------|
| IDE Arduino                        | 1            | 0€              |
| Librería sensor MQ                 | 1            | 0€              |
| PyCharm Community                  | 1            | 0€              |
| Python 3.6.9 y librerías de Python | 1            | 0€              |
| Catia licencia estudiante          | 1            | 0€              |
| MongoDB                            | 1            | 0€              |
| MongoDB Compass                    | 1            | 0€              |
| Home Assistant                     | 1            | 0€              |
| Ultimaker Cura                     | 1            | 0€              |
|                                    | <b>TOTAL</b> | <b>0€</b>       |

**Tabla 5. Costes software.**

El software que se ha utilizado es de libre distribución. Entre las ventajas del software de libre distribución se pueden encontrar: (*Las 10 Ventajas Del Software Libre - El Salmón Contracorriente*, n.d.)

1. Garantizar la protección de datos personales al tener acceso al código fuente del programa y poder ser modificado.
2. Garantizar de perdurabilidad de las aplicaciones, ya que el software perteneciente a fuentes abiertas favorece que se pueda retomar el desarrollo de esa aplicación.
3. Optimizar de inversión, pues al ser mucho más barato se puede afrontar una actualización o instalación masiva.
4. Permitir la interoperabilidad entre sistemas, facilitando la implementación de servicios electrónicos y su accesibilidad.
5. Permitir la independencia tecnología al no depender del fabricante del software.
6. Evitar los perjuicios de propiedad intelectual del software.
7. Diversificar la prestación técnica y los servicios de mantenimiento con muchas más ofertas de distintas empresas.

8. Permitir la traducción a otros idiomas al poder acceder al código fuente del programa.
9. Optimizar la calidad de los programas o aplicaciones al tener acceso al código fuente.

### 1.6.3 - Costes indirectos.

En este apartado se incluyen los costes indirectos derivados de servicios necesarios para el desarrollo del proyecto por período.

| Servicios                                                         | Coste/mes | Tiempo de uso | Coste total |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|---------------|-------------|
| Internet                                                          | 80€       | 4 meses       | 320€        |
| Gastos de contingencias (luz, agua..)                             | 100€      | 4 meses       | 400€        |
| Material fungible (filamento de impresora, pegamento, soldador..) | 70€       | 2 meses       | 140€        |
|                                                                   |           | <b>TOTAL</b>  | <b>860€</b> |

*Tabla 6. Costes adicionales*

### 1.6.4 - Costes totales.

Para poder calcular el coste total se añade un beneficio estimado del 6%.

| Tipo de coste           | Coste total       |
|-------------------------|-------------------|
| Costes recursos humanos | 29.410,01€        |
| Costes hardware         | 159,84€           |
| Costes software         | 0€                |
| Costes indirectos       | 860€              |
| <b>Total de costes</b>  | <b>30.429,85€</b> |
| Beneficio (6%)          | 1.825,79€         |
| <b>TOTAL</b>            | <b>32.255,64€</b> |

*Tabla 7. Costes totales.*

## 1.7 - Metodología.

En este apartado se muestra las diferentes metodologías que existen y cuál es la que se ha seleccionado para llevar a cabo en este TFM.

### 1.7.1 - Revisión de las metodologías.

La revisión de metodologías que se va a llevar a cabo en este apartado abarca las principales metodologías existentes para el desarrollo en general de la actual industria 4.0 (*Lo Que Nadie Te Explica Sobre Agile - ActioGlobal*, n.d.). A continuación, se detallan cada una de ellas.

*Modelo en cascada (Carranza, 2021)*

El modelo en cascada divide en sucesivas etapas del desarrollo de un proyecto. Siendo cada etapa dependiente de la anterior, es decir, no se podría comenzar la etapa segunda sin antes haber finalizado la primera. Además, antes de concluir una etapa se debe comprobar que todo el funcionamiento sea correcto, de esta forma se depuran errores antes de seguir avanzando.

Las etapas del modelo en cascada son:

- Análisis: Preparación y determinación de los requisitos.
- Diseño. Organización de la estructura y relación de los elementos entre sí.
- Implementación. Programación y pruebas para depurar errores.
- Verificación. Prueba del sistema y análisis para comprobar que cumple todos los objetivos.
- Mantenimiento. Mantenimiento y posibles mejoras.



*Ilustración 4. Diagrama del modelo en cascada* (Carranza, 2021)

Entre las ventajas de este modelo se puede destacar la claridad con la que se muestran los objetivos desde el principio del proyecto y la facilidad para identificar un error y poder depurarlo.

Entre sus desventajas, la dificultad de dividir en etapas algunos de los proyectos y, en ocasiones, los errores se identifican ya finalizado el proyecto.

#### Modelo incremental (Perez, 2016)

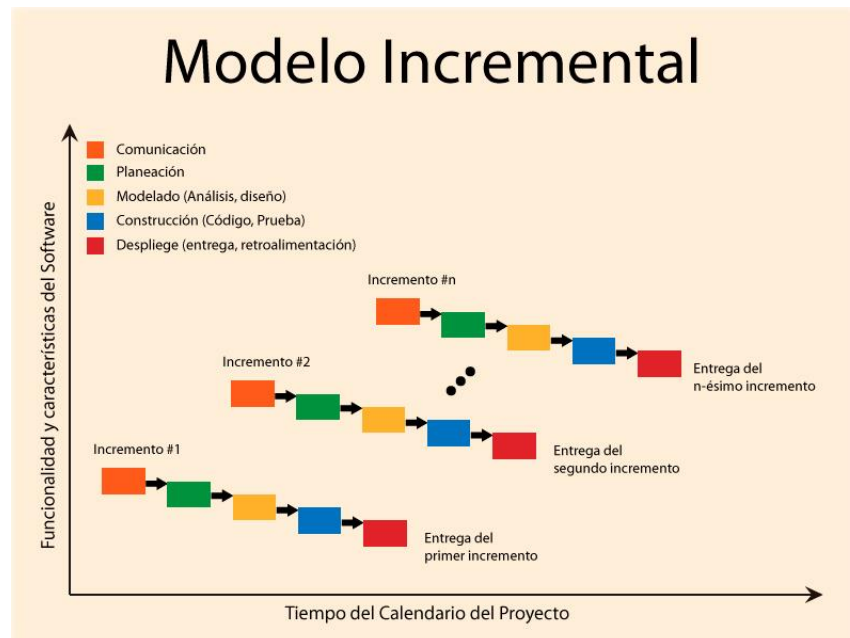
En el modelo incremental el proyecto va creciendo a medida que se van realizando las entregas concretadas hasta que se ajusta a lo deseado por el cliente. El producto debe ir evolucionando con respecto a la entrega anteriormente concretada.

Las fases del modelo incremental son:

- **Requerimientos:** son las especificaciones del proyecto.
- **Definición de las tareas y las iteraciones:** Teniendo en cuenta las diferentes especificaciones, se agrupan por etapas que serán las diferentes iteraciones que tendrá el proyecto.
- **Diseño de los incrementos:** Se especifica la evolución del producto en cada una de las etapas anteriormente mencionadas. Superando así cada etapa la anterior.
- **Desarrollo del incremento:** Se desarrolla las etapas previstas y los incrementos establecidos previamente.

- Validación de incrementos: Al finalizar cada iteración se comprueba que los incrementos han sido los esperados sino se debe retroceder y buscar el por qué no se han realizado correctamente.
- Integración de incrementos: Una vez que se han validado los incrementos se forma la llamada evolución de proyecto.
- Entrega del producto: Cuando el producto en total es validado y se corresponde con las especificaciones iniciales.

Como ventaja con respecto al modelo de cascada anteriormente mencionado proporcionar al cliente la oportunidad de poder testear prototipos reduciendo el riesgo de error y permitiendo realizar cambios en los requisitos.



**Ilustración 5. Diagrama del modelo incremental** (Marlady Ortiz, 2012)

Desarrollo ágil de software(Evaluando software, n.d.)

Todas las metodologías de desarrollo ágil tienen en común características como el desarrollo iterativo y una visión en la interacción, la comunicación y la reducción de medios intermedios que consumen demasiados recursos. A continuación, se detallan algunas de ellas.

#### *Extreme programming (XP)*

Metodología centra en el desarrollo en vez de gestión de proyectos. Divide el proyecto en varias iteraciones que finalizan con pruebas de aceptación por parte del usuario. Los roles que se pueden encontrar son:



- Cliente: Considerado parte del equipo se encarga de marcar la prioridad de los ámbitos parciales.
- Desarrollador: Todas las personas implicadas en la creación.
- Director: Se encarga de la comunicación entre los desarrolladores y los clientes.
- Coach: Se encarga de instruir a todo el equipo, incluido el cliente. Se puede encontrar en todas las fases del proyecto ayudando a resolver dudas.

*Scrum* (Evaluando software, n.d.)

Esta metodología a diferencia de XP incluye tanto los proyectos de gestión como el desarrollo. Se trata de entregas parciales o regulares del producto final, normalmente utilizada en entornos complejos donde es necesario obtener resultados rápidos. Principalmente está compuesta por:

- Planificación de la iteración
- Ejecución
- Cierre de la iteración (demostración y retrospectiva).

Como ventajas de esta metodología destacar su flexibilidad, sus mecanismos de control en la planificación del lanzamiento del producto que proporcionan la oportunidad de cambiar el proyecto y los entregables, pudiendo así entregar la versión más idónea.

### 1.7.2 - Elección de la metodología.

Una vez que se han revisado las metodologías a tener en cuenta en el desarrollo de un proyecto. En este particular caso, se ha optado por el modelo incremental. Debido a que esta metodología permite implementar la funcionalidad parcial, incorporando en etapas intermedias la corrección de errores o retroalimentación. De este modo, se obtiene un mayor control sobre el desarrollo del proyecto, situación que ha primado en el desarrollo del mismo.

## 2 - DISEÑO

En este apartado se presenta el diseño del sistema IoT concentrador de gases de bajo coste que se propone para este TFM.

Para ello, en primer lugar, se describirá la arquitectura de este sistema IoT, los dispositivos, placas de desarrollo, actuadores y sensores necesarios para su diseño, al igual que las claves para el diseño del prototipo 3D de la caja concentradora.

### 2.1 - Arquitectura del sistema IoT.

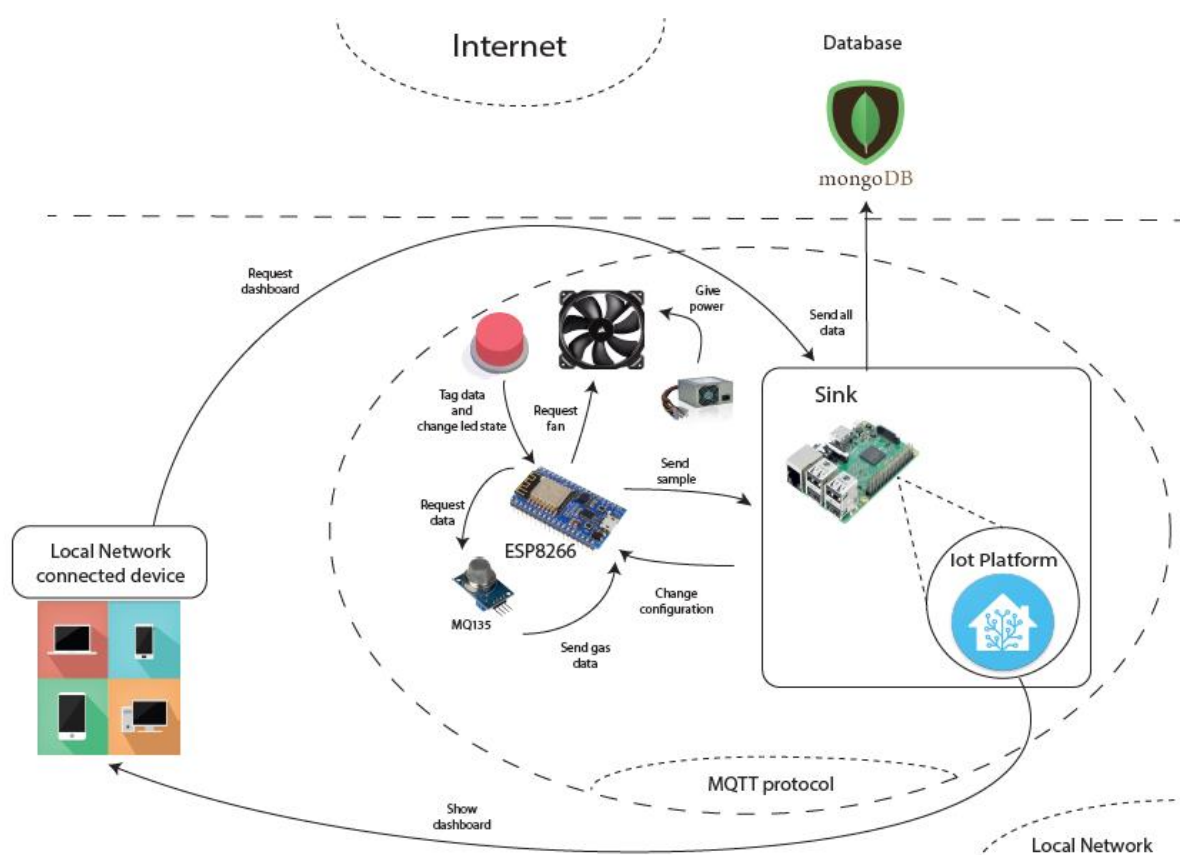
En este apartado se presenta la arquitectura y los componentes del sistema IoT concentrador de gases.

El diseño del sistema IoT está compuesto por los siguientes elementos:

- **Sensor de gas MQ-X**, es el sensor encargado de medir, los componentes presentes en las muestras de aire. Como ejemplo, se ha usado el MQ-135 que recoge en este caso NH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, alcohol y acetona.
- **NodeMcu Lolin V3 (ESP8266)**, es la placa de desarrollo encargada de recoger los datos desde el sensor de gas MQ-X y enviarlos al sumidero de datos mediante el protocolo MQTT.
- **Raspberry Pi**, su función es ser el sumidero de datos, una vez recibe los datos, los inserta en la base de datos para realizar la persistencia de los datos. También, se encuentra alojada la plataforma IoT.
- **Botón**, es el actuador encargado de realizar el etiquetado del inicio y fin de la recolección de las muestras de aire.
- **Concentrador**, es el prototipo 3D que se ha diseñado y fabricado encargado de realizar la concentración de las muestras.
- **Ventilador Noctua NF-P12**, es el encargado de generar el flujo para realizar la concentración en el habitáculo donde se encuentra el sensor encargado de realizar la medición.
- **Fuente de alimentación de 12V**, para la alimentación externa del ventilador.

- **Base de datos (Mongo DB)**, es el almacén de los datos que provienen de la ESP8266, para su posterior análisis.
- **Plataforma de recolección de datos IoT (Home Assistant)**, permite la visualización de los datos procedentes de la ESP8266, como puede ser las medidas del sensor de gas.

En la Ilustración 6 se muestra el esquema de la arquitectura del sistema y como se integran los diferentes elementos que la componen y la interacción entre los mismos.



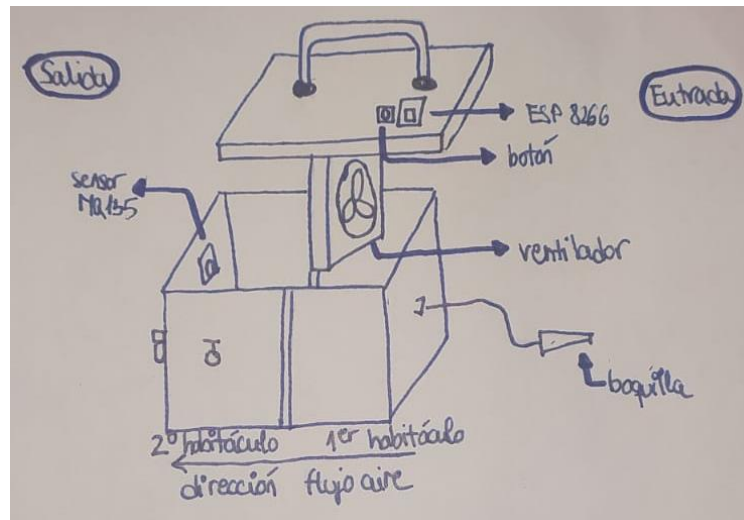
**Ilustración 6. Esquema del sistema**

De manera que al iniciar la placa de desarrollo ESP8266 se realiza una limpieza de la caja, encendiendo el ventilador, mientras el sensor MQ135 se calienta.

A continuación, se realiza la conexión Wi-Fi y MQTT desde las placas de desarrollo ESP8266 y Raspberry Pi (el nodo sumidero central, sink). A la misma vez, la Raspberry Pi realiza, por una parte, la conexión con el servidor cloud, MongoDB (database), donde se almacenan los datos enviados desde la ESP8266 y realiza la

persistencia de éstos y, por otra parte, la conexión con Home Assistant (plataforma IoT) para la visualización de los datos enviados desde la ESP8266.

A partir de este momento, si el botón se ha pulsado, se enciende el led de la ESP8266 indicando que la recolección de estas muestras serán etiquetadas como parte del soplado del usuario. Posteriormente, si el botón se vuelve a pulsar, el led de la ESP8266 se apaga indicando que la recolección de estas muestras serán etiquetadas como parte del no soplado del usuario.



**Ilustración 7. Dibujo caja para el concentrador**

La caja para el concentrador de gases se encuentra dividida en dos habitáculos por el ventilador (Ilustración 7). Y el flujo generado realiza el siguiente camino:

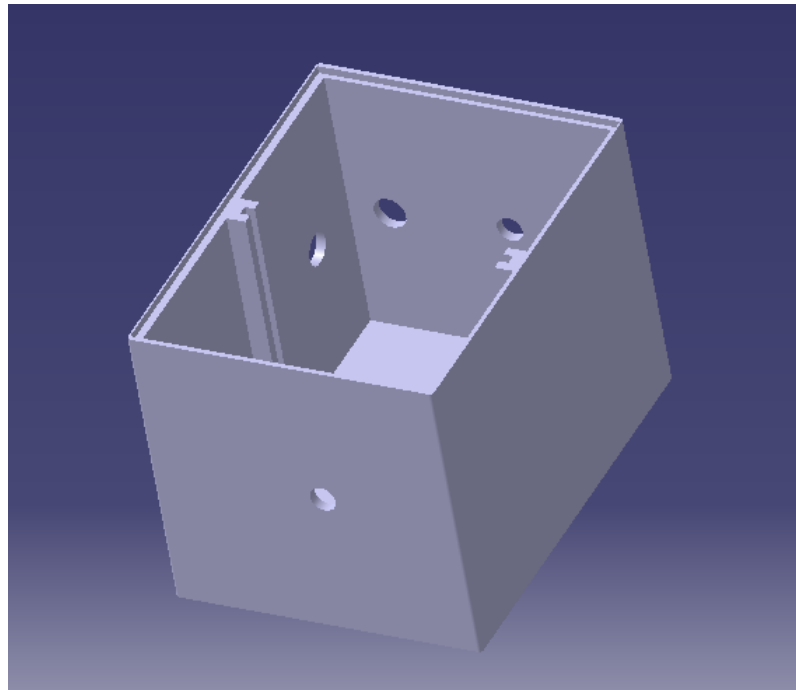
- El aire, que viaja a través de la boquilla, es expulsado en el primer habitáculo.
- El ventilador, que se encuentra alojado en la tapa que realiza la división, es el encargado de generar un flujo para transportar el aire del primer habitáculo hacia el segundo habitáculo.
- En el segundo habitáculo y, gracias al flujo generado por el ventilador, se realiza la concentración de los cuerpos gaseosos.

## 2.2 - Diseño del modelo 3D

Para el diseño del sistema concentrador IoT de gases se ha realizado un prototipo en impresión 3D. La impresión 3D permite crear y diseñar objetos

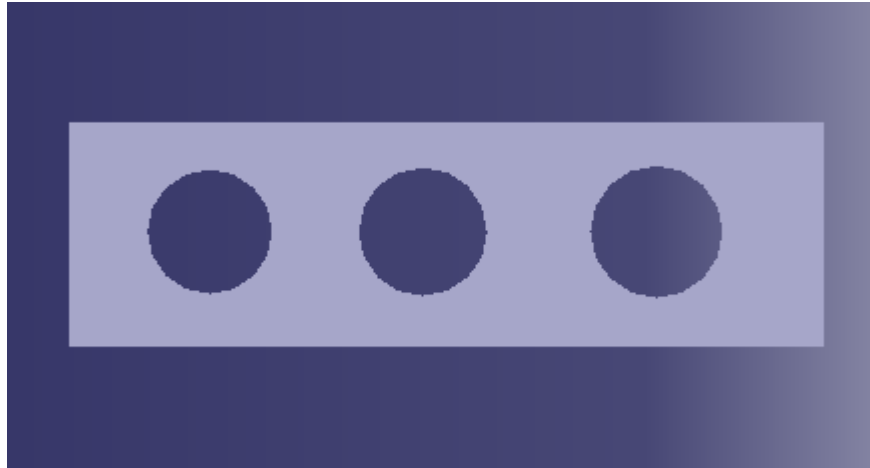
tridimensionales para diferentes propósitos de forma ágil, habiendo generado una revolución en el sector de la ingeniería debido al bajo coste de su impresión.

El diseño 3D de la caja concentradora fue realizado en CATIA (*CAD Product Design and Engineering Cloud Solutions | Dassault Systèmes, n.d.*)- En la Universidad de Jaén por ser estudiante disponemos de licencia gratuita de esta aplicación. Esta aplicación permite diseñar modelos y exportarlo a formato STL (Standard Tessellation Language) que es el utilizado por las herramientas de impresión 3D. Es un software de diseño 3D muy potente utilizado en la industria sobre todo en automoción. Como se muestran en las siguientes ilustraciones (Ilustración 8, Ilustración 10, Ilustración 11), la caja fue diseñada con una tapa donde se incorpora el ventilador y divide la caja en dos habitáculos.



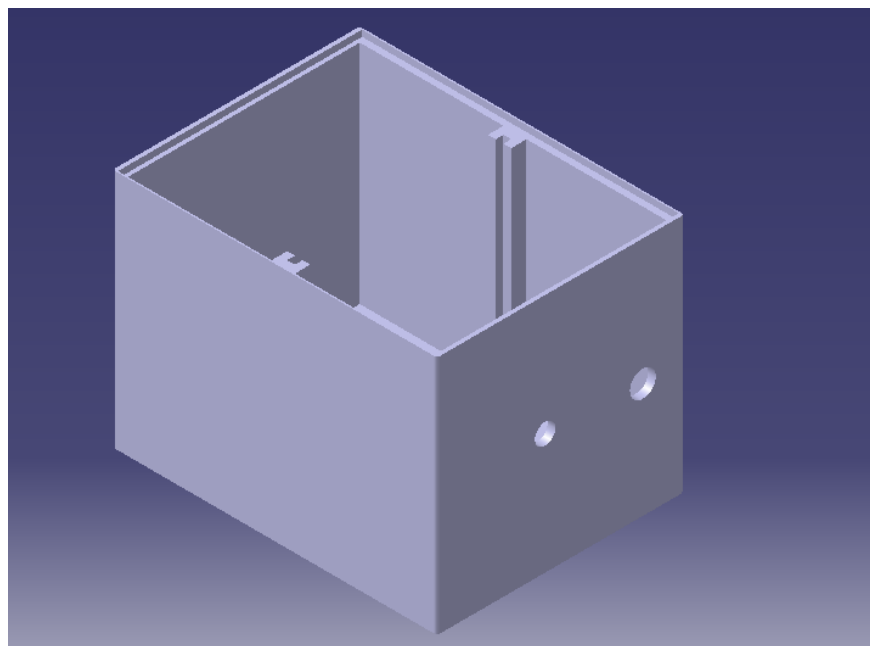
***Ilustración 8. Caja Base desde el perfil izquierdo***

Para el diseño de los diferentes orificios donde se han ido acoplando los racores se ha realizado una pequeña prueba. Se diseñó un rectángulo con los diámetros y sus tolerancias para probar cuál era el que mejor se ajustaba así intentar desaprovechar el menor material posible (Ilustración 9).



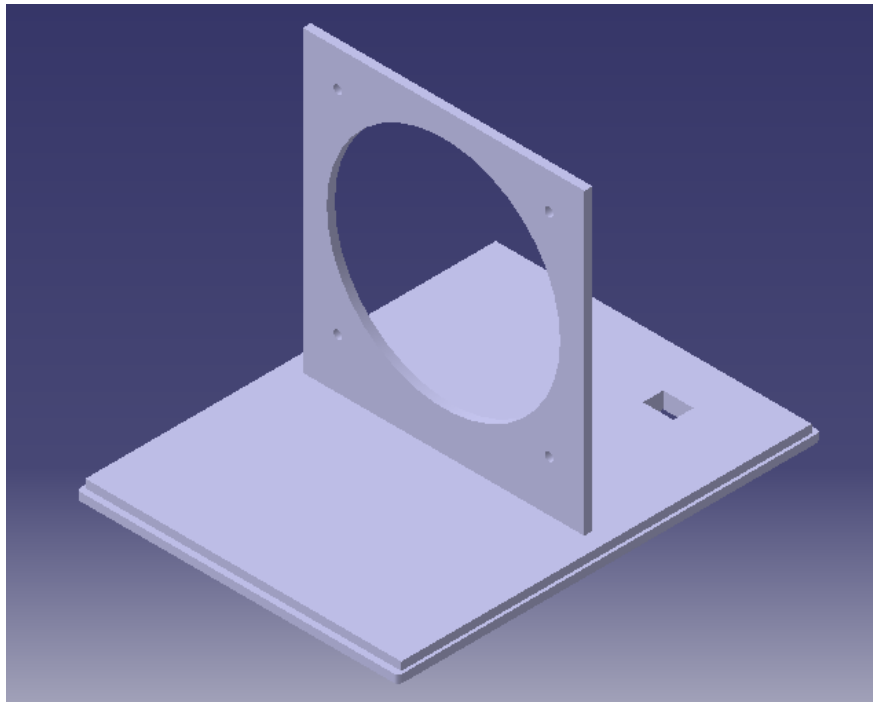
***Ilustración 9. Pruebas de diámetros 16.5 mm, 17 mm, 17.5 mm***

Definitivamente, las medidas escogidas para el racor sin control de flujo fue un diámetro de 13.5mm y para el racor de control de flujo un diámetro de 17mm (los croquis detallados a fondo se encuentran en el Apartado Croquis del prototipo de caja 3D)



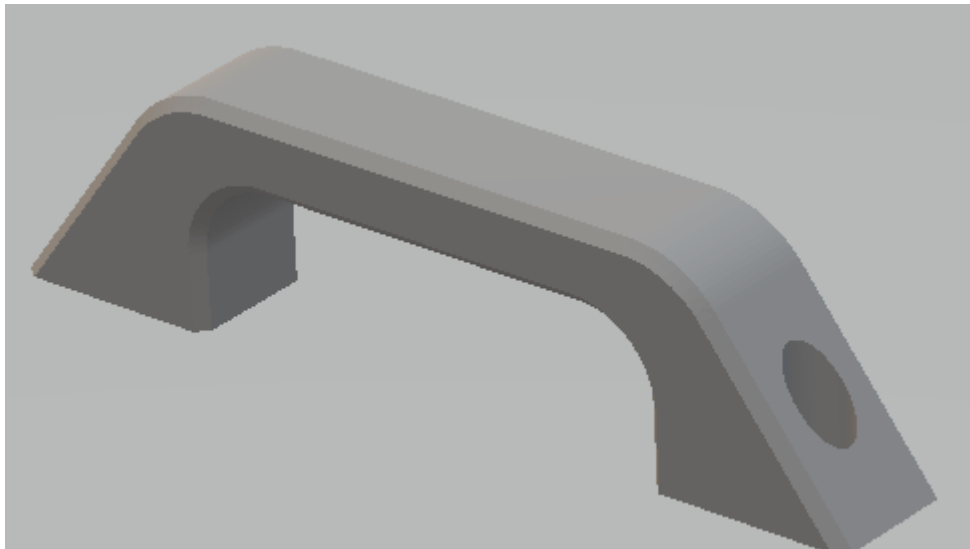
***Ilustración 10. Caja Base desde el perfil derecho***

De igual manera se realizó una pequeña muestra para el carril que divide la caja y por el que se introduce la tapa con la finalidad de tampoco desaprovechar mucho material.



*Ilustración 11. Tapa de la caja*

En el diseño se tuvo en cuenta que la caja debía ser lo más hermética posible, ajustando al máximo las medidas de las piezas de unión. En busca de que fuera más ergonómica se buscó un mango para acoplarlo a la tapa y de esta forma poder cerrar y abrir la tapa con mayor comodidad.



*Ilustración 12. Mango de la caja*

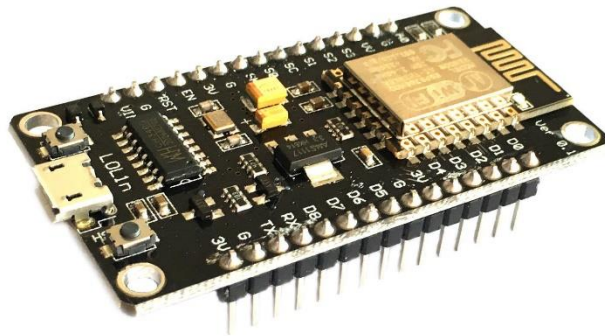
## 2.3 - Diseño hardware.

En este apartado se muestra todos los componentes que se han tenido en cuenta para el diseño hardware del prototipo de sistema IoT concentrador de gases.

### 2.3.1 - Placas de desarrollo.

- **Placa de desarrollo NodeMcu Lolin V3** (Make-It.ca, 2020).

Se trata de una versión mejorada de la NodeMcu Amica V2, como ventaja y mejora con respecto a la versión anterior, dispone de un pin VUSB, el cual es capaz de proporcionar una tensión de salida de 5V. Y es por esta novedad por lo que se ha elegido esta versión pues este pin VUSB va a ser el encargado de alimentar a el sensor de gas MQ.



*Ilustración 13. Placa de desarrollo NodeMcu Lolin V3 (NodeMcu V3 Lua ESP8266 ESP12E Wifi CH340 » IBEROBOTICS, n.d.)*

Otras ventajas que se deben tener en cuenta sobre esta placa y que han sido útiles para el desarrollo del prototipo:

1. Incorpora un módulo ESP12 basado en el chip ESP8266. Con una CPU a 80MHz por defecto que pueden ampliarse a 160MHz.
2. Los pines GPIO (General Purpose Input/Output) tienen diferentes funciones pudiendo ser programados como analógicos, digitales, etc.
3. Pin convertidor analógico-digital (ADC) de 10 bits de resolución con una entrada de 0-3.3V gracias al ya incorporado regulador interno.
4. Conversor Serie-USB que permite una fácil alimentación de placa de desarrollo mediante USB.



5. Memoria flash 4MB.
  6. Wi-Fi 802.11 b/g/n a 2.4GHz.
  7. Incorpora un led de estado que también se puede programar.
- **Placa de desarrollo Raspberry Pi 4 Model B** (*Buy a Raspberry Pi 4 Model B – Raspberry Pi, n.d.*)

Se trata de un microcontrolador con mayor capacidad de cómputo que una ESP8266. Además, permite la instalación de un sistema operativo, en nuestro caso se ha utilizado la versión Lite que no dispone de entorno gráfico y la hace más rápida.



*Ilustración 14. Placa de desarrollo Raspberry Pi 4 Model B (MSRobotics - Raspberry PI 4, n.d.)*

Algunas de sus otras ventajas que tiene esta placa de desarrollo y han sido clave para su elección son:

1. Incorpora un procesador de 64-bit quad-core Cortex-A72
2. Dispone de 4 GB de RAM en el modelo escogido para este proyecto ya que esto se puede elegir al realizar la compra.
3. Wi-Fi 802.11 b/g/n/ac.
4. Bluetooth 5.0.
5. Puerto Ethernet.
6. 4 puertos USB, dos de 3.0 y dos de 2.0.

### 2.3.2 - Sensor

- **Sensor de gas MQ135** (*MSRobotics - Raspberry PI 4, n.d.*).

Este sensor de tipo MOS es sensible a gases como  $\text{NH}_4$ , alcohol,  $\text{CO}_2$ , CO entre otros y es recomendado para detectar la calidad del aire, por ejemplo, en oficinas.

En este proyecto se van a recolectar medidas de  $\text{NH}_4$ , alcohol,  $\text{CO}_2$ , CO y acetona.

- La alta presencia de  $\text{CO}_2$  puede indicar enfermedades pulmonares o trastornos hormonales, de las glándulas suprarrenales o de los riñones (*Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) En La Sangre: Prueba de Laboratorio de MedlinePlus*, n.d.).
- La alta presencia de CO puede indicar poca capacidad de transportar oxígeno, dificultad respiratoria o colapso entre otros (*MurciaSalud, El Portal Sanitario de La Región de Murcia. Contaminantes Del Aire: Monóxido de Carbono*, n.d.).
- La alta presencia de  $\text{NH}_4$  puede derivar en enfermedad hepática o insuficiencia renal (*Amonio | Lab Tests Online-ES*, n.d.).
- La alta presencia de acetona puede indicar cetoacidosis diabética (*Prueba de Cetonas En Sangre: Prueba de Laboratorio de MedlinePlus*, n.d.).

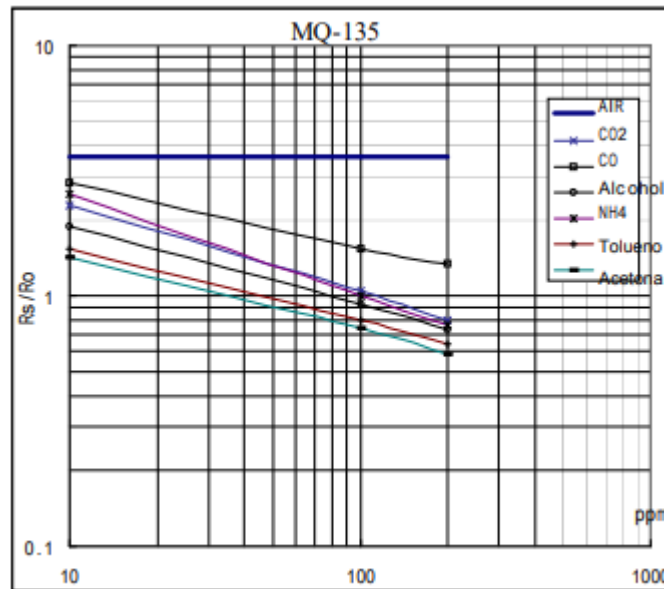
Entre las ventajas del sensor MQ135 se encuentra su bajo consumo con una corriente de operación de 150 mA y en la etapa de precalentamiento una potencia de consumo de 800mW en la etapa de precalentamiento.



**Ilustración 15. Sensor de gas MQ135** (*Mq-135-Gas-Sensor.Jpg* (1350×1350), n.d.)

En este proyecto servirá para recoger medidas de las muestras procedentes del aire exhalado de múltiples personas en diferentes períodos de tiempos para su

posterior análisis y monitorización. Según la gráfica de sensibilidad extraída de la hoja de características, Ilustración 16, se puede observar que el rango de medición de este sensor es de 10 partes por millón (ppm) a 100 ppm.

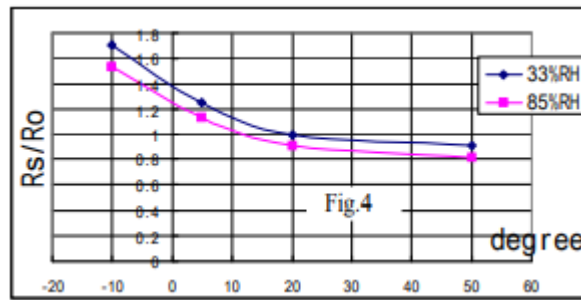


**Ilustración 16. Gráfica de sensibilidad del MQ135 a los distintos gases**

Además gracias a esta gráfica de la Ilustración 16, se puede obtener el valor aproximado de ppm en función de la relación de resistencias  $R_s/R_o$ .

La relación de resistencias  $R_s/R_o$  se refiere a la relación entre la resistencia interna del sensor ( $R_s$ ) y el valor de la resistencia del sensor cuando se expone a una concentración estimada del gas en cuestión a calibrar ( $R_o$ ), por ejemplo, para la gráfica de la Ilustración 16, el valor de  $R_o$  sería equivalente para 100 ppm de  $\text{NH}_3$  en aire limpio. Siempre  $R_o$  es un valor calculado en el laboratorio y va a ser diferente para cada sensor.

También se debe tener en cuenta las variables temperatura y humedad que ambas afectan al comportamiento del sensor como bien se muestra en la Ilustración 17.



**Ilustración 17. Dependencia de las medidas del sensor MQ135 en función de las variables temperatura y humedad.**

Finalmente, una consideración a tener en cuenta es el tiempo de precalentamiento, anteriormente mencionado, a partir del cual el sensor comienza a realizar las mediciones correctas. Este tiempo es de unas 24 horas si es la primera vez que se utiliza el sensor MQ135. En los siguientes usos solo será necesario unos 20 segundos para obtener una medida estable.

Para realizar la recogida de datos de manera efectiva se debe tener en cuenta que, en la antes placa de desarrollo NodeMcu Lolin V3, el pin ADC solo permite un rango de medida de 0-3.3V. Sin embargo, la señal analógica que emite el pin del sensor MQ135 es de un rango de 0-5V, por tanto, se necesita adaptar la señal antes de introducirla al pin ADC de la placa NodeMcu Lolin V3. Para solucionar este problema, se ha realizado un divisor de tensión que divide la tensión de entrada de 5V a 3.3V.

A continuación se muestran las indicaciones que se han seguido para adecuar las muestras desde el rango de 0-5V hacia el rango de 0-3.3V que permite la placa de desarrollo NodeMcu Lolin V3:

1. Sabiendo que la fórmula básica de la ley de Ohm es

$$V = R * I \quad (2.1)$$

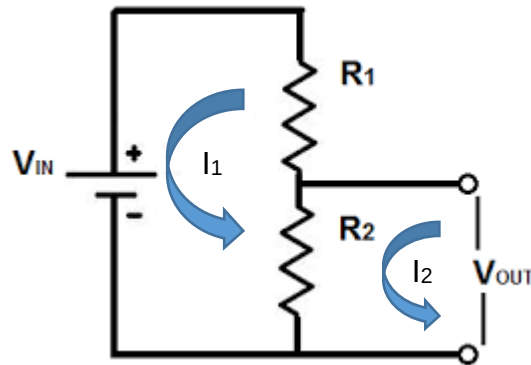
Donde:

- V es la tensión y se mide en voltios (V).
- R es la resistencia eléctrica y se mide en ohmios ( $\Omega$ ).
- I es la intensidad de corriente y se mide en amperios (A).

2. Y teniendo en cuenta el circuito divisor de tensión (Ilustración 18).

Donde:

- $V_{in}$ , es el voltaje de entrada que se pretende cambiar, en este caso 5V.
- $V_{out}$ , es el voltaje de salida que se desea, en este caso 3.3V.
- $R_1$  y  $R_2$  serán las resistencias a modelar para realizar el divisor de tensión y sus valores son las incógnitas a resolver.



*Ilustración 18. Circuito divisor de tensión.*

3. Teniendo en cuenta la primera malla se puede obtener la  $I_1$ , como:

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

4. Teniendo en cuenta la segunda malla se puede obtener la  $I_2$ , como:

$$I_2 = \frac{V_{out}}{R_2} \quad (2.3)$$

5. Sabiendo que la intensidad en la primera malla ( $I_1$ ) es igual a la intensidad de la segunda malla ( $I_2$ ).

$$\frac{V_{in}}{R_1 + R_2} = \frac{V_{out}}{R_2} \quad (2.4)$$

6. Por tanto, se fija en  $R_1$  un valor adecuado como es 10k $\Omega$ , que no tenga ni muy alta ni baja impedancia. Y se resuelve el valor de  $R_2$ .

$$\frac{V_{in}}{R_1+R_2} = \frac{V_{out}}{R_2} \rightarrow R_2 = \frac{R_1 \cdot V_{out}}{V_{in}-V_{out}} = \frac{10k \cdot 3.3}{5-3.3} = 20k\Omega \quad (2.5)$$

### 2.3.3 - Actuadores.

- **Ventilador Noctua NF-P12** (NF-P12 || Service, n.d.).

Este ventilador permite dentro del sistema IoT concentrador de gases generar una corriente de aire forzada. De esta forma, se dirige el aire exhalado de la muestra hacia el habitáculo donde se encuentra el sensor de gas MQ135, creando una mayor concentración y dando tiempo al sensor para poder realizar una medida adecuada.



*Ilustración 19. Ventilador Noctua NF-P12 (ImagenGrande1.Jpg (510×510), n.d.)*

La elección de este ventilador viene justificada por su velocidad puesto que es capaz de realizar 1.700 revoluciones por minuto (rpm) siendo el coste de este ventilador no muy elevado, alrededor de 15€. Dicho ventilador, consta de los siguientes 4 pines:

- Pin de color amarillo, responsable de la tensión de alimentación a 12V del ventilador. Es por ello que se debe considerar en nuestro diseño una fuente de alimentación externa a 12V.
- Pin de color negro, corresponde con la tierra.
- Pin de color azul, corresponde con la señal PWM (Pulse Width Modulation), y cuya función es mandar desde la placa de desarrollo ESP8266 la consigna para establecer velocidad la velocidad deseada en el ventilador.

- Pin de color verde, cuya función es la de recoger la señal RMP, es decir, la medida de velocidad del ventilador correspondiente en ese instante. Este pin es muy útil para comprobar que se realiza correctamente el envío de la consigna de velocidad desde placa de desarrollo hacia el ventilador.

- **Botón.**

Este pulsador o botón interruptor es el encargado de etiquetar en nuestros datos de la base de datos las medidas pertenecientes a los instantes en los que se está realizando la expulsión de aire exhalado del usuario en el sistema IoT concentrador del proyecto.



***Ilustración 20. Botón interruptor** (Color-Interruptor-Rojo-de-5-Piezas-Interruptor-de-Boton-Tactil-Para-Arduino-Pulsador-Momentaneo-de-12x12x73-Mm-Con-Tapa.jpg (222×278), n.d.)*

Para ello, si el usuario comienza la expulsión de aire exhalado, el botón se debe pulsar, por tanto, el led de la ESP8266 se enciende indicando que se comienzan a etiquetar las muestras de la recolección como parte del soplado del usuario. Cuando el usuario finaliza la expulsión de aire exhalado, el botón se debe volver a pulsar, por tanto, el led de la ESP8266 se apaga indicando que se terminan de etiquetar las muestras de la recolección como parte del soplado del usuario.

### 2.3.4 - Otros

Para el diseño del concentrador han sido necesarios otras piezas mecánicas para su completa construcción.

- **Racor**

Este racor permite realizar las conexiones a la entrada y la salida de la caja concentradora sin pérdida de flujo de aire.



**Ilustración 21. Racor** (Racor Autom.Recto Conico m 50000 8 1/8 - Ferretería Aubert, n.d.)

- **Válvula**

Esta válvula de control de flujo se ha añadido con la finalidad de poder realizar la limpieza y vaciado de la caja concentradora de gases.

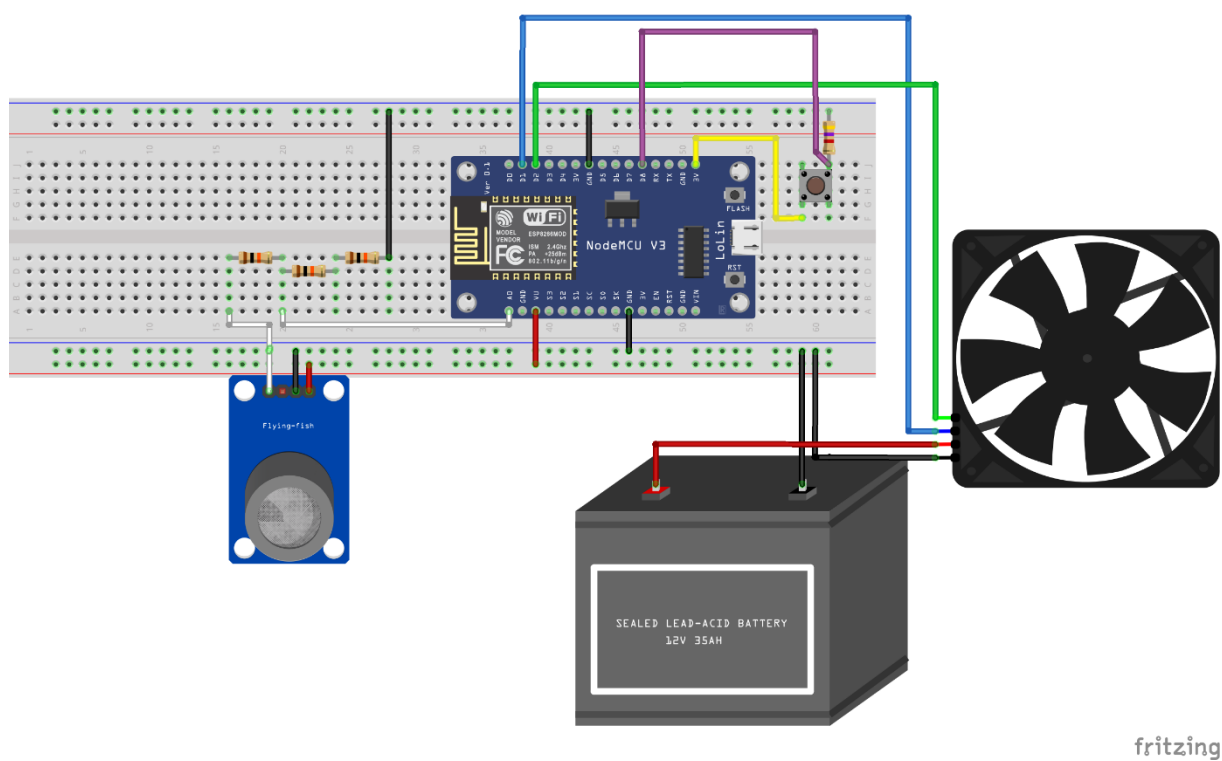


**Ilustración 22. Válvula con control de flujo**(SMC Corporation - VHK2-02S-02S - Válvula Del Dedo, Puerto Del Cuerpo, 1/4 " - Allied Electronics y Automatización, n.d.)

### 2.3.5 - Diseño del circuito electrónico.

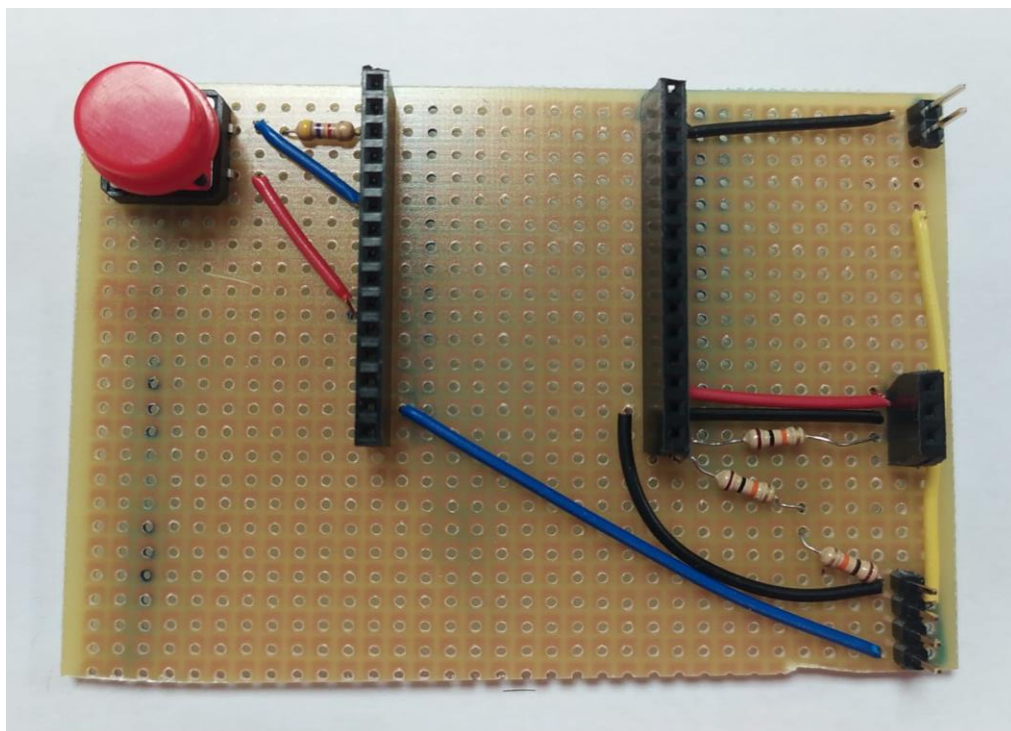
En este apartado se muestra el esquemático que se ha utilizado para el montaje de todos los sensores, actuadores y placa de desarrollo ESP8266. Se debe tener en cuenta que para el MQ135 el pin utilizado es el analógico A0 por ser el responsable de proporcionar las medidas RAW y no se hará uso del pin digital. Como se ha mencionado anteriormente otra consideración es la fuente de alimentación de 12V necesaria para el funcionamiento del ventilador.



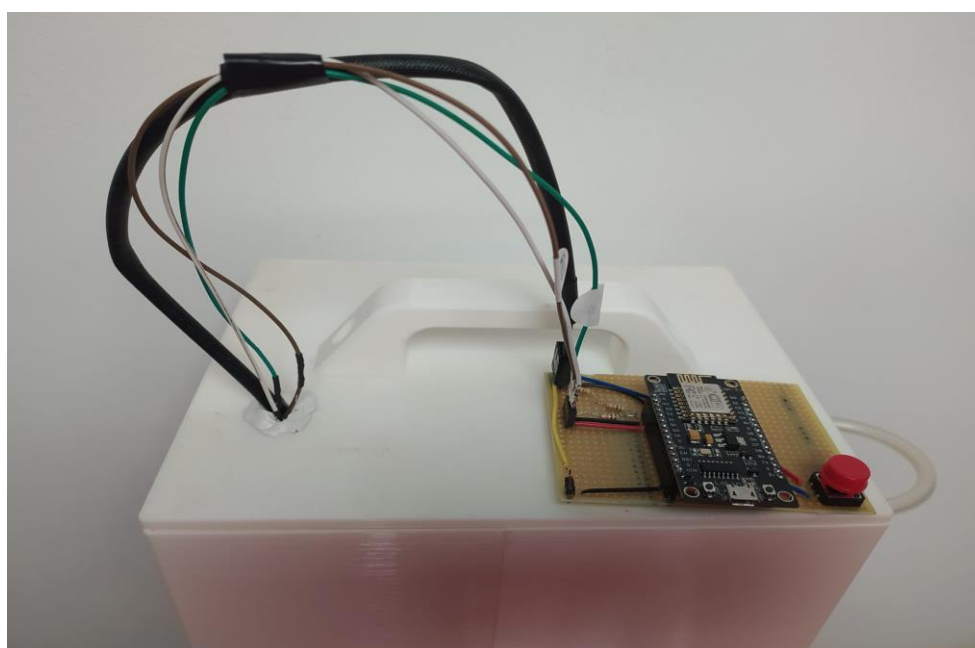


**Ilustración 23. Esquemático del circuito**

A continuación, se muestra una imagen de la placa protoboard final que se ha realizado soldando para que tuviera una mayor robustez y orden.



*Ilustración 24. Placa del prototipo final*



*Ilustración 25. Placa alojada en el concentrador*

## 2.4 - Diseño del software.

En este apartado se explica el proceso que se ha llevado a cabo para cumplir las especificaciones software que han llevado a la creación del sistema IoT concentrador de gases a cumplir con los objetivos.

### 2.4.1 - Diagrama de flujo

El diagrama de flujo (Lucidchart, 2021) es una herramienta utilizada para explicar un proceso, algoritmo o sistema. En este proyecto se ha utilizado para explicar el proceso seguido por el sistema IoT concentrador para realizar correctamente la recogida de las muestras del usuario participante.

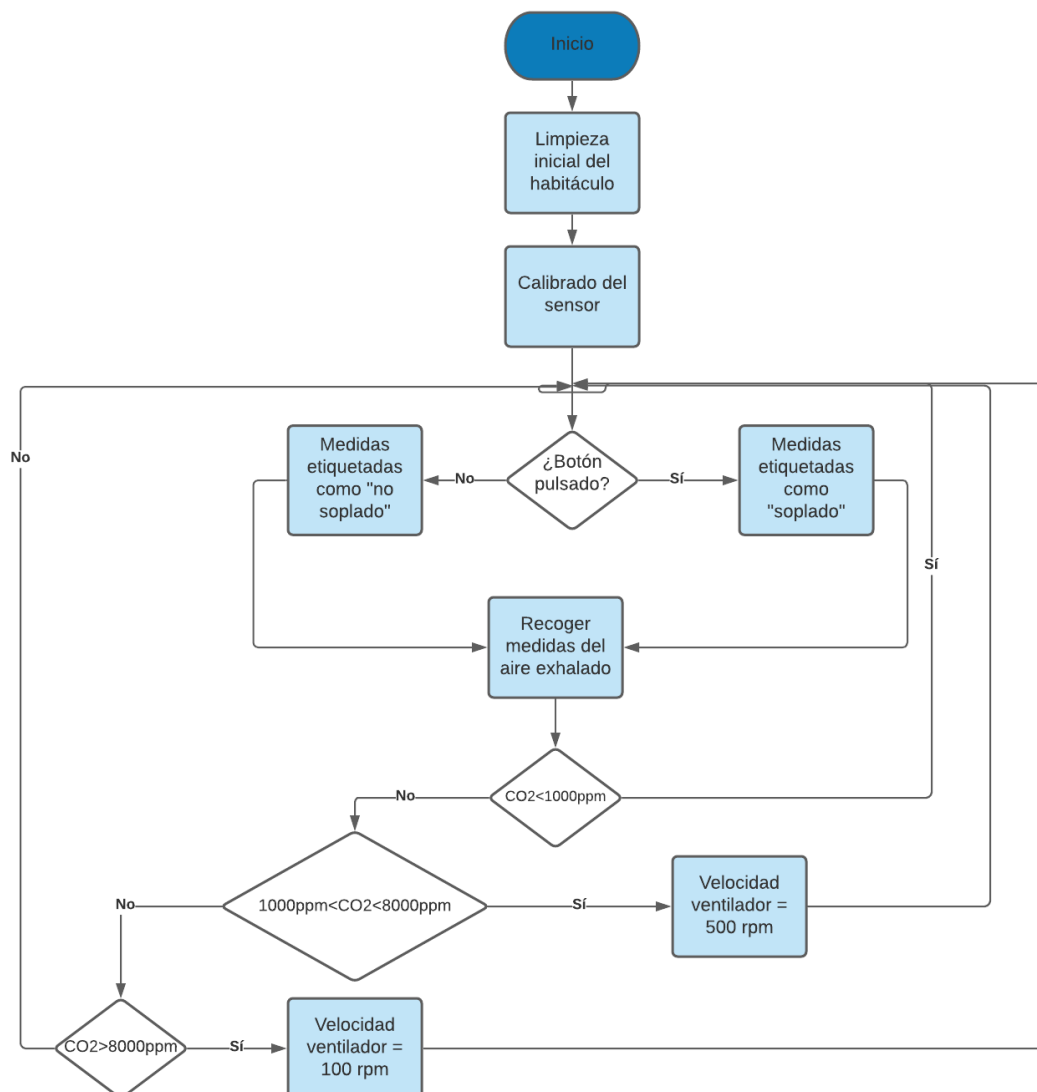


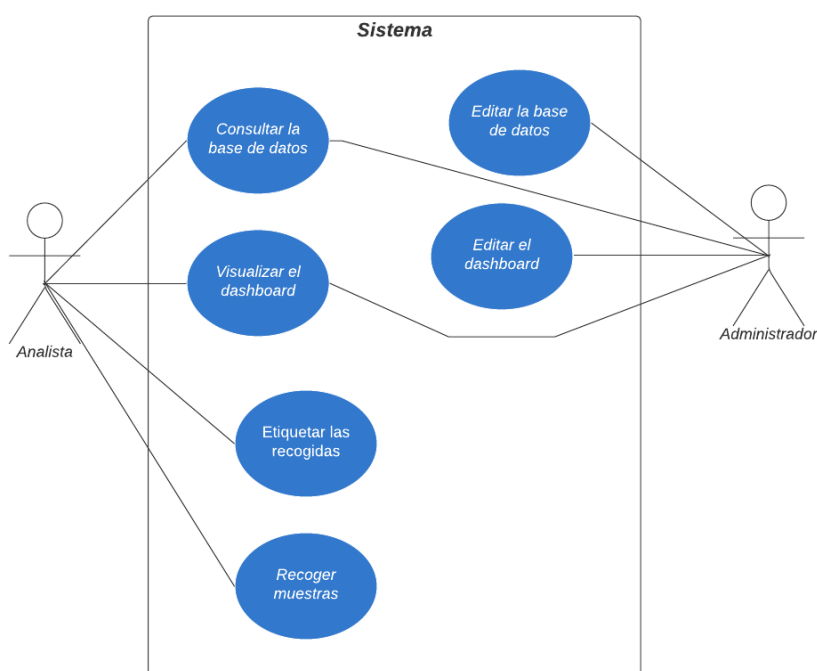
Ilustración 26. Diagrama de flujo

Si la medida de CO<sub>2</sub> supera 1000 ppm pero se encuentra por debajo de 8000 ppm, se reduce la velocidad del ventilador a una velocidad media de 500 rpm, para realizar una concentración más pausada recirculando con menor potencia el aire. Si incluso se supera el umbral de 8000 ppm en el valor medido de CO<sub>2</sub>, se reduce más aún la velocidad del ventilador (a 100 rpm) para continuar con la concentración pero de forma pausada.

Esto es así, pues si el sensor está recogiendo estas medidas y se genera un gran flujo con el ventilador se pierde la concentración de gas que previamente se ha realizado en habitáculo y simplemente se genera un flujo para mantener la medida ya concentrada.

## 2.4.2 - Casos de uso

En los diagramas de uso (Lucidchart, 2021) se tienen en cuenta las acciones por parte del analista y el administrador con el sistema. A continuación, se muestran los diagramas de uso de este proyecto.

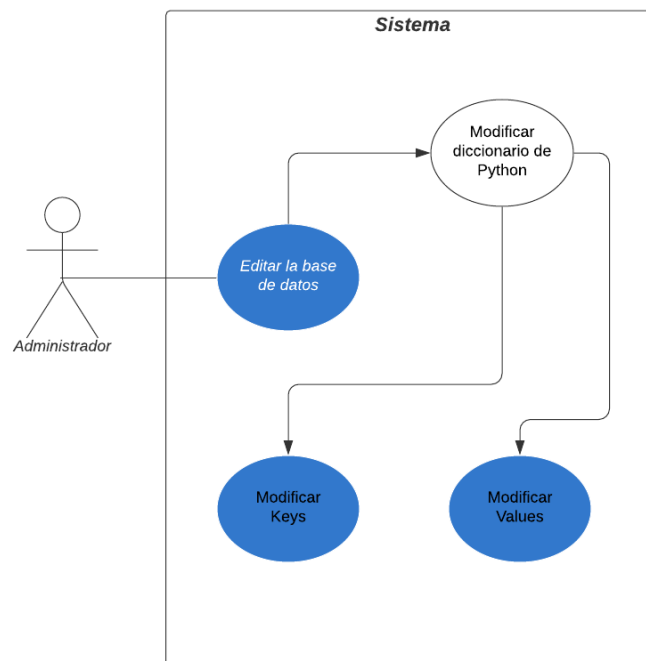


**Ilustración 27. Caso de uso del sistema**

En las siguientes tablas se muestran detallados los casos de uso que se han definido para este sistema.

| CDU-1               | Editar la base de datos                                                                                                                                                                                             |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Participantes       | Administrador                                                                                                                                                                                                       |
| Descripción         | El administrador del sistema puede editar los datos contenidos en la base de datos                                                                                                                                  |
| Condición anterior  | Haber creado un proyecto de Python en la Raspberry que cree la colección de la base de datos de MongoDB.                                                                                                            |
| Flujo natural       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Iniciar sesión a la Raspberry PI mediante ssh</li> <li>2. Acceder al proyecto de Python y editar la definición de la colección de la base de datos de MongoDB.</li> </ol> |
| Flujo alternativo   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambiar el proyecto de Python alojado en GitHub.</li> <li>2. Realizar una actualización del archivo de GitHub desde la Raspberry PI</li> </ol>                            |
| Condición posterior | Reiniciar la Raspberry                                                                                                                                                                                              |
| Observaciones       | Ninguna                                                                                                                                                                                                             |

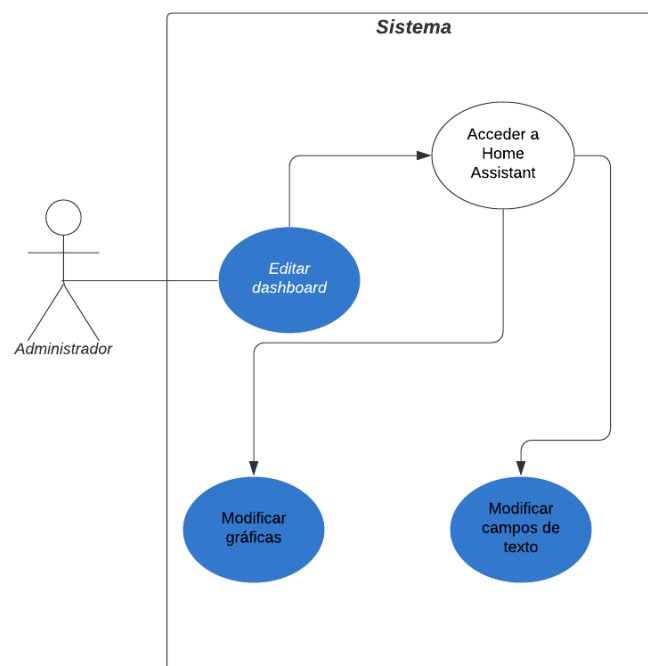
**Tabla 8. Editar la base de datos**



**Ilustración 28. Diagrama caso uso 1**

| CDU-2               | Editar el dashboard                                                                                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Participantes       | Administrador                                                                                                                         |
| Descripción         | El administrador del sistema puede editar la visualización del dashboard perteneciente a la Plataforma IoT                            |
| Condición anterior  | Haber creado un dashboard en la plataforma IoT (Home Assistant)                                                                       |
| Flujo natural       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Iniciar sesión a Home Assistant</li> <li>2. Realizar los cambios en el dashboard</li> </ol> |
| Flujo alternativo   | No existe flujo alternativo                                                                                                           |
| Condición posterior | Reiniciar la plataforma IoT                                                                                                           |
| Observaciones       | Ninguna                                                                                                                               |

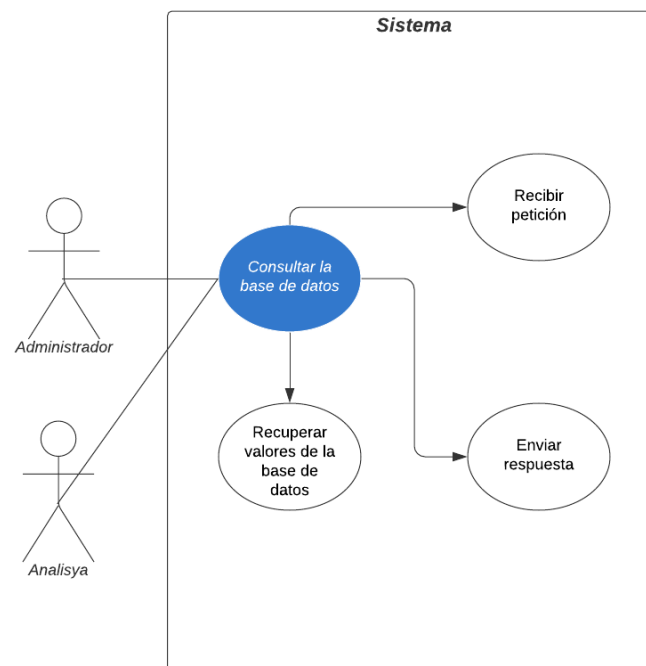
**Tabla 9. Editar el dashboard**



**Ilustración 29. Diagrama caso uso 2**

| CDU-3               | Consultar la base de datos                                                                                                                      |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Participantes       | Administrador/ Analista                                                                                                                         |
| Descripción         | Administrador y analista pueden visualizar la base de datos.                                                                                    |
| Condición anterior  | Existir una base de datos en MongoDB                                                                                                            |
| Flujo natural       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Iniciar sesión en MongoDB Compass</li> <li>2. Acceder a la base de datos</li> </ol>                   |
| Flujo alternativo   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conectarse mediante la línea de comandos</li> <li>2. Realizar consultas a la base de datos</li> </ol> |
| Condición posterior | Ninguna                                                                                                                                         |
| Observaciones       | Ninguna                                                                                                                                         |

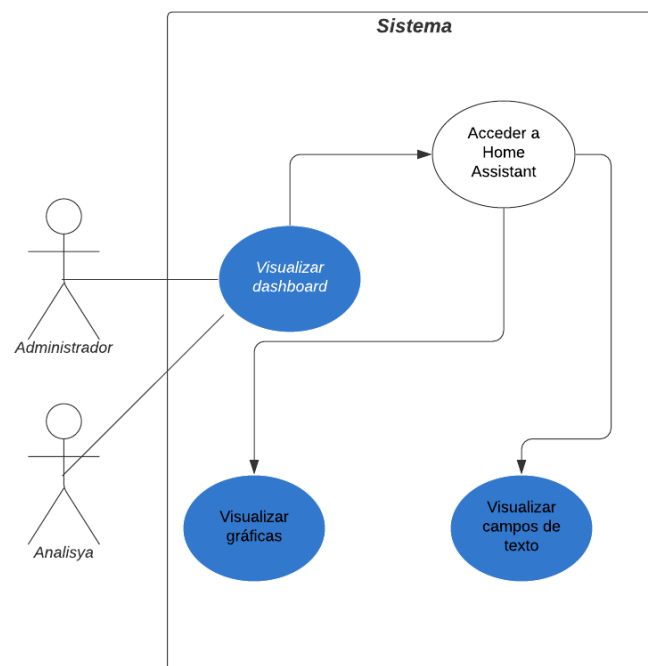
**Tabla 10. Consultar la base de datos**



**Ilustración 30. Diagrama caso uso 3**

| CDU-4               | Visualizar el dashboard                                                                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Participantes       | Administrador/ Analista                                                                                                   |
| Descripción         | Administrador y analista pueden visualizar el dashboard.                                                                  |
| Condición anterior  | Tener un dashboard creado ya en la plataforma IoT (Home Assistant)                                                        |
| Flujo natural       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Iniciar sesión en la plataforma IoT</li> <li>2. Acceder al dashboard</li> </ol> |
| Flujo alternativo   | No existe flujo alternativo                                                                                               |
| Condición posterior | Ninguna                                                                                                                   |
| Observaciones       | Las gráficas que se muestran son datos de períodos comprendidos de una hora.                                              |

**Tabla 11. Visualizar el dashboard**

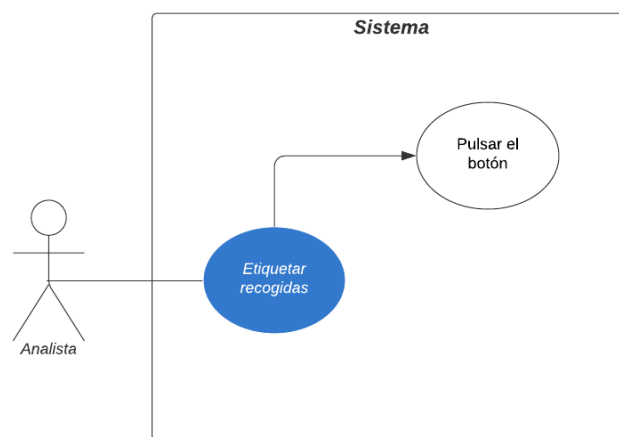


**Ilustración 31. Diagrama caso uso 4**



| CDU-5               | Etiquetar las recogidas                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Participantes       | Analista                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Descripción         | El analista es el encargado de pulsar el botón para etiquetar el inicio de las recogidas y el fin de las mismas.                                                                                                                                           |
| Condición anterior  | Ninguna                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Flujo natural       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pulsar el botón y visualizar que se enciende el led interno ( si es el inicio de las recogidas)</li> <li>2. Pulsar el botón y visualizar que se apaga el led interno ( si es el fin de las recogidas)</li> </ol> |
| Flujo alternativo   | No existe flujo alternativo                                                                                                                                                                                                                                |
| Condición posterior | Ninguna                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Observaciones       | Ninguna                                                                                                                                                                                                                                                    |

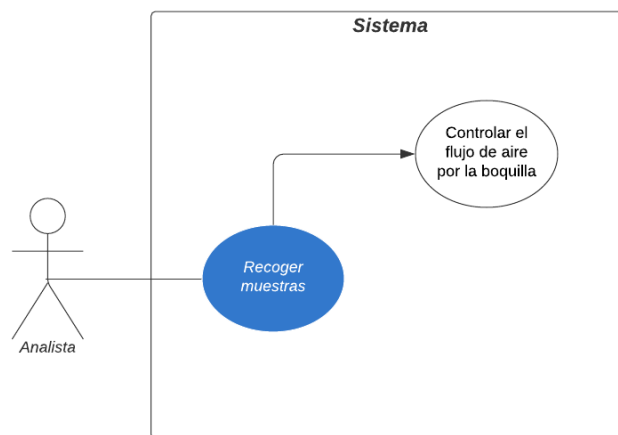
**Tabla 12. Etiquetar las recogidas**



**Ilustración 32. Diagrama caso uso 5**

| CDU-6               | Recoger muestras                                                                                             |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Participantes       | Analista                                                                                                     |
| Descripción         | El analista controla como se debe expulsar el aire a través de la boquilla a la parte interna del habitáculo |
| Condición anterior  | Ninguna                                                                                                      |
| Flujo natural       | Realizar tres exhalaciones hasta dejar sin aire dentro de los pulmones con una fuerza media.                 |
| Flujo alternativo   | No existe flujo alternativo                                                                                  |
| Condición posterior | Ninguna                                                                                                      |
| Observaciones       | Las tres exhalaciones deben ser seguidas para llenar por completo el habitáculo.                             |

**Tabla 13. Comenzar el soplado**



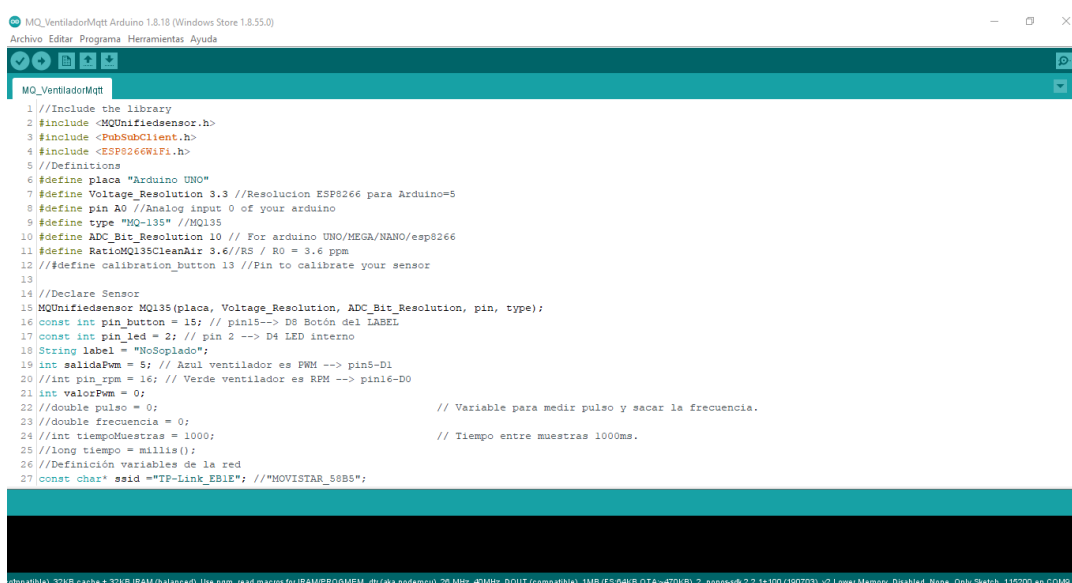
**Ilustración 33. Diagrama caso uso 6**

## 3 - IMPLEMENTACIÓN

En este apartado se trata el desarrollo software que se ha seguido para implementar el sistema IoT concentrador de gases bajo coste. Para ello, en primer lugar se indica el desarrollo software que se realiza en la Raspberry Pi, en la plataforma IoT para la visualización de los datos y en la base de datos para realizar la persistencia. Además, en este apartado se indica el software escogido para la impresión del prototipo 3D y sus correspondientes ventajas frente a otras opciones que existen en el mercado.

### 3.1 - Entorno de desarrollo

Como se ha mencionado en los anteriores apartados la placa de desarrollo escogida para controlar el realizar la medición del sensor MQ de gas ha sido la ESP8266 y después se envía a la Raspberry Pi (sumidero). En este tipo de placa puede programarse realizando una configuración ad hoc en diferentes entornos de desarrollo. Debido a la envergadura de este proyecto se ha optado por el IDE (entorno de desarrollo integrado) de Arduino (*IDE – Aprendiendo Arduino*, n.d.), pues sus funcionalidades básicas son suficientes para realizar con facilidad la implementación y configuración de la misma. El IDE ha sido empaquetado como un programa de aplicación, en definitiva, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y una interfaz gráfica (GUI).



```
MQ_VentiladorMqtt Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.55.0)
Archivo Editor Programa Herramientas Ayuda

MQ_VentiladorMqtt
1 //Include the library
2 #include <MQUnifiedSensor.h>
3 #include <PubSubClient.h>
4 #include <ESP8266WiFi.h>
5 //Definitions
6 #define placa "Arduino UNO"
7 #define Voltage_Resolution 3.3 //Resolucion ESP8266 para Arduino=5
8 #define pin_A0 //Analog input 0 of your arduino
9 #define type "MQ-135" //MQ135
10 #define ADC_Bit_Resolution 10 // For arduino UNO/MEGA/NANO/esp8266
11 #define RatioMQ135CleanAir 3.6//BS / RO = 3.6 ppm
12 //define calibration_button 13 //Pin to calibrate your sensor
13
14 //Declare Sensor
15 MQUnifiedSensor MQ135(placa, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, pin, type);
16 const int pin_button = 15; // pin15--> D8 Botón del LABEL
17 const int pin_led = 2; // pin 2 --> D4 LED interno
18 String label = "NoSoplado";
19 int salidaPwm = 5; // Arul ventilador es PWM --> pin5-D1
20 //int pin_rpm = 16; // Verde ventilador es RPM --> pin16-D0
21 int valorPwm = 0;
22 //double pulso = 0; // Variable para medir pulso y sacar la frecuencia.
23 //double frecuencia = 0;
24 //int tiempoMuestras = 1000; // Tiempo entre muestras 1000ms.
25 //long tiempo = millis();
26 //Definición variables de la red
27 const char* ssid = "TF-Link_EB1E"; //"MOVISTAR_S8B5";

compatible, 32KB cache + 32KB IRAM (balanced), Use pgm_read macros for IRAM/PROGMEM, dt (aka nodemcu), 20 MHz, 40MHz, DOUT (compatible), 1MB (FS:54KB OTA:~470KB), 2, nonosdk 2.2.1+100 (190703), v2 Lower Memory, Disabled, None, Only Sketch, 115200 en COM5
```

Ilustración 34. IDE Arduino

La facilidad de uso reside en las herramientas que incorpora para cargar directamente el programa depurado en la memoria flash de la ESP8266. Otras de sus ventajas es la comodidad para añadir librerías con la finalidad de complementar las funcionalidades. En este proyecto se ha hecho uso de las siguientes librerías:

- `MQUnifiedsensor.h` (*MQUnifiedsensor - Arduino Libraries*, n.d.), la cual permite la lectura de sensores MQ-X y su correlación en ppm de los diferentes gases asociados. En este proyecto, en concreto se obtiene las medidas en ppm de CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>4</sub>, acetona y alcohol.
- `PubSubClient.h` (*Arduino Client for MQTT*, n.d.), la cual permite que la placa ESP8266 se comporte como un cliente MQTT y pueda suscribirse y publicar mensajes en uno o varios topics.
- `ESP8266WiFi.h` (*Arduino/ESP8266WiFi.h at Master · Esp8266/Arduino*, n.d.) la cual permite a la placa ESP8266 conectarse a la red WiFi.

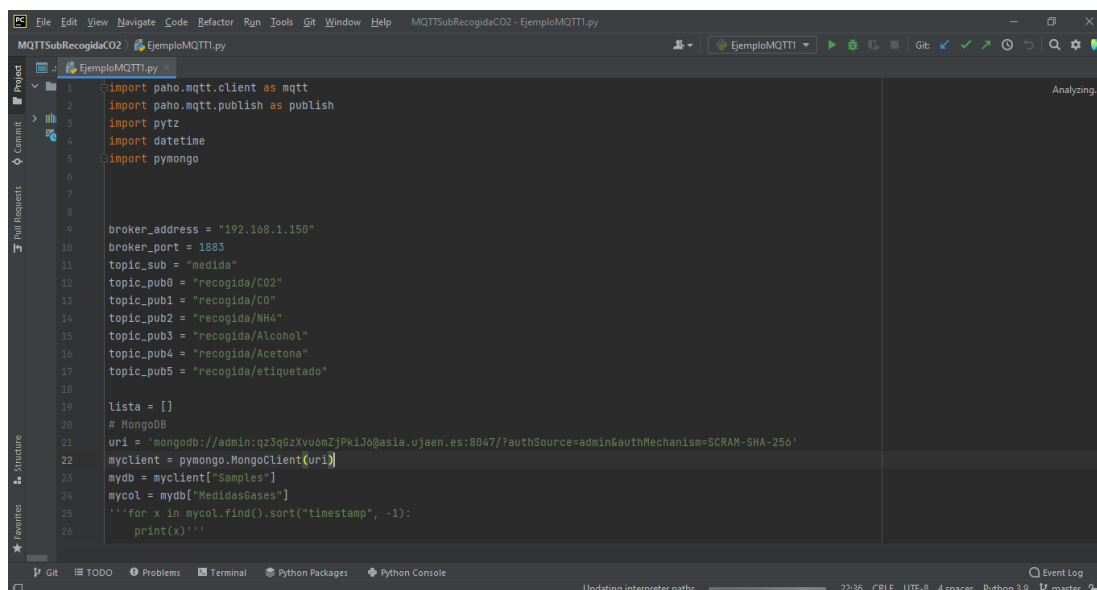
El IDE de Arduino permite ser configurado para gestionar las placas de desarrollo del tipo ESP. En el Apartado 6.1 - de esta memoria de TFM se describe el procedimiento a seguir para configurar el IDE de Arduino y utilizarlo en la placa ESP8266.

Además, se debe tener en cuenta que todos los programas de Arduino dividen su ejecución en dos partes.

- **Setup**, será la inicialización del programa, donde se declaran las variables y se configuran los pines, comunicaciones como la comunicación serie solo se ejecuta la primera vez.
- **Loop**, esta parte incluye el código donde se realizan todas las acciones. Se ejecuta de forma cíclica durante todo el período de tiempo que el programa se encuentra corriendo.

Asimismo, si es necesario implementar otra funcionalidad se pueden declarar funciones y variables para hacer uso de ellas.

Para el desarrollo software de la Raspberry Pi, se ha utilizado PyCharm (*PyCharm: El IDE de Python Para Desarrolladores Profesionales, Por JetBrains*, n.d.). PyCharm es un IDE para crear programas con Python, el lenguaje escogido para este proyecto alojado en la Raspberry PI. Además, también permite programación con otros lenguajes como Javascript.



**Ilustración 35. IDE PyCharm**

Dicho programa dispone de una versión gratuita denominada PyCharm Community, la cual ha sido utilizada en este caso. Este IDE es muy completo y permite editar, depurar e importar librerías de Python de manera cómoda, siendo por ello el escogido. En el apartado 6.2 - se explica cómo importar los paquetes necesarios para desarrollar el proyecto en Pycharm.

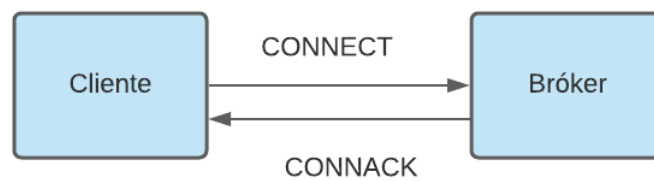
## 3.2 - Sumidero.

Esta función de sumidero de datos es realizada por la Raspberry Pi, siendo la encargada de recolectar todos los datos del sensor de gas y del botón provenientes de la ESP8266.

### 3.2.1 - Transmisión de los datos.

El protocolo de comunicación para realizar la transmisión de los datos entre el sumidero en la Raspberry Pi y la placa de desarrollo ESP8266 es MQTT (Message Queing Telemetry Transport) (*MQTT - The Standard for IoT Messaging*, n.d.). Este protocolo tiene gran popularidad entre los dispositivos IoT por su ligereza y sencillez, ventajas que son beneficiosas al encontrarse con las limitaciones propias de los dispositivos IoT que suelen tener poca potencia, bajo consumo y limitado ancho de banda.

MQTT se encuentra basado en TCP/IP. Siendo los clientes los encargados de iniciar esa conexión TCP/IP con el bróker, el cual mantiene el registro de clientes conectados y esta conexión se mantiene abierta hasta que el cliente la da por finalizada (mandando mensaje de DISCONNECT). Así, el cliente envía un mensaje (CONNECT) que contiene la información necesaria para realizar la conexión y el bróker es el encargado de responder con un mensaje si ha sido aceptada o no (CONNACK).



**Ilustración 36. Proceso CONNECT**

En MQTT los conceptos suscripción y publicación son clave, pues en ello se basa su funcionamiento. Los publicadores envían uno o varios mensajes a un determinado topic y los suscriptores de ese topic son quienes reciben esos mensajes. Tanto publicadores como suscriptores son clientes de MQTT que se comunican a través del bróker.



**Ilustración 37. Proceso SUBSCRIBE**



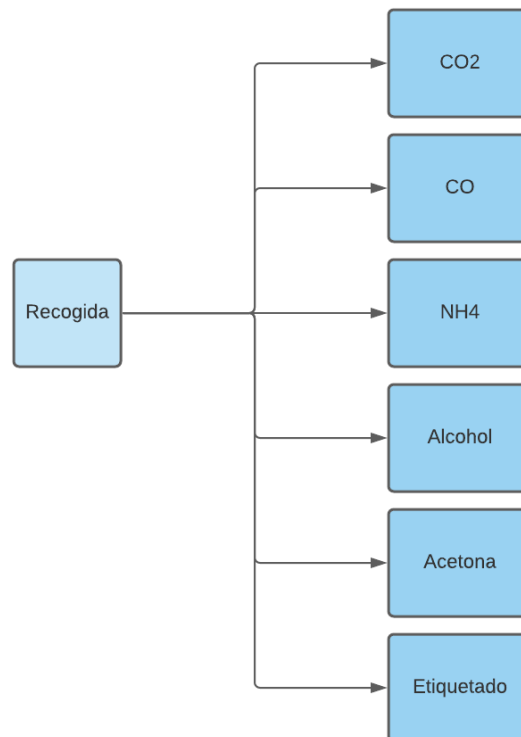
**Ilustración 38. Proceso PUBLISH**

### 3.2.1.1 - Topic

Es el filtro encargado de elegir a quienes de los clientes suscritos se les hace llegar el mensaje de texto en formato UTF-8.

Los topics se dividen en diferentes niveles que se encuentran separados por “/”. Por ejemplo, en el caso del envío de la ESP8266 hacia el nodo central sumidero (Raspberry Pi) solamente se ha tenido en cuenta un primer nivel de topic denominado “medida”. El topic “medida” se encarga de mandar todas las medidas de los gases desde el sensor y su correspondiente etiquetado para identificar el inicio y fin del soplado por parte del usuario pero reducido en un único mensaje y topic.

Sin embargo, desde el nodo central sumidero (Raspberry Pi) hacia la plataforma IoT si se ha elegido dos niveles de topic como se muestra en la Ilustración 39. Cada subnivel de topic, como indica el propio nombre, es el correspondiente a la propia medida del gas y el denominado “recogida/etiquetado”, como ya se ha mencionado anteriormente, se refiere al inicio o fin del soplado por usuario, con la diferencia de que esta vez se encuentran separados en diferentes mensajes y topics.



**Ilustración 39. Topics**

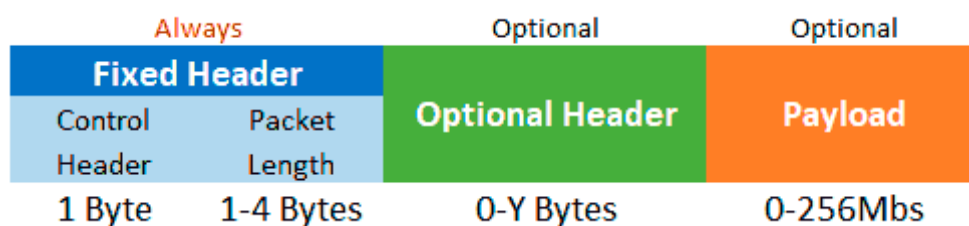
Por tanto, si se quiere suscribir o publicar en las medidas de CO<sub>2</sub>, sería “recogida/CO2”, mientras si se quiere suscribir o publicar en todo sería “recogida/#”.

Este último carácter “#” se denomina Wildcart y se emplea para sustituir cualquier número de niveles aunque solo puede usarse al final del topic. Otro Wildcart es el carácter “+” que permite sustituir un único nivel en cualquier lugar del topic.

### 3.2.1.2 - Formato

Los mensajes enviados mediante el protocolo MQTT tienen una estructura en común y están formado por tres partes:

1. **Fixed head (cabecera fija):** Con un tamaño de 2- 5 bytes, es el código de control el cual indica el tipo de mensaje enviado y su correspondiente tamaño.
2. **Optional head (cabecera variable):** En esta parte se incluye información adicional que puede ser de utilidad para ciertos mensajes.
3. **Payload (contenido):** Es el mensaje enviado en sí, con una longitud variable pero de máximo 256Mb.



*Ilustración 40. Estructura mensaje MQTT*(Llamas, 2019)

### 3.2.1.3 - QoS (Quality of Service).

La calidad de servicio es una característica propia de MQTT, la cual se define como la manera de gestionar la robustez del envío de mensajes al cliente ante fallos. Los niveles que existen son enumerados a continuación:

1. **QoS 0 unacknowledged (at most one):** El mensaje es enviado una vez, en caso de que ocurra un fallo puede ser que no se realice la entrega correctamente.
2. **QoS 1 acknowledged (at least one):** El mensaje se envía hasta que se tiene la seguridad de que se ha realizado la entrega pero en caso de que ocurra un fallo el suscriptor puede recibir mensajes duplicados.



- 3. QoS 2 assured (exactly one):** Es una mejora del anterior, pues a la vez que se asegura la entrega del mensaje también se puede asegurar que lo hace únicamente una vez.

#### 3.2.1.4 - Seguridad.

Cuando se define seguridad en MQTT se refiere a asegurar que la comunicación solo sea entre los interlocutores que estén autorizados y ninguno más. La seguridad que incluye MQTT son transporte SSL/TLS (Secure Sockets Layer / Transport Layer Security), autenticación mediante usuario y contraseña o certificados.

Se debe tener en cuenta que las placas de desarrollo que se han utilizado en este proyecto aunque son adecuadas para el objetivo a llevar a cabo no tienen la suficiente potencia para soportar este tipo de medidas de seguridad y podrían tener algunas complicaciones. Es por ello, y teniendo en cuenta que los dispositivos son alojados en una red local que no se ha considerado oportuno implementarlas.

### 3.3 - Base de datos

En este apartado se realizará una revisión de los diferentes tipos de bases de datos disponibles y la justificación de la elección de la base de datos MongoDB para este proyecto.

#### 3.3.1 - Tipos de bases de datos.

Algunas de las bases de datos más empleadas actualmente son las siguientes:

- **Bases de datos de tipo SQL** (IntelDig, 2018)

Este tipo de base de datos es relacional y se encuentra escrita en lenguaje SQL (Structured Query Language). Este lenguaje tiene comandos tipo “Seleccionar”, “Insertar”, “Actualizar”, “Eliminar” y “Crear”.

Al ser de tipo relacional contiene uno o más objetos que se definen como tablas formadas por filas y columnas, es decir, cada tipo de entidad de datos se organizan en estas tablas identificadas por un id único. Sin embargo, también es necesario tener una relación entre las diferentes tablas para realizar consultas (JOIN), los tipos de relaciones pueden ser:

- Relaciones uno a uno

- Una a muchas o muchas a una
- Muchas a muchas
- Relaciones de Auto-Referentes

Algunas bases de datos de tipo SQL son MySQL (MySQL, n.d.), Oracle (Database Services | Oracle España, n.d.), MariaDB (MariaDB: The Database for All, n.d.), Amazon Aurora (AWS | Aurora MySQL Bases de Datos Relacionales (RDBMS), n.d.). Este tipo de base de datos será más rápida que el siguiente tipo (NoSQL) cuando se trata de uniones, consultas o actualizaciones.

- **Bases de datos de tipo NoSQL** (AWS, 2020)

Este tipo de base de datos no sigue el esquema entidad-relación ni estructura de datos organizados en tablas sino generalmente se almacena como un documento JSON (*Formato JSON (JavaScript Object Notation) - Documentación de IBM*, n.d.). Las ventajas de este tipo de base de datos se detallan a continuación:

- **Alto rendimiento:** A diferencia de la anterior no necesita un alto grado de computación pudiendo ejecutarse en máquinas con pocos recursos.
- **Escalabilidad:** Se puede realizar una mejora del rendimiento simplemente añadiendo nodos e indicando cuales están disponibles.
- **Gran volumen de datos:** Tienen la capacidad de poder manejar una gran cantidad de datos.
- **Flexibilidad:** Se puede ajustar tanto a datos semiestructurados como no estructurados.

Algunas bases de datos de tipo NoSQL son MongoDB (*MongoDB Atlas: Cloud Document Database | MongoDB*, n.d.), Cassandra (*Apache Cassandra | Apache Cassandra Documentation*, n.d.), Redis (*Redis*, n.d.) o SimpleDB (AWS | *Servicio de Bases de Datos Sencilla (Simple DB)*, n.d.).

### 3.3.2 - Selección de la base de datos.

En este proyecto se ha optado por una base de datos de tipo NoSQL, en concreto, MongoDB.

La elección de esta base de datos es debido a que ofrece estructuras de documentos JSON y proporciona consultas dinámicas utilizando un lenguaje de consultas basado en documentos.

En este caso, nuestro proyecto solo dispondrá de una sola entidad, la cual se muestra en la Tabla 14, ya que solamente almacena los datos recogidos por el sensor de gas (MQ135). Sin embargo, para el futuro se podrían añadir más entidades por cada sensor extra.

| MedidasGases  | Descripción                                             | Tipo de variable |
|---------------|---------------------------------------------------------|------------------|
| _id           | Identificador único                                     | ObjectId         |
| medidaCO      | PPM de CO                                               | String           |
| medidaAlcohol | PPM de Alcohol                                          | String           |
| medidaCO2     | PPM de CO <sub>2</sub>                                  | String           |
| medidaNH4     | PPM de NH <sub>4</sub>                                  | String           |
| timestamp     | Fecha y hora (zona horaria de España)                   | String           |
| medidaAcetona | PPM de Acetona                                          | String           |
| etiquetado    | Indica si el dato pertenece al “soplado” o “no soplado” | String           |

**Tabla 14. Colección de datos del sensor de gas MQ135**

### 3.4 - Prototipo de caja 3D para el concentrador.

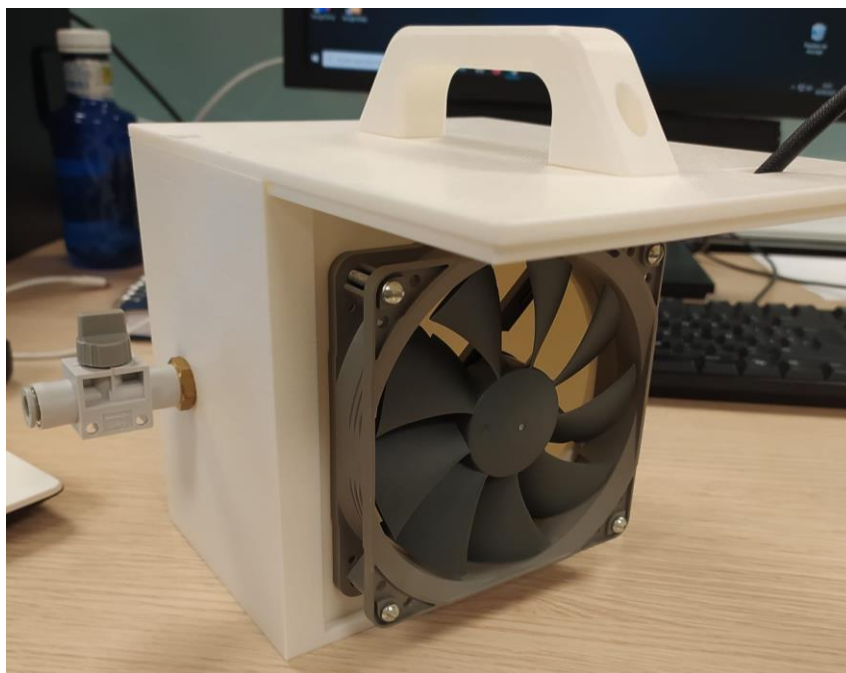
Como software de impresión 3D para la impresora se ha utilizado el Ultimaker Cura (*Software Ultimaker: Herramientas de Software de Impresión 3D Para Todas Las Aplicaciones*, n.d.), por ser uno de los más utilizados y su facilidad de uso. Para evitar que existan fugas en la fabricación de la caja se ha configurado para que el relleno sea muy espeso y así la densidad de la caja sea la mayor posible evitando posibles grietas.

El material utilizado para la fabricación del prototipo es PLA (ácido poliláctico) por ser altamente resistente a la humedad, característica beneficiosa para este proyecto.

La caja para el concentrador de gases se encuentra dividida en dos habitáculos por el ventilador. En el primer habitáculo se expulsa el aire exhalado a través de la boquilla y el ventilador, situado en el centro, es el encargado de trasladar el aire desde el primer habitáculo al segundo donde se encuentra instalado el sensor MQ135

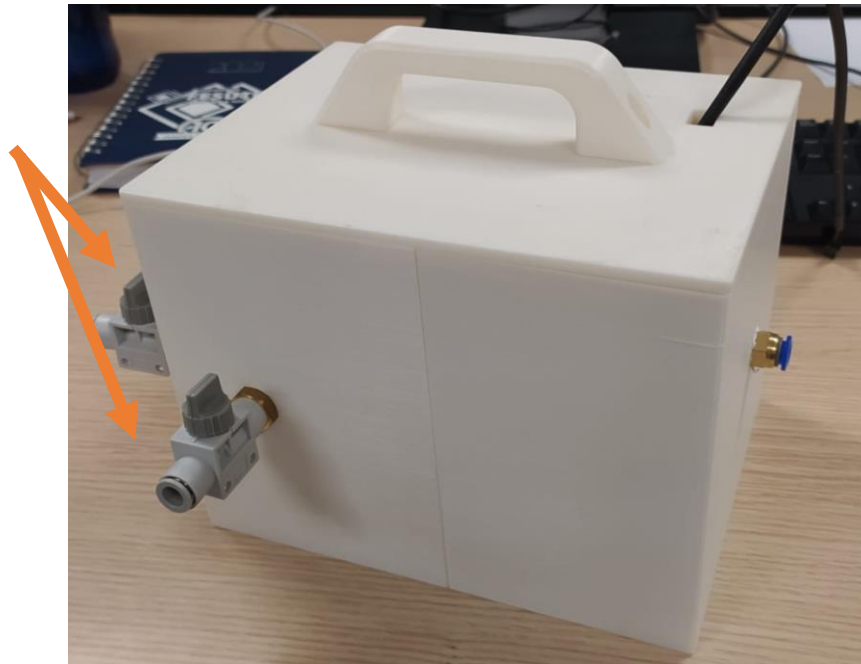
(Ilustración 41). Los orificios del segundo habitáculo tendrán válvulas con control de flujo para expulsar el aire cuando la muestra se haya terminado de recolectar (señalados en la Ilustración 42).

Los habitáculos y los orificios, tanto de entrada como de salida, han sido sellados para evitar fugas o bien con masilla o bien con teflón.



*Ilustración 41. Habitáculo 2 con tapa*

Las dimensiones de la caja para el concentrador de gases son 200x150x155 mm, lo que da un volumen total de alrededor 4.5 L, de los cuales 2,16L pertenecen al primer habitáculo y 2,13L pertenecen al segundo habitáculo. Este volumen viene definido por dos variables, la primera variable es el tamaño del ventilador, el cual se necesitaba de gran tamaño para obtener una gran potencia (máximo de 1700rpm) que un ventilador de menor tamaño no es capaz de proporcionar y, la segunda variable proviene de estudios existentes (Aguilar Gómez, 2005; López Núñez et al., n.d.) donde la recolección de las muestras se realizan en bolsas Tedlar (*Bolsas Tedlar®*, n.d.) normalmente de una capacidad de entre 2L y 5L.



*Ilustración 42. Prototipo final. Ambas flechas señalan las válvulas de control de flujo*

## 3.5 - Plataforma IoT para la visualización de datos

En este apartado se expone una descripción sobre que es una plataforma IoT, las plataformas IoT que existen en el mercado y la elección de plataforma IoT para este proyecto.

### 3.5.1 - Descripción general

Una plataforma IoT permite conectar mediante software sensores, actuadores y dispositivos en un entorno, generando una red para que su comunicación. Las plataformas IoT han surgido gracias al crecimiento del paradigma del IoT tan de actualidad. Algunas de características (*¿Qué Es Una Plataforma IoT? - Secmotic, n.d.*) propias de las plataformas IoT son:

- **Conectividad.** Los protocolos que contiene y su formato de datos garantizan la transmisión de los datos y la interacción entre los diferentes dispositivos.
- **Gestión de dispositivos.** Permite controlar si todos los dispositivos conectados están funcionando correctamente.

- **Base de datos.** Proporciona un almacenamiento escalable para los datos de los dispositivos conectados, con la ventaja de no tener que controlar la gestión de almacenamiento de los datos.
- **Procesamiento y gestión de eventos.** Se puede programar acciones que se accionan en función de los datos de los dispositivos conectados.
- **Análisis.** Pudiendo llevarse a cabo análisis complejos de los datos básicos y aprendizaje automático.
- **Visualización.** Permite la visualización de los datos gracias a sus herramientas gráficas.
- **Herramientas adicionales.** Permite a los desarrolladores experimentar con sus prototipos antes de comercializarlos pudiendo realizar pruebas de gestión, control de los dispositivos conectados o visualización de los datos.
- **Interfaces externas.** Se dispone de interfaces de programación de aplicaciones (API) y kits de desarrollo de software (SDK) que permite la conexión con terceros.

### 3.5.2 - Plataformas IoT del mercado

Algunas de las plataformas IoT más relevantes del mercado son:

- **IBM Watson IoT** (*¿Qué Es Una Plataforma IoT? - Secmotic, n.d.*).

En esta plataforma, desarrollada por IBM, se dispone de herramientas que ayudan a las tareas de conexión, gestión de dispositivos, almacenamiento y análisis de datos, incluso en tiempo real. Para establecer las conexiones utiliza el protocolo MQTT.

- **Amazon AWS IoT Core** (*AWS IoT Core の特徴, n.d.*).

Esta plataforma permite que los dispositivos se conecten con la nube y se relacionen entre sí. Entre los protocolos que dispone se encuentra HTTP, MQTT y protocolo de comunicación ligero. Además, permite conexiones protegidas, los datos de los dispositivos pueden recibir autenticación mutua y cifrado de extremo a extremo.

- **Thingier.io** (Thingier.io Platform, 2017).

Es una plataforma IoT Open Source (código abierto) que ofrece la posibilidad de conectar diferentes dispositivos como Arduino, ESP8266 o Raspberry Pi. Además, proporciona una infraestructura escalable en la nube por lo que permite visualizar el estado de conexión de los dispositivos desde cualquier dispositivo conectado a internet.

También se pueden configurar en el panel de control desde la gestión de los dispositivos, creación de dashboards y data buckets, referido a una especie de almacenamiento virtual donde guardar la información. Sin embargo, la versión gratuita tiene limitaciones como que solo se pueden conectar dos dispositivos y un número también limitado de data buckets.

- **Home Assistant** (*Home Assistant*, n.d.).

Esta plataforma IoT también es Open Source y se codifica mediante el lenguaje de programación Python y suele estar dedicada a sistemas domóticos. Es ideal para ser instalada en Raspberry Pi y tener conectados todos los dispositivos desde una red local, pudiendo acceder al control o la visualización del dashboard creado desde cualquier dispositivo conectado a esta red local.

Se pueden integrar APIs (como WeMo o Nest) y automatizar tareas a partir de IFTTT ("IF This, Then That")

### 3.5.3 - Selección de la plataforma IoT

Habiendo expuesto algunas de las plataformas IoT más relevantes en el mercado y, teniendo en cuenta que en este proyecto se busca principalmente la visualización de los datos a tiempo real, se ha escogido Home Assistant.

Home Assistant permite gestionar y visualizar los datos desde una red local (limitación encontrada en el proyecto y descrita en el Apartado 0).

Además, su instalación se realiza en el nodo central sumidero (Raspberry Pi), siendo compatible su utilización en este tipo de placa de desarrollo. De esta forma el broker Mosquitto de MQTT se encuentra alojado en Home Assistant y Home Assistant se encarga de recoger los datos publicados a través de los topics ("recogida/#") desde el proyecto de Python que se encuentra corriendo en la Raspberry Pi y, es a la vez este proyecto de Python, el encargado de recoger como suscriptor los datos desde el topic "medida" procedentes desde la ESP8266.

Para construir el dashboard de este proyecto se ha dividido en dos partes:



1. En la parte superior, se encuentran unos gráficos que muestran la medida en ppm tanto del CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>4</sub>, acetona y alcohol al instante. La barra indicadora de la medida cambia el color en función si los ppm del gas en baja (color verde), media (color amarillo), o alta (color rojo). En la parte superior extremo derecho, encontramos una caja de texto que indica si se encuentra etiquetando las muestras en “Soplado” o “No Soplado”.
2. En la parte inferior, se encuentran cuatro gráficas donde se muestran el histórico de medidas en ppm del CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>4</sub>, acetona y alcohol para un período comprendido de una hora.



*Ilustración 43. Dashboard completo*

### 3.6 - Transmisión de los datos.

En este apartado se expone el proceso seguido para recoger los datos desde la placa de desarrollo ESP8266 hacia el nodo sumidero central (Raspberry Pi), siendo capaz de realizar el almacenamiento de la información para su persistencia y a la vez su visualización en la plataforma IoT.

1. Se enciende la ESP8266, realiza una limpieza de los habitáculos. Para ello, se inicia el ventilador a máxima potencia durante 30 segundos y permitiendo, en ese intervalo de tiempo, que el sensor MQ135 se caliente.
2. Se establece conexión con la red Wi-Fi y el servidor MQTT tanto por parte de la ESP8266 como del nodo sumidero central (Raspberry Pi). Además, el nodo central sumidero realiza su conexión con servidor cloud (Mongo DB)



donde se almacenarán los datos para realizar la persistencia y la plataforma IoT (Home Assistant) donde se visualizan.

3. Se calibra el sensor MQ135 de la ESP8266 con el objetivo de estar preparado para la recogida de muestras. En este estado, se tendrán dos opciones:
  - A. Una primera opción, donde el botón se ha pulsado y, por tanto, el led de la ESP8266 se encuentra encendido lo que indica que se comienza a etiquetar las muestras de las medidas como parte del soplado por parte del usuario.
  - B. Una segunda opción, donde el botón se ha pulsado otra vez y, por tanto, el led se encuentra apagado lo que indica que se ha acabado de tomar las muestras de las medidas como parte del soplado por parte del usuario.
4. Se envían las medidas, tanto del período de soplado como del período de no soplado, con su correspondiente etiquetado a través del topic “medida” en un único mensaje mediante MQTT hacia el nodo central sumidero que se encuentra suscripto al topic “medida”.
5. Se realiza una división de las medidas en diferentes campos desde el nodo sumidero central en la Raspberry Pi y se crea un diccionario para almacenarlo en la base de datos MongoDB. Los diccionarios de Python permiten almacenar una serie de mapeos entre varios elementos mediante keys y values (*Comprensión de Diccionario En Python: Explicado Con Ejemplos*, n.d.).
6. Se publican en dos niveles de topic desde el nodo sumidero central con los medidas divididas en diferentes campos, (como se ha explicado anteriormente en el Apartado Topic) y la plataforma IoT (Home Assistant), alojada a nivel local, se suscribe a estos topics para recoger los datos y visualizarlos en el dashboard generado tal y como se comentó en el Apartado Plataforma IoT para la visualización de datos.

## 4 - VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN

En este apartado de la memoria se presenta los casos de estudio que se ha llevado a cabo para comprobar tanto el buen funcionamiento como que se cumplen con los objetivos requeridos para el sistema IoT concentrador de gases.

### 4.1 - Primer caso de estudio del sistema.

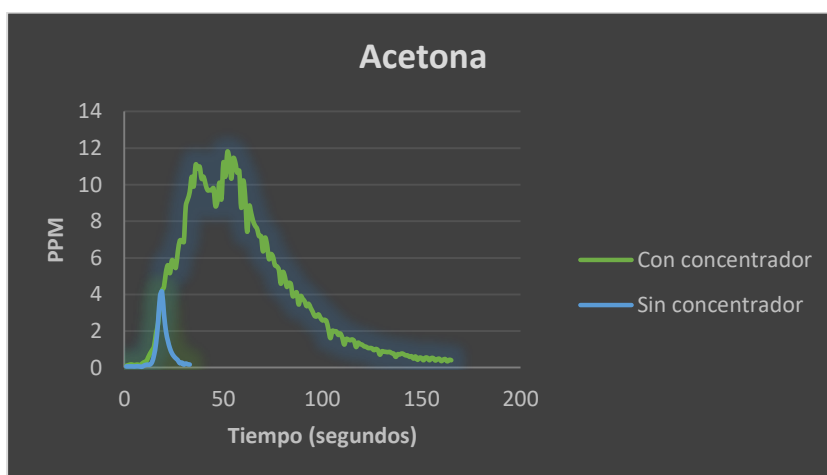
Mientras se realizaba el desarrollo del prototipo de sistema IoT se han realizado múltiples pruebas para comprobar que todo el progreso avanzaba adecuadamente. En estas primeras pruebas que fueron cuantitativas para comprobar que el concentrador estabilizaba la medición de cuerpos gaseosos.

Para ello, se eligió medir la concentración de CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>4</sub>, acetona y alcohol del aire exhalado de un solo participante y comprobarlo con la medición de ese participante sobre el sensor MQ135 sin concentrador. Para recolectar el aire exhalado el participante realizo para ambas pruebas tres exhalaciones con una fuerza media.

#### 4.1.1 - Resultados obtenidos

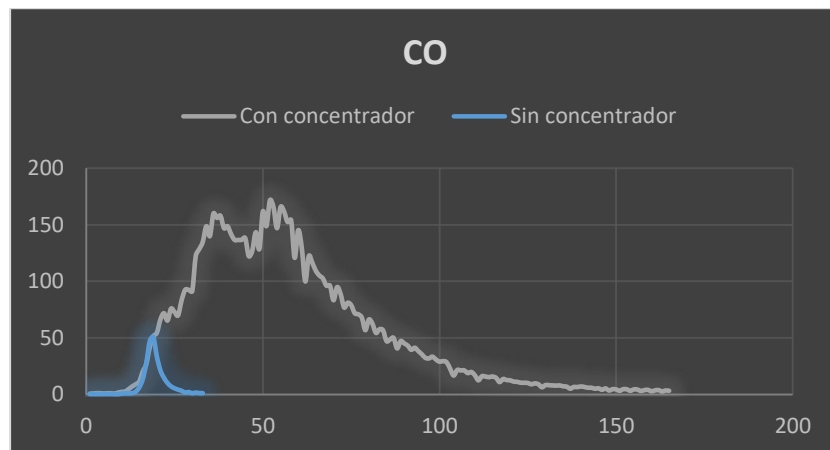
En este apartado se van a exponer los resultados obtenidos de la recolección de muestras de CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>4</sub>, acetona y alcohol.

La siguiente gráfica (Ilustración 44) muestra los datos obtenidos de la recolección realizada con concentrador y sin concentrador para acetona.



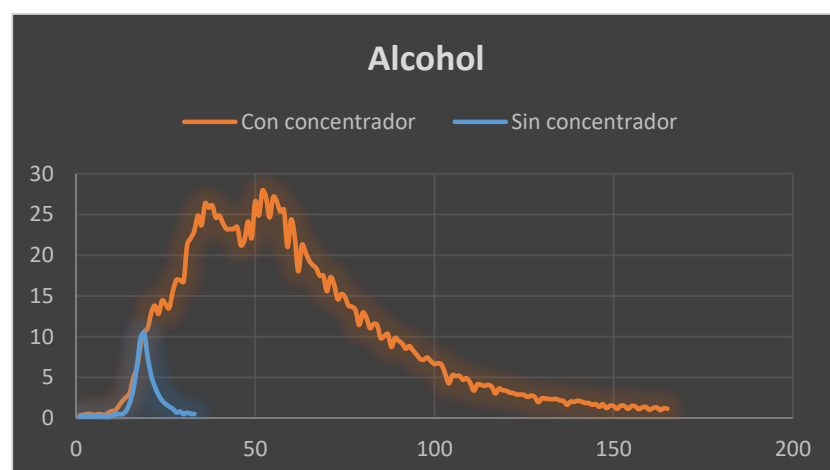
*Ilustración 44. Con VS Sin concentrador medidas acetona*

Se puede observar que en la datos recolectados para la acetona mientras no se tenía concentrador se recogen muestras de hasta 4 ppm y el tiempo que se mantiene es menor de 50 segundos, mientras, para la recolección concentrador se llega hasta 12 ppm y el tiempo que se mantiene es mayor de 150 segundos.



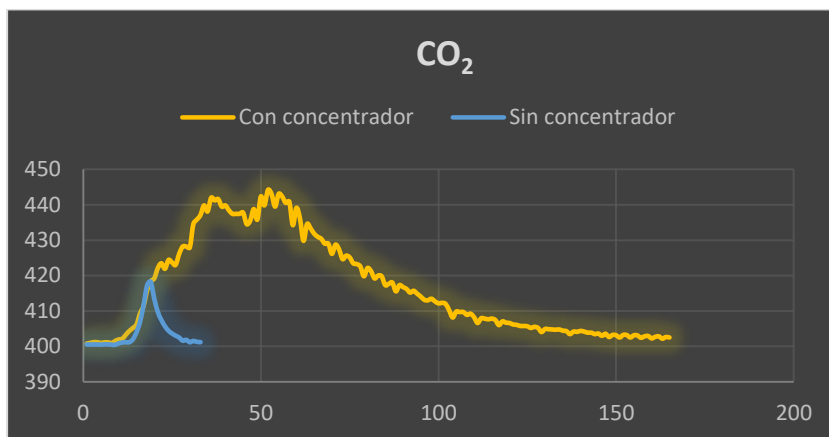
**Ilustración 45. Con VS Sin concentrador medidas CO**

En la Ilustración 45, se observa como los datos recolectados para el CO mientras no se tenía concentrador se recogen muestras de hasta 50 ppm y el tiempo que se mantiene es más o menos de 40 segundos, mientras, para la recolección concentrador se llega alrededor de 175 ppm y el tiempo que se mantiene es mayor de 150 segundos.



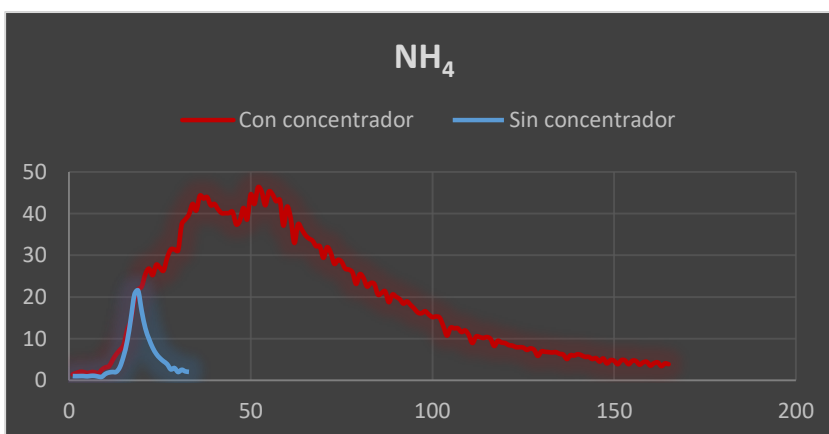
**Ilustración 46. Con VS Sin concentrador medidas alcohol**

En la Ilustración 46, se observa como los datos recolectados para el alcohol mientras no se tenía concentrador se recogen muestras de hasta 10 ppm y el tiempo que se mantiene es más o menos de 40 segundos, mientras, para la recolección concentrador se llega alrededor de 27 ppm y el tiempo que se mantiene es mayor de 150 segundos.



**Ilustración 47. Con VS Sin concentrador medidas CO<sub>2</sub>**

En la Ilustración 47, se observa como los datos recolectados para el CO<sub>2</sub> mientras no se tenía concentrador se recogen muestras de hasta 420 ppm y el tiempo que se mantiene es más o menos de 40 segundos, mientras, para la recolección concentrador se llega alrededor de 445 ppm y el tiempo que se mantiene es mayor de 150 segundos.



**Ilustración 48. Con VS Sin concentrador medidas NH<sub>4</sub>**

En la Ilustración 48, se observa como los datos recolectados para el  $\text{NH}_4$  mientras no se tenía concentrador se recogen muestras de hasta 20 ppm y el tiempo que se mantiene es más o menos de 40 segundos, mientras, para la recolección concentrador se llega alrededor de 45 ppm y el tiempo que se mantiene es mayor de 150 segundos.

Como conclusión, se puede extraer que el sistema IoT concentrador es capaz de realizar la concentración de la muestra recolectada, a la vez, que prolonga su concentración durante un tiempo adecuado para que el sensor MQ135 realice la correcta medición.

## 4.2 - Segundo caso de estudio del sistema.

Sin embargo, al final del proyecto era conveniente realizar un caso de estudio final para demostrar que el sistema realizaba la concentración para que a la vez el sensor fue de realizar la medición de los gases presentes en la muestra en un contexto determinado

Para ello, se eligió medir la concentración de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_4$ , acetona y alcohol del aire exhalado de varias personas y ver si era una medida diferenciadora y estable entre las mismas. En concreto, el experimento tuvo en cuenta las medidas obtenidas a partir del soplado de 16 participantes voluntarios. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- El participante realizaba tres exhalaciones de aire seguidas con una fuerza media en el sistema IoT concentrador de gases, a la vez que realizaba el registro de las medidas.
- Tras un período de tiempo de entre 10 minutos y 30 minutos y tras haber ingerido líquidos, sólidos o ambos (chocolate, café con leche o ambos), el participante volvía a repetir el procedimiento anterior y se volvían a registrar las medidas.

### 4.2.1 - Resultados obtenidos

Se debe tener en cuenta que de los 16 participantes, finalmente, se eliminó las muestras de 4 participantes pues al realizar las exhalaciones o las realizaban con excesiva fuerza o apenas se realizaba fuerza y eso afectaba al caso de estudio.

En las siguientes tablas se muestra el valor máximo de las medidas recogidas en primer período y en el segundo período, un último factor bastante relevante, el tiempo pasado entre la primera y la segunda muestra, la media de los valores para el primer período y el segundo, y en la última columna su correspondiente desviación relativa que servirá para determinar la diferencia producida entre la muestra media de del primer período con respecto a cada participante en el primer período y de igual manera para el segundo período.

La desviación relativa en este caso se ha conseguido siguiendo la siguiente ecuación matemática:

$$\text{Desviación relativa1} = \frac{\text{Media de las medidas1} - \text{Medida1}}{\text{Media de las medidas1}} * 100 \quad (4.1)$$

$$\text{Desviación relativa2} = \frac{\text{Media de las medidas2} - \text{Medida2}}{\text{Media de las medidas2}} * 100 \quad (4.2)$$

- La desviación relativa 1 será el resultado de la diferencia entre la media obtenida de todas las medidas de participantes en el período antes de ingerir sólido, líquido o ambos (por ejemplo en el CO<sub>2</sub>, “antes CO<sub>2</sub>”) menos la medida del participante, el cual se quiere obtener su desviación relativa. Dividido entre la media obtenida de todas las medidas de participantes en el período antes de ingerir sólido, líquido o ambos (por ejemplo en el CO<sub>2</sub>, “antes CO<sub>2</sub>”). Y finalmente, multiplicado por 100 para obtener el resultado en porcentaje.
- La desviación relativa 2 será el resultado de la diferencia entre la media obtenida de todas las medidas de participantes en el período después de ingerir sólido, líquido o ambos (por ejemplo en el CO<sub>2</sub>, “después CO<sub>2</sub>”) menos la medida del participante, el cual se quiere obtener su desviación relativa. Dividido entre la media obtenida de todas las medidas de participantes en el período después de ingerir sólido, líquido o ambos (por ejemplo en el CO<sub>2</sub>, “después CO<sub>2</sub>”). Y finalmente, multiplicado por 100 para obtener el resultado en porcentaje.

En los resultados obtenidos de las medidas de CO<sub>2</sub> se puede observar como con este tipo de gas no se produce un cambio relevante en las medidas pertenecientes al primer período de los participantes y su correspondiente medida media, de igual forma ocurre con el segundo período, e independientemente del tipo de ingesta. En la Tabla 20 también se podrá observar como las medidas de CO<sub>2</sub> entre períodos no tienen relevancia.

| Participantes | Antes CO <sub>2</sub><br>(ppm) | Después<br>CO <sub>2</sub> (ppm) | Período<br>intermedio<br>(minutos) | Ingesta        | Desviación<br>relativa1<br>(%) | Desviación<br>relativa2(%) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------------------|
|               | Medida1                        | Medida2                          |                                    |                |                                |                            |
| <b>1</b>      | 412.17                         | 427.44                           | 17                                 | Chocolate      | <b>6.91</b>                    | <b>3.78</b>                |
| <b>2</b>      | 416.86                         | 439.00                           | 15                                 | Chocolate      | <b>5.85</b>                    | <b>1.17</b>                |
| <b>10</b>     | 434.16                         | 422.18                           | 29                                 | Chocolate      | <b>1.95</b>                    | <b>4.96</b>                |
| <b>3</b>      | 437.57                         | 439.00                           | 20                                 | Chocolate+café | <b>1.18</b>                    | <b>1.17</b>                |
| <b>4</b>      | 416.86                         | 420.76                           | 20                                 | Chocolate+café | <b>5.85</b>                    | <b>5.28</b>                |
| <b>9</b>      | 426.88                         | 455.49                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>3.59</b>                    | <b>-2.54</b>               |
| <b>11</b>     | 415.30                         | 422.18                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>6.21</b>                    | <b>4.96</b>                |
| <b>12</b>     | 439.00                         | 439.00                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>0.85</b>                    | <b>1.17</b>                |
| <b>13</b>     | 545.61                         | 521.07                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>-23.22</b>                  | <b>-17.3</b>               |
| <b>14</b>     | 502.58                         | 488.81                           | 30                                 | Café           | <b>-13.5</b>                   | <b>-10.04</b>              |
| <b>15</b>     | 459.30                         | 446.73                           | 29                                 | Café           | <b>-3.73</b>                   | <b>-0.56</b>               |
| <b>16</b>     | 407.06                         | 408.98                           | 30                                 | Café           | <b>8.07</b>                    | <b>7.93</b>                |
| <b>Media</b>  | 442.78                         | 444.22                           |                                    |                |                                |                            |

**Tabla 15. Diferencia entre participantes Medidas CO<sub>2</sub>**

En los resultados obtenidos de la diferencia entre participantes de las medidas de CO se puede observar como con este tipo de gas según el participante existe una diferencia bastante relevante en general, por lo que se puede determinar que cada participante tiene una correspondiente huella de ppm en este gas.

| Participantes | Antes CO (ppm) | Después CO (ppm) | Período intermedio (minutos) | Ingesta        | Desviación relativa1 (%) | Desviación relativa2(%) |
|---------------|----------------|------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
|               | Medida1        | Medida2          |                              |                |                          |                         |
| <b>1</b>      | 29.12          | 89.09            | 17                           | Chocolate      | <b>83.89</b>             | <b>56.16</b>            |
| <b>2</b>      | 29.12          | 144.52           | 15                           | Chocolate      | <b>83.89</b>             | <b>28.88</b>            |
| <b>10</b>     | 66.51          | 120.45           | 29                           | Chocolate      | <b>63.2</b>              | <b>40.72</b>            |
| <b>3</b>      | 137.29         | 144.52           | 20                           | Chocolate+café | <b>24.04</b>             | <b>28.88</b>            |
| <b>4</b>      | 45.59          | 60.69            | 20                           | Chocolate+café | <b>74.77</b>             | <b>70.13</b>            |
| <b>9</b>      | 234.73         | 84.16            | 30                           | Chocolate+café | <b>-29.87</b>            | <b>58.58</b>            |
| <b>11</b>     | 49.91          | 58.85            | 30                           | Chocolate+café | <b>72.39</b>             | <b>71.04</b>            |
| <b>12</b>     | 144.52         | 144.52           | 30                           | Chocolate+café | <b>20.04</b>             | <b>28.88</b>            |
| <b>13</b>     | 686.50         | 884.88           | 30                           | Chocolate+café | <b>-279.81</b>           | <b>-335.45</b>          |
| <b>14</b>     | 546.53         | 430.44           | 30                           | Café           | <b>-202.37</b>           | <b>-111.82</b>          |
| <b>15</b>     | 185.32         | 257.19           | 29                           | Café           | <b>-2.53</b>             | <b>-26.56</b>           |
| <b>16</b>     | 13.76          | 19.17            | 30                           | Café           | <b>92.38</b>             | <b>90.57</b>            |
| <b>Media</b>  | 180.75         | 203.21           |                              |                |                          |                         |

**Tabla 16. Diferencia de participantes Medidas CO**

En los resultados obtenidos de la diferencia entre participantes de las medidas de  $\text{NH}_4$  se puede observar como con este tipo de gas según el participante existe una diferencia relevante en general, pero no tan considerable que la de CO, aun así se puede determinar que cada participante tiene una correspondiente huella de ppm en este gas.

De igual manera va a ocurrir con las muestras de acetona y alcohol (Tabla 18 y Tabla 19)



| Participantes | Antes NH4 (ppm) | Después NH4 (ppm) | Período intermedio (minutos) | Ingesta        | Desviación relativa1 (%) | Desviación relativa2(%) |
|---------------|-----------------|-------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
|               | Medida1         | Medida2           |                              |                |                          |                         |
| <b>1</b>      | 15.19           | 30.67             | 17                           | Chocolate      | <b>65.26</b>             | <b>33.02</b>            |
| <b>2</b>      | 31.78           | 44.29             | 15                           | Chocolate      | <b>27.36</b>             | <b>3.29</b>             |
| <b>10</b>     | 25.53           | 37.07             | 29                           | Chocolate      | <b>41.65</b>             | <b>19.06</b>            |
| <b>3</b>      | 40.25           | 41.57             | 20                           | Chocolate+café | <b>8.01</b>              | <b>9.24</b>             |
| <b>4</b>      | 20.14           | 24.10             | 20                           | Chocolate+café | <b>53.97</b>             | <b>47.37</b>            |
| <b>9</b>      | 56.37           | 30.13             | 30                           | Chocolate+café | <b>-28.84</b>            | <b>34.21</b>            |
| <b>11</b>     | 18.52           | 25.53             | 30                           | Chocolate+café | <b>57.66</b>             | <b>44.26</b>            |
| <b>12</b>     | 41.57           | 41.57             | 30                           | Chocolate+café | <b>4.99</b>              | <b>9.24</b>             |
| <b>13</b>     | 110.62          | 129.74            | 30                           | Chocolate+café | <b>-152.82</b>           | <b>-183.27</b>          |
| <b>14</b>     | 95.86           | 84.64             | 30                           | Café           | <b>-119.09</b>           | <b>-84.79</b>           |
| <b>15</b>     | 59.70           | 48.59             | 29                           | Café           | <b>-36.46</b>            | <b>-6.1</b>             |
| <b>16</b>     | 9.49            | 11.68             | 30                           | Café           | <b>78.31</b>             | <b>74.48</b>            |
| <b>Media</b>  | 43.75           | 45.80             |                              |                |                          |                         |

*Tabla 17.Diferencia de participantes Medidas NH4*

| Participantes | Antes Acetona (ppm) | Después Acetona (ppm) | Período intermedio (minutos) | Ingesta        | Desviación relativa1 (%) | Desviación relativa2(%) |
|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
|               | Medida1             | Medida2               |                              |                |                          |                         |
| <b>1</b>      | 2.58                | 6.72                  | 17                           | Chocolate      | <b>78.73</b>             | <b>46.96</b>            |
| <b>2</b>      | 7.06                | 11.09                 | 15                           | Chocolate      | <b>41.89</b>             | <b>12.51</b>            |
| <b>10</b>     | 5.24                | 8.71                  | 29                           | Chocolate      | <b>56.88</b>             | <b>31.34</b>            |
| <b>3</b>      | 9.74                | 10.17                 | 20                           | Chocolate+café | <b>19.83</b>             | <b>19.76</b>            |
| <b>4</b>      | 3.79                | 4.84                  | 20                           | Chocolate+café | <b>68.79</b>             | <b>61.81</b>            |
| <b>9</b>      | 15.41               | 6.56                  | 30                           | Chocolate+café | <b>-26.86</b>            | <b>48.23</b>            |
| <b>11</b>     | 3.38                | 4.71                  | 30                           | Chocolate+café | <b>72.14</b>             | <b>62.8</b>             |
| <b>12</b>     | 10.17               | 10.17                 | 30                           | Chocolate+café | <b>16.23</b>             | <b>19.76</b>            |
| <b>13</b>     | 38.61               | 47.98                 | 30                           | Chocolate+café | <b>-217.8</b>            | <b>-278.27</b>          |
| <b>14</b>     | 31.77               | 26.81                 | 30                           | Café           | <b>-161.46</b>           | <b>-111.39</b>          |
| <b>15</b>     | 16.66               | 12.59                 | 29                           | Café           | <b>-37.17</b>            | <b>0.73</b>             |
| <b>16</b>     | 1.36                | 1.80                  | 30                           | Café           | <b>88.8</b>              | <b>85.76</b>            |
| <b>Media</b>  | 12.15               | 12.68                 |                              |                |                          |                         |

*Tabla 18.Diferencia de participantes Medidas Acetona*

| Participantes | Antes Alcohol (ppm) | Después Alcohol (ppm) | Período intermedio (minutos) | Ingesta        | Desviación relativa1 (%) | Desviación relativa2(%) |
|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
|               | Medida1             | Medida2               |                              |                |                          |                         |
| <b>1</b>      | 6.66                | 16.06                 | 17                           | Chocolate      | <b>76.32</b>             | <b>45.22</b>            |
| <b>2</b>      | 17.20               | 26.36                 | 15                           | Chocolate      | <b>38.85</b>             | <b>10.11</b>            |
| <b>10</b>     | 12.98               | 20.97                 | 29                           | Chocolate      | <b>53.86</b>             | <b>28.49</b>            |
| <b>3</b>      | 23.31               | 24.29                 | 20                           | Chocolate+café | <b>17.14</b>             | <b>17.16</b>            |
| <b>4</b>      | 9.57                | 12.05                 | 20                           | Chocolate+café | <b>65.98</b>             | <b>58.89</b>            |
| <b>9</b>      | 35.95               | 16.06                 | 30                           | Chocolate+café | <b>-27.78</b>            | <b>45.22</b>            |
| <b>11</b>     | 8.59                | 11.76                 | 30                           | Chocolate+café | <b>69.45</b>             | <b>59.91</b>            |
| <b>12</b>     | 24.29               | 24.29                 | 30                           | Chocolate+café | <b>13.63</b>             | <b>17.16</b>            |
| <b>13</b>     | 85.53               | 105.00                | 30                           | Chocolate+café | <b>-204.04</b>           | <b>-258</b>             |
| <b>14</b>     | 71.14               | 60.62                 | 30                           | Café           | <b>-152.9</b>            | <b>-106.69</b>          |
| <b>15</b>     | 38.70               | 29.70                 | 29                           | Café           | <b>-37.57</b>            | <b>-1.27</b>            |
| <b>16</b>     | 3.63                | 4.75                  | 30                           | Café           | <b>87.07</b>             | <b>83.8</b>             |
| <b>Media</b>  | 28.13               | 29.33                 |                              |                |                          |                         |

**Tabla 19. Diferencia de participantes Medidas Alcohol**

En las siguientes tablas se muestra el valor máximo de las medidas recogidas en primer período y en el segundo período, un último factor bastante relevante, el tiempo pasado entre la primera y la segunda muestra, y en la última columna su correspondiente desviación relativa que servirá para determinar la diferencia producida entre el período 1 y 2 según la ingesta y el tiempo.

La desviación relativa se ha obtenido siguiendo la siguiente ecuación matemática:

$$Desviación\ relativa(\%) = \frac{Medida1 - Medida2}{Medida1} * 100 \quad (4.3)$$

| Participantes | Antes CO <sub>2</sub><br>(ppm) | Después CO <sub>2</sub><br>(ppm) | Período<br>intermedio<br>(minutos) | Ingesta        | Desviación<br>relativa(%) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------|---------------------------|
|               | Medida1                        | Medida2                          |                                    |                |                           |
| <b>1</b>      | 412.17                         | 427.44                           | 17                                 | Chocolate      | <b>3.70</b>               |
| <b>2</b>      | 416.86                         | 439.00                           | 15                                 | Chocolate      | <b>5.31</b>               |
| <b>10</b>     | 434.16                         | 422.18                           | 29                                 | Chocolate      | <b>-2.75</b>              |
| <b>3</b>      | 437.57                         | 439.00                           | 20                                 | Chocolate+café | <b>0.32</b>               |
| <b>4</b>      | 416.86                         | 420.76                           | 20                                 | Chocolate+café | <b>0.93</b>               |
| <b>9</b>      | 426.88                         | 455.49                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>6.70</b>               |
| <b>11</b>     | 415.30                         | 422.18                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>1.65</b>               |
| <b>12</b>     | 439.00                         | 439.00                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>0</b>                  |
| <b>13</b>     | 545.61                         | 521.07                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>-4.49</b>              |
| <b>14</b>     | 502.58                         | 488.81                           | 30                                 | Café           | <b>-2.73</b>              |
| <b>15</b>     | 459.30                         | 446.73                           | 29                                 | Café           | <b>-2.73</b>              |
| <b>16</b>     | 407.06                         | 408.98                           | 30                                 | Café           | <b>0.47</b>               |

**Tabla 20. Medidas de CO<sub>2</sub>**

En los resultados obtenidos de las medidas de CO<sub>2</sub> se puede observar como con este tipo de gas no se produce un cambio relevante en las medidas independientemente del tipo de ingesta y del tiempo transcurrido entre las dos medidas.

| Participantes | Antes CO<br>(ppm) | Después CO<br>(ppm) | Período<br>intermedio<br>(minutos) | Ingesta        | Desviación<br>relativa(%) |
|---------------|-------------------|---------------------|------------------------------------|----------------|---------------------------|
|               | Medida1           | Medida2             |                                    |                |                           |
| <b>1</b>      | 29.12             | 89.09               | 17                                 | Chocolate      | <b>205.89</b>             |
| <b>2</b>      | 29.12             | 144.52              | 15                                 | Chocolate      | <b>396.2</b>              |
| <b>10</b>     | 66.51             | 120.45              | 29                                 | Chocolate      | <b>81.09</b>              |
| <b>3</b>      | 137.29            | 144.52              | 20                                 | Chocolate+café | <b>5.26</b>               |
| <b>4</b>      | 45.59             | 60.69               | 20                                 | Chocolate+café | <b>33.11</b>              |
| <b>9</b>      | 234.73            | 84.16               | 30                                 | Chocolate+café | <b>-64.14</b>             |
| <b>11</b>     | 49.91             | 58.85               | 30                                 | Chocolate+café | <b>17.90</b>              |
| <b>12</b>     | 144.52            | 144.52              | 30                                 | Chocolate+café | <b>0</b>                  |
| <b>13</b>     | 686.50            | 884.88              | 30                                 | Chocolate+café | <b>28.89</b>              |
| <b>14</b>     | 546.53            | 430.44              | 30                                 | Café           | <b>-21.24</b>             |
| <b>15</b>     | 185.32            | 257.19              | 29                                 | Café           | <b>38.77</b>              |
| <b>16</b>     | 13.76             | 19.17               | 30                                 | Café           | <b>39.28</b>              |

**Tabla 21. Medidas de CO**

Sin embargo, en los resultados de medidas de CO se puede observar como la presencia de líquido (café) en la ingesta, aunque haya un sólido también, y con mayor tiempo transcurrido entre muestras no produce un cambio significativo en estas medidas. Mientras si la ingesta es sólida se puede observar como a menor tiempo transcurrido entre las dos muestra se ha producido un incremento bastante significativo de ppm de CO presentes en el aire exhalado del participante.

| Participantes | Antes NH <sub>4</sub><br>(ppm) | Después NH <sub>4</sub><br>(ppm) | Período<br>intermedio<br>(minutos) | Ingesta        | Desviación<br>relativa (%) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------------------|
|               | Medida1                        | Medida2                          |                                    |                |                            |
| <b>1</b>      | 15.19                          | 30.67                            | 17                                 | Chocolate      | <b>101.84</b>              |
| <b>2</b>      | 31.78                          | 44.29                            | 15                                 | Chocolate      | <b>39.36</b>               |
| <b>10</b>     | 25.53                          | 37.07                            | 29                                 | Chocolate      | <b>45.20</b>               |
| <b>3</b>      | 40.25                          | 41.57                            | 20                                 | Chocolate+café | <b>3.27</b>                |
| <b>4</b>      | 20.14                          | 24.10                            | 20                                 | Chocolate+café | <b>19.68</b>               |
| <b>9</b>      | 56.37                          | 30.13                            | 30                                 | Chocolate+café | <b>-46.54</b>              |
| <b>11</b>     | 18.52                          | 25.53                            | 30                                 | Chocolate+café | <b>37.82</b>               |
| <b>12</b>     | 41.57                          | 41.57                            | 30                                 | Chocolate+café | <b>0</b>                   |
| <b>13</b>     | 110.62                         | 129.74                           | 30                                 | Chocolate+café | <b>17.28</b>               |
| <b>14</b>     | 95.86                          | 84.64                            | 30                                 | Café           | <b>-11.70</b>              |
| <b>15</b>     | 59.70                          | 48.59                            | 29                                 | Café           | <b>-18.60</b>              |
| <b>16</b>     | 9.49                           | 11.68                            | 30                                 | Café           | <b>23.13</b>               |

*Tabla 22. Medidas de NH<sub>4</sub>.*

En los resultados de medidas de NH<sub>4</sub> de nuevo se puede observar como la presencia de líquido (café) en la ingesta, aunque haya un sólido también, y con mayor tiempo transcurrido entre muestras no produce un cambio significativo en estas medidas. Además, en esta ocasión, si la ingesta es sólido se observa un cambio pero esta vez no tan significativo como con el CO.

| Participantes | Antes Acetona (ppm) | Después Acetona (ppm) | Período intermedio (minutos) | Ingesta        | Desviación relativa (%) |
|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|-------------------------|
|               | Medida1             | Medida2               |                              |                |                         |
| <b>1</b>      | 2.58                | 6.72                  | 17                           | Chocolate      | <b>160.30</b>           |
| <b>2</b>      | 7.06                | 11.09                 | 15                           | Chocolate      | <b>57.18</b>            |
| <b>10</b>     | 5.24                | 8.71                  | 29                           | Chocolate      | <b>66.22</b>            |
| <b>3</b>      | 9.74                | 10.17                 | 20                           | Chocolate+café | <b>4.48</b>             |
| <b>4</b>      | 3.79                | 4.84                  | 20                           | Chocolate+café | <b>27.73</b>            |
| <b>9</b>      | 15.41               | 6.56                  | 30                           | Chocolate+café | <b>-57.40</b>           |
| <b>11</b>     | 3.38                | 4.71                  | 30                           | Chocolate+café | <b>39.40</b>            |
| <b>12</b>     | 10.17               | 10.17                 | 30                           | Chocolate+café | <b>0</b>                |
| <b>13</b>     | 38.61               | 47.98                 | 30                           | Chocolate+café | <b>24.26</b>            |
| <b>14</b>     | 31.77               | 26.81                 | 30                           | Café           | <b>-15.59</b>           |
| <b>15</b>     | 16.66               | 12.59                 | 29                           | Café           | <b>-24.45</b>           |
| <b>16</b>     | 1.36                | 1.80                  | 30                           | Café           | <b>32.77</b>            |

**Tabla 23. Medidas de acetona**

En los resultados de medidas de acetona de nuevo se puede observar como la presencia de líquido (café) en la ingesta, aunque haya un sólido también, y con mayor tiempo transcurrido entre muestras no produce un cambio significativo en estas medidas. Y esta vez, si la ingesta es sólido, se observa un cambio pero, de nuevo como el NH<sub>4</sub>, esta vez no es tan significativo como con el CO.

| Participantes | Antes Alcohol (ppm) | Después Alcohol (ppm) | Período intermedio (minutos) | Ingesta        | Desviación relativa (%) |
|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|-------------------------|
|               | Medida1             | Medida2               |                              |                |                         |
| <b>1</b>      | 6.66                | 16.06                 | 17                           | Chocolate      | <b>141.13</b>           |
| <b>2</b>      | 17.20               | 26.36                 | 15                           | Chocolate      | <b>53.24</b>            |
| <b>10</b>     | 12.98               | 20.97                 | 29                           | Chocolate      | <b>61.55</b>            |
| <b>3</b>      | 23.31               | 24.29                 | 20                           | Chocolate+café | <b>4.23</b>             |
| <b>4</b>      | 9.57                | 12.05                 | 20                           | Chocolate+café | <b>25.98</b>            |
| <b>9</b>      | 35.95               | 16.06                 | 30                           | Chocolate+café | <b>-55.30</b>           |
| <b>11</b>     | 8.59                | 11.76                 | 30                           | Chocolate+café | <b>36.83</b>            |
| <b>12</b>     | 24.29               | 24.29                 | 30                           | Chocolate+café | <b>0</b>                |
| <b>13</b>     | 85.53               | 105.00                | 30                           | Chocolate+café | <b>22.75</b>            |
| <b>14</b>     | 71.14               | 60.62                 | 30                           | Café           | <b>-14.79</b>           |
| <b>15</b>     | 38.70               | 29.70                 | 29                           | Café           | <b>-23.25</b>           |
| <b>16</b>     | 3.63                | 4.75                  | 30                           | Café           | <b>30.68</b>            |

**Tabla 24. Medidas de alcohol**

De nuevo en los resultados de medidas de alcohol se puede observar como la presencia de líquido (café) en la ingesta, aunque haya un sólido también, y con mayor tiempo transcurrido entre muestras no produce un cambio significativo en estas medidas. Y esta vez, si la ingesta es sólido, se observa un cambio pero, de nuevo como el  $\text{NH}_4$  y la acetona, esta vez no tan significativo como con el  $\text{CO}$ .

A partir del caso de estudio, como conclusión se puede extraer que el sistema IoT concentrador es capaz de detectar diferencias entre diferentes participantes ante diferentes gases, determinando así que cada participante tiene en concreto una huella propia.

El período transcurrido entre la recolecta de la primera muestra y la segunda es clave pues se observa como a partir de los 20 minutos la tendencia es volver a la estabilidad de la muestra inicial.

Otro factor que ha sido relevante es la diferencia de las medidas entre la ingesta de líquidos, sólidos o ambos de lo cual se expone que la ingesta de líquidos, independientemente de que haya también sólidos, enmascara los gases presentes y no produce, por tanto, diferencia significativa de los gases presentes en el aire exhalado de las muestras.

Con respecto a los gases presentes, por un lado, no se percibe cambio alguno en el  $\text{CO}_2$ , mientras en las muestras de  $\text{CO}$  se divisa un cambio muy significativo, y, por otro lado, en el  $\text{NH}_4$ , la acetona y el alcohol se contemplan cambios significativos pero no tan notario como ocurre con el  $\text{CO}$ .

## 5 - CONCLUSIÓN.

En este proyecto se han presentado las diferentes fases que se han llevado a cabo para el desarrollo de un sistema IoT concentrador de gases bajo coste, cuyo uso puede estar destinado a la detección de anomalías. Para ello, se ha expuesto la selección del hardware del dispositivo, la programación de las placas de desarrollo, sensor y actuadores, el diseño del prototipo 3D, la implementación del protocolo de comunicación, el diseño de la base de datos MongoDB para el almacenamiento y la correspondiente persistencia de los datos y, la utilización de la plataforma IoT, Home Assistant, para la visualización de los datos en tiempo real.

Aunque el sistema diseñado cumple con los requisitos iniciales, no implica que no se deben realizar mejoras. Algunas de las mejoras que podrían ser útiles para ampliar en un futuro esta línea de trabajo son:

- Incorporar más sensores que puedan detectar un rango más amplio de gases, mayor sensibilidad y precisión para diseñar un sistema específico de detección precoz de enfermedades o creación de una biomarca personal.
- Rediseñar el prototipo con un ensamblaje más compacto y mayor fuerza en el flujo de concentración.
- Valorar la inclusión de un sistema de alimentación portátil que llevaría consigo un estudio sobre el consumo energético de los distintos componentes y como realizar el envío de datos con mayor eficiencia energética.
- Aplicar técnicas de aprendizaje para una clasificación instantánea de los datos extraídos de las muestras de aire exhalado a partir de los datos medidos durante la recolección.

Gracias al proyecto he tenido la oportunidad de adentrarme y aprender más sobre conceptos alejados de mi disciplina como son las bases de datos, protocolos de comunicación y plataformas IoT.

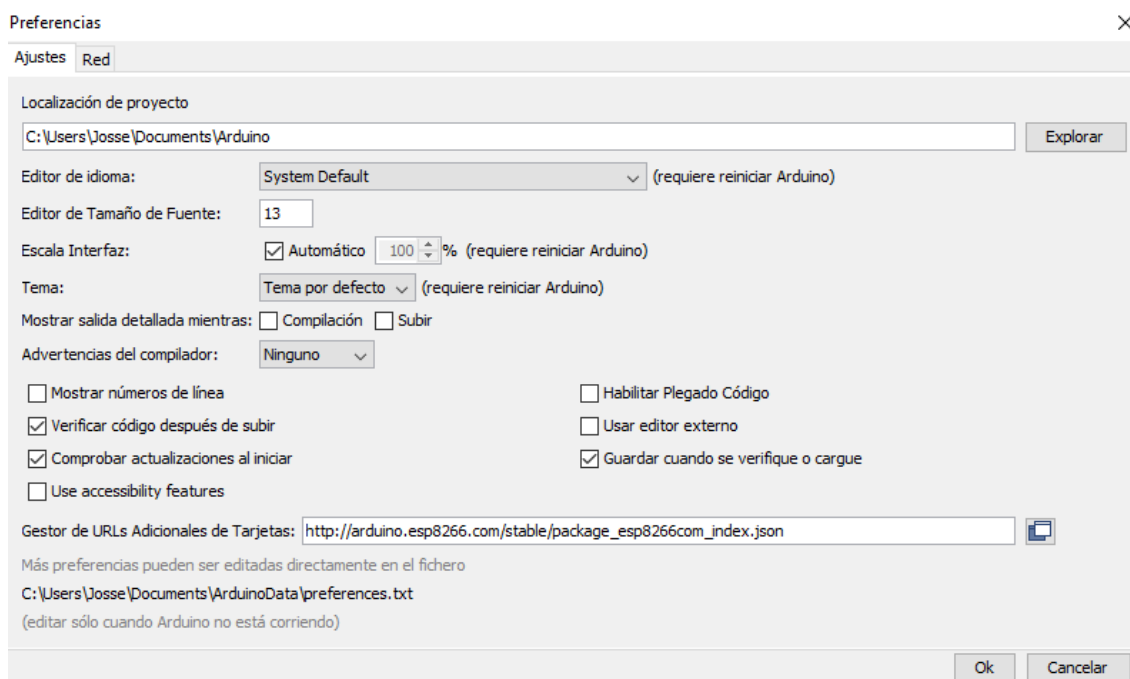
## 6 - APÉNDICES

En este apartado se describen los paso a paso para la instalación del IDE de Arduino para su uso con la placa de desarrollo ESP8266, Pycharm, los códigos de ambos proyectos y los croquis del prototipo de la caja 3D.

### 6.1 - Manual instalación IDE Arduino para ESP8266

Una vez que se ha instalado el IDE de Arduino se va a configurar para su uso con la ESP8266. En la ventana de inicio, se accede a Menú → Archivo → Preferencias y en la ventana que ha aparecido se añade en la sección “Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas” lo siguiente (Ilustración 49):

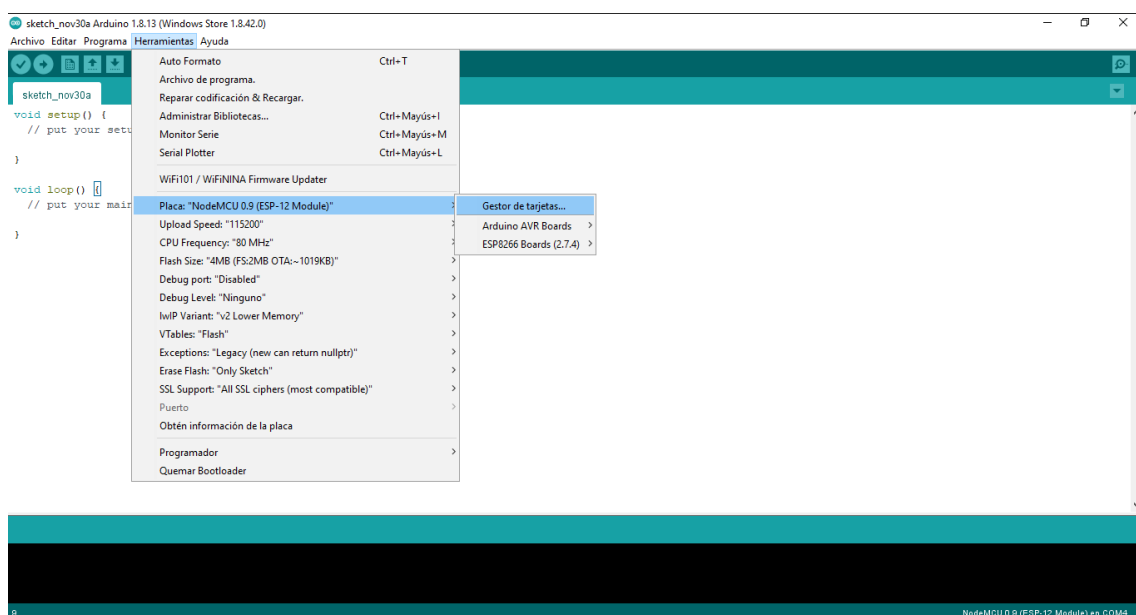
[http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json)



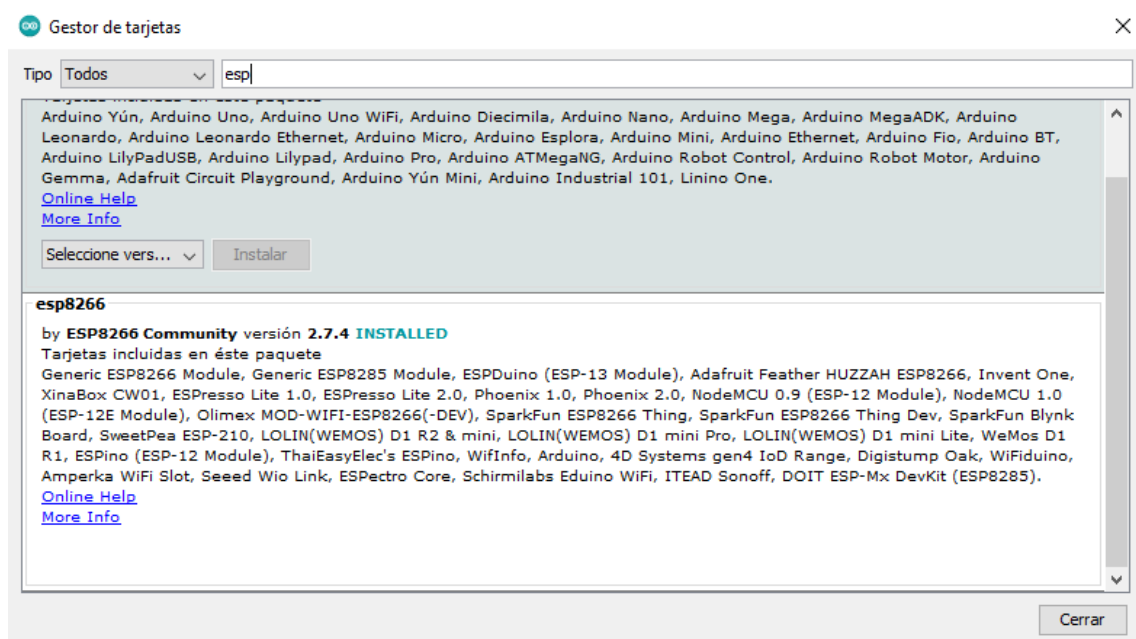
**Ilustración 49. Menú para incluir el gestor de tarjetas de ESP8266**

A continuación, se accede a Menú → Herramientas → Placa (Ilustración 50) y se realiza la instalación del paquete para las placas de desarrollo ESP8266. Para realizar la búsqueda basta con poner en el buscador “esp” (Ilustración 51).



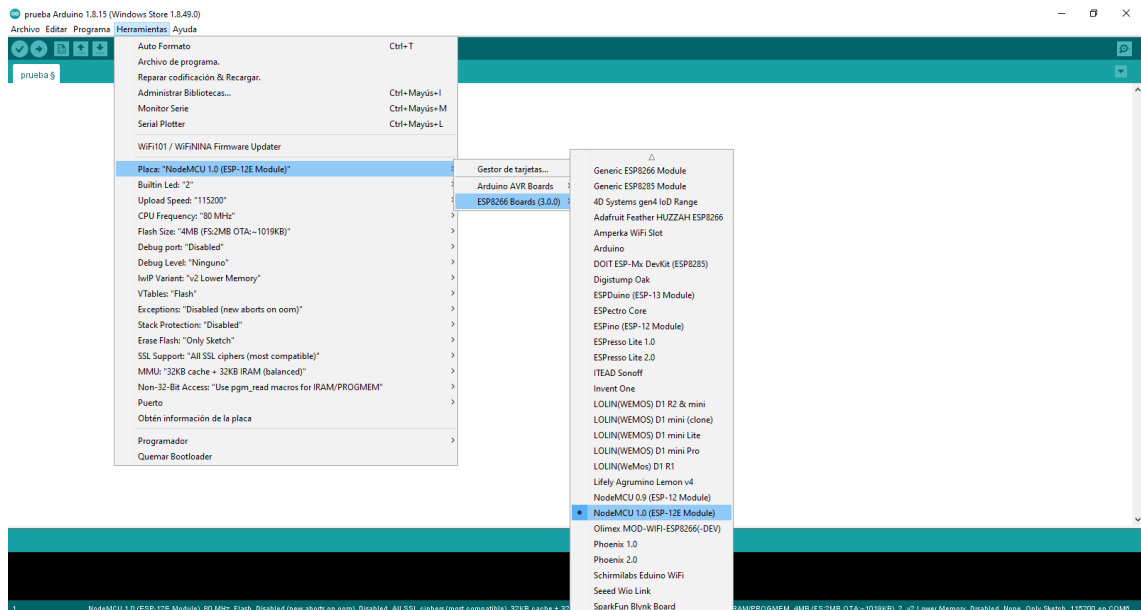


**Ilustración 50. Menú para acceder al instalador de tarjetas**



**Ilustración 51. Ventana emergente para instalar el paquete de placas desarrollo**

El siguiente paso será acceder a Menú → Herramientas → Placas → ESP8266 Boards y seleccionar nuestro modelo, en el caso de este proyecto, es ESP-12Module (Ilustración 52).



### Ilustración 52. Selección de la placa

Finalmente, ya habiendo sido seleccionada la placa y conectada la placa por USB al ordenador, solo será necesario que se seleccione el puerto asociado a la placa mediante Menú → Herramientas → Puerto.

### 6.1.1 - Proyecto creado en IDE Arduino.

Este es el proyecto alojado en la ESP8266.

```
//Include the library
#include <MQUnifiedsensor.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
//Definitions
#define placa "Arduino UNO"
#define Voltage_Resolution 3.3 //Resolucion ESP8266 para Arduino=5
#define pin A0 //Analog input 0 of your arduino
#define type "MQ-135" //MQ135
#define ADC_Bit_Resolution 10 // For arduino UNO/MEGA/NANO/esp8266
#define RatioMQ135CleanAir 3.6//RS / R0 = 3.6 ppm
//Declare Sensor
MQUnifiedsensor MQ135(placa, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, pin,
type);
const int pin_button = 15; // pin15--> D8 Botón del LABEL
const int pin_led = 2; // pin 2 --> D4 LED interno
String label = "NoSoplado";
int salidaPwm = 5; // Azul ventilador es PWM --> pin5-D1
int valorPwm = 0;
//Definición variables de la red
const char* ssid = xxxxxx;
const char* password = xxxxxx;
const char* mqtt_server = "192.168.1.150";//IP BROKER

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
```

```

char msg[100];
char msg1[100];
float vCO2 = 0;
float vCO = 0;
float vNH4 = 0;
float vAlcohol = 0;
float vAcetona = 0;
void setup() {
    pinMode(pin_button, INPUT);
    pinMode(pin_led, OUTPUT);
    digitalWrite(pin_led, HIGH);
    pinMode(salidaPwm, OUTPUT); // Pin de salida PWM del ventilador.
    //Init the serial port communication
    Serial.begin(9600); //Init serial port
    setup_wifi();
    client.setServer(mqtt_server, 1883);
    client.setCallback(callback);
    //Refresco del ventilador
    Serial.println("Limpieza inicial de la caja.");
    valorPwm = 1022;
    analogWrite(salidaPwm, valorPwm);
    delay(30000);
    //Set math model to calculate the PPM concentration and the value of
    constants
    MQ135.setRegressionMethod(1); // _PPM = a*ratio^b

    /* MQ Init */
    MQ135.init();
    /*
    /* MQ CALibration */
    Serial.print("Calibrating please wait.");
    float calcR0 = 0;
    for (int i = 1; i <= 10; i++)
    {
        MQ135.update();
        calcR0 += MQ135.calibrate(RatioMQ135CleanAir);
        Serial.print(".");
    }
    MQ135.setR0(calcR0 / 10);
    Serial.println(" done!.");

    if (isinf(calcR0)) {
        Serial.println("Warning: Conection issue founded, R0 is infite (Open
circuit detected) please check your wiring and supply");
        while (1);
    }
    if (calcR0 == 0) {
        Serial.println("Warning: Conection issue founded, R0 is zero (Analog
pin with short circuit to ground) please check your wiring and supply");
        while (1);
    }
    Serial.println("*** Lectures from MQ-135 starting ****");
}

void setup_wifi() {
    delay(10);
    //Connecting to a WiFi network
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);

```

```

    WiFi.begin(ssid, password);

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.println("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
    Serial.print("Message arrived [");
    Serial.print(topic);
    Serial.print("] ");
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        Serial.print((char)payload[i]);
    }
    Serial.println();
}

void reconnect() {
    // Loop until we're reconnected
    while (!client.connected()) {
        Serial.print("Attempting MQTT connection...");
        // Attempt to connect
        if (client.connect("ESP8266Client")) {
            Serial.println("connected");
            // Once connected, publish an announcement...
            client.publish("medida", "Reiniciando");
        } else {
            Serial.print("failed, rc=");
            Serial.print(client.state());
            Serial.println(" try again in 5 seconds");
            // Wait 5 seconds before retrying
            delay(2000);
        }
    }
}

void loop() {
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }
    client.loop();
    if ((digitalRead(pin_button) == HIGH) && (label == "NoSoplado")) {
        digitalWrite(pin_led, LOW);
        label = "Soplado";
        Serial.println(label);
    } else if ((digitalRead(pin_button) == HIGH) && (label == "Soplado")) {
        digitalWrite(pin_led, HIGH);
        label = "NoSoplado";
        Serial.println(label);
    }
    float bruto = analogRead(pin);
    Serial.print("Dato bruto:");
    Serial.println(bruto);
    MQ135.update();
    MQ135.setA(605.18); MQ135.setB(-3.937); // Configure the equation
    values to get CO concentration
}

```

```
float CO = MQ135.readSensor(); // Sensor will read PPM concentration
using the model and a and b values setted before or in the setup

MQ135.setA(77.255); MQ135.setB(-3.18); // Configure the ecuation values
to get Alcohol concentration
float Alcohol = MQ135.readSensor(); // Sensor will read PPM concentration
using the model and a and b values setted before or in the setup*/

MQ135.setA(102.2 ); MQ135.setB(-2.473); // Configure the ecuation
values to get NH4 concentration
float NH4 = MQ135.readSensor(); // Sensor will read PPM concentration
using the model and a and b values setted before or in the setup

MQ135.setA(34.668); MQ135.setB(-3.369); // Configure the ecuation
values to get Acetona concentration
float Acetona = MQ135.readSensor(); // Sensor will read PPM concentration
using the model and a and b values setted before or in the setup*/

MQ135.setA(110.47); MQ135.setB(-2.862); // Configure the ecuation
values to get CO2 concentration
float CO2 = MQ135.readSensor(); // Sensor will read PPM concentration
using the model and a and b values setted before or in the setup
Serial.println("|CO2|CO|Alcohol|NH4|Acetona|");
Serial.print(CO2 + 400);
Serial.print("|");
Serial.print(CO);
Serial.print("|");
Serial.print(Alcohol);
Serial.print("|");
Serial.print(NH4);
Serial.print("|");
Serial.println(Acetona);
vCO2 = roundf(( CO2 + 400) * 1000) / 1000;
vCO = roundf(CO * 1000) / 1000;
vNH4 = roundf(NH4 * 1000) / 1000;
vAlcohol = roundf(Alcohol * 1000) / 1000;
vAcetona = roundf(Acetona * 1000) / 1000;
snprintf (msg, 75, "%s;%.3f;%.3f;%.3f;%.3f;%.3f", label, vCO2, vCO,
vNH4, vAlcohol, vAcetona, bruto);
Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("medida", msg);
if ((CO2 + 400) < 1000) {
    valorPwm = 1022;
}
else if (((CO2 + 400) > 1000) && (8000 > (CO2 + 400))) {
    valorPwm = 500;
}
else if ((CO2 + 400) > 8000) {
    valorPwm = 100;
}
analogWrite(salidaPwm, valorPwm);
delay(500);
```

## 6.2 - Manual instalación de importar paquetes en Pycharm.

Una vez que se ha instalado Pycharm se importan los paquetes necesarios para la realización del proyecto. Para ello, estando en la ventana principal se accede a File → Settings (Ilustración 53).

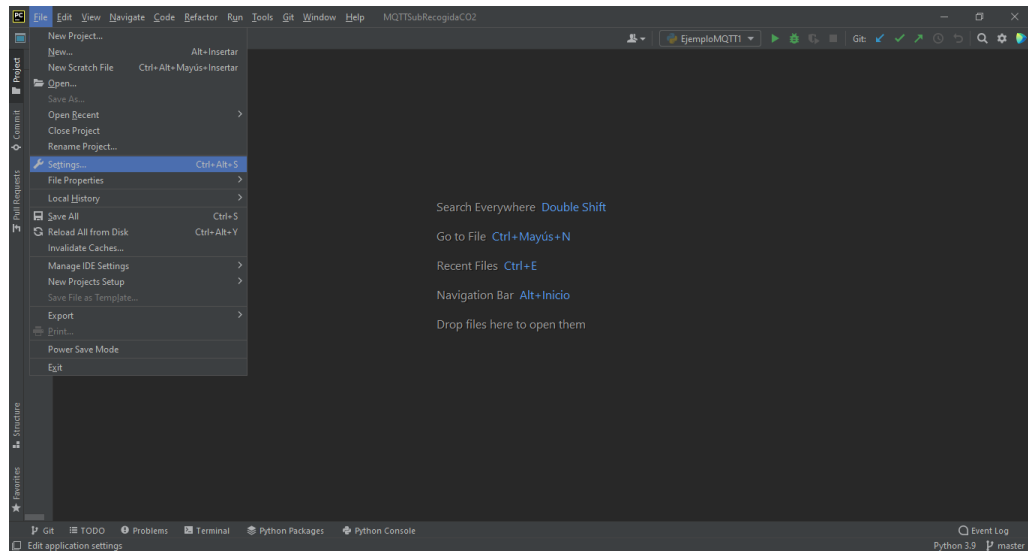


Ilustración 53. Panel principal Pycharm

Dentro de Settings se debe acceder a Project → Python Interpreter (Ilustración 54).

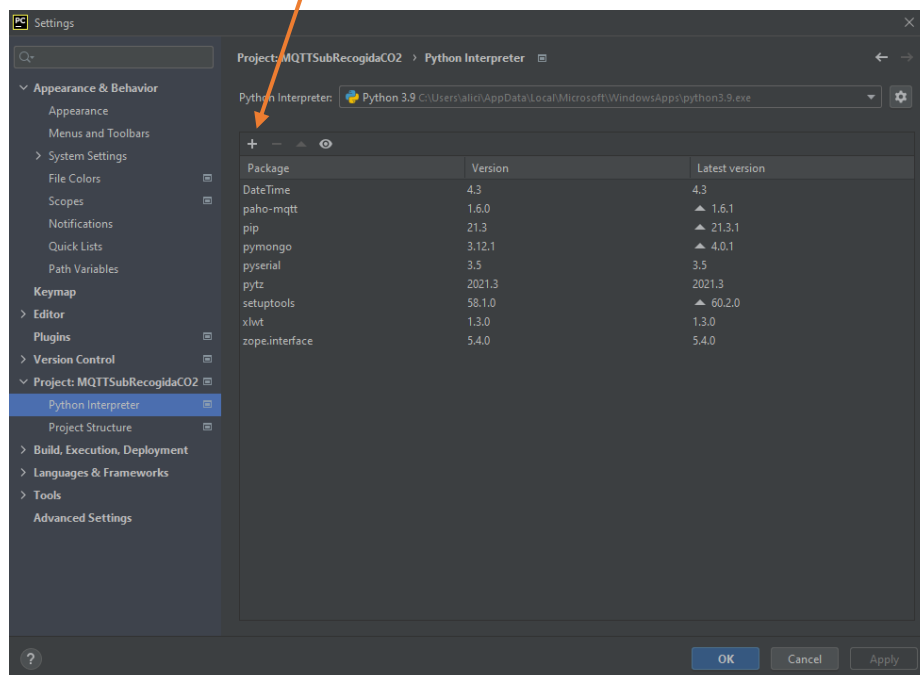
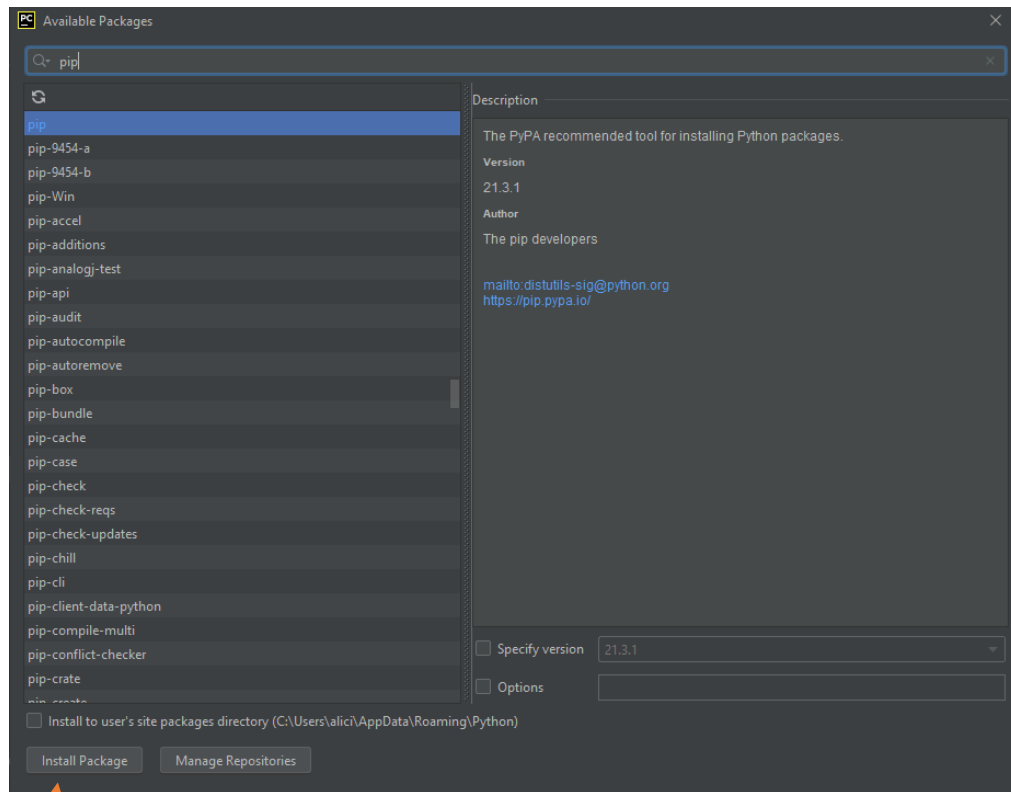


Ilustración 54. Ventana de Settings

Y pinchamos sobre el icono “+”, donde aparecerá otra ventana emergente y en ese buscador se pueden buscar cualquier paquete que deseemos importar e instalar pinchando sobre “Install Package” (Ilustración 55).



*Ilustración 55. Buscador de paquetes*

### 6.2.1 - Código creado en Pycharm

Este es el proyecto alojado en la Raspberry Pi.

```
import paho.mqtt.client as mqtt
import paho.mqtt.publish as publish
import pytz
import datetime
import pymongo
```

```
broker_address = "192.168.1.150"
broker_port = 1883
topic_sub = "medida"
topic_pub0 = "recogida/CO2"
topic_pub1 = "recogida/CO"
topic_pub2 = "recogida/NH4"
topic_pub3 = "recogida/Alcohol"
topic_pub4 = "recogida/Acetona"
topic_pub5 = "recogida/etiquetado"
```

```
lista = []
# MongoDB
```

```

uri
='mongodb://admin:qz3qGzXvu6mZjPkiJ6@asia.ujaen.es:8047/?authSource=admin&
thMechanism=SCRAM-SHA-256'
myclient = pymongo.MongoClient(uri)
mydb = myclient["Samples"]
mycol = mydb["MedidasGases"]

def on_message(client, userdata, message):
    mensaje=str(message.payload.decode("utf-8"))
    print("Mensaje recibido=",str(message.payload.decode("utf-8")))
    print("Topic=", message.topic)
    print("Nivel de calidad [0|1|2]=", message.qos)
    print("Flag de retencion =", message.retain)

    timestamp = datetime.datetime.now(pytz.timezone('Europe/Madrid'))
    timestamp_str = timestamp.strftime("%d/%m/%Y, %H:%M:%S")
    print("Timestamp=",timestamp_str)
    separado=mensaje.split(';')
    print(separado)
    publish.single(topic_pub0, separado[1], hostname="192.168.1.150")
    publish.single(topic_pub1, separado[2], hostname="192.168.1.150")
    publish.single(topic_pub2, separado[3], hostname="192.168.1.150")
    publish.single(topic_pub3, separado[4], hostname="192.168.1.150")
    publish.single(topic_pub4, separado[5], hostname="192.168.1.150")
    publish.single(topic_pub5, separado[0], hostname="192.168.1.150")
    print("Mensajes de las medidas recogidas publicados")

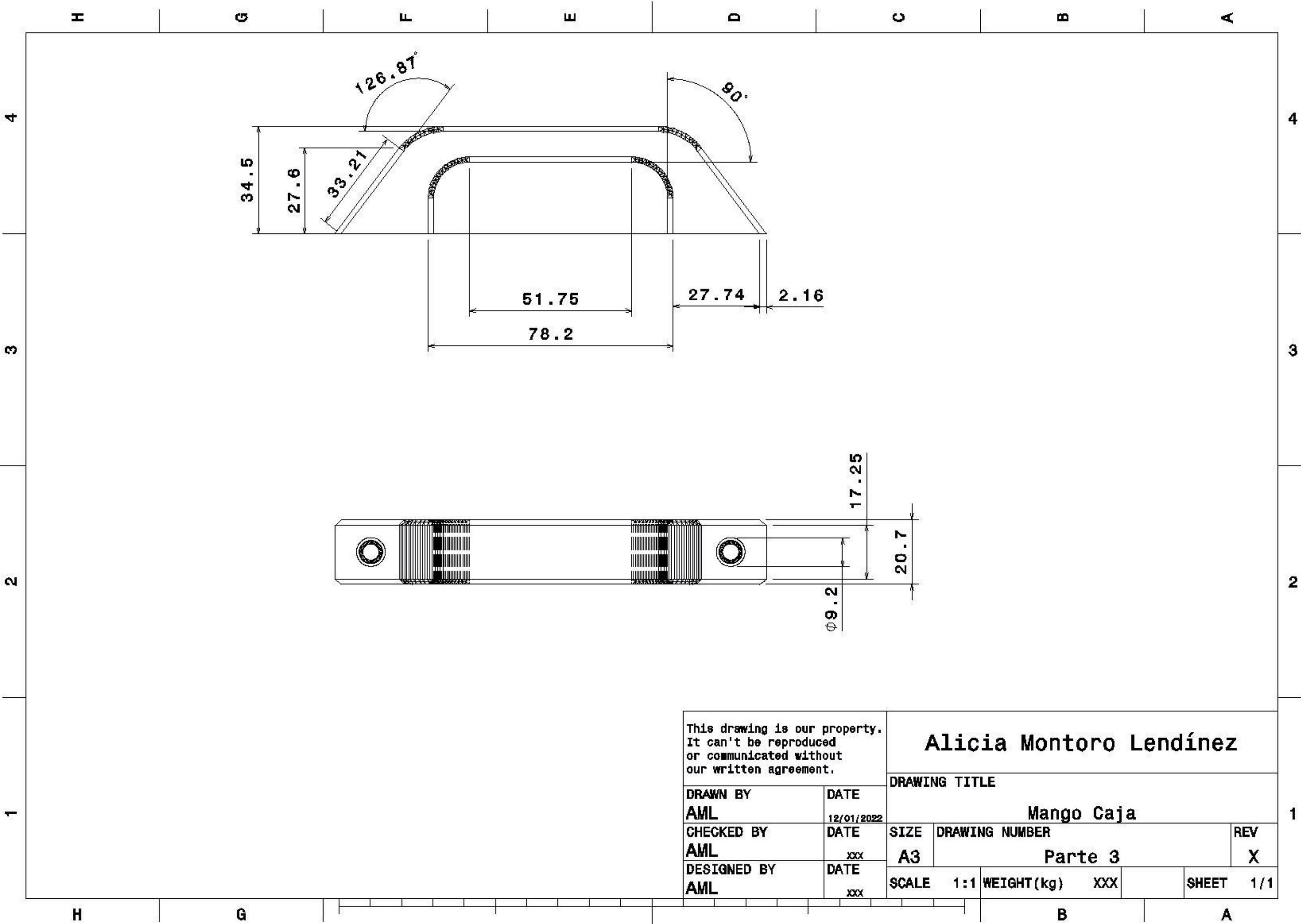
    list= [{
        'medidaCO2':separado[1],
        'medidaCO':separado[2],
        'medidaNH4':separado[3],
        'medidaAlcohol':separado[4],
        'medidaAcetona':separado[5],
        'timestamp': timestamp_str,
        'etiquetado':separado[0]
    }]
    mycol.insert_many(list)

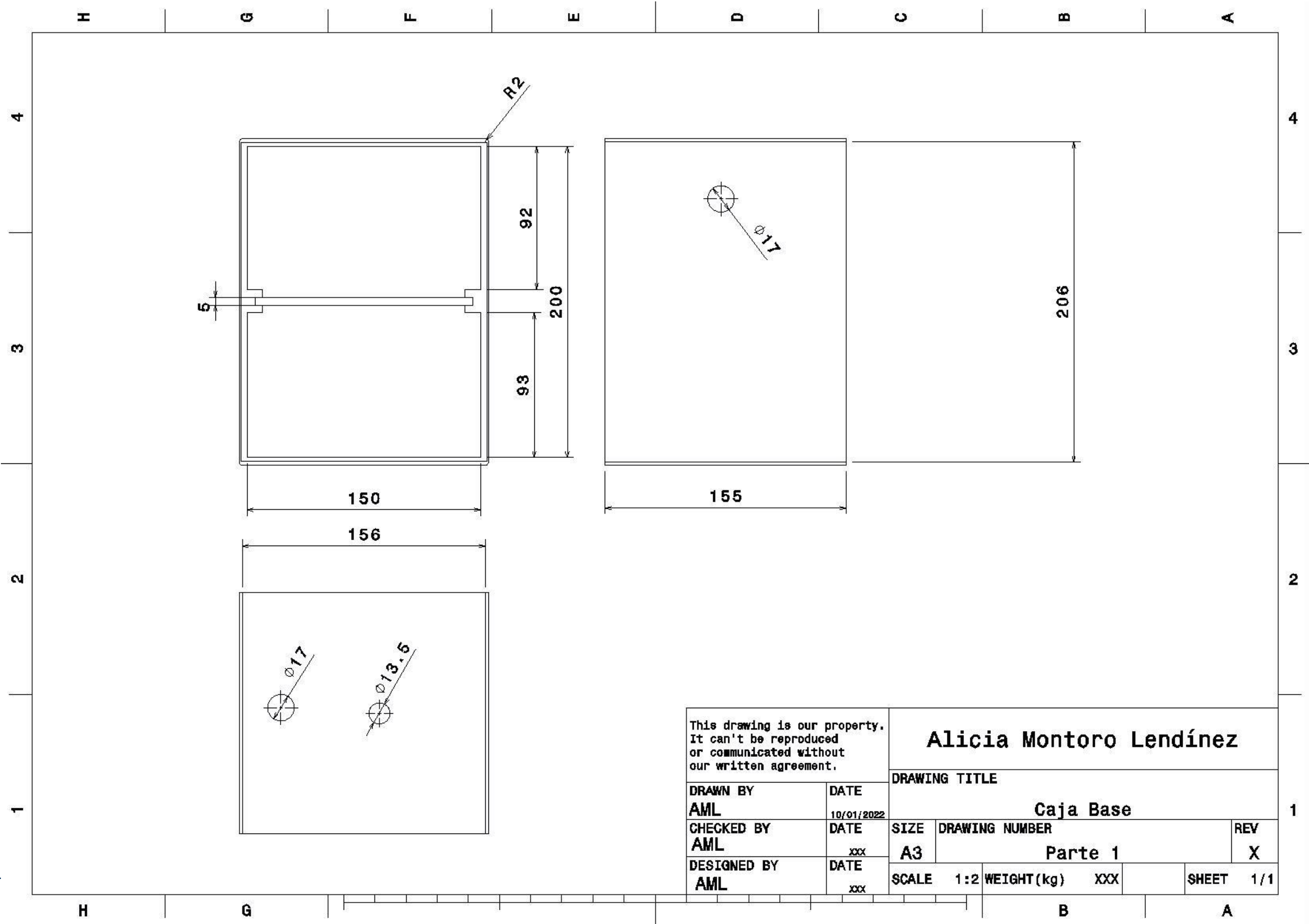
while(True):
    try:
        client = mqtt.Client('Cliente1')
        client.on_message = on_message
        client.connect(broker_address, broker_port, 60)
        client.subscribe(topic_sub) # Subscripcion al topic_sub
        client.loop_forever()
    except Exception as e:
        print('e')
```

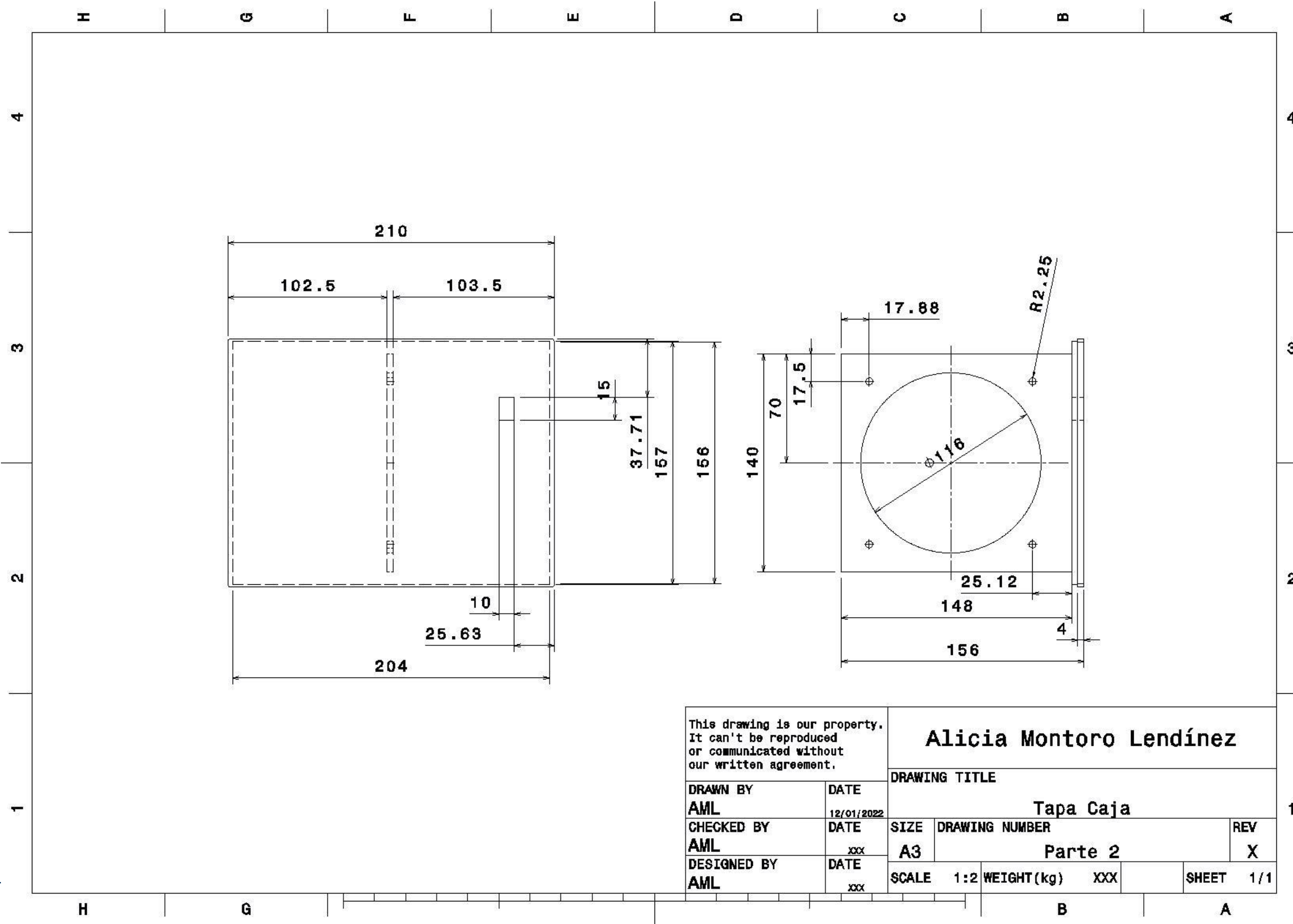
## 6.3 - Croquis del prototipo de caja 3D

En este apartado se muestran las medidas para el diseño de la base, la tapa y el mango.









## 7 - DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.

ADC: Convertidor analógico-digital

CNT: Nanotubos de carbono

CO: Monóxido de carbono

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

COVs: Compuestos orgánicos volátiles

DHS: Espacio de cabeza dinámico

GLP: Gas licuado de petróleo

GPIO: General Purpose Input/Output

GUI: Interfaz gráfica

HSSE: Extracción por absorción en espacio de cabeza

HS-SPME: Microextracción en fase sólida en espacio de cabeza

IDE: Entorno de desarrollo integrado

IoT: Internet of Things

IFTTT (Si esto, entonces aquello) Página para crear y programar acciones entre diferentes aplicaciones: IF This, Then That

M2M: Machine to machine

MOS: Sensor de óxido metálico

MQTT: Message Queing Telemetry Transport

NH<sub>3</sub>: Amoníaco

NH<sub>4</sub>: Amonio

O<sub>2</sub>: Oxígeno

PLA: Ácido poliláctico

Ppm: Partes por millón

PWM: Pulse Width Modulation

QoS: Quality of Service

RFID: Etiquetas de identificación por radiofrecuencia

Rn: Radón

Rpm: Revoluciones por minuto

SDE: Destilación-Extracción simultánea

SFE: Extracción de fluidos supercríticos

SQL: Structured Query Language

SSL/TLS: Secure Sockets Layer / Transport Layer Security

STL: Standard Tessellation Language

TFM: Trabajo de fin de máster

XP: Extreme Programming

## 8 - BIBLIOGRAFÍA

- ¿Qué es un diagrama de Gantt y para qué sirve? | OBS Business School. (n.d.). Retrieved December 17, 2021, from <https://www.obsbusiness.school/blog/que-es-un-diagrama-de-gantt-y-para-que-sirve>
- ¿Qué es una plataforma IoT? - Secmotic. (n.d.). Retrieved December 28, 2021, from <https://secmotic.com/plataforma-iot/#gref>
- Abu, M., Olympio, N. S., Darko, J. O., Abu, M., Olympio, N. S., & Darko, J. O. (2021). Determination of Harvest Maturity for Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit by Non-Destructive Criteria. *Agricultural Sciences*, 12(10), 720–726. <https://doi.org/10.4236/AS.2021.1210071>
- Aguilar Gómez, J. A. (2005). *Especiación química de hidrocarburos provenientes del uso de combustibles fósiles en el sector industrial*. <https://doi.org/10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS>
- Ali, T. A. A., Choksi, V., & Potdar, M. B. (2018). Precision Agriculture Monitoring System Using Green Internet of Things (G-IoT). *Proceedings of the 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICOEI 2018*, 481–487. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2018.8553866>
- Amonio | Lab Tests Online-ES. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from <https://labtestsonline.es/tests/amonio>
- Apache Cassandra | Apache Cassandra Documentation. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from [https://cassandra.apache.org/\\_/index.html](https://cassandra.apache.org/_/index.html)
- Aparato Likens-Nickerson | Laborxing. (n.d.). Retrieved January 17, 2022, from <https://es.laborxing.com/products/likens-nickerson-apparatus>
- Aparicio, R., Conte, L. S., & Fiebig, H.-J. (2013). Olive Oil Authentication BT - Handbook of Olive Oil: Analysis and Properties. 589–653. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7777-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7777-8_16)
- Arduino/ESP8266WiFi.h at master · esp8266/Arduino. (n.d.). Retrieved December 22, 2021, from <https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/libraries/ESP8266WiFi/src/ESP8266WiFi.h>
- Arduino Client for MQTT. (n.d.). Retrieved December 14, 2021, from <https://pubsubclient.knolleary.net/>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer*

- Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2010.05.010>
- AWS. (2020). *Bases de datos no relacionales | Bases de datos de gráficos | AWS*. Web. <https://aws.amazon.com/es/nosql/>
- AWS | *Aurora MySQL Bases de datos relacionales (RDBMS)*. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from <https://aws.amazon.com/es/rds/aurora/?aurora-whats-new.sort-by=item.additionalFields.postDateTime&aurora-whats-new.sort-order=desc>
- AWS | *Servicio de bases de datos sencilla (Simple DB)*. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from <https://aws.amazon.com/es/simplifiedb/>
- AWS IoT Core の特徴. (n.d.). Retrieved December 28, 2021, from <https://aws.amazon.com/es/iot-core/>
- B, B., M, K., T, L., & A, A. (2007). Human exhaled air analytics: biomarkers of diseases. *Biomedical Chromatography: BMC*, 21(6), 553–566. <https://doi.org/10.1002/BMC.835>
- Bhattacharyya, T. K., Sen, S., Mandal, D., & Lahiri, S. K. (2006). Development of a wireless integrated toxic and explosive MEMS based gas sensor. *Proceedings of the IEEE International Conference on VLSI Design*, 2006, 4–7. <https://doi.org/10.1109/VLSID.2006.72>
- Bicchi, C., Cordero, C., & Rubiolo, P. (2004). A survey on high-concentration-capability headspace sampling techniques in the analysis of flavors and fragrances. *Journal of Chromatographic Science*, 42(8), 402–409. <https://doi.org/10.1093/CHROMSCI/42.8.402>
- Bolsas Tedlar®. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from [https://www.keikaventures.com/s\\_tedlar\\_esp.php](https://www.keikaventures.com/s_tedlar_esp.php)
- Boots, A. W., Van Berkel, J. J. B. N., Dallinga, J. W., Smolinska, A., Wouters, E. F., & Van Schooten, F. J. (2012). The versatile use of exhaled volatile organic compounds in human health and disease. *Journal of Breath Research*, 6(2). <https://doi.org/10.1088/1752-7155/6/2/027108>
- Buy a Raspberry Pi 4 Model B – Raspberry Pi. (n.d.). Retrieved December 20, 2021, from <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- CAD Product Design and Engineering Cloud Solutions | Dassault Systèmes. (n.d.). Retrieved December 21, 2021, from [https://www.3ds.com/es/3dexperience/cloud/catia-product-design-and-experience?utm\\_medium=cpc&utm\\_source=google&utm\\_campaign=202101\\_gl](https://www.3ds.com/es/3dexperience/cloud/catia-product-design-and-experience?utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=202101_gl)



- o\_sea\_es\_op51508\_labl\_tt1brand\_ewe\_exact&utm\_term=catia-  
exact&utm\_content=search&gclid=Cj0KCQiAk4aOBhCTARIsAFWFP9Gg81Imv  
ZNWbjv4GACFF6N-d1LVvudipqp8hnbcleclKelmrlc93zcaAvstEALw\_wcB
- Carranza, A. (2021). ✓ Modelo en cascada: ¿Qué es y cómo funciona? [2021] .  
Crehana, 1–2. <https://www.crehana.com/es/blog/desarrollo-web/modelo-en-cascada/>
- Chen, J., Gu, J., Zhang, R., Mao, Y., & Tian, S. (2019). Freshness Evaluation of Three  
Kinds of Meats Based on the Electronic Nose. *Sensors (Basel, Switzerland)*,  
19(3). <https://doi.org/10.3390/S19030605>
- color-interruptor-rojo-de-5-piezas-interruptor-de-boton-tactil-para-arduino-pulsador-  
momentaneo-de-12x12x73-mm-con-tapa.jpg* (222×278). (n.d.). Retrieved  
December 21, 2021, from [https://microelectronica.mx/233145-  
home\\_default/color-interruptor-rojo-de-5-piezas-interruptor-de-boton-tactil-para-  
arduino-pulsador-momentaneo-de-12x12x73-mm-con-tapa.jpg](https://microelectronica.mx/233145-home_default/color-interruptor-rojo-de-5-piezas-interruptor-de-boton-tactil-para-arduino-pulsador-momentaneo-de-12x12x73-mm-con-tapa.jpg)
- Comprensión de Diccionario en Python: Explicado con ejemplos*. (n.d.). Retrieved  
January 18, 2022, from  
[https://www.freecodecamp.org/espanol/news/compresion-de-diccionario-en-  
python-explicado-con-ejemplos/](https://www.freecodecamp.org/espanol/news/compresion-de-diccionario-en-python-explicado-con-ejemplos/)
- Conant, S. (2015). *The IoT will be as fundamental as the Internet itself*. O'Reilly Radar.  
[http://radar.oreilly.com/2015/06/the-iot-will-be-as-fundamental-as-the-internet-  
itself.html](http://radar.oreilly.com/2015/06/the-iot-will-be-as-fundamental-as-the-internet-itself.html)
- CTC Analytics / Leap Technologies Combi PAL Autosampler with Headspace & SPME  
| Conquer Scientific*. (n.d.). Retrieved January 17, 2022, from  
[https://conquerscientific.com/cq-product/ctc-analytics-leap-technologies-combi-  
pal-autosampler-for-liquid-and-headspace-injections/](https://conquerscientific.com/cq-product/ctc-analytics-leap-technologies-combi-pal-autosampler-for-liquid-and-headspace-injections/)
- Dan, A., & Id, W. (2018). Application of Electronic-Nose Technologies and VOC-  
Biomarkers for the Noninvasive Early Diagnosis of Gastrointestinal Diseases.  
*Sensors* 2018, Vol. 18, Page 2613, 18(8), 2613.  
<https://doi.org/10.3390/S18082613>
- Database Services | Oracle España*. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from  
<https://www.oracle.com/es/database/>
- Dióxido de carbono (CO2) en la sangre: Prueba de laboratorio de MedlinePlus*. (n.d.).  
Retrieved January 18, 2022, from <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de->



- laboratorio/dioxido-de-carbono-co2-en-la-sangre/  
Evaluando software. (n.d.). *¿Qué es desarrollo de software ágil? - Evaluando Software*. Retrieved December 16, 2021, from <https://www.evaluandosoftware.com/desarrollo-software-agil/>
- Formato JSON (JavaScript Object Notation) - Documentación de IBM. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from <https://www.ibm.com/docs/es/baw/20.x?topic=formats-javascript-object-notation-json-format>
- Gomes, J. B. A., Rodrigues, J. J. P. C., Rabêlo, R. A. L., Kumar, N., & Kozlov, S. (2019). *Actuator Networks Sensor and IoT-Enabled Gas Sensors: Technologies, Applications, and Opportunities*. <https://doi.org/10.3390/jsan8040057>
- González-Zúñiga, J. A., González-Sánchez, H. M., Palomares, S. G., Rosales-Reyes, T., & Andrade-González, I. (2011). Microextracción en fase sólida de compuestos volátiles en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Acta Universitaria*, 21(1), 17–22. <https://doi.org/10.15174/AU.2011.48>
- Harrou, F., Dairi, A., Sun, Y., & Kadri, F. (2018). Detecting Abnormal Ozone Measurements with a Deep Learning-Based Strategy. *IEEE Sensors Journal*, 18(17), 7222–7232. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2852001>
- Hofstetter, D., Fabian, E., & Lorenzoni, A. G. (2021). *Ammonia Generation System for Poultry Health Research Using Arduino †*. <https://doi.org/10.3390/s21196664>
- Home Assistant. (n.d.). Retrieved December 29, 2021, from <https://www.home-assistant.io/>
- Ibiricu Elizondo, I. (2020). *Sistema IoT para la monitorización y visualización de parámetros ambientales en entornos industriales*. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/37594>
- IDE – Aprendiendo Arduino. (n.d.). Retrieved December 22, 2021, from <https://www.aprendiendoarduino.com/tag/ide/>
- imagenGrande1.jpg (510×510). (n.d.). Retrieved December 21, 2021, from [https://static.carrefour.es/hd\\_510x\\_/imagenes/products/47161/23314/660/4716123314660/imagenGrande1.jpg](https://static.carrefour.es/hd_510x_/imagenes/products/47161/23314/660/4716123314660/imagenGrande1.jpg)
- indeed. (2021). *Salario de un Programador junior en España*. <https://es.indeed.com/career/programador-junior/salaries>
- IntelDig. (2018). *Bases de datos SQL - Definición y ejemplos*. Tecnologías Información. <https://www.tecnologias-informacion.com/sql.html>
- Johny, J., Prabhu, R., Fung, W. K., & Watson, J. (2016). Investigation of positioning of

- FBG sensors for smart monitoring of oil and gas subsea structures. *OCEANS 2016 - Shanghai*. <https://doi.org/10.1109/OCEANSAP.2016.7485662>
- Kanakam, P., Hussain, S. M., & Chakravarthy, A. S. N. (2015). Electronic noses: Forestalling fire disasters: A technique to prevent false fire alarms and fatal casualties. *Undefined*. <https://doi.org/10.1109/ICCIC.2015.7435629>
- Komarudin, M., Septama, H. D., Yulianti, T., Yudamson, A., Pratama, M., & Zuhelmi, T. P. (2021). Air Quality Monitoring Device for Smart Health Solution during Covid-19 Pandemic. *2021 International Conference on Converging Technology in Electrical and Information Engineering (ICCTEIE)*, 78–81. <https://doi.org/10.1109/ICCTEIE54047.2021.9650638>
- Las 10 ventajas del software libre - El salmón contracorriente*. (n.d.). Retrieved January 17, 2022, from <https://www.elsalmoncontracorriente.es/?Las-10-ventajas-del-software-libre>
- Llamas, L. (2019). *¿Que es MQTT? Su importancia como Protocolo IoT*. <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>
- Lo que nadie te explica sobre Agile - ActioGlobal*. (n.d.). Retrieved January 10, 2022, from <https://www.actioglobal.com/es/lo-que-nadie-te-explica-sobre-el-agile/>
- López Núñez, R., Rojas, I. C., Lock-Wah-Hoon, J. R., Giráldez Díaz, I., Montoya, M. R., Jesús, M., & Blanco, D. (n.d.). *BIOFILTRACIÓN DE A-PINENO CON COMPOST DE RSU Y RESIDUOS DE PODA*.
- Lucidchart. (2021). *¿Qué es un diagrama de flujo? | Lucidchart*. <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo>
- Make-It.ca. (2020). *NodeMCU ESP8266 Specifications, Overview and Setting Up*. Make-It.Ca. <https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications/>
- Manzoli, A., Steffens, C., Paschoalin, R. T., Graboski, A. M., De Mello Brandão, H., de Carvalho, B. C., Bellini, J. L., & de Paula Herrmann, P. S. (2019). Volatile compounds monitoring as indicative of female cattle fertile period using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 282, 609–616. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2018.11.109>
- Marco Millán, F., & Delgado Gracia, J. (2016). *Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zaguan* <http://zaguan.unizar.es>.
- MariaDB: The database for all*. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from [https://go.mariadb.com/22Q1-ADV-GLBL-OSSG-MariaDB-Awareness-General\\_LP.html?utm\\_source=google&utm\\_medium=ppc&utm\\_campaign=MKG](https://go.mariadb.com/22Q1-ADV-GLBL-OSSG-MariaDB-Awareness-General_LP.html?utm_source=google&utm_medium=ppc&utm_campaign=MKG)

-Search-Google-Brand-Awareness-

EMEA&matchtype=e&keyword=mariadb&cid=15522146046&agid=129623874143&device=c&placement=&creative=568400589547&adposition=&gclid=CjwKCAiA55mPBhBOEiwANmzoQqxujPvyPpMZPn1-

bFRHSPRmGQn\_t5Bi48MPkfFiRLi-ump7hK5iSxoC98UQAvD\_BwE

Marlady Ortiz. (2012). *Modelo Incremental ~ Ingeniería de Software*. Isw-Udistrital. <http://isw-udistrital.blogspot.com/2012/09/ingenieria-de-software-i.html>

*MongoDB Atlas: Cloud Document Database | MongoDB*. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from

[https://www.mongodb.com/cloud/atlas/lp/try2?utm\\_source=google&utm\\_campaign=gs\\_emea\\_spain\\_search\\_core\\_brand\\_atlas\\_desktop&utm\\_term=mongodb&utm\\_medium=cpc\\_paid\\_search&utm\\_ad=e&utm\\_ad\\_campaign\\_id=12212624563&adgroup=115749706983&gclid=CjwKCAiA55mPBhBOEiwANmzoQrZS8tJmTJT HxUg7TL3Lwr9SouNrS5iO3UVgpGdxsgJLLtMQX9bx-xoCaU8QAvD\\_BwE](https://www.mongodb.com/cloud/atlas/lp/try2?utm_source=google&utm_campaign=gs_emea_spain_search_core_brand_atlas_desktop&utm_term=mongodb&utm_medium=cpc_paid_search&utm_ad=e&utm_ad_campaign_id=12212624563&adgroup=115749706983&gclid=CjwKCAiA55mPBhBOEiwANmzoQrZS8tJmTJT HxUg7TL3Lwr9SouNrS5iO3UVgpGdxsgJLLtMQX9bx-xoCaU8QAvD_BwE)

Movilla-Quesada, D., Lagos-Varas, M., Raposeiras, A. C., Muñoz-Cáceres, O., Andrés-Valeri, V. C., & Aguilar-Vidal, C. (2021). Analysis of Greenhouse Gas Emissions and the Environmental Impact of the Production of Asphalt Mixes Modified with Recycled Materials. *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 8081, 13(14)*, 8081. <https://doi.org/10.3390/SU13148081>

*mq-135-gas-sensor.jpg (1350×1350)*. (n.d.). Retrieved December 20, 2021, from <https://www.robotshop.com/media/catalog/product/cache/image/1350x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/m/q/mq-135-gas-sensor.jpg>

*MQTT - The Standard for IoT Messaging*. (n.d.). Retrieved December 22, 2021, from <https://mqtt.org/>

*MQUnifiedsensor - Arduino Libraries*. (n.d.). Retrieved December 22, 2021, from <https://www.arduino-libraries.info/libraries/mq-unifiedsensor>

*MSRobotics - Raspberry PI 4*. (n.d.). Retrieved December 20, 2021, from [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135\\_Hanwei.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf)

*Muestreo por Espacio de Cabeza (Headspace Sampling, HS) | Cromlab S.L. Blog de Cromatografía*. (n.d.). Retrieved January 17, 2022, from <http://blog.cromlab.es/muestreo-por-espacio-de-cabeza-headspace-sampling-hs/>

*MurciaSalud, el portal sanitario de la Región de Murcia. Contaminantes del aire: Monóxido de carbono*. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from

- <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398>
- MySQL. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from <https://www.mysql.com/>
- NF-P12 || Service. (n.d.). Retrieved December 21, 2021, from <https://noctua.at/es/nf-p12/manual>
- Nieto, G. V., CURP, & VING970213HQTZTR05. (2020). *Desarrollo e implementación de un sistema IoT para una máquina medidora-cortadora de cable*. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2285>
- NodeMcu V3 Lua ESP8266 ESP12E Wifi CH340 » IBEROBOTICS. (n.d.). Retrieved December 20, 2021, from <https://www.iberobotics.com/producto/modulo-wifi-nodemcu-v3-lua-esp12e-ch340/>
- Perez, A. (2016). *Características y fases del modelo incremental | OBS Business School*. <https://www.obsbusiness.school/blog/caracteristicas-y-fases-del-modelo-incremental>
- Pirrone, F., & Albertini, M. (2017). Olfactory detection of cancer by trained sniffer dogs: A systematic review of the literature. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, 19, 105–117. <https://doi.org/10.1016/J.JVEB.2017.03.004>
- Pous Casas, H. (2021). *Sistema de desinfección mediante ozono con monitorización IoT*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/169757>
- PRECIOS DE Equipo para Extracción por Fluído Supercrítico (SFE) – Información Comercial | QuimiNet.com. (n.d.). Retrieved January 17, 2022, from <https://www.quiminet.com/productos/equipo-para-extraccion-por-fluido-supercritico-sfe-83505751211/precios.htm>
- Prueba de cetonas en sangre: Prueba de laboratorio de MedlinePlus. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/prueba-de-cetonas-en-sangre/>
- PyCharm: el IDE de Python para desarrolladores profesionales, por JetBrains. (n.d.). Retrieved December 22, 2021, from <https://www.jetbrains.com/es-es/pycharm/>
- Racor autom.recto conico m 50000 8 1/8 - Ferretería Aubert. (n.d.). Retrieved January 10, 2022, from <https://www.aubertsa.com/neumatica-racoreria/27201-racor-autom-recto-conico-m-50000-8-1-8-1830818000102.html>
- Redis. (n.d.). Retrieved January 18, 2022, from <https://redis.io/>
- Rodriguez Gamboa, J. C., Albarracin E, E. S., da Silva, A. J., L. de Andrade Lima, L., & Tiago, T. A. (2019). Wine quality rapid detection using a compact electronic

- nose system: Application focused on spoilage thresholds by acetic acid. *LWT*, 108, 377–384. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.074>
- Salario de un Comercial en España*. (2021). <https://es.indeed.com/career/analista-programador/salaries>
- Salario de un Jefe de proyecto en España*. (n.d.). Retrieved December 27, 2021, from <https://es.indeed.com/career/jefe-de-proyecto/salaries>
- SMC Corporation - VHK2-02S-02S - Válvula del dedo, puerto del cuerpo, 1/4 " - Allied Electronics y automatización*. (n.d.). Retrieved January 10, 2022, from <https://mx-es.alliedelec.com/product/smc-corporation/vhk2-02s-02s/70399615/>
- Software Ultimaker: herramientas de software de impresión 3D para todas las aplicaciones*. (n.d.). Retrieved December 21, 2021, from <https://ultimaker.com/es/software>
- Sotelo, J. L., Gabriel, S., & Escudero, O. (2003). Procesos con fluidos supercríticos. *Anales de La Real Sociedad Española de Química*, ISSN 1575-3417, ISSN-e 1575-3417, Nº. 4, 2003, Págs. 15-23, 4, 15–23. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=762320>
- Thingier.io Platform. (2017). *Thingier.io – Open Source IoT Platform*. <https://thingier.io/>
- Viejo, C. G., Fuentes, S., & Hernandez-Brenes, C. (2021). Smart detection of faults in beers using near-infrared spectroscopy, a low-cost electronic nose and artificial intelligence. *Fermentation*, 7(3), 117. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030117>
- Wang, F., Lin, W., Liu, Z., Wu, S., & Qiu, X. (2017). Pipeline Leak Detection by Using Time-Domain Statistical Features. *IEEE Sensors Journal*, 17(19), 6431–6442. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2740220>

