



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Estudio y desarrollo de un sistema electrónico para la
medida de humedad relativa en la cavidad peritoneal de un
paciente sometido a cirugía laparoscópica.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

AUTOR/A: Fernandez Ortega, Juan Carlos

Tutor/a: Berjano Zanón, Enrique

Cotutor/a externo: GONZALEZ SUAREZ, ANA

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TRABAJO FIN DE GRADO

**Estudio y desarrollo de un sistema electrónico
para la medida de humedad relativa en la cavidad
peritoneal de un paciente sometido a cirugía
laparoscópica**

Autor: Juan Carlos Fernandez Ortega

Tutor: Dr. Enrique Berjano Zanón

Cotutor: Dra. Ana González Suárez

2021-2022

Resumen

Durante la cirugía laparoscópica se insufla aire en el interior de la cavidad peritoneal del paciente. Este aire es a menudo seco y frío, lo que puede producir daños en los tejidos biológicos. Es por lo tanto importante monitorizar la humedad relativa en dicha cavidad. No existen actualmente sistemas de medida destinados a tal fin. Este TFG tiene los siguientes objetivos: 1) estudiar las alternativas de sensores electrónicos destinados a medir la humedad relativa en el interior de la cavidad peritoneal; y 2) proponer una solución técnica para dicho objetivo teniendo en cuenta las numerosas limitaciones en cuanto a tamaño, rango, error, tiempo de respuesta y coste.

Resum

Durant la cirurgia laparoscòpica s'insufla aire a l'interior de la cavitat peritoneal del pacient. Aquest aire és sovint sec i fred, la qual cosa pot produir danys en els teixits biològics. És per tant important monitorar la humitat relativa en aquesta cavitat. No existeixen actualment sistemes de mesura destinats a tal fi. Aquest *TFG té els següents objectius: 1) estudiar les alternatives de sensors electrònics destinats a mesurar la humitat relativa a l'interior de la cavitat peritoneal; i 2) proposar una solució tècnica per a aquest objectiu tenint en compte les nombroses limitacions quant a grandària, rang, error, temps de resposta i cost.

Abstract

During laparoscopic surgery, air is blown into the patient's peritoneal cavity. This air is often dry and cold, which can cause damage to biological tissues. It is therefore important to monitor the relative humidity in said cavity. There are currently no measurement systems designed for this purpose. This TFG has the following objectives: 1) to study the alternatives of electronic sensors destined to measure the relative humidity inside the peritoneal cavity; and 2) propose a technical solution for said objective considering the numerous limitations in terms of size, range, error, response time and cost.

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen | 3 |
| Resum | 4 |
| Abstract..... | 5 |
| Índice | 6 |
| Índice de figuras | 9 |
| Índice de tablas..... | 11 |
| Documento I Memoria | 13 |
| 1. Objeto..... | 14 |
| 2. Antecedentes y justificación del proyecto..... | 14 |
| 2.1 Laparoscopia | 14 |
| 2.2 Descripción de magnitudes y unidades..... | 15 |
| 2.3 Principio de funcionamiento de sensor de humedad | 16 |
| 2.3.1 Sensor capacitivo..... | 16 |
| 2.3.2 Sensor resistivo..... | 18 |
| 3. Estado del arte..... | 19 |
| 4. Modelos de sensor de humedad..... | 20 |
| 4.1 Especificaciones de posibles modelos de sensores de humedad | 20 |
| 4.2 Posibles soluciones | 20 |
| 4.2.1 P14..... | 20 |
| 4.2.2 HTU21DF | 21 |
| 4.2.3 HS1101LF | 23 |
| 4.2.4 HCZ-D5 | 24 |
| 4.2.5 HYT 271 | 26 |
| 4.2.6 SHT21 | 27 |
| 4.2.7 Si7006-A20 | 28 |
| 4.2.8 HTS221 | 29 |
| 4.2.9 SHT25 | 30 |
| 4.3 Comparativa de los modelos de los sensores escogidos | 31 |
| 4.4 Solución adoptada..... | 34 |
| 5. Microcontrolador e interface con el usuario..... | 35 |
| 6. Diseño μ C - sensores | 38 |
| 6.1 Características μ C - sensores..... | 38 |
| 6.2 Conexión μ C - sensores..... | 40 |
| 7. Código / Software | 41 |
| 7.1 Diagrama de flujo..... | 42 |
| 7.1.1 SHT21 | 42 |

| | | |
|---------|---|----|
| 7.1.2 | SHT25 | 43 |
| 7.2 | Librerías (.h y .cpp)..... | 44 |
| 7.2.1 | SHT21.h..... | 44 |
| 7.2.2 | SHT21.cpp..... | 45 |
| 7.2.3 | SHT25.h..... | 47 |
| 7.2.4 | SHT25.cpp..... | 48 |
| 7.3 | Código | 52 |
| 7.3.1 | SHT21.ino..... | 52 |
| 7.3.2 | SHT25.ino..... | 53 |
| 7.4 | Prueba | 53 |
| 7.4.1 | SHT21 | 54 |
| 7.4.2 | SHT25 | 54 |
| 8. | Verificación en el laboratorio..... | 55 |
| 8.1 | Calibración estática..... | 56 |
| 8.1.1 | SHT21 | 57 |
| 8.1.2 | SHT25 | 59 |
| 8.2 | Calibración dinámica..... | 62 |
| 8.2.1 | SHT21 | 63 |
| 8.2.1.1 | Impulso positivo | 63 |
| 8.2.1.2 | Impulso negativo | 66 |
| 8.2.2 | SHT25 | 68 |
| 8.2.2.1 | Impulso positivo | 68 |
| 8.2.2.2 | Impulso negativo | 69 |
| 9. | Conclusiones | 70 |
| 9.1 | Resultados | 71 |
| 9.2 | Limitaciones..... | 71 |
| 9.3 | Futuros proyectos | 71 |
| 10. | Referencias..... | 72 |
| | Documento II: Planos | 75 |
| | Documento III: Pliego de condiciones..... | 81 |
| 1. | Objeto..... | 82 |
| 2. | Normativa..... | 82 |
| 3. | Materiales..... | 82 |
| 3.1. | Condiciones de los materiales | 82 |
| 3.1.1. | Componentes pasivos | 82 |
| 3.1.2. | Microcontrolador | 82 |
| 3.1.3. | Sensores | 83 |

| | |
|--|----|
| 3.1.4. Otros..... | 83 |
| 3.2. Control de calidad de materiales..... | 83 |
| 4. Condiciones de ejecución..... | 84 |
| 4.1. Descripción..... | 84 |
| 4.2. Control de calidad de ejecución..... | 84 |
| 5. Prueba de servicio..... | 84 |
| Documento IV: Presupuesto..... | 86 |
| 1. Introducción..... | 87 |
| 2. Software incluido..... | 87 |
| 2.1. Cuadro de precios elementales..... | 87 |
| 2.2. Cuadro de precios descompuestos..... | 89 |
| 2.3. Cuadro de precios unitarios..... | 90 |
| 2.4. Estado de mediciones..... | 90 |
| 2.5. Valoración del presupuesto..... | 91 |
| 3. Software no incluido..... | 92 |
| 3.1. Cuadro de precios elementales..... | 92 |
| 3.2. Cuadro de precios descompuestos..... | 93 |
| 3.3. Cuadro de precios unitarios..... | 95 |
| 3.4. Estado de mediciones..... | 95 |
| 3.5. Valoración del presupuesto..... | 96 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Principio de funcionamiento sensor capacitivo | 17 |
| Figura 2. Principio de funcionamiento sensor capacitivo | 17 |
| Figura 3. Sensor capacitivo [5]..... | 18 |
| Figura 4. Principio de funcionamiento sensor resistivo..... | 18 |
| Figura 5. Sensor resistivo | 19 |
| Figura 6. Medidas del sensor capacitivo P14..... | 21 |
| Figura 7. Sensor capacitivo P14 | 21 |
| Figura 8. Sensor HTU21DF | 22 |
| Figura 9. Dimensiones HTU21DF | 22 |
| Figura 10. Dimensiones HTU21DF | 23 |
| Figura 11. Medición Humedad Relativa junto con la Temperatura | 23 |
| Figura 12. Sensor capacitivo HS1101LF..... | 24 |
| Figura 13. Sensor HCZ-D5 | 25 |
| Figura 14. Sensor HYT 271 | 26 |
| Figura 15. Sensor SHT21 | 27 |
| Figura 16. Sensor Si7006-A20..... | 28 |
| Figura 17. Sensor HTS221 | 29 |
| Figura 18. Sensor SHT25 | 30 |
| Figura 19. DFN package..... | 34 |
| Figura 20. Pin out Arduino UNO | 36 |
| Figura 21. Dimensiones Arduino UNO | 36 |
| Figura 22. Interface SHTx..... | 37 |
| Figura 23. Sensor encapsulado | 37 |
| Figura 24. Start y stop de comunicación con el sensor | 39 |
| Figura 25. Esquema de conexiones sensor- μ C-ordenador | 40 |
| Figura 26. Conexión sensor- μ C-ordenador | 41 |
| Figura 27. Diagrama de flujo SHT21 | 43 |
| Figura 28. Diagrama de flujo SHT25..... | 44 |
| Figura 29. Compilación correcta y Monitor Serie SHT21..... | 54 |
| Figura 30. Compilación correcta y Monitor Serie SHT25..... | 55 |
| Figura 31. Higrómetro C.A 846 | 55 |
| Figura 32. Humidificador Savoid [17] | 55 |
| Figura 33. Circuito montado para las pruebas experimentales 1/2..... | 56 |
| Figura 34. Circuito montado para las pruebas experimentales 2/2..... | 56 |
| Figura 35. Espacio para calibración | 57 |
| Figura 36. Medida humedad relativa ambiente | 57 |
| Figura 37. Calibración sensor SHT21 prueba N° 1..... | 58 |
| Figura 38. Calibración sensor SHT25 prueba N° 1..... | 59 |
| Figura 39. Calibración sensor SHT25 prueba n° 2 | 60 |
| Figura 40. Calibración sensor SHT25 prueba N° 3..... | 60 |
| Figura 41. Calibración sensor SHT25 prueba N° 4..... | 61 |
| Figura 42. Calibración sensor SHT25 total..... | 61 |
| Figura 43. Cámara cerrada acondicionada para el cálculo de la respuesta del sistema | 63 |
| Figura 44. Pendiente Ascendente Prueba N° 1 del sensor SHT21..... | 64 |
| Figura 45. Pendiente Ascendente Prueba N°2 del sensor SHT21..... | 64 |
| Figura 46. Pendiente Ascendente Prueba N° 3 del sensor SHT21..... | 65 |
| Figura 47. Pendiente Ascendente Prueba N° 4 del sensor SHT21..... | 65 |
| Figura 48. Pendiente Descendente Prueba N° 1 del sensor SHT21 | 66 |
| Figura 49. Pendiente Descendente Prueba N° 2 del sensor SHT21 | 67 |

| | |
|---|----|
| Figura 50. Pendiente Ascendente Prueba N° 1 del sensor SHT25..... | 68 |
| Figura 51. Pendiente Ascendente Prueba N° 2 del sensor SHT25..... | 68 |
| Figura 52. Pendiente Descendente Prueba N° 1 del sensor SHT25 | 69 |
| Figura 53. Pendiente Descendente Prueba N° 2 del sensor SHT25 | 70 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Dimensiones P14..... | 20 |
| Tabla 2. Dimensiones HTU21DF | 22 |
| Tabla 3. Dimensiones HS1101LF | 24 |
| Tabla 4. Valor resistivo ante el cambio de humedad relativa..... | 25 |
| Tabla 5. Dimensiones HCZ-D5 | 26 |
| Tabla 6. Dimensionamiento HYT 271 | 26 |
| Tabla 7. Dimensionamiento SHT21 | 27 |
| Tabla 8. Dimensionamiento Si7006-A20..... | 29 |
| Tabla 9. Dimensiones HTS221 | 29 |
| Tabla 10. Dimensiones SHT25 | 30 |
| Tabla 11. Comparativa modelos sensores (1/2)..... | 32 |
| Tabla 12. Comparativa modelos sensores (2/2)..... | 33 |
| Tabla 13. Correspondencia pines SHTx..... | 37 |
| Tabla 14. Comandos básicos..... | 39 |
| Tabla 15. Tiempos de medida..... | 40 |
| Tabla 16. Calibración sensor SHT21 prueba N° 1..... | 58 |
| Tabla 17. Calibración sensor SHT25 prueba N° 1..... | 59 |
| Tabla 18. Calibración sensor SHT25 prueba N° 2..... | 60 |
| Tabla 19. Calibración sensor SHT25 prueba N° 3..... | 60 |
| Tabla 20. Calibración sensor SHT25 prueba N °4..... | 61 |
| Tabla 21. Cálculo τ para cada prueba ascendente del sensor SHT21 realizada en el laboratorio..... | 66 |
| Tabla 22. Cálculo τ para cada prueba descendente del sensor SHT21 realizada en el laboratorio..... | 67 |
| Tabla 23. Cálculo τ para cada prueba ascendente del sensor SHT25 realizada en el laboratorio..... | 69 |
| Tabla 24. Cálculo τ para cada prueba descendente del sensor SHT25 realizada en el laboratorio..... | 70 |
| Tabla 25. Cuadro de precios elementales (Materiales) | 87 |
| Tabla 26. Cuadro de precios elementales (Mano de obra)..... | 88 |
| Tabla 27. Cuadro de precios elementales (Amortizaciones) | 88 |
| Tabla 28. Cuadro de precios elementales (Otros gastos generales) | 88 |
| Tabla 29. Cuadro de precios descompuestos 1/2 | 89 |
| Tabla 30. Cuadro de precios unitarios | 90 |
| Tabla 31. Estado de mediciones | 90 |
| Tabla 32. Valoración del presupuesto..... | 91 |
| Tabla 33. Cuadro de precios elementales (Materiales) | 92 |
| Tabla 34. Cuadro de precios elementales (Mano de obra)..... | 92 |
| Tabla 35. Cuadro de precios elementales (Amortizaciones) | 93 |
| Tabla 36. Cuadro de precios elementales (Otros gastos generales)..... | 93 |
| Tabla 37. Cuadro de precios descompuestos 1/2 | 93 |
| Tabla 38. Cuadro de precios descompuestos 2/2 | 94 |
| Tabla 39. Cuadro de precios unitarios | 95 |
| Tabla 40. Estado de mediciones | 95 |
| Tabla 41. Valoración del presupuesto..... | 96 |

Documento I Memoria

1. Objeto

El objetivo de este TFG es el diseño de un sistema electrónico para la medida de humedad relativa en el interior de la cavidad peritoneal de un paciente sometido a cirugía laparoscópica. El proyecto está destinado a la ayuda sanitaria en hospitales, siguiendo la norma IEC 60601-1 y UNE-EN ISO 11073-10406.

2. Antecedentes y justificación del proyecto

2.1 Laparoscopia

Para empezar, hay que indicar que en la cirugía laparoscópica se requiere de la insuflación de un gas para una adecuada exposición, visualización y manipulación del contenido de la cavidad abdominal. El CO₂ es el gas más usado en la cirugía laparoscópica, por ser incoloro, no combustible y económico. Además, la distensión postoperatoria no es prolongada porque el CO₂ se absorbe rápidamente, es muy soluble en agua y difunde fácilmente en los tejidos corporales. El CO₂ es insuflado a una tasa de 4-6 L/min, hasta alcanzar una presión de 10-20 mmHg [1].

En la intervención por laparoscopia son necesarios algunos instrumentos como pueden ser la torre de laparoscopia, laparoscopio, trócares, endograpadora recta, aparato para la colocación de clics y otros instrumentos como pueden ser pinzas, portas, etc.

La cirugía laparoscópica sigue unos pasos concretos. Primero hay que anestesiarse al paciente para posteriormente, e introducir el trocar para poder introducir la óptica o laparoscopio. A partir de este momento podremos ver a través del monitor la cavidad abdominal. Se irán introduciendo trócares para colocar el cable de neumoperitoneo y gracias a la óptica iremos introduciendo trócares según convenga. Las incisiones que se pueden llegar a hacer no son más de 12 mm ya que es lo mínimo para acceder al abdomen por medio de cánulas. El laparoscopio que está conectado a una cámara se inserta a través de la cánula. [2]

Algunas ventajas que presenta la intervención por laparoscopia es la mejor recuperación del paciente, un menor índice de complicaciones, el paciente sufre menos dolor y una mejor cicatrización con menor tamaño.

El inconveniente de usar CO₂ directamente de la fuente de suministro (balas o toma de pared) es que está en un estado muy seco y puede dañar los tejidos de la cavidad lo que puede influir en el periodo postoperatorio del paciente. De hecho, el CO₂ que se

utiliza en la cirugía no está acondicionado, por lo que su grado de humedad es muy bajo, y además entra con una temperatura ambiente de entre 19 a 21 °C. Por tanto, el estado del gas (seco y frío) en comparación con el estado fisiológico natural del peritoneo con una temperatura de 37 °C perjudica a los tejidos del paciente. La insuflación del CO₂ provoca evaporación del líquido y secado del peritoneo provocando inflamación y daño a sus células. Esta lesión peritoneal causada por la sequedad se relaciona con el dolor postoperatorio. Además, se ha estudiado en animales que la humidificación quirúrgica reduce la implantación de tumores peritoneales y la carga tumoral, algo positivo para pacientes que padecen de cáncer. Se ha demostrado que el acondicionamiento del CO₂ con humedad y calor disminuye el daño peritoneal. Por tanto, la pérdida de temperatura durante el proceso quirúrgico se puede prevenir humedeciendo y calentando este gas.

La existencia de un sistema electrónico que mida la humedad relativa dentro de la cavidad durante estas intervenciones puede ser muy útil para el cirujano y favorable para el paciente puesto que se puede mantener una humedad relativa óptima teniendo en cuenta la humedad relativa de la sala de operación junto a la variación del órgano a operar por la insuflación de CO₂.

2.2 Descripción de magnitudes y unidades

A continuación, se describen algunas de las magnitudes relevantes en el contexto de este TFG.

Humedad absoluta (HA): Es la cantidad de vapor de agua por unidad de volumen de aire ambiente, y se mide en g/m³.

Humedad específica (HE): Es la cantidad de masa del vapor de agua a la masa total del aire, y se mide en g/m³.

Humedad relativa (HR): Es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura (humedad absoluta de saturación) [3].

Dos parámetros a tener en cuenta en la humedad relativa son la presión y la temperatura. La temperatura es un aspecto importante a tener en cuenta porque con la misma cantidad de vapor de agua la humedad relativa será mayor en el aire frío y menor en el aire caliente.

La unidad es adimensional. Además, se puede deducir que un mayor porcentaje significa estamos en una situación más húmeda.

Si llega al 0% HR el aire está completamente “seco”. En cambio, si se alcanza el límite del 100% HR significa que el aire está saturado lo que se conoce como punto de rocío. El punto de rocío es la temperatura más alta en la que empieza la condensación del vapor de agua contenido en el aire. La saturación o punto de rocío se puede producir por un aumento de humedad absoluta con la misma temperatura o por un descenso de la temperatura con la misma humedad absoluta [4].

Además de la temperatura, la presión es un parámetro importante que influye en la humedad relativa siendo directamente proporcional a la temperatura. Podemos deducir que la presión variará inversamente proporcional al volumen, por tanto, el volumen también se considerará importante en la medida de la humedad relativa. Por tanto, cuando el volumen baje la presión aumentará y viceversa.

Las principales unidades a tener en cuenta son la humedad relativa (medida en %), la temperatura (en kelvin, K), la presión (en pascales, Pa) y el volumen (en m³).

2.3 Principio de funcionamiento de sensor de humedad

El principio de funcionamiento de un sensor de humedad se basa en la detección de agua o vapor presente en la atmósfera.

El instrumento para medir la humedad se llama higrómetro. Hay muchos principios de funcionamiento para medir la humedad relativa como pueden ser sensores capacitivos, resistivos, térmicos, gravimétricos, de absorción, eléctricos, de condensación, o incluso de cabello, pero en nuestro caso nos centraremos en el capacitivo y en el resistivo.

2.3.1 Sensor capacitivo

Se basa en medir la capacitancia entre dos electrodos para que cuando sea un ambiente húmedo se tenga una capacitancia muy baja y para un ambiente seco se obtendrá la capacitancia muy alta.

En cuanto a su funcionamiento, la permitividad eléctrica del material dieléctrico variará con el cambio de humedad, para ello se medirá el efecto de la humedad de la constante dieléctrica de un material polimérico de un metal. (Figura 1 y Figura 2)

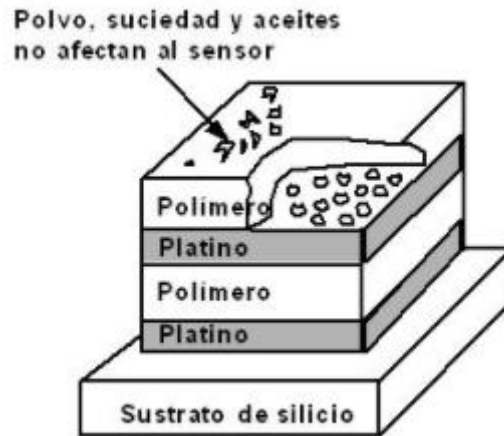


Figura 1. Principio de funcionamiento sensor capacitivo

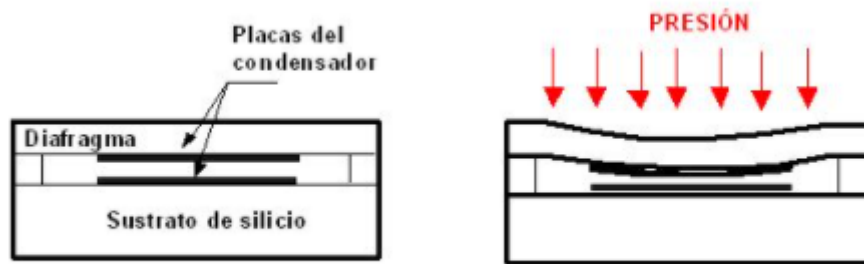


Figura 2. Principio de funcionamiento sensor capacitivo

La mayoría tienen una tecnología I²C o SPI dependiendo del modelo nos ofrecen unas salidas de temperatura y presión distintas, pero ajustadas a nuestras necesidades.

Se usa en aplicaciones donde importan los factores del precio y tamaño, pero en cambio no tiene una exactitud tan precisa como otro tipo de sensores siendo su intervalo de $\pm 2\%$ en un rango comprendido entre el 5% y el 95%, por tanto, para nuestra aplicación sería suficiente. Además, este tipo de sensor es útil en electromedicina, aplicaciones médicas, autoclaves, monitorización de frigoríficos (Figura 3).

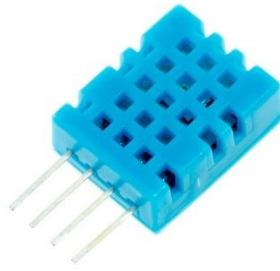


Figura 3. Sensor capacitivo [5]

2.3.2 Sensor resistivo

En este tipo de higrómetros se mide el cambio en la resistencia eléctrica debido a la humedad por medio de un polímero conductor, sal o un sustrato tratado. Se basa en un devanado interdigitado o de dos hilos donde la resistencia cambia exponencial e inversamente con la humedad. Generalmente consisten en electrodos de metales nobles depositados por técnicas de fotorresistencia o electrodos enrollados en un cilindro de plástico o vidrio (Figura 4). [6]

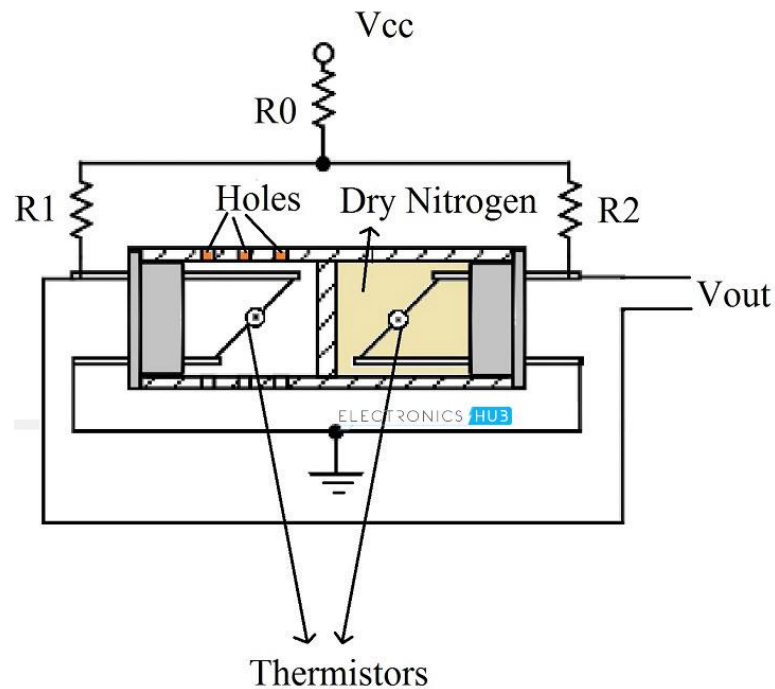


Figura 4. Principio de funcionamiento sensor resistivo

Son más sensibles que el capacitivo y requiere circuitos más complejos. Además, dependerá de la temperatura y de la humedad por lo que se requerirá de un segundo sensor de temperatura. La temperatura de funcionamiento nominal de los sensores resistivos varía de -40°C a 100°C .

En cuanto a sus características, es que la precisión y robustez contra la condensación varía dependiendo del material resistivo elegido. (Figura 5) [7]



Figura 5. Sensor resistivo

3. Estado del arte

La cirugía laparoscópica es utilizada comúnmente en diversas operaciones por el cirujano, siendo una técnica de uso frecuente que permite la visión de la cavidad pélvica-abdominal. Es por ello, que en este trabajo se complementa esta técnica con el uso de un sensor para la medición de humedad que puede ser beneficioso para el paciente como se ha explicado en los apartados anteriores.

Hoy en día, no existe ninguna evidencia de que haya sensores para nuestra aplicación. Es un proyecto innovador puesto que no hay ningún otro trabajo ni estudio relacionado con este sensor de humedad relativa para la técnica laparoscópica en el ser humano.

Es cierto, que sensores de humedad existen, y son abundantes sus otras muchas aplicaciones como pueden ser sobre todo para la medición de humedad en entornos agrícolas, ganadero o incluso en entornos más domésticos como puede ser el sensor para uso personal que se utiliza para la medida de temperatura y lleva incorporado el

sensor de humedad para saber la temperatura que hace en el exterior o incluso en el interior de una casa o apartamento.

Además, su aplicación se extiende a industrias como pueden ser los sectores farmacéuticos, alimentarios o incluso, en la industria textil o forestal que puede ser una variable útil. En todo caso, este tipo de humedad es un poco diferente a la humedad que se mide en este proyecto, puesto que la humedad en estos casos es una humedad general, es decir, es una humedad en entornos muy amplios en casi todos los casos.

4. Modelos de sensor de humedad

4.1 Especificaciones de posibles modelos de sensores de humedad

Las especificaciones que se buscan para la aplicación son precisas y se deben de cumplir todas las especificaciones porque de no se así podríamos obtener errores considerables en la medición de humedad relativa y/o temperatura.

La medida de humedad relativa debe ser del 10 al 99% y en el caso de que haya medición de temperatura debe estar entre 20 y 40°C, con una exactitud de $\pm 5\%$ y $\pm 1^\circ\text{C}$ respectivamente. En cuanto a sus dimensiones deberán ser de 5x5 mm de lado con un grosor menor a 3.5mm. Será considerable la protección ante el ambiente, el tiempo de respuesta, coste unitario y su tipo de salida.

4.2 Posibles soluciones

4.2.1 P14

Es un sensor capacitivo (Figura 6) con unas dimensiones como se puede observar en la

Tabla 1.

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| W | 5 |
| Dimensión | Medida (mm) |
| W | 5 |
| L | 3.81 |
| H2 | 0.8 |
| H | 0.4 |
| H2 | 0.8 |

Tabla 1. Dimensiones P14

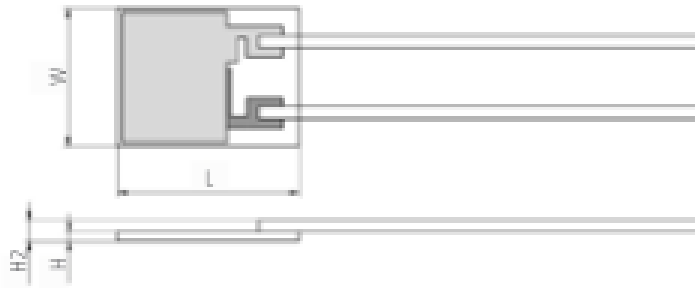


Figura 6. Medidas del sensor capacitivo P14

Mide desde 0% a 100% de humedad relativa y de -50°C a 150°C de temperatura. Cuando la humedad relativa está al 30 % y a 23 °C la capacidad del condensador es de $150\text{pF} \pm 50\text{pF}$, con una sensibilidad de $0.25\text{pF}/\% \text{ HR}$ cuando la humedad relativa se encuentra entre el 15% hasta el 90%. Tiene un error menor al 1.5% de HR en el rango de 15% al 90% de HR y a 23°C una vez calibrado. Su tiempo de respuesta es menor a 5 segundos en el rango de 0% a 50% de HR a 23°C (Figura 7). [8]



Figura 7. Sensor capacitivo P14

4.2.2 HTU21DF

Este tipo de sensor de humedad lleva incorporado directamente una salida de temperatura y, además, es digital. Tiene una tecnología I²C (Figura 8).

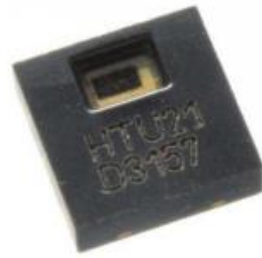


Figura 8. Sensor HTU21DF

Está diseñado para un alto volumen, es decir, su utilidad en espacios reducidos puede verse implicada negativamente. Aun así, tiene unas dimensiones reducidas (Figura 9 y Figura 10). A continuación, podemos ver las dimensiones de este sensor.

Tabla 2. Dimensiones HTU21DF

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| W | 2.4 |
| L | 1.5 |
| H | 0.9 |

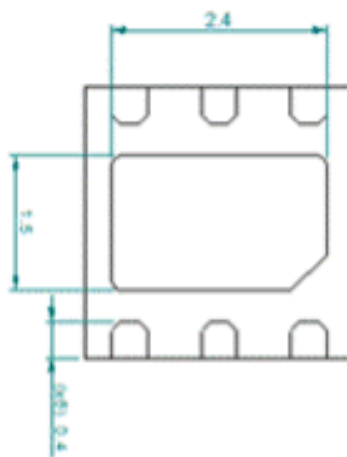


Figura 9. Dimensiones HTU21DF

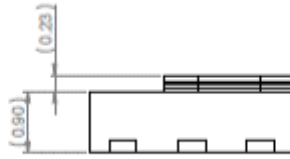


Figura 10. Dimensiones HTU21DF

Otra característica importante de este sensor es el bajo consumo que cuando está en funcionamiento puede ser de tan solo 2.7 μ W.

Pueden medir humedad relativa de 0 a 100 % con un error del 2 % cuando se opera desde el 20 al 80 % de la humedad relativa, y fuera de ese rango no llega al 3 % de error, además tiene un rango de -40 a 125 $^{\circ}$ C (Figura 11).

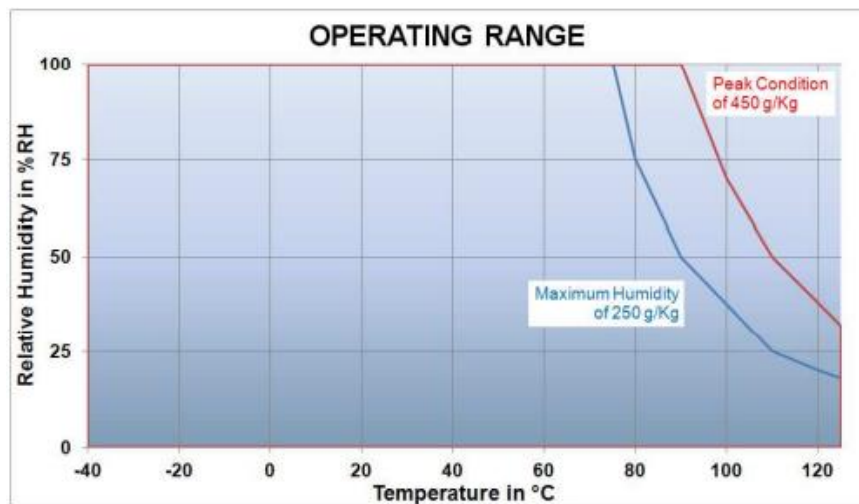


Figura 11. Medición Humedad Relativa junto con la Temperatura

Además, dispone de protección contra ESD (descarga electrostática) y contiene una sensibilidad a la humedad de nivel 2 MSL (nivel de sensibilidad de humedad). [9]

4.2.3 HS1101LF

Es un sensor capacitivo de medida de humedad relativa que comprende un rango desde 1 al 99 %HR con una capacidad de condensador de 177 a 183 pF. La

sensibilidad que tiene el sensor es del 0.31 pF/%RH con un error de ± 2 %RH. Además, la humedad relativa sigue una curva polinomial junto a la capacidad del condensador.

En cuanto a las dimensiones de este modelo, al ser de tipo cilíndrico con los pines alargados (Figura 12) su dimensionamiento (sin pines) la mediremos por longitud y diámetro del encapsulado (Tabla 3).

Tabla 3. Dimensiones HS1101LF

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| L | 20 |
| D | 10 |



Figura 12. Sensor capacitivo HS1101LF

Hay que hacer hincapié en las dimensiones de nuestro sensor puesto que para nuestra aplicación es necesario un dispositivo pequeño y que no pierda rendimiento en espacios reducidos. [10]

4.2.4 HCZ-D5

Este tipo de sensor es de tipo resistivo compuesto de estaño, plata y cobre. Además, pertenece a RoHS por lo tanto cumple que algunos materiales inflamables o peligrosos no han sido utilizados. La tabla que proporciona el fabricante para la obtención de la humedad relativa a partir de la impedancia (Tabla 4).

Tabla 4. Valor resistivo ante el cambio de humedad relativa

| %RH | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---------------------|------|------|-----|------|----|------|------|------|
| Valor (k Ω) | 9210 | 1480 | 330 | 92.8 | 31 | 11.7 | 4.85 | 2.21 |

Como se observa el rango que se ha estudiado es de 20 a 90 % de humedad relativa. Y en este caso este sensor no nos asegura un funcionamiento correcto que no esté en ese rango de humedad relativa, además algunas otras características importantes como la precisión es de ± 5 %HR.

Otras características como la histéresis o el rango de frecuencia operativo también tienen unos valores un poco desfavorecidos para ciertas aplicaciones donde se necesita precisión y velocidad (Figura 13).



Figura 13. Sensor HCZ-D5

Este sensor tiene un par de pines alargados con el encapsulado en la parte superior, teniendo así el dimensionamiento (sin pines) que podemos observar en la Tabla 5 [11].

Tabla 5. Dimensiones HCZ-D5

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| W | 8.3 |
| L | 13.5 |
| H | 4 |

4.2.5 HYT 271

Este modelo de sensor de humedad capacitivo cuenta con unos rangos de humedad desde 0 % a 100 % y un rango de temperatura desde -40 °C hasta 125 °C. Teniendo un error de ± 1.8 %RH desde el 0 % al 90 %HR, y un error de temperatura de ± 0.2 K desde 0 °C hasta 60 °C.

La tecnología de I²C proporcionará salida digital y consume hasta 850 μ A. Además, cuenta con un tiempo de respuesta menor a 4 segundos para alcanzar el 63 %HR. En la Figura 14 podemos observar al sensor real [12].



Figura 14. Sensor HYT 271

Tabla 6. Dimensionamiento HYT 271

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| W | 5.1 |
| L | 10.2 |
| H | 1.8 |

4.2.6 SHT21

El SHT21 es un sensor de tipo capacitivo que puede medir tanto humedad relativa como temperatura, conteniendo así un amplificador, convertidor AD, memoria OTP y unidad de procesamiento digital. El rango de humedad relativa a medir trata el rango de 0 % hasta 100 %HR, teniendo un error del ± 2 %HR cuando se trata el rango desde 20 hasta 80 %HR, mientras que este error varía cuando se trata rangos desde 0 % a 20 %HR y desde 80 % a 100 %HR siendo su error máximo de ± 3 %HR. En cuanto al rango de temperatura este sensor mide desde -40 °C a 125 °C, teniendo un error de temperatura típico de ± 0.3 °C, con un error máximo que puede llegar hasta los ± 1.5 °C cuando la temperatura es de 120 °C.

En cuanto al tiempo de respuesta de humedad relativa es de 8 segundos para llegar al 63 % de la respuesta. En cambio, el tiempo de respuesta de la medición de temperatura es de 5 hasta 30 segundos para alcanzar el 63 % de la respuesta.

Es un sensor compuesto de marco de plomo plasmado en cobre y cumple con las normas RoHS y WEEE, evitando así materiales tóxicos o similares. En la Figura 15 podemos ver el sensor de forma física. [13]

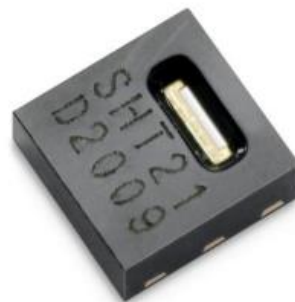


Figura 15. Sensor SHT21

Tabla 7. Dimensionamiento SHT21

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| W | 3 |
| L | 3 |
| H | 1.1 |

4.2.7 Si7006-A20

Es un sensor de humedad y temperatura de tipo monolítico CMOS con una tecnología I²C, además contiene convertidor A/D, procesamiento de la señal y memoria de calibración. Rango de humedad relativa desde 0 % hasta 100 %HR con un error máximo de humedad relativa de ± 5 %HR, y en el peor caso con valores críticos puede llegar al error de ± 6.5 %HR. Por otra parte, el rango de temperatura que puede llegar a medir es de -40 a 125 °C con un error típico de ± 1 °C, pero cuando los valores son críticos (menos de -10 °C o más de 85 °C) el error máximo puede llegar a ± 2 °C. Además, puede tener un consumo de corriente de 150 μ A. Un aspecto importante como el tiempo de respuesta es de 5.1 segundos para alcanzar el 63 % de la respuesta.

Una característica importante para distintas aplicaciones es el tiempo de conversión que en este caso puede variar dependiendo de los bits a utilizar en el sistema, pero en todos los casos es del orden de milisegundos, de hecho, no supera los 12 ms en el peor caso tanto para temperatura como para humedad relativa. En la Figura 16 podemos observar el sensor físico.



Figura 16. Sensor Si7006-A20

Teniendo en cuenta una cubierta protectora las dimensiones de este sensor podemos visualizarla en la Tabla 8 [14].

Tabla 8. Dimensionamiento Si7006-A20

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| W | 3 |
| L | 3 |
| H | 1.21 |

4.2.8 HTS221

El sensor HTS221 es de tipo capacitivo para la medición tanto de temperatura como de humedad relativa. Sus aplicaciones más conocidas en la industria son ventilación, frigoríficos, automatización y equipamiento respiratorio entre otros. El rango de humedad relativa 0 a 100 %HR con un error de ± 3.5 % HR desde 20 % a 80 %HR. En cambio, el rango de temperatura es de -40 °C a 120 °C con un error de ± 0.5 °C en valores típicos (15 °C a 40 °C). Además, tiene una sensibilidad de 0.004 %HR/LSB y 0.016 °C/LSB. Tiene una tecnología I²C o SPI para conseguir una salida digital con un consumo de potencia de 2 μ A y un convertidor AD de 16 bits embebido. De hecho, en la Figura 17 podemos observar el diagrama de bloques. [15]



Figura 17. Sensor HTS221

En cuanto a su tamaño, tiene unas dimensiones que podemos observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Dimensiones HTS221

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| W | 2 |
| L | 2 |
| H | 0.9 |

4.2.9 SHT25

El sensor SHT25 es de tipo capacitivo, contiene internamente de un amplificador, un convertidor A/D, una memoria OTP y una unidad de procesamiento digital con tecnología I²C. La serie SHT2x pueden cambiar la resolución por comando pudiendo ser de 8/12 bit o 12/14 bit para RH/T. El rango de humedad relativa que mide este sensor es de 0 a 100 %HR, teniendo en cuenta que del 10 % al 90 %HR su error es de ± 2 %HR, y en situaciones más críticas como de 0 % a 10 %HR y de 90 % a 100 %HR puede llegar a ser del ± 4 %HR. En cuanto al rango de temperatura que mide es de -40 °C a 120 °C, con un error de ± 0.2 °C de forma típica, pudiendo llegar a ± 1.4 °C en temperaturas extremas como 120 °C o -40 °C.

Hay que añadir que la resolución de los parámetros puede variar conforme a la resolución en bits que se haya preconfigurado. En la Figura 18 podemos observar una imagen del sensor en cuestión.



Figura 18. Sensor SHT25

Este sensor tiene unas dimensiones que se pueden observar en la

Tabla 10 [16].

| Dimensión | Medida (mm) |
|-----------|-------------|
| W | 3 |
| Dimensión | Medida (mm) |
| W | 3 |
| L | 3 |
| H | 1.1 |

Tabla 10. Dimensiones SHT25

4.3 Comparativa de los modelos de los sensores escogidos

La Tabla 11 y Tabla 12 nos muestra una comparativos de los modelos de sensores estudiados para este trabajo.

Tabla 11. Comparativa modelos sensores (1/2)

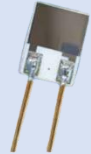
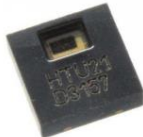






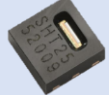
| Modelo | Rango HR (%RH) | Exactitud HR (%RH) | Rango de temperatura (°C) | Exactitud temperatura (°C) | Tipo de salida | Tiempo de respuesta de HR (63%) (s) | Tiempo de respuesta de temperatura (63%) (s) | ¿Mide temperatura? (Sí/No) | Coste unitario (€) | Dimensiones (mm) (largo x alto x grosor) | Imagen |
|----------|----------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------------------|--|----------------------------|--------------------|--|---|
| P14 | [0, 100] | ±1.5 | - | - | Analógica | 5 | - | No | 24 | 3.81 x 5 x 0.8 |  |
| HTU21DF | [1,99] | ±2 | [-60,140] | ±0.3 | Digital | 5 | 10 | Sí | 5 | 2.4 x 1.5 x 0.90 |  |
| HS1101LF | [0,100] | ±6 | - | - | Analógica | 3 | - | No | 7 | 20 x 10 (diámetro) |  |
| HCZ-D5 | [20,90] | ±5 | - | - | Analógica | 5 | - | No | 6 | 13.5 x 8.3 x 4 |  |

Tabla 12. Comparativa modelos sensores (2/2)

| Modelo | Rango HR (%RH) | Exactitud HR (%RH) | Rango de temperatura (°C) | Exactitud temperatura (°C) | Tipo de salida | Tiempo de respuesta de HR (63%) (s) | Tiempo de respuesta de temperatura (63%) (s) | ¿Mide temperatura? (Sí/No) | Coste unitario (€) | Dimensiones (mm) (largo x alto x grosor) | Imagen |
|------------|----------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------------------|--|----------------------------|--------------------|--|---|
| HYT 271 | [0,100] | ±1.8 | [-40,125] | ±0.2 | ±0.2 | 4 | 5 | Sí | 53 | 5.1 x 10.2 x 1.8 |  |
| SHT21 | [0,100] | ±2 | [-40,125] | ±0.3 | ±0.3 | 8 | [5-30] | Sí | 5 | 3 x 3 x 1.1 |  |
| Si7006-A20 | [0,100] | ±5 | [-40,125] | ±1 | ±1 | 17 | 5.1 | Sí | 3.50 | 3 x 3 x 1.21 |  |
| HTS221 | [0,100] | ±5 | [-40,125] | ±1 | ±1 | 10 | [5-30] | Sí | 5 | 2 x 2 x 0.9 |  |
| SHT25 | [0,100] | ±1.8 | [-40,125] | ±0.2 | ±0.2 | 8 | [5-30] | Sí | 7.7 | 3 x 3 x 1.1 |  |

4.4 Solución adoptada

Una vez estudiados todos los posibles sensores siguiendo sus propiedades más importantes para nuestra aplicación, se han elegido algunos sensores gracias además de sus características, de la disponibilidad que hay en las páginas de venta de semiconductores.

Gracias al estudio de las propiedades se ha optado por elegir los modelos SHT25, HTS221, SHT21 y HTU21DF. De estos cuatro modelos, se han descartado dos de ellos porque no hay disponibilidad en las páginas de compra de semiconductores más comunes. Los dos modelos descartados han sido el HTS221 y el HTU21DF, mientras que se ha realizado la compra de un par de sensores de cada modelo (SHT21 y SHT25), que son de la misma familia SHT y comparten características similares.

Además, siguiendo con esta problemática con la disponibilidad de sensores, los precios han subido notablemente en todo tipo de semiconductores, circuitos integrados y sensores en este caso. Por ello, el precio estudiado en la Tabla 11 y Tabla 12 ha incrementado su valor en el caso del SHT21, y en cambio en el SHT25 tiene un precio parecido.

Se han obtenido los dos sensores en la página RS Components ya que es la web de microcontroladores que tiene convenio con la UPV. Tanto el SHT21 como el SHT25 tienen unas dimensiones de 3x3x1.1 mm. Presenta un empaquetado DFN (Flat no-leads package) que se caracteriza por no tener cables planos y que sus conexiones estén directamente incorporadas en el propio sensor (Figura 19).

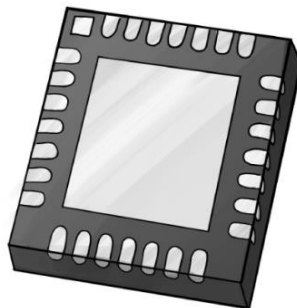


Figura 19. DFN package

Además, están diseñados de forma que contiene una máscara soldable (NSMD) que tiene aperturas de máscara para la soldadura. El tipo de empaquetado, la máscara de soldadura y las dimensiones son importantes para las pruebas experimentales del sensor y también para su aplicación, ya que las dimensiones y pines del sensor deben adaptarse perfectamente a nuestro sistema. Por ello, una vez adquiridos los dos sensores se procede a soldarlos en un soporte con pines para probar los sensores.

5. Microcontrolador e interface con el usuario

Habitualmente se utilizan todo tipo de microcontroladores para controlar sensores y su aplicación en ingeniería. Los fabricantes de microcontroladores más comunes utilizados en proyectos están compuestos por Intel, Microchip o Smart Project (Arduino). Cada empresa tiene sus distintos tipos de microcontroladores dependiendo de la aplicación a utilizar.

Se va a utilizar el microcontrolador Arduino UNO para las pruebas experimentales y para la programación inicial del dispositivo. Además, el software para este microcontrolador es libre.

El Arduino UNO utiliza un procesador ATmega328P que contiene una memoria de CPU de hasta 16 MHz, 32 KB de Flash y 1 KB de memoria EEPROM, que para nuestra aplicación es suficiente. Además, contiene distintos timers, watchdog y otras formas de comunicación, pero la que se necesita en nuestro caso es I²C que es la forma en la que comunicaremos nuestros sensores con el microcontrolador. Otro aspecto importante para destacar es que tiene un rango de alimentación de 2.7-5.5 V. En la Figura 20 podemos visualizar el pinout del Arduino UNO.

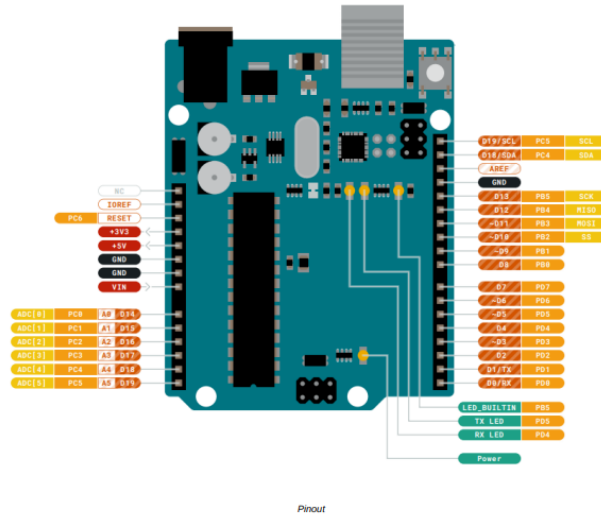


Figura 20. Pin out Arduino UNO

En cuanto a sus dimensiones (Figura 21) son unas dimensiones óptimas para un microcontrolador ya que no ocupa demasiado espacio para su utilización o embalaje.

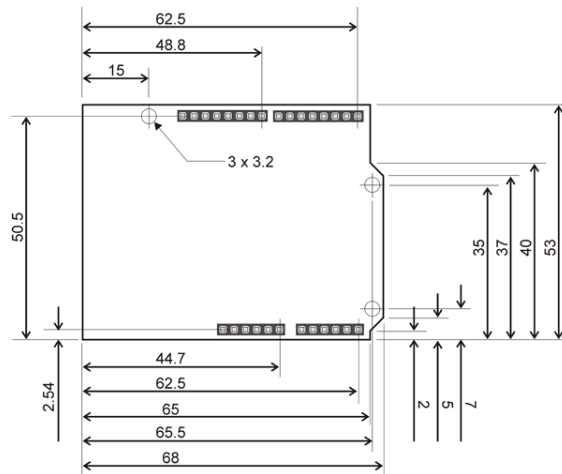


Figura 21. Dimensiones Arduino UNO

Por consiguiente, una vez adquiridos los dos sensores se procede a soldarlos en un soporte con pines para probar los sensores.

En el propio soporte no están numerados los pines correspondientes al sensor, para ello se ha utilizado un multímetro en modo continuidad para analizar qué pin del soporte corresponde con los pines del propio sensor. Como podemos observar estos serían los pines del sensor que facilita el datasheet de cada sensor. Para comprobar la correspondencia de los pines se ha hecho uso de un multímetro. Hay que indicar que el pin out de SHT21 y SHT25 es igual y se ha soldado de la misma manera, por lo que son equivalentes en la conexión.

| Pin | Name | Comment | |
|-----|------|-----------------------------|---|
| 1 | SDA | Serial Data, bidirectional | 4 |
| 2 | VSS | Ground | 5 |
| 5 | VDD | Supply Voltage | 6 |
| 6 | SCL | Serial Clock, bidirectional | 3 |
| 3,4 | NC | Not Connected | 2 |
| | | | 1 |

Figura 22. Interface SHTx

Tabla 13. Correspondencia pines SHTx

| Pin | Correspondencia |
|--------------------|-----------------|
| Superior derecho | SDA |
| Superior medio | VSS |
| Superior izquierdo | NC |
| Inferior izquierdo | NC |
| Inferior medio | VDD |
| Inferior derecho | SCL |



Figura 23. Sensor encapsulado

6. Diseño μ C - sensores

6.1 Características μ C - sensores

El Arduino UNO presenta ciertas características que hay que tener en cuenta al conectar nuestros sensores. Lo primero en analizar es el rango de entrada de los sensores, como hemos visto anteriormente los sensores tienen un rango de entrada de 2.1-3.6 V, mientras que el microcontrolador tiene dos salidas de voltaje de 5 V normalmente, pero tiene un regulador de baja caída que puede proporcionar 3.3 V que entra en el rango de la tensión de entrada de nuestros sensores.

Se ha elegido la transmisión digital I²C para la comunicación entre el microcontrolador y el sensor ya que es ideal para la comunicación entre un sensor y un microcontrolador, pues nos permite obtener datos de forma ininterrumpida y sin errores. Un error común en este tipo de transmisión se da cuando se utilizan cables demasiado extensos, pero en nuestra aplicación el cableado será de un par de metros a lo sumo, y en el caso de que se necesiten 4-5 metros se podrían utilizar cables apantallados que nos permiten quitar errores de conexión.

Un aspecto importante para comentar es la resolución que queremos obtener y la resolución que nos puede proporcionar tanto el sensor como el microcontrolador. El ATmega328P es un procesador de 10 bits, sin soporte integrado para números de punto flotante. En cambio, los dos sensores contienen una tabla con distintos tiempos de medida que depende de los máximos valores a medir y de la resolución escogida.

Según el datasheet “La resolución predeterminada se establece en 12 bits de humedad relativa y 14 lectura de temperatura de bits. Los datos medidos se transfieren en paquetes de dos bytes, es decir, en tramas de 8 bits de longitud donde el bit más significativo (MSB) se transfiere primero (alineado a la izquierda). Cada byte va seguido de un bit de reconocimiento. Los dos bits de estado, los últimos bits de LSB, deben establecerse en '0' antes cálculo de valores físicos”, esto hay que tenerlo en cuenta a la hora de realizar el código y de escoger las librerías de nuestros sensores.

Como se ha comentado, el sensor debe de estar alimentado a 3.3 V y necesitará 15 ms mientras que el reloj de I²C se conecta. La transmisión de

conexión de *start* y de *stop* están definidas en la figura X (izquierda *start* y derecha *stop*).

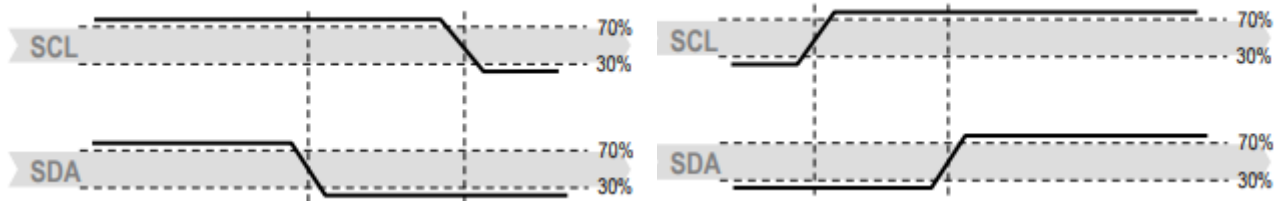


Figura 24. Start y stop de comunicación con el sensor

Después de mandarle la orden de *start*, se tiene que enviar la dirección de '1000'000' y la dirección del bit de SDA (escritura: '0' o lectura '1'). A continuación, se encuentra el bit ACK a nivel bajo y después dependiendo del comando siguiente se leerá temperatura o humedad como vemos en la Tabla 14.

Tabla 14. Comandos básicos

| Comando | Nota | Código |
|-------------------------|----------------|-----------|
| Medida de temperatura | Hold-master | 1110 0011 |
| Medida de humedad | Hold-master | 1110 0101 |
| Medida de temperatura | No Hold-master | 1111 0011 |
| Medida de humedad | No Hold-master | 1111 0101 |
| Registro para escritura | | 1110 0110 |
| Registro para lectura | | 1110 0111 |
| Reset | | 1111 1110 |

Hold-master indica que la línea SCL está bloqueada (controlada por sensor) durante el proceso de medición mientras que el no hold-master es en el caso de que la línea SCL permanezca abierta para otra comunicación mientras que el sensor está procesando la medición sin retención el modo maestro permite procesar otros I2C tareas de comunicación en un autobús mientras el sensor está medición. Por ello, hace falta realizar una parada que depende de los máximos valores de medida y de la resolución escogida (Tabla 15).

Tabla 15. Tiempos de medida

| Resolución | Humedad típica | Humedad máx | Temperatura típica | Temperatura máxima | Unidad |
|------------|----------------|-------------|--------------------|--------------------|--------|
| 14 bit | | | 66 | 85 | ms |
| 13 bit | | | 33 | 43 | ms |
| 12 bit | 22 | 29 | 17 | 22 | ms |
| 11 bit | 12 | 15 | 9 | 11 | ms |
| 10 bit | 7 | 9 | | | ms |
| 8 bit | 3 | 4 | | | ms |

El comando *reset* sirve para reiniciar el sensor y volver a la preconfiguración de este sin tener que quitar la alimentación del sensor.

6.2 Conexión μ C - sensores

Se ha soldado los sensores en un pequeño encapsulado para tener los pines separados al estilo through hole. De esta forma podremos probar dichos sensores en una protoboard conectando los demás componentes restantes, así como el Arduino. En la Figura 26; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se visualiza el circuito completo montado y conectado al ordenador. El sensor puede ser tanto el SHT21 como SHT25 ya que se conectan igual. En esta primera prueba de conexión no se ha añadido el condensador y las dos resistencias que se dan en el circuito típico de aplicación de los datasheet.

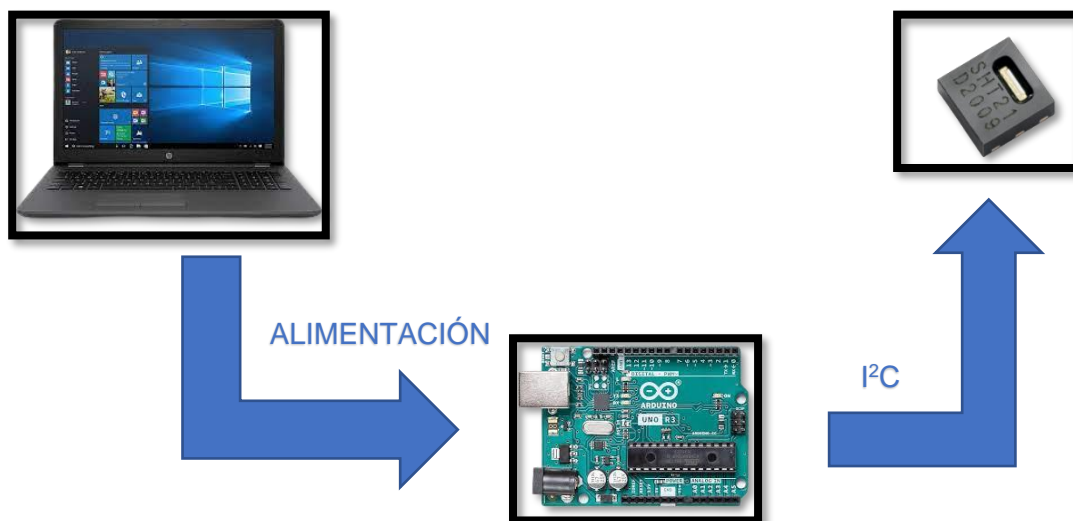


Figura 25. Esquema de conexiones sensor- μ C-ordenador

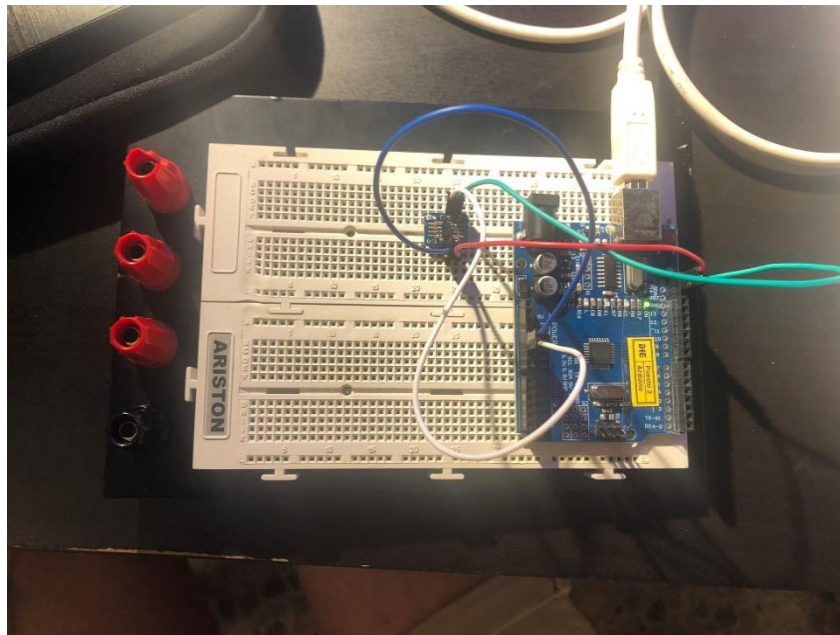


Figura 26. Conexión sensor- μ C-ordenador

7. Código / Software

El código ha sido dividido en librerías que han sido añadidas cuando se ha realizado el código principal en Arduino. Primero, en un fichero de tipo *header* (.h) se han definidos las direcciones y funciones. Y estas funciones y direcciones han sido utilizadas en un proyecto (.cpp) que realiza la conversiones y fórmulas necesarias para la obtención de la humedad y temperatura. Finalmente, se ha realiza un archivo de Arduino (.ino) que utiliza las funciones de las librerías (.cpp y .h) para la obtención de los datos desde el sensor. La información se transmitirá modo serie por I²C.

Como tenemos dos modelos de sensores se ha decidido dividir los códigos y, por ende, los diagramas de flujo. Es cierto que se podrían haber realizado el mismo código para los dos modelos, pero se ha optado por hacer dos códigos, uno más sencillo para el SHT21 y otro más complejo para el SHT25, pero cada código es funcional para los

dos modelos ya que las direcciones, variables, tiempo y demás características son las mismas.

7.1 Diagrama de flujo

7.1.1 SHT21

El orden establecido para la creación de este código ha sido generar los archivos header (.h), el proyecto (.cpp) en el propio Arduino creando nueva pestaña, y finalmente se crea el código arduino (.ide o .ino, se le puede llamar de las dos formas), en el que se incluyen las librerías (.h y .cpp). Posteriormente, en el archivo header se definen direcciones, se inicializan las variables que se van a utilizar y se inicializan variables y funciones, como pueden ser las funciones de obtener la temperatura, humedad y lectura del sensor. Una vez definido el archivo header, se crea el archivo del proyecto (.cpp) en el que se calculan con las fórmulas dadas en el datasheet tanto la humedad como la temperatura.

Asimismo, se lee el sensor a través de la función “lecturaSHT21” y se devuelve el resultado. Paralelamente, el archivo Arduino (.ide o .ino, se le puede llamar de las dos formas) llama a las funciones descritas en el archivo (.cpp) y recibe el resultado mostrándolo así en el monitor serie de Arduino. Esta última etapa de lectura del

sensor es realizada mediante un bucle en el que se lee el sensor, se llama a la función y se recibe el resultado mostrándolo en pantalla cada cierto delay.

A continuación, en la Figura 27 vamos a visualizar el diagrama de flujo del sensor SHT21.

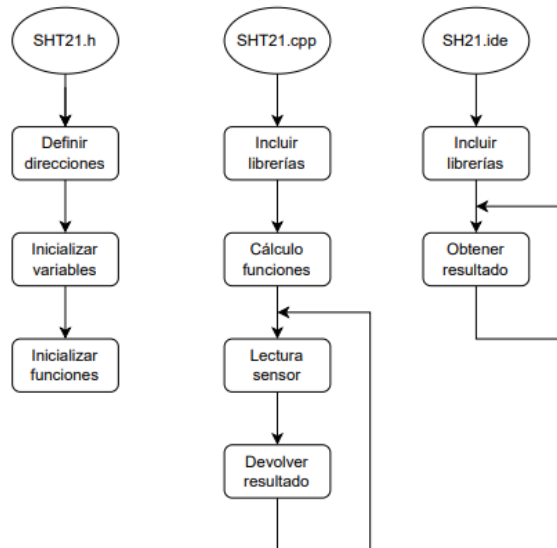


Figura 27. Diagrama de flujo SHT21

7.1.2 SHT25

El orden establecido para la creación de este código es igual que para el SHT21, se ha generado los archivos header (.h), el proyecto (.cpp) en Arduino y finalmente se crea el código arduino (.ide o .ino, se le puede llamar de las dos formas), en el que se incluyen las librerías (.h y .cpp). Posteriormente, en el archivo header se definen direcciones, se inicializan las variables que se van a utilizar y se inicializan variables y funciones, como pueden ser las funciones de obtener la temperatura, humedad y lectura del sensor. Una vez definido el archivo header, se crea el archivo del proyecto (.cpp) en el que se calculan con las fórmulas dadas del datasheet tanto la humedad como la temperatura. En esta ocasión, se ha implementado una función para establecer la resolución del sensor ya que la temperatura y la humedad tienen una resolución predeterminada, pero dan la opción de cambiarla, aunque esto nos incrementa o nos disminuye el tiempo de respuesta (Tabla 15). Además, se lee el sensor y se devuelve el resultado. Paralelamente, el archivo Arduino (.ide) llama a las funciones descritas en el archivo (.cpp) y recibe el resultado mostrándolo así en el monitor serie de Arduino. Esta última etapa de lectura del sensor es realizada

mediante un bucle en el que se lee el sensor, se llama a la función y se recibe el resultado mostrándolo en pantalla cada cierto delay.

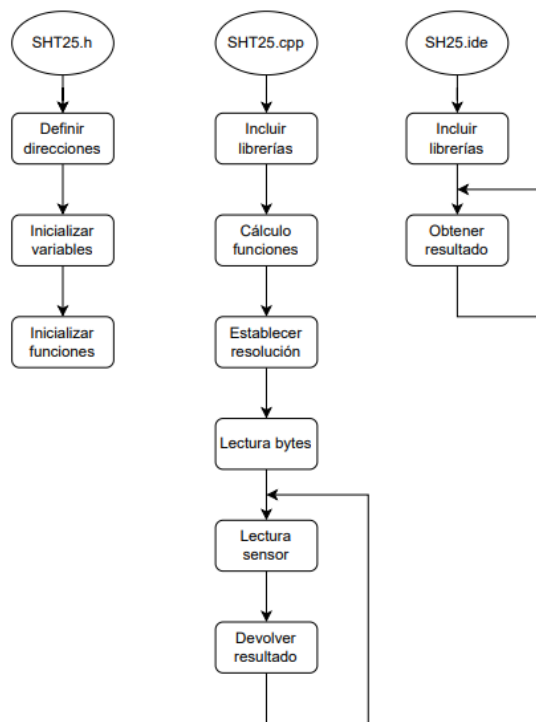


Figura 28. Diagrama de flujo SHT25

7.2 Librerías (.h y .cpp)

Para comprobar el correcto funcionamiento de los sensores SHT21 y SHT25 se necesitan librerías creadas para estos dos sensores, y una vez incluidas las librerías y definidas se podrá realizar el código Arduino (.ino) pertinente que nos permitirá recoger en el monitor serie la humedad y la temperatura.

Se ha dividido en apartados la elaboración del código. En este apartado 7.2 se encuentran las librerías del SHT21 y SHT25, mientras que en el apartado 7.3 se encuentran los códigos de Arduino (.ino).

7.2.1 SHT21.h

```

#ifndef SHT21_H
#define SHT21_H //definir archivo SHT21
  
```

```

#include <Wire.h> //incluir librerías
#include <Arduino.h>

#define SHT21_DIRECCION 0x40 //dirección I2C para el sensor

#define TEMP_MEDIDA 0xF3 //dirección de medida de temperatura
#define HUMD_MEDIDA 0xF5 //dirección de medida de humedad

class SHT21 {
//definir variables
public:
SHT21();

void begin();
float obtenerTemperatura(void); //función obtener temperatura
float obtenerHumedad(void); //función obtener humedad

private:

uint16_t lecturaSHT21(uint8_t comando); //función leer al sensor

};

#endif

```

7.2.2 SHT21.cpp

```

#include <Wire.h>
#include "SHT21.h" //incluir librerías

SHT21::SHT21 () {}

void SHT21::begin(void){

    Wire.begin();

}

```

```

float SHT21::obtenerHumedad(void) //función obtener humedad con la fórmula
del datasheet
{
    return (-6.0 + 125.0 / 65536.0 * (float)(lecturaSHT21(HUMD_MEDIDA)));
}

float SHT21::obtenerTemperatura(void) //función obtener temperatura con la
fórmula del datasheet
{
    return (-46.85 + 175.72 / 65536.0 * (float)(lecturaSHT21(TEMP_MEDIDA)));
}

uint16_t SHT21::lecturaSHT21(uint8_t comando) //función lectura del sensor
{
    uint16_t resultado;

    Wire.beginTransmission(SHT21_DIRECCION); //empieza la transmisión con
la dirección I2C

    Wire.write(comando); //escribimos comando

    Wire.endTransmission(); //terminamos transmisión

    delay(100); //espera de 0.1 s

    Wire.requestFrom(SHT21_DIRECCION, 3); //solicita 3 bytes en la dirección de
I2C

    while(Wire.available() < 3) { //devuelve el número de bytes
        delay(1);
    }

    // devuelve el valor de result
    resultado = ((Wire.read()) << 8); // lectura los valores MSB y desplazamiento a
la izquierda (multiplicacion por 256)
    resultado += Wire.read(); //lectura de los valores LSB
    resultado &= ~0x0003; //borra los dos bits LSB
    return resultado; //devuelve valor
}

```

7.2.3 SHT25.h

```
#include <Arduino.h>

//Definimos variables constantes (direcciones) que iremos utilizando
#define TEMPERATURA 0xF3 //direccion de medida de temperatura
#define HUMEDAD 0xF5 //direccion de medida de humedad
#define ESCRITURA 0xE6 //direccion de usuario de registro de escritura
#define LECTURA 0xE7 //direccion de usuario de registro de lectura
#define REINICIO 0xFE //direccion de reinicio

//definimos si es humedad o temperatura
#define DIRECCION_HUMEDAD 0x01 //humedad
#define DIRECCION_TEMPERATURA 0x00 //temperatura

//definimos variables dentro de una plantilla de creación de objetos
class SHT25{
public:
    SHT25(void);
    char begin(void);
    char Resolucion(byte combinacion); // configuracion de la resolución
    char HabilitarHeater(void); //configuracion del heater
    char DeshabilitarHeater(void);
    float obtenerTemperatura(void); //función para obtener la temperatura
    float obtenerHumedad(void); //función para obtener la humedad
    char bateria(void); //función para end-bateria
    const float RH_ERROR = 101.0,T_ERROR = 126.0; //error

private:
    const byte SHT25_direccion = 0x40; //dirección sensor
    byte T_Delay = 85; // para resolución de 14 bit
    byte RH_Delay = 29; // para resolución de 12 bit
    float TEMP, RH, S_T, S_RH; //variables generales
    char reinicioSensor(void); //reinicio sensor
    char lecturaBytes(char CMD, float &valor, char numerolongitud, char parametro); //lectura
    de bytes
```



```
char lecturaByte(char CMD, byte &valor); //lectura de un byte
char escrituraByte(char CMD, byte regDatos); //escritura de un byte
};
```

7.2.4 SHT25.cpp

```
#include<SHT25.h>
#include<Wire.h>

SHT25::SHT25(void){
}

//llamada al reinicio del sensor
char SHT25::begin(void){
    Wire.begin();
    if(reinicioSensor()){
        return 1;
    }else{return 0;}
}

//reinicio sensor
char SHT25::reinicioSensor(void){
    Wire.beginTransmission(SHT25_direccion); //modo start
    Wire.write(REINICIO); //reinicio sensor
    char error = Wire.endTransmission();
    if(error == 0){
        delay(15); //espera para reinicio sensor
        return 1;
    }else{return 0;}
}

//función de obtención de humedad
float SHT25::obtenerHumedad(void){
    if(lecturaBytes(HUMEDAD, S_RH, 3, DIRECCION_HUMEDAD)){
        RH = -6.0 + 125.0*(S_RH/((long)1<<16)); //fórmula humedad relativa
        return RH;
    }else{return RH_ERROR;}
}

//función de obtención de temperatura
```

```

float SHT25::obtenerTemperatura(){
    if(lecturaBytes(TEMPERATURA, S_T, 3, DIRECCION_TEMPERATURA)){
        TEMP = -46.85 + 175.72*(S_T/((long)1<<16)); //fórmula temperatura
        return TEMP;
    }else{return T_ERROR;}
}

//lectura de bytes
char SHT25::lecturaBytes(char CMD, float &valor, char numerolongitud, char
parametro){
    unsigned char data[numerolongitud];
    Wire.beginTransmission(SHT25_direccion); //start
    Wire.write(CMD);
    char error = Wire.endTransmission(); //fin
    if(parametro){
        delay(RH_Delay); //espera
    }else{delay(T_Delay);}

    if(error == 0){
        Wire.requestFrom(SHT25_direccion, numerolongitud); //solicita los bytes de start
        while (!Wire.available());
        for(char x=0; x<numerolongitud; x++){
            data[x] = Wire.read(); //lectura de datos recibidos
            x++;
        }

        //primero se obtienen los valores MSB y se desplazan hacia la izquierda (MSB)
        //y después se obtienen los valores LSB y se desplazan 2 posiciones a la izquierda
        //porque los dos valores de la derecha (LSB) están reservados
        valor = (float)((unsigned int)data[0]*((int)1<<8) + (unsigned
int)(data[1]&((int)1<<2)));
        return 1;
    }else{return 0;}
}

//lectura de un solo byte
char SHT25::lecturaByte(char CMD, byte &valor){
    Wire.beginTransmission(SHT25_direccion); //start
    Wire.write(CMD);
    char error = Wire.endTransmission(); //fin

```

```

if(error == 0){
    Wire.requestFrom(SHT25_direccion,1); //solicita un solo byte
    while (!Wire.available()) {
        valor = Wire.read();
    }
    return 1;
}else{return 0;}
}

//escritura de bytes
char SHT25::escrituraByte(char CMD, byte regDatos){
    Wire.beginTransmission(SHT25_direccion); //start
    Wire.write(CMD);
    Wire.write(regDatos); //escritura del registro para la resolución
    char error = Wire.endTransmission(); //fin
    if(error == 0){
        return 1;
    }else{return 0;}
}

//configuración de la resolución
char SHT25::Resolucion(byte combinacion){
    byte regDatos, valor;
    switch (combinacion) {
        case 1: //RH-12bit, T-14bit
            this->T_Delay = 85; //delay
            this->RH_Delay = 29;
            regDatos = 0x02; //direccion para estas resoluciones
            break;
        case 2: //RH-8bit, T-12bit
            this->T_Delay = 22; //delay
            this->RH_Delay = 4;
            regDatos = 0x03; //direccion para estas resoluciones
            break;
        case 3: //RH-10bit, T-13bit
            this->T_Delay = 43; //delay
            this->RH_Delay = 9;
            regDatos = 0x82; //direccion para estas resoluciones
            break;
        case 4: //RH-11bit, T-11bit

```

```

    this->T_Delay = 11; //delay
    this->RH_Delay = 15;
    regDatos    = 0x83; //direccion para estas resoluciones
    break;
default:
    break;
}

if(escrituraByte(LECTURA, valor)){
    regDatos |= (valor & 0x7E); //nos aseguramos la direccion de la resolución y
obtenemos el valor obtenido
    if(escrituraByte(ESCRITURA, regDatos)){
        return 1;
    }else{return 0;}
}

//activamos heater
char SHT25::HabilitarHeater(void){
    byte valor, data;
    if(lecturaByte(LECTURA, valor)){
        data = (valor & 0xFB) | 0x04; //encendemos el heater con la direccion de este
        if(escrituraByte(ESCRITURA, data)){
            return 1;
        } else{return 0;}
    }else{return 0;}
}

//desactivamos heater
char SHT25::DeshabilitarHeater(void){
    byte valor, data;
    if(lecturaByte(LECTURA, valor)){
        data = (valor & 0xFB); //desactivamos heater con la direccion de este
        if(escrituraByte(ESCRITURA, data)){
            return 1;
        } else{return 0;}
    }else{return 0;}
}

```

```

char SHT25::bateria(void){
  byte valor;
  if(lecturaByte(LECTURA, valor)){
    valor &= 0x40; //reiniciamos sensor con la direccion de start
    if(valor == 0x40){
      return 1;
    } else{return 0;}
  }else{return 0;}
}

```

7.3 Código

Tanto las librerías como los flujogramas son útiles para el correcto funcionamiento del código ya que las librerías permiten que las funciones sean llamadas y haga la conversión digital, y los flujogramas son de ayuda para el usuario.

7.3.1 SHT21.ino

```

//Librerias
#include <Wire.h>
#include "SHT21.h"

SHT21 SHT21_start;

void setup()
{
  SHT21_start.begin();
  Serial.begin(9600); //transmisión de datos de 9600 baudios
}

void loop()
{
  Serial.print("Humedad(%RH): ");
  Serial.print(SHT21_start.obtenerHumedad()); //llamar función de obtener humedad
  Serial.print("  Temperatura(C): ");
  Serial.println(SHT21_start.obtenerTemperatura()); //llamar función de obtener temperatura

  delay(1000); //espera de 1 segundo entre valor y valor
}

```

7.3.2 SHT25.ino

```
//Librerias
#include<SHT25.h>

SHT25 SHT25_start;

void setup(void){
  Serial.begin(9600); // velocidad de comunicación 9600 baudios
  if(SHT25_start.begin()){
    Serial.println("Inicialización del SHT25 completada!");
  }else{
    Serial.println("Inicialización interrumpida!");
  }
  // byte combi= ; //Definir resolución del SHT25 si es necesario o preciso
  // SHT25_start.Resolucion(combi); //Cambiar resolución en la función
  // Serial.print("Resolucion: ");
  // Serial.print(combi); //mostrar por pantalla la resolución escogida
}

void loop(void){
  Serial.print("Humedad  :");
  Serial.print(SHT25_start.obtenerHumedad()); //llamar función de obtener humedad
  Serial.println(" %RH");
  Serial.print("Temperatura :");
  Serial.print(SHT25_start.obtenerTemperatura()); //llamar función de obtener temperatura
  Serial.println(" C");

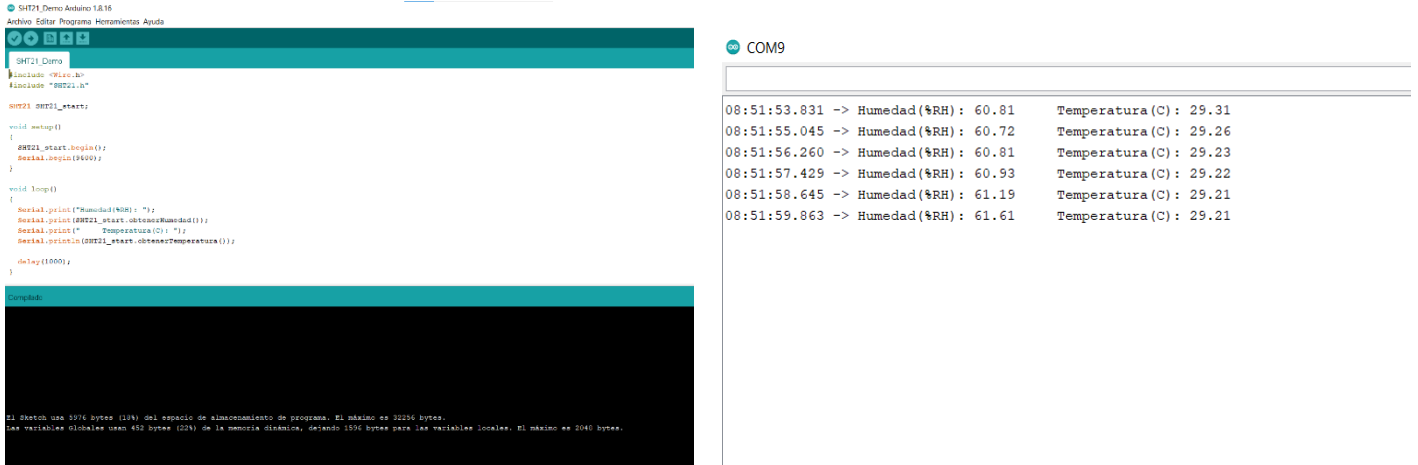
  delay(1000); //espera de 1 segundo entre valor y valor
}
```

7.4 Prueba

Se ha realizado la compilación de los códigos incluyendo las librerías y la prueba de los sensores para comprobar el correcto funcionamiento de nuestro sistema. Para la realización de la prueba se ha montado al arduino conectándolo correctamente como se ha visto en los anteriores apartados.

7.4.1 SHT21

En la Figura 29 se comprueba que el código compila correctamente y se puede visualizar un ejemplo de lo que muestra por el monitor serie.



The image shows two side-by-side windows from an IDE. The left window is titled 'SHT21.Duino' and contains C++ code for an Arduino sketch. The code includes headers for the SHT21 sensor and the Serial library, defines a pin for the sensor, and implements a loop that prints humidity and temperature data to the serial monitor every 1000ms. The right window is titled 'COM9' and shows the output of the serial monitor, displaying a series of timestamped data points for humidity and temperature.

```
SHT21.Duino
#include <Wire.h>
#include <SHT21.h>

SHT21 sht21_start;

void setup()
{
  sht21_start.begin();
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  Serial.print("Humedad(RRH): ");
  Serial.print(sht21_start.obtenerHumedad());
  Serial.print(" Temperatura(C): ");
  Serial.print(sht21_start.obtenerTemperatura());
  delay(1000);
}
```

```
COM9
08:51:53.831 -> Humedad(%RH): 60.81 Temperatura(C): 29.31
08:51:55.045 -> Humedad(%RH): 60.72 Temperatura(C): 29.26
08:51:56.260 -> Humedad(%RH): 60.81 Temperatura(C): 29.23
08:51:57.429 -> Humedad(%RH): 60.93 Temperatura(C): 29.22
08:51:58.645 -> Humedad(%RH): 61.19 Temperatura(C): 29.21
08:51:59.863 -> Humedad(%RH): 61.61 Temperatura(C): 29.21
```

El sketch usa 5976 bytes (19%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables globales usan 452 bytes (22%) de la memoria dinámica, dejando 1556 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

Figura 29. Compilación correcta y Monitor Serie SHT21

7.4.2 SHT25

En este caso igual que en el SHT21, compila correctamente y se visualiza un ejemplo de lo que muestra por monitor serie (Figura 30).

```

SHT25 Arduino 1.8.16
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SHT25
#include <SHT25.h>
SHT25 sht25;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (!sht25.begin()) {
    Serial.println("SHT25 initialization unsuccessful!");
  } else {
    Serial.println("Initialization failed. Check the connections!");
  }
  // byte used? 2;
  // SHT25_sensitividad (cmh2l);
  // Serial.println("Resolucion: " + sht25.getResolution());
}
void loop() {
  Serial.println("Humedad: " + sht25.getHumidity());
  Serial.println("Temperatura: " + sht25.getTemperature());
  Serial.println("SHT25_sensitividad: " + sht25.getResolution());
  delay(1000);
}

```

```

COM9
08:53:41.350 -> SHT25 initialization successful!
08:53:41.396 -> Humedad(%RH): 59.43      Temperatura(C):30.71
08:53:42.472 -> Humedad(%RH): 58.94      Temperatura(C):30.03
08:53:43.589 -> Humedad(%RH): 58.45      Temperatura(C):30.03
08:53:44.710 -> Humedad(%RH): 58.45      Temperatura(C):30.03
08:53:45.830 -> Humedad(%RH): 58.94      Temperatura(C):30.03
08:53:46.951 -> Humedad(%RH): 58.94      Temperatura(C):30.03

```

Figura 30. Compilación correcta y Monitor Serie SHT25

8. Verificación en el laboratorio

Con respecto a las pruebas de los sensores se ha hecho uso del aula Penyagolosa del edificio 7E (segunda planta). Además, se ha realizado la calibración y medido el tiempo de establecimiento real de los sensores gracias al higrómetro que dispone la escuela C.A 846 (Figura 31) como medida de referencia. Por otra parte, para la producción de humedad se ha utilizado un humidificador Savoid CF-270 Humi-Nano por ultrasonido (Figura 32).



Figura 31. Higrómetro C.A 846



Figura 32. Humidificador Savoid [17]

Para ello, se ha montado el circuito de una forma distinta a como se ha visto anteriormente ya que el sensor necesitaba tener movilidad para que pudiera estar en zonas húmedas o secas para realizar las distintas pruebas. En la Figura 33 se puede

visualizar el montaje en la protoboard para probar el sensor, mientras que en la Figura 34 se puede visualizar el montaje realizado con cables largos para darle movilidad al sensor y se pueda introducir dentro del microclima creado.

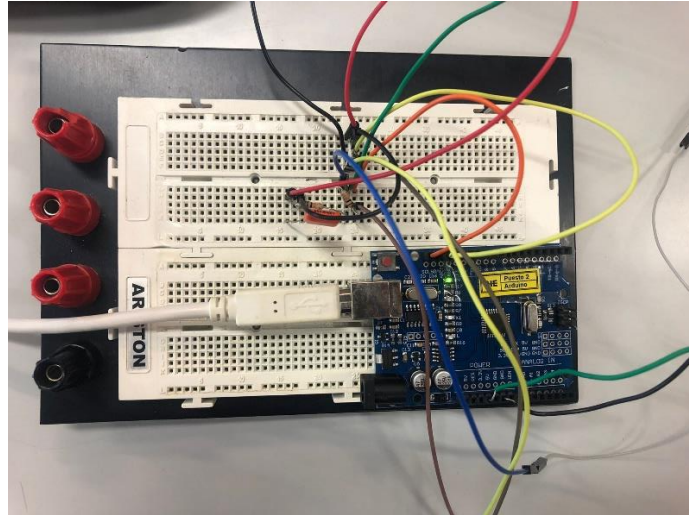


Figura 33. Circuito montado para las pruebas experimentales 1/2

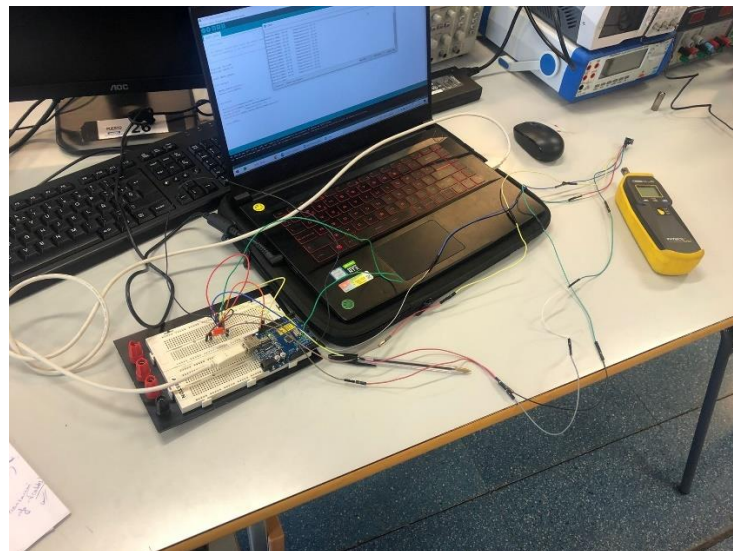


Figura 34. Circuito montado para las pruebas experimentales 2/2

8.1 Calibración estática

Por una parte, la calibración del sensor ha sido efectuada creando un espacio con un pequeño microclima para que la humedad quede atrapada e incrementa conforme el humidificador expulsa vapor de agua (Figura 35). Esta calibración estática se hizo

por comparación con el mencionado higrómetro de humedad C.A 846 que está calibrado de antemano, pues es de uso académico en la ETSID.



Figura 35. Espacio para calibración

8.1.1 SHT21

La humedad relativa medida por el higrómetro C.A 846 ese día era de 66 % aproximadamente, mientras que el SHT21 medía en torno a los 68 % de humedad relativa, es decir, hay una diferencia de 2 % entre ellos.



Figura 36. Medida humedad relativa ambiente

A continuación, se describen los pasos a seguir para la calibración. Una vez instalado nuestro circuito, conectado el higrómetro C.A 846 y preparado el espacio para resguardar la humedad relativa con el humidificador encendido lleno de agua para la creación de vapor, se procede a acercar el higrómetro y el sensor SHT21 progresivamente dentro del espacio acondicionado para la comparación entre el higrómetro de referencia C.A 846 y el SHT21.

Tabla 16. Calibración sensor SHT21 prueba Nº 1

| Puntos | C.A 846 (%HR) | SHT25 (%HR) |
|--------|------------------|----------------|
| 1 | 78 | 83 |
| 2 | 80 | 83 |
| 3 | 80 | 83 |
| 4 | 84 | 90 |
| 5 | 78 | 83 |
| 6 | 73 | 76,7 |
| 7 | 80 | 81 |
| 8 | 85 | 86,3 |
| 9 | 90 | 93,54 |
| 10 | 93 | 94,85 |
| 11 | 95 | 97,56 |
| 12 | 97 | 98,84 |

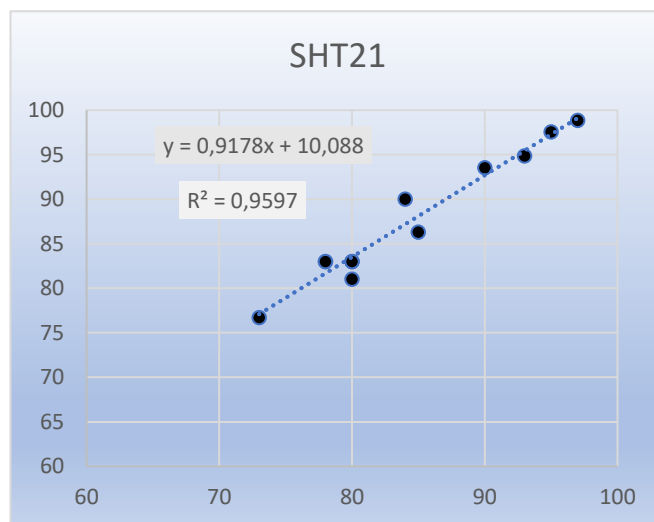


Figura 37. Calibración sensor SHT21 prueba Nº 1

Realizando el ajuste lineal se visualiza un coeficiente de determinación R^2 de 95.97 % que predice futuros resultados estables por su cercanía al valor máximo que es 100 %. En cuanto a la ecuación lineal, vemos que hay un offset de 10 puntos respecto al higrómetro de laboratorio.

8.1.2 SHT25

En el caso del SHT25 se realizaron las pruebas el día de después por lo que la humedad relativa del ambiente era distinta ya que el higrómetro C.A 486 marcaba 50 %HR mientras que el SHT25 medía en torno a los 46 %HR, es decir, una diferencia de 4% HR. En este caso el SHT25 es más preciso y había variaciones muy bruscas por la humedad de ese día en concreto ya que hacía brisa, para ello se hicieron cuatro calibraciones, siendo las dos primeras (Tabla 17 y Tabla 18) con las respectivas gráficas (Figura 38 y Figura 39) obteniendo valores de 5 en 5% HR del higrómetro de laboratorio mientras que las dos últimas calibraciones se acercaba progresivamente los sensores al humidificador y se obtenían valores cuando se estabilizaba la medida (Tabla 19 y Tabla 20) con sus respectivas gráficas (Figura 40 y Figura 41). Finalmente se han recogido todos los valores de las cuatro pruebas para ver una calibración más global (Figura 42).

Tabla 17. Calibración sensor SHT25 prueba Nº 1

| Puntos | C.A 846 (%HR) | SHT25 (%HR) |
|--------|------------------|----------------|
| 1 | 50 | 45,76 |
| 2 | 50 | 45,76 |
| 3 | 55 | 51,13 |
| 4 | 60 | 55,52 |
| 5 | 65 | 56 |
| 6 | 70 | 68 |
| 7 | 75 | 70 |
| 8 | 80 | 76 |
| 9 | 85 | 80,89 |
| 10 | 90 | 84 |
| 11 | 95 | 88,73 |
| 12 | 97 | 91,17 |

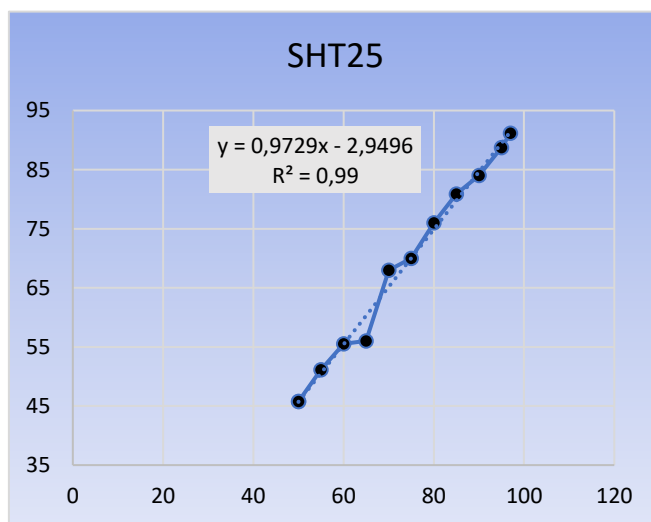


Figura 38. Calibración sensor SHT25 prueba Nº 1

Tabla 18. Calibración sensor SHT25 prueba N° 2

| Puntos | C.A 846 (%HR) | SHT25 (%HR) |
|--------|------------------|----------------|
| 1 | 52 | 50 |
| 2 | 55 | 55 |
| 3 | 60 | 59,5 |
| 4 | 65 | 68 |
| 5 | 70 | 73 |
| 6 | 75 | 79,98 |
| 7 | 80 | 79,94 |
| 8 | 85 | 77 |
| 9 | 90 | 86 |
| 10 | 95 | 89 |
| 11 | 97 | 92 |

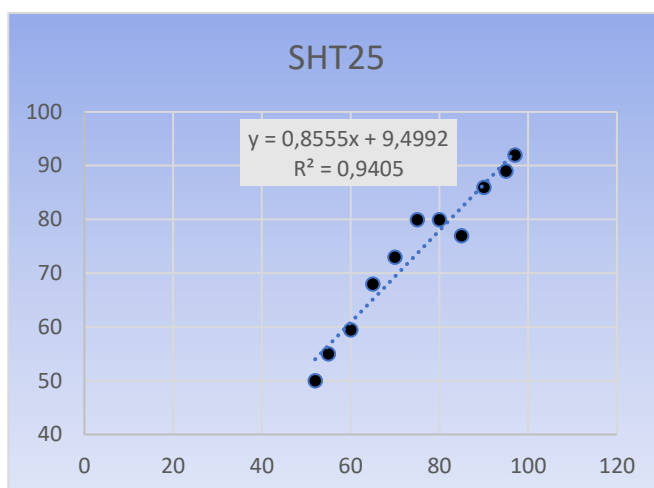


Figura 39. Calibración sensor SHT25 prueba n° 2

Tabla 19. Calibración sensor SHT25 prueba N° 3

| Puntos | C.A 846 (%HR) | SHT25 (%HR) |
|--------|------------------|----------------|
| 1 | 52 | 53 |
| 2 | 54 | 55 |
| 3 | 55 | 56 |
| 4 | 60 | 60 |
| 5 | 65 | 70,7 |
| 6 | 68 | 67,5 |
| 7 | 76 | 77,98 |
| 8 | 79 | 81 |
| 9 | 88 | 89,21 |
| 10 | 92 | 93,12 |

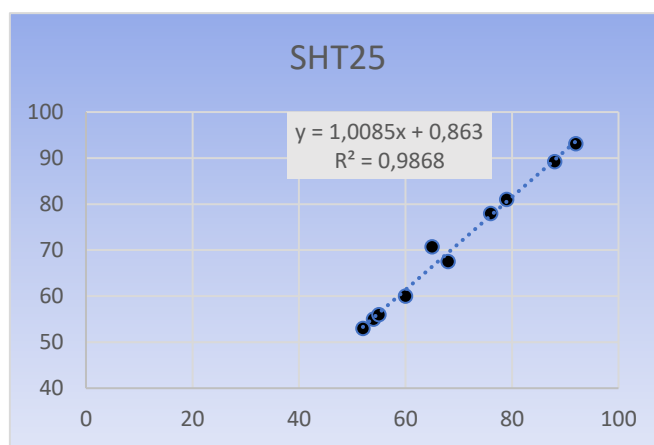


Figura 40. Calibración sensor SHT25 prueba N° 3

Tabla 20. Calibración sensor SHT25 prueba N°4

| Puntos | C.A 846 (%HR) | SHT25 (%HR) |
|--------|------------------|----------------|
| 1 | 60 | 60 |
| 2 | 62 | 63 |
| 3 | 61 | 62 |
| 4 | 60 | 62 |
| 5 | 64 | 66 |
| 6 | 71 | 71 |
| 7 | 81 | 78 |
| 8 | 79 | 77 |
| 9 | 92 | 87 |
| 10 | 95 | 87 |
| 11 | 97 | 85 |

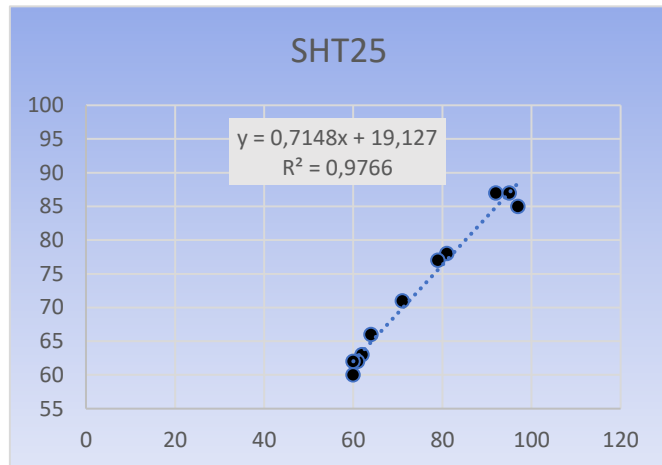


Figura 41. Calibración sensor SHT25 prueba N° 4

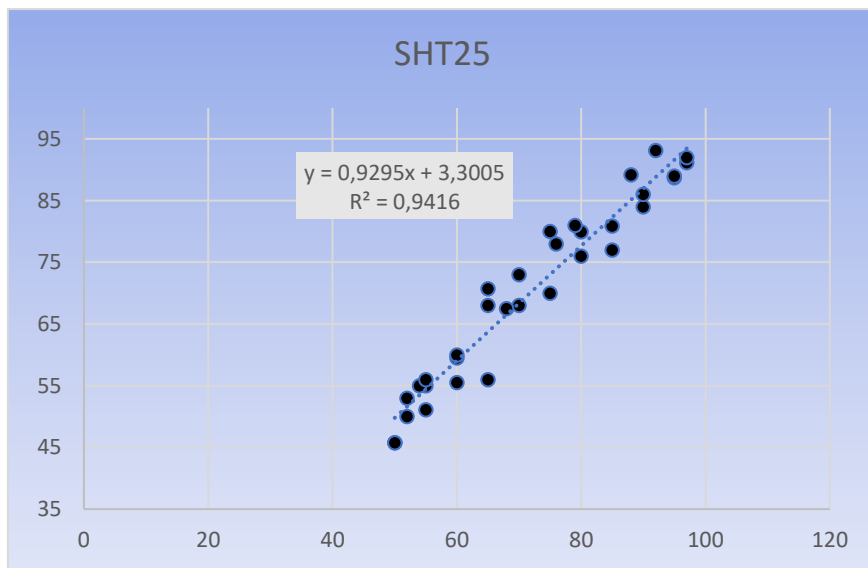


Figura 42. Calibración sensor SHT25 total

Realizando el ajuste lineal en el conjunto de las pruebas hechas, se ha obtenido una calibración con un coeficiente de correlación de 94.16 % junto a una línea de tendencia que tiene una pendiente de 0.9295 con +3.3 de offset. En cuanto a la valoración de esta calibración se puede decir que es óptima ya que tenemos un alto coeficiente de correlación.

8.2 Calibración dinámica

Por otra parte, se hizo una prueba de laboratorio para calcular el tiempo de respuesta de nuestros sensores. Para ello, se ha diseñado una cámara con la caja que contiene aún más la humedad que en el apartado de calibración ya que no se queda a 45° respecto a la mesa, sino que se pone totalmente horizontal. Además, la caja contiene dos pequeños orificios para cogerla por los dos laterales, pues se usarán para medir la humedad relativa ya que se pueden introducir tanto los sensores SHT21 y SHT25 como el higrómetro C.A 846.

El procedimiento de esta prueba es el siguiente, en primer lugar, vamos a obtener la pendiente ascendente de humedad relativa que se realizó mediante una excitación de tipo impulso positivo. Para ello debe haber dentro de la cámara entre el 98 y 99 %HR que es medida con el higrómetro C.A 846. Una vez se ha obtenido este valor estabilizado conectamos el sensor SHT21 o SHT25 se procede a introducirlo por el otro borne recogiendo así los datos de la humedad relativa en el Monitor Serie del Arduino. Dejamos el sensor dentro hasta que se estabiliza entre los valores 98-99 %. En segundo lugar, vamos a obtener la pendiente descendente de la humedad relativa que se obtiene mediante una excitación de impulso negativo. Se extrae el sensor SHT21 o SHT25 de la cámara con un valor de humedad relativa del 98-99 % y obtenemos los valores de la humedad relativa en el Monitor Serie. Estos valores serán procesados y analizados en Excel.

Una vez obtenidos los datos, se puede analizar que se tratan de sistemas de primer orden ya que hemos obtenido un escalón. De este modo, se calculará el tiempo de establecimiento (τ) que se define como el tiempo requerido para que un sistema alcance el 63.2% del valor final o estable. Para calcular τ se debe trazar la pendiente de la ecuación de la gráfica visualizando dónde corta con el valor estable obtenido. Una vez obtenido esa intersección se traza una recta vertical hasta el eje x. Finalmente, τ son los puntos del eje x que hay desde que el principio hasta la recta vertical trazada. El delay que teníamos en Arduino era de 1 segundo que, por los tiempos de respuesta, es un delay de 1.3 segundos entre punto y punto.



Figura 43. Cámara cerrada acondicionada para el cálculo de la respuesta del sistema

8.2.1 SHT21

8.2.1.1 Impulso positivo

En este caso, como se ha explicado se va a obtener una pendiente ascendente, es decir, se obtiene una humedad relativa dentro de la cámara del 98 – 99 %HR y se introduce nuestro sensor presentado así un impulso positivo en un sistema de primer orden. En este primer lugar se han realizado cuatro pruebas (Figura 44, Figura 45, Figura 46 y Figura 47).

El cálculo de τ se puede realizar de dos formas distintas, una es calcular analíticamente el valor de τ como el 63.2% del valor final, mientras que la otra forma es geoméricamente, pues se ha elegido realizarlo de forma geométrica. A continuación, se explicará los pasos que se han seguido, primero hay que destacar que en las gráficas de dispersión la línea de bolas azules muestra la curva de la humedad relativa (%). La línea de la pendiente ha sido calculada cogiendo dos puntos consecutivos de cuando la curva empieza a crecer y se prolonga hasta que corta con la línea horizontal del valor máximo obtenido. Finalmente, se traza una línea vertical para el cálculo de la constante de tiempo (τ) que como se ha explicado anteriormente, desde un punto a otro de dispersión equivale a 1.3 segundos de

tiempo de respuesta, por lo que para calcular τ habrá que contar los puntos que hay desde que empieza la recta pendiente hasta la recta vertical y multiplicarlo por 1.3.

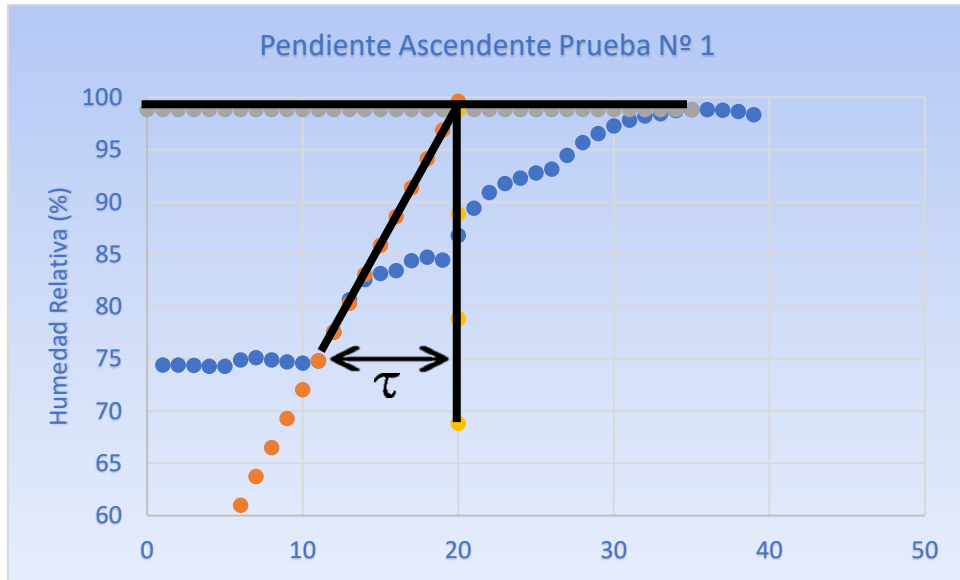


Figura 44. Pendiente Ascendente Prueba N° 1 del sensor SHT21

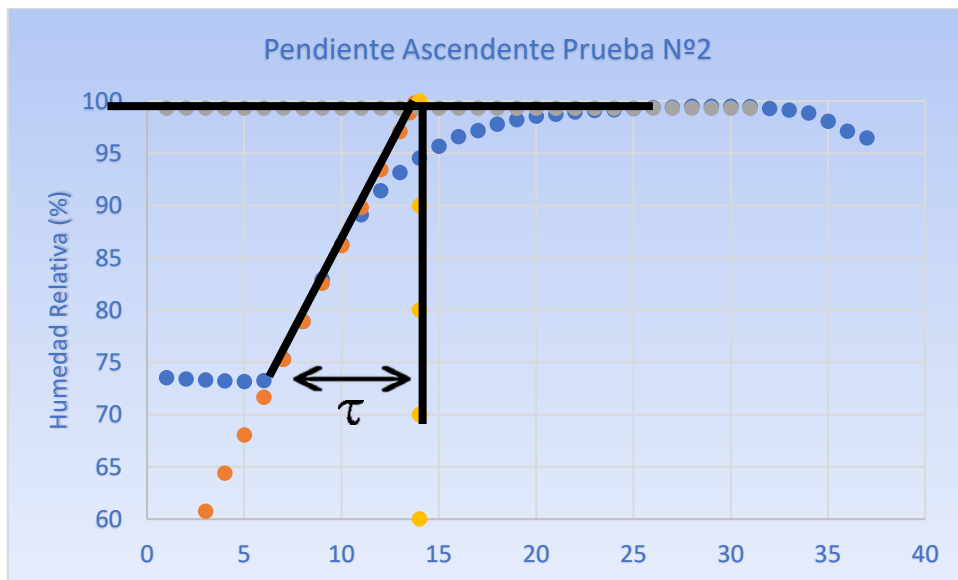


Figura 45. Pendiente Ascendente Prueba N°2 del sensor SHT21

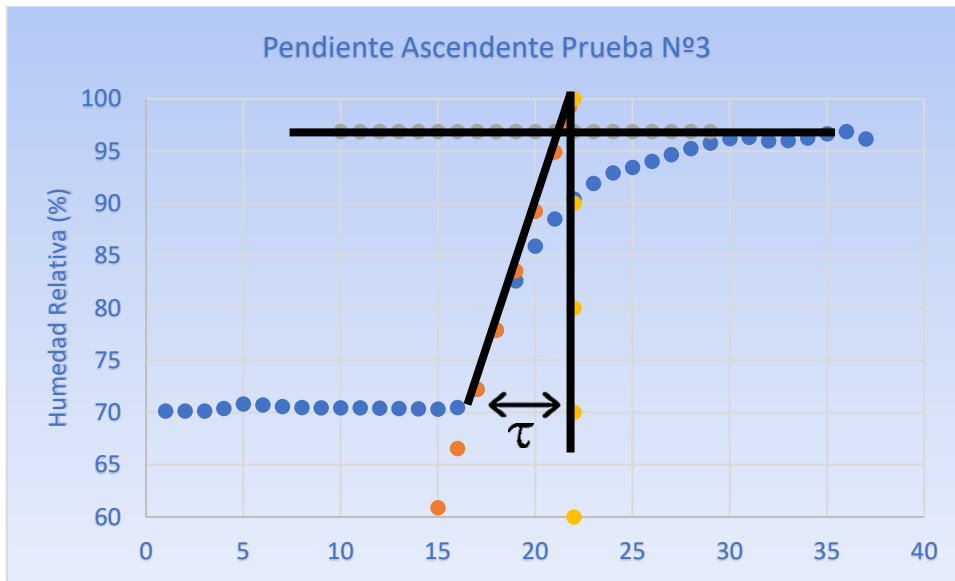


Figura 46. Pendiente Ascendente Prueba N° 3 del sensor SHT21

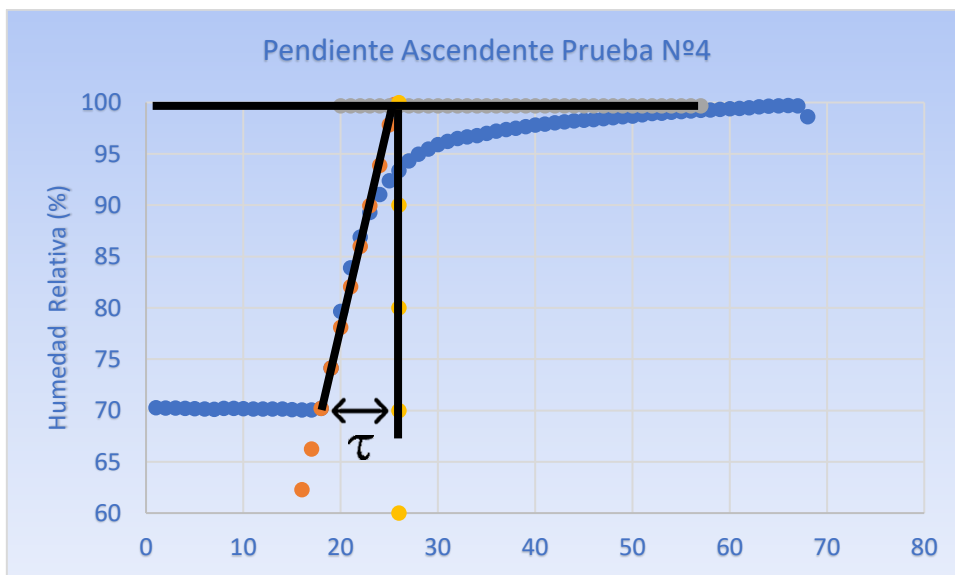


Figura 47. Pendiente Ascendente Prueba N° 4 del sensor SHT21

Finalmente, se ha realizado el estudio de la constante de tiempo para cuando el sistema de primer orden en este caso ha conseguido alcanzar el 63.2% del valor final o de estado estable.

Tabla 21. Cálculo τ para cada prueba ascendente del sensor SHT21 realizada en el laboratorio

| Prueba | Puntos | τ (s) |
|--------|--------|------------|
| 1 | 9 | 11.7 |
| 2 | 7 | 9.1 |
| 3 | 5 | 6.5 |
| 4 | 8 | 10.4 |

Se han obtenido resultados parecidos desde 6-12 segundos de tiempo de respuesta (τ). Para tener un valor promediado se ha realizado una media entre los valores obtenidos calculando así una media de 9.425 segundos para un impulso positivo en el sensor SHT21.

8.2.1.2 Impulso negativo

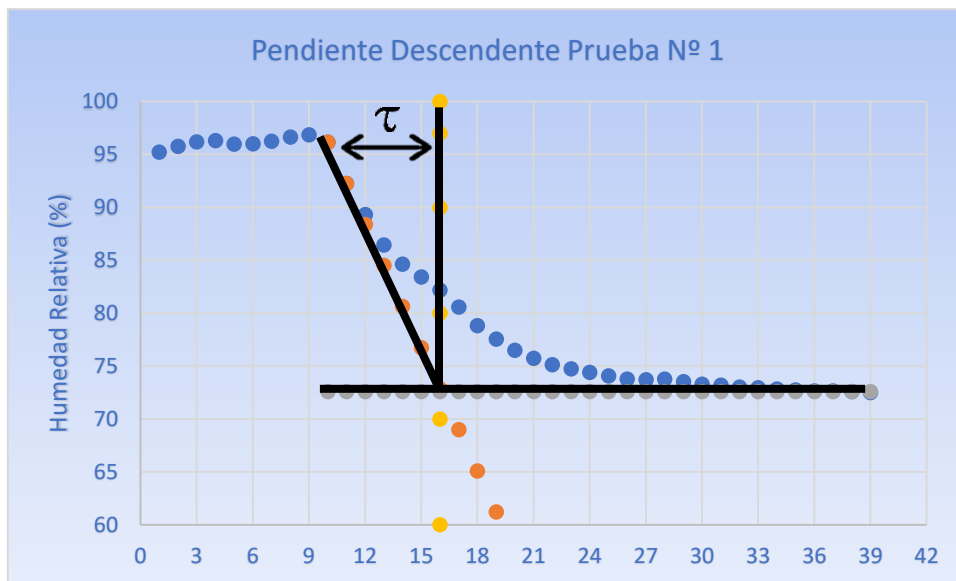


Figura 48. Pendiente Descendente Prueba Nº 1 del sensor SHT21

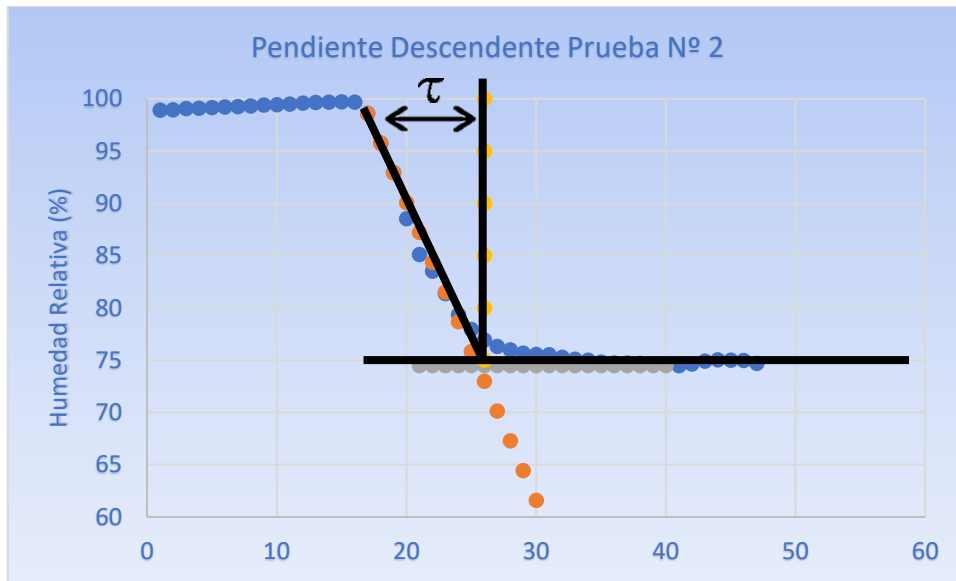


Figura 49. Pendiente Descendente Prueba Nº 2 del sensor SHT21

Tabla 22. Cálculo τ para cada prueba descendente del sensor SHT21 realizada en el laboratorio

| Prueba | Puntos | τ (s) |
|--------|--------|------------|
| 1 | 6 | 7.8 |
| 2 | 9 | 11.7 |

Finalmente, se han obtenido dos valores parecidos, para ello se ha realizado una media entre estos dos valores obteniendo 9.75 segundos como tiempo de respuesta para el sistema cuando se tiene un impulso negativo para el sensor SHT21.

8.2.2 SHT25

8.2.2.1 Impulso positivo

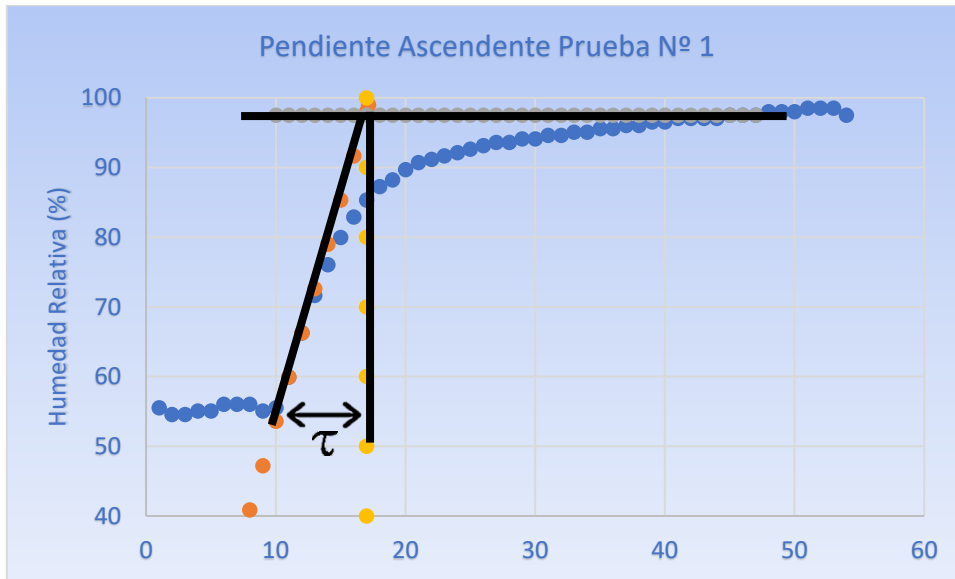


Figura 50. Pendiente Ascendente Prueba N° 1 del sensor SHT25

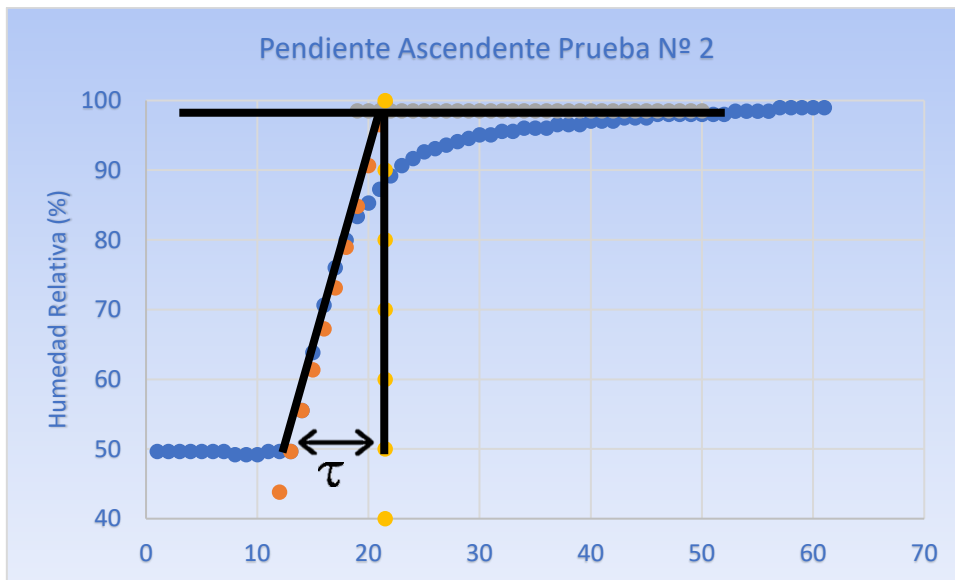


Figura 51. Pendiente Ascendente Prueba N° 2 del sensor SHT25

Tabla 23. Cálculo τ para cada prueba ascendente del sensor SHT25 realizada en el laboratorio

| Prueba | Puntos | τ (s) |
|--------|--------|------------|
| 1 | 6 | 7.8 |
| 2 | 8 | 10.4 |

En este caso se ha obtenido una media de 9.1 segundos de media para el tiempo de respuesta (τ) ante un impulso positivo en el sensor SHT25.

8.2.2.2 Impulso negativo

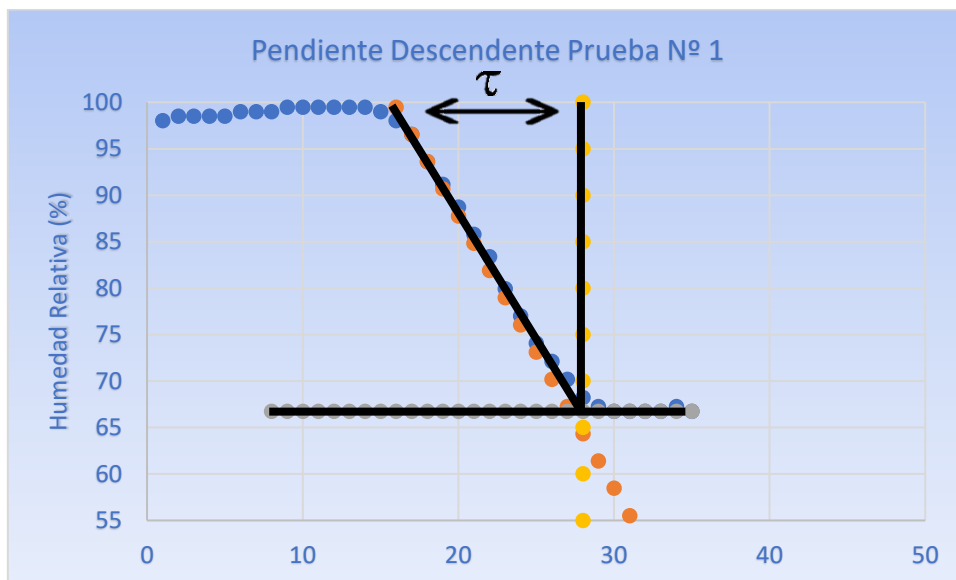


Figura 52. Pendiente Descendente Prueba Nº 1 del sensor SHT25

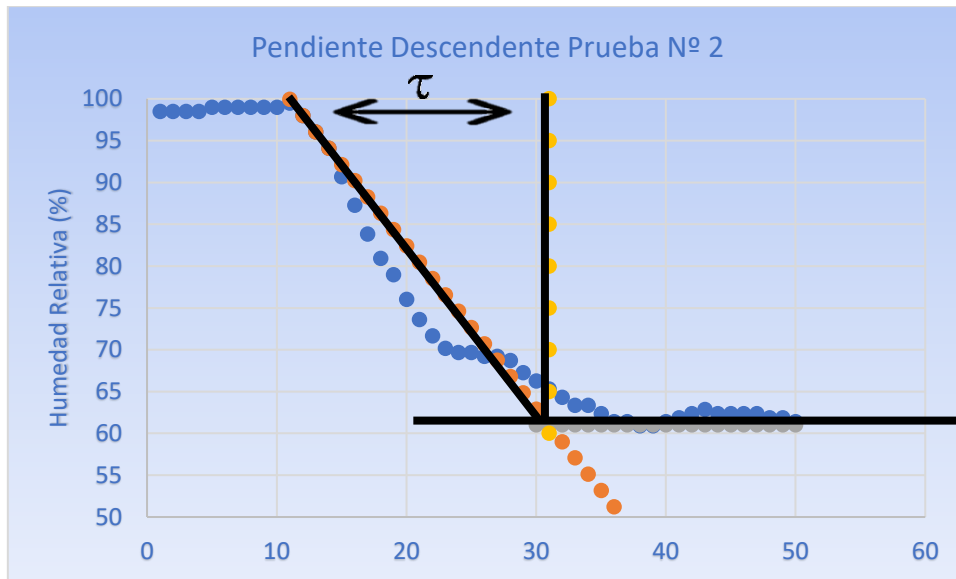


Figura 53. Pendiente Descendente Prueba Nº 2 del sensor SHT25

Tabla 24. Cálculo τ para cada prueba descendente del sensor SHT25 realizada en el laboratorio

| Prueba | Puntos | τ (s) |
|--------|--------|------------|
| 1 | 10 | 13 |
| 2 | 20 | 26 |

Finalmente, para el caso del sensor SHT25 ante un impulso negativo se ha obtenido una media dispersa, ya que el tiempo de respuesta entre las dos pruebas ha sido el doble, obteniendo así un tiempo de respuesta de 19.5 segundos.

9. Conclusiones

Para concluir, en este proyecto se ha podido comprobar la dificultad de la elección de un sensor óptimo para la aplicación dada. Por ello, se ha realizado un gran estudio respecto a las características pedidas, que, por otra parte, también fue complejo determinar ciertas características y entender conceptos acerca de la humedad relativa. Otra parte compleja fue la elaboración del código en Arduino ya que en este caso se propuso realizar códigos distintos para los sensores para de esta forma tener dos alternativas, además de que se introdujeron librerías para simplificar el código de forma notable. En otro lugar, las pruebas experimentales fueron un gran desafío a la hora de producir humedad en un entorno cerrado.

9.1 Resultados

Los resultados de cada apartado tanto de diseño como de compilación tuvieron errores al principio, pero se resolvieron de forma adecuada. La elaboración del código presentó problemas de compilación que tras un análisis se pudo corregir sin problema.

Por otra parte, los resultados obtenidos en las pruebas experimentales son óptimos ya que se obtuvieron resultados de calibración y tiempo de respuesta acorde con el datasheet de los sensores. Los resultados aproximados del tiempo de respuesta de los sensores cuando se mide humedad relativa fueron de entre 9-11 segundos aproximadamente, que comparándolo con el datasheet (8 segundos) son valores semejantes.

En el caso de que no hubieran salidos buenos resultados, se podría haber realizado pruebas experimentales con otros sensores de humedad y así comprobar dónde está el fallo y realizar algún ajuste en el diseño del circuito.

9.2 Limitaciones

En este proyecto, se han tenido algunas limitaciones como es la calibración de la temperatura. Aunque en nuestro proyecto el principal objetivo es medir humedad relativa, los sensores elegidos estaban preparados para medir temperatura, pero en la ETSID no se dispone de un horno para sensores de este estilo, pues no se pudieron hacer pruebas experimentales. A pesar de todo, el código de los dos sensores está elaborado para la medición de temperatura, que, aunque no estén calibrados, se ha probado y los sensores han dado valores considerables.

9.3 Futuros proyectos

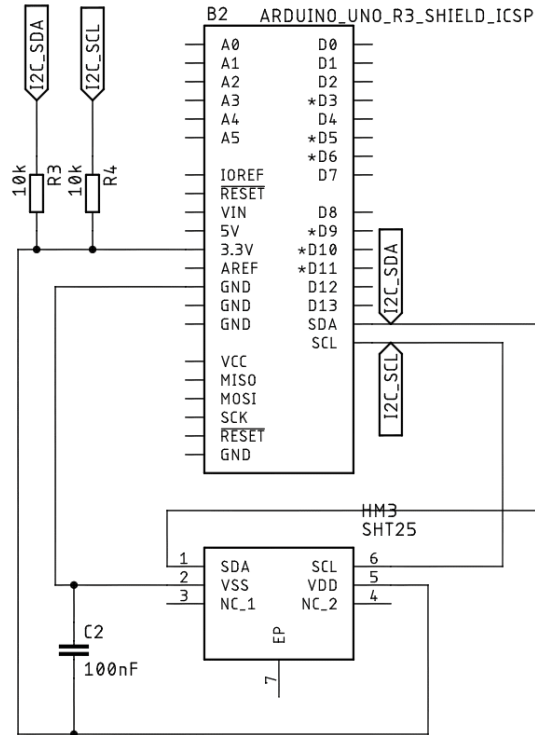
Este estudio es el primer paso para la integración de este tipo de sensores en un trocar quirúrgico de cara a lograr una cirugía laparoscópica más segura para el paciente. Los siguientes pasos serían la integración del sensor en un prototipo trocar y la realización de estudios preclínicos en modelo de animal de experimentación.

10. Referencias

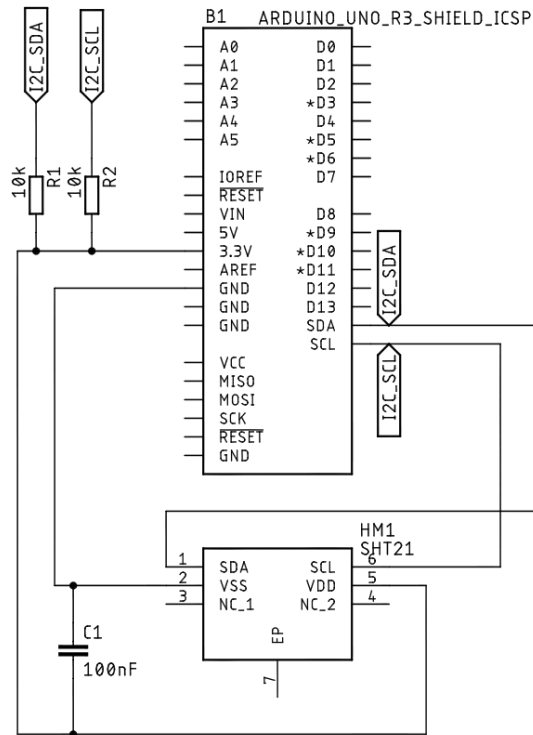
- [1] Gasex, «Gasex,» 2022. [En línea]. Available: <https://gasex.cl/co2/cirugia-laparoscopica-con-co2/#:~:text=%C2%BFPor%20qu%C3%A9%20es%20usado%20el,f%C3%A1cilmente%20en%20los%20tejidos%20corporales>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [2] M. D. N. M. N. B. Davis SS, «epistemonikos,» [En línea]. Available: <https://www.epistemonikos.org/es/documents/5b4f8f267308d9e1f7ccc7e64c7e4734829e2a89>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [3] Wikipedia, «Wikipedia - Humedad relativa,» 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad_relativa. [Último acceso: 2022].
- [4] Wikipedia, «Wikipedia - Punto de rocío,» 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Punto_de_roc%C3%ADo. [Último acceso: 2022].
- [5] Naylamp, «Naylamp Mechatronics,» 2022. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>. [Último acceso: 2022].
- [6] ElectronicaLugo, «ElectronicaLugo,» 2022. [En línea]. Available: <https://electronicalugo.com/sensor-de-humedad-tipos-y-principio-de-funcionamiento/>. [Último acceso: 2022].
- [7] L. G. Metas, «La Guía Metas,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-08-05-sensores-de-humedad.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [8] I. I. S. TECHNOLOGY, «Farnell,» [En línea]. Available: <https://es.farnell.com/ist-innovative-sensor-technology/p14-w-150pf-50pf/sensor-de-humedad-5s-12v-cable/dp/3586976>. [Último acceso: 2022].
- [9] T. CONNECTIVITY, «Farnell,» [En línea]. Available: <https://es.farnell.com/te-connectivity-sensors/htu21d/sensor-humedad-temp-digital-dfn/dp/2393536>. [Último acceso: 2022].
- [10] T. connectivity, «Farnell,» [En línea]. Available: TE CONNECTIVITY. [Último acceso: 2022].
- [11] multcomp, «Farnell,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2865737.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [12] I. S. Technology, «Farnell,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/3627287.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [13] Sensirion, «RS Components,» [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/1977/0900766b812af80a.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [14] S. Labs, «RS Components,» [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/1977/0900766b812af80a.pdf>. [Último acceso: 2022].

- [15] st, «RS Components,» [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/53a6/0900766b814d7c46.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [16] Sensirion, «RS Components,» [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/fad7/0900766b80f6560c.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [17] ManualsLib, «ManualsLib,» [En línea]. Available: <https://www.manualslib.es/manual/501441/Saivod-Humi-Nano.html?page=4#manual>. [Último acceso: 2022].

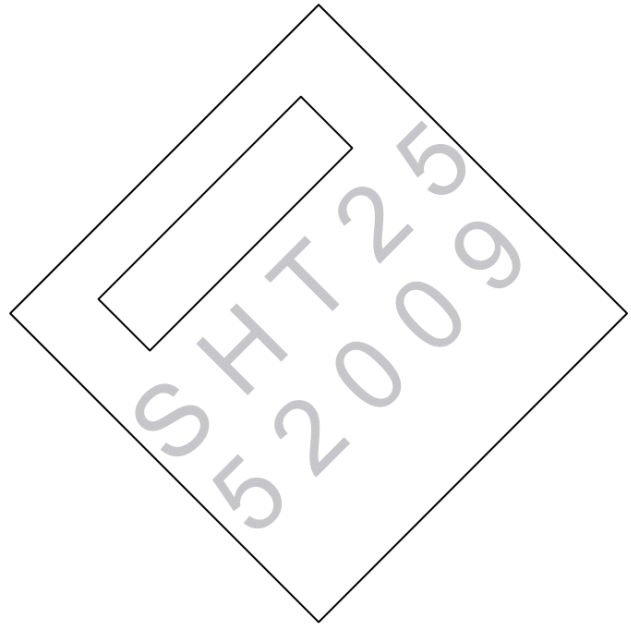
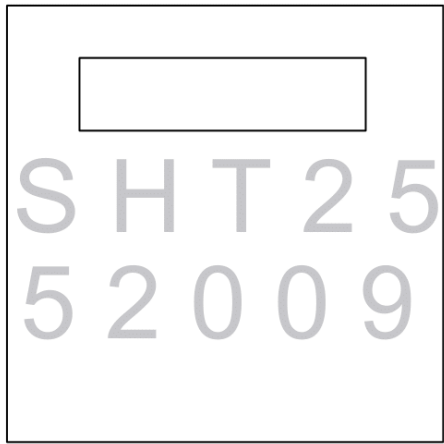
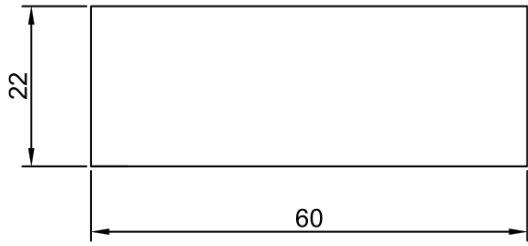
Documento II: Planos



| | | | | |
|--|----------|-----------------------|---|-------------------------------|
| 4 | 1 | SHT25 | Sensirion | 3x3x1.1 mm |
| 3 | 1 | Condensador 100 nF | RS PRO | THROUGH-HOLE |
| 2 | 2 | Resistencia 10 kΩ | RS PRO | THROUGH-HOLE |
| 1 | 1 | Arduino UNO R3 | Arduino | |
| Marca | Cantidad | Denominación | Plano, fabricante | Observaciones |
| AUTOR: JUAN CARLOS FERNÁNDEZ ORTEGA | | FECHA: 30/05/2022 | ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO OFICINA TÉCNICA "Estudio y desarrollo de un sistema electrónico para la medida de humedad relativa en la cavidad peritoneal de un paciente sometido a cirugía laparoscópica" | |
| ESCALA: 1:1 | | Circuito SHT25 | | Nº PLANO: 1 Pág. 76 |



| | | | | |
|--|----------|-----------------------|---|-------------------------------|
| 4 | 1 | SHT21 | Sensirion | 3x3x1.1 mm |
| 3 | 1 | Condensador 100 nF | RS PRO | THROUGH-HOLE |
| 2 | 2 | Resistencia 10 kΩ | RS PRO | THROUGH-HOLE |
| 1 | 1 | Arduino UNO R3 | Arduino | |
| Marca | Cantidad | Denominación | Plano, fabricante | Observaciones |
| AUTOR: JUAN CARLOS FERNÁNDEZ ORTEGA | | FECHA: 30/05/2022 | ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO OFICINA TÉCNICA "Estudio y desarrollo de un sistema electrónico para la medida de humedad relativa en la cavidad peritoneal de un paciente sometido a cirugía laparoscópica" | |
| ESCALA: 1:1 | | Circuito SHT21 | | Nº PLANO: 2 Pág. 77 |



AUTOR:
JUAN CARLOS FERNÁNDEZ ORTEGA

FECHA:
30/05/2022

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
PROYECTO OFICINA TÉCNICA

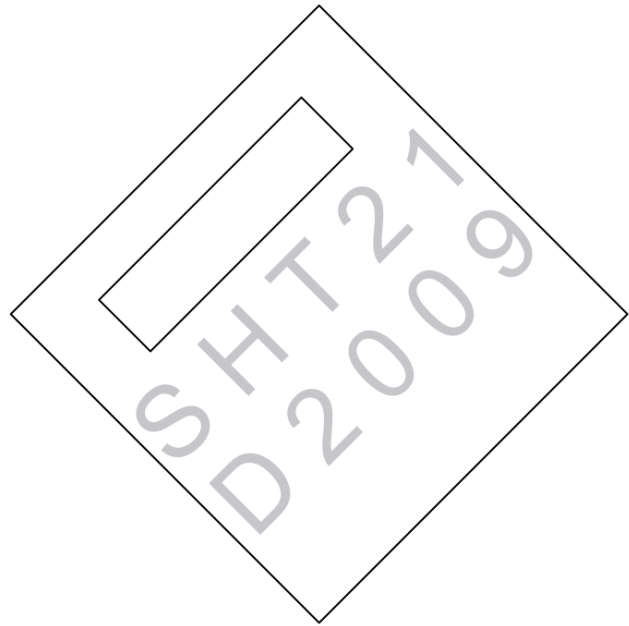
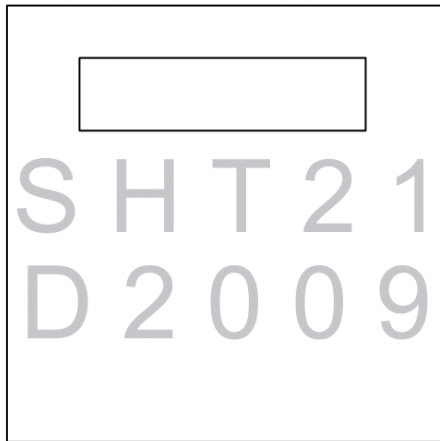
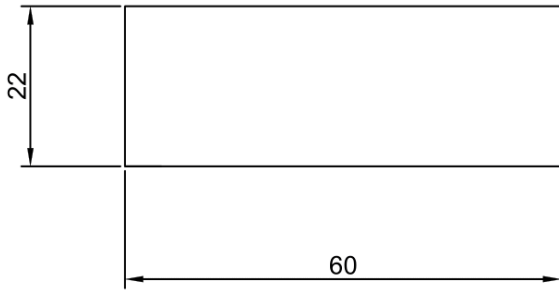
"Estudio y desarrollo de un sistema electrónico para la medida de humedad relativa en la cavidad peritoneal de un paciente sometido a cirugía laparoscópica"

ESCALA:
20:1

PIEZA SHT25

Nº PLANO:
3

Pág. 78



AUTOR:
JUAN CARLOS FERNÁNDEZ ORTEGA

FECHA: 30/05/2022

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
PROYECTO OFICINA TÉCNICA

"Estudio y desarrollo de un sistema electrónico para la medida de humedad relativa
en la cavidad peritoneal de un paciente sometido a cirugía laparoscópica"

ESCALA: 20:1

PIEZA SHT21

Nº PLANO:

4

Pág. 79

Documento II: Pliego de condiciones

1. Objeto

El presente Pliego de Condiciones Técnicas establece las condiciones de trabajo bajo las cuales el conjunto de características que deberá cumplir el sistema electrónico para la medida de humedad relativa en la cavidad peritoneal de un paciente sometido a cirugía laparoscópica, para ello se ha estudiado los sensores comerciales más adaptables para esta aplicación, así como la realización del código, prueba y verificación de los sensores escogidos.

Este documento comprende la base normativa, especificación de materiales, ejecución de pruebas de servicio y control de calidad para la correcta realización del proyecto mencionado. El proyecto está destinado a ofrecer un dispositivo que pueda resultar de ayuda al personal sanitario en hospitales.

2. Normativa

Se seguirá la normativa IEC 60601-1 para equipos y sistemas eléctricos médicos, además de la Directiva 2014/30/UE para la compatibilidad electromagnética.

Para la especialización de dispositivos sanitarios se deberá cumplir con la UNE-EN ISO 11073-10406.

Respecto a la composición de los materiales utilizados, estos deben cumplir con la directiva RoHS2, Directivas de la UE 2011/65/UE y 2017/2102/UE.

3. Materiales

3.1. Condiciones de los materiales

3.1.1. Componentes pasivos

Se precisarán de dos resistencias de 10 k Ω de tipo through hole y un condensador de 100 nF de tipo through hole.

3.1.2. Microcontrolador

El sistema contendrá un microcontrolador Arduino UNO.

3.1.3. Sensores

Se hará uso de un sensor SHT21 o SHT25

3.1.4. Otros

Se precisarán de varios componentes para la realización del estudio e implementación del proyecto como un humidificador Savoid, un higrómetro C.A 846, 4 cables Macho-Hembra y 8 cables Macho- Macho para el montaje.

3.2. Control de calidad de materiales

Se comprobará que los materiales adquiridos son originales e incluyen el marcado de Conformidad Europea, CE.

También, se debe hacer una inspección técnica en la que se verificará que los materiales no presentan defectos o alteraciones y que sus dimensiones coinciden con lo especificado por el fabricante.

Las resistencias se le realizarán dos pruebas. Por una parte, se medirá su valor mediante un Ohmetro y se comparará con el código de colores de la resistencia teniendo en cuenta en rango de tolerancia, de esta forma los dos valores deberán coincidir. Su segunda prueba consistirá en un revisado superficial del estado del componente comprobando así que se ven bien los colores del componente.

En cuanto al condensador se realizará la medida mediante un capacímetro de precisión.

El Arduino UNO se comprobará que con la alimentación mencionada se encienden los LEDs de activación y que los puertos I²C funcionan correctamente.

Se realizará una pequeña prueba a la protoboard para comprobar que los orificios del canal central (que se van a utilizar) verticales están conectados y que los horizontales están desconectados. Además, se deberá comprobar que los orificios de la parte superior e inferior están conectados horizontalmente.

Para el caso del sensor, ya bien sea SHT21 o SHT25 se les realizará una inspección visual de su estado físico externo y se comprobará su funcionamiento correcto.

En el caso de los cables, la única prueba que se le realizará será comprobar que están conectados de extremo a extremo.

4. Condiciones de ejecución

4.1. Descripción

Inicialmente se deben clasificar todos los componentes, de la lista de materiales del plano 1, comprobando además que se cuenta con la totalidad de componentes necesaria.

Se comenzará montando el sensor SHT21 o SHT25 como indica el plano 2. Después, se procederá a colocar las resistencias y los condensadores doblando o preformando sus terminales para insertarlas en la protoboard en los orificios correspondientes indicados en el plano 2.

Acto seguido se unirá mediante cables los componentes pasivos al sensor y, posteriormente al Arduino UNO como indica el plano 3.

4.2. Control de calidad de ejecución

Tras la conexión del sistema se deberá realizar un control de calidad que consistirá en comprobar con un multímetro que haya continuidad entre los pines que están conectados mediante cables. Además, al conectar el Arduino UNO se comprobará que se encienden los LEDs.

5. Prueba de servicio

Para la comprobación del correcto funcionamiento de nuestro sistema de medición de humedad se realizarán las siguientes pruebas:

- Prueba RESET

Se procederá a pulsar el botón de reset del Arduino UNO comprobando que los LEDs se apagan y se encienden, además de que en el monitor serie de Arduino se reinicia la salida de datos.

- Prueba calibración entre SHT21/25 y C.A 846

Se deben activar los dos sensores y comprobar que la variación de %HR es de lo indicado en la memoria.

- Pruebas de compatibilidad electromagnética (EMC)

El dispositivo será sometido a un ensayo de compatibilidad electromagnética según establece la Directiva 2014/30/UE.

- Verificación del funcionamiento general del sistema

Para esta prueba se contará con personal especializado al que previamente se le haya indicado el funcionamiento del dispositivo. Este será quien determine si el resultado coincide con los resultados esperados.

Documento IV: Presupuesto

1. Introducción

En este documento se presentan los costes que ha generado el diseño del sistema electrónico. Estos costes se han dividido en distintos apartados conforme a la naturaleza de cada coste.

Se han realizado dos supuestos casos, uno incluye el software para la realización del proyecto y otro no lo incluye.

Se ha tenido en cuenta distintas actividades realizadas por el ingeniero, las horas dedicadas y el coste de amortizaciones. También se ha tenido en cuenta el Beneficio Industrial y el IVA para calcular el valor del presupuesto total.

2. Software incluido

2.1. Cuadro de precios elementales

Tabla 25. Cuadro de precios elementales (Materiales)

| 1. Cuadro de precios elementales | | | |
|----------------------------------|--------|--|------------|
| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) |
| Materiales | | | |
| m1 | ud. | Arduino UNO R3 (incluye cable) | 19,490 |
| m2 | ud. | Sensor SHT21 | 5,000 |
| m3 | ud. | Sensor SHT25 | 7,700 |
| m4 | ud. | Protoboard | 4,900 |
| m5 | ud. | Resistencia de 10 kΩ, de la serie E12. | 0,020 |
| m6 | ud. | Condensador de 100 nF | 0,001 |
| m7 | ud. | Cable DuPont Macho-Hembra | 0,075 |
| m8 | ud. | Cable DuPont Macho-Macho | 0,075 |
| m9 | ud. | Humidificador Savoid | 25,000 |

Tabla 26. Cuadro de precios elementales (Mano de obra)

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|---------------------|--------|--|------------|
| Mano de obra | | | |
| h1 | h. | Estudio de los conceptos acerca del proyecto | 19 |
| h2 | h. | Estudio de alternativas para el proyecto | 19 |
| h3 | h. | Estudio de la alternativa escogida | 19 |
| h4 | h. | Diseño y programación del circuito | 19 |
| h5 | h. | Pruebas de funcionamiento y calibración | 19 |
| h6 | h. | Redacción y maquetación del proyecto | 19 |

Tabla 27. Cuadro de precios elementales (Amortizaciones)

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|-----------------------|--------|----------------------------|------------|
| Amortizaciones | | | |
| m10 | ud. | Higrómetro C.A 846 | 128,290 |
| m11 | ud. | MSI GF65 Thin 9SEXR-236XES | 903,630 |
| m12 | año | Eagle 9.6.2 | 503,000 |
| m13 | año | AutoCAD 2022 | 2342,000 |
| m14 | año | Office Profesional 2021 | 579,000 |

Tabla 28. Cuadro de precios elementales (Otros gastos generales)

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|-------------------------------|--------|----------------------|------------|
| Otros gastos generales | | | |
| m10 | mes | Luz y agua | 45,000 |
| m11 | mes | Internet y telefonía | 20,000 |
| m12 | mes | Alquiler oficina | 180,000 |

2.2. Cuadro de precios descompuestos

Tabla 29. Cuadro de precios descompuestos 1/2

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Parcial (€) |
|-------------------------------|--------|---|------------|----------|-----------------|
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por el arduino UNO R3, sensor SHT21 o SHT25, protoboard, resistencias de 10kΩ, condensador de 100 nF y cables DuPont | | | |
| Materiales | | | | | |
| m1 | ud. | Arduino UNO R3 (incluye cable) | 19,490 | 1,000 | 19,490 |
| m2 | ud. | Sensor SHT21 | 5,000 | 2,000 | 10,000 |
| m3 | ud. | Sensor SHT25 | 7,700 | 2,000 | 15,400 |
| m4 | ud. | Protoboard | 4,900 | 1,000 | 4,900 |
| m5 | ud. | Resistencia de 1 KΩ, de la serie E12. | 0,020 | 2,000 | 0,039 |
| m6 | ud. | Condensador de 100 nF | 0,001 | 1,000 | 0,001 |
| m7 | ud. | Cable DuPont Macho-Hembra | 0,075 | 4,000 | 0,300 |
| m8 | ud. | Cable DuPont Macho-Macho | 0,075 | 8,000 | 0,600 |
| m9 | ud. | Humidificador Savoid | 25,000 | 1,000 | 25,000 |
| TOTAL MATERIALES | | | | | 75,730 |
| Mano de obra | | | | | |
| h1 | h. | Estudio de los conceptos acerca del proyecto | 19 | 20 | 380,000 |
| h2 | h. | Estudio de alternativas para el proyecto | 19 | 20 | 380,000 |
| h3 | h. | Estudio de la alternativa escogida | 19 | 15 | 285,000 |
| h4 | h. | Diseño y programación del circuito | 19 | 25 | 475,000 |
| h5 | h. | Pruebas de funcionamiento y calibración | 19 | 20 | 380,000 |
| h6 | h. | Redacción y maquetación del proyecto | 19 | 65 | 1235,000 |
| TOTAL MANO DE OBRA | | | | | 3135,000 |
| Amortizaciones | | | | | |
| m10 | ud. | Higrómetro C.A 846 | 128,29 | 0,15 | 19,244 |
| m11 | ud. | MSI GF65 Thin 9SEXR-236XES | 903,63 | 0,3 | 271,089 |
| m12 | año | Eagle 9.6.2 | 503 | 0,02 | 10,060 |
| m13 | año | AutoCAD 2022 | 2342 | 0,03 | 70,260 |
| m14 | año | Office Profesional 2021 | 579 | 0,15 | 86,850 |
| TOTAL AMORTIZACIONES | | | | | 457,503 |
| Otros gastos generales | | | | | |
| m10 | mes | Luz y agua | 45 | 2 | 90,000 |
| m11 | mes | Internet y telefonía | 20 | 2 | 40,000 |

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Parcial (€) |
|-------------------------------------|--------|---|------------|--------------|-----------------|
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por el arduino UNO R3, sensor SHT21 o SHT25, protoboard, resistencias de 10kΩ, condensador de 100 nF y cables DuPont | | | |
| m12 | mes | Alquiler oficina | 180 | 2 | 360,000 |
| TOTAL OTROS GASTOS GENERALES | | | | | 490,000 |
| | | | | TOTAL | 4158,233 |
| | % | Medios auxiliares sobre costes directos. | 8,000 | | 332,659 |
| Precio de ejecución material | | | | | 4490,891 |

2.3. Cuadro de precios unitarios

Tabla 30. Cuadro de precios unitarios

| 3. Cuadro de precios unitarios | | | |
|--------------------------------|--------|---|------------|
| Referencia | Unidad | Partida | Precio (€) |
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por el arduino UNO R3, sensor SHT21 o SHT25, protoboard, resistencias de 10kΩ, condensador de 100 nF y cables DuPont | 4490,891 |

2.4. Estado de mediciones

Tabla 31. Estado de mediciones

| 4. Estado de mediciones | | | |
|-------------------------|--------|---|----------|
| Referencia | Unidad | Partida | Cantidad |
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por el arduino UNO R3, sensor SHT21 o SHT25, protoboard, resistencias de 10kΩ, condensador de 100 nF y cables DuPont | 1 |

2.5. Valoración del presupuesto

Tabla 32. Valoración del presupuesto

| 5. Valoración del presupuesto | | | | | |
|-------------------------------|--------|---|------------|----------|-----------------|
| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Total (€) |
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por la Raspberry Pi 4 Modelo B, placa de expansión UPS X703 y la batería de litio 18650, módulos LED infrarrojos de 3 W 850 nm, resistencia de 1 kΩ serie E12, cámara IR IMX219, filtro OPTIR 1.0 NG y módulo de proyección láser Anybeam HAT. | 4490,891 | 1 | 4490,891 |
| | | Total presupuesto de ejecución material | | | 4490,891 |
| | % | Gastos generales | 14 | | 628,725 |
| | % | Beneficio industrial | 6 | | 269,453 |
| | | Suma parcial | | | 5389,069 |
| | % | IVA | 21 | | 1131,705 |
| | | Presupuesto de ejecución por contrata | | | 6520,77 |

Asciende el presupuesto general con software a la cantidad de SEIS MIL QUINIENTOS VEINTE EUROS CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS (6520,77 €).

3. Software no incluido

3.1. Cuadro de precios elementales

Tabla 33. Cuadro de precios elementales (Materiales)

| 1. Cuadro de precios elementales | | | |
|----------------------------------|--------|--|------------|
| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) |
| Materiales | | | |
| m1 | ud. | Arduino UNO R3 (incluye cable) | 19,490 |
| m2 | ud. | Sensor SHT21 | 5,000 |
| m3 | ud. | Sensor SHT25 | 7,700 |
| m4 | ud. | Protoboard | 4,900 |
| m5 | ud. | Resistencia de 10 kΩ, de la serie E12. | 0,020 |
| m6 | ud. | Condensador de 100 nF | 0,001 |
| m7 | ud. | Cable DuPont Macho-Hembra | 0,075 |
| m8 | ud. | Cable DuPont Macho-Macho | 0,075 |
| m9 | ud. | Humidificador Savoid | 25,000 |

Tabla 34. Cuadro de precios elementales (Mano de obra)

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|---------------------|--------|--|------------|
| Mano de obra | | | |
| h1 | h. | Estudio de los conceptos acerca del proyecto | 19 |
| h2 | h. | Estudio de alternativas para el proyecto | 19 |
| h3 | h. | Estudio de la alternativa escogida | 19 |
| h4 | h. | Diseño y programación del circuito | 19 |
| h5 | h. | Pruebas de funcionamiento y calibración | 19 |
| h6 | h. | Redacción y maquetación del proyecto | 19 |

Tabla 35. Cuadro de precios elementales (Amortizaciones)

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|-----------------------|--------|----------------------------|------------|
| Amortizaciones | | | |
| m10 | ud. | Higrómetro C.A 846 | 128,290 |
| m11 | ud. | MSI GF65 Thin 9SEXR-236XES | 903,630 |

Tabla 36. Cuadro de precios elementales (Otros gastos generales)

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|-------------------------------|--------|----------------------|------------|
| Otros gastos generales | | | |
| m10 | mes | Luz y agua | 45,000 |
| m11 | mes | Internet y telefonía | 20,000 |
| m12 | mes | Alquiler oficina | 180,000 |

3.2. Cuadro de precios descompuestos

Tabla 37. Cuadro de precios descompuestos 1/2

| 2. Cuadro de precios descompuestos, mano de obra, amortizaciones y otros gastos generales | | | | | |
|--|--------|---|------------|----------|-------------|
| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Parcial (€) |
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por el arduino UNO R3, sensor SHT21 o SHT25, protoboard, resistencias de 10kΩ, condensador de 100 nF y cables DuPont | | | |
| Materiales | | | | | |
| m1 | ud. | Arduino UNO R3 (incluye cable) | 19,490 | 1,000 | 19,490 |
| m2 | ud. | Sensor SHT21 | 5,000 | 2,000 | 10,000 |
| m3 | ud. | Sensor SHT25 | 7,700 | 2,000 | 15,400 |
| m4 | ud. | Protoboard | 4,900 | 1,000 | 4,900 |
| m5 | ud. | Resistencia de 1 KΩ, de la serie E12. | 0,020 | 2,000 | 0,039 |

Tabla 38. Cuadro de precios descompuestos 2/2

| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Parcial (€) |
|-------------------------------------|--------|---|------------|----------|-----------------|
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por el arduino UNO R3, sensor SHT21 o SHT25, protoboard, resistencias de 10kΩ, condensador de 100 nF y cables DuPont | | | |
| m6 | ud. | Condensador de 100 nF | 0,001 | 1,000 | 0,001 |
| m7 | ud. | Cable DuPont Macho-Hembra | 0,075 | 4,000 | 0,300 |
| m8 | ud. | Cable DuPont Macho-Macho | 0,075 | 8,000 | 0,600 |
| m9 | ud. | Humidificador Savoid | 25,000 | 1,000 | 25,000 |
| TOTAL MATERIALES | | | | | 75,730 |
| Mano de obra | | | | | |
| h1 | h. | Estudio de los conceptos acerca del proyecto | 19 | 20 | 380,000 |
| h2 | h. | Estudio de alternativas para el proyecto | 19 | 20 | 380,000 |
| h3 | h. | Estudio de la alternativa escogida | 19 | 15 | 285,000 |
| h4 | h. | Diseño y programación del circuito | 19 | 25 | 475,000 |
| h5 | h. | Pruebas de funcionamiento y calibración | 19 | 20 | 380,000 |
| h6 | h. | Redacción y maquetación del proyecto | 19 | 65 | 1235,000 |
| TOTAL MANO DE OBRA | | | | | 3135,000 |
| Amortizaciones | | | | | |
| m10 | ud. | Higrómetro C.A 846 | 128,29 | 0,15 | 19,244 |
| m11 | ud. | MSI GF65 Thin 9SEXR-236XES | 903,63 | 0,3 | 271,089 |
| TOTAL AMORTIZACIONES | | | | | 290,333 |
| Otros gastos generales | | | | | |
| m10 | mes | Luz y agua | 45 | 2 | 90,000 |
| m11 | mes | Internet y telefonía | 20 | 2 | 40,000 |
| m12 | mes | Alquiler oficina | 180 | 2 | 360,000 |
| TOTAL OTROS GASTOS GENERALES | | | | | 490,000 |
| TOTAL | | | | | 3991,063 |
| | % | Medios auxiliares sobre costes directos. | 8,000 | | 319,285 |
| Precio de ejecución material | | | | | 4310,348 |

3.3. Cuadro de precios unitarios

Tabla 39. Cuadro de precios unitarios

| 3. Cuadro de precios unitarios | | | |
|--------------------------------|--------|---|------------|
| Referencia | Unidad | Partida | Precio (€) |
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por el arduino UNO R3, sensor SHT21 o SHT25, protoboard, resistencias de 10kΩ, condensador de 100 nF y cables DuPont | 4310,348 |

3.4. Estado de mediciones

Tabla 40. Estado de mediciones

| 4. Estado de mediciones | | | |
|-------------------------|--------|---|----------|
| Referencia | Unidad | Partida | Cantidad |
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por el arduino UNO R3, sensor SHT21 o SHT25, protoboard, resistencias de 10kΩ, condensador de 100 nF y cables DuPont | 1 |

3.5. Valoración del presupuesto

Tabla 41. Valoración del presupuesto

| 5. Valoración del presupuesto | | | | | |
|--|--------|---|------------|----------|-----------------|
| Referencia | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Total (€) |
| d1 | ud. | Montaje del subsistema electrónico constituido por la Raspberry Pi 4 Modelo B, placa de expansión UPS X703 y la batería de litio 18650, módulos LED infrarrojos de 3 W 850 nm, resistencia de 1 kΩ serie E12, cámara IR IMX219, filtro OPTIR 1.0 NG y módulo de proyección láser Anybeam HAT. | 4310,348 | 1 | 4310,348 |
| Total presupuesto de ejecución material | | | | | 4310,348 |
| | % | Gastos generales | 14 | | 603,449 |
| | % | Beneficio industrial | 6 | | 258,621 |
| Suma parcial | | | | | 5172,417 |
| | % | IVA | 21 | | 1086,208 |
| Presupuesto de ejecución por contrata | | | | | 6258,62 |

Asciende el presupuesto general con software a la cantidad de SEIS MIL DOSCIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS CON SESENTE Y OCHO CÉNTIMOS (6258,62 €).