

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

**SISTEMA DE TELE-MEDICIÓN DE  
CALIDAD DEL AGUA SALADA PARA  
ACUICULTURA**

AUTOR: ANTONIO JESÚS GONZÁLEZ DOMÍNGUEZ

Puerto Real, abril 2021





Universidad  
de Cádiz

Escuela Superior  
de Ingeniería

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

**SISTEMA DE TELE-MEDICIÓN DE  
CALIDAD DEL AGUA SALADA PARA  
ACUICULTURA**

DIRECTOR: PROF. DR. DIEGO SALES LÉRIDA

AUTOR: ANTONIO JESÚS GONZÁLEZ DOMÍNGUEZ

Puerto Real, abril 2021





**Trabajo de Fin de Grado**  
**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial**

**Sistema de Tele-medicación de calidad del agua  
salada para acuicultura**



**Autor: Antonio Jesús González Domínguez Tutor:  
Diego Sales Lérica**

Dpto. de ingeniería automática, electrónica,  
arquitectura y redes de computadores

Escuela Superior de Ingeniería

Universidad de Cádiz

2020





Trabajo de Fin de Grado  
Grado en Ingeniería Electrónica Industrial

# Sistema de Tele-medición de calidad del agua salada para acuicultura

Autor:

Antonio Jesús González Domínguez

Tutor:

Diego Sales Lérica

Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,  
Arquitectura y Redes de Computadores

Escuela Superior de Ingeniería

Universidad de Cádiz

Chiclana de la Frontera, 2019



# Agradecimientos

---

En este pequeño apartado me gustaría agradecer a todas las personas que han hecho posible que yo llegue hasta aquí hoy, a este momento tan especial.

En primer lugar, por supuesto, dar las gracias a mis padres por la educación que me han dado, por su apoyo incondicional y por hacer todo lo posible para que pueda estar aquí ahora.

A mis hermanos, por ayudarme en todo momento, confiar en mí y consolarme en los peores momentos.

A mi pareja, por aguantar cada momento de agobio e intentar sacarme siempre una sonrisa.

A mis amigos, por siempre ser positivos, motivarme a seguir adelante y celebrar mis logros como de ellos mismos.

A mi tutor de proyecto y su departamento, por tratarme con tanta amabilidad, enseñarme como realizar un proyecto real y ayudarme a corregir todos los fallos.

A todos los que me han acompañado estos años en mi etapa universitaria. Compañeros, profesores y amigos con los que he compartido muchísimos momentos y me han enseñado tanto.

Y por último, a mí mismo, por ser capaz de superar todas las dificultades que se han puesto por delante y demostrarme que puedo hacer cualquier cosa que me proponga.

Muchas gracias a todos.

*Antonio Jesús González Domínguez*

*Chiclana de la Frontera, 2021*



# Índice

Índice de figuras.....	1
Índice de tablas.....	4
<b>1</b> <b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
1.1        Motivación.....	4
1.2        Objetivo del proyecto .....	4
1.3        Antecedentes.....	6
<b>2</b> <b>Parámetros de medida de calidad del agua salada</b> .....	<b>8</b>
2.1        Temperatura .....	9
2.2        pH.....	10
2.3        Conductividad eléctrica .....	11
2.4        Salinidad.....	12
2.5        Dióxido de carbono.....	13
2.6        Oxígeno disuelto en el agua .....	14
2.7        Turbidez.....	15
2.8        Amoníaco, nitritos y nitratos .....	15
<b>3</b> <b>Materiales y métodos</b> .....	<b>16</b>
3.1        Software de programación del microcontrolador .....	16
3.2        Microcontrolador SAMD21.....	17
3.3        Sensores empleados .....	18
3.3.1 <i>Sensor de temperatura</i> .....	18
3.3.2 <i>Sensor de pH</i> .....	20
3.3.3 <i>Sensor de conductividad eléctrica</i> .....	22
3.3.4 <i>Sensor de oxígeno disuelto en agua</i> .....	24
3.3.5 <i>Sensor de turbidez</i> .....	25
3.4        Tecnología IoT.....	27
3.4.1 <i>Sigfox</i> .....	28
3.4.2 <i>Módulo de comunicación Sigfox</i> .....	29
3.4.3 <i>Módulo TD1208r</i> .....	29
3.4.4 <i>Backend de Sigfox</i> .....	30
3.5        Software de diseño PCB de calidad del agua salada .....	31
3.6        Software de diseño del modelo 3D .....	32
3.7        Alimentación y almacenamiento energético .....	33

3.8	Carcasas y conectores de protección empleados.....	36
3.8.1	<i>Carcasas de protección</i> .....	36
3.8.2	<i>Conectores de protección</i> .....	38
3.9	Normativa para medidas de parámetros de calidad del agua salada .....	42
<b>4</b>	<b>Diseño hardware</b> .....	<b>44</b>
4.1	Diseño de la placa de calidad del agua salada.....	44
4.2	<i>Consumo del sistema</i> .....	49
4.3	Diseño físico del sistema.....	52
4.3.1	<i>Montaje final de la sonda de tele-medición</i> .....	52
4.3.2	<i>Instalación en punto de muestreo</i> .....	55
4.4	Presupuesto del sistema.....	57
4.4.1	<i>Presupuesto PCB</i> .....	57
4.4.2	<i>Presupuesto componentes de la PCB principal</i> .....	58
4.4.3	<i>Presupuesto del sistema completo</i> .....	60
<b>5</b>	<b>Desarrollo software</b> .....	<b>62</b>
5.1	Desarrollo del programa.....	62
5.2	Calibración de sensores .....	64
5.2.1	<i>Calibración del sensor de temperatura</i> .....	65
5.2.2	<i>Calibración del sensor de pH</i> .....	65
5.2.3	<i>Calibración del sensor de conductividad eléctrica</i> .....	66
5.2.4	<i>Calibración del sensor de oxígeno disuelto en agua</i> .....	66
5.2.5	<i>Calibración del sensor de turbidez</i> .....	68
5.3	Codificación de la información y transmisión de datos.....	68
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>72</b>
	<b>Bibliografía</b> .....	<b>73</b>
<b>7.</b>	<b>Anexo A: Programación del sistema</b> .....	<b>76</b>
<b>8.</b>	<b>Anexo B: Diseño esquemático</b> .....	<b>85</b>
<b>9.</b>	<b>Anexo C: Distribución de componentes de la PCB</b> .....	<b>87</b>
9.1	Diseño completo.....	87
9.2	Cara superior .....	88
9.3	Cara inferior.....	90
<b>10.</b>	<b>Anexo D: Planos de cajas de protección</b> .....	<b>92</b>

# Índice de figuras

---

Figura 1. Granja acuícola.....	6
Figura 2. AT Control      Figura 3. Estación remota Envira.....	7
Figura 4. Profilux 4.....	7
Figura 5. Relación entre la temperatura y el crecimiento de un pez tropical .....	9
Figura 6. Relación entre pH, KH y CO2.....	14
Figura 7. Logo Arduino .....	16
Figura 8. Sensor ISEmax CAS40D.....	18
Figura 9. Sensor DS18B20.....	19
Figura 10. Esquema conexión sensor DS18B20 .....	20
Figura 11. Sensor SEN0161.....	20
Figura 12. Esquema conexión sensor SEN0161 .....	22
Figura 13. Sensor DFR0300-H.....	22
Figura 14. Esquema conexión sensor DFR0300-H .....	24
Figura 15. Sensor SEN0237-A [17].....	24
Figura 16. Esquema conexión sensor SEN0237-A .....	25
Figura 17. Sensor SKU: SEN0189.....	26
Figura 18. Esquema conexión sensor SKU: SEN0189 .....	27
Figura 19. Tecnología IoT .....	27
Figura 20. Estructura de la red Sigfox .....	28
Figura 21. Módulos TD12xx.....	30
Figura 22. Backend de Sigfox.....	31
Figura 23. Diseño Eagle .....	32
Figura 24. Administrador de carga solar DFR0559 .....	33
Figura 25. Panel solar SKU: IC-29004 .....	35
Figura 26. Conexión administrador de carga solar .....	36
Figura 27. Caja de protección BEA02S de Bulgin .....	37
Figura 28. Dimensiones caja de protección BEA02S.....	37
Figura 29. Caja de protección de conexiones.....	38
Figura 30. Medidas caja secundaria.....	38
Figura 31. Conector de protección PX0410 de Bulgin .....	39

Figura 32. Despiece PX0410	Figura 33. Dimensiones PX0410.....	39
Figura 34. Conector de protección PX0412 de Bulgin .....		40
Figura 35. Dimensiones PX0412 .....		40
Figura 36. Conector de protección PX0800 de Bulgin .....		41
Figura 37. Dimensiones PX0800 .....		41
Figura 38. Dimensiones PX0805 .....		41
Figura 39. Antena curva PX0409 .....		42
Figura 40. Conector de protección PX0414 .....		42
Figura 41. Conexiones SAMD21G.....		45
Figura 42. Conexiones TD1208R .....		45
Figura 43. Etapa de potencia DFR0559.....		46
Figura 44. Regulador de tensión AP2112K.....		46
Figura 45. Diseño de la cara top de la PCB de calidad del agua salada .....		47
Figura 46. Diseño de la cara bottom de la PCB de calidad del agua salada.....		47
Figura 47. Batería LiPo ICR18650.....		51
Figura 48. Posicionamiento PCB y batería dentro de la caja de protección .....		52
Figura 49. Posicionamiento PCB y batería dentro de la caja de protección .....		53
Figura 50. Posicionamiento de los conectores de protección .....		53
Figura 51. Conexión cajas de protección secundarias .....		54
Figura 52. Posicionamiento panel solar.....		54
Figura 53. Diseño final del sistema de tele-medición.....		55
Figura 54. Punto de muestreo.....		56
Figura 55. Caja de sondas.....		56
Figura 56. Instalación completa.....		57
Figura 57. Diagrama de flujo del sistema.....		63
Figura 58. Variación de tensión en función de la temperatura a distinta turbidez.....		68
Figura 59. Solicitud de hora actual .....		69
Figura 60. Hora de subida de datos .....		69
Figura 61. Datos hexadecimales Sigfox .....		70
Figura 62. Descompresión de datos.....		71
Figura 63. Datos finales de muestreo.....		71
Figura 64. Diseño completo PCB.....		87
Figura 65. Distribución cara superior .....		88

Figura 66. Trazado de pistas superior .....	88
Figura 67. Plano de masa.....	89
Figura 68. Aspecto cara superior fabricada .....	89
Figura 69. Distribución cara inferior.....	90
Figura 70. Trazado de pistas inferior.....	90
Figura 71. Aspecto cara inferior fabricada.....	91

# Índice de tablas

---

Tabla 1. Tolerancia de la calidad del agua por especies [6].....	8
Tabla 2. Rangos de temperatura en diferentes tipos de agua .....	9
Tabla 3. Escala de valores de pH.....	11
Tabla 4. Valores de conductividad.....	11
Tabla 5. Comparación entre conductividad y salinidad .....	13
Tabla 6. Comparación entre distintos microprocesadores .....	17
Tabla 7. Especificaciones del sensor DS18B20.....	19
Tabla 8. Relación entre la tensión en el electrodo y el pH.....	21
Tabla 9. Especificaciones del sensor SEN0161.....	21
Tabla 10. Especificaciones del sensor DFR0300-H.....	23
Tabla 11. Especificaciones del sensor SEN0237-A .....	25
Tabla 12. Especificaciones del sensor SKU: SEN0189.....	26
Tabla 13. Especificaciones módulo TD1208r .....	30
Tabla 14. Especificaciones módulo DFR0559 .....	34
Tabla 15. Especificaciones panel solar SKU: IC-29004 .....	35
Tabla 16. Consumo de cada componente.....	50
Tabla 17. Comparación fabricantes PCB .....	58
Tabla 18. Presupuesto componentes PCB.....	59
Tabla 19. Presupuesto total del sistema .....	60
Tabla 20. Relación entre temperatura y oxígeno saturado .....	67
Tabla 21. Valores parámetros del agua .....	70

# 1 Introducción

---

## 1.1 Motivación

La acuicultura es uno de los sectores de producción de alimentos de más rápido crecimiento, además de practicado tanto por agricultores de países en desarrollo como por empresas multinacionales.

Los dispositivos electrónicos actuales creados para el control de los parámetros del agua salada tienen un coste elevado para estos países en desarrollo y para agricultores sin tantos medios. Por este motivo, surge la necesidad de la creación de un sistema que permita realizar las mismas funciones de estos sistemas comerciales, sin que tenga un precio elevado, y dando además la posibilidad al usuario de adaptar el sistema a las necesidades de este.

## 1.2 Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto es ofrecer una alternativa económica a los sistemas de tele-medición de calidad del agua salada para acuicultura, dado el elevado coste de estos aparatos y el gran tamaño que tienen. Se diseñará un dispositivo de agua salada que pueda autoabastecerse energéticamente, haciendo uso de una etapa de regulación de carga de baterías, ya sea mediante energía solar o cualquier transformador de corriente continua.

El sistema contará, por tanto, de una etapa de regulación de carga y conversión de potencia, una segunda etapa donde irá integrado el microcontrolador con los distintos periféricos, pines y chip de comunicaciones en banda estrecha IoT (Internet of Things), además de una tercera etapa con conectores a los distintos pines del microcontrolador para enlazar los distintos sensores que se van a escoger.

Los objetivos son:

- 1.- Diseño electrónico y programación de un sistema de tele-medición de agua salada para acuicultura.
- 2.- Diseño de carcasas para encapsular y proteger el sistema.
- 3.- Redacción del manual de fabricación e instalación del sistema

El plan de trabajo que se seguirá para conseguir los objetivos anteriores es el siguiente:

- Elección de sensores, componentes y encapsulado.
- Diseño etapa de potencia de la placa.
- Pruebas preliminares de sensores y componentes con placa protoboard.
- Diseño etapa de microcontrolador con parte de sensores.
- Diseño en 3D de la carcasa con el despiece.
- Manual del procedimiento de fabricación de la carcasa.
- Programación del microcontrolador.
- Finalización del programa y configuración del prototipo.
- Diseño de prototipo final.
- Elección del sistema de autonomía energética.
- Comprobación de las protecciones ante las filtraciones y la corrosión
- Mejoras en el prototipo si fuera necesario, repitiendo algunos pasos anteriores.

Describiendo de forma más amplia los puntos anteriores, en primer lugar, será necesario realizar un estudio previo de los aspectos teóricos que son de importancia en el desarrollo del sistema. Para ello, se llevará a cabo una investigación sobre los diferentes sistemas ya existentes, y qué parámetros del agua son interesantes en el entorno de la acuicultura.

En segundo lugar, se sitúa el diseño del sistema, donde se realizará un estudio pormenorizado de los componentes a escoger, microcontrolador incluido, así como del encapsulado y los sensores. Este último se hará en base al consumo energético, coste, calidad de la medida, funcionamiento, pruebas, etc. Se prestará especial atención al diseño en 3D de la carcasa con el despiece y se adjuntará un manual del procedimiento de fabricación.

Como parte del Trabajo de Fin de Grado se realizará un programa capaz de realizar funciones relacionadas con transmisión, captura y almacenamiento de datos. El envío de datos será en tiempo real con una frecuencia ajustable, siendo el mínimo de 10 minutos. También se hará uso del RTC externo del microcontrolador para conseguir un estado de latencia que proporcione un mayor rendimiento energético del dispositivo. En los momentos en los que no hace falta que recoja datos, el dispositivo pasará a consumir decimas de microamperios en lugar de miliamperios.

El siguiente apartado se centrará en la autonomía del dispositivo, ante la imposibilidad de conexión a la red eléctrica convencional y, por ello, la necesidad de incorporar un sistema de alimentación alternativo. Para ello, se hará uso de paneles fotovoltaicos y de algún tipo de acumulador como baterías de Ion-Litio para almacenar dicha energía de forma regulada, tanto de corriente como de tensión a los niveles de carga generadas. En este aspecto, se harán cálculos necesarios para la elección de la capacidad de la batería, así como para la optimización del porcentaje de carga y niveles mínimo y máximo de carga para su protección.

A la hora de elegir los elementos que se utilizan en el sistema hay que tener en cuenta que se trabaja en un medio de agua salada, por lo que se necesita que no haya filtración alguna y que el material sea capaz de soportar la corrosión que ocasiona el contacto constante con el fluido.

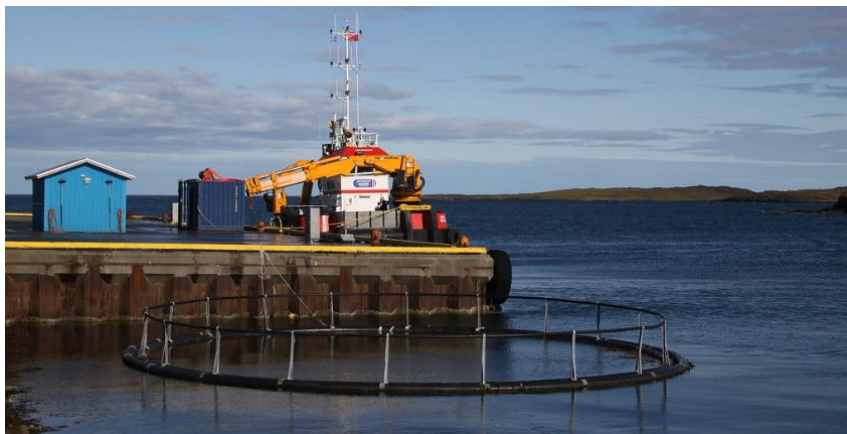
Es por ello que, la elección tanto del encapsulado como del anclaje, será un reto añadido en la ejecución del presente trabajo.

### 1.3 Antecedentes

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos tanto en zonas costeras como en zonas del interior que implica intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción.

La actividad acuícola es una de las actividades productivas que más rápido está creciendo. En la actualidad y según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) produce el 50 % del pescado mundial destinado a la alimentación.

Aunque su principal fin es la producción de alimentos para consumo humano o animal, sus productos también se emplean como materia prima en la industria farmacéutica o en actividades vinculadas a la repoblación de especies o la ornamentación (acuarios) [1].



*Figura 1. Granja acuícola*

La calidad del agua es un factor muy importante que supervisar en la acuicultura, ya que de ello depende conseguir que el ecosistema se desarrolle a la perfección, influyendo directamente en el crecimiento y el correcto desarrollo de los animales y plantas. Su monitorización permite asegurar un óptimo rendimiento, garantizando de igual forma la sostenibilidad del sector.

Esta supervisión se ha realizado a lo largo de los años de forma manual, donde es necesario la intervención de recurso humano y material para la realización de tests desechables o el uso de aparatos de medida para cada uno de los distintos

parámetros.

Entre los sistemas comerciales disponibles en el mercado cabe destacar: AT-Control de la empresa Aqua Medic [2], Profilux 4 de la empresa Profilux GHL [3] y las estaciones remotas de calidad del agua de ENVIRA [4].

Los dos primeros, son aparatos de medida especializados que pueden controlarse a través de un ordenador. El tercero de ellos es una cabina física donde se ubican los distintos aparatos de medida.



*Figura 2. AT Control*



*Figura 3. Estación remota Envira*



*Figura 4. Profilux 4*

Con la interpretación de los resultados obtenidos, el profesional debe evaluar si el ambiente es el apropiada para el tipo de especie que se está criando. El retraso de la información en caso de algún desajuste en algún parámetro puede causar problemas en la salud de los cultivos o incluso la pérdida de estos. El contacto humano constante en el ecosistema también puede provocar alteraciones por deterioro o pérdidas.

Tener acceso a esta información de forma automática, haciendo uso de la tecnología, aumentaría la calidad y reduciría en gran medida el tiempo que se utiliza visitando cada uno de los ambientes donde se está realizando la cría

## 2 Parámetros de medida de calidad del agua salada

---

La meta del sistema desarrollado es obtener información del estado del agua en tiempo real, de forma que se pueda actuar sobre algún parámetro rápidamente, evitando posibles enfermedades de las plantas o peces.

Cada ecosistema de cultivo tiene unas preferencias respecto a factores externos que han de ser conocidos, debido a la influencia que ejercen sobre el mismo. La mayoría de las especies de peces pueden soportar algunas condiciones ambientales diferentes a las idóneas para ellos, pero esto no significa que su calidad de vida no vaya a ser similar. Esto se puede cuantificar asociando un rango de idoneidad a cada parámetro para cada especie, de tal forma que, de salir de dicho rango, el organismo de estos seres vivos estaría obligado a trabajar en situación de estrés para mantenerlo vivo [5].

Un pez en situación de estrés tiene una menor capacidad de regeneración y protección contra enfermedades. El estrés también repercute negativamente en el ciclo reproductivo de ciertas especies, reduciendo la capacidad de cría con éxito.

En la Tabla 1, se muestran varias especies de peces y los márgenes de tolerancia requeridos, en una serie de parámetros, que intervienen en el correcto crecimiento del pez.

Especie	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/l)	pH	Alcalinidad (mg/l)	Amonio (%)
Peces de cebo	15,6 – 23,9	4 - 10	6 - 8	50 - 250	0 - 0,03
Siluro/ Carpa	18,3 - 26,7	3 - 10	6 - 8	50 - 250	0 - 0,03
Lubina rayada	21,1 – 29,4	4 - 10	6 - 8	50 - 250	0 - 0,03
Perca/ Lucioperca	10 – 18,3	5 - 10	6 - 8	50 - 250	0 - 0,03
Salmón/ Trucha	7,2 - 20	5 - 12	6 - 8	50 - 250	0 - 0,03
Tilapia	23,9 – 34,4	3 - 10	6 - 8	50 - 250	0 - 0,03
Pez tropical	20 - 28,9	4 - 10	6 - 8	50 - 250	0 - 0,03

Tabla 1. Tolerancia de la calidad del agua por especies [6].

A continuación, se detallarán con mayor profundidad cada uno de los parámetros contenidos en la tabla 1, así como otros, que también influyen en el crecimiento del pez.

## 2.1 Temperatura

La temperatura del agua es un factor importante en la salud de los peces y especialmente en la cría de peces, en el tratamiento de sus enfermedades, e incluso en la selección de distintas clases de peces para mantenerlos juntos en un mismo espacio.

En primer lugar, se debe saber que los peces no tienen una capacidad propia de regulación de su temperatura corporal, la cual depende directamente de la temperatura del medio donde viven.

Cada especie tiene sus requisitos de temperatura característicos. A una temperatura óptima, el crecimiento del ser vivo aumentará rápidamente. En cambio, si la temperatura es superior o inferior al rango óptimo, el crecimiento desciende precipitadamente. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo afecta la temperatura en el crecimiento de un pez tropical.

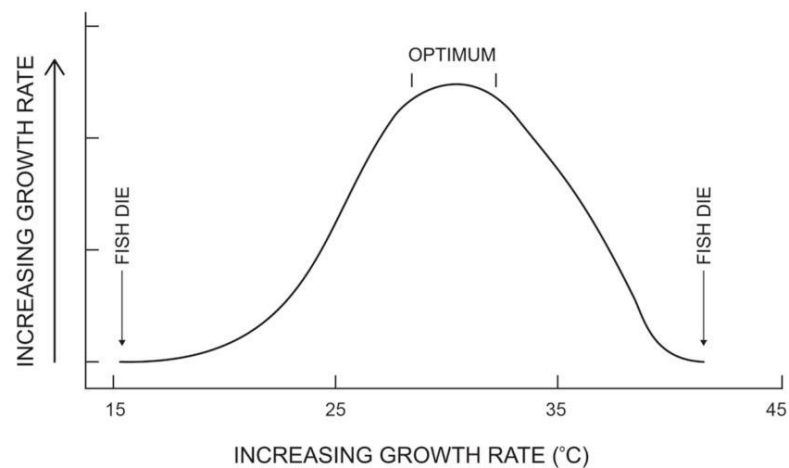


Figura 5. Relación entre la temperatura y el crecimiento de un pez tropical

La siguiente tabla muestra el rango de temperaturas que poseen los distintos tipos de agua.

Tipos de agua	Rango de temperatura	Temperatura media
Tropical	20 °C – 30 °C	27 °C
Subtropical	16 °C – 27 °C	22 °C
Boreal	1 °C – 17 °C	11 °C
Ártica	-1 °C – 9 °C	3 °C
Mediterránea	11 °C – 28 °C	19 °C

Tabla 2. Rangos de temperatura en diferentes tipos de agua

De la temperatura dependen otros parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como la evaporación y la solubilidad de los gases. Dentro de los biológicos

encontramos algunos procesos metabólicos como la respiración, nutrición, actividad de las bacterias en la descomposición de materias orgánicas, etc.

La temperatura influye sobre la biología de peces e invertebrados, condicionando los siguientes procesos:

- *La maduración gonadal*
- *El tiempo de incubación de las ovas;*
- *El desarrollo larval;*
- *La actividad metabólica; y, el ritmo de crecimiento de las larvas, alevinos y adultos.*
- *Por lo general, las reacciones químicas y biológicas se duplican cada vez que hay un aumento de 10 °C en la temperatura del agua, por lo tanto, un organismo acuático consume el doble de oxígeno a 30 °C que a 20 °C [6].*

## 2.2 pH

El pH es una medida que permite conocer el grado de alcalinidad o acidez de una disolución. Indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en el agua. Se utiliza una escala logarítmica del 0 al 14 debido a que las concentraciones presentes en la naturaleza son muy bajas y expresarlas en forma decimal o exponencial resulta engorroso.

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log[H^+]$$

El agua con valor pH 7 es denominada neutra, estando los componentes alcalinos y ácidos en equilibrio. Todos los valores situados por debajo son ácidos y todos los registros por encima, básicos o alcalinos. Los valores extremos de pH condicionan el crecimiento del plancton y puede causar la muerte de los seres vivos cuando se sitúa por debajo de 4.5 o por encima de 10.

Reacción	pH	Ejemplo
Ácida	0	Ácido de baterías
	1	Ácido sulfúrico
	2	Zumo de limón o vinagre
	3	Zumo de naranja o bebida con gas
	4	Lluvia ácida
	5	Plátano
	6	Lluvia limpia o leche
Neutra	7	Agua pura

Básica	8	Agua de mar o huevos
	9	Bicarbonato de sodio
	10	Detergente
	11	Amoniaco
	12	Soda caustica
	13	Blanqueador
	14	Limpiador de cañerías

Tabla 3. Escala de valores de pH

El valor del pH depende directamente de la dureza de carbonatos y del contenido en dióxido de carbono, del cual se hablará más adelante como otro de los parámetros a medir. Si se modifica uno de estos parámetros, el valor de pH cambiara automáticamente.

## 2.3 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar libremente corriente eléctrica. La conductividad eléctrica está relacionada con la concentración de sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. Se mide generalmente en unidades de dS/m (deciSiemens por metro).

Dicha conductividad eléctrica del agua depende de la temperatura, por lo que, para realizar comparaciones válidas, la conductividad eléctrica debe expresarse en relación con una temperatura de referencia. Habitualmente esta temperatura es de 25 °C. En consecuencia, cuanto mayor es la conductividad a 25 °C ( $CE_{25}$ ), mayor es la concentración de sales del agua.

Es una unidad simple a la hora de determinar la calidad del agua ya que solo tiene un límite superior, es decir, si sobrepasa un límite determinado por normativa, el agua no es potable.

Tipos de agua	Conductividad específica( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) <sup>-1</sup>
Agua pura	$5 \cdot 10^{-8}$
Agua desmineralizada	$2 \cdot 10^{-6}$
Agua de lluvia	$5 \cdot 10^{-5}$
Agua potable	$2 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-3}$
Agua de un río de agua salobre	$5 \cdot 10^{-3}$
Agua de mar	$3,5 \cdot 10^{-2} - 5,2 \cdot 10^{-2}$

Tabla 4. Valores de conductividad

Este parámetro guarda una estrecha relación con la dureza del agua, parámetro que representa la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, provenientes de rocas y minerales. Conociendo la conductividad del agua, se puede conocer la dureza de esta [7].

## 2.4 Salinidad

La salinidad es la cantidad proporcional de sales que contiene un fluido, por esto suele expresarse en tanto por mil (‰). Según la especie, la salinidad interna de los peces suele ser entre 10-14 ‰ mientras que la salinidad aproximada del mar es del 35 ‰. Debido a esta situación, los peces realizan un gasto energético para mantener su salinidad interna constante, evitando con ello fenómenos de deshidratación que conllevaría la igualación de sales entre el exterior y el interior del pez.

Las variaciones continuas de salinidad provocan que los peces que habitan en el cultivo tengan que reajustar su metabolismo a las nuevas condiciones, con su correspondiente gasto energético. La salinidad puede afectar también a determinadas fases del desarrollo de los peces, como anomalías en la formación de la boca de las larvas.

La salinidad y la conductividad guardan una estrecha relación entre ambos parámetros porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas. Por ello una forma de obtener la salinidad es a través de conductividad. La conductividad en el mar suele estar entre los 35 - 52 mS/cm.

Se puede observar la relación entre ambos parámetros en la siguiente tabla:

Conductiv (mS/cm)	Salinidad (g/l)	Conductiv (mS/cm)	Salinidad (g/l)	Conductiv (mS/cm)	Salinidad (g/l)
1,00	0,50 – 0,91	26,00	13,28 – 24,08	52,00	26,64 – 48,37
2,00	1,01 – 1,83	27,00	13,79 – 25,01	54,00	27,67 – 50,24
3,00	1,52 – 2,74	28,00	14,31 – 25,94	56,00	28,70 – 52,11
4,00	2,02 – 3,66	29,00	14,82 – 26,8	58,00	29,73 – 53,98
5,00	2,53 – 4,59	30,00	15,33 – 27,81	60,00	30,76 – 55,86
6,00	3,04 – 5,51	31,00	15,85 – 28,74	62,00	31,79 – 57,73
7,00	3,55 – 6,43	32,00	16,36 – 29,67	64,00	32,82 – 59,61
8,00	4,06 – 7,36	33,00	16,87 – 30,61	66,00	33,85 – 61,48
9,00	4,57 – 8,28	34,00	17,39 – 31,54	68,00	34,88 – 63,36
10,00	5,08 – 9,21	35,00	17,90 – 32,47	70,00	35,91 – 65,23
11,00	5,60 – 10,13	36,00	18,41 – 33,41	72,00	36,94 – 67,11
12,00	6,11 – 11,06	37,00	18,93 – 34,34	74,00	37,97 – 68,99
13,00	6,62 – 11,99	38,00	19,44 – 35,27	76,00	39,00 – 70,86
14,00	7,13 – 12,92	39,00	19,96 – 36,21	78,00	40,03 – 72,74

15,00	7,64 – 13,84	40,00	20,47 – 37,14	80,00	41,06 – 74,62
16,00	8,15 – 14,77	41,00	20,98 – 38,08	82,00	42,10 – 76,49
17,00	8,67 – 15,70	42,00	21,50 – 39,01	84,00	43,13 – 78,37
18,00	9,18 – 16,63	43,00	22,01 – 39,95	86,00	44,16 – 80,25
19,00	9,69 – 17,56	44,00	22,53 – 40,88	88,00	45,19 – 82,13
20,00	10,20 – 18,49	45,00	23,04 – 41,82	90,00	46,22 – 84,01
21,00	10,72 – 19,42	46,00	23,56 – 42,75	92,00	47,25 – 85,89
22,00	11,23 – 20,35	47,00	24,07 – 43,69	94,00	48,28 – 87,77
23,00	11,74 – 21,28	48,00	24,58 – 44,62	96,00	49,32 – 89,65
24,00	12,25 – 22,21	49,00	25,10 – 45,56	98,00	50,35 – 91,53
25,00	12,77 – 23,15	50,00	25,61 – 46,49	100,00	51,38 – 93,41

Tabla 5. Comparación entre conductividad y salinidad

## 2.5 Dióxido de carbono

El CO<sub>2</sub> es esencial para la fotosíntesis de las plantas e influye en gran medida sobre el pH del agua. En grandes cantidades puede llegar a ser tóxico para los peces, causando problemas de equilibrio en los peces, adormecimiento y disminución de la frecuencia respiratoria.

La concentración de CO<sub>2</sub> en el agua depende principalmente de la respiración de los organismos del ecosistema, de la fotosíntesis realizada por las plantas y por la descomposición de materia orgánica.

El dióxido de carbono es, junto a la iluminación, el nutriente principal para la alimentación de las plantas que habitan en el cultivo. Estas son las que se encargarán de proporcionar oxígeno al ecosistema.

El dióxido de carbono no suele ser medido directamente, se calcula a través del pH y del KH. El KH es una medida de la concentración de sales carbonatadas disueltas en el agua. La relación entre el pH y KH es muy estrecha, ya que el KH actúa como tapón o amortiguador para mantener el pH estable. El pH es calculado a través de la sonda de medición de pH y el KH, que corresponde a la dureza del agua. Específicamente, 1 KH se define como 17,86 mg/L o 17,86 ppm, siendo el valor del agua salada entre 8 KH y 11 KH. Este parámetro no necesita ser medido continuamente, puesto que la dureza del agua de una zona no cambia y con una medición realizada con un sensor químico es suficiente [8].

La imagen siguiente muestra los valores idóneos de pH, KH y dióxido de carbono, además de la relación que existe entre ellos.

**CO<sub>2</sub> (mg/L)**

pH	KH								
	2	4	6	8	10	12	14	16	18
6.2	42	83	123	166	207	245	290	331	373
6.3	33	66	97	132	164	195	230	263	297
6.4	27	52	77	105	131	155	183	209	236
6.5	21	42	61	83	104	123	145	166	187
6.6	17	33	49	66	82	98	115	132	149
6.7	13	26	39	52	65	78	92	105	118
6.8	11	21	31	42	52	62	73	83	94
6.9	8	17	24	33	41	49	58	66	74
7.0	7	13	19	26	33	39	46	52	59
7.1	5	10	15	21	26	31	36	42	47
7.2	4	8	12	17	21	24	29	33	37
7.3	3	7	10	13	16	19	23	26	30
7.4	3	5	8	10	13	15	18	21	23
7.5	2	4	6	8	10	12	14	17	19
7.6	2	3	5	7	8	10	11	13	15
7.7	1	3	4	5	7	8	9	10	12
7.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.9	1	2	2	3	4	5	6	7	7
8.0	1	1	2	3	3	4	5	5	6
8.1	1	1	2	2	3	3	4	4	5
8.2	0	1	1	2	2	2	3	3	4

Figura 6. Relación entre pH, KH y CO<sub>2</sub>

## 2.6 Oxígeno disuelto en el agua

El oxígeno es el parámetro más importante cuando se habla de calidad del agua para acuicultura. Los seres vivos que se estén criando en los cultivos necesitan oxígeno para realizar sus funciones vitales. Este oxígeno es tomado del agua donde habitan y no del aire. La cantidad de oxígeno en el agua depende de numerosos factores ambientales como pueden ser la iluminación solar, la temperatura, el viento o la cantidad de fitoplancton y zooplancton.

Los peces tienen la capacidad de adaptarse a cambios en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, pero solo se encontrarán en una situación cómoda cuando los valores de oxígeno estén cercanos a la saturación. Este valor de saturación está entre 6 y 8 mg/litro y depende de la temperatura, la salinidad y la altitud.

Si la cantidad de oxígeno sufre variaciones continuas o el valor está por debajo del valor de saturación, provocará un sobreesfuerzo en el metabolismo del pez que puede impedir la reproducción y reducir el tiempo de vida.

## 2.7 Turbidez

La turbidez es un parámetro que mide la falta de transparencia en el agua debido a las partículas en suspensión, bien sea mineral u orgánico. El grado de turbidez varía según la naturaleza, tamaño y cantidad de partículas en suspensión.

La turbidez causada por partículas de arcilla en suspensión afecta a la producción de oxígeno del acuario debido a que actúa como filtro de la luz del sol y, por tanto, a la actividad fotosintética.

En cambio, la turbidez originada por partículas orgánicas como el plancton es necesaria para la acuicultura, ya que sirven de alimento para peces y crustáceos.

Esta variable es empleada como indicativo para decidir si es necesario o no la adición de fertilizantes para estimular el crecimiento del fitoplancton en el cultivo acuícola.

## 2.8 Amoníaco, nitritos y nitratos

Estos compuestos son originados en los estanques a partir del metabolismo de los organismos bajo cultivo a través de los excrementos de los peces y los restos de descomposición de plantas y comida.

El proceso de transformación comienza con la acción de bacterias aeróbicas como nitrosomonas, responsables de la desintegración del amoníaco, convirtiéndolos en nitrito. A continuación, las bacterias Nitrobacter se encargan de convertir el nitrito en nitrato.

Si el valor del amoníaco es superior a 0,5 mg/L es peligroso, especialmente si las condiciones de temperatura y el pH son altas, ya que las láminas branquiales de los peces empiezan a pegarse y dificultan la respiración

El nitrito también es nocivo para los peces a partir de valores de 0,25 mg/L y provoca que los peces mueran con la boca abierta y los opérculos cerrados. El nitrato es relativamente inofensivo, ya que solo es dañino en concentraciones demasiado elevadas y además sirve como sustancia nutritiva para las plantas.

## 3 Materiales y métodos

---

### 3.1 Software de programación del microcontrolador

El software de programación que se va a utilizar en el presente proyecto es el entorno de desarrollo (IDE) de Arduino. Arduino es una plataforma electrónica de código abierto (Open Source) basada en un sencillo manejo tanto de hardware como de software. Arduino puede tomar información del entorno a través de los sensores conectados a sus pines de entrada y actuar en aquello que lo rodea controlando actuadores como luces o motores.



*Figura 7. Logo Arduino*

Arduino nació en el año 2005 en Italia como un proyecto que buscaba de una forma económica y sencilla, crear dispositivos que interactuaran con el entorno por medio de sensores y actuadores. Su propósito fue el de ser una placa de desarrollo de fácil programación en comparación con otras plataformas como PIC, la cual resultaba muy compleja para los iniciados a la programación.

Arduino ha evolucionado más allá y hoy en día no solo se usa para prototipado, sino que incluso tiene su propia placa sobre la que se desarrollan pequeños proyectos para empresas y entidades. Muchos módulos se han diseñado para ser conectados directamente sobre Arduino para aumentar la funcionalidad, como diversos módulos de comunicaciones inalámbricas, lo cual ha hecho que Arduino tenga actualmente un hueco muy importante en el mundo de la electrónica.

El microcontrolador se programa mediante el lenguaje de programación Arduino, basado en Wiring y el entorno de desarrollo Arduino, basado en Processing. Los proyectos realizados en esta plataforma pueden ejecutarse sin estar conectados directamente a un ordenador, aunque tienen la posibilidad de hacerlo y comunicarse con diferentes softwares.

La principal ventaja de Arduino son sus librerías, con las cuales leer un simple sensor que requiere la configuración de muchos registros en el microcontrolador, se reduce a únicamente llamar a una función que nos devuelve un valor de entrada analógica, sin necesidad de recurrir al datasheet del microcontrolador. Además, todos los ficheros CAD, librerías de programación y bootloaders están disponibles en internet de forma gratuita, lo cual ofrece infinitas posibilidades a la hora de realizar un proyecto [9].

### 3.2 Microcontrolador SAMD21

El microcontrolador elegido para este proyecto es el MCU Atmel SAMD21G18. Este microcontrolador está basado en arquitectura ARM Cortex-M0 y es compatible con la plataforma de desarrollo Arduino IDE y banda estrecha IoT (Internet of Things).

Uno de los principales motivos para elegir este microcontrolador es su bajo consumo, que lo hace perfecto para proyectos donde hay movilidad y no pueden conectarse directamente a la red eléctrica. Este bajo consumo se consigue gracias a su diseño, con una menor cantidad de transistores en el procesador respecto a otros modelos, lo cual le dota de un menor gasto energético y un menor calor generado.

El microcontrolador está diseñado para alimentarse a 3 V, por lo que es posible alimentarlo mediante una batería Li-Po o Li-Ion o incluso con dos pilas AA de 1,5 V durante 6 meses con un uso normal.

El SAMD21 también posee la capacidad para entrar en modo "Sleep" (dormido), una función que deja en un estado de "LowPower" (bajo consumo) a la placa. Gracias a este modo, se puede conseguir un estado de latencia que proporcione un mayor rendimiento energético, ya que el dispositivo pasará a funcionar a 1,8V y a consumir decimas de microamperios en lugar de miliamperios, consiguiendo así aumentar la autonomía que nos proporciona la batería o las pilas. Este punto ha sido decisivo para la elección del microcontrolador, debido a que el sistema va a estar la mayor parte del tiempo en el modo Sleep

Otras grandes ventajas de este modelo son su precio y la gran velocidad de procesamiento. Sus características generales son superiores comparadas con otros productos de precio similar como el ATMEGA328 o el LPC844.

Características	ATSAMD21G18	ATMEGA328	LPC844
<b>SRAM</b>	32 kB	2 kB	8 kB
<b>Memoria FLASH</b>	256 kB	32 kB	64 kB
<b>Número de pines</b>	48	32	64
<b>UART</b>	6	1	2
<b>SPI</b>	6	1	2
<b>CPU</b>	32 bits	8 bits	32 bits
<b>Velocidad</b>	48 MHz	20 MHz	30 MHz
<b>Precio</b>	2,78 €	1,70 €	2,13 €

Tabla 6. Comparación entre distintos microprocesadores

La velocidad de procesamiento es mayor que la de otros productos como puede ser el microprocesador Atmega328, el cual solo tiene 20 MHz de velocidad frente a los 48 MHz del SAMD21. Además, hay que tener en cuenta que el SAMD21 posee un sistema de reloj en tiempo real (RTC) separado, alimentado de forma externa por un cristal de 32.768kHz, permitiendo que el microprocesador siga funcionando a 48 MHz

gracias a un oscilador interno. En cambio, otros modelos como el anterior mencionado, tienen un RTC interno que debe ser alimentado externamente, por lo que tienen que sacrificar ciclos de reloj por el tiempo, cambiando el cristal de 16 MHz por uno que funcione a 32.768 kHz.

### 3.3 Sensores empleados

En este apartado se analizará una serie de sensores que se utilizarán para medir los parámetros del agua que se vieron previamente. No todos los parámetros se medirán, algunos porque pueden ser calculados a partir de otro parámetro relacionado y otros porque actualmente no hay un sensor comercializado capaz de ofrecer seguridad en las medidas.

La salinidad y el dióxido de carbono son dos parámetros que pueden calcularse partir de una relación con otras mediciones, por lo que no son necesarios sensores para su medición. La salinidad se puede calcular partir de la conductividad eléctrica y la temperatura, mientras que el dióxido de carbono se puede averiguar a través del pH y el KH.

Actualmente, no existe ninguna manera eficiente de medir el amoniaco, los nitritos y los nitratos con sensores que se puedan incorporar a un sistema de tele-medición autoabastecido. Existe un sensor creado bajo demanda por ENDRESS HAUSER llamado ISEmax CAS40D capaz de realizar estas mediciones, pero está pensado para ser usado en plantas de aguas residuales y estar conectado directamente a la red eléctrica de 240 V.



*Figura 8. Sensor ISEmax CAS40D*

Comentado lo anterior, los parámetros que sí se medirán con sensores son la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto en el agua y la turbidez.

#### 3.3.1 Sensor de temperatura

Un sensor de temperatura es un dispositivo que permite conocer la temperatura del medio a través de la conversión de los cambios de temperatura a señales eléctricas.

El sensor de temperatura elegido es el DS18B20, un sensor digital de Maxim Integrated. Una de las características por la que se ha elegido este sensor es por su versión encapsulada, que permite su uso en contacto con líquidos, como en este caso. Otra característica de interés es su protocolo de comunicación One-Wire, la cual permite utilizar varios sensores de forma simultánea a través de un mismo pin del microcontrolador y solo necesita una línea de datos, al contrario que otros dispositivos que utilizan protocolos de comunicación de dos vías (Rx/Tx)



Figura 9. Sensor DS18B20

Las especificaciones de este sensor de temperatura ofrecidas por el fabricante son las que se muestran a continuación:

Especificación	Datos
<b>Interfaz</b>	Digital
<b>Rango de alimentación</b>	3 V a 5,5 V
<b>Rango de operación</b>	- 55 °C hasta + 125 °C
<b>Tiempo de conversión</b>	750 ms
<b>Precisión</b>	± 0,5 °C desde -10 °C a + 85 °C

Tabla 7. Especificaciones del sensor DS18B20

A la hora de realizar el conexionado del sensor al microcontrolador, para que el funcionamiento del sensor sea correcto, se debe añadir una resistencia en serie de 4,7 kΩ entre Vcc y el pin de datos del sensor. El cable rojo se conecta al pin de Vcc, el cable negro es GND y el cable verde es el cable de datos que se conecta a un pin de entrada digital [14].

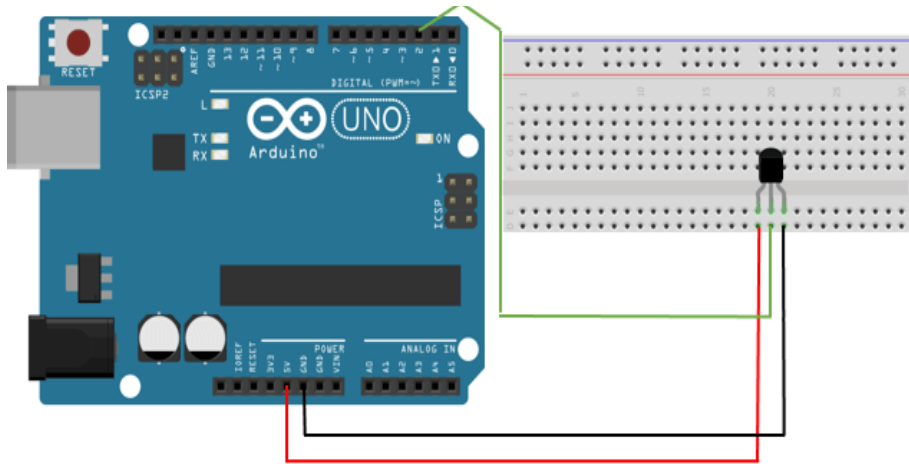


Figura 10. Esquema conexión sensor DS18B20

### 3.3.2 Sensor de pH

Para la medida del pH se ha escogido utilizar un sensor analógico fabricado por DFRobot llamado SEN0161. La elección de este sensor se debe a su competitivo precio y la fácil conexión con nuestra placa, gracias a un circuito acondicionador y unos conectores que vienen incluidos.

El sensor de pH está compuesto por tres elementos que conforman el instrumento:

- La sonda de pH que se encarga de proporcionar una señal analógica directamente proporcional a la medición del pH al microcontrolador
- La placa del circuito acondicionador que se ocupa de transformar la medida a un valor en el rango del microcontrolador.
- Un cable BCN que permite la conexión de la sonda a la placa del circuito acondicionador y un conector que permite conectar el circuito acondicionador de la sonda a cualquier entrada analógica del microcontrolador.



Figura 11. Sensor SEN0161

A continuación, se muestra una tabla con la relación que existe entre la salida de tensión del electrodo y el pH del agua a una temperatura de 25 grados. La placa con el circuito acondicionar incluye un adaptador de tensión para que la señal que llegue al Arduino sea un valor entre 0 y 5 V, rango en el que trabaja la placa.

Tensión (mV)	Valor de pH	Tensión (mV)	Valor de pH
414,12	0,00	- 414,12	14,00
354,96	1,00	- 354,96	13,00
295,80	2,00	- 295,80	12,00
236,64	3,00	- 236,64	11,00
177,48	4,00	- 177,48	10,00
118,32	5,00	- 118,32	9,00
59,16	6,00	- 59,16	8,00
0,00	7,00	0,00	7,00

Tabla 8. Relación entre la tensión en el electrodo y el pH

Las principales especificaciones del sensor de pH SEN0161 ofrecidas por el fabricante son las que se muestran:

Especificación	Datos
<b>Interfaz</b>	Analógico
<b>Rango de alimentación</b>	3,3 V a 5,5 V
<b>Rango de operación</b>	0 °C hasta + 60 °C
<b>Rango de detección del pH</b>	0 – 14
<b>Tiempo de respuesta</b>	Menos de 1 minuto
<b>Precisión</b>	± 0,1 pH desde a + 25 °C
<b>Conector sensor</b>	Conector BNC

Tabla 9. Especificaciones del sensor SEN0161

El esquema de conexión del sensor de pH con el microcontrolador también nos lo proporciona el fabricante DSRobot [15]:

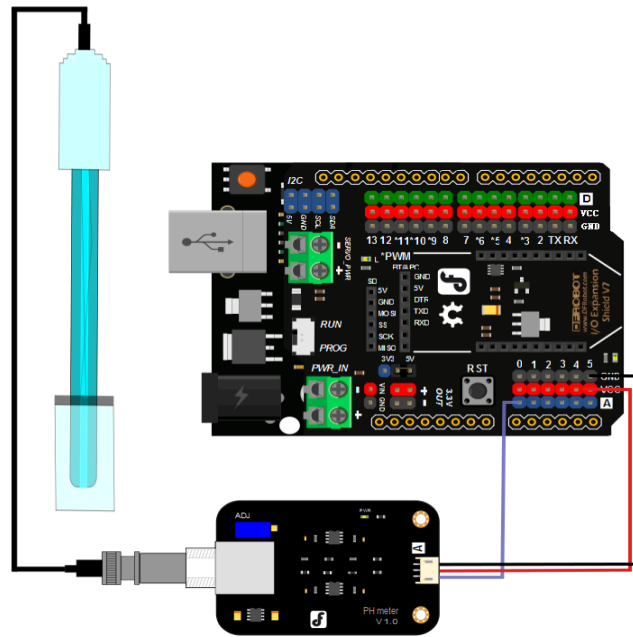


Figura 12. Esquema conexión sensor SEN0161

### 3.3.3 Sensor de conductividad eléctrica.

El sensor elegido para medir la conductividad eléctrica en el agua salada es el modelo DFR0300-H fabricado por DFRobot. Se ha escogido este sensor por su fácil conexión al microcontrolador, similar al sensor de pH, y por la sencillez del software.

Al igual que el sensor SEN0161, distribuido por el mismo fabricante, el sensor DFR0300-H se compone de la sonda, en este caso un electrodo de conductividad, una placa acondicionadora y unos conectores para conectar la sonda al circuito acondicionador y el circuito acondicionador al microcontrolador. Cabe mencionar que este sensor debe ir acompañado por un sensor de temperatura, como es el anteriormente citado para la medición de la temperatura del agua, el sensor DS18B20, ya que es necesario realizar una compensación de la conductividad eléctrica en función de la temperatura del agua [16].



Figura 13. Sensor DFR0300-H

Los componentes del circuito del sensor hacen que exista una relación directa entre la conductividad eléctrica y la tensión dada por el sensor. A continuación, se verá cómo funcionan estos componentes y como consiguen llegar a esta relación.

En primer lugar, se encuentra el chip U3B, un circuito de escalado inverso. La función de transferencia de este chip es:

$$V_o = \frac{R_{10}}{R} * V_i \dots [V] .$$

R10 es una resistencia de retroalimentación con un valor de 820Ω. R es la resistencia cuando el electrodo se introduce en una solución acuosa. Esto quiere decir que Vo está directamente relacionado con la resistencia de la solución acuosa.

La definición de la resistencia acuosa es:  $R = \rho \frac{L}{A} \dots [\Omega]$

Siendo ρ la resistividad, L la longitud entre dos laminas conductoras y A el área de las láminas.

Por otra parte, se conoce que la conductividad es inversamente proporcional a la resistividad:  $k = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} * \frac{L}{A} \dots \left[\frac{S}{m}\right]$

La relación  $\frac{1}{R}$  es conocida como conducción G y a la relación  $\frac{L}{A}$  se le denomina constante de Vessel Q y es diferente para cada electrodo.

De esta forma, podemos definir la resistencia acuosa como  $R = \frac{1}{k} * Q$ . Si relacionamos esta expresión con la del circuito de escalado inverso:

$$k = \frac{Q}{R_{10} * V_i} * V_o \dots \left[\frac{S}{m}\right]$$

Los valores de R10 y Vin son proporcionados por el fabricante. R10 tiene un valor de 820Ω como se comentó anteriormente y el valor Vin depende del circuito generador y su valor es alrededor de unos 200mV.

De este modo, se puede ver que la conductividad eléctrica es lineal con la tensión dada por el sensor.

Las especificaciones más importantes que nos ofrece el fabricante del DFR0300-H son las siguientes:

Especificación	Datos
<b>Interfaz</b>	Analógico
<b>Rango de alimentación</b>	3 V a 5,5 V
<b>Rango de operación</b>	0 °C hasta + 40 °C
<b>Rango de medida</b>	10 – 100 ms/cm
<b>Precisión</b>	± 5 % F. S
<b>Conector sensor</b>	Conector BCN

Tabla 10. Especificaciones del sensor DFR0300-H

El esquema de conexión del sensor DFR0300-H con el microcontrolador también nos

Lo ofrece el fabricante:

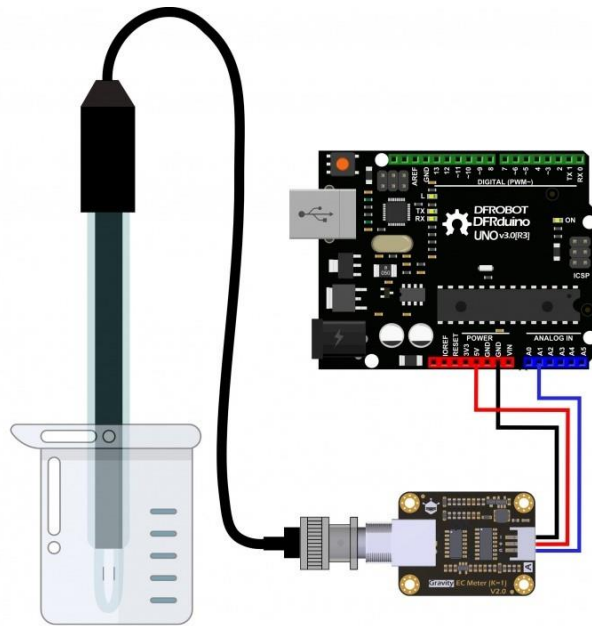


Figura 14. Esquema conexión sensor DFR0300-H

### 3.3.4 Sensor de oxígeno disuelto en agua

Para la medida del oxígeno disuelto en el agua se ha escogido de nuevo un sensor creado por DFRobot, empresa especializada en plataformas robóticas móviles, sensores robóticos y hardware de código abierto. El sensor que se va a utilizar es el modelo SEN0237-A. Las razones en cuanto a la elección de este producto por delante de otros han sido su económico precio, su sencilla configuración con el microcontrolador y el soporte que ofrece DFRobot a todos sus productos.



Figura 15. Sensor SEN0237-A [17]

El sensor de oxígeno disuelto se encarga de medir la saturación de oxígeno en un medio acuático, haciendo uso de un elemento pasivo o sonda que genera una cantidad de voltaje dependiendo del grado de saturación de oxígeno en el agua.

El sensor de SEN0237-A consta de una sonda de medición de saturación de oxígeno, un circuito acondicionador que transforma la medida de la sonda a unos valores en el rango del microcontrolador y unos conectores para la sonda y el microcontrolador.

Las principales especificaciones del SEN0237-A ofrecidas por DFRobot son las mostradas a continuación:

Especificación	Datos
<b>Interfaz</b>	Analógico
<b>Tipo de sonda</b>	Galvánica
<b>Rango de alimentación</b>	3,3 V a 5,5 V
<b>Rango de operación</b>	0 °C hasta + 40 °C
<b>Rango de medida</b>	0 – 20 mg/L
<b>Conector sensor</b>	Conector BCN

Tabla 11. Especificaciones del sensor SEN0237-A

El esquema de conexión con el microcontrolador también es el propuesto por DFRobot, tal y como se puede apreciar en la figura 15.

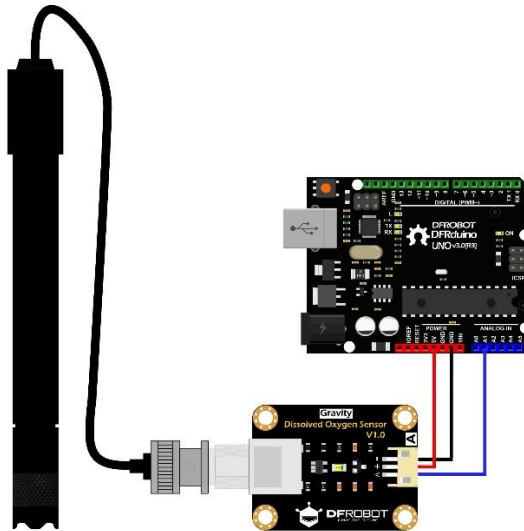


Figura 16. Esquema conexión sensor SEN0237-A

### 3.3.5 Sensor de turbidez

El sensor elegido para la detección de turbidez en el agua es el SKU: SEN0189 de DFRobot, el mismo fabricante que los anteriores tres sensores. Las razones una vez más son similares a las anteriores, un precio económico, una fácil configuración del software y un buen soporte en caso de tener algún problema con los sensores.

Es importante tener un sensor que mida la turbidez del agua, ya que la cantidad de sólidos en el agua es un índice que nos indica directamente la potabilidad del agua. Este sensor mide los niveles de turbidez en el agua a través de un fotodiodo que detecta las partículas en suspensión a través de la transmisión y la tasa de dispersión de la luz [18].



Figura 17. Sensor SKU: SEN0189

Este sensor tiene la capacidad de operar en dos modos de señal de salida, tanto en modo digital como en modo analógico. El modo puede seleccionarse según la MCU, siendo el umbral de decisión ajustable en el modo digital.

En el modo analógico de salida, el valor de tensión a la salida disminuye cuanto mayor es la turbidez del agua. En el modo digital, el sensor toma valores a nivel alto o bajo, dependiendo de si los valores están por encima o por debajo del umbral establecido.

En este proyecto se usará en modo analógico ya que la tensión de salida del sensor depende de la temperatura y en el modo digital sería preciso ajustar el umbral de manera manual, opción que no se puede en este proyecto al ser una sonda de tele-medición.

Las principales especificaciones del sensor de turbidez SEN0237-A ofrecidas por el fabricante son:

Especificación	Datos
<b>Interfaz</b>	Analógico o digital
<b>Rango de alimentación</b>	5 V
<b>Rango de operación</b>	+ 5 °C hasta + 90 °C
<b>Tiempo de respuesta</b>	< 500 ms
<b>Salida analógica</b>	0 – 4,5 V
<b>Salida digital</b>	Señal alto/bajo

Tabla 12. Especificaciones del sensor SKU: SEN0189

El esquema de conexión del sensor de turbidez con el microcontrolador es el que se muestra en la figura 18.

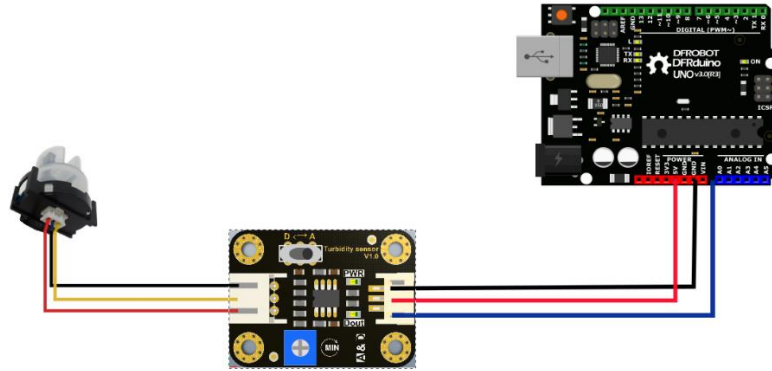


Figura 18. Esquema conexión sensor SKU: SEN0189

### 3.4 Tecnología IoT

La plataforma IoT (Internet de las cosas) es un concepto que incluye un conjunto de tecnologías que buscan la interconexión de objetos físicos y virtuales a través de diferentes redes. Se presenta como una infraestructura que ofrece un servicio avanzado de obtención, procesamiento y ejecución de datos, gracias a la conexión entre los elementos de la red y la comunicación entre sí. El objetivo de la plataforma es tener información de forma remota desde cualquier parte del mundo, ofreciendo una interconexión de objetos.

El internet de las cosas se basa en la utilización de sensores, redes de comunicaciones y un sistema que maneje el proceso y los datos que se generen. También permite visualizar y registrar los parámetros medidos por los sensores y el microcontrolador, a través de una plataforma software.



Figura 19. Tecnología IoT

En este tipo de tecnologías emergentes se encuentran algunas como eMTC, Mwave, LoRaWAN, NB-IoT o Sigfox, siendo esta última la que se utilizará en el presente proyecto. Los motivos principales de esta elección se deben a que, si comparamos Sigfox con otras tecnologías IoT, esta ofrece una cobertura de mayor alcance, del

orden de 15 km y una velocidad de transferencia de bits más baja, siendo la que menos consumo energético tiene. Otras opciones como por ejemplo eMTC ofrece una mayor velocidad de transferencia a costa de un mayor consumo y una vida útil de la batería menor.

### 3.4.1 Sigfox

Sigfox es una red de conectividad celular a nivel mundial enfocada para el Internet de las cosas. La red de Sigfox está diseñada para realizar comunicaciones de baja velocidad, reduciendo así costes y consumo de energía de los equipos conectados. La comunicación aparte de ser de baja velocidad posee una banda muy estrecha, lo que proporciona a la red un alto poder de penetración de obstáculos, facilitando la comunicación a grandes distancias [19].

La red Sigfox está basada en una estructura formada por antenas, estaciones base y celdas repartidas por todo el territorio que se comunican con los sensores finales. Se estima que cada celda es capaz de dar servicio a un millón de objetos conectados de forma simultánea. La densidad de las celdas está en un rango de 30-50 kilómetros en áreas rurales y de 3-10 kilómetros en zonas urbanas, garantizando así la conexión entre las distintas estaciones base.

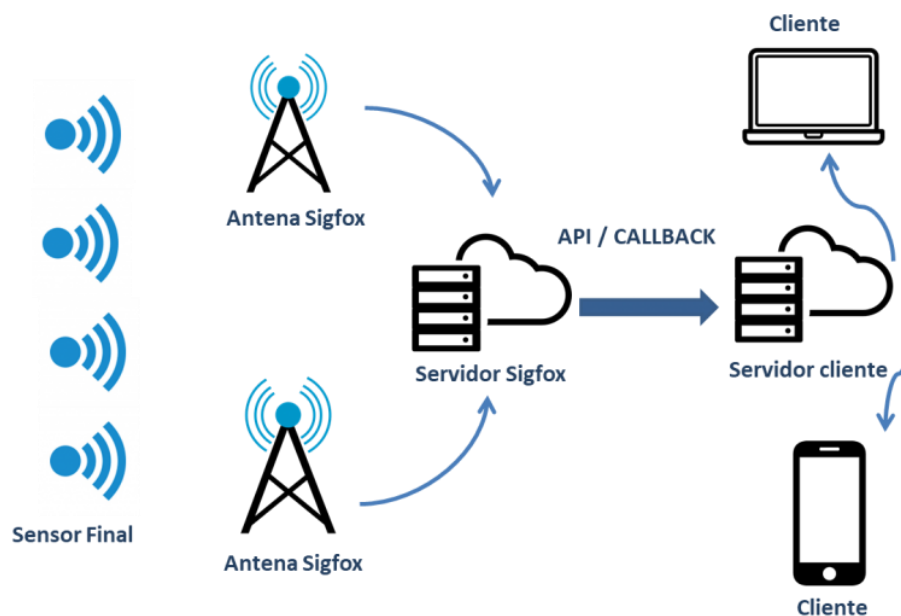


Figura 20. Estructura de la red Sigfox

La tecnología utilizada por Sigfox se conoce como UNB (Ultra Narrow Band) y se basa en una transmisión de espectro muy estrecho, inferior a 1 kHz, lo que permite al receptor de los mensajes realizar transmisiones con un alcance de hasta 20 km en campo abierto y de 1,5 km en zona urbana, aparte de poder rechazar de forma sencilla cualquier interferencia externa que se encuentre fuera de la banda permitida. Por tanto, esta tecnología es fundamental para proveer una red evolutiva, que garantiza una fiabilidad en la transmisión de mensajes [20].

Tras un estudio, punto por punto, de los distintos aspectos clave que ofrece Sigfox se

ha escogido como módulo de comunicación principalmente por:

- ⊙ El bajo consumo de energía, incrementando así la vida útil de las baterías, reduciendo el mantenimiento y el impacto medioambiental.
- ⊙ La facilidad de uso, estando la red de Sigfox ya desplegada y lista para usar. Simplemente hay que conectar los dispositivos a la red para comenzar a usar la red.
- ⊙ El largo alcance, evitando la instalación de infraestructuras complejas para conectar los objetos y asegurando la conectividad.
- ⊙ La independencia de la frecuencia, garantizando la cobertura a nivel mundial y adaptable a cualquier terreno.
- ⊙ El bajo coste, permitiendo conectar cualquier objeto a la red.

### **3.4.2 Módulo de comunicación Sigfox**

Sigfox ofrece soporte a la gran mayoría de empresas proveedoras de módulos del mercado, como puede ser Intel, Microchip o Telecom Design. Este soporte busca la normalización de las comunicaciones IoT y la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes. Entre los distintos distribuidores, destaca sobre el resto Telecom Design. Esta organización forma parte de los proveedores de dispositivos Sigfox Ready y además es la creadora de la tecnología Cloud-on-Chip, la primera resolución utilizada por la red Sigfox.

Los dispositivos Sigfox Ready que ofrece Telecom Design forman la familia TD12xx, una serie de módulos de comunicación de tamaño reducido y bajo consumo. Estos módulos están habilitados para su introducción en el mundo IoT y poseen funcionalidad de módems para la transmisión de señales [21].

### **3.4.3 Módulo TD1208r**

La elección entre los modelos de Telecom Design es la del módulo TD1208r. Los principales motivos son el bajo consumo y la amplia capacidad de comunicaciones que posee gracias a la posibilidad de usar un entorno específico de desarrollo.

Otras posibilidades dentro de la misma familia son el TD1508, el TD1205P o el TD1204r. Estos han sido descartados principalmente porque, o están orientados al mercado americano y poseen una banda de frecuencia diferente a Europa, como el TD1508, o porque incluyen funcionalidades que no van a utilizarse en el proyecto y encarecen su precio, como acelerómetro, GPS o una antena integrada [22].

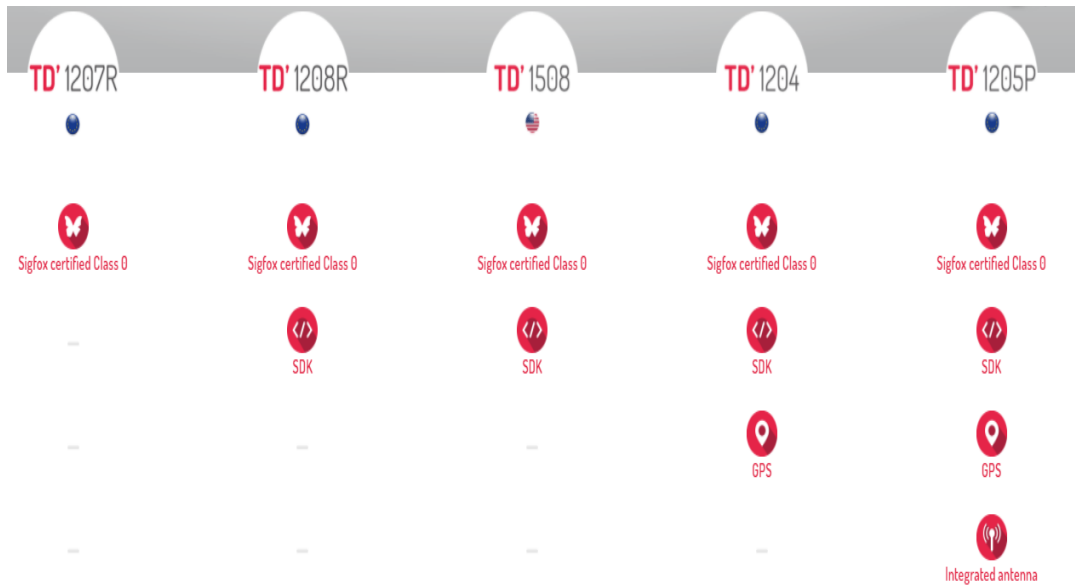


Figura 21. Módulos TD12xx

Las principales especificaciones del módulo TD1208r ofrecidas por el fabricante son:

Especificación	Datos
Procesador	ARM Cortex M3
Voltaje de alimentación	2,3 V– 3,3 V
Consumo en modo “Sleep”	1,8 $\mu$ A
Memoria RAM	16 KB
Frecuencia de reloj	32 kHz
Memoria Flash	128 kB

Tabla 13. Especificaciones módulo TD1208r

### 3.4.4 Backend de Sigfox

Tras hablar de las características del dispositivo de comunicación de Sigfox, encargado de la emisión de mensajes, este apartado se centrará en el Backend de la comunicación, encargado de la recepción de los mensajes y del proceso para generar un resultado.

Sigfox nos ofrece un servicio llamado Sigfox Cloud, una aplicación web conocida como Sigfox Backend, la cual permite gestionar los distintos dispositivos que se tengan dados de alta en la web. Desde ella, se puede acceder a los datos transmitidos por los dispositivos y configurar la integración de datos. Es una herramienta mediante la cual se puede realizar configuraciones del sistema a distancia mediante la recepción y envío de datos.

Este envío de datos se realizar en forma de pequeños paquetes, de 12 bytes cuando el dispositivo envía un mensaje y 8 bytes cuando se recibe uno. El límite de mensajes es de 140 al día por dispositivo, permitiendo recibir aproximadamente un paquete cada diez minutos. Estos mensajes son enviados a una velocidad de entre 100 y 600 bits por segundo, siendo el tiempo de procesamiento de unos segundos [23].

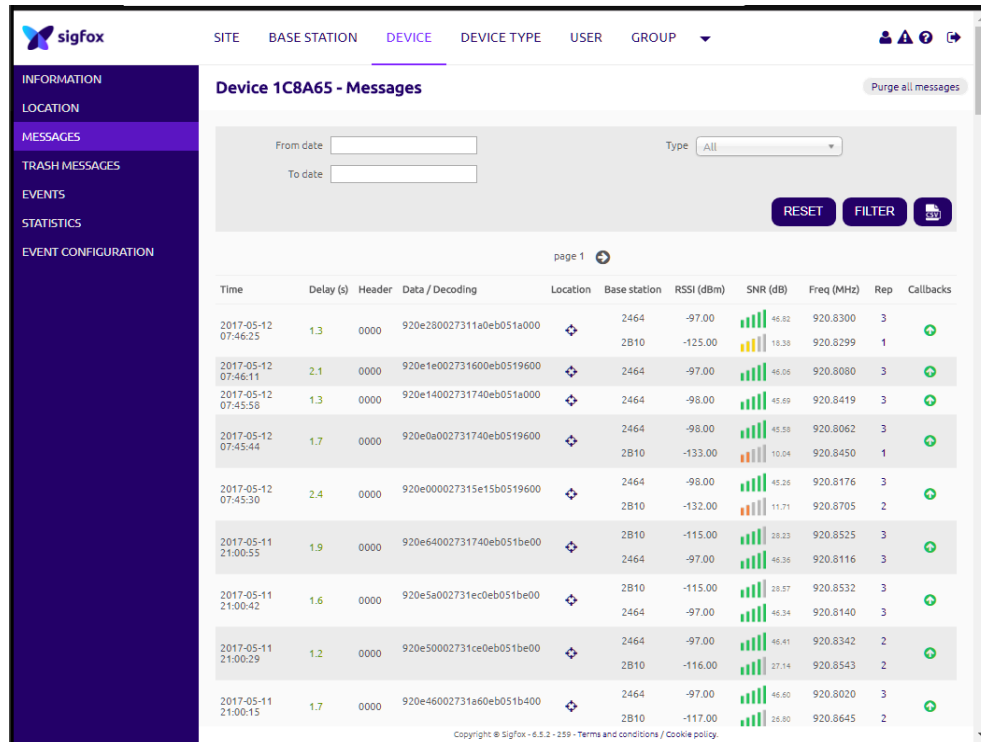


Figura 22. Backend de Sigfox

### 3.5 Software de diseño PCB de calidad del agua salada

El software de diseño de la placa de circuito impreso (PCB) es EAGLE. Este programa tiene licencia Freeware y es utilizado para el diseño de diagramas y PCBs con autoenrutador. Debido a la licencia Freeware, EAGLE posee una gran cantidad de librerías con la mayoría de los componentes electrónicos existentes en el mercado. Las librerías van actualizándose y permite la creación manual de nuevas para incluir dispositivos no incluidos en el propio programa.

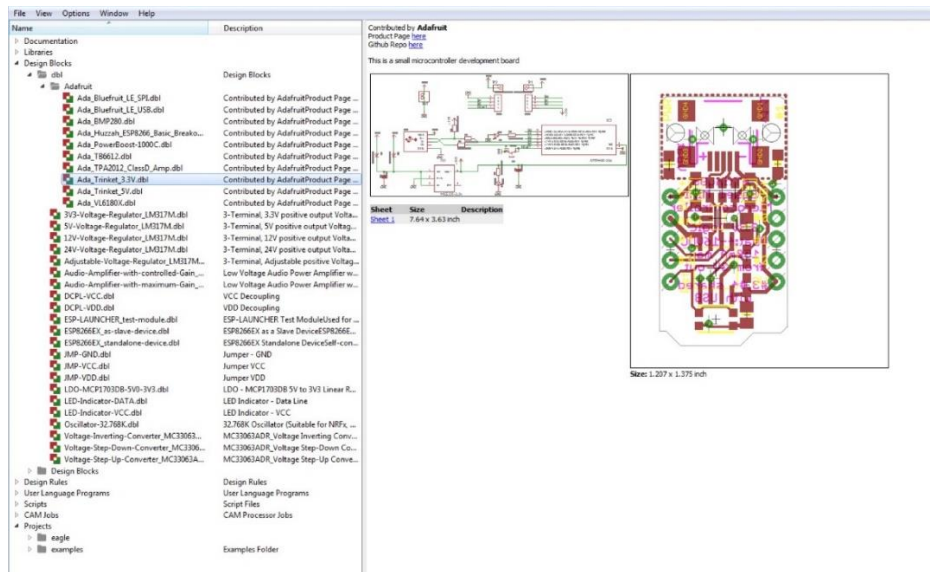


Figura 23. Diseño Eagle

Eagle permite crear un circuito esquemático donde se van incluyendo los componentes concretos de la PCB final. Los componentes muestran su dimensión real en la PCB, de modo que se puede calcular y ajustar el tamaño de los distintos elementos. Si se quiere fabricar una PCB diseñada, el software puede comprobar que se cumplen las especificaciones de diseño que ofrece el fabricante [24].

### 3.6 Software de diseño del modelo 3D

Para asegurar que el tamaño de los componentes que se han escogido es el adecuado, se ha decidido realizar un diseño en 3D del soporte físico. De esta forma, se podrá visualizar el sistema al completo y se verificará el dimensionamiento del mismo. Para esto, se confiará en el software Fusion 360.

Fusion 360 es un software diseñado por Autodesk, especialmente dedicado a aplicaciones de modelados 3D. A continuación, se expondrán las principales ventajas que ofrece este programa.

En primer lugar, la forma de trabajar en la nube de Fusión 360. Con trabajar en la nube se quiere referir a que el programa no depende directamente de la potencia del ordenador en el que se usa, sino que depende del soporte y la potencia que ofrecen los servidores de Autodesk. Esto quiere decir que lo que se instala en el ordenador es una interfaz que permite manipular y editar archivos.

Gracias a esta característica, se obtienen varios beneficios, como la opción de poder usar el programa en ordenadores que no tienen una gran potencia y la seguridad de saber que los proyectos que se realicen en este programa se mantendrán guardados en la plataforma y podrán ser accesibles desde cualquier dispositivo.

Por otro lado, también ofrece ventajas en la sincronización con el resto de los programas de Autodesk, siendo con EAGLE la más interesante para este proyecto.

Los componentes y las placas de circuito impreso diseñados pueden ser importados directamente a Fusión 360, ofreciendo un modelado fiable en 3D que puede usarse para el montaje final de la sonda.

En conclusión, es un programa que además de ofrecer todas las funcionalidades necesarias para diseñar en 3D, añade numerosas ventajas para el presente proyecto, todo de forma gratuita con la licencia de estudiantes.

### 3.7 Alimentación y almacenamiento energético

El siguiente apartado se centrará en la autonomía del dispositivo, ante la imposibilidad de conexión a la red eléctrica convencional, y por ello, la necesidad de incorporar un sistema de alimentación alternativo. A continuación, se detallarán las características de los elementos del sistema que gestionan la energía, de forma que el sistema pueda estar funcionando sin interrupción.

Teniendo en cuenta que la sonda de agua salada estará presente en un ambiente al aire libre y flotando sobre el agua, se va a aprovechar esto para utilizar el sol como fuente de energía renovable casi ilimitada.

En primer lugar, para la alimentación se necesitará un cargador solar de batería y un panel solar. El cargador solar es un componente que posee dos funciones. Por una parte, se encarga de cargar la batería LiPo y por otra parte permite alimentar la placa o algún componente. La conmutación entre alimentar o cargar la batería se realiza de forma automática sin dañar el sistema ni la batería.

El módulo para controlar la carga solar que se va a utilizar es un cargador y Booster solar LiPo llamado DFR0559. La empresa que lo comercializa es DFRobot, distribuidor de varios de los sensores que se eligieron anteriormente. Este modelo está especialmente diseñado para incluirse en proyectos de IoT y proyectos de energía renovable, ya que proporciona un método de administración de energía solar integrado, seguro y alta eficiencia.

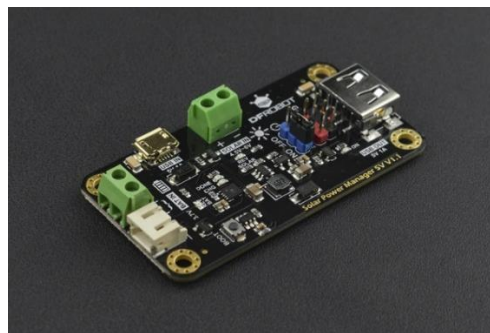


Figura 24. Administrador de carga solar DFR0559

Este módulo de administración de energía solar está diseñado para utilizarse junto a un panel solar de 5 V. También dispone de una función de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), que maximiza la eficiencia del panel solar y optimiza la carga. Este modelo viene con un puerto USB añadido, a través del cual se puede

cargar la batería haciendo uso de un panel con cable USB o con el cargador de un teléfono móvil, el cual es muy útil para realizar pruebas en la batería y para labores de mantenimiento. La corriente de carga que proporciona el módulo cuando esta alimentado es de hasta 900 mA a una batería de 3,7 V LiPo. El convertidor DC-DC que tiene incluido tiene una salida de 5V de tensión y 1<sup>a</sup> de corriente para poder alimentar cualquier proyecto de aplicaciones de bajo consumo. Para mejorar la estabilidad y seguridad de los proyectos, incluye varias funciones de protección para la batería, el panel solar y la salida [25].

Otra opción más económica sería utilizar un simple cargador solar de baterías LiPo. Se ha decidido optar por la opción del administrador de carga solar porque, mientras el cargador solar se limita simplemente a cargar la batería, este ofrece todas las funciones añadidas que se han comentado antes, siendo un módulo mucho más fiable y completo.

Conocer las características técnicas del administrador de carga solar es esencial para saber cómo funciona, que tipo de panel solar utilizar y que batería conectar. A continuación, se muestran algunas de las principales especificaciones:

Especificación	Dato
<b>Voltaje de entrada</b>	4,5 V – 6 V
<b>Corriente de carga máxima</b>	900 mA
<b>Voltaje de corte de carga</b>	4,2 V
<b>Batería requerida</b>	Batería de litio de 3,7 V
<b>Salida de tensión USB</b>	5 V 1 A

*Tabla 14. Especificaciones módulo DFR0559*

Con estas especificaciones, el fabricante ofrece varias recomendaciones a la hora de elegir la placa solar. Se recomienda que sea un panel solar pequeño de fácil uso que alimente el módulo con una tensión nominal de 5V, una corriente máxima de 900 mA y una potencia máxima de 10 W.

El panel solar que se ha decidido usar es el SKU: IC-29004 de la marca ISmart, modelo idóneo para acompañar al módulo solar. Este producto está ideado para alimentar sistemas de baterías recargables LiPo y ser usado junto a un cargador de baterías. La principal característica que hace especial a este modelo es el pequeño tamaño que tiene y el voltaje y potencia que entrega [26].



Figura 25. Panel solar SKU: IC-29004

Las características más importantes del panel solar se muestran a continuación:

Especificación	Dato
<b>Salida</b>	5 V
<b>Corriente máxima</b>	200 mA
<b>Potencia</b>	1 W
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	- 30 °C - 70 °C
<b>Tamaño del producto</b>	6 cm x 8 cm x 0,27 cm

Tabla 15. Especificaciones panel solar SKU: IC-29004

Una vez elegido el sistema de alimentación solar, se debe elegir el sistema de almacenamiento apropiado. El administrador de carga solar ofrece recomendaciones a cerca de esto, DFRobot sugiere utilizar una batería LiPo de 3,7 V para acompañar a los módulos elegidos. El conector de la batería no es un problema ya que el módulo posee tanto una entrada JST, conector de la mayoría de las baterías de litio, y un conector KF396. La carga de la batería se calculará más adelante, realizándose un dimensionamiento con los datos relacionados con el consumo.

Por último, se hablará del conexionado de la alimentación y almacenamiento de energía con la placa del proyecto.

Las conexiones son muy sencillas. En el caso de que no sea un panel con salida USB, se debe conectar el panel solar al conector con la inscripción SOLAR IN, positivo con positivo y negativo con negativo. En el caso de ser un panel con salida USB, conectar a la entrada USB IN. Para conectar la batería, si la salida de la batería es JST, se debe conectar en la entrada 3,7 V, si no, se debe utilizar la entrada del conector KF396 que está justo encima. La salida USB OUT del administrador de carga es para conectarla con el módulo principal que se quiera alimentar.

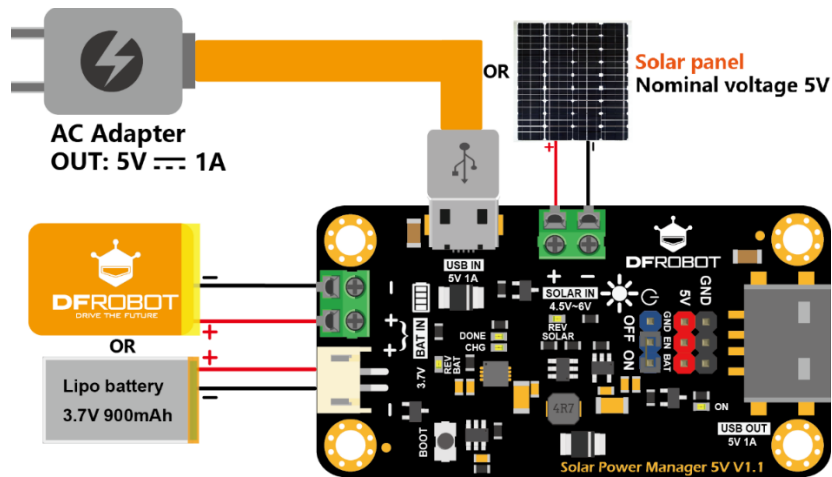


Figura 26. Conexión administrador de carga solar

### 3.8 Carcasas y conectores de protección empleados

Esta etapa se centrará en el encapsulado del microcontrolador, el encapsulado de las PCB de los sensores y los conectores, de forma que se asegure que la protección siga siendo total una vez se saquen los cables de los sensores que estarán directamente en contacto con el agua salada.

A la hora de elegir estos elementos hay que tener en cuenta que se está trabajando en un medio de agua salada, por lo que se necesita que no haya ninguna filtración en el encapsulado y que el material sea capaz de soportar la corrosión que ocasiona el contacto constante con el fluido además de asegurar la máxima protección por las circunstancias meteorológicas adversas, entre otras, oleaje y mareas.

#### 3.8.1 Carcasas de protección

El elemento más importante cuando hablamos de protección es la carcasa exterior, lugar donde irán integrados todos los elementos del sistema: PCB, módulo de carga solar, batería, placa solar, sensores...

Factores como el polvo, el viento, el agua o los golpes pueden dañar de gravedad alguno de los componentes que integran el proyecto, por ello se necesita de una caja de protección que sea capaz de aislar su interior de los factores externos. Como se dijo anteriormente, hay que tener en cuenta que el medio donde se va a hacer uso de la sonda es un ecosistema acuático de agua salada, lo que añade factores exteriores más adversos.

Finalmente se ha optado por elegir como caja principal para el uso de equipos electrónicos el modelo BEA02S de Bulgin. Se trata de una caja de uso general herméticamente sellada fabricada con plástico ABS, que ofrece una excelente durabilidad, aislamiento electrónico y absorción de golpes. La tapa superior de la carcasa es transparente, a través del cual se podrán ver los componentes internos sin tener que abrir la caja, además de ser perfecto para instalar el panel solar [27].



Figura 27. Caja de protección BEA02S de Bulgin

Uno de los motivos más importante de la elección de una carcasa es su grado de protección. Esta caja ofrece un índice de protección contra solidos IP67. El primer dígito indica la protección frente una intrusión física como el polvo, mientras que el segundo digito indica la protección contra la entrada de agua y otros líquidos. En este caso, la carcasa ofrece una protección total contra el polvo y una protección contra la entrada de agua incluso en inmersión completa hasta una profundidad de 1 metro y un tiempo de 30 minutos. Estos índices deberían ser suficientes para proteger la electrónica del proyecto del medio acuático exterior.

Otro factor importante son las dimensiones de la caja. La batería, el módulo solar y la PCB principal irán dentro de la carcasa, por lo que el tamaño ha sido un motivo importante a tener en cuenta a la hora de elegir la caja de protección.

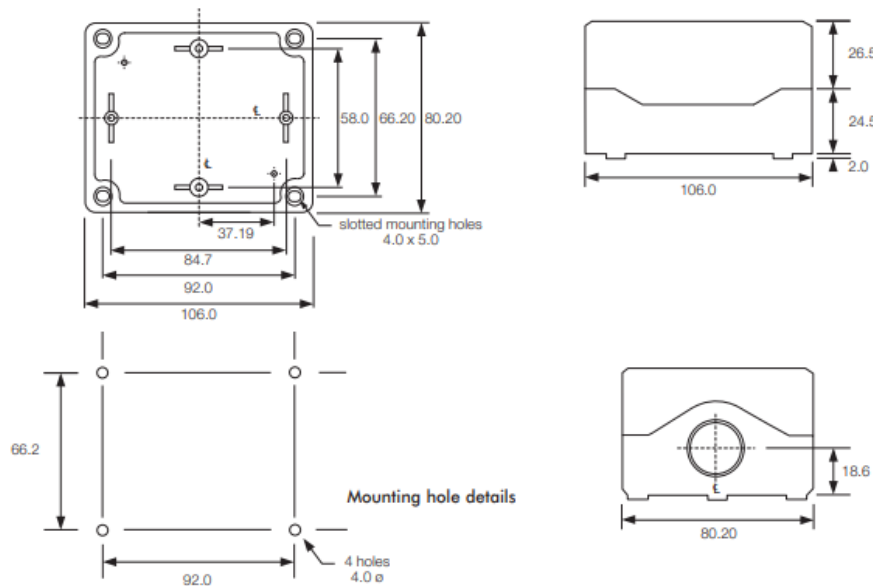


Figura 28. Dimensiones caja de protección BEA02S

Sus medidas son 80 x 106 x 53 mm, tamaño suficiente para embutir todos los componentes que se quieren proteger. La superficie interior máxima disponible es 66,2 x 92 mm, medida que se tomarán como dimensiones máximas de la PCB principal. Además, la placa se fijará a la caja haciendo uso de tornillos autorroscantes de montaje adecuados para PCB [28].

Para la protección de los circuitos impresos que traen incluidos los sensores se ha

decidido incluirlas en cajas de protección secundarias, ya que es una solución mucho más cómoda a la hora de realizar las conexiones con la PCB principal. La caja de protección de conexiones es similar a la carcasa principal, pero de menor tamaño.

El modelo que ha decidido utilizarse es la caja impermeable de protección de conexiones IP68 fabricada por Tonpop.



Figura 29. Caja de protección de conexiones

Las razones de esta elección es principalmente su grado de protección y sus medidas. La mayoría de las cajas de conexiones no ofrecen un grado de protección tan alto ante la entrada de líquidos y las medidas que se necesitan son muy específicas, ya que se busca que la PCB quede lo más inmóvil posible dentro de la caja.



Figura 30. Medidas caja secundaria

Las medidas interiores de la caja secundaria son de 66x40x36 mm, mientras que las dimensiones de los circuitos impresos de los sensores son de 64,7 x 32 x 1,6 mm, incluyendo la entrada BNC de la placa. Como se puede ver, las medidas de la caja son perfectas para los sensores.

### 3.8.2 Conectores de protección

El sistema precisa de varias conexiones externas para poner en contacto directo los sensores con el agua salada, mientras a su vez, impide las filtraciones hacia el interior de la caja. Para ello, se hará uso de conectores especiales que sean capaces de mantener la integridad ante los factores externos y permitan la comunicación entre

el interior y el exterior de la caja.

Para realizar esta conexión de forma segura, se va a hacer uso de la gama de alimentación Buccaneer, una serie de conectores especiales de la empresa Bulgin, fabricante de la caja de protección elegida anteriormente. Estos conectores circulares de alimentación proporcionan un grado de protección IP68 y están diseñados para establecer conexiones firmes, robustas e impermeables en entornos exigentes.

Se van a utilizar tres series de conectores distintos, cada una para un tipo de conexión diferente. Esto es debido a que se tienen dos tipos de sensores, unos donde la conexión es por contactos de presión o soldados y otros que tienen un tipo de conexión BNC. A pesar de que la conexión BNC se va a realizar en la caja secundaria, se va a elegir un tipo de conector que habilite la posibilidad de que estas conexiones se hagan en la caja principal. El tercer tipo de conector correspondería al conector de protección de la antena de comunicación.

Para el primer caso, los sensores en cuestión son el sensor de temperatura y el sensor de turbidez. Dentro de la gama Buccaneer, se ha decidido confiar en la serie 400, conectores de plástico circulares con una estructura ligera y resistente, ideales para proyectos que requieren poco espacio [29].

En primer lugar, se elige el conector de acople exterior, donde se conectarán las conexiones del sensor. Se ha optado por usar el modelo PX0410 de 3 pines hembra. Esta elección se basa principalmente en el tamaño tan compacto que tiene, siendo el espacio un factor más que importante en el proyecto. Los 3 pines corresponden a la alimentación, la masa y la señal de comunicación de cada uno de los sensores. Se va a analizar con más profundidad este primer conector ya que el resto tiene un funcionamiento y una estructura similar.



Figura 31. Conector de protección PX0410 de Bulgin

Este conector está formado por cinco piezas principales: La cabeza del conector, el cuerpo del conector, el perno, la pieza de unión y la tuerca de ajuste



Figura 32. Despiece PX0410

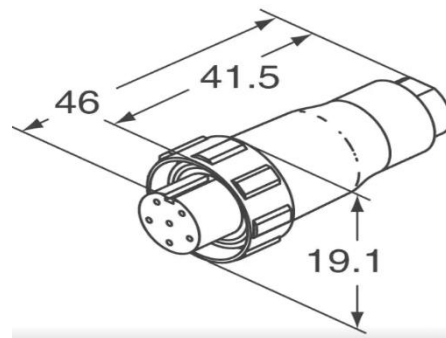


Figura 33. Dimensiones PX0410

El método de montaje de las piezas para su correcta protección es la siguiente: En primer lugar, las conexiones del sensor deben conectarse a la cabeza del conector, pasando a través de la tuerca, la pieza de unión y el perno. Cuando la conexión esté asegurada, se introduce el cuerpo del conector y se enrosca la tuerca de ajuste. Para realizar la conexión con el interior de la caja, este conector hembra debe ensamblarse con un conector de montaje en panel macho.

El conector encargado para la comunicación entre los sensores y la PCB principal será el conector de montaje en panel de 3 pines macho PX0412.



Figura 34. Conector de protección PX0412 de Bulgin

Se ha elegido este modelo por delante de otros nuevamente por su pequeño tamaño en comparación a otros. Otra posibilidad sería el modelo PX0413, un modelo de mayor tamaño con la misma función menos óptimo al utilizar un conector de pocos pines en el proyecto. Este modelo de fijación con un único orificio permite el acoplamiento con conectores de cable Flex PX0410 manteniendo el grado de protección IP [30].

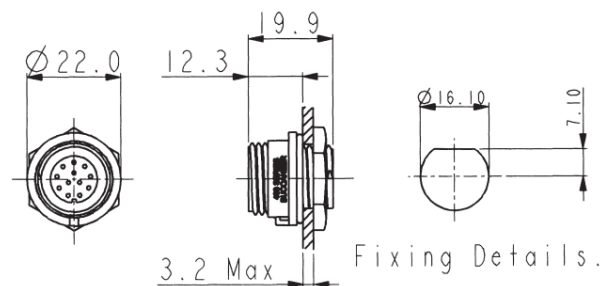


Figura 35. Dimensiones PX0412

Para el segundo caso, los sensores en cuestión que usan un tipo de conexión BNC son: el sensor de pH, el sensor de conductividad eléctrica y el sensor de oxígeno disuelto en agua. Dentro de la misma gama Buccaneer, se ha decidido confiar en la serie de conectores mini, que permite elegir el tipo de contacto BNC además de proporcionar un buen rendimiento en aplicaciones marítimas e industriales exigentes.

Como en el caso anterior, en primer lugar, se elegirá el conector de acople exterior. Se ha decidido utilizar el modelo PX0800 de conexión BNC hembra. Esta elección se basa principalmente en la posibilidad de que el contacto de conexión sea BNC y al tamaño reducido que ofrece el conector. Los conectores de protección solo proporcionan un contacto, macho o hembra, de conexión BNC por conector, esto quiere decir que se deben usar 3 módulos individuales de conexión.



Figura 36. Conector de protección PX0800 de Bulgin

Excepto por el tipo de conexión, el funcionamiento y la estructura son similares a las del conector PX0410 de la serie 400, por lo que no se va a entrar en detalles de nuevo.

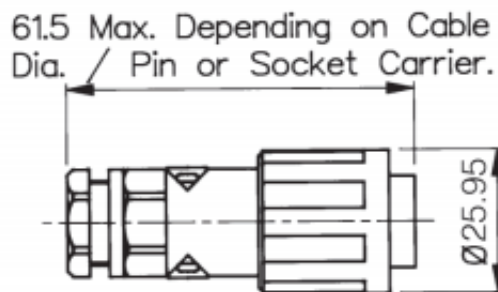


Figura 37. Dimensiones PX0800

Como se puede apreciar en las dimensiones que ofrece Bulgin, el tamaño de este conector es mayor que los de la serie 400, aunque la longitud depende del diámetro del cable y del tipo de conexión.

El conector encargado para la comunicación entre estos tres sensores y la PCB principal será el conector de montaje en panel con tipo de conexión BNC hembra PX0805, conector compatible con el PX0800. Al igual que en el caso de los acoples exteriores, los conectores en panel PX0412 y PX0805 son muy similares, donde las dimensiones y el tipo de conexión son la única diferencia [31].

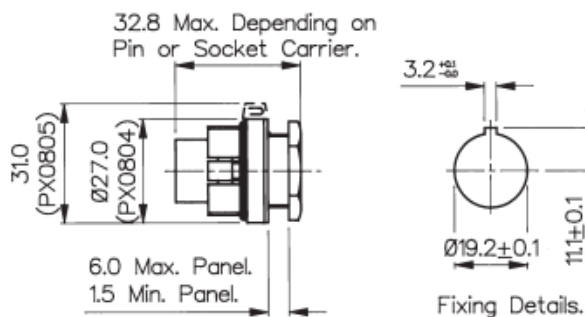


Figura 38. Dimensiones PX0805

Como ultimo conector de protección, se hablará de la antena de salida de radiofrecuencia del módulo Sigfox. La antena es un elemento externo a la caja

principal, por lo que su protección debe ser de forma específica.

Nuevamente dentro de la serie 400, se pueden encontrar tres modelos diferentes de antenas: PX0407, PX0408 y PX0409. La diferente entre estas antenas es la frecuencia a la que funcionan. La frecuencia a la que trabaja la primera antena es hasta 2,5 GHz, la segunda hasta 470 MHz y la tercera hasta 900 MHz.

Teniendo en cuenta que la red Sigfox funciona a una frecuencia de 868 MHz, la elección es claramente el último modelo de antena SMB, la PX0409. Dentro del mismo modelo existen dos versiones diferentes según el código de la pieza. Una recta y otra con una curva de 90 grados. Teniendo en cuenta que la caja de protección va a tener el panel solar en la cara superior, el conector de la antena debe de estar en una de las caras laterales de la caja, por lo que se utilizará el modelo de antena curva.



Figura 39. Antena curva PX0409

Como conector de acoplamiento entre la PCB principal y la antena, Bulgin ofrece como panel frontal recomendado el modelo PX0414, razón por la que se decide utilizar este conector [32].



Figura 40. Conector de protección PX0414

### 3.9 Normativa para medidas de parámetros de calidad del agua salada

La normativa actual según la junta de Andalucía y el BOE relacionada con la acuicultura y las medidas de parámetros de calidad del agua salada son la Ley 8/2003 y los decretos 58/2017 y 1614/2008. La ley expone los motivos de la importancia de la sanidad animal, mientras que los decretos regulan la acuicultura marina en Andalucía y enumeran los requisitos zoonos sanitarios de los animales y de los productos de la acuicultura.

La ley 2/2011 define la importancia de un entorno adecuado para la cría de especies y de la sanidad animal debido a que “La sanidad animal se considera un factor clave para el desarrollo de la ganadería, y es de vital transcendencia tanto para la economía nacional

*como para la salud pública, así como para el mantenimiento y conservación de la diversidad de especies animales. Para la salud pública, por la posible transmisión de enfermedades de los animales al hombre, y por los efectos nocivos que para éste puede provocar la utilización de determinados productos con el fin de aumentar la productividad animal. Para la economía nacional, no sólo por las pérdidas directas que la enfermedad produce en las explotaciones afectadas, sino también por las pérdidas indirectas que originan las restricciones que se pueden producir en los mercados interior y exteriores para los animales afectados y sus productos, determinando la utilización de importantes recursos del Estado y, en casos extremos, pudiendo llegar a adquirir proporciones cuyas consecuencias bien pudieran ser calificadas de catastróficas”*

En relación con esta ley, el real decreto 1614/2008 se centra en la prevención y control de determinadas enfermedades de los animales acuáticos *“Este real decreto tiene por objeto establecer:*

- a) Los requisitos zoonosanitarios aplicables a la puesta en el mercado, la importación y el tránsito de animales y de productos de la acuicultura.
- b) Las medidas preventivas mínimas destinadas a aumentar la sensibilización y la preparación de las autoridades competentes, los agentes económicos de la producción acuícola y demás agentes relacionados con dicho sector, en relación con las enfermedades de los animales acuáticos. 40186 martes 7 octubre 2008 BOE núm. 242
- c) Las medidas mínimas de control que deberán aplicarse en caso de sospecha o de aparición de un foco de determinadas enfermedades en animales acuáticos”

La mayoría de las enfermedades que aparecen en los cultivos se deben a una baja calidad del agua y a la falta de control de los parámetros del agua, lo que provoca que las especies enfermen.

La acuicultura debe desarrollarse de forma sostenible mientras se convierte en un valor seguro de calidad de productos marino, tal y como expresa el real decreto 58/2017 encargado de la regulación de la acuicultura marina en Andalucía *“El presente Decreto tiene por objeto regular la actividad de acuicultura marina en Andalucía, estableciendo el régimen administrativo de las autorizaciones para su ejercicio, así como la inscripción de los establecimientos y empresas dedicadas a cultivos marinos en el Registro Oficial creado al efecto por la Ley 1/2002, de 4 de abril, de ordenación, fomento y control de la Pesca Marítima, el Marisqueo y la Acuicultura Marina. En este escenario la acuicultura debe desarrollarse como una actividad sostenible desde el punto de vista medioambiental pero también como una actividad que se convierta en un valor seguro que ha de jugar un papel fundamental en el futuro como garante de la calidad de los productos marinos”*

El presente proyecto es una gran ayuda para cumplir los requisitos que exponen las leyes, ya que ayuda a crear un entorno de cría libre de enfermedades, proporcionando las mejores condiciones de vida para los peces y aumentando la producción.

# 4 Diseño hardware

---

## 4.1 Diseño de la placa de calidad del agua salada

Tras hablar de cada uno de los componentes, la atención se enfocará en el diseño de la placa principal. En la PCB principal se ubican las etapas de control, comunicación y potencia. Una vez explicadas, se mostrará el diseño de las conexiones del circuito. Como se dijo anteriormente, el diseño se realizará en el software Eagle.

La etapa de control la compone el microcontrolador SAMD21G, encargado del funcionamiento de todo el sistema. A continuación, se hablará de la circuitería externa del microcontrolador y del uso de los pines.

En primer lugar, en los pines 1 y 2 se coloca un cristal de cuarzo de 32768 Hz junto con dos condensadores de 15 pF para su desacople. El cristal de cuarzo es el encargado de generar una señal de reloj y estabilizar la frecuencia debe estar ubicado lo más cerca posible del microcontrolador. Se debe ubicar lo más cerca posible del microcontrolador para evitar perder eficacia.

En la entrada de tensión analógica, pin 6, se coloca un filtro paso bajo LC para atenuar la señal en frecuencias altas y eliminar parte del ruido externo.

Los pines 17, 36 y 43 corresponden a las entradas de alimentación, donde se colocan condensadores de 0,1uF para desacoplar las señales de corriente alterna a la señal continua, limpiando la señal.

Las etiquetas SWCLK y SWDIO conectadas a los pines 45 y 46 respectivamente, son las conexiones del conector del depurador externo. Gracias al depurador se puede controlar la ejecución de cada instrucción en el microcontrolador y se puede ir observando los cambios de memoria en tiempo real, permitiendo detectar los errores en los proyectos. El depurador se colocará lo más cercano al microcontrolador y con las pistas lo más rectas posibles, evitando así la pérdida de datos.

La comunicación de los sensores con el microcontrolador viene a través de las entradas analógicas y digitales correspondientes a los pines 11, 12, 7, 8 y 15. Los cuatro primeros pines son entradas analógicas que sirven para programar los sensores de oxígeno disuelto, turbidez, conductividad eléctrica y pH. El pin 15 es una entrada digital utilizada para programar el sensor de temperatura.

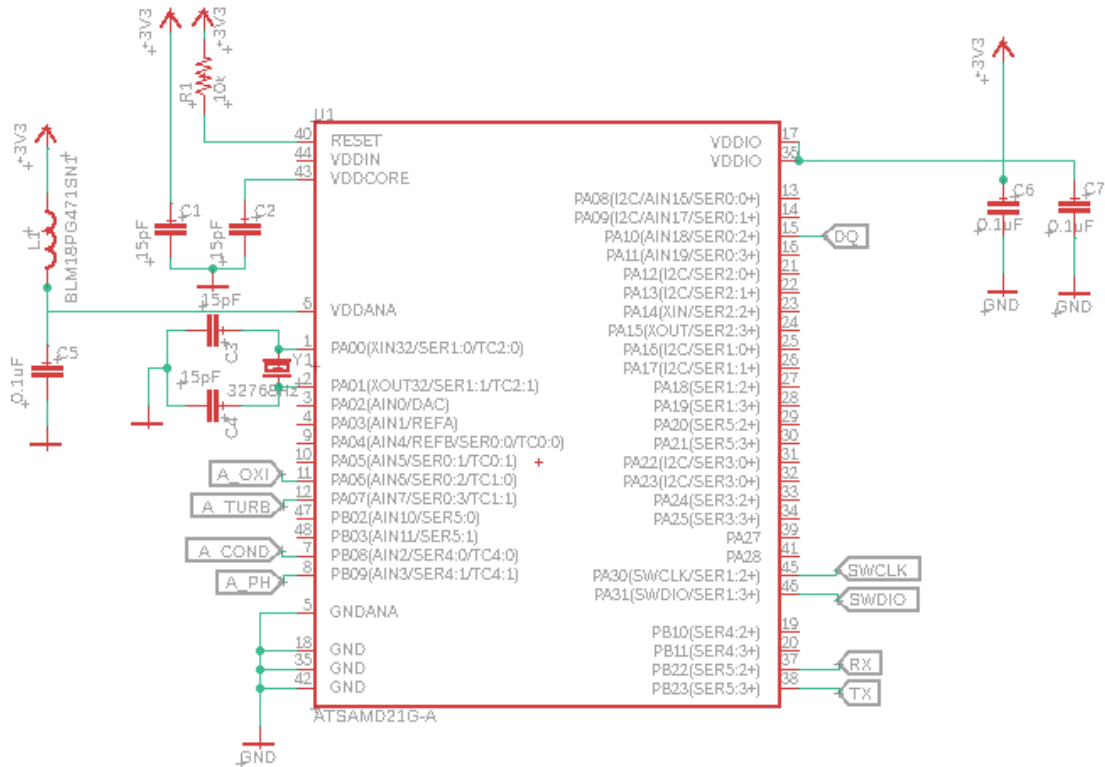


Figura 41. Conexiones SAMD21G

Por último, las conexiones etiquetadas como Rx y Tx en los pines 37 y 38 respectivamente, son utilizados para comunicar el microcontrolador con módulo de comunicación de Sigfox TD1208R, utilizando el protocolo UART, método de comunicación recomendado por el fabricante. Los pines deben conectarse de forma inversa, por lo que el pin 37 corresponde al pin TX del microcontrolador, mientras el 38 al pin RX.

A continuación, se profundizará en la etapa de comunicación, más concretamente en las conexiones del módulo de comunicación.

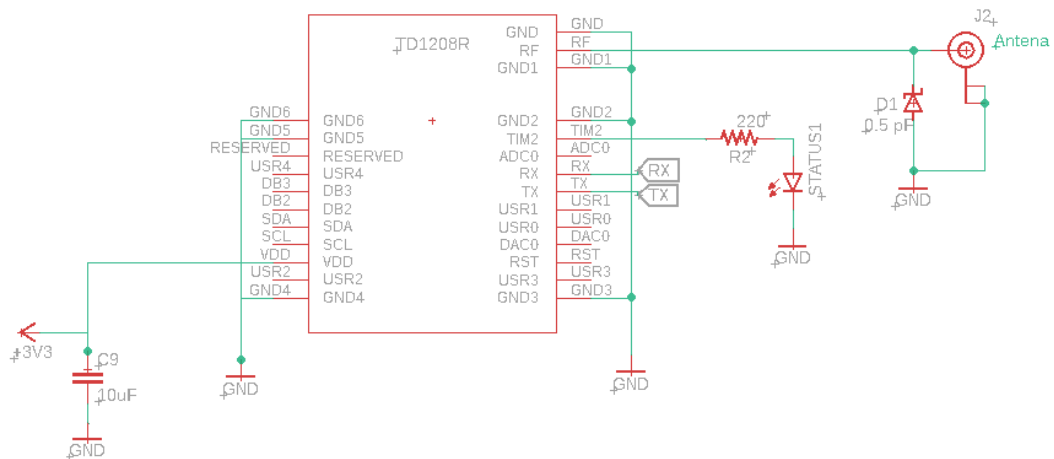


Figura 42. Conexiones TD1208R

Como punto más importante, en el pin de conexión RF se ha incluido un conector al que se le puede acoplar una antena Sigfox para dotar de conexión al sistema. La antena va acompañada de un diodo de protección frente a tensiones de entrada elevadas.

En el pin TIM2 se ha incluido una resistencia en serie con un led que indica el estado de funcionamiento del módulo. Como en el microprocesador, se ha incluido un condensador de desacople en la entrada de alimentación para limpiar la señal. Las conexiones RX y TX son las nombradas anteriormente que comunican con el microcontrolador.

Para finalizar, se hablará de la parte encargada de suministrar alimentación a todo el sistema, la etapa de potencia.

El cargador solar es el encargado de cargar la batería de litio utilizando el panel solar y a su vez, ofrecer una fuente de alimentación a todo el sistema. El cargador solar tiene su propia etapa de potencia también [33].

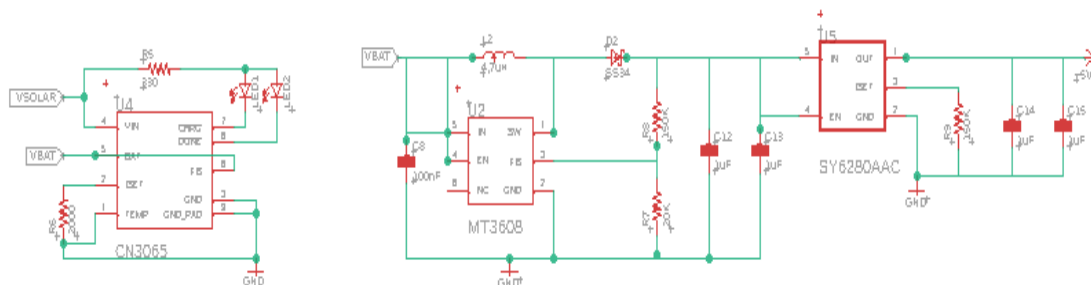


Figura 43. Etapa de potencia DFR0559

La alimentación desde el panel solar llega a la placa principal llega a través de una alimentación de 5V estables. Esta tensión nos sirve para alimentar los sensores, pero no para el microcontrolador, el módulo de comunicación ni el depurador, que trabajan con tensiones de 3,3V. Ante este problema, la solución es añadir un regulador de voltaje que nos transforme los 5 V en 3,3 V. El regulador elegido para ello es el AP2112K. Se le añaden dos condensadores de 1  $\mu$ F para que las señales de 5 V y 3,3 V estén lo más limpia posible.

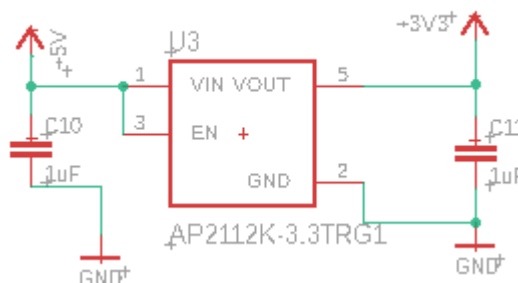


Figura 44. Regulador de tensión AP2112K

Una vez explicado cada parte de la PCB principal, se procede a la colocación y conexión de los componentes sobre la placa principal. El diseño ha sido realizado a doble cara y con la colocación de los componentes más adecuada para minimizar la

longitud de las pistas y el número de vías. Según el tamaño de la caja de protección, el tamaño máximo para la PCB debía ser 66,2 x 92 mm y el tamaño final que tiene es de 55 x 50 mm.

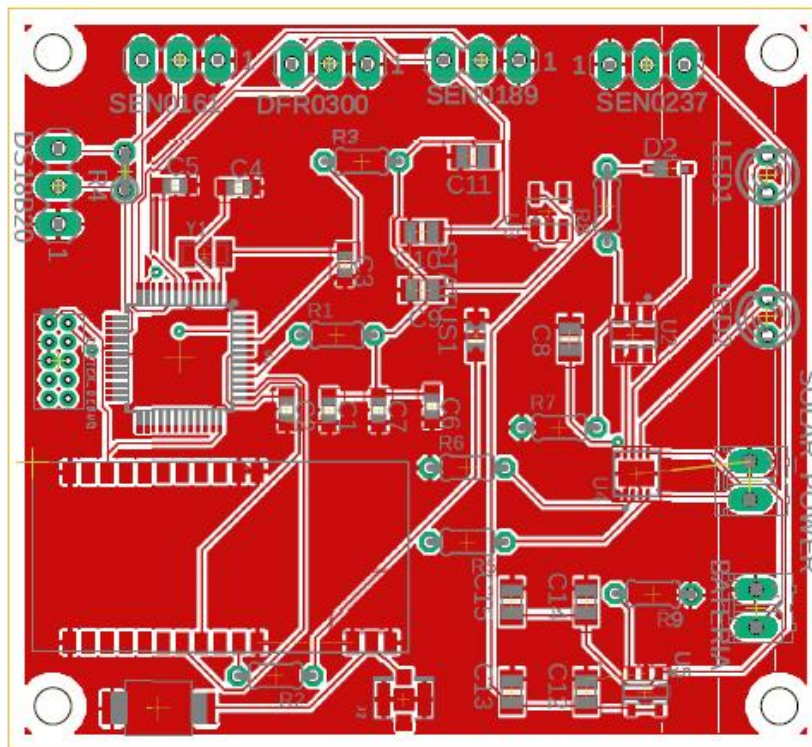


Figura 45. Diseño de la cara top de la PCB de calidad del agua salada

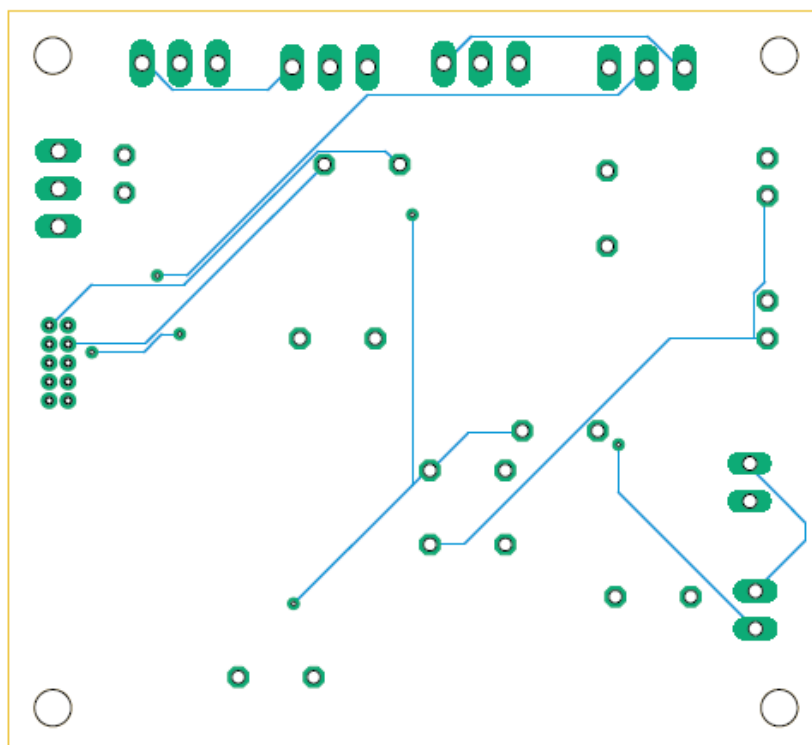


Figura 46. Diseño de la cara bottom de la PCB de calidad del agua salada

En la cara top de la PCB se ha añadido un polígono o plano de masa. Este plano cumple varias funciones, entre las cuales están reducir la interferencia electromagnética presente en la placa, generar una mayor área de disipación de potencia y permite realizar conexiones más sencillas a tierra.

El diseño de la PCB tiene una serie de especificaciones que hacen falta facilitar al fabricante a la hora de encargarse de la creación de esta. Algunas de estas especificaciones deben estar reflejadas en los gerbers de la PCB, como pueden ser el tamaño de pistas, la separación de pistas o el tamaño de los taladros.

El ancho mínimo de las pistas en una PCB puede calcularse a partir de tres datos: La corriente máxima que puede pasar por las pistas, el incremento máximo de temperatura que puede soportar y el grosor.

La expresión que permite el cálculo del ancho es la siguiente:

$$\text{Ancho} = \frac{\text{Área}}{L * 1,378} \dots [th^2]$$

El grosor de pista (L) es un dato que permite elegir el fabricante. Cuando se habla de grosor de pista se hace referencia a la "altura" de la pista respecto al material que sirve de base en la placa. Debido a que el grosor de las pistas no es dato que influya en el resto de los apartados, se ha decidido elegir un valor normalizado que puedan tener la mayoría de los fabricantes, el valor elegido de grosor de pista es el estándar de 1 onza por pie cuadrado, que equivale a un valor de 35 micras.

El área debe ser calculada con otra expresión diferente:

$$\text{Área} = \left( \frac{I}{k_1 * \Delta T k_2} \right) / k_3 \dots [th^2]$$

La corriente máxima es un dato que se obtiene observando las hojas de características de cada elemento conectado, siendo el elemento con mayor corriente el módulo de comunicación de Sigfox con 50 mA. La temperatura ambiente se supondrá que es de 25 grados y la máxima temperatura que alcance será de 10 grados más. k1, k2 y k3 son constantes que depende de si la pistas son internas o externas. En este caso, al tener solo 2 capas, se trata de pistas externas. Por tanto, los valores de las constantes sería 0,0647, 0,4281 y 0,6732 respectivamente.

Sustituyendo estos valores en la ecuación obtenemos el valor del área y, por tanto, el valor del ancho mínimo de pista:

$$\text{Área} = \frac{0,05}{0,0647 * (35 - 25) * 0,4281} = 0,268149 \text{ th}^2$$

$$\text{Ancho} = \frac{0,268149}{1 * 1,378} = 0,19459 \text{ th}^2 = 0,0482 \text{ mm}$$

Como se puede apreciar, es un valor pequeño si lo comparamos con las opciones que ofrece Eagle como valores estándar, siendo el mínimo de 0,0762 mm. En el presente proyecto se ha decidido utilizar un ancho de 0,1524, un poco mayor del mínimo

recomendado.

Respecto al tamaño de los taladros, es nuevamente un dato donde se debe tener en cuenta las posibilidades que ofrecen los fabricantes. En este caso, se va a elegir un tamaño entre 1 mm y 2,5 mm de diámetro, según permita el fabricante. La razón de este tamaño es debido a que la PCB va a ir atornillada a la caja de protección y por seguridad se busca un tornillo de un grosor elevado para una PCB de este tamaño.

La separación mínima entre pistas viene dada según la tensión que soporten. Para una tensión entre 5 v y 10 v una separación de 0,3 mm es más que suficiente.

Para el acabado superficial de la placa, se busca que cumpla la verificación RoHS, la cual verifica que no se han usado sustancias contaminantes ni peligrosas para su fabricación.

## 4.2 Consumo del sistema

En este apartado se va a calcular el consumo aproximado de cada módulo y en base a ello, el del sistema completo. Con estos datos, se llegará a la conclusión de cuál es la batería necesaria para el presente proyecto.

En primer lugar, se necesita conocer el consumo máximo independiente de cada componente. Estos componentes son el microcontrolador, el módulo de comunicación de Sigfox y los sensores empleados.

Una vez se tengan, se aplicará por seguridad el porcentaje de sobredimensionamiento en los cálculos. Luego, se estimará el tiempo de funcionamiento y el tiempo en que el microcontrolador está en modo Sleep para calcular el consumo a lo largo del día. Finalmente, se podrá elegir la dimensión de la batería más apropiada.

Cuando hablamos de consumo de los componentes, saber entender las hojas de características ofrecida por los fabricantes es clave. Según el datasheet del SAMD21G-A, el consumo del microcontrolador se divide en consumo de la CPU y consumo de los periféricos. En modo normal, el consumo de la CPU es de aproximadamente 10 mA y el de la suma de los periféricos 1,2 mA.

Pasando al siguiente componente, el consumo del módulo de comunicación de Sigfox TD1208r según el fabricante es de 3,45 mA en modo normal y de 50 mA cuando está enviando datos. Teniendo en cuenta que el módulo tarda unos 10s como máximo en subir los datos a la nube y que lo hace cada 10 minutos, puede calcularse el consumo del módulo en un tiempo estimado.

A continuación, se calculará el consumo de los sensores. Empezando por el sensor de temperatura DS18B20, este tiene un consumo máximo de 1,5 mA en funcionamiento. El sensor de pH SEN0161 y el sensor de conductividad eléctrica DFR0300 según sus datasheets tienen un consumo máximo en funcionamiento de 10 mA cada uno. El consumo en funcionamiento del sensor de oxígeno disuelto en agua SEN0237-A es de 20 mA. Por último, el sensor de turbidez SKU: SEN0189 tiene un consumo máximo de 40 mA.

Estas corrientes son consumidas por los sensores cuando están en funcionamiento,

siendo de 60 s un tiempo de funcionamiento más que suficiente para que las mediciones sean fiables. El consumo de los sensores cuando no están recogiendo datos no se tendrá en cuenta, ya que el consumo es de unos pocos microamperios.

Con estos datos se puede hacer una tabla con el consumo de los componentes para verlo de forma más clara:

Módulo	Consumo máximo de corriente
Microcontrolador	10 mA
Periféricos de la CPU	1,2 mA
Módulo de comunicación de Sigfox	50 mA
Sensor de temperatura	1,5 mA
Sensor de pH	10 mA
Sensor de conductividad eléctrica	10 mA
Sensor de oxígeno disuelto en agua	20 mA
Sensor de turbidez	40 mA

Tabla 16. Consumo de cada componente

Si se suman todas las corrientes, se obtiene un consumo total de 142,7 mA. A este consumo, hay que añadirle además un porcentaje de seguridad del 15 %, por lo que el consumo total ascendería a un total de 164,11 mA en funcionamiento.

Sin embargo, hay que tener en cuenta dos cosas respecto al consumo de corriente. En primer lugar, el modo Low Power o modo Sleep del microcontrolador. Este modo permite entrar al controlador en un estado de hibernación, reduciendo su consumo de unos 11,2 mA a un consumo de unas pocas decenas de  $\mu\text{A}$ , aproximadamente 35-37  $\mu\text{A}$ . El microcontrolador entrará en modo Sleep una vez se han subido los datos a la red Sigfox, tras aproximadamente 1 minuto y 10 segundos, el tiempo de medida y subida de datos.

En segundo lugar, el consumo del módulo de comunicación y los sensores cuando no están activos. Como se dijo anteriormente, el módulo Sigfox solo transmite datos durante 10 s cada 10 minutos, el resto del tiempo, el consumo pasa a ser de 50 mA a 3,45 mA. Pasa igual con los sensores, pero estos están activos durante 60 s cada 10 minutos y luego pasan a consumir unos pocos microamperios.

Con estos datos se puede realizar un cálculo más aproximado del consumo medio en una hora:

$$I_{\text{microcontrolador}} = 11,2 \text{ mA} * \frac{420 \text{ s}}{3600 \text{ s}} + 0,037 \text{ mA} * \frac{3180 \text{ s}}{3600 \text{ s}} = 1,34 \text{ mAh}$$

$$I_{\text{modulo de comunicación}} = 50 \text{ mA} * \frac{60 \text{ s}}{3600 \text{ s}} + 3,45 \text{ mA} * \frac{3540 \text{ s}}{3600 \text{ s}} = 4,23 \text{ mAh}$$

$$I_{\text{sensores}} = 1,5 \text{ mA} * \frac{360 \text{ s}}{3600 \text{ s}} + 10 \text{ mA} * \frac{360 \text{ s}}{3600 \text{ s}} + 10 \text{ mA} * \frac{360 \text{ s}}{3600 \text{ s}} + 20 \text{ mA} * \frac{360 \text{ s}}{3600 \text{ s}} + 40 \text{ mA} * \frac{360 \text{ s}}{3600 \text{ s}} = 8,15 \text{ mAh}$$

$$I_{\text{media total}} = 1,34 \text{ mAh} + 4,23 \text{ mAh} + 8,15 \text{ mAh} = 13,72 \text{ mAh}$$

La diferencia es muy notable, siendo el consumo medio más de diez veces menor que el consumo máximo de la sonda. Con estos datos se puede comenzar la búsqueda de una batería apropiada.

A la hora de elegir la batería, se priorizará mantener la vida útil de la batería el máximo tiempo posible. Para ello, es importante mantener el nivel de carga entre el 30 % y el 80 % para evitar que la batería se dañe sensiblemente. A consecuencia de esto, se considerará el 80 % de la batería como el nivel máximo de carga y la batería se dejará de cargar cuando llegue a un nivel de voltaje de 4 V.

Otro aspecto a tener en cuenta es la autonomía de la batería. En caso de mal tiempo, el panel solar no podrá alimentar a la sonda y cargar la batería, por lo que la batería deberá tener al menos capacidad de almacenaje suficiente para alimentar a la sonda durante 3 días.

De este modo, se puede calcular la capacidad mínima que debe tener la batería

$$I_{\text{minima bateria}} = 13,72 \text{ mAh} * 24 \text{ h} * \frac{1}{0,8} * 3 \text{ días} = 1234,8 \text{ mAh}$$

Finalmente, se ha elegido la batería LiPo recargable ICR18650 de 3,7 V y 1800 mAh, fabricada por NIMO. Con este modelo, debería ser más que suficiente para mantener la alimentación del sistema de tele-medición.



Figura 47. Batería LiPo ICR18650

## 4.3 Diseño físico del sistema

En el apartado de diseño físico del sistema, la atención se centrará en la visualización y distribución de los distintos componentes de los que se ha estado hablando durante el proyecto.

### 4.3.1 Montaje final de la sonda de tele-medición

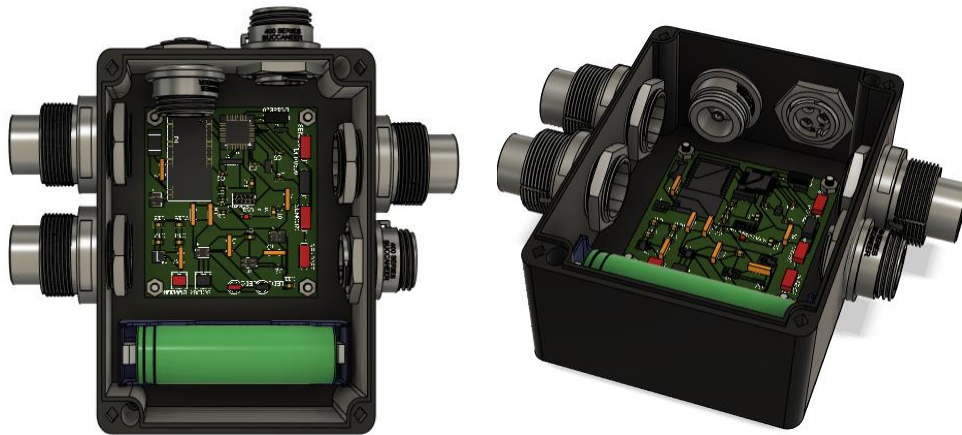
Tras haber explicado el uso del programa de diseño 3D, a continuación, se describirá el proceso de ensamblado de los componentes que se ido viendo a lo largo del proyecto.

En primer lugar, se comprueba el mejor lugar dentro de la caja de protección para realizar los agujeros y posicionar la PCB y el portabaterías. Estos dos elementos serán atornillados a la pared inferior de la caja, dejando un espacio entre la PCB y las paredes laterales para las conexiones necesarias.



Figura 48. Posicionamiento PCB y batería dentro de la caja de protección

Una vez posicionadas la batería y la placa principal, es hora de buscar la mejor manera de posicionar los sensores y la antena. Debido a la altura del portabaterías y la batería, la pared más cercana queda imposibilitada para realizar agujeros en ella, así que los cinco sensores y la antena se posicionarán en las otras tres paredes laterales. Cada uno de los paneles de conexión de los sensores y la antena se ha colocado lo más próximo a su conexión con la PCB, buscando la manera óptima de conectar los elementos.



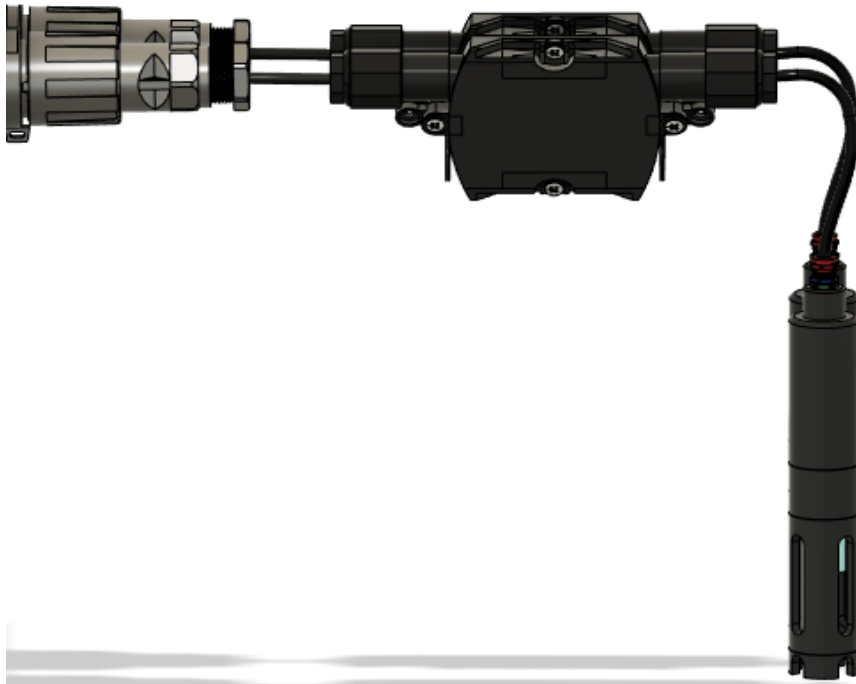
*Figura 49. Posicionamiento PCB y batería dentro de la caja de protección*

A continuación, se colocan los conectores de protección Bulgin a los elementos externos del dispositivo. Una vez colocados en el sensor de temperatura y la antena, los conectores se unen a los paneles de conexión.



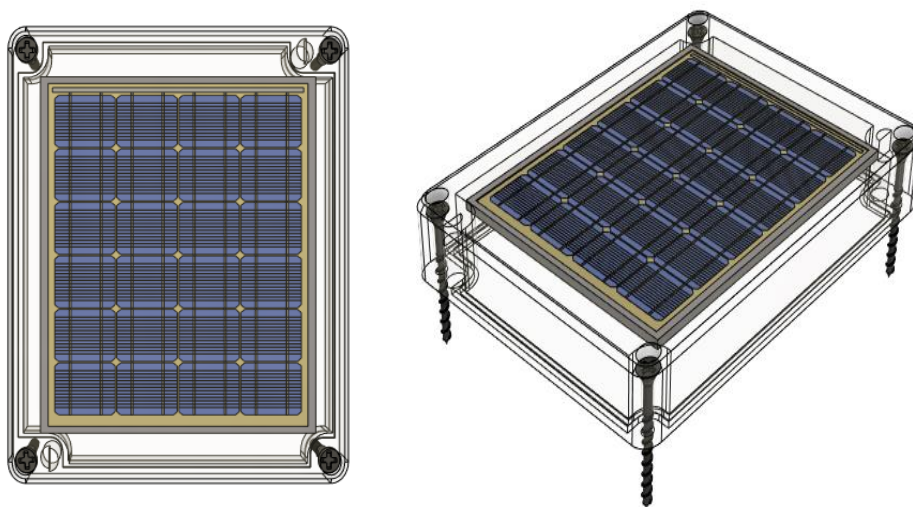
*Figura 50. Posicionamiento de los conectores de protección*

Una vez se tienen todos los conectores de protección, se incluyen las cajas de conexiones secundarias que tienen los circuitos integrados de los sensores en su interior. Por un extremo llevan conectados los sensores y por otro se conectan a los conectores del sistema principal.



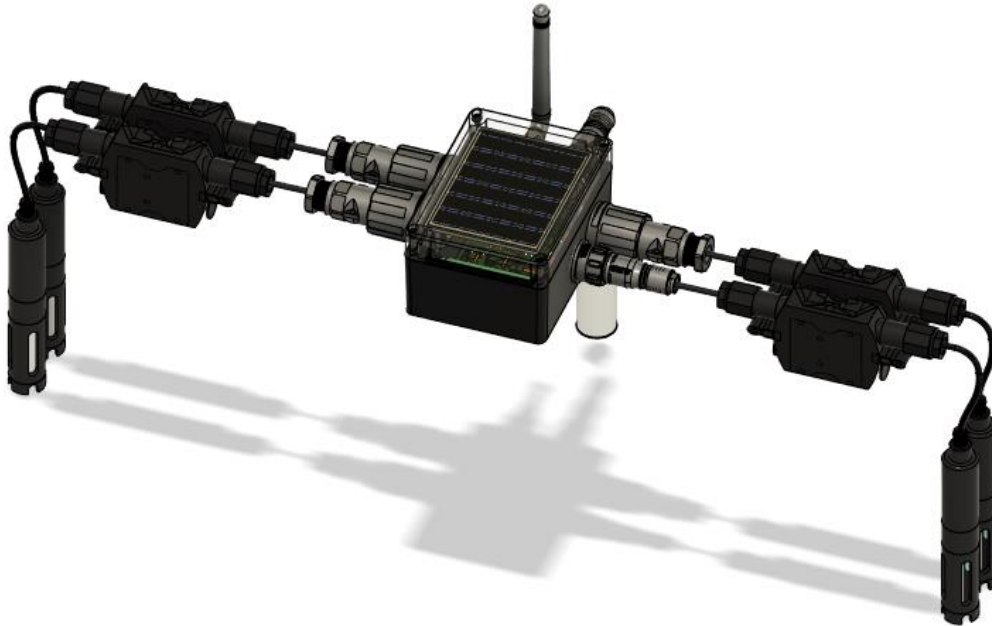
*Figura 51. Conexión cajas de protección secundarias*

Para finalizar el montaje, se debe instalar la alimentación del sistema, el panel solar. Lo primero que se debe tener en cuenta es que el panel solar debe estar posicionado en dirección perpendicular al sol, por lo que el lugar más práctico es la pared superior de la caja. Esta caja de protección tiene la parte superior transparente, por lo que no hay ningún problema a la hora de colocar el panel dentro de la caja. A la hora de sujetar el panel, debe tenerse en cuenta que no es recomendable agujerear los paneles solares, por lo que la opción de atornillarla es descartada. Es por ello por lo que debe usarse un método de sujeción alternativo. En este proyecto se va a utilizar un adhesivo de resina epoxi para unir el panel a la cara superior interior de la caja.



*Figura 52. Posicionamiento panel solar*

Para concluir, se muestra una imagen completa del diseño final del modelo. En el Anexo se incluyen más imágenes del diseño final desde distintas vistas.



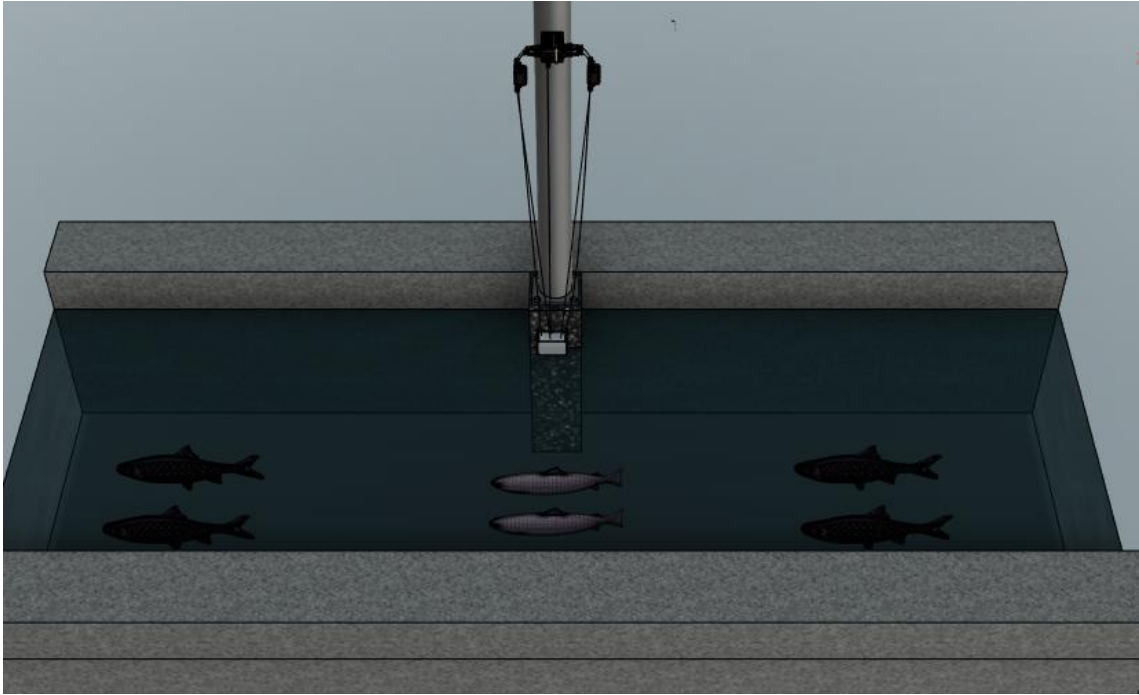
*Figura 53. Diseño final del sistema de tele-medición*

#### **4.3.2 Instalación en punto de muestreo**

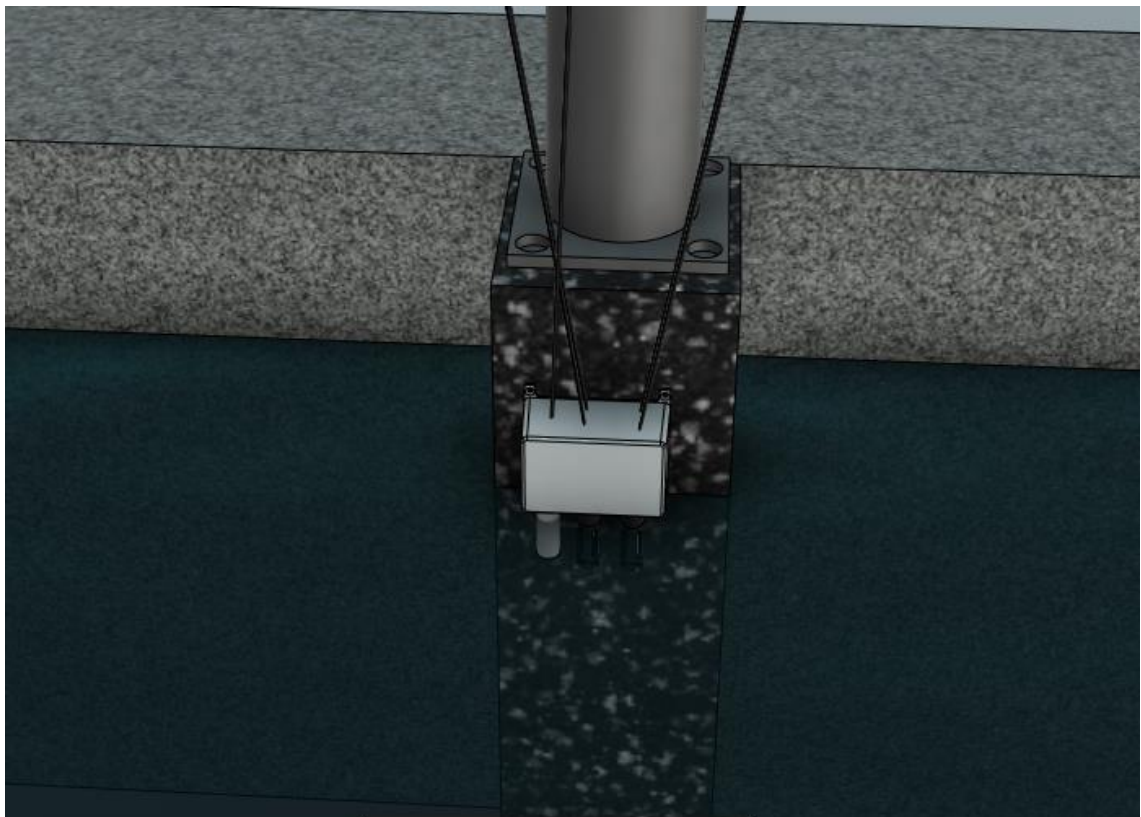
Para dar una visión global de la instalación del proyecto, se ha realizado un entorno simulado donde podría posicionarse un punto de muestreo. El ejemplo que se mostrará a continuación es una de tantas formas en las que se puede realizar la instalación de una sonda como esta. Dependiendo del lugar y sus particularidades, la instalación puede ser más sencilla o más compleja.

La instalación simulada se realiza en un estanque de un sistema tecnológico de cría intensivo. Este tipo de sistema tiene como objetivo desarrollar la productividad y la eficiencia, para ello necesitan de un mayor control de todos los parámetros del agua.

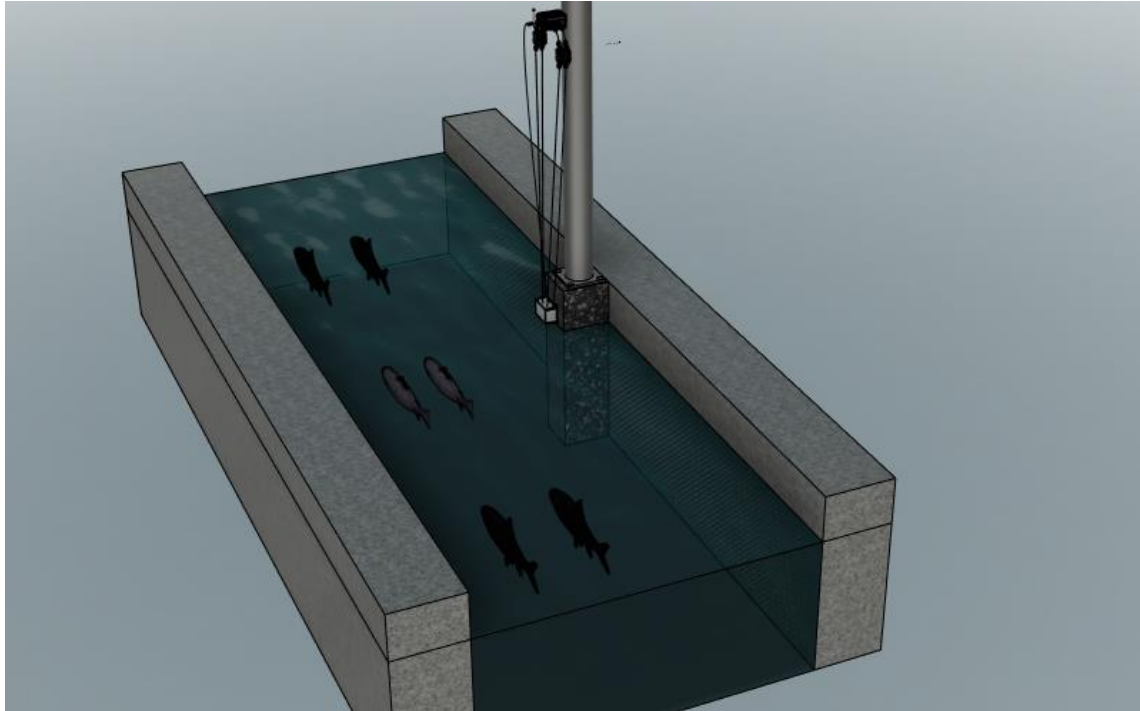
En este caso, se ha decidido fijar la sonda de tele-medición sobre un poste de metal a una altura de 1,5 metros. Teniendo en cuenta el flujo del agua, para aumentar la protección contra impactos y posibles enredos de los cables, se ha decidido que las sondas de los sensores se introducirán de forma vertical en una nueva caja atornillada a una pared muy cerca del agua. De esta forma, la parte inferior de las sondas quedan en contacto con el agua y el resto queda en el interior de la caja.



*Figura 54. Punto de muestreo*



*Figura 55. Caja de sondas*



*Figura 56. Instalación completa*

## **4.4 Presupuesto del sistema**

Una vez que se tienen claros todos los componentes y se realizado el diseño de la PCB, es hora de realizar el presupuesto total del proyecto. En primer lugar, se va a calcular el coste de la PCB, ya que el coste del resto de los componentes se puede obtener directamente de las páginas webs de los proveedores.

### **4.4.1 Presupuesto PCB**

El precio de fabricación de la PCB depende de las especificaciones que se elijan, como las dimensiones de la placa, las piezas, el número de piezas, el número de capas, el grosor de las pistas, los materiales usados, el acabado o el stencil. Estas especificaciones generales se han definido en el diseño de la placa. Si el fabricante ofrece alguna especificación particular en algún punto, se comentará cuando se pida el presupuesto.

Con el fin de conseguir la mejor opción a la hora de encargar la fabricación de la PCB principal de la sonda tele-medicación, se va a realizar una comparación entre varios de los fabricantes con más popularidad dentro del sector, teniendo en cuenta el precio final de fabricación y el tiempo de envío.

Los fabricantes elegidos para pedir el presupuesto son JLC-PCB, ALLPCB y PCBWAY. Estos fabricantes a partir de las especificaciones y del gerber de la placa, ofrecen un presupuesto para una fabricación mínima de 5 unidades. Al precio de cada pedido hay que añadir el precio de la platilla SMD o stencil, la plantilla de aluminio que se utilizará para aplicar la pasta de soldadura en los pads del PCB.

Dentro de la cotización en línea de cada uno de los fabricantes, el que más especificaciones y mayor personalización en la PCB permite es JLC-PCB. Aunque todos cumplen con las especificaciones iniciales, esta empresa ofrece mayores rangos de trabajo en algunas especificaciones, como en el grosor y ancho de pistas o el tamaño de los agujeros.

A parte de estas especificaciones, JLC-PCB ofrece también la posibilidad de elegir distintos materiales de base con mayor o menor resistencia al calor, como FR-4, aluminio o cobre. Aunque el material de base que se va a utilizar es compuesto de resina epoxídica reforzada de fibra de vidrio (FR-4), opción que ofrecen también el resto de los fabricantes.

Las posibilidades que ofrecen AllPCB y PCBWAY respecto a la fabricación son muy similares. Tras comentar las principales diferencias, se incluye una tabla con el presupuesto de cada fabricante para 5 PCBs, la plantilla SMD, los gastos de envío y el tiempo de envío.

Fabricante	Coste PCB	Stencil	Gastos de envío	Gastos totales	Tiempo de envío
JLC-PCB	3,10 €	7,05 €	29,78 €	39,93 €	2 días
ALLPCB	5 €	20 €	20,91 €	47,91 €	3 días
PCBWAY	5 €	15 €	42 €	62 €	7 días

*Tabla 17. Comparación fabricantes PCB*

Como se puede comprobar, JLC-PCB aparte de ser el fabricante con mayores posibilidades en el diseño, es el más barato de los tres y el que tiene el menor tiempo de envío. El precio unitario de fabricación sería de 7,986 €.

#### **4.4.2 Presupuesto componentes de la PCB principal**

Una vez se tiene el presupuesto para la fabricación de la PCB, se necesitan comprar los componentes integrados en la placa. A continuación, se enumerarán estos componentes y se buscará su precio en distintos distribuidores de internet.

La búsqueda de los componentes se realizará principalmente en la página web de Farnell, un distribuidor de componentes electrónicos de gran fiabilidad. Si el distribuidor en cuestión no tiene en venta el componente necesario, se buscará en otros distribuidores como Mouser o RS Components.

Componente	Valor	Fabricante	Cantidad	Precio
ATSAMD21G-A		Microchip	1	2,99 €
TD1208R		TD-Next	1	17,82 €
CN3065		Consonance	1	6,95 €
MT3608		Vanxy	1	1,36 €
SY6280AAC		Silergy	1	0,42 €
Debugger		Microchip	1	22,99 €
Cristal de cuarzo	32,768 MHz	Abracon	1	0,525 €
Resistencia	150 k $\Omega$	Multicomp PRO	2	0,0806 €
Resistencia	20 k $\Omega$	Multicomp PRO	1	0,0403 €
Resistencia	10 k $\Omega$	Multicomp PRO	2	0,0806 €
Resistencia	4,7 k $\Omega$	Multicomp PRO	2	0,0572 €
Resistencia	2000 $\Omega$	Multicomp PRO	1	0,0403 €
Resistencia	330 $\Omega$	Multicomp PRO	1	0,0302 €
Resistencia	220 $\Omega$	Multicomp PRO	1	0,0292 €
Condensador	1 $\mu$ F	RUBYCON	6	1,5534 €
Condensador	15 pF	Multicomp PRO	4	1,0648 €
Condensador	10 $\mu$ F	RUBYCON	1	0,2105 €
Condensador	0,5 pF	Vishay	1	1,15 €
Condensador	0,1 $\mu$ F	Vishay	3	0,4938 €
Condensador	100 nF	Vishay	1	0,1646 €
Bobina	BLM18PG471SN1D	Murata electronics	1	0,09 €
Bobina	4,7 $\mu$ H	Vishay	1	4,13 €
LED verde		Kingbright	2	1,0358 €
LED rojo		Broadcom	1	0,8543 €
Diodo	0,5 pF	ON Semiconductor	1	0,4586 €
Diodo	SS34	Multicomp PRO	1	0,1694 €
Conector antena		Amphenol RF	1	0,6317 €
Conector sensor		Phoenix contact	5	7,381 €
Bloque de 3 terminales		Phoenix contact	2	2,6378 €
			Total:	75,44 €

Tabla 18. Presupuesto componentes PCB

### 4.4.3 Presupuesto del sistema completo

Una vez que ya tenemos el presupuesto de la PCB y los componentes que la forman, queda añadir al presupuesto la lista de elementos que terminan de formar el sistema completo. Entre estos elementos se encuentran las carcasas de protección, los conectores, la batería, el panel solar y la antena. Una vez más, el precio de los elementos se ha consultado en distintos proveedores como Farnell, Mouser o Rs Components.

Componente	Fabricante	Cantidad	Precio
Sensor DS18B20	SparkFUN	1	7,44 €
Sensor SEN0161	DFRobot	1	30,72 €
Sensor DFR0300-H	DFRobot	1	72,79 €
Sensor SEN0237-A	DFRobot	1	182,71 €
Sensor SEN0189	DFRobot	1	8,39 €
Caja principal BEA02SBB0	Bulgin	1	14,61 €
Caja de conexiones secundaria	Tonpop	4	29,98 €
Conector panel PX0412	Bulgin	3	26,49 €
Conector panel PX0805	Bulgin	2	16,42 €
Conector panel antena PX0414	Bulgin	1	31,37 €
Conector sensor PX0410	Bulgin	3	32,64 €
Conector sensor PX0800	Bulgin	2	17,24 €
Conector antena PX0409	Bulgin	1	28,07 €
Placa solar SKU: IC-29004	ISmart	1	4,98 €
Batería LiPo ICR18650	NIMO	1	5,99 €
Tornillos	Phoenix Contact	6	1,89 €
PCB principal	JLC-PCB	1	7,986 €
Componentes PCB			75,44 €
		Total:	595,16 €

Tabla 19. Presupuesto total del sistema

Finalmente se tiene el presupuesto final del sistema al completo. Este presupuesto puede tener variaciones bastante altas en el precio si se diera el caso de producir un gran número de sondas de tele-medición, ya que el precio de los componentes se va reduciendo drásticamente en base a la cantidad de componentes que se piden por paquete.

Aunque parezca un precio elevado de entrada, actualmente no existe en el mercado ningún sistema que realice la mismo de forma remota por un precio tan asequible. Si se compara el precio, la funcionalidad y la flexibilidad del sistema completo con otros

sistemas como los que se comentaron en la introducción, se puede observar el potencial de este sistema en la acuicultura.

# 5 Desarrollo software

---

## 5.1 Desarrollo del programa

El primer paso en el procedimiento experimental es el desarrollo del programa en el entorno de programación Arduino. Este será el encargado del funcionamiento del dispositivo. En este apartado se hablará de las funciones del programa, de la estructura del código y del método de actuación del programa.

Las principales operaciones de las que se encarga el programa son:

- ⊙ Medición de los parámetros del agua salada: Gracias a los sensores incorporados, se podrá recoger la información del estado del agua en todo momento,
- ⊙ Análisis de datos: A partir de los datos recogidos, se calcularán otros parámetros y se podrá verificar la coherencia de los datos.
- ⊙ Data logger: Registro de los datos recogidos.
- ⊙ Comunicación de datos: Los datos se subirán a la red Sigfox cada diez minutos, indicando si alguna variable tiene un valor fuera de lo normal.

La estructura del código comienza con las dos funciones imprescindibles para el funcionamiento de cualquier programa. Se trata de las funciones setup y loop. La primera se encarga del inicio del programa, se ejecuta una sola vez al iniciar el programa. La segunda se repite de forma cíclica y es donde se encuentra el código del programa a ejecutar.

En la función setup se encuentra la inicialización de los sensores, de la placa solar, las llamadas a las distintas funciones y la configuración de los pines del Arduino como entradas o salidas, dependiendo de su uso.

En la función loop contiene la secuencia de funciones que realizará el dispositivo cuando esté en modo lectura. Estas funciones estarán definidas en distintos bloques de funcionamiento del programa para una lectura más clara.

Los distintos bloques se enumeran a continuación:

- ⊙ Ajustes.h: Configuración de pines y declaración de variables, librerías y funciones adicionales
- ⊙ Sensores.h: Configuración de las funciones de tratamiento de datos recogidos por los sensores

- ⊙ Conversions.h: Bloque que se encarga de reducir el tamaño de los datos obtenidos por los sensores, de manera que puedan subirse todos los datos en un único paquete
- ⊙ Transmision.h: Configuración de la comunicación y el envío de datos entre la sonda y la plataforma Sigfox.

A continuación, para acompañar al método de actuación del programa, se muestra un diagrama de flujo del sistema.

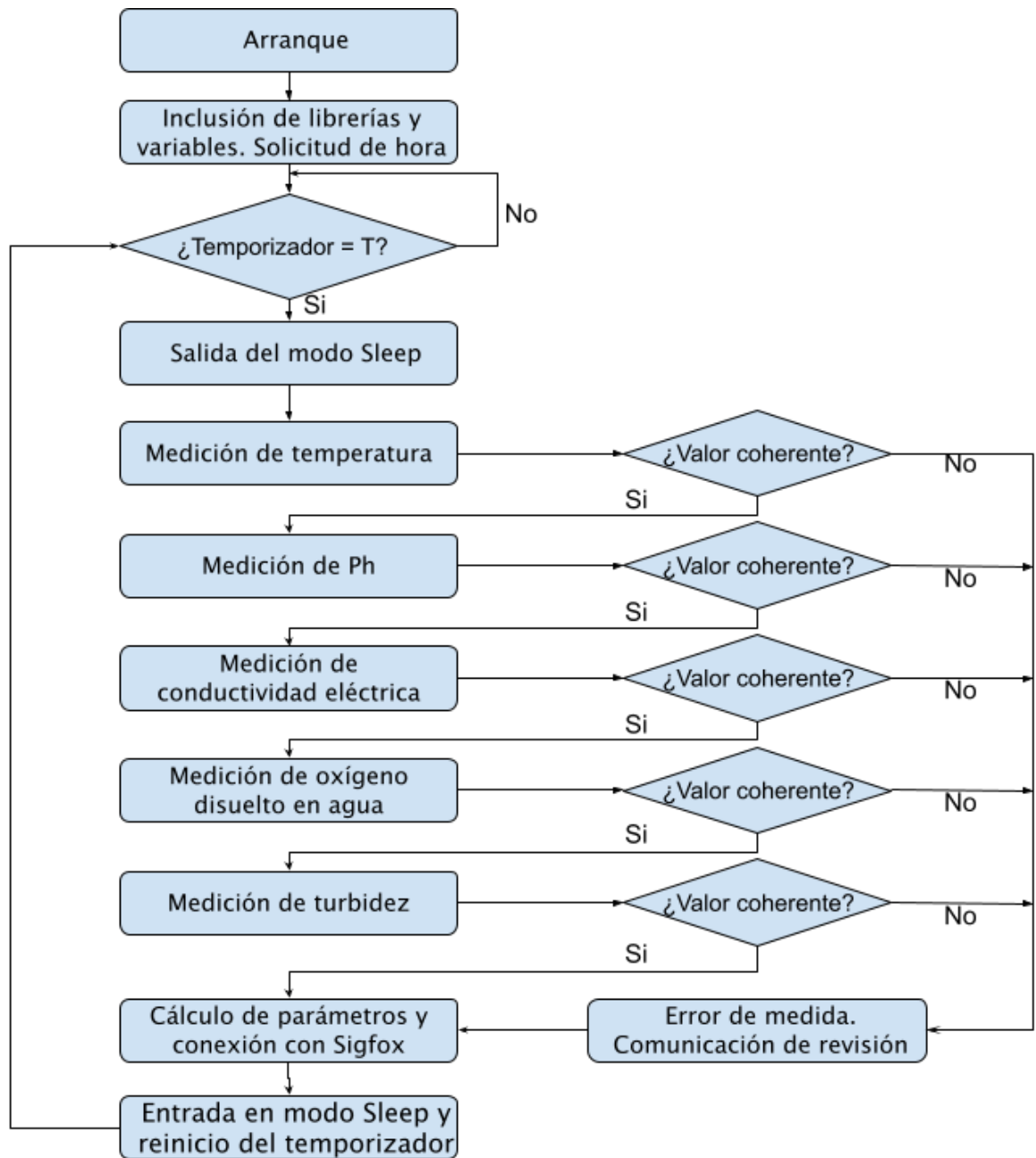


Figura 57. Diagrama de flujo del sistema

En primer lugar, el sistema se inicia, carga las distintas librerías y se definen las

variables que se emplearán. Después, el sistema solicita al servidor de Sigfox saber la hora actual a través de un *downlink* (paquete de bajada). La comunicación *downlink* es el envío de un paquete de datos desde la estación base de Sigfox hacia el dispositivo y solo puede ocurrir como respuesta a una comunicación *uplink* (paquete de subida) realizada desde el dispositivo.

Tras obtener la hora actual, el valor se guarda en una variable y el valor de los minutos será el que se use para comparar con el temporizador. Después, se comprobando el valor de los minutos, si el valor coincide con la variable "T", anteriormente definida con el valor de la decena superior más próxima, el microcontrolador dejará de estar en el modo LowPower, si no, seguirá en este estado hasta que el valor del temporizador coincida con la variable.

En el siguiente paso, los sensores comienzan a realizar las medidas de los parámetros. Para dar fiabilidad a los datos, los sensores realizan diez medidas, de las cuales las dos más altas y las dos más bajas son descartadas. De las seis restantes, se realiza la media y este es el dato final con el que se trabaja.

Si el valor es coherente dentro de un rango, el sistema continúa con la siguiente medida, si no lo es, se sube un mensaje de error a la nube directamente. Este procedimiento se hace con cada una de las cinco mediciones de los sensores.

Una vez se han obtenido todas las variables medidas por los sensores, es hora de subir los datos a la nube. El principal problema de este apartado es que los datos que ofrecen los sensores son de tipo *float*, los cuales ocupan un espacio de 4 bytes. Teniendo en cuenta que la máxima longitud que puede tener un paquete de Sigfox es de 12 bytes, sería inviable subir todos los datos de los sensores en un mismo paquete.

Para solucionar este problema, se utilizará una función del bloque *conversions.h*, con la cual se puede transformar una variable de tipo *float* (4 bytes) a una de tipo *int* (2 bytes). El método que se basa en comprimir la información, haciendo uso de los parámetros que se insertan en la función. De este modo se obtiene un factor de compresión que deberá utilizarse para descomprimir los datos posteriormente.

Para finalizar, se reinicia el temporizador a 0 y el microcontrolador vuelve a entrar en el modo de ahorro de energía, el modo LowPower o sleep, hasta el siguiente periodo de medidas.

## 5.2 Calibración de sensores

En este apartado se realizará la calibración de los sensores escogidos anteriormente, asumiendo que no tienen ningún tipo de defecto de fábrica. Este proceso es necesario para poder corregir inexactitudes en la información proporcionada por los sensores.

### 5.2.1 Calibración del sensor de temperatura

El ensayo de calibración de temperatura puede realizarse fácilmente con un termómetro de precisión. Se tendría que realizar una serie de mediciones con el termómetro de medición, tomarlas como valores de referencia y luego medir las mismas muestras con el sensor DS18B20. A partir de estos datos puede sacarse un valor de offset con el que corregir los valores del sensor.

Si no se tiene acceso a un termómetro de medición, se puede realizar otro método menos preciso, pero igualmente eficaz.

Este otro ensayo de calibración usa como muestras un recipiente con agua en su punto de ebullición y un recipiente con agua a 0 °C. El primer paso del proceso consiste en establecer los valores de 100 °C y 0 °C como valores de referencia.

Para el ensayo a 100 °C se prepara un recipiente con agua destilada y se empieza a hervir. Cuando el agua llega a su punto de ebullición, se introduce el sensor y se mantiene hasta que el valor de estabilice. Este es el valor de medida para la temperatura a 100 °C.

Para el ensayo a 0 °C, se coge un recipiente y se llena de hielo picado. A continuación, se vierte agua destilada fría en el recipiente y volvemos a añadir más hielo. Cuando pasen unos minutos y se asegure que sigue habiendo hielo en la parte inferior, se introduce el sensor y se mantiene hasta que se estabilice la medida.

Con estas medidas y la expresión siguiente ya se pueden ajustar las mediciones de temperatura del sensor:

$$T_{ajustada} = \frac{T_{medida} - T_{medida\ 0\ ^\circ C}}{T_{medida\ 100\ ^\circ C} - T_{medida\ 0\ ^\circ C}}$$

Si los valores de medida están dentro del margen de error que ofrece el fabricante de  $\pm 0.5\ ^\circ C$  para la medida a 0 °C y  $\pm 1\ ^\circ C$  para la medida a 100 °C, el sensor no necesita ajuste.

### 5.2.2 Calibración del sensor de pH

Como recordatorio, el datasheet del fabricante de la sonda de medición de pH ofrece una tabla donde se muestran los valores de voltaje en el electrodo y los valores respectivos de pH a 25 °C, pero la sonda de pH viene con un circuito acondicionador de tensión incorporado que proporciona una lectura en Arduino de 0 - 5 V.

El primer paso para calibrar el sensor de pH es calcular la conversión del voltaje que nos dará el sensor ante un valor de referencia de pH. Para esto, se necesitan algunas muestras con un pH específico y medir el voltaje que nos da el sensor.

Lo más recomendable es utilizar soluciones de calibración en sobre o en líquido. Estas soluciones se venden de diferentes medidas pH, pero lo más común es usar una solución de pH base, una acida y una neutra dentro del rango de agua potable, entre un pH de 4 y 10. Un ejemplo pueden ser soluciones de pH 4,01, pH 6,86 y pH 9,18 de la marca Hanna.

Para tomar las medidas, se conecta el sensor al microcontrolador y se carga el código de ejemplo que ofrece el fabricante. Luego se introduce la sonda de pH en una de las soluciones y se espera hasta que el valor se estabilice. Una vez se obtenga el valor, se limpia la sonda con agua destilada y se realiza el mismo experimento en otra de las soluciones.

Teniendo en cuenta que el sensor es lineal, una vez tomadas las medidas, con dos de ellas se puede calcular la recta de calibración del sensor de pH a través de la fórmula  $y = mx + b$ , siendo  $x$  el voltaje  $e$  y el pH. Una vez calculadas  $m$  y  $b$ , la expresión que define el pH quedaría tal que:

$$Ph = m * V_{medida} + b$$

### 5.2.3 Calibración del sensor de conductividad eléctrica

La base del ensayo de calibración del sensor de conductividad eléctrica es similar al ensayo del sensor de pH.

En primer lugar, se necesitan dos muestras de referencia de conductividad eléctrica. Estas soluciones estándar de conductividad, al igual que las de pH, son distribuidas comúnmente para la calibración de sensores por muchas empresas, entre las cuales se pueden destacar algunas como Hamilton, Hach o la anterior mencionada Hanna.

Recordando que el rango de trabajo del sensor es de 10 mS/cm – 100 mS/cm, se pueden utilizar dos soluciones estándar de por ejemplo 20 mS/cm y 50 mS/cm, ya que el rango de conductividad eléctrica del agua salada suele ser entre 35 – 52 mS/cm.

Para tomar las medidas, se comprueba que la temperatura de la disolución este a 25 °C y se conecta el sensor al microcontrolador. Luego, cargamos el programa de ejemplo que ofrece el fabricante e introducimos la sonda en la primera solución estándar. Cuando la medida se estabilice, limpiamos la sonda con agua destilada y repetimos el mismo procedimiento con la segunda muestra.

Una vez tengamos las dos medidas, se puede calcular la recta de calibración del sensor de conductividad eléctrica como hemos hecho anteriormente con el sensor de pH, a través de la fórmula  $y = mx + b$ , siendo esta vez la componente  $y$  la conductividad eléctrica. La línea que describe la relación de la tensión y la conductividad quedaría tal que así:

$$Conductividad\ electrica = m * V_{medida} + b$$

### 5.2.4 Calibración del sensor de oxígeno disuelto en agua

Los cambios de temperatura tienen un gran efecto en la saturación de oxígeno disuelto. Para mejorar la precisión, es necesario considerar los cambios en el oxígeno disuelto y el voltaje de saturación provocados por estos cambios de temperatura.

Es necesario medir el voltaje de saturación a dos temperaturas diferentes para obtener una curva de compensación de temperatura. Como dato, se conoce la

relación entre la temperatura y el oxígeno disuelto a presión atmosférica estándar.

T (°C)	DO (g/l)	T (°C)	DO (g/l)	T (°C)	DO (g/l)
1	14,22	16	9,86	31	7,43
2	13,8	17	9,64	32	7,3
3	13,44	18	9,47	33	7,17
4	13,08	19	9,27	34	7,06
5	12,76	20	9,09	35	6,94
6	12,44	21	8,91	36	6,84
7	12,11	22	8,74	37	6,72
8	11,83	23	8,57	38	6,6
9	11,56	24	8,41	39	6,52
10	11,29	25	8,25	40	6,4
11	11,04	26	8,11	41	6,33
12	10,76	27	7,96	42	6,23
13	10,54	28	7,83	43	6,13
14	10,31	29	7,68	44	6,06
15	10,06	30	7,56	45	5,97

*Tabla 20. Relación entre temperatura y oxígeno saturado*

Si se conoce la temperatura y se realiza un ensayo de saturación de oxígeno, se puede calcular la relación entre el voltaje y el oxígeno disuelto en el agua. Para la calibración, se suele realizar dos ensayos a dos temperaturas distintas, dos al 100 % de saturación y otros dos al 0 %. Las temperaturas elegidas son a 15 °C y a 25 °C porque es el rango en el que habitan la mayoría de las especies que se crían en acuicultura.

El método más sencillo para obtener la referencia del 100 % de saturación es tomar una medida del aire, que está saturado de oxígeno. Para ello, se introduce la sonda en agua destilada y se saca al aire libre, retirando las gotas de agua y dejando la sonda húmeda. Cuando la medida se estabilice, se obtiene el valor del 100 % de oxígeno disuelto. Otro método válido es agitar un frasco con agua destilada durante 5 minutos y luego realizar la medida.

Para la referencia al 0 % de saturación, se debe preparar una solución saturada de sulfito de sodio. Esta solución se consigue diluyendo 17g de sulfito sódico en 125 ml de agua destilada. Tras esto, se debe esperar entre 5 y 10 minutos para que se elimine el oxígeno residual existente y entonces se toma la medida del 0 %.

Con estos datos se puede realizar la recta que relaciona el voltaje de la sonda con el oxígeno disuelto en el agua a una temperatura dada y la compensación del voltaje en función de la temperatura.

### 5.2.5 Calibración del sensor de turbidez

A la hora de realizar la calibración del sensor de turbidez, hay que tener en cuenta el efecto de la temperatura en la turbidez del agua. Según los datos del fabricante, la tensión puede variar hasta 0,5 V debido a la temperatura. Por ello, la calibración debe realizarse en función de la temperatura. Se medirá la temperatura con el sensor correspondiente y se hará uso de la curva de calibración para ajustar la medida de turbidez.

Para el ensayo, se utilizará una solución de agua destilada que posee un grado de turbidez de 0 NTU. Una vez tenemos la solución, se tomarán medidas del voltaje entre 10 °C y 50 °C para realizar la curva de calibración semejante a la del fabricante. Según la distribución de los valores, se puede realizar una aproximación por tramos lineales para conseguir una recta de calibración más precisa, ya que en algunos rangos de temperatura la linealidad puede ser distinta.

Una vez se realiza la curva de calibración, puede compararse con la que ofrece el fabricante. En este caso, muestra tres curvas que se han realizado a distintos niveles de turbidez.

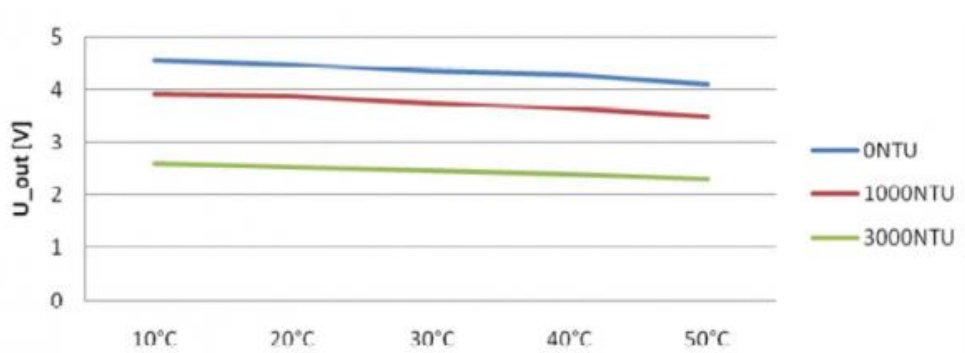


Figura 58. Variación de tensión en función de la temperatura a distinta turbidez

## 5.3 Codificación de la información y transmisión de datos

Para verificar el correcto funcionamiento de la transmisión de datos del dispositivo, se van a realizar una serie de pruebas para comprobar si realmente la sonda de tele-medición es capaz de transmitir una serie de datos a la red Sigfox que posteriormente puedan ser comprobados.

Debido a que no se tiene acceso físico a los sensores que se emplean en el proyecto, las pruebas se realizarán con unos valores fijos en los parámetros. Los valores fijados se han establecido según los parámetros recomendados para la cría de la dorada.

En primer lugar, hay que tener en cuenta la primera interacción que tiene el dispositivo cuando se inicia el programa. Lo primero que hace la sonda de tele-medición al encenderse es enviar un paquete de información solicitando la hora actual. Cuando la plataforma Sigfox recibe este paquete de datos, responde enviando un *downlink* de 4 bytes con el tiempo *Epoch*.

### Device type Arduino\_DevKit\_4 - Edition

**Device type information**

Name

Description

Keep-alive (in minutes)

Subscription automatic renewal  ?

Contracts

If we fail to call one of your callbacks, an email will be sent to the address below so that you can take action to fix the problem.

Alert email

---

**Downlink data**

Downlink mode DIRECT For more details on Downlink modes, please refer to [documentation](#).

Expression must either include hexadecimal encoded bytes (ex: `deadbeefcafebabe`) or the following variables: - `{time}` 4 bytes - `{roaming}` 1 byte

Downlink data in hexa {time}00000000 ?

Figura 59. Solicitud de hora actual

El tiempo *Epoch* es una magnitud que proporciona a la fecha del ordenador un valor numérico expresado en segundos, así como un punto de partida desde el que empezar a contar. De esta manera se obtiene el valor exacto de la hora actual, con la que se ajustará la alarma en los minutos múltiplos de 10, manteniendo una constancia en la hora de subida de datos, independientemente de la hora del encendido del dispositivo.

2021-04-06 14:20:11	219	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 14:10:11	218	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 14:00:11	217	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 13:50:11	216	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 13:48:15	215	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 13:47:31	213	00000000000000000000			

**Downlink status - Acked** ✕

Status : [ACKED]  
 Data (Hexa) :  
 606c4a7400000000

Figura 60. Hora de subida de datos

Hay que tener en cuenta ciertas modificaciones que deben realizarse para visualizar correctamente los datos en la plataforma Sigfox.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta la forma en la que suben de datos a la plataforma. Cuando se quiere subir un dato con un tamaño superior a 1 byte, el orden de subida de los bytes del dato se invierte. Esto quiere decir que, o bien se debe cambiar el orden antes de subir los datos o invertir el orden de los bytes de cada dato una vez se haya descargado el documento con toda la información que se sube a la red. En este caso, se ha decidido hacer en el programa en Arduino.

En tercer lugar, la forma en la que se ven los datos en Sigfox. Los datos del mensaje en el backend se ven en formato hexadecimal, por lo que una vez que se descargue la tabla de datos, se debe realizar una conversión a decimal.



















2021-04-06 18:30:11	244	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 18:20:11	243	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 18:10:11	242	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 18:00:10	241	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 17:50:11	240	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 17:40:10	239	893772a6806f5df30c2f			
2021-04-06 17:30:11	238	893772a6806f5df30c2f			

Figura 61. Datos hexadecimales Sigfox

Por último, la compresión de los datos. Como se comentó en el apartado de desarrollo del programa, para poder subir los datos de los sensores con la precisión de dos decimales en solo dos bytes, se realizó una compresión de los datos. Esta compresión únicamente consistía en multiplicar por un factor de compresión. Una vez se descarguen los datos de Sigfox, hay que descomprimir los datos dividiendo por ese factor de conversión. Tanto la conversión de hexadecimal a decimal como la descompresión de datos se realizarán en una hoja de cálculos de Microsoft Excel.

Como se comentó al principio de este apartado, se han escogido unos valores para los parámetros lo más realista posible con una exactitud de 2 decimales. Los valores usados para las pruebas son:

Temperatura (°C)	pH	Electroconductividad (ms/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Turbidez (NTU)
21,44	6,27	50,17	7,34	2,38

Tabla 21. Valores parámetros del agua



## 6 Conclusiones

---

Tras el desarrollo del proyecto, se ha conseguido diseñar tal y como se propuso en un principio, un sistema capaz de medir los parámetros de calidad del agua salada. Este controlador es capaz de medir todos los parámetros importantes para el control de una piscifactoría, ahorrando una gran cantidad de tiempo y una inmensa cantidad de medidores desechables. El hecho de subir los datos a la red y poder descargarlos en cualquier dispositivo con acceso a internet, añade un interés extra al proyecto.

Este sistema también tiene la capacidad de autoabastecerse energéticamente con la luz solar, de modo que, una vez instalado, no hace falta volver a mover el dispositivo.

El énfasis que se ha hecho en el encapsulado es una de las partes que más importancia tiene en el diseño, ya que las carcasas y los conectores se encargan de proteger la circuitería del agua salada. Cualquier contacto mínimo con ella podría destruir el sistema al completo.

Dado que la fabricación del dispositivo diseñado no formaba parte de los objetivos del presente trabajo, motivado principalmente por la situación sanitaria vivida el último año, se hace entrega junto a la memoria, de un manual de fabricación, y configuración del sistema. De esta forma, cualquier persona interesada en la fabricación para uso particular, podrá hacerlo de forma guiada siguiendo las pautas establecidas en el manual.

En la actualidad, no existen demasiados dispositivos capaces de medir la calidad del agua de forma automática, y las que existen tienen un precio muy elevado. Hoy en día sigue muy extendido el control de los parámetros de forma tradicional, por lo que este dispositivo puede tener un hueco en el mercado actual.

En lo personal, la experiencia desarrollando el trabajo ha sido muy satisfactoria, haciéndome ver la poca importancia que quizás, se le da hoy en día a la acuicultura, siendo un sector tan importante. A diferencia del sector cárnico donde solo se crían unas pocas especies para el consumo humano, en el sector acuícola se pueden criar una cantidad enorme de especies para el consumo, y para ello, lo principal es conocer los parámetros del agua donde habitan.

Si somos capaces de controlar los parámetros de un estanque, seremos capaz de criar la especie que queramos, teniendo de este modo un gran abanico de posibilidades a la hora de elegir que especie más nos interese criar. Todo este sector está en constante desarrollo y resulta de especial interés, además de crear el hábitat ideal para cada especie, registrar las variaciones que se pueden aplicar al agua para estimular ciertas reacciones en los seres vivos, como por ejemplo la reproducción, u otros aspectos importantes desde el punto de vista gastronómico.

# Bibliografía

---

1. FAO [internet]. 2020 [citado 2 de mayo 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/aquaculture/es/>
2. Aqua-medic [internet]. 2020 [citado 2 de mayo 2020]. Disponible en: [https://aqua-medic.de/manuals/AT-Control%20system%20set-manual-ENG\\_13764624632.pdf](https://aqua-medic.de/manuals/AT-Control%20system%20set-manual-ENG_13764624632.pdf)
3. Profilux [internet]. 2020 [citado 2 de mayo 2020]. Disponible en: <http://www.profilux.es/profilux-4/>
4. EnviraIoT [internet]. 2020 [citado 2 de mayo 2020]. Disponible en: <https://enviraio.t.es/estaciones-remotas-personalizadas/>
5. Towers, L. [internet]. 2015 [citado 3 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://thefishsite.com/articles/how-to-achieve-good-water-quality-management-in-aquaculture>
6. David Cline. *Water Quality in aquacultur*. 2019 [citado 9 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://freshwater-aquaculture.extension.org/water-quality-in-aquaculture/>
7. Roberto Rodriguez, Sergio Rodriguez. *La Dureza del Agua*. 2010 [citado 9 de mayo de 2020]. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN);
8. *Acuicultura hoy* [internet]. 2015 [citado 9 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://consideraciones-acuicolas2.webnode.com.co/news/parametros-fisico-quimicos/>
9. *Aprendiendo Arduino* [internet]. 2019 [citado 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2019/06/15/que-es-arduino-8/>
10. Microchip. ATSAM21G18. [internet]. 2020 [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM\\_D21\\_DA1\\_Family\\_DataSheet\\_DS40001882F.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM_D21_DA1_Family_DataSheet_DS40001882F.pdf)

11. Microchip. ATMEGA328. [internet]. 2020 [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en:  
[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
12. NXP. LPC844. [internet]. 2020 [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en:  
<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/LPC84x.pdf>
13. ENDRESS HAUSER. ISEmax CAS40D. [internet]. 2020 [citado 20 de mayo de 2020].  
Disponible en:  
[https://portal.endress.com/wa001/dla/5000396/7645/000/01/TI00491CEN\\_0214.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000396/7645/000/01/TI00491CEN_0214.pdf)
14. Maxim Integrated. DS18B20. [internet]. 2020 [citado 22 de mayo de 2020]. Disponible en:  
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
15. DFRobot. SEN0161. [internet]. 2020 [citado 22 de mayo de 2020]. Disponible en:  
[https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/SEN0161\\_SEN0169\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/SEN0161_SEN0169_Web.pdf)
16. DFRobot. DFR0300-H. [internet]. 2020 [citado 27 de mayo de 2020]. Disponible en:  
[https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_Electrical\\_Conductivity\\_Sensor\\_Meter\\_K=10\\_SKU\\_DFR0300-H](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_Electrical_Conductivity_Sensor_Meter_K=10_SKU_DFR0300-H)
17. DFRobot. SEN0237-A. [internet]. 2020 [citado 27 de mayo de 2020]. Disponible en:  
<https://www.dfrobot.com/product-1628.html>
18. DFRobot. SKU: SEN0189. [internet]. 2020 [citado 27 de mayo de 2020]. Disponible en:  
[https://wiki.dfrobot.com/Turbidity\\_sensor\\_SKU\\_\\_SEN0189](https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189)
19. Sigfox. [internet]. 2020 [citado 15 de julio de 2020]. Disponible en:  
<https://www.sigfox.es/>
20. DSET ENERGY. Sigfox. [internet]. 2020 [citado 15 de julio de 2020]. Disponible en:  
<http://www.dset-energy.com/2019/06/05/tecnologia-sigfox/>
21. Telecom Design. [internet]. 2020 [citado 16 de julio de 2020]. Disponible en:  
<http://www.telecom-design.com/>

22. TD Next. Módulos TD12xx. [internet]. 2020 [citado 18 de julio de 2020]. Disponible en: <http://rfmodules.td-next.com/>
23. Backend de Sigfox. [internet]. 2020 [citado 18 de julio de 2020]. Disponible en: <https://backend.sigfox.com/>
24. Eagle. [internet]. 2020 [citado 20 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/eagle/>
25. DFRobot. DFR0559 [internet]. 2020 [citado 12 de agosto de 2020]. Disponible en: [https://wiki.dfrobot.com/Solar\\_Power\\_Manager\\_5V\\_SKU\\_\\_DFR0559](https://wiki.dfrobot.com/Solar_Power_Manager_5V_SKU__DFR0559)
26. 330ohms. SKU: IC-29004 [internet]. 2020 [citado 10 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.330ohms.com/products/panel-solar-1w-5v>
27. Bulgin. Cajas IP67 [internet]. 2020 [citado 15 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.bulgin.com/es/products/range/enclosures.html>
28. Bulgin. BE Enclosures [internet]. 2020 [citado 16 de agosto de 2020]. Disponible en: [https://www.bulgin.com/products/pub/media/bulgin/data/Enclosures\\_datasheet.pdf](https://www.bulgin.com/products/pub/media/bulgin/data/Enclosures_datasheet.pdf)
29. Bulgin. Serie 400 [internet]. 2020 [citado 26 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.bulgin.com/es/products/range/circular-power-connectors/400-series.html>
30. Bulgin. 400 series Buccaneer [internet]. 2020 [citado 26 de agosto de 2020]. Disponible en: [https://www.bulgin.com/products/pub/media/import/attachments/400\\_power.pdf](https://www.bulgin.com/products/pub/media/import/attachments/400_power.pdf)
31. Bulgin. Serie Mini [internet]. 2020 [citado 4 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.bulgin.com/es/products/range/circular-power-connectors/mini-series.html>
32. Bulgin. SMB Buccaneer [internet]. 2020 [citado 4 de septiembre de 2020]. Disponible en: [https://www.bulgin.com/products/pub/media/bulgin/data/400\\_SMB.pdf](https://www.bulgin.com/products/pub/media/bulgin/data/400_SMB.pdf)
33. DFROBOT. Esquemático DFR0559 [internet]. 2020 [citado 21 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/sunflower-solar-power-manager-5v-schematic.pdf>

## 7. Anexo A: Programación del sistema

---

A continuación, se incluirá la programación completa del sistema en Arduino. El código se divide en las cinco partes que se comentaron en el desarrollo hardware: Bloque principal, Ajustes.h, conversiones.h, sensores.h y transmisión.h.

- *Bloque principal*

```
#include "Ajustes.h"
#include "sensores.h"
#include "conversiones.h"
#include "transmisionSigfox.h"

void setup() {

    pinMode(7, OUTPUT);
    pinMode(8, OUTPUT);      // Se ajustan los pines analogicos como salidas
    pinMode(11, OUTPUT);
    pinMode(12, OUTPUT);
    Serial.begin (9600);

    if (!SigFox.begin())      // Si el modulo sigfox no se inicializa,
    {                          // se muestra un mensaje de error
        Serial.println("Error al iniciar SigFox");
        return;
    }
    SigFox.end();            // Se apaga el módulo en caso de error

    sensors.begin();        // Inicialización del sensor de temperatura
    rtc.begin();            // Inicialización un reloj en tiempo real

    Configuracion_RTC();    // Se ajusta la hora inicial del RTC

    sigfox_downlink = true;

    transmitirSigfox();
    save_data_downlink();
    sigfox_downlink = false;

    Serial.print("inicio");
}

void loop() {
    leer_temperatura();     // Sensor de temperatura
    leer_pH();              // Sensor de pH
    leer_EC();              // Sensor de EC
    leer_OX ();            // Sensor de OX
    leer_Turb ();          // Sensor de turbidez
    transmitirSigfox();     // Se suben los datos a la red Sigfox
    configurar_alarma();    // Se ajusta la alarma para dentro de 10 minutos
    LowPower.sleep();       // El sistema entra en modo LowPower hasta que se active la alarma
}
}
```

- *Ajustes.h*

```

/***** LIBRERIAS *****/

#include "ArduinoLowPower.h"
#include <SigFox.h>
#include <RTCZero.h>
#include <Arduino.h>
#include <OneWire.h>           // Librerias del sensor DS18B20
#include <DallasTemperature.h>

/***** Variables *****/

byte segundos = 0;
byte minutos = 2;           // Ajuste inicial de la hora de inicio del RTC
byte horas = 18;

int minuto_actual;

/***** Funciones *****/
/***** Reloj en tiempo real RTC *****/
RTCZero rtc;

void alarmMatch()
{
  Serial.print("alarm match funciona");
}

void Configuracion_RTC()
{
  rtc.setTime(horas, minutos, segundos);

  rtc.setAlarmTime(00, 00, 00);
  rtc.enableAlarm(rtc.MATCH_HHMMSS);

  rtc.attachInterrupt(alarmMatch);
}

/***** Programación de la alarma *****/

byte frecuencia = 3;

int Alarm_min_position = 0;

void configurar_alarma()
{
  switch (frecuencia) {

    case 0 :                               //Cada minuto
    {
      rtc.enableAlarm(rtc.MATCH_MMSS);
      if (rtc.getMinutes() == 59) {

```

```

        rtc.setAlarmTime(rtc.getHours() + 1, 00, 00);
    }
    else
    {
        rtc.setAlarmTime(rtc.getHours(), rtc.getMinutes() + 1, 00);
    }
}
break;

case 1 : //Cada 2 minutos
{
    rtc.enableAlarm(rtc.MATCH_MMSS);
    if (rtc.getMinutes() >= 58) {
        rtc.setAlarmTime(rtc.getHours() + 1, rtc.getMinutes() - 58, 00);
    }
    else
    {
        rtc.setAlarmTime(rtc.getHours(), rtc.getMinutes() + 2, 00);
    }
}
break;

case 2 : //Cada 5 minutos en punto y 11 segundo
{
    int minutos[12] = {0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55};
    rtc.enableAlarm(rtc.MATCH_MMSS);

    int minuto_actual = rtc.getMinutes();

    byte minimo = 60;

    for (int j = 0; j < 12; j++)
    {
        int diferencia = minutos [j] - minuto_actual;
        if (diferencia <= 0) {
            diferencia = diferencia + 60;
        }
        if (diferencia < minimo) {
            minimo = diferencia;
            Alarm_min_position = j;
        }
    }

    rtc.setAlarmTime(rtc.getHours(), minutos[Alarm_min_position], 00);
}
break;
case 3 : //A cada 10 minutos en punto y 11 segundos
{
    int minutos[6] = {0, 10, 20, 30, 40, 50};
    rtc.enableAlarm(rtc.MATCH_MMSS);
    int minuto_actual = rtc.getMinutes();

    byte minimo = 60;

    for (int j = 0; j < 6; j++)

```

```

    {
        int diferencia = minutos [j] - minuto_actual;
        if (diferencia <= 0) {
            diferencia = diferencia + 60;
        }
        if (diferencia < minimo) {
            minimo = diferencia;
            Alarm_min_position = j;
        }
    }

    rtc.setAlarmTime(rtc.getHours(), minutos[Alarm_min_position], 00);

}
break;

case 4 : // Cada hora en punto
{
    int alarm_hours = rtc.getHours();

    alarm_hours++;
    if (alarm_hours > 23)
    {
        alarm_hours = 0;
    }
    rtc.setAlarmTime(alarm_hours, 00, 00);
}
break;

}
}

```

- *Conversions.h*

```

/**** Libreria para reducir el tamaño de los datos que se subiran a Sigfox *****/

// De estas funciones se obtiene un factor de conversión que deberá
// utilizarse en la tabla excell para calcular el dato real de la medida

#define UINT16_t_MAX 65536
#define INT16_t_MAX  UINT16_t_MAX/2

int16_t convertoFloatToInt16(float value, long max, long min) {
    float conversionFactor = (float) (INT16_t_MAX) / (float)(max - min);
    return (int16_t)(value * conversionFactor);
}

uint16_t convertoFloatToUInt16(float value, long max, long min = 0) {
    float conversionFactor = (float) (UINT16_t_MAX) / (float)(max - min);
    return (uint16_t)(value * conversionFactor);
}

```

- *Sensores.h*

```

/***** Sensor de temperatura *****/

OneWire onewire(2);
DallasTemperature sensors(&onewire);
void transmitirError();

float temperatura;

void leer_temperatura()
{

  sensors.requestTemperatures(); // Se manda la orden de medir la temperatura con el sensor
  temperatura = sensors.getTempCByIndex(0); // Se obtiene la valor y se guarda
  delay(100); // en la variable temperatura

  temperatura = 21.44; // Temperatura óptima cria doradas entre 21 y 25°C

  if ( temperatura < 0 || temperatura > 40) {

    Serial.print("Error en la medición de temperatura");
    transmitirError() ;
    temperatura = 0; // Se comprueba que el valor de temperatura está dentro
  }; // del rango apropiado, puede cambiarse en función de las
} // necesidades del usuario.

/***** Sensor de pH *****/

#define pH_PIN 8 // Se ajusta la salida del sensor de pH a la entrada 8
#define Offset 0 // Se compensa el offset
unsigned long int avg_pH_Value; // Variable de almacenamiento del valor medio
float pH_Value;
void leer_pH()
{
  int buf[10];
  for(int i=0;i<10;i++) // Se obtienen 10 valores de muestra del sensor
  {
    buf[i]=analogRead(pH_PIN);
    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<9;i++) // Se ordenan las medidas de mayor a menor
  { // y se escogerán las 6 medidas intermedias para el valor final
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buf[i]>buf[j])
      {
        int temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
    }
  }
  avg_pH_Value=0;
  for(int i=2;i<8;i++) //Se hace la media de 6 medidas tomadas
    avg_pH_Value+=buf[i];
  pH_Value=avg_pH_Value*5.0/1024/6; //Convertimos la medida en milivoltios
  pH_Value=3.5*pH_Value+Offset; //Los milivoltios se convierten a valores de pH
  // usando la relación ofrecida por el fabricante
}

```

```

    pH_Value= 6.27;          // Ph óptimo cría doradas entre 6 y 8°C

digitalWrite(8, HIGH);
delay(800);
digitalWrite(8, LOW);

if ( pH_Value < 0 || pH_Value > 14) {

    Serial.print("Error en la medición de pH");
    transmitirError() ;
    pH_Value = 0;    // Se comprueba que el valor de pH está dentro de los limites tolerables
};
}

/***** Sensor de electroconductividad *****/

#define EC_PIN 7          // Se ajusta la salida del sensor de Electroconductividad a la entrada 7
#define Offset2 0        // Se compensa el offset
unsigned long int avg_EC_Value;    // Variable de almacenamiento del valor medio
float voltaje,ECcurrent,EC_Value;  // Variables empleadas

void leer_EC()
{

    int buf[10];          // Se toman 10 medidas con sensor para tener una mayor
    for(int i=0;i<10;i++) // fiabilidad y descartar posibles medidas erroneas

    {
        buf[i]=analogRead(EC_PIN);
        delay(10);
    }
    for(int i=0;i<9;i++) // Se ordenan las medidas de mayor a menor
    { // y se escogerán las 6 medidas intermedias para el valor final
        for(int j=i+1;j<10;j++)
        {
            if(buf[i]>buf[j])
            {
                int temp=buf[i];
                buf[i]=buf[j];
                buf[j]=temp;
            }
        }
    }
    avg_EC_Value=0;
    for(int i=2;i<8;i++) //Se hace la media de 6 medidas tomadas
    avg_EC_Value+=buf[i];
    voltaje=(avg_EC_Value/1024.0*5000)/6; // Los milivoltios se convierten a valores de electroconductividad

    sensors.requestTemperatures(); // Se mide la temperatura utilizando la funcion del sensor correspondiente
    float temperatura= sensors.getTempCByIndex(0);

    float TempCoefficient=1.0+0.0185*(temperatura-25.0); // Formula de la compensación de la temperatura
    EC_Value= voltaje/TempCoefficient;

    EC_Value=EC_Value/1000 + Offset2; // Se pasa de us/cm a ms/cm y se compensa la medida con el offset

    EC_Value= 50.17; // Una electroconductividad de 52 ms/cm equivale a una salinidad entre 26,64 y 48,37 g/l,
                    // siendo entre 37 y 39 g/l el valor optimo de la salinidad

    if(EC_Value<0 || EC_Value>100 ){

        Serial.println("Error en la medida de electroconductividad!");
        transmitirError() ;
        EC_Value = 0;
    }
}

```

```

/***** Sensor de oxígeno disuelto *****/

#define OX_PIN 11
#define VREF 5000
#define ADC_RES 1024

#define CAL1_V (1600) //mv // Valores obtenidos por el ensayo de calibración a 15°C
#define CAL1_T (15) //°C

#define CAL2_V (1300) //mv // Valores obtenidos por el ensayo de calibración a 25°C
#define CAL2_T (25) //°C

const uint16_t DO_Table[41] = {
    14460, 14220, 13820, 13440, 13090, 12740, 12420, 12110, 11810, 11530, // Tabla de valores de oxígeno disuelto
    11260, 11010, 10770, 10530, 10300, 10080, 9860, 9660, 9460, 9270, // correspondiente a cada valor de
    9080, 8900, 8730, 8570, 8410, 8250, 8110, 7960, 7820, 7690, // temperatura, empezando por 0°C hasta 40°C
    7560, 7430, 7300, 7180, 7070, 6950, 6840, 6730, 6630, 6530, 6410};

float avg_OX_Value=0, OX_Value;
uint16_t Voltaje; // Variables empleadas

void leer_OX ()
{

    int buf[10];
    for(int i=0;i<10;i++)
    {

        buf[i]=analogRead(OX_PIN);
        delay(10);
    }
    for(int i=0;i<9;i++)
    {
        for(int j=i+1;j<10;j++)
        {
            if(buf[i]>buf[j]) // Mismo procedimiento que los sensores anteriores
            {
                int temp=buf[i];
                buf[i]=buf[j];
                buf[j]=temp;
            }
        }
    }
    for(int i=2;i<8;i++)
    avg_OX_Value+=buf[i];

    Voltaje = VREF * avg_OX_Value / ADC_RES; // Los milivoltios se convierten a valores de oxígeno disuelto
    sensors.requestTemperatures(); // Se mide la temperatura utilizando la función del sensor correspondiente
    uint16_t temperatura= sensors.getTempCByIndex(0);

    // A continuación, se calcula el valor de oxígeno disuelto con el valor de voltaje recibido por el sensor,
    // la compensación del voltaje en función de la calibración y el valor de temperatura del sensor.

    uint16_t V_saturation=((int16_t)((int8_t)temperatura-CAL2_T)*((uint16_t)CAL1_V-CAL2_V)/((uint8_t)CAL1_T-CAL2_T)+CAL2_V;
    OX_Value = Voltaje * DO_Table[temperatura] / V_saturation;

    OX_Value/=1000; // Se pasa de µg/L a mg/L

    OX_Value= 7.34; // La cantidad óptima de oxígeno disuelto para la cría de la dorada es entre 6 y 8 mg/L

    if(OX_Value<0 || OX_Value>20 ){

        Serial.println("Error en la medida de oxígeno disuelto!");
        transmitirError() ;
        OX_Value = 0;
    }
}

/***** Sensor de turbidez *****/

#define Turb_PIN 12 // Se ajusta la salida del sensor de turbidez a la entrada 12
#define Offset3 0 // Se compensa el offset
unsigned long int avg_Turb_Value;
float Turb_Value;

```

```

void leer_Turb ()
{
  int buf[10];
  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buf[i]=analogRead(Turb_PIN);
    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<9;i++)
  {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buf[i]>buf[j])          // Mismo procedimiento que los sensores anteriores
      {
        int temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
    }
  }

  avg_Turb_Value=0;
  for(int i=2;i<8;i++)
    avg_Turb_Value+=buf[i];
  float voltaje= avg_Turb_Value*5.0/1024/6;          // Se lee la medida en milivoltios del sensor
  Turb_Value = (-1120,4*(voltaje*voltaje)+5742,3*voltaje-4352,9) ;

  //Los milivoltios se convierten a valores de turbidez en NTU (1 mg/L = 3 NTU)
  // usando la relación ofrecida por el fabricante, esta función
  // es la que se debe modificar cuando se realice la calibración.

  Turb_Value = 2.38;          // A partir de 5 NTU los peces tienen dificultad para ver el alimento
                              // y a partir de 50, la mayoría de especies pueden morir.

  if ( Turb_Value < 0 || Turb_Value > 50) // Se comprueba que el valor de turbidez dentro del
                                          // rango de turbidez que pueden soportar las especies
    Serial.print("Error en la medición de turbidez");
    transmitirError() ;
    Turb_Value = 0;
  }
}

```

## • *Transmisión.h*

```

/***** Funciones encargadas de la subida de datos *****/

boolean sigfox_downlink = true;          // Activa la descarga de datos de sigfox.
byte parametros[8];

typedef struct __attribute__((packed)) sigfox_message
{
  uint16_t SensorTemperatura;
  uint16_t SensorpH;
  uint16_t SensorEC;
  uint16_t SensorOX;
  uint16_t SensorTurb;
} SigfoxMessage;
SigfoxMessage msg;

void transmitirSigfox() {

  SigFox.begin();
  SigFox.debug();
  delay(100);          // Se transforman las variables float (4 bytes) a int (2 bytes)
                      // usando las funciones de conversión

  uint16_t Temperatura_Sigfox = (uint16_t) convertFloatToUInt16(temperatura, 40); //Factor de conversión: 1638,4
  uint16_t pH_Sigfox = (uint16_t) convertFloatToUInt16(pH_Value, 14); //Factor de conversión: 4681,1429
  uint16_t EC_Sigfox = (uint16_t) convertFloatToUInt16(EC_Value, 100); //Factor de conversión: 655,36
  uint16_t OX_Sigfox = (uint16_t) convertFloatToUInt16(OX_Value, 20); //Factor de conversión: 3276,8
  uint16_t Turb_Sigfox = (uint16_t) convertFloatToUInt16(Turb_Value, 50); //Factor de conversión: 1310,72
}

```

```

msg.SensorTemperatura = ((Temperatura_Sigfox << 8) | (Temperatura_Sigfox >> 8));
msg.SensorpH = ((pH_Sigfox << 8) | (pH_Sigfox >> 8));
msg.SensorEC = ((EC_Sigfox << 8) | (EC_Sigfox >> 8)); // Cambiamos el orden de los bytes que se van a
msg.SensorOX = ((OX_Sigfox << 8) | (OX_Sigfox >> 8)); // subir a Sigfox, ya que se suben de forma inversa.
msg.SensorTurb = ((Turb_Sigfox << 8) | (Turb_Sigfox >> 8));

SigFox.status();
delay(1);

SigFox.beginPacket();

SigFox.write((uint8_t*)smsg, 10); // Subimos los datos a la red Sigfox

int j = 0;
if (sigfox_downlink == true)
{
    SigFox.endPacket(true);
    while (SigFox.available())
    {
        parametros[j] = SigFox.read();
        j++;
    }

    SigFox.end();
}
else
{
    int ret = SigFox.endPacket();
    SigFox.end();
}
}

void transmitirError() {

    SigFox.begin();

    SigFox.beginPacket();

    SigFox.print("ERROR"); // Subimos los datos a la red Sigfox

    SigFox.endPacket();
    SigFox.end();

}

void save_data_downlink() {

    // En primer lugar, se ordena el dato de los segundos Epoch que se solicitan por downlink
    uint32_t epoch = (parametros[0] << 24) | (parametros[1] << 16) | (parametros[2] << 8) | parametros[3];
    delay (100);
    rtc.setEpoch(epoch);
    delay (100);

    Serial.println(epoch);

    //frecuencia = parametros[6];

    //Serial.println(frecuencia);

    int time_zone = 0;
    rtc.setHours(rtc.getHours() + time_zone);

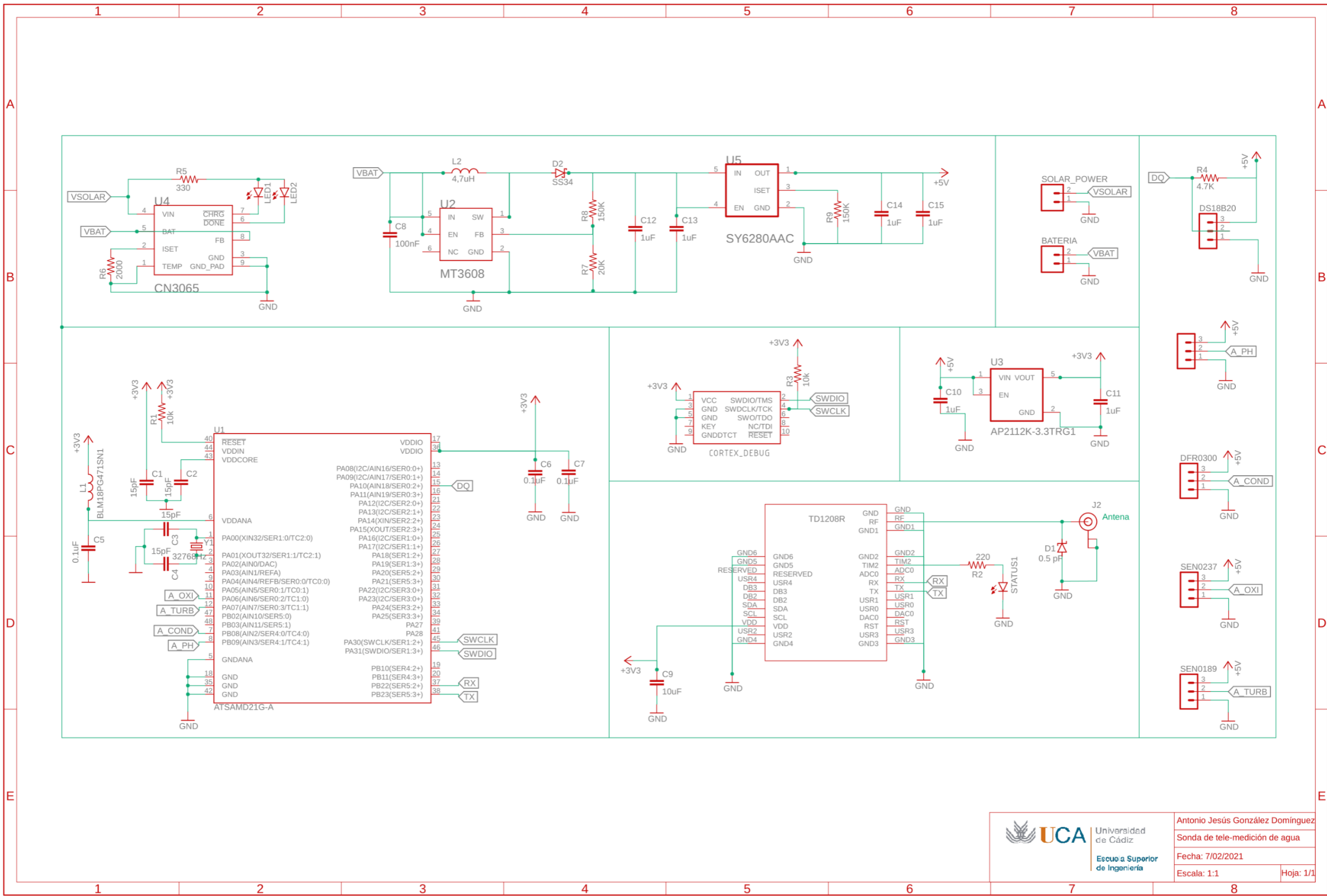
}

```

## 8. Anexo B: Diseño esquemático

---

En este anexo se incluirá el diseño esquemático completo de la PCB principal, con sus correspondientes conexiones.



 Universidad de Cádiz Escuela Superior de Ingeniería	Antonio Jesús González Domínguez	
	Sonda de tele-medición de agua	
	Fecha: 7/02/2021	
	Escala: 1:1	Hoja: 1/1

## 9. Anexo C: Distribución de componentes de la PCB

En el anexo siguiente se mostrará el diseño final de la PCB junto a la distribución de los componentes. En primer lugar, se mostrará el diseño completo junto a las dimensiones físicas. Luego se mostrará la distribución de la cara superior, el diseño de pistas, el plano de masa y el aspecto que tendría una vez fabricada. Para finalizar, se mostrará la distribución de la cara inferior, el trazado de pistas en ella y el aspecto de la cara fabricada.

### 9.1 Diseño completo

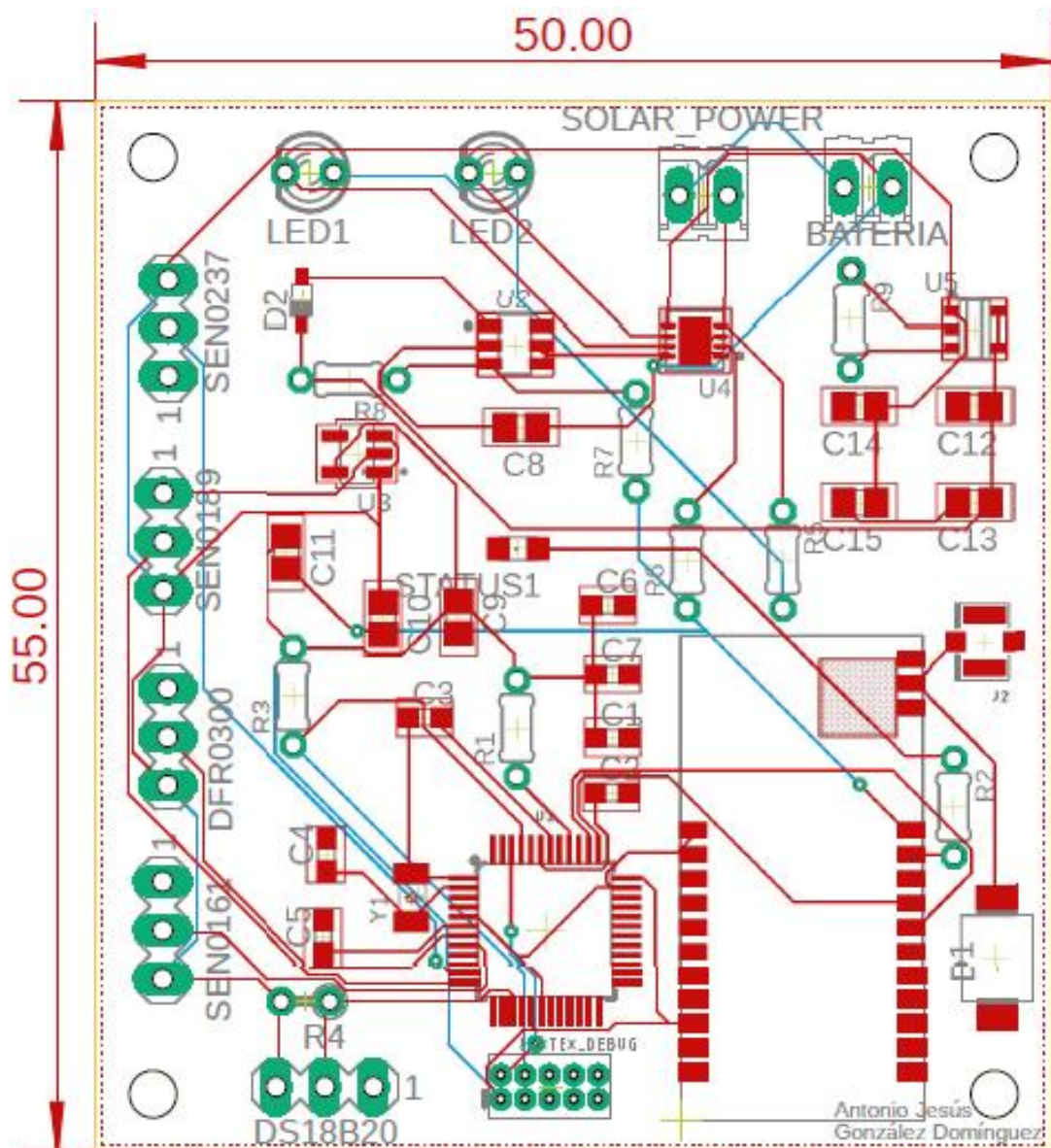


Figura 64. Diseño completo PCB

## 9.2 Cara superior

### Distribución de los componentes

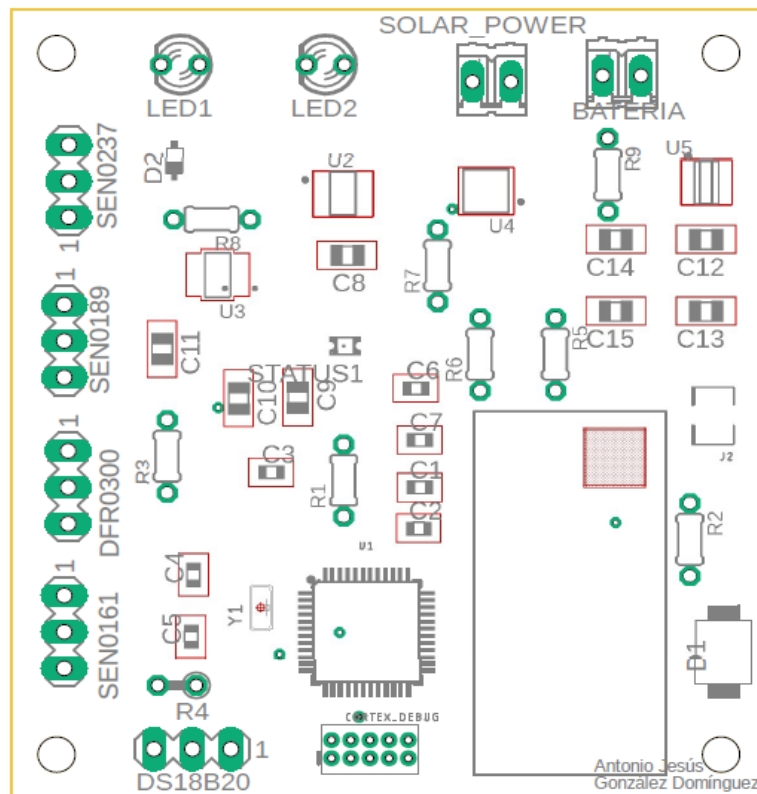


Figura 65. Distribución cara superior

### Trazado de pistas

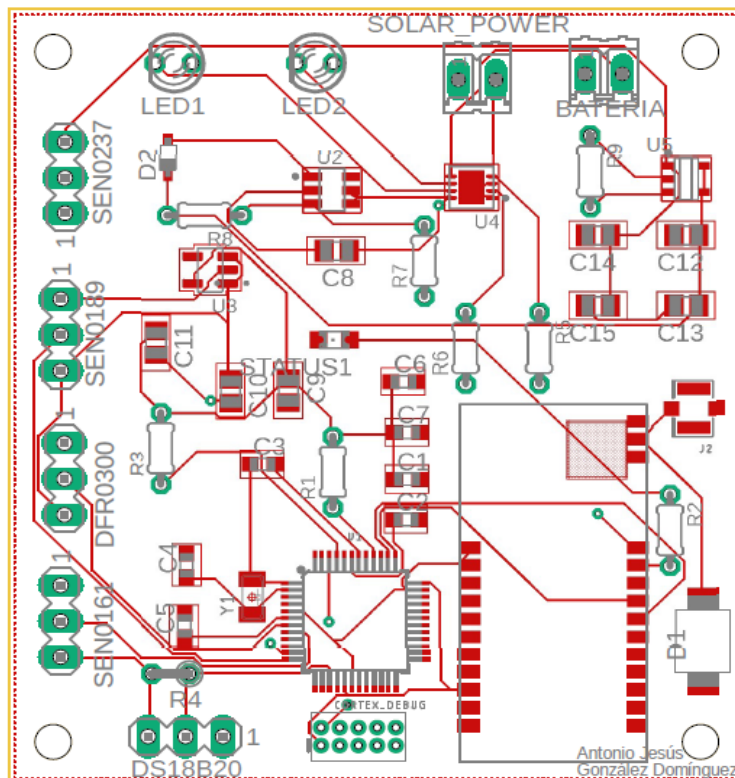


Figura 66. Trazado de pistas superior

Plano de masa

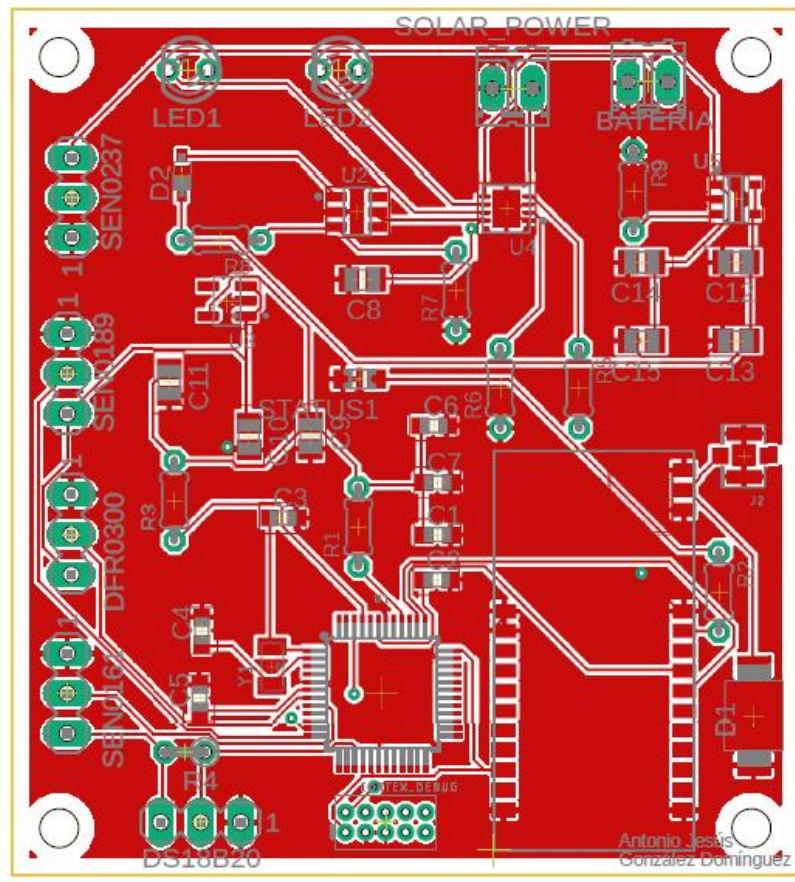


Figura 67. Plano de masa

Aspecto de fabricación

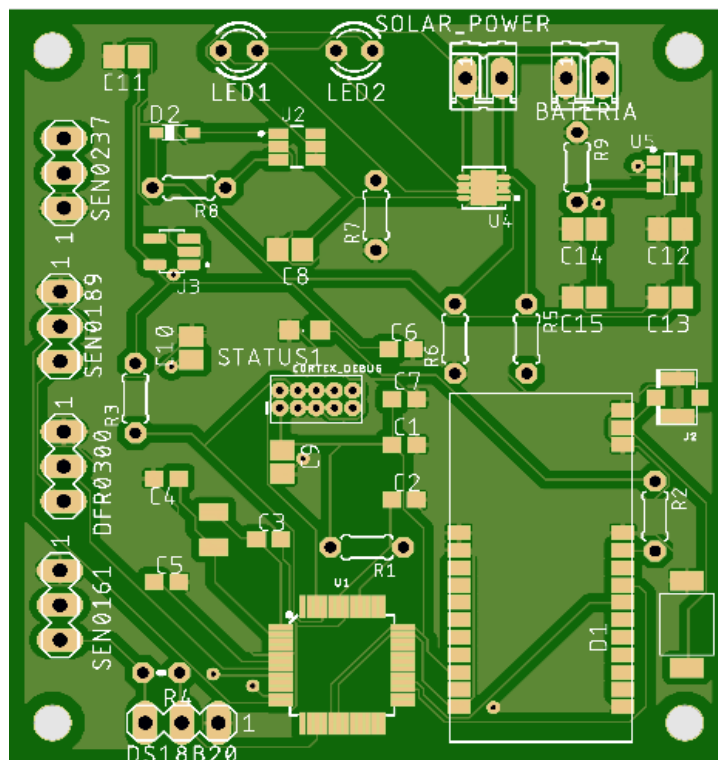


Figura 68. Aspecto cara superior fabricada

### 9.3 Cara inferior

#### Distribución de los componentes

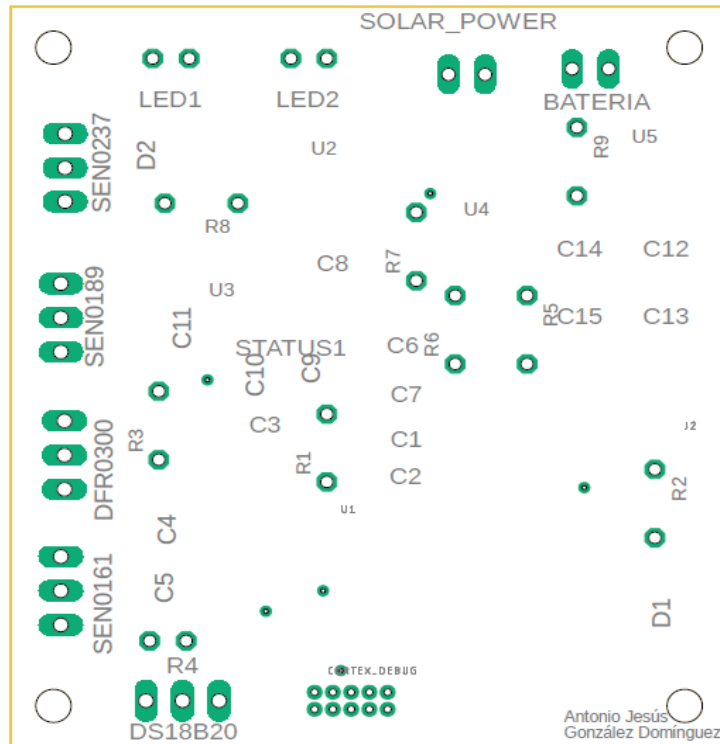


Figura 69. Distribución cara inferior

#### Trazado de pistas

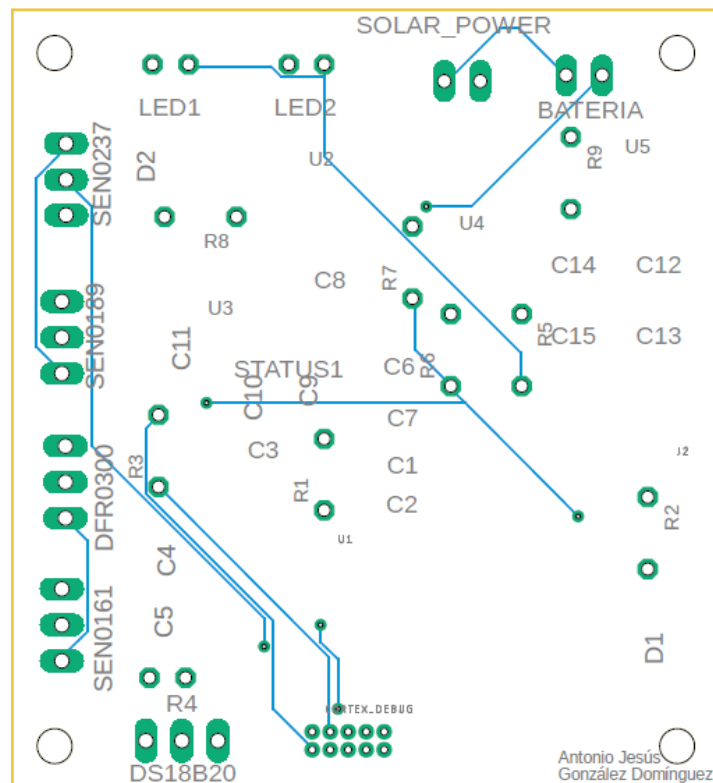
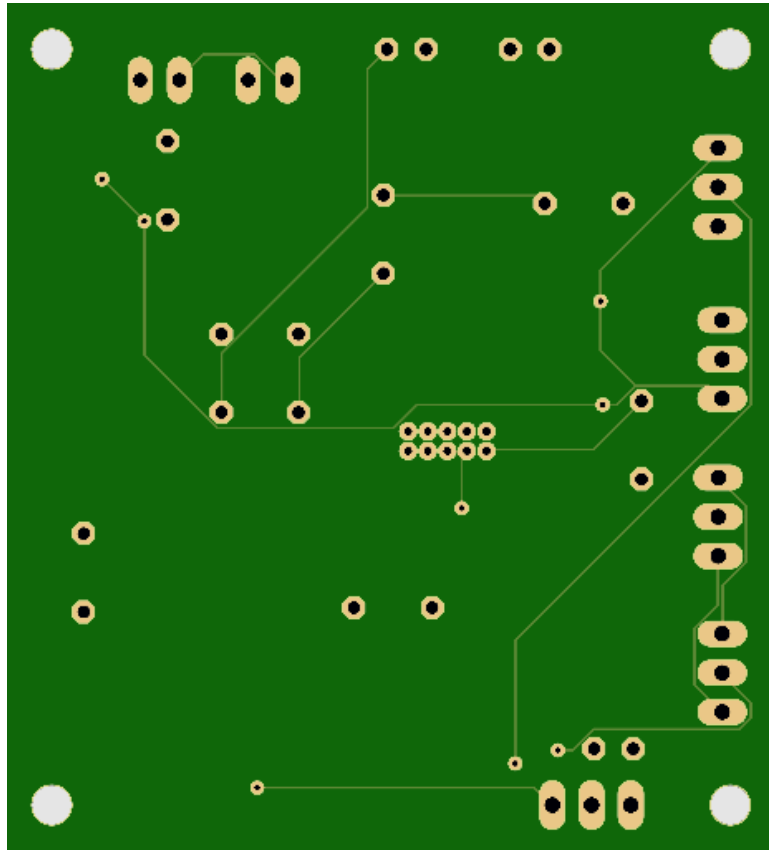


Figura 70. Trazado de pistas inferior

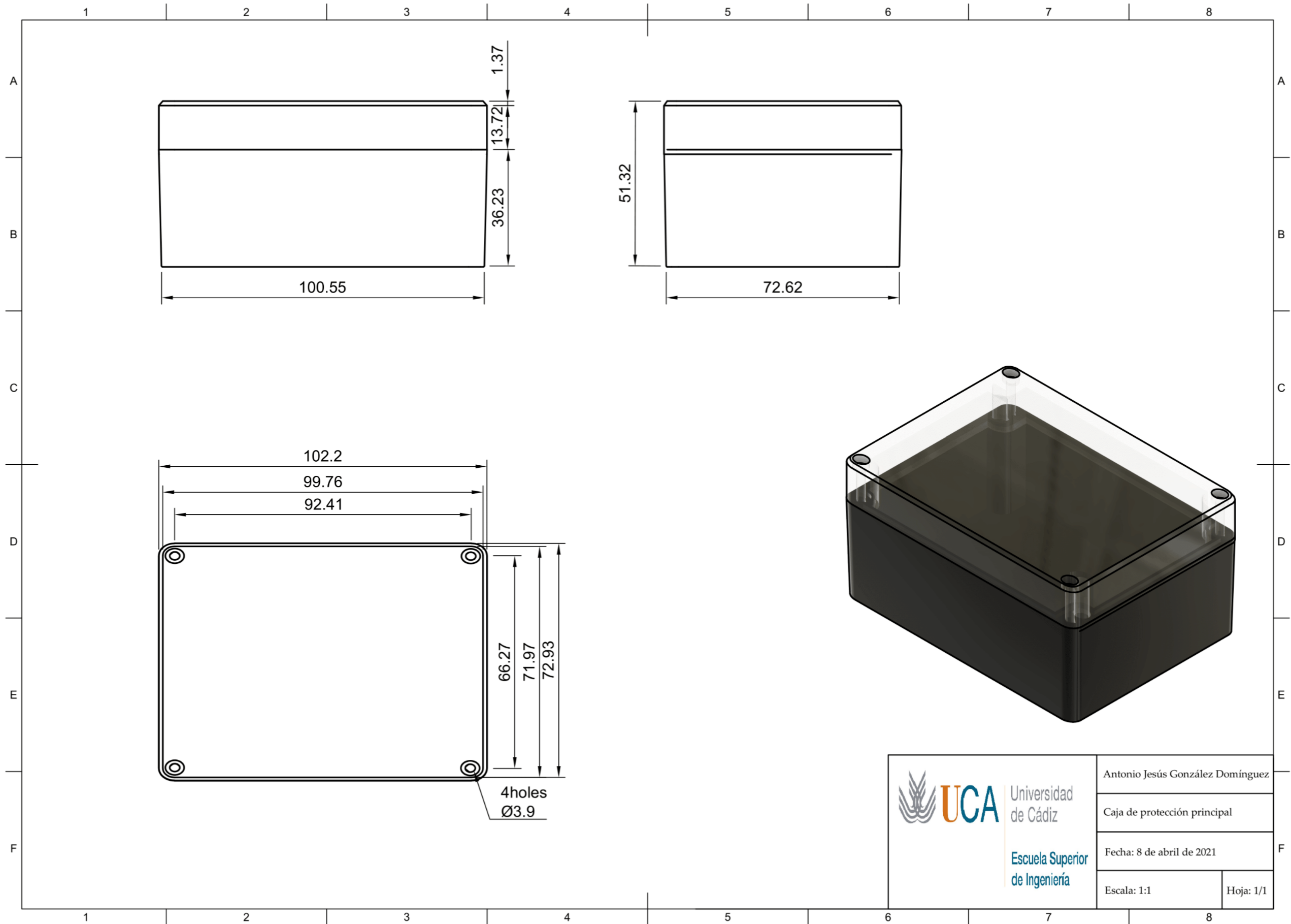
Aspecto de fabricación




*Figura 71. Aspecto cara inferior fabricada*

## **10. Anexo D: Planos de cajas de protección**

En este anexo se incluirán los planos correspondientes a las cajas de protección primaria y secundaria que se han utilizado en el diseño en Fusion 360.



 <b>UCA</b> Universidad de Cádiz Escuela Superior de Ingeniería	Antonio Jesús González Domínguez	
	Caja de protección principal	
	Fecha: 8 de abril de 2021	
	Escala: 1:1	Hoja: 1/1

