



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Diseño de un sistema electrónico alojado en una boya  
fluvial para la medición de la calidad de agua

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

AUTOR/A: Caro Hernández, Carlos

Tutor/a: Berjano Zanón, Enrique

Cotutor/a: Pérez Martínez, Juan José

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL  
DISEÑO**

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

**Curso 2021/2022**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO:**

**DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO ALOJADO EN UNA BOYA  
FLUVIAL PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA**

**DOCUMENTO 1. MEMORIA**

**AUTOR:** Carlos Caro Hernández

**TUTOR:** Dr. Enrique Berjano Zanón

**COTUTOR:** Dr. Juan José Pérez Martínez

## Resumen

El objetivo de este TFG es proponer una solución técnica para la adquisición de datos de la calidad del agua en los ríos. Esto es importante para preservar los ecosistemas y exigir responsabilidades. La actividad agrícola es en parte culpable de la eutrofización, que provoca la proliferación de algas que dificultan la fotosíntesis y disminuye la concentración de oxígeno disuelto (DO) en el agua. En concreto, la solución técnica propuesta incluye el diseño de un circuito electrónico alojado en una boya fluvial capaz de monitorizar continuamente el DO en agua en las proximidades de la charca “El Cristalino”, situada en el río Júcar (Valencia, España), uno de los lugares de baño más habituales en esta cuenca hidrográfica. El sistema diseñado incluirá alimentación autónoma y un interface con el usuario para la transmisión de los datos.

**Palabras clave:** Sistema electrónico; boya fluvial; calidad de agua

## Abstract

The aim of this final degree project is to propose a technical solution for the data acquisition of the quality of water in rivers. This is important to preserve the ecosystems and demand responsibilities. The agricole activity is partially guilty for the eutrophication, which provokes the proliferation of algae that make difficult the photosynthesis and reduces the concentration of dissolved oxygen (DO) in water. In particular, the technical solution includes the design of an electronic circuit allocated in a fluvial buoy that will monitor continuously the dissolved oxygen in water in the proximity of the pond “El Cristalino”, located in Júcar river (Valencia, Spain), one of the most common places for bathing in this drainage basin. The system will include an autonomous supply and a user interface for the data transmission.

**Key words:** Electronic system; fluvial buoy; quality of water

# ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> .....	7
<b>2. Objetivo</b> .....	10
<b>3. Antecedentes</b> .....	10
<b>4. Especificaciones técnicas</b> .....	12
<b>5. Descripción de la solución técnica adoptada</b> .....	13
<b>5.1. Diagrama de bloques</b> .....	13
<b>5.2. Sensor de concentración de oxígeno disuelto</b> .....	14
<b>5.3. Comunicación RS-232</b> .....	19
<b>5.4. Microcontrolador</b> .....	23
<b>5.5. Módem</b> .....	24
<b>5.6. GPS</b> .....	25
<b>5.7. Alimentación</b> .....	26
<b>5.8. Sensor de intrusión</b> .....	31
<b>5.9. Aspecto final aproximado de una aplicación real</b> .....	32
<b>6. Conclusiones</b> .....	33
<b>7. Referencias</b> .....	34
<b>8. Anexos</b> .....	39

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

**Tabla 1.** Solubilidad del oxígeno en agua respecto a la temperatura para  $S=0$  Y  $P_{abs}=0$  bar.

**Tabla 2.** Pines del estándar RS-232 y sus funciones.

**Tabla 3.** Pines y sus funciones del MAX3232 que sirve de interface con el sensor.

**Tabla 4.** Datos de irradiación solar diaria promedio en las coordenadas de la boya.

**Tabla 5.** Coste de materiales desglosado.

**Tabla 6.** Coste de mano de obra.

**Tabla 7.** Presupuesto total.

**Tabla 8.** Límites de cambio de clase de estado de los ríos costeros mediterráneos.

**Tabla 9.** Elementos de calidad y frecuencia anual de muestreo de cada uno.

**Figura 1.** Solubilidad de oxígeno en agua vs. temperatura.

**Figura 2.** Dibujo de una boya fluvial usada por la EPA en el río Mystic, en Sommerville, Massachusetts, EEUU. (Adaptado de [12]).

**Figura 3.** Mapa donde se ve la ubicación de El Cristalino y el punto donde se encontrará la boya, en el punto 0.

**Figura 4.** Diagrama de bloques del sistema.

**Figura 5.** Sonda modelo RBRcoda<sup>3</sup> T.ODO del fabricante RBR (Ottawa, Canadá). (Reproducido de [13]).

**Figura 6.** Configuración de pines del conector MCBH-6-MP. (Reproducido de [20]). RBR suministra cables que permiten la conexión entre la sonda y el ordenador (o en nuestro caso, microcontrolador) (Reproducido de [19]).

**Figura 7.** Configuración de pines del IC MAX232 del fabricante Maxim (San José, EEUU). (Reproducido de [23]).

**Figura 8.** Conexiones de los MAX3232.

**Figura 9.** Encapsulado del STM32WLE5CCU6. (Reproducido de [27]).

**Figura 10.** Trama diseñada para la comunicación vía módem.

**Figura 11.** Interfaz de la herramienta para encontrar la irradiación solar global en un periodo determinado (reproducido de [28]).

**Figura 12.** Irradiación solar total por cada mes del 2020 medida en kWh/m<sup>2</sup>.

**Figura 13.** Captura del Excel de IALA con los parámetros escogidos para el diseño de paneles solares.

**Figura 14.** Gráfica de las energías ganada y consumida a lo largo del año.

**Figura 15.** Sensor de intrusión instalado en una boya real.

**Figura 16.** Circuito supresor de ruido para el sensor de intrusión.

**Figura 17.** Aspecto aproximado de una boya real.

**Figura 18.** Flujograma del programa principal.

#### Agradecimientos:

Quiero dar las gracias principalmente a mi tutor Enrique Berjano por toda la atención que me ha prestado durante el desarrollo de este TFG, sin su ayuda, no habría salido a tiempo. Además, quiero darle las gracias a Bea Trénor, ya que ella me sugirió contactar con Enrique. También quiero agradecer a Pablo Rodríguez, Ignacio Rodríguez y José Andrés Fombuena por todo lo que me han enseñado sobre electrónica para aplicarlo a este proyecto. Una mención también a mi madre y mis amigos por el apoyo recibido para sacarlo adelante cuando creía que sería imposible en el plazo que me propuse.

Dedicado a Salomé Pérez-Salas.

# 1. Introducción

La eutrofización es un problema grave que puede destruir los ecosistemas acuáticos. Sucede cuando ciertas sustancias como nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) son vertidas a masas de agua naturales (ríos, lagos, mares) generando el crecimiento excesivo de algas. Estas algas bloquean la luz del sol impidiendo que otras plantas acuáticas puedan realizar la fotosíntesis. Estas plantas mueren y sirven de alimento para bacterias que consumen el oxígeno disuelto (DO, *Dissolved Oxygen*) en el agua, acabando con la vida de peces y otros animales del ecosistema. Estas sustancias nocivas para los ecosistemas proceden mayoritariamente de fertilizantes utilizados en la agricultura [1].

En la Demarcación Hidrográfica del Júcar, según datos del SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España) en 2014, 1.37 millones de hectáreas se dedican al uso agrícola. Según datos del 2018, de esa superficie, 403000 ha son de tipo regadío. De acuerdo con datos proporcionados por el Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN), hay 3.6 millones de cabezas de ganado (ovino, bovino, porcino, equino y caprino). De aves (gallinas y pavos), hay 67.7 millones de cabezas. Por el uso de fertilizantes y fitosanitarios, en las aguas tanto subterráneas como superficiales de la cuenca, hay contaminación de nitratos y fosfatos [17].

Según publicó el diario digital El Español el 10 de marzo de 2022, Ecologistas en Acción afirma que con los datos que tiene MITECO (Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico) es “imposible” decir qué río está más perjudicado. En algunos de ellos se toman y analizan muchas muestras al año, mientras que de otros se conoce muy poco sobre su verdadero estado medioambiental. Por todo ello, es necesario hacer un registro de los valores medioambientales que permitan conocer con cierta frecuencia el estado de un río en cuestión para poder exigir responsabilidades a quien corresponda [2].

Como ya se ha comentado, el nivel de DO en agua es determinante para la supervivencia de las especies en el medio acuático. La concentración de oxígeno disuelto en agua se puede medir en mg/L o ppm. La relación entre estas unidades es de 1 mg/L=1 ppm. Según la Global Water Watch International, estos son los rangos de concentración de DO en agua establecidos para clasificar el riesgo de los animales:



- Entre 7 y 11 mg/L, es un nivel adecuado de oxígeno disuelto para que sobreviva la mayoría de las especies de agua dulce.

- Entre 4 y 7 mg/L, los peces de agua fría estarían en peligro, mientras que para los tropicales sería un valor adecuado. En general, son valores positivos para los animales.

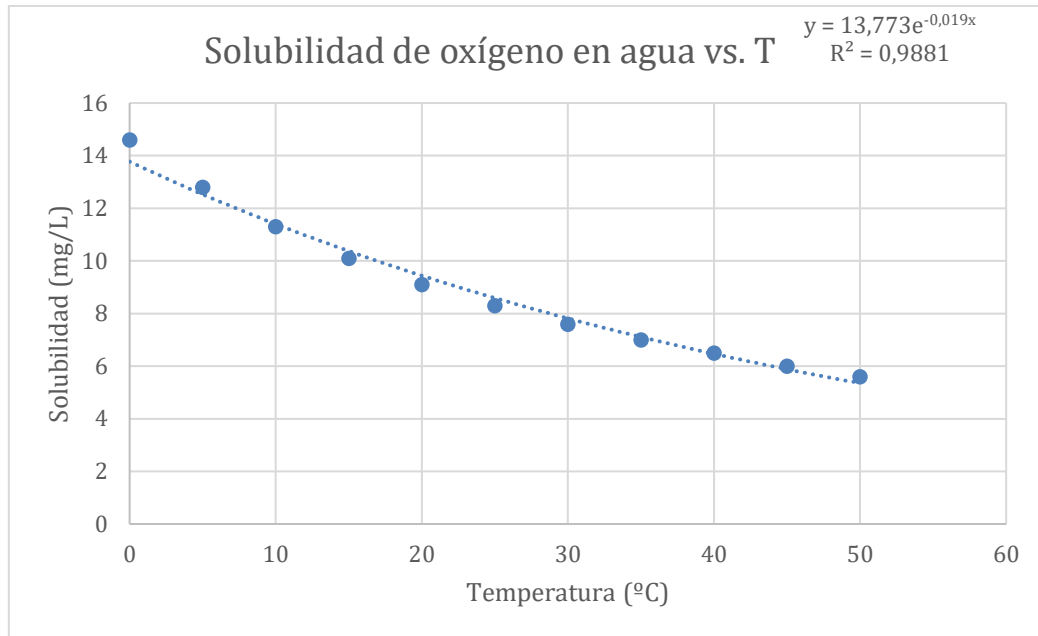
- Entre 2 y 4 mg/L es dañino para el ecosistema, que sufre hipoxia.

- Menor de 2 mg/L puede acabar con la vida de muchas especies. Es en este caso cuando el ecosistema sufre anoxia [3].

También es importante conocer la temperatura del agua, ya que el oxígeno, al ser un gas, es más soluble en ésta cuanto más fría esté. La Tabla 1 muestra los valores de solubilidad de oxígeno en agua respecto a la temperatura para una salinidad igual a cero (típica de los ríos) y presión absoluta de 1 bar. En la Figura 1 se expresa en forma de gráfica con su ecuación de ajuste y su  $R^2$ .

**Tabla 1.** Solubilidad del oxígeno en agua respecto a la temperatura para  $S=0$  Y  $P_{abs}=0$  bar.

Temperatura (°C)	Solubilidad (mg/L)
0	14.6
5	12.8
10	11.3
15	10.1
20	9.1
25	8.3
30	7.6
35	7.0
40	6.5
45	6.0
50	5.6



**Figura 1.** Solubilidad de oxígeno en agua vs. temperatura.

Si se conoce la solubilidad ( $S_{O_2}$ ), la temperatura y la concentración de DO en agua ( $C_{O_2}$ ), se puede saber la saturación de oxígeno, que es un parámetro más útil. La saturación se calcula con la fórmula 1.

$$\%Saturación = \frac{C_{O_2}}{S_{O_2}} \quad (1)$$

De esta forma, se puede conocer cuánto oxígeno admite el agua a una temperatura concreta. Para clasificar los rangos de saturación de oxígeno en agua podemos decir que:

- Valores menores del 60% implica que el agua está muy caliente o hay bacterias consumiendo el oxígeno.
- Entre 60 y 80%, los valores son buenos para la mayoría de la fauna.
- Entre 80 y 125%, sería la saturación idónea.
- Cuando se excede el 125%, se pone en grave peligro a las especies animales [3].

En cuanto a la legislación, en el Real Decreto 670/2013 publicado en el BOE, el anexo VI es un acta de constancia y toma de muestra y contenido mínimo del documento de cadena de custodia. Dicho documento se debe rellenar con los datos de la inspección de vertidos a una cuenca hidrográfica por la persona asistente. En él se incluye la procedencia, si tiene sistema de tratamiento, el tipo de muestra y los valores de varios

parámetros fisicoquímicos. Se puede leer el documento completo en el apartado Anexos [11].

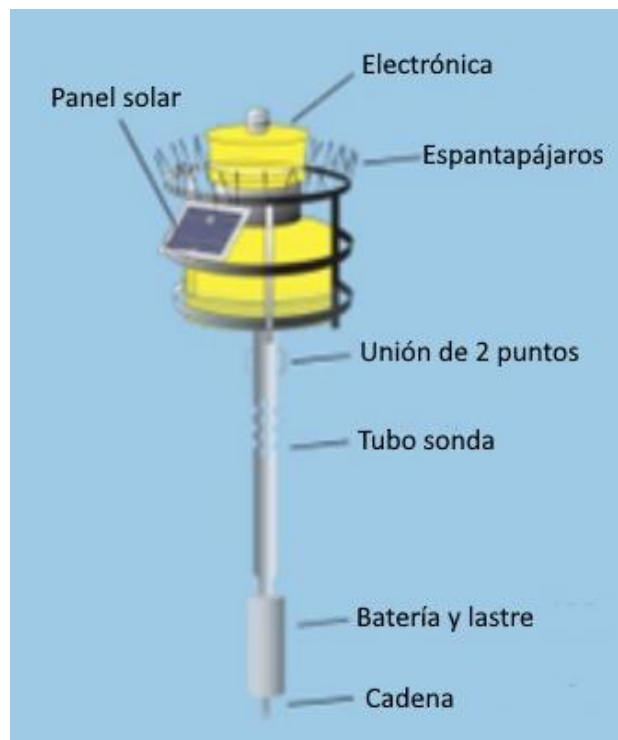
## **2. Objetivo**

Este TFG se centra en el diseño de un sistema electrónico que será alojado en una boya fluvial cerca de la charca El Cristalino, en el río Júcar, término de Jalance (Valencia, España). Este lugar es uno de los más visitados para el baño. La boya fluvial recogerá datos sobre el DO en agua en ese punto del curso del río para saber no solo si está por debajo del nivel permitido sino también si es seguro para el baño. Un microcontrolador se encargará de obtener medidas cada diez minutos sobre la concentración y saturación de DO en agua y almacenará estos datos junto con la temperatura, fecha y hora en una memoria a partir de las 8 horas de la mañana. Estos datos serán codificados, y al final del día (a las 22 horas), serán enviados a un teléfono móvil o servidor vía GSM para saber en qué horas de la jornada está variando más la concentración de oxígeno en agua y poder tomar decisiones en el plazo de una semana. Por lo tanto, se realiza un total de 90 mediciones al día (6 mediciones por cada hora, durante 15 horas). La boya debe ser un sistema autónomo en términos de potencia, por lo que debe abastecerse con energía solar suficiente incluso en diciembre, el peor mes del año por tener menos horas solares. Una batería se encargará de almacenar la energía que será suministrada a lo largo del día y servirá de reserva para que la boya funcione hasta las 22 horas. El microcontrolador, además de otorgarle los datos al codificador, ordenará al transmisor de datos cuándo encenderse para lograr un mayor ahorro energético.

## **3. Antecedentes**

La monitorización de variables oceanográficas mediante boyas no es algo nuevo. El problema es que no existe un control exhaustivo y periódico en la cuenca hidrográfica de este río. Actualmente, las muestras las toman empleados manualmente que visitan el río para su posterior análisis. Sin embargo, encontramos casos en otros países como EEUU donde sí se utilizan boyas fluviales para medir varios parámetros de la calidad del agua,

como en el río Charles, en Boston [9]. La Agencia de Protección Medioambiental (o EPA, por sus siglas en inglés), se encarga de recoger estos datos de una boya alimentada con paneles solares cada 15 minutos. Los sensores miden temperatura, concentración de DO, conductividad eléctrica, pH, turbidez, concentración de clorofila y de ficocianina. Estos están situados a un metro de profundidad. En el río Mystic, en Massachusetts, hay una boya como la que se muestra en la Figura 2 con las mismas características que la utilizada en el río Charles [9].



**Figura 2.** Dibujo de una boya fluvial usada por la EPA en el río Mystic, en Sommerville (Massachusetts, EEUU). (Adaptado de [12]).

Lo más habitual es emplear boyas de este tipo en mares o embalses. En Argentina, un estudiante de la UNSE diseñó y construyó una boya para medir variables del embalse de Termas. Esta estaba equipada con sensores para medir concentración de oxígeno disuelto, saturación de este, temperatura, pH, salinidad, gravedad específica, conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos en agua. Utiliza una fuente de energía solar para alimentar el circuito y además permite rastrear mediante GPS y enviar los datos a la red [14].

También en Alemania, investigadores del Instituto Tecnológico de Karlsruhe, habían desarrollado una boya inteligente para medir la temperatura, el grado de presencia de algas y la concentración de oxígeno y de gases de efecto invernadero, en especial dióxido de carbono y metano, para vigilar el crecimiento de algas en ríos, lagos y mares [10].

#### 4. Especificaciones técnicas

Las condiciones del cliente sobre las que se basan las especificaciones técnicas son las siguientes. El rango de temperaturas del agua varía entre 10 y 20 °C a lo largo del año. El rango de temperaturas del aire está entre 2 °C (mínima en invierno) y 32 °C (máxima en verano). La altitud a la que se encuentra ese punto es 380 metros sobre el nivel del mar. Este dato es importante porque la solubilidad se ve afectada por la presión atmosférica, y ésta depende de la altitud. La boya fluvial se situará a 3670 metros antes de llegar a la charca, en las coordenadas (39.19652, -1.13224) (39° 11' 47.5" N 1° 7' 56.1" W) tal y como se muestra en la Figura 3. Al tratarse de un río, el agua es dulce, por lo que se puede considerar una salinidad igual a cero.



**Figura 3.** Mapa donde se ve la ubicación de El Cristalino y el punto donde se encontrará la boya, en el punto 0.

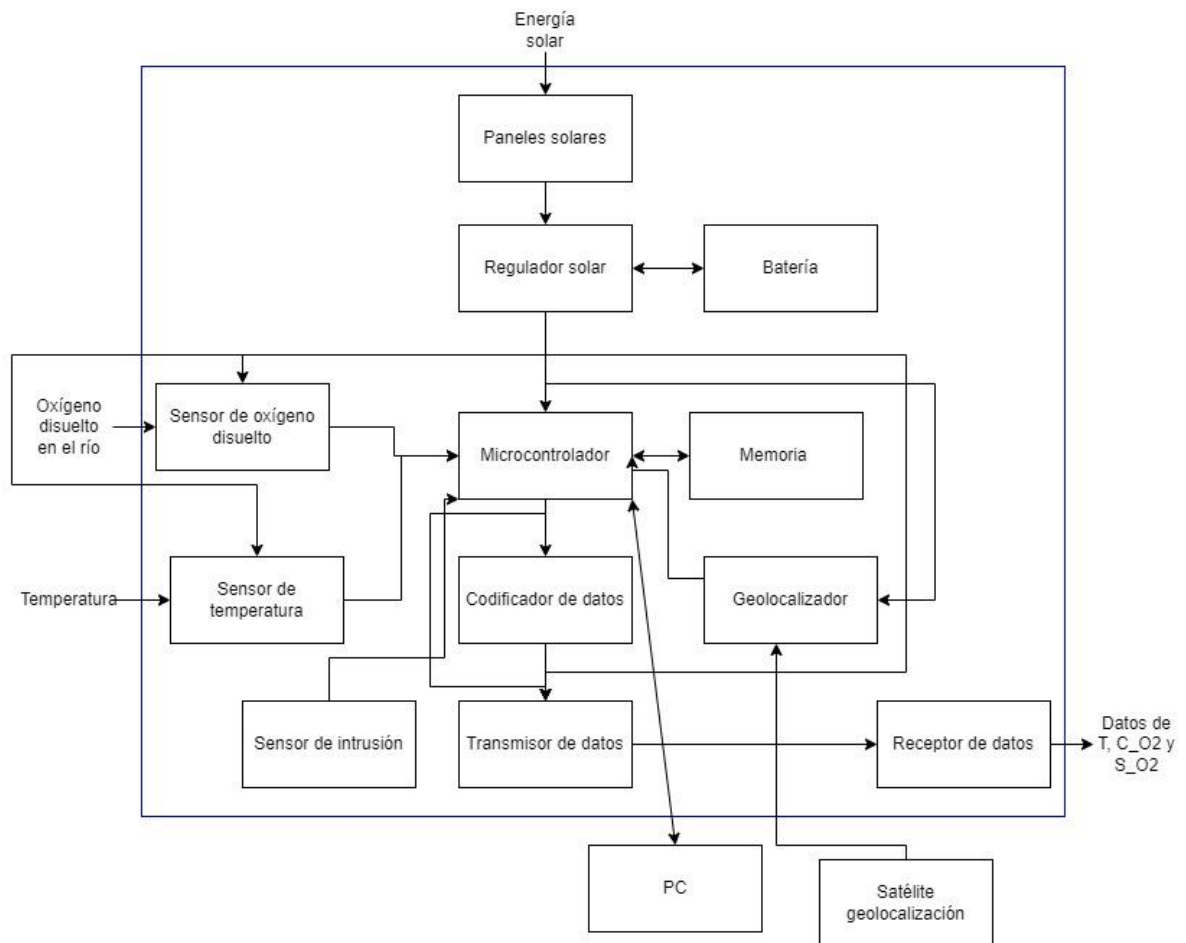
Para nuestra aplicación, el cliente desea medir valores de concentración de oxígeno que estén entre 1 y 7 mg/L con un periodo de muestreo de 10 minutos. Se desea conocer cómo varía cada hora la concentración de DO del río para luego hacer un promediado y analizarlo estadísticamente. El cliente quiere que el sensor empleado tenga un error máximo de  $\pm 0.5$  mg/L.

El cliente ha pedido además que se incluyan diferentes alarmas para las siguientes circunstancias: 1) en caso de que la boya se desamarre y se desplace de su punto original, 2) en caso de intrusión, 3) en caso de que el sensor no transmita señal y 4) en caso de detectar un nivel de concentración por debajo de 2 mg/L.

## 5. Descripción de la solución técnica adoptada

### 5.1. Diagrama de bloques

La Figura 4 muestra el diagrama de bloques del funcionamiento del sistema.



**Figura 4.** Diagrama de bloques del sistema propuesto.

A continuación, una explicación de los bloques:

**Sensor de temperatura:** capta la temperatura y la envía al microcontrolador.

**Sensor de oxígeno disuelto:** capta el oxígeno disuelto en el río y envía la concentración y saturación de este.

**Paneles solares:** captan la energía solar para alimentar el circuito. Se conectan al regulador solar.

**Regulador solar:** se encarga de mantener estable la alimentación del sistema. Recoge energía de la batería.

**Batería:** almacena la energía generada por los paneles solares y la proporciona al regulador solar.

**Microcontrolador:** gestiona todo el proceso recibiendo señales de los sensores e indicando al codificador de datos cuándo encenderse.

Memoria: almacena los datos de temperatura, concentración y saturación de DO y fecha y hora que le ofrece el GPS.

**GPS:** recibe la fecha, hora y ubicación de un satélite GPS. La fecha y hora será para mostrar el momento en que se hizo la medida. La ubicación será por motivo de alerta.

**Codificador de datos:** construye las tramas con los datos que serán enviadas. Estos datos son cedidos por el microcontrolador y dados al transmisor de datos.

**Transmisor de datos:** envía al receptor las tramas codificadas.

**Receptor de datos:** obtiene del transmisor los datos de temperatura, concentración y saturación de DO.

**Sensor de intrusión:** sirve como medida de seguridad en caso de apertura de la puerta de la boya.

## 5.2. Sensor de concentración de oxígeno disuelto

Por las especificaciones expresadas anteriormente, el sensor escogido para este proyecto ha sido la sonda de DO, modelo RBRcoda<sup>3</sup> T.ODO del fabricante RBR (Ottawa, Canadá). Esta sonda puede medir concentraciones entre 0 y 500  $\mu\text{M}$ . Teniendo en cuenta la masa molar del oxígeno gaseoso (32.000 mg/mol), podemos convertir los  $\mu\text{M}$  en mg/L.

$$M \cdot Mm = C = 500 \cdot 10^{-6} \cdot 32000 = 16 \text{ mg/L}$$

Contiene un sensor de temperatura que puede medir en un rango de entre -5 y 35 °C. Con los datos de temperatura y concentración de DO, se puede obtener la saturación con la ecuación mostrada anteriormente. El valor de saturación que puede medir va desde 0 hasta 120%. La resolución es de 0.032 mg/L (<1 µM) o 0.4% en saturación. La exactitud es el máximo entre ±8 µM y el 5% del fondo de escala. La constante de tiempo está en torno a 1 s para la sonda rápida, 8 s para la estándar y 30 s para la lenta. Se ha escogido la lenta porque tiene una capa protectora para facilitar su limpieza ante *fouling*. En cuanto a la temperatura, su resolución es menor a 0.00005 °C y su exactitud de ±0.002 °C. La constante de tiempo para esta magnitud es menor de 1 s. La sonda es alimentada con 12 V y consume 10 mA cada 300 ms, es decir, durante el tiempo de conversión, ya que el muestreo ocurre 1 segundo. Esto, en potencia, se traduce en:

$$P = V \cdot I = 12 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0.12 \text{ W}$$

Si hablamos de consumo medio, esta sonda solo va a estar funcionando 1 minuto cada 10 minutos, por lo tanto, será 0.012 W. La sonda solo muestreará entre las 8 y las 22 horas.

La Figura 5 muestra una imagen de la sonda elegida, la cual se basa en el principio de desactivación de fluorescencia. Dentro del sensor hay dos LED, uno emite luz roja y otro ultravioleta. El rojo solo sirve de referencia. El ultravioleta logra que un film con pigmento fluorescente se excite y produzca luz roja. Un fotodiodo capta esta luz, que es emitida en un tiempo de vida. El tiempo de vida es la duración que tiene esta emisión de luz hasta que vuelve al estado fundamental (*ground state*). La presencia de oxígeno provoca una desactivación, es decir, atenuación de la intensidad de esta luz emitida por el film. La sonda en cuestión utiliza la intensidad para el cálculo de concentración pero se basa en el tiempo de vida de la respuesta del film. A mayor concentración de oxígeno, menor intensidad luminosa que recibe el fotodiodo [29]. Y a mayor concentración de oxígeno, menor tiempo de vida [35].





**Figura 5.** Sonda modelo RBRcoda<sup>3</sup>T.ODO del fabricante RBR (Ottawa, Canadá).  
(Reproducido de [13]). Unidades en mm.

Este tipo de sensor tiene un tiempo de respuesta más lento que los galvánicos, basados en una reacción redox entre dos electrodos. No requiere tiempo de calentamiento previo para que el sensor mida. Tiene una vida útil más larga que la de los de tipo galvánico y su membrana también es más resistente, motivo por el cual, es ideal para usar en ácidos fuertes. Por el contrario, es en general más caro que los que funcionan por reducción-oxidación. También tiene una exactitud mayor que los galvánicos [7].

La salida de señal del sensor se realiza mediante el protocolo RS-232 y consta de cinco datos, de los cuales solo interesan tres: temperatura (en °C), concentración de DO (en μmol/L), concentración de DO con salinidad compensada (en μmol/L), saturación de DO (en %) y fase de DO (en °). La comunicación por RS-232 se detalla en el siguiente apartado.

Finalmente, se consideran varios casos para saber qué información sería transmitida desde el sensor escogido al receptor dependiendo de la concentración y temperatura medidas.

**Ejemplo 1:** Lectura de 75 μM a 20.00000 °C.

Vamos a convertir los μM en mg/L, que es la unidad habitual de la concentración.

$$C = Mm \cdot M = 32000 \cdot 75 \cdot 10^{-6} = 2.4 \text{ mg/L}$$

La exactitud será el valor máximo entre  $\pm 8 \mu\text{M}$  y el 5% de su lectura.

El 5% de la lectura es:

$$Acc = 0.05 \cdot 75 = 3.75 \mu\text{M}$$

Por lo tanto, podemos afirmar que nuestra incertidumbre es de  $\pm 8 \mu\text{M}$ . Esto en mg/L sería:

$$C = Mm * M = 32000 * 8 * 10^{-6} = 0.256 \text{ mg/L}$$

Expresando el valor correctamente:

$$\mathbf{2.4 \pm 0.3 \text{ mg/L}}$$

Sin lugar a duda, la concentración de DO está en el rango de hipoxia, con un valor que podría estar entre 2.1 mg/L y 2.7 mg/L.

Prestemos ahora atención a la temperatura. La lectura es 20.00000 °C. Si la exactitud es  $\pm 0.002$  °C, la temperatura expresada correctamente será:

$$\mathbf{20.000 \pm 0.002 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Si la temperatura es  $20.000 - 0.002 = 19.998$  °C:

$$S = 13.773 * e^{-0.019 * 19.998} \simeq 9.42 \text{ mg/L}$$

Por lo tanto, la saturación de oxígeno será de:

$$\%Sat = \frac{2.7}{9.42} * 100 \simeq \mathbf{28.66\%}$$

Si la temperatura es  $20.000 + 0.002 = 20.002$  °C:

$$S = 13.773 * e^{-0.019 * 20.002} \simeq 9.42 \text{ mg/L}$$

Por lo tanto, la saturación de oxígeno será, en este caso, de:

$$\%Sat = \frac{2.1}{9.42} * 100 \simeq \mathbf{22.29\%}$$

En este ejemplo, tanto por la concentración como por la saturación sabemos en qué situación se encuentra el río.

**Ejemplo 2:** Lectura de  $75 \mu\text{M}$  a  $10.00000$  °C.

Disminuyendo la temperatura hasta los  $10$  °C pero manteniendo la lectura de concentración de DO, vamos a calcular la saturación.

Si la temperatura es  $10.000 - 0.002 = 9.998$  °C:

$$S = 13.773 * e^{-0.019 * 9.998} \simeq 11.39 \text{ mg/L}$$

Por lo tanto, la saturación de oxígeno será de:

$$\%Sat = \frac{2.7}{11.39} * 100 \simeq \mathbf{23.71\%}$$

Si la temperatura es  $10.000 + 0.002 = 10.002$  °C:

$$S = 13.773 * e^{-0.019 * 10.002} \simeq 11.39 \text{ mg/L}$$

Por lo tanto, la saturación de oxígeno será de:

$$\%Sat = \frac{2.1}{11.39} * 100 \simeq \mathbf{18.44\%}$$

Se extrae de estos resultados que, si desciende la temperatura del agua pero tiene la misma concentración, la saturación es menor.

**Ejemplo 3:** Lectura de  $132 \mu\text{M}$  a  $20.00000$  °C.

Primero, convertiremos la lectura a mg/L:

$$C = Mm * M = 32000 * 132 * 10^{-6} = 4.22 \text{ mg/L}$$

La exactitud será el valor máximo entre  $\pm 8 \mu\text{M}$  y el 5% de su lectura.

El 5% de la lectura es:

$$Acc = 0.05 * 132 = 6.6 \mu\text{M}$$

Por lo tanto, podemos afirmar que nuestro error es de  $\pm 8 \mu\text{M}$  o  $0.256 \text{ mg/L}$ .

Expresando el valor correctamente:

$$\mathbf{4.2 \pm 0.3 \text{ mg/L}}$$

Con esta incertidumbre, no podemos saber si estamos por debajo de  $4 \text{ mg/L}$ , que se considera hipoxia. La concentración de DO está entre  $3.9 \text{ mg/L}$  y  $4.5 \text{ mg/L}$ . Para poder aclararlo, vamos a calcular la saturación de oxígeno.

Si la temperatura es  $20.000 - 0.002 = 19.998$  °C:

$$S = 13.773 * e^{-0.019 * 19.998} \simeq 9.42 \text{ mg/L}$$

Por lo tanto, la saturación de oxígeno será de:

$$\%Sat = \frac{4.5}{9.42} * 100 \simeq 47.77\%$$

Si la temperatura es  $20.000 + 0.002 = 20.002$  °C:

$$S = 13.773 * e^{-0.019 * 20.002} \simeq 9.42 \text{ mg/L}$$

Por lo tanto, la saturación de oxígeno será, en este caso, de:

$$\%Sat = \frac{3.9}{9.42} * 100 \simeq 41.40\%$$

Si se aumenta la concentración de DO manteniendo constante la temperatura, la saturación obtenida es mayor. Calculando la saturación de oxígeno, se puede discernir entre un nivel de oxigenación insuficiente o aceptable para los peces. Es por eso que nuestro sistema transmitirá la saturación de oxígeno. Al mismo tiempo, y como doble verificación, se transmitirán la temperatura y la concentración en mg/L.

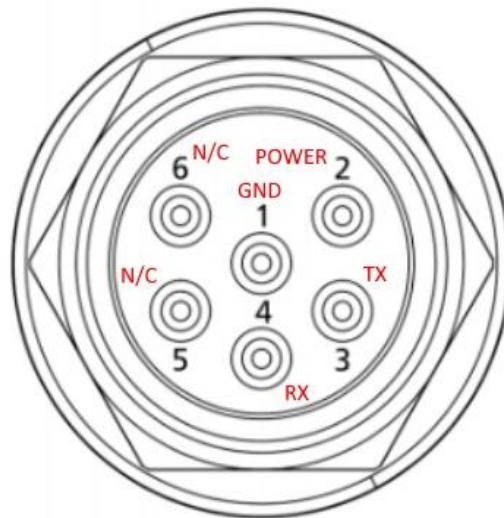
### 5.3. Comunicación RS-232

La comunicación entre el sensor y el microprocesador se efectuará mediante el protocolo RS-232, dado que esta es la que concede el fabricante de la sonda. Este protocolo estándar de comunicación serie cableada funciona con 9 pines en su puerto estándar. El DTE es el equipo terminal de datos que, en nuestro caso, será el microprocesador. El DCE es el equipo comunicador de datos, es decir, el sensor elegido [21]. Estos pines son explicados junto con sus funciones en la Tabla 2 [22].

**Tabla 2.** Pines del estándar RS-232 y sus funciones.

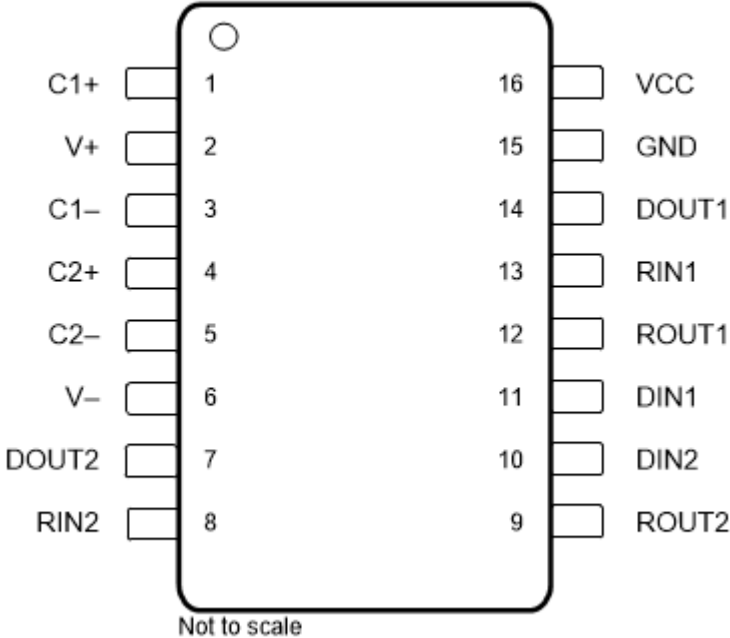
Nº de pin	Nombre	Función
1	DCD	Indicar que se va a transmitir datos desde un equipo
2	RD	Recibir datos
3	TD	Transmitir datos
4	DTR	Señal de handshaking saliente (DTE listo para recibir)
5	GND	Referencia de voltaje
6	DSR	Señal de handshaking entrante (DCE listo para enviar y recibir)
7	RTS	DTE solicita al DCE la preparación de datos (permiso solicitado)
8	CTS	DCE está listo para recibir datos del DTE (permiso concedido)
9	RI	DCE indica a DTE que va a iniciar comunicación

El conector de la sonda utiliza los siguientes pines (ver Tabla 2): RX (4; equivalente a RD), TX (3; equivalente a TD) y GND (el pin 5 en el estándar; 1 en el conector). Este conector es el MCBH-6-MP, que tiene seis pines, dos de ellos (5 y 6) sin conexión para la asimetría. A parte de los mencionados, uno de los pines es para alimentación, que es de 12 V nominal (2) [20]. La Figura 6 muestra la configuración de pines del conector MCBH-6-MP.



**Figura 6.** Configuración de pines del conector MCBH-6-MP. (Reproducido de [20]).  
RBR suministra cables que permiten la conexión entre la sonda y el ordenador (o en nuestro caso, microcontrolador) [19].

La función del cable en nuestra aplicación será meramente como extensión de la sonda, puesto que luego se tendrá que adaptar la señal para el microcontrolador. La señal procedente del sensor en protocolo RS-232 no es apta en voltaje para el microcontrolador que usaremos. Por ello, se va a necesitar un circuito integrado MAX3232 (Texas Instruments, Dallas, EEUU) para adaptar el voltaje y convertir la señal RS-232 en 3.3-V LVTTTL. Luego hará falta otro circuito MAX3232 para hacer la conversión inversa y poder transmitírselo al módem. La configuración de pines del componente en cuestión se muestra en la Figura 7 y se detalla en la Tabla 3.

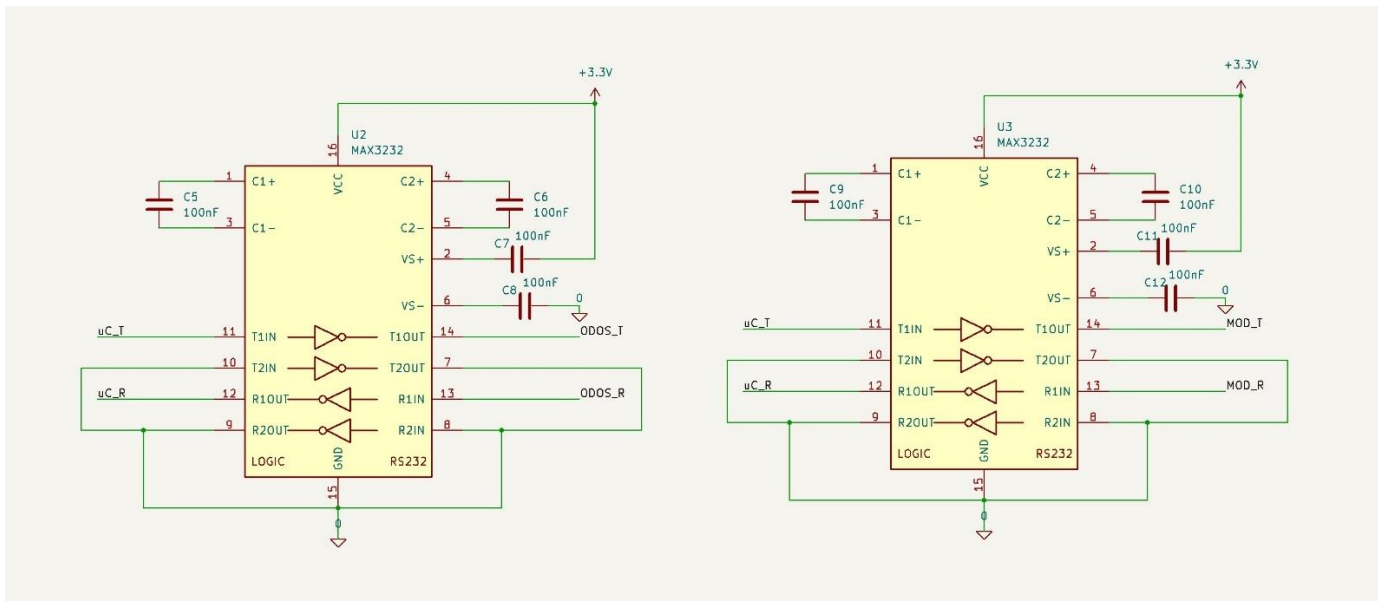


**Figura 7.** Configuración de pines del IC MAX3232 del fabricante Texas Instruments (Dallas, EEUU) (reproducido de [23]).

**Tabla 3.** Pines y sus funciones del MAX3232 que sirve de interface con el sensor.

Pin	Función
C1+	Terminal positivo de condensador C1
V+	Terminal positivo del condensador C3 del multiplicador de tensión
C1-	Terminal negativo de condensador C1
C2+	Terminal positivo de condensador C2
C2-	Terminal negativo de condensador C2
V-	Terminal negativo del condensador C4 del multiplicador de tensión
DOUT2, DOUT1	Transmisión con RS232 remoto (nuestro sensor o módem)
RIN2, RIN1	Recepción con RS232 remoto (nuestro sensor o módem)
DIN2, DIN1	Transmisión con el microcontrolador
ROUT2, ROUT1	Recepción con el microcontrolador
GND	Conexión a masa
Vcc	Conexión para alimentar el MAX3232 con +3.3 V

Los cuatro condensadores son todos de 100 nF de tipo cerámico. Las conexiones externas de este componente se pueden ver en los planos anexos y en la Figura 8 [23].



**Figura 8.** Conexiones de los MAX3232.

En relación con la potencia disipada, si se alimenta el MAX3232 a 3.3 V (directamente desde los pines del microcontrolador), la corriente típica de consumo es 0.3 mA. La potencia disipada por su consumo es por lo tanto:

$$P_{dis} = 3.3 \cdot \frac{0.3}{1000} = 0.99 \cdot 10^{-3} W$$

Dado que la corriente por drenaje o fuente por los pines de entrada y salida es despreciable en condiciones normales de uso, podemos considerar que la potencia total consumida por cada circuito MAX3232 es la misma. Sin embargo, no van a estar funcionando todo el tiempo, ya que el que intermedia entre el sensor y el microcontrolador solo funciona 2 minutos cada 10 minutos (su consumo medio será por lo tanto despreciable), y el que intermedia entre el microcontrolador y el módem solo funciona 3 minutos al día (su consumo medio es igualmente despreciable).

#### 5.4. Microcontrolador

Para procesar la señal del sensor se va a utilizar el circuito integrado STM32WLE5CCU6 de STMicroelectronics (Ginebra, Suiza) cuyo pinout es del encapsulado UFQFPN48 (ver Figura 9). Este no solo se va a encargar de recoger los datos de la sonda de DO y transmitirlos a un módem, sino que también tendrá las siguientes características:

- 1) Conexión inalámbrica para la programación del microcontrolador y para diagnosis.
- 2) Dos GPIO (pines de entrada/salida) que se programarán como entradas digitales. Una de ellas se usará para conectar un sensor de intrusión, que se detallará más tarde. La otra será para habilitar y deshabilitar el módem.

- 3) Cuatro interrupciones para lanzar las siguientes alarmas:

- Alarma por intrusión.
- Alarma por boya desplazada.
- Alarma por falta de medidas del sensor si se ha saltado alguna.
- Alarma por nivel de concentración de DO por debajo de 2 mg/L (anoxia).

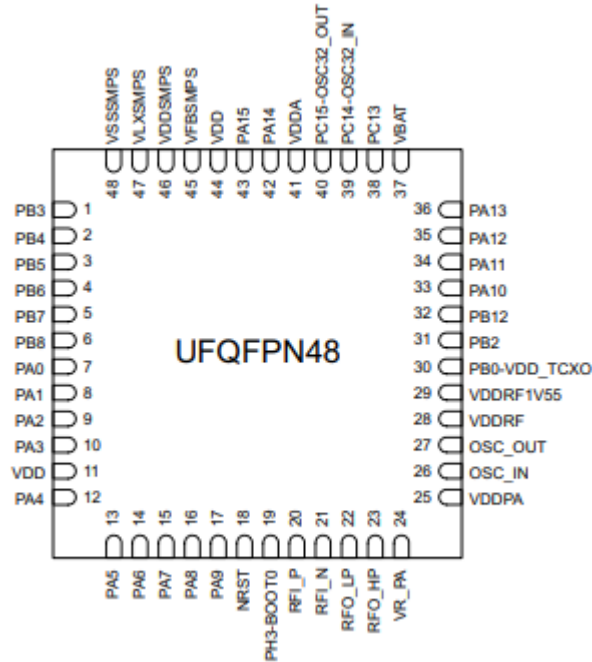
La memoria flash del microcontrolador es de 256 kB, suficiente para almacenar todos los datos en un día.

En el apartado Anexos se puede ver un flujograma del programa principal.



Los pines a los que se conectarán los dos MAX3232 son PB6 y PB7, destinados a USART1\_TX y USART1\_RX; y PA2 y PA3, para USART2\_TX y USART\_RX, respectivamente.

La potencia que consume el microcontrolador es 0.392 W [27]. Dado que va a estar funcionando el día entero, su consumo medio es también 0.392 W.



**Figura 9.** Encapsulado del STM32WLE5CCU6. (Reproducido de [27]).

## 5.5. Módem

El módem que se va a utilizar para la transmisión de datos es un ZETA-GEP-LTE4 de Siretta (Spencers Wood, Reino Unido). La transmisión se va a hacer mediante GSM, funcionalidad en la banda del 2G. A pesar de las intenciones de apagar las antenas 2G en un futuro por parte del gobierno, esto no será un inconveniente, ya que este módem también tiene conexiones 3G y 4G. Este módem tiene conexión RS-232 y permite un control del encendido/apagado [30]. Esta habilitación se realizará a través del pin PA13 del microcontrolador.

El módem solo enviará información una vez al día, cuando se hayan acumulado los datos de toda una jornada. Lo hará a partir de las 22:00 horas, cuando el microcontrolador le dé la señal de encendido y le transmita vía RS-232 el paquete de datos. El módem

construirá las tramas en las que contendrá la información de fecha (AAAA:MM:DD), hora (HH:MM:SS), concentración de DO (CC), temperatura (TTT) y saturación de la muestra (SSS). La trama completa tendrá la forma que se ve en la Figura 10, teniendo un total de 15 bytes.



**Figura 10.** Trama del módem. Está partida para su mejor legibilidad, se transmite como una trama entera.

Este módem se alimenta a 12 V y por mediciones llevadas a cabo por MSM (La Poble de Vallbona, España), la potencia consumida es 0.36 W. Como solo va a funcionar 3 minutos durante el día ( $24h \cdot 60' = 1440'$ ), el consumo medio es de 0.01 W.

## 5.6. GPS

A pesar de que el módem tiene receptor GPS, se ha optado por usar uno externo para que este no tenga que trabajar todo el día, sino 3 minutos al día, ya que consume mucha potencia el módem. El receptor GPS escogido es el MFGPS, un módulo diseñado por MSM (La Poble de Vallbona, España) y fabricado por Tecnosel (Xirivella, España). El módulo permite obtener fecha, hora y ubicación precisa [33]. La fecha y hora serán transmitidas al microcontrolador para identificar el momento en que se guardó la muestra y no depender de un reloj interno que puede sufrir deriva. La ubicación servirá para saber el sistema dónde se encuentra cuando obtenga los otros dos parámetros.

Tras haberlo visualizado en Google Earth, se ha tenido en cuenta una desviación máxima de  $0.00002^\circ$  en cualquier dirección con respecto a la ubicación fijada. En dicho caso, provocará una interrupción que enviará por GSM un mensaje de texto avisando que

la boya se ha desplazado de su localización (“BOYA DESPLAZADA”) y finalizará el programa principal.

Tiene una salida por RS-232 que puede ser conectada a los pines de LPUART1 (PC0 y PC1, que corresponden a recepción y transmisión, respectivamente) del STM32WLE5CC [34].

Por datos obtenidos directamente de MSM, la potencia disipada cuando está comunicando con el satélite es 16 mW alimentado a 12 V. Si se tiene en cuenta que solo funcionará 1 de cada 10 minutos, su consumo medio será 1.6 mW.

## 5.7. Alimentación

Para alimentar todo el circuito electrónico alojado en la boya se hará uso de la energía solar. Los paneles solares estarán conectados a una batería CSB-GP12340 de voltaje nominal 12 V y capacidad nominal 34 Ah de CSB Energy Technology (Tainan, Taiwán) [26]. Un regulador solar SunSaver SS20L 12 V del fabricante Morningstar (Newtown, EEUU) se encargará de alimentar de forma estable la sonda, el módem y el microcontrolador. Para este último habrá una etapa de potencia para ajustar el voltaje a 3.3 V a partir de un convertidor DC-DC aislado de 1 W de RS Pro (Londres, Reino Unido) [31]. Operando a 3.3 V y proporcionando una corriente de salida de 152 mA, la potencia disipada es, teniendo en cuenta que trabajará todo el día:

$$P = 3.3 \cdot \frac{152}{1000} = 0.502 \text{ W}$$

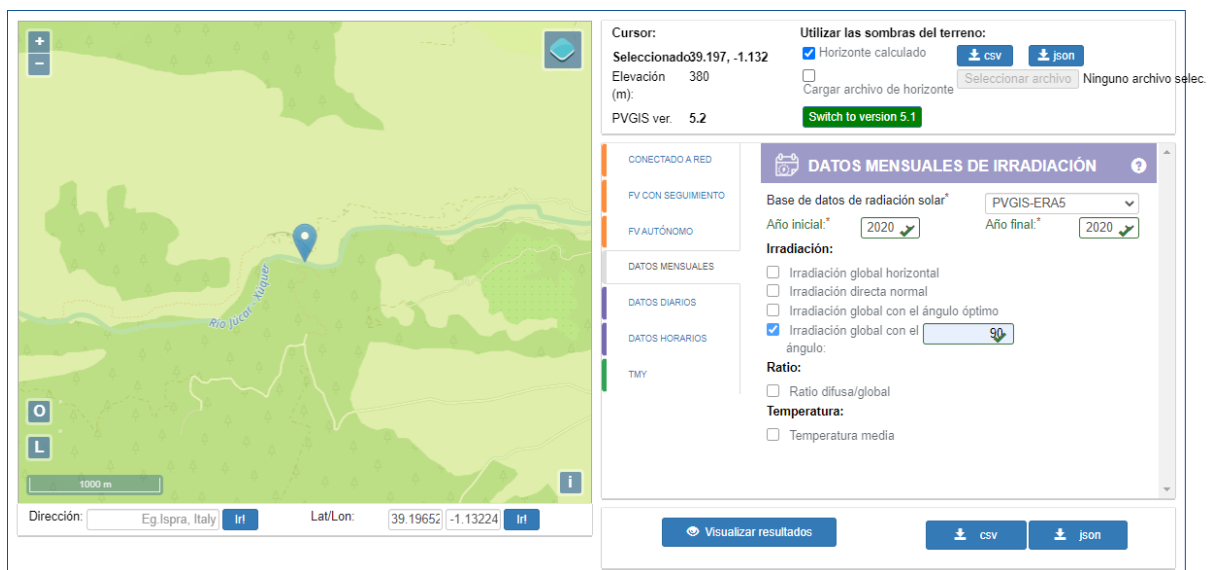
Conociendo todas las potencias disipadas en cada elemento, se obtiene el total:

$$P_{dis} = \sum P = 0.001 + 0.392 + 0.012 + 0.502 + 0.0016 = 0.908 \text{ W}$$

La IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) es una asociación que se encarga de aconsejar en asuntos de navegación marítima [24]. En su página web ofrece una herramienta para hacer cálculos de consumos en sistemas autónomos basados en energía solar. Esta herramienta permite introducir como datos de entrada: coordenadas geográficas donde se encontrará el sistema, el

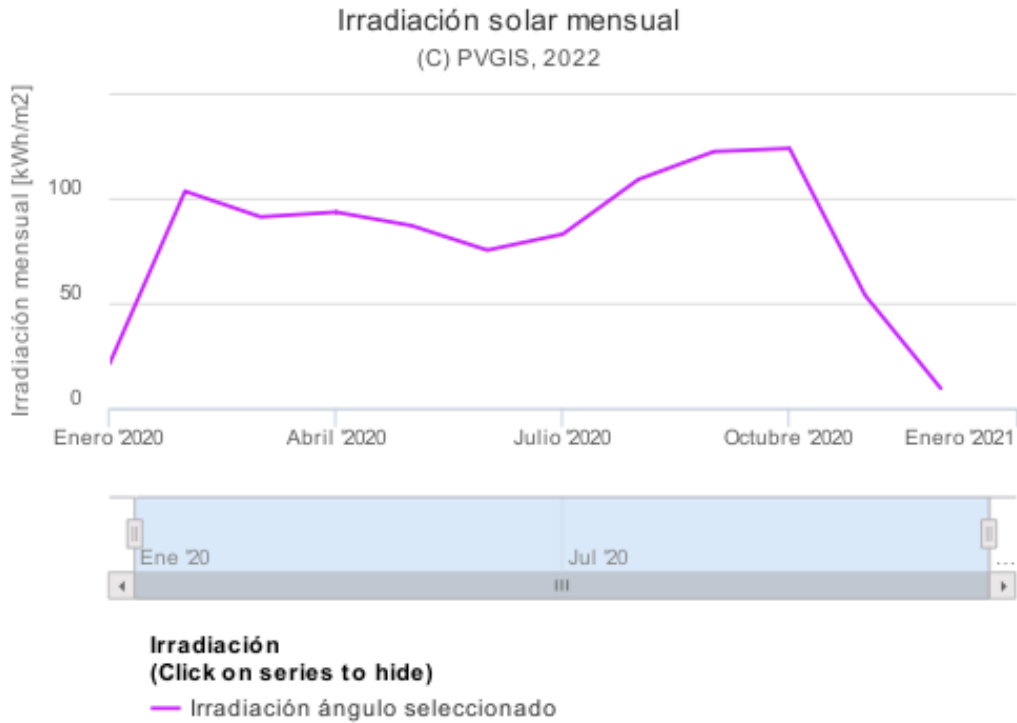
factor de degradación del panel solar, voltaje del sistema, voltaje en el punto de máxima potencia del panel, potencia del panel (considerando irradiancia solar de 1000 W/m<sup>2</sup>), factor de reducción por la orientación de los paneles, carga continua (en W), capacidad (Ah), eficiencia y máxima capacidad aprovechable de la batería. Como datos de salida, se puede observar en un gráfico la energía ganada y la energía consumida a lo largo de los meses. Además, nos proporciona los días de autonomía.

El documento Excel ofrece varios lugares junto con sus radiaciones solares diarias medias en los meses del año. Nosotros podemos añadir un nuevo lugar si conocemos sus coordenadas (latitud y longitud) y las radiaciones solares. Para ello, se visita la página web [www.re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](http://www.re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/). (ver Figura 11).



**Figura 11.** Interfaz de la herramienta para encontrar la irradiación solar global en un periodo determinado (reproducido de [28]).

En la Figura 11 se puede ver que se introducen los datos de latitud y longitud, se elige una base de datos de radiación solar (cualquiera nos sirve para hacer una estimación) y se elige un periodo. En nuestro caso se ha elegido lo más reciente, de enero de 2020 a diciembre de 2020. Luego se seleccionan los datos que queremos representar que, en nuestro caso, solamente es la irradiación solar, para un ángulo de 90°. En energía fotovoltaica un ángulo de 90° implica orientar los paneles verticalmente, es decir, perpendiculares al suelo. En la Figura 12, se observa la gráfica obtenida. Estos datos son modelos estadísticos obtenidos mediante extrapolación a partir de la radiación medida en alguna estación meteorológica.



**Figura 12.** Irradiación solar total por cada mes del 2020 medida en kWh/m<sup>2</sup>.

A partir de los datos de irradiación solar total mensual, podemos calcular la diaria promedio dividiendo entre el número de días que cada mes tiene. Los valores se pueden ver en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Datos de irradiación solar diaria promedio en las coordenadas de la boya.

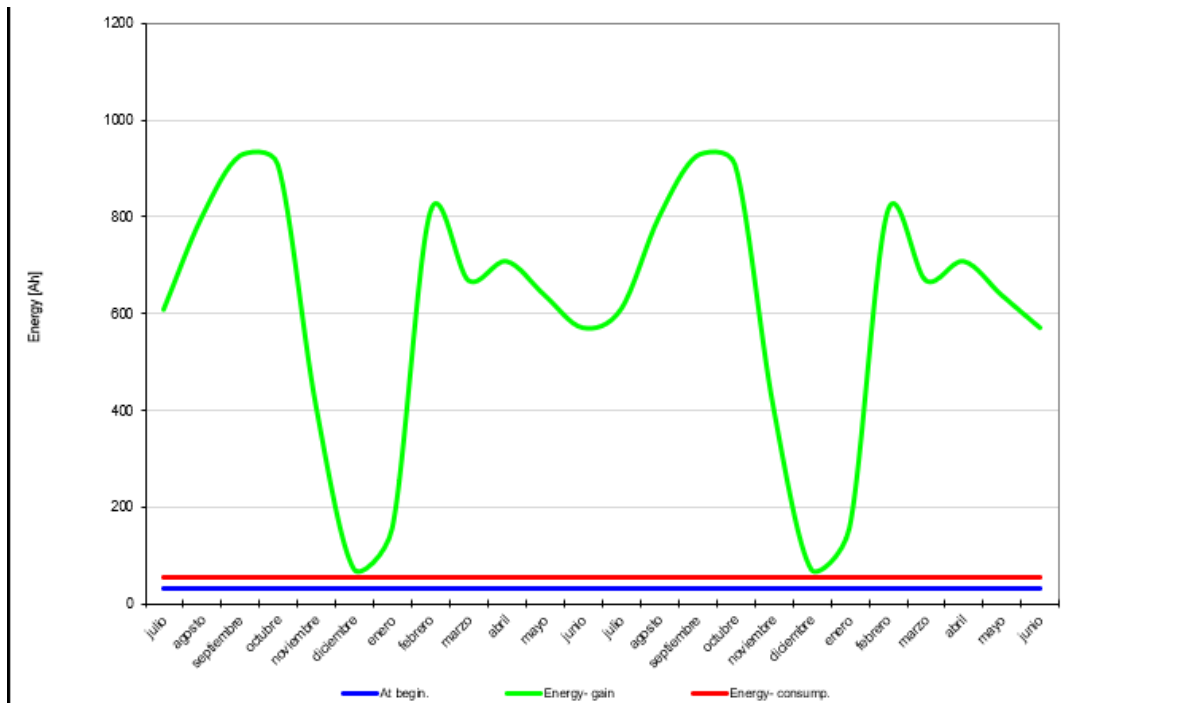
<b>Mes</b>	<b>Irradiación solar mensual (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nº días</b>	<b>Irradiación solar diaria promedio (kWh/m<sup>2</sup>)</b>
Enero	21.18	31	0.68
Febrero	103.35	29	3.56
Marzo	91.12	31	2.94
Abril	93.39	30	3.11
Mayo	86.94	31	2.80
Junio	75.27	30	2.51
Julio	82.92	31	2.67
Agosto	108.97	31	3.52
Septiembre	122.23	30	4.07
Octubre	123.74	31	3.99
Noviembre	53.84	30	1.79
Diciembre	9.54	31	0.31

Tras haber creado la nueva ubicación en el Excel ofrecido por la IALA, se va a la pestaña general de simulación para introducir los datos de interés. En la Figura 13, se ve el aspecto con los datos que se han elegido para nuestro sistema de alimentación. Se ha escogido una batería adecuada de 34 Ah y se ha obtenido la potencia necesaria de nuestros paneles solares mediante aproximaciones sucesivas, necesitando 240 W en total, que se obtendrá con 4 paneles de 60 W [32]. Existe un factor de reducción de 0.7, previamente calculado por IALA, que asociado al hecho de tener 4 paneles cada uno orientado en cada cara de la boya. Los valores de eficiencia de la batería (80%), máxima capacidad usable (90%) y el factor de envejecimiento del panel solar (20%) son los recomendados por la IALA y no deben ser modificados por el usuario. Con todo, se puede tener hasta 17 días sin cargar la batería para que el sistema completo siga funcionando.

System	BOYAS			
Lat. / Long. / Station	39,2	°	-1,13224	° Júcar, 90°
PV Age factor	20	%	Deduction for ageing of solar panels	
System Voltage	12	Volt	Voltage of the system	
PV voltage $U_{MPP}$	18	Volt	Voltage in the Maximum Power Point	
PV Power	240	$W_{peak}$	Power at solar radiation of 1000W/m <sup>2</sup>	
Orientation	0,7		Deduction for different panel orientations	
Lantern load night	0	W	Lantern load day	0 W
Duty cycle	0	%		
Switch-level	0	h	added hours before dusk and after dawn	
Continuous load	0,908	W		
Battery capacity	34	Ah C <sub>100</sub>		
max. useable Cap.	90	%		
Battery efficiency	80	%		
Days without gain	17	days	number of days working without energy gain	

**Figura 13.** Captura del Excel de IALA con los parámetros escogidos para el diseño de paneles solares. Los parámetros cuyo valor es 0 se deben a que el Excel también está pensado para balizas que deben emitir luz por la noche.

En la Figura 14 se puede observar la gráfica a lo largo de los meses con la ganancia de energía (verde), el consumo de energía (rojo) y su valor al principio de cada mes (azul) en Ah.



**Figura 14.** Gráfica de las energías ganada y consumida a lo largo del año.

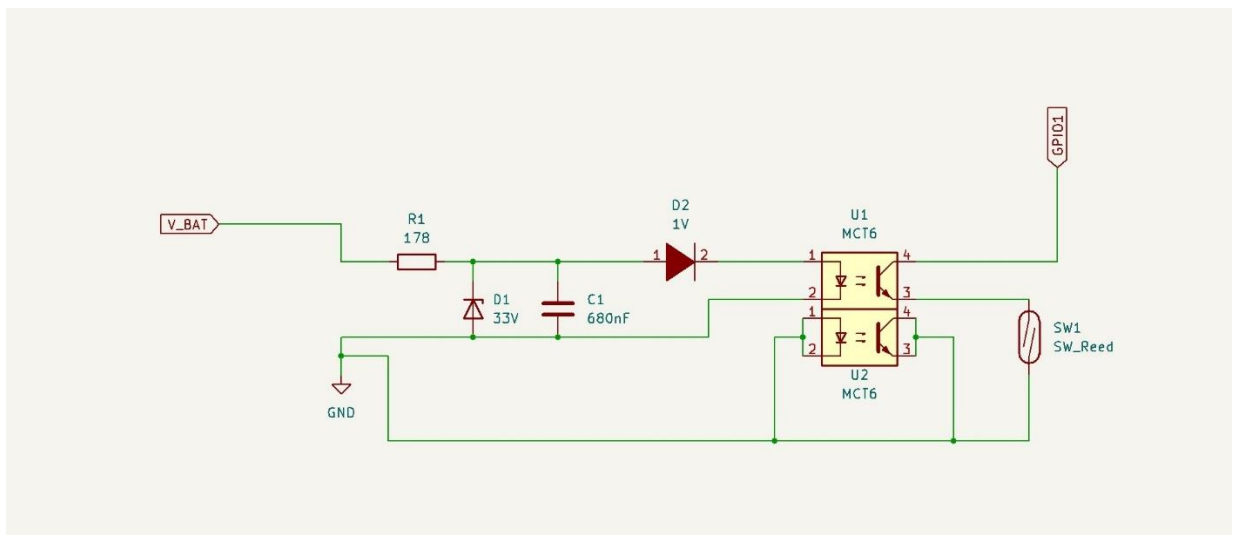
## 5.8. Sensor de intrusión

El sensor de intrusión es un sistema que envía una alerta en caso de que alguien no autorizado intente acceder al interior de la boya para manipularla o robar su contenido. Se trata de un interruptor Reed normalmente cerrado por un imán que se encuentra en la puerta (ver Figura 15). Si esta se abre, el contactor se abre y una corriente eléctrica es interrumpida. En ese caso, el microcontrolador detecta que no está recibiendo la señal y salta a una rutina de interrupción para que el módem transmita el siguiente mensaje al terminal GSM: "INTRUSIÓN DETECTADA".



**Figura 15.** Sensor de intrusión instalado en una boya real.

Para evitar que el ruido pueda activar el sensor y dar una falsa alerta, se ha implementado una etapa de eliminación de ruido basada en un optoacoplador (ver Figura 16).



**Figura 16.** Circuito supresor de ruido para el sensor de intrusión.



Este circuito se compone de una resistencia para limitar la corriente que se tiene que calcular, un diodo Zener de voltaje Zener 33 V, 1N5257B de Microchip Technology (Chandler, EEUU) para proteger contra sobretensiones, un condensador que actúa como filtro paso-bajo para eliminar el rizado y las altas frecuencias (680 nF/63 V) y un diodo de propósito general modelo BAS299-7 de Diodes Incorporated (Plano, EEUU) para evitar polaridades inversas. Este diodo tiene un voltaje en polarización directa ( $V_F$ ) de 1 V cuando la corriente que circula ( $I_F$ ) es 50 mA. A la salida del diodo hay un optoacoplador MCT6 de Siemens (Múnich, Alemania) cuyo LED permite una corriente máxima de 60 mA según la hoja de datos [25]. Para ello, la resistencia debe tener un valor de:

$$R_{lim} = \frac{12 - V_{F\_DIODO} - V_{F\_LED}}{I_{max}} = \frac{12 - 1 - 1.1}{0.06} = 165 \Omega$$

Se selecciona, de los valores existentes de la serie E48 (tolerancia de 2%), un resistor de 178  $\Omega$  (valor inmediatamente superior).

Para que el fototransistor pueda ser excitado es necesaria una corriente mínima a través del LED. Dicha corriente debe ser de 15 mA. Comprobamos que la corriente circulando por el LED es:

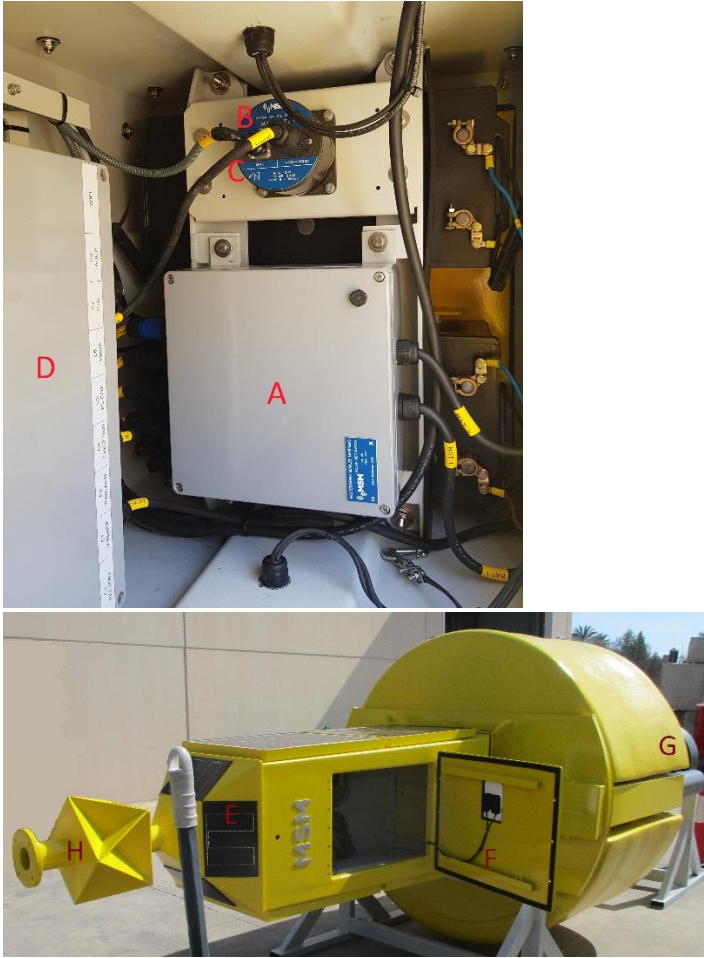
$$I_{min} = \frac{12 - V_{F\_DIODO} - V_{F\_LED}}{R_{lim}} = \frac{12 - 1 - 1.1}{178} = 55.62 \text{ mA}$$

Así que nuestro circuito cumple con las características necesarias para que el optoacoplador funcione correctamente.

En el plano de esta parte del sistema se ha utilizado otro optoacoplador de 1 canal duplicado para su elaboración.

## 5.9. Aspecto final aproximado de una aplicación real

En la Figura 17 se puede ver una serie de fotos cedidas por MSM (La Pobla de Vallbona, España), que muestran un caso real de boya con un aspecto aproximado con algunas de sus partes indicadas. Estas fotos son ilustrativas de cómo se implementaría en una aplicación real el diseño que se ha realizado en este proyecto. No se trata de un montaje exacto como el descrito en este trabajo.



**Figura 17.** Aspecto aproximado de una boya real. Se indican (A) el regulador solar, (B) la sonda de  $O_2$ , (C) el receptor GPS, (D) el panel de la electrónica de control, (E) los paneles solares, (F) la puerta de protección, (G) la parte inferior de la boya y (H) la parte superior de la misma.

## 6. Conclusiones

En este TFG se ha desarrollado una solución técnica enfocada a la electrónica para implementar una boya que pueda medir la concentración de oxígeno disuelto en un río. Este sistema ha empleado una fuente de energía renovable para ser autosuficiente. Se ha buscado una solución a la transmisión de esos datos obtenidos mediante una sonda de concentración de oxígeno disuelto óptica basada en la desactivación de luminiscencia. Esta transmisión se ha hecho por medio de tramas codificadas con un módem que

después envía a un terminal por GSM. Además, se han implementado algunas funcionalidades para darle mayor seguridad a la boya, como son el receptor GPS para obtener fecha, hora y ubicación (esta última, en caso de desamarre) y el sensor de intrusión. También se ha incluido un supresor de ruido mediante aislamiento óptico para evitar que se estropee el microcontrolador por sobretensiones desde la entrada digital del sensor de intrusión.

Algunas mejoras futuras serían incluir un sensor para medir la tensión de la batería. Si el nivel de esta baja de un valor X que impida el correcto funcionamiento del sistema un simple circuito que mide con un periodo de muestreo concreto por un pin de ADC genera una interrupción. Esta interrupción en forma de alerta es enviada en forma de mensaje al terminal GSM como "BATERÍA BAJA". Otra mejora sería incluir un RESET externo conectado a un pin digital del microcontrolador en caso de no ser fiable el Watchdog de este.

Este proyecto puede servir como base para desarrollar un producto final completo que requeriría el diseño mecánico de la boya. También sería necesaria la programación del código para que funcione todo el sistema. No se ha podido simular ni construir por falta de recursos materiales pero con cálculos se ha demostrado que es viable el diseño electrónico.

## 7. Referencias

[1] "¿Qué es la eutrofización?" [www.iagua.es/respuestas/que-es-eutrofizacion](http://www.iagua.es/respuestas/que-es-eutrofizacion) (consultado el 21 de julio de 2022)

[2] "Las sustancias tóxicas inundan los ríos de España: la contaminación llega a todas las reservas de agua"  
[www.elespanol.com/enclave-ods/historias/20220310/sustancias-toxicas-inundan-espana-contaminacion-llega-reservas/655934675\\_0.html](http://www.elespanol.com/enclave-ods/historias/20220310/sustancias-toxicas-inundan-espana-contaminacion-llega-reservas/655934675_0.html) (consultado el 21 de julio de 2022)

[3] “Análisis de los procesos de oxigenación del sistema lagunar.”  
[www.repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/1382/Final\\_Analisis\\_de\\_los\\_Procesos\\_de\\_Oxigenaci%C3%B3n.pdf](http://www.repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/1382/Final_Analisis_de_los_Procesos_de_Oxigenaci%C3%B3n.pdf) (consultado el 30 de julio de 2022)

[4] “Oxygen - Solubility in Fresh and Sea Water vs. Temperature”  
[www.engineeringtoolbox.com/oxygen-solubility-water-d\\_841.html](http://www.engineeringtoolbox.com/oxygen-solubility-water-d_841.html) (consultado el 21 de julio de 2022)

[5] “Oxígeno disuelto”  
[www.guemisa.com/articulos/que%20es%20oxigeno\\_disuelto.pdf](http://www.guemisa.com/articulos/que%20es%20oxigeno_disuelto.pdf) (consultado el 22 de julio 2022)

[6] “User’s manual: Dissolved oxygen metering system Model DO30G” [https://web-material3.yokogawa.com/GS12J05D03-01E.pdf?\\_ga=2.79196439.2098585050.1658507888-206798545.1658137597](https://web-material3.yokogawa.com/GS12J05D03-01E.pdf?_ga=2.79196439.2098585050.1658507888-206798545.1658137597) (consultado el 22 de julio de 2022)

[7] “Galvanic vs Optical Dissolved Oxygen Sensors”  
[www.horiba.com/usa/water-quality/support/technical-tips/electrodes/galvanic-vs-optical-dissolved-oxygen-sensors/](http://www.horiba.com/usa/water-quality/support/technical-tips/electrodes/galvanic-vs-optical-dissolved-oxygen-sensors/) (consultado el 22 de julio de 2022).

[8] Apuntes de la asignatura Sensores e Instrumentación virtual del curso 2021-2022 (consultado el 23 de julio de 2022)

[9] “Basic information about the Charles River Buoy”  
[www.epa.gov/charlesriver/basic-information-about-charles-river-buoy](http://www.epa.gov/charlesriver/basic-information-about-charles-river-buoy) (consultado el 23 de julio de 2022)

[10] “Boya inteligente para medir sustancias contaminantes en el medio acuático”  
[www.noticiasdelaciencia.com/art/21046/boya-inteligente-para-medir-sustancias-contaminantes-en-el-medio-acuatico](http://www.noticiasdelaciencia.com/art/21046/boya-inteligente-para-medir-sustancias-contaminantes-en-el-medio-acuatico) (consultado el 23 de julio de 2022)

[11] “Real Decreto 670/2013, de 6 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11

de abril, en materia de registro de aguas y criterios de valoración de daños al dominio público hidráulico.” [www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-9775](http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-9775) (consultado el 24 de julio de 2022)

[12] [www.epa.gov/mysticriver/basic-information-about-mystic-river-buoy](http://www.epa.gov/mysticriver/basic-information-about-mystic-river-buoy) (consultado el 23 de julio de 2022)

[13] [www.rbr-global.com/products/sensors/rbr-coda-todo/](http://www.rbr-global.com/products/sensors/rbr-coda-todo/) (consultado el 29 de julio de 2022)

[14] “Estudiante de la UNSE crea un dispositivo electrónico para monitorear la contaminación del embalse de Termas”  
[www.santiagodiapordia.com.ar/index.php/2020/06/24/estudiante-de-la-unse-crea-un-dispositivo-electronico-para-monitorear-la-contaminacion-del-embalse-de-termas/](http://www.santiagodiapordia.com.ar/index.php/2020/06/24/estudiante-de-la-unse-crea-un-dispositivo-electronico-para-monitorear-la-contaminacion-del-embalse-de-termas/)  
(consultado el 23 de julio de 2022)

[15] “Dissolved Oxygen (DO) Measurement FAQs” [www.coleparmer.com/tech-article/dissolved-oxygen-measurement-faqs](http://www.coleparmer.com/tech-article/dissolved-oxygen-measurement-faqs) (consultado el 25 de julio de 2022)

[16] “Model FLXA402 4-Wire Converter”  
[www.web-material3.yokogawa.com/GS12A01F01-01EN\\_010.pdf](http://www.web-material3.yokogawa.com/GS12A01F01-01EN_010.pdf) (consultado el 26 de julio de 2022)

[17] “Amenaza invisible: la contaminación del agua por nitratos”  
[www.es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/informes/amenaza-invisible-la-contaminacion-del-agua-por-nitratos/](http://www.es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/informes/amenaza-invisible-la-contaminacion-del-agua-por-nitratos/) (consultado el 26 de julio de 2022)

[18] “Model FLXA402 4-Wire Converter Installation and Wiring” [www.web-material3.yokogawa.com/IM12A01F01-02EN.pdf](http://www.web-material3.yokogawa.com/IM12A01F01-02EN.pdf) (consultado el 27 de julio de 2022)

[19] “Cables” [www.rbr-global.com/products/accessories/cables/](http://www.rbr-global.com/products/accessories/cables/) (consultado el 31 de julio de 2022)

[20] “MCBH connector pinout”

[www.docs.rbr-global.com/support/instruments/instrument-connections/mcbh-connector-pinout](http://www.docs.rbr-global.com/support/instruments/instrument-connections/mcbh-connector-pinout) (consultado el 31 de julio de 2022)

[21] "RS-232" [www.en.wikipedia.org/wiki/RS-232#Data\\_and\\_control\\_signals](http://www.en.wikipedia.org/wiki/RS-232#Data_and_control_signals) (consultado el 31 de julio de 2022)

[22] "RS232 Serial Communication Protocol: Basics, Working & Specifications" [www.circuitdigest.com/article/rs232-serial-communication-protocol-basics-specifications](http://www.circuitdigest.com/article/rs232-serial-communication-protocol-basics-specifications) (consultado el 31 de julio de 2022)

[23] [www.ti.com/document-viewer/MAX3232/datasheet/GUID-AF326493-0532-40E2-94E0-C089CD19DE25#TITLE-SLLS410SLLS4102216](http://www.ti.com/document-viewer/MAX3232/datasheet/GUID-AF326493-0532-40E2-94E0-C089CD19DE25#TITLE-SLLS410SLLS4102216) (consultado el 14 de agosto de 2022)

[24] International Association of Marine Aids to Navigations and Lighthouse Authorities [www.en.wikipedia.org/wiki/International\\_Association\\_of\\_Marine\\_Aids\\_to\\_Navigation\\_and\\_Lighthouse\\_Authorities](http://www.en.wikipedia.org/wiki/International_Association_of_Marine_Aids_to_Navigation_and_Lighthouse_Authorities) (consultado el 4 de agosto de 2022)

[25] "MCT6 Datasheet" [www.pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/45435/SIEMENS/MCT6.html](http://www.pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/45435/SIEMENS/MCT6.html) (consultado el 14 de agosto de 2022)

[26] "Batería 12V 34Ah CSB serie GP" [www.andupil.com/es/baterias-para-sai/13533-bateria-12v-34ah-csb-serie-gp.html](http://www.andupil.com/es/baterias-para-sai/13533-bateria-12v-34ah-csb-serie-gp.html) (consultado el 11 de agosto de 2022)

[27] "STM32WLE5CCU6" [www.mouser.es/datasheet/2/389/stm32wle5c8-1903151.pdf](http://www.mouser.es/datasheet/2/389/stm32wle5c8-1903151.pdf) (consultado el 8 de agosto de 2022)

[28] "Photovoltaic geographical information system" [www.re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](http://www.re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/) (consultado el 6 de agosto de 2022)

[29] "How optical dissolved oxygen meters work" [www.coleparmer.in/blog/2015/02/16/how-optical-dissolved-oxygen-meters-work/](http://www.coleparmer.in/blog/2015/02/16/how-optical-dissolved-oxygen-meters-work/) (consultado el 8 de agosto de 2022)

[30] “ZETA-GEP-LTE4 (EU) Datasheet” [www.siretta.com/sdm\\_downloads/zeta-gep-lte4-eu-datasheet/](http://www.siretta.com/sdm_downloads/zeta-gep-lte4-eu-datasheet/) (consultado el 10 de agosto de 2022)

[31] “RS PRO 1W isolated DC-DC converters” [www.docs.rs-online.com/aeaa/A700000008242804.pdf](http://www.docs.rs-online.com/aeaa/A700000008242804.pdf) (consultado el 16 de agosto de 2022)

[32] “Placa Solar Fotovoltaica Policristalina VICTRON 60W / 12V BlueSolar” [www.fusionenergiasolar.es/fotovoltaica/418-placa-solar-fotovoltaica-policristalina-bluesolar-victron-60w-12v.html](http://www.fusionenergiasolar.es/fotovoltaica/418-placa-solar-fotovoltaica-policristalina-bluesolar-victron-60w-12v.html) (consultado el 16 de agosto de 2022)

[33] “MFGPS” [www.cdn.mesemar.com/wp-content/uploads/MFGPS\\_Position-Synchronisation-Module.pdf](http://www.cdn.mesemar.com/wp-content/uploads/MFGPS_Position-Synchronisation-Module.pdf) (consultado el 26 de agosto de 2022)

[34] “STM32L4 - LPUART” [www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product\\_training/3e/e7/ff/6f/b4/11/43/a4/STM32L4\\_Peripheral\\_LPUART.pdf/files/STM32L4\\_Peripheral\\_LPUART.pdf/jcr:content/translations/en.STM32L4\\_Peripheral\\_LPUART.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/3e/e7/ff/6f/b4/11/43/a4/STM32L4_Peripheral_LPUART.pdf/files/STM32L4_Peripheral_LPUART.pdf/jcr:content/translations/en.STM32L4_Peripheral_LPUART.pdf) (consultado el 26 de agosto de 2022)

[35] “Is the fluorescence lifetime related to the concentration of the fluorophore?” [www.researchgate.net/post/Is\\_the\\_fluorescence\\_lifetime\\_related\\_to\\_the\\_concentration\\_of\\_the\\_fluorophore](http://www.researchgate.net/post/Is_the_fluorescence_lifetime_related_to_the_concentration_of_the_fluorophore) (consultado el 5 de septiembre de 2022)

## 8. Anexos

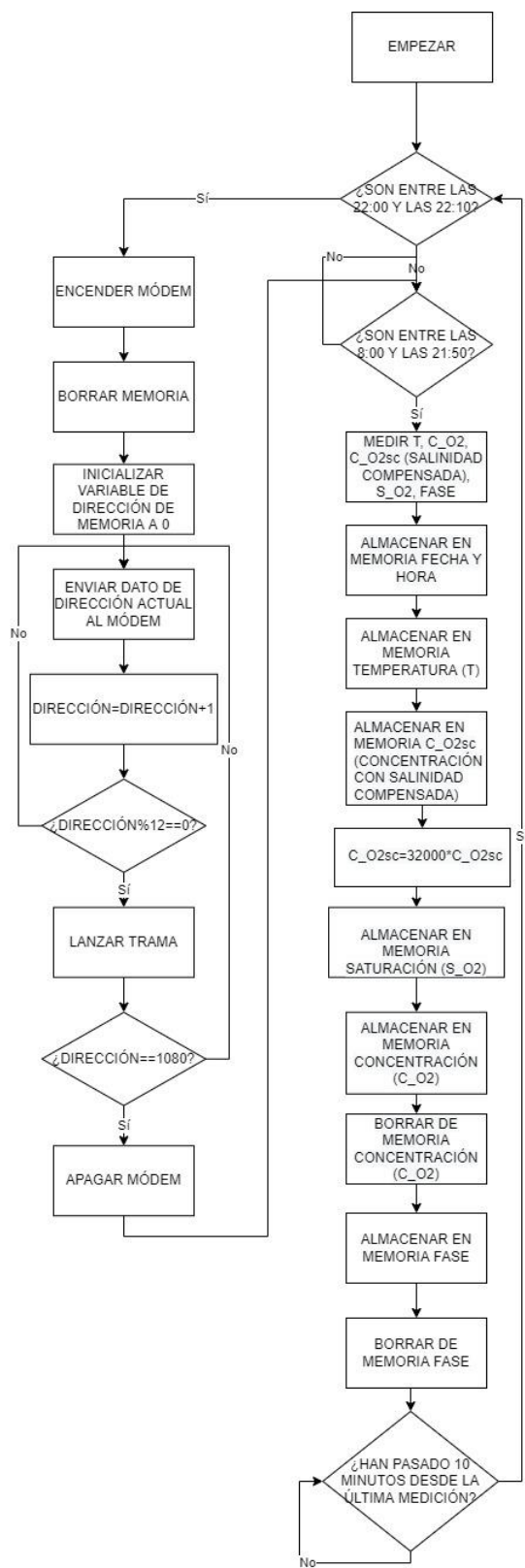


Figura 18. Flujograma del programa principal



## 1. ACTA DE CONSTANCIA Y TOMA DE MUESTRA

ACTA Nº	FECHA Nº	HOJA.....DE.....HOJAS
<b>1. TOMADOR DE MUESTRAS</b>		
Nombre:		DNI:
Cargo:		
Organismo al que pertenece	<input type="checkbox"/> Organismo de Cuenca: .....	<input type="checkbox"/> Entidad Colaboradora: Nº de Registro.....
<b>2. NOMBRE DEL TITULAR Y EMPLAZAMIENTO</b>		
Nombre:		CIF:
Dirección:		Tfno:
Municipio:	CP:	Provincia:
<b>3. PERSONA ASISTENTE A LA INSPECCIÓN</b>		
Nombre:		DNI:
<input type="checkbox"/> Titular	<input type="checkbox"/> Representante	Cargo que desempeña:
	<input type="checkbox"/> Delegación del representante	Cargo que desempeña:
<b>4. VERTIDO AL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO</b>		
Procedencia:		<input type="checkbox"/> Aglomeración urbana <input type="checkbox"/> Vertido industrial
¿Tiene sistema de tratamiento?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Funciona <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No funciona	Tipo:
¿Existe caudalímetro?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Funciona <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No funciona	Tipo:
Caudal diario (m <sup>3</sup> /d):	Caudal horario máximo (m <sup>3</sup> /h):	Caudal instantáneo máximo (L/s):
Medio receptor	<input type="checkbox"/> Cauce <input type="checkbox"/> Terreno	Nombre:
<b>5. CROQUIS</b>		

ACTA Nº	FECHA Nº	HOJA.....DE.....HOJAS
---------	----------	-----------------------

MUESTRA Nº ..... DE.....		Código de identificación:		Hora del muestreo:	
Identificación del punto de muestreo:		<input type="checkbox"/> Vertido a DPH <input type="checkbox"/> Punto de control <input type="checkbox"/> Otro.....		UTM <sub>x</sub> : UTM <sub>y</sub> : HUSO: DATUM:	
Tipo de muestra <input type="checkbox"/> Puntual <input type="checkbox"/> Compuesta Manual:    horas <input type="checkbox"/> Compuesta Automática    horas					
pH:	Conductividad a 20°C (µS/cm):	Caudal instantáneo (L/s):	T agua (°C):	T ambiente (°C):	
Conservación de la muestra			Nº de alícuotas		
Nº	Tipo de recipiente	Técnica de conservación			
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				

MUESTRA Nº ..... DE.....		Código de identificación:		Hora del muestreo:	
Identificación del punto de muestreo:		<input type="checkbox"/> Vertido a DPH <input type="checkbox"/> Punto de control <input type="checkbox"/> Otro.....		UTM <sub>x</sub> : UTM <sub>y</sub> : HUSO: DATUM:	
Tipo de muestra <input type="checkbox"/> Puntual <input type="checkbox"/> Compuesta Manual:    horas <input type="checkbox"/> Compuesta Automática    horas					
pH:	Conductividad a 20°C (µS/cm):	Caudal instantáneo (L/s):	T agua (°C):	T ambiente (°C):	
Conservación de la muestra			Nº de alícuotas		
Nº	Tipo de recipiente	Técnica de conservación			
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				

MUESTRA Nº ..... DE.....		Código de identificación:		Hora del muestreo:	
Identificación del punto de muestreo:		<input type="checkbox"/> Vertido a DPH <input type="checkbox"/> Punto de control <input type="checkbox"/> Otro.....		UTM <sub>x</sub> : UTM <sub>y</sub> : HUSO: DATUM:	
Tipo de muestra <input type="checkbox"/> Puntual <input type="checkbox"/> Compuesta Manual:    horas <input type="checkbox"/> Compuesta Automática    horas					
pH:	Conductividad a 20°C (µS/cm):	Caudal instantáneo (L/s):	T agua (°C):	T ambiente (°C):	
Conservación de la muestra			Nº de alícuotas		
Nº	Tipo de recipiente	Técnica de conservación			
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				
	P/V/VB				

DATOS SOBRE EL LEVANTAMIENTO DEL ACTA DE CONSTANCIA  
Y TOMA DE MUESTRA

ACTA N°	FECHA N°	HOJA.....DE.....HOJAS
---------	----------	-----------------------

La toma de muestra se ha realizado:

- En presencia y con conformidad del representante del titular del vertido.  
En prueba de conformidad, el representante firma la presente Acta
- Con conocimiento del representante del titular del vertido pero con falta de conformidad por parte del mismo.
- Sin conocimiento del representante del titular del vertido, por razones de:
  - Urgencia
  - Identificación imposible del representante
  -

Otros:.....

Se han tomado un total de.....muestras, cada una por duplicado (oficial y contradictoria), identificadas y precintadas con el código:

- Muestra 1:.....
- Muestra 2:.....
- Muestra 3:.....

La contradictoria se ofrece al representante del titular del vertido que:

- Acepta
- Rechaza

Se notifica en el mismo acto al interesado que, en caso de rechazo, la Contradictoria se encontrará precintada y depositada a su disposición durante los ..... días hábiles siguientes a la fecha de la toma de muestras en ..... para su análisis.

OBSERVACIONES

---

Por parte del titular / representante:

Por parte del tomador de la muestra:

POR EL TITULAR / REPRESENTANTE      POR EL TOMADOR DE LA MUESTRA:

Fdo:

Fdo:

## 2. CONTENIDO MÍNIMO DEL DOCUMENTO DE CADENA DE CUSTODIA

Código de identificación de la muestra:					Nº de alícuotas:	
	ACTIVIDAD	FECHA/HORA		ORGANIZACIÓN RESPONSABLE	NOMBRE Y DNI	FIRMA
		INICIO	FINAL			
1	TOMA DE MUESTRA					
2	TRANSPORTE					
3	RECEPCIÓN LABORATORIO					
4	REALIZACIÓN ENSAYOS					
5	ALMACENAJE FINAL.»					



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL**  
**DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2021/2022

**TRABAJO DE FIN DE GRADO:**

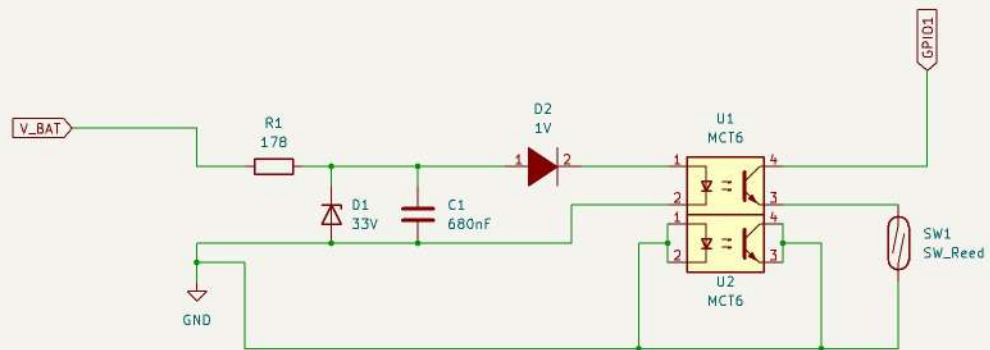
**DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO ALOJADO EN UNA BOYA**  
**FLUVIAL PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA**

**DOCUMENTO 2. PLANOS**

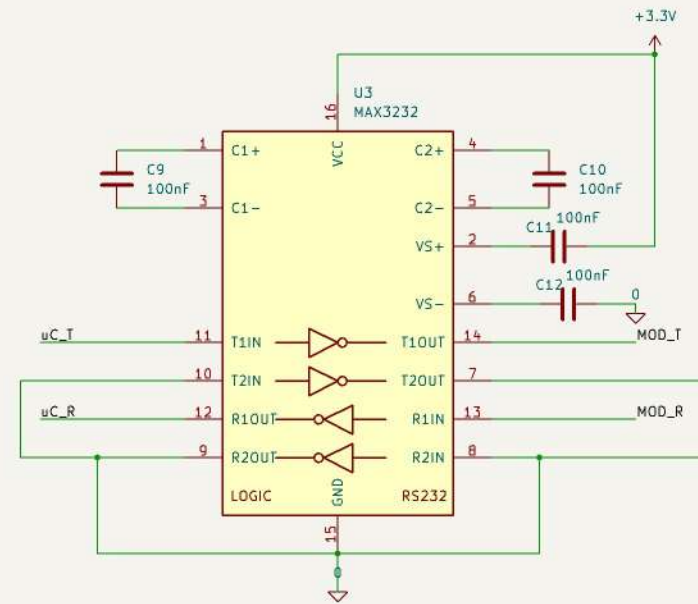
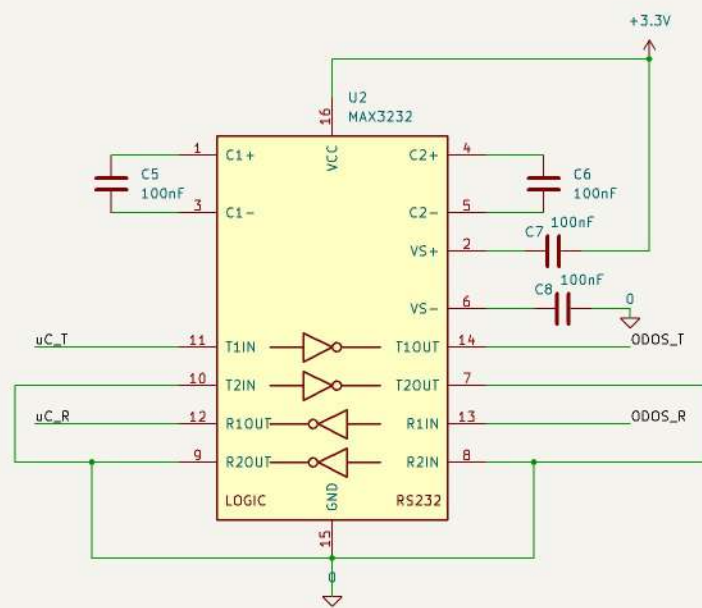
**AUTOR:** Carlos Caro Hernández

**TUTOR:** Dr. Enrique Berjano Zanón

**COTUTOR:** Dr. Juan José Pérez Martínez



Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO ALOJADO EN UNA BOYA FLUVIAL PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA		Plano no. 1
		Escala: S/E
Plano: CIRCUITO SUPRESOR DE RUIDO PARA SENSOR DE INTRUSIÓN		Universidad Politécnica de Valencia
Autor: CARLOS CARO HERNÁNDEZ		Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Tutor: ENRIQUE BERJANO ZANÓN		
Ingeniería Electrónica Industrial y Automática		



Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO ALOJADO EN UNA BOYA FLUVIAL  
PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA

Plano no. 2

Escala: S/E

Plano: ADAPTADORES DE SEÑAL RS-232-TTL

Universidad Politécnica de Valencia

Autor: CARLOS CARO HERNÁNDEZ

Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería del Diseño

Tutor: ENRIQUE BERJANO ZANÓN

Ingeniería Electrónica Industrial y Automática



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL  
DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2021/2022

**TRABAJO DE FIN DE GRADO:**

**DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO ALOJADO EN UNA BOYA  
FLUVIAL PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA**

**DOCUMENTO 3. PRESUPUESTO**

**AUTOR:** Carlos Caro Hernández

**TUTOR:** Dr. Enrique Berjano Zanón

**COTUTOR:** Dr. Juan José Pérez Martínez



Para el cálculo de los presupuestos se ha tenido en cuenta el coste de los materiales, el coste de mano de obra del ingeniero técnico, encargado del diseño y montaje de un solo circuito electrónico y los costes de amortización. Al haberse usado solamente el ordenador para el diseño, se puede desprestigiar este coste. En las Tablas 5 y 6 se pueden ver los costes de materiales y mano de obra.

**Tabla 5.** Coste de materiales desglosado.

Unidad	Referencia	Descripción	Cantidad	Precio	Total
U	MAX3232	Transmisor-receptor RS-232	2	2.93	5.86 €
U	STM32WLE5CCU6	Microcontrolador	1	10.87	10.87 €
U		Panel solar 60 W	4	68.61	274.44 €
U	SunSaver SS-20L 12 V	Regulador solar 12 V	1	109.25	109.25 €
U	CSB-GP12340	Batería plomo ácido 34 Ah 12 V	1	95.96	95.96 €
U	223-3644	RS PRO 1W isolated DC-DC converters	1	3.22	3.22 €
U	ZETA-GEP-LTE4	Módem	1	343.59	343.59 €
U	MFGPS	Receptor GPS	1	300.00	300.00 €
U	RBR coda3 T.ODO	Sonda de oxígeno disuelto	1	5698.57	5698.57 €
m		Cable 0.33mm2*	10	1.21	12.10 €
U		Cable RS-232 (30 m)**	1	154.00	154.00 €
U		11822 Cable adaptador RS-232 (2 m)***	1	436.31	436.31 €
U	339-746	Sensor de intrusión magnético	1	16.94	16.94 €
U	339-768	Actuador sensor intrusión	1	7.85	7.85 €
U	S104Z93Z5VL83L0R	Condensador 100 nF	8	2.38	19.04 €
U	R82DC3680Z360K	Condensador 680 nF/63 V	1	0.65	0.65 €
U	1N5255B	Diodo Zener	1	2.21	2.21 €
U	BAS299-7	Diodo	1	0.37	0.37 €
U	MCT6	Optoacoplador	1	1.20	1.20 €
U	MBA02040C1780FRP00	Resistor 178 ohm	1	0.24	0.24 €
<b>TOTAL</b>					<b>7492.67 €</b>

\*Este cable es para la alimentación y se utiliza para conectar al regulador solar la batería, los paneles solares, el módem, el receptor GPS y la sonda.

\*\*Este cable se utilizará para interconectar el cable adaptador RS-232 del sensor con el MAX3232, de este al microcontrolador, de este al otro MAX3232 y de aquí al módem. Todos ellos con soldadura de estaño. Además del cable de ENABLE que va de una salida del microcontrolador al módem. Y otro más del optoacoplador a la entrada digital del microcontrolador.

\*\*\*Este cable es para poder darle robustez y extensión a la conexión entre el conector MCBH-6-MP y el MAX3232.

**Tabla 6.** Coste de mano de obra.

Unidad	Referencia	Descripción	Cantidad	Precio	Total
h	Ingeniero técnico	Diseño y montaje del circuito	200	25	5000.00 €
				<b>TOTAL</b>	<b>5000.00 €</b>

En la Tabla 7, está el cómputo total de los costes anteriores y el valor del beneficio industrial del 7% y el IVA del 21%.

**Tabla 7.** Presupuesto total.

Descripción	Total
Coste materiales	7492.67 €
Amortización equipos	0.00 €
Mano de obra	5000.00 €
Beneficio industrial (7%)	874.49 €
IVA (21%)	2623.46 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>15990.62 €</b>

El coste total para producir un circuito electrónico entero para una boya con su sistema de alimentación, sensado, procesado y comunicación vías GSM es de 15990.62 €. Un precio esperable para un proyecto de tal calibre que garantiza fiabilidad y eficiencia para poder extraer datos del río y tomar decisiones en el plazo de una semana.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL  
DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2021/2022

**TRABAJO DE FIN DE GRADO:**

**DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO ALOJADO EN UNA BOYA  
FLUVIAL PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA**

**DOCUMENTO 4. PLIEGO DE CONDICIONES**

**AUTOR:** Carlos Caro Hernández

**TUTOR:** Dr. Enrique Berjano Zanón

**COTUTOR:** Dr. Juan José Pérez Martínez

# 1. Normativa

A día 21 de agosto de 2022 no existe ninguna normativa aplicable a boyas fluviales. No obstante, existe una normativa sobre vertidos en la Confederación Hidrográfica del Júcar y otra sobre la calidad del agua en masas continentales.

Según el Real Decreto 817/2015, se establecen unos límites de cambio de clase de estado para evaluar la calidad de los ríos según su ubicación dentro de España. El río Júcar entra en el grupo R-T18, o sea, ríos costeros mediterráneos, para los cuales, se considera 5 mg/L un límite bueno o moderado de concentración de DO. Respecto a la saturación de oxígeno, entre 60 y 120% es bueno o moderado y entre 70 y 100% es muy bueno (ver Tabla 8).

**Tabla 8.** Límites de cambio de clase de estado de los ríos costeros mediterráneos (adaptado de [1]).

Tipos Ríos	Indicador	Unidades	Condición de referencia/ condición específica del tipo	Límites de cambio de clase de estado			
				Indicadores biológicos e hidromorfológicos: RCE			
				Indicadores químicos: medida			
				Muy bueno/ bueno	Bueno/ moderado	Moderado/ deficiente	Deficiente/ malo
R-T18	IBMWP	–	78	0,82	0,50	0,29	0,13
R-T18	IMMI-T	–	1	0,844	0,696	0,464	0,232
R-T18	IPS	–	14	0,98	0,74	0,64	0,24
R-T18	QBR	–	60	0,833			
R-T18	pH	–		6,5-8,7	6-9		
R-T18	Oxígeno	mg/L			5		
R-T18	% Oxígeno	%		70-100	60-120		
R-T18	Amonio	mg NH <sub>4</sub> /L		0,2	0,6		
R-T18	Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> /L		0,4	0,5		
R-T18	Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L		10	25		

También se establece, tal y como se muestra en la Tabla 9, el número mínimo de muestreos que se deben hacer por cada parámetro de calidad según cada tipo de masa de agua. En el caso que nos ocupa, la oxigenación de los ríos se debe medir 4 veces al año como mínimo.

**Tabla 9.** Elementos de calidad y frecuencia anual de muestreo de cada uno (reproducido de [1]).

Elementos de calidad		N.º de muestreos mínimos			
		Río	Lago	Aguas de transición	Aguas costeras
Biológicos.	Fitoplancton.	2*	2	2	2
	Otra flora acuática: diatomeas.	1	–	–	–
	Otra flora acuática: macrófitos.	1	1	1	1
	Macroinvertebrados.	1	1	1	1
	Peces.	1	1	1	–
Hidromorfológicos.	Continuidad.	1	–	–	–
	Régimen hidrológico.	Continuo	12	–	–
	Morfología.	1	1	1	1
	Régimen de mareas.	–	–	1	1
Químicos y Físicoquímicos Generales.	Condiciones térmicas.	4	4	4	4
	Oxigenación.	4	4	4	4
	Salinidad.	4	4	4	–
	Estado de nutrientes.	4	4	4	4
	Estado de acidificación.	4	4	–	–
Sustancias Individuales.	Sustancias prioritarias.	12	12	12	12
	Contaminantes específicos.	4	4	4	4

En el Real Decreto 261/1996 se expone sobre la protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

## 2. Instalación e implementación en la boya

Al no haber legislación sobre la aplicación de boyas en ríos, se tendrá en cuenta que el impacto sea el menor posible. Si se sumerge parcial o totalmente un objeto en un fluido, en este caso agua, se desplaza un volumen de esta igual al del objeto. Este desplazamiento podría deformar la ribera del río, hecho que podría perjudicar a la geología del lugar. Para minimizarlo, se deberá implementar la boya con menor diámetro posible que pueda acoger a los paneles solares. Si se encontraran en el mercado unos paneles solares con la misma potencia nominal y tensión de entrada, pero de menores dimensiones, se deberán escoger los de menores dimensiones. El diámetro de la boya debería ser no más de un 20% el ancho del cauce del río en el punto de localización.

Respecto a la instalación, los paneles solares se deben orientar a 90°, esto es, perpendiculares al suelo. Se deben instalar cuatro paneles solares con un desfase de 90° entre ellos. La sonda deberá situarse a una profundidad de 1.5 m más de su mínima bajamar. Se debe hacer un estudio del fondo del cauce y de mareas y oleaje antes de su instalación. En caso de ser insuficiente la longitud del cable de la sonda provisto de 2 m,

se debe comprar una extensión al fabricante de la misma de la longitud necesaria para alcanzar la profundidad adecuada.

Los materiales de la boya deben tener un grado de protección IP68.

Todo el aparataje electrónico excepto los paneles solares y la sonda deberán estar dentro del castillete de la boya atornillados. La boya no debe hacerle sombra por defectos de diseño a los paneles solares. La boya no debe hacer de jaula de Faraday al módem que dificulte o inhiba su comunicación con el terminal GSM, por eso, la boya no debe estar fabricada enteramente de metal.

La sonda debe estar programada para muestrear cada 10 minutos.

Los transmisores-receptores MAX3232 y sus condensadores deben estar montados en la misma PCB. El supresor de ruido debe estar montado en una PCB aparte lo más cerca posible del microcontrolador. Se debe abrir el conector y cortar los hilos del cable RS-232 para soldar con estaño los que corresponden a RX, TX, GND y VCC a los pines de los MAX3232, microcontrolador y módem para dichas funciones.

### **3. Lista de componentes**

A modo resumen, los componentes necesarios para la construcción del circuito electrónico deben ser, por subsistemas, los siguientes:

- Captación de señal.
  - Sensor para medir temperatura, concentración de oxígeno disuelto y saturación de oxígeno coda<sup>3</sup> T.ODO de RBR.
  - Cable adaptador de conector para RS-232 de RBR modelo 0011822.
  - Transmisor-receptor MAX3232 entre el componente anterior y el microcontrolador. Son necesarios dos, siendo el otro para realizar la conversión de TTL a RS-232 entre el microcontrolador y el módem.
  - 8 condensadores cerámicos de 0.1  $\mu$ F. Son necesarios para las conexiones externas de ambos MAX3232.
  
- Procesado.
  - Microcontrolador modelo STM32WLE5CCU6 de STMicroelectronics. Es necesaria la programación de este por parte de un especialista.

- Comunicación.
  - Módem ZETA-GEP-LTE4 de Siretta.
  - Terminal GSM. Este puede ser un teléfono móvil o servidor. No se incluye en el presupuesto porque corre a cargo del cliente.
  - GPS. MFGPS, módulo de geoposicionamiento de MSM.
  
- Alimentación.
  - 4 paneles solares de 60 W/12 V policristalinos de Victron Energy Bluesolar.
  - Regulador solar SunSaver SS-20L 12 V de Morningstar.
  - Batería de plomo ácido 34 Ah 12 V de CSB Energy Technology.
  - Convertidor DC-DC aislado 1 W de RS Pro.
  
- Protección.
  - Sensor de intrusión magnético con referencia en RS 339-746.
  - Actuador de sensor de intrusión con referencia en RS 339-768. Se vende por separado con respecto al sensor.
  - Optoacoplador modelo MCT6 de Vishay Semiconductors.
  - Condensador de poliéster de 680 nF 63 V.
  - Diodo Zener 1N5255B de Microchip Technology.
  - Diodo BAS299-7 de Diodes Incorporated.
  - Resistor de la serie E48 de 178  $\Omega$ .
  
- Conexiones entre componentes.
  - Cable de sección 0.33 mm<sup>2</sup> de corriente máxima 3.5 A y voltaje entre 5 y 300 V. Este cable es necesario para conectar todos los componentes que se conectan al regulador solar (paneles solares, batería, sonda, módem).
  - Cable RS-232 de sección 0.205 mm<sup>2</sup> para señales digitales [2]. Este cable es necesario para separar los pines que se usan del conector estándar de RS-232 y conectarlos al MAX3232 de la sonda. También se necesitan para los pines del microcontrolador al MAX3232 que intermedia con el módem, así como los que van directamente del MAX3232 al módem. Será necesaria la longitud adecuada que se contemple durante la fase de montaje, teniendo en cuenta el diseño completo que se haga de la boya.

#### **4. Control de calidad y mantenimiento**

En el día de la instalación, la boya deberá ser vigilada por dos trabajadores en el lugar donde se ubique desde las 21 horas hasta las 22:15 horas y recibir confirmación de que fueron transmitidos los datos y recibidos exitosamente en el terminal GSM. En caso contrario, se deberá comunicar al día siguiente para su revisión. En caso de no recibir una noche los datos exitosamente, se deberá comunicar al día siguiente para su revisión.

Para el correcto mantenimiento del circuito electrónico son necesarias cada 7 días las siguientes comprobaciones, al menos 2 horas antes de su primera toma de muestra, esto es, a las 8 de la mañana:

- Estado de suciedad de los paneles solares. Deberán ser limpiados antes de la primera toma de muestra. Los paneles solares deben ser limpiados con hidrolimpiadora eléctrica.
- Medición de la batería. El voltaje de la batería se debe medir con un multímetro digital. Si el voltaje es inferior a 11.5 V o superior a 12.5 V, la batería debe ser reemplazada.
- Estado de la sonda. La sonda deberá ser extraída del agua en busca de posibles defectos en la membrana y la carcasa. En caso de encontrar defectos como arañazos, abolladuras, membrana perforada o ausente se deberá comunicar inmediatamente para su sustitución. En caso de encontrar suciedad excesiva que impida leer el texto inscrito en la sonda, esta deberá ser desconectada del sistema y limpiada con alcohol isopropílico. Posteriormente, se deberá volver a conectar. La sonda debe ser reseteada durante su revisión y reconfigurada para medir cada 10 minutos. Este paso deberá ser el último a las 8 de la mañana.

## 5. Referencias

[1] “Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.” [www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-9806](http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-9806) (consultado el 21 de agosto de 2022)

[2] “Cable serie de extensión DB9 macho a extremo romo RS232 de 100 pies - 24 AWG con chaqueta de PVC gris - fabricado en Estados Unidos por Custom Cable Connection” [www.amazon.com/-/es/Cable-serie-extensi%C3%B3n-macho-extremo/dp/B081B8V4QG?th=1](http://www.amazon.com/-/es/Cable-serie-extensi%C3%B3n-macho-extremo/dp/B081B8V4QG?th=1) (consultado el 26 de agosto de 2022)