



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Desarrollo de un sistema de sensores para la
monitorización de Posidonia Oceánica (L.) Delile, 1813

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

AUTOR/A: Gomez Fernandez-Pacheco, Javier

Tutor/a: Lloret Mauri, Jaime

Cotutor/a: Rocher Morant, Javier

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDÍA
Grado en Ciencias Ambientales



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

CAMPUS DE GANDIA



ESCOLA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Desarrollo de un sistema de sensores para la monitorización de *Posidonia Oceánica (L.) Delile, 1813*”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Javier Gómez Fernández-Pacheco

Tutor:

Jaime Lloret Mauri

Javier Rocher Morant

GANDIA, 2022

Resumen

La *Posidonia oceánica* (L.) Delile, 1813 es una de las principales especies endémicas fanerógamas del Mediterráneo. Actualmente, su situación resulta preocupante debido al impacto ambiental que sufren como consecuencia de las actividades humanas. Por ello, la monitorización y seguimiento de los parámetros ambientales que son determinantes en su desarrollo resulta ser una herramienta preventiva para el mantenimiento de estas praderas.

El presente estudio tiene 2 objetivos: determinar aquellos parámetros que pueden ser utilizados para monitorizar la calidad del agua con el fin de conservar las praderas. Que la monitorización de estos parámetros se realice con sistemas de bajo coste, a fin de poder utilizar una gran cantidad de sensores en el medio.

Se determinaron 2 parámetros que cumplen dicho requisitos: la turbidez y la conductividad. En el caso de la conductividad se ha optado por un sensor de tipo inductivo y en la turbidez por uno de óptico

Por un lado, no obtuvimos resultados satisfactorios con el sensor inductivo, pues las diferencias de lectura entre las muestras de 25 mg/l y 35mg/l eran mínimas. Con el sensor de turbidez se consiguió una diferencia de voltaje de 0,615 V, con un error de calibración de 0,35 NTU y de verificación de 0,25 NTU.

Palabras clave: sensor, fanerógama, inducción, óptico

Abstract

Posidonia oceanica (L.) Delile, 1813 is one of the main endemic phanerogamic species of the Mediterranean. Currently, their situation is of concern due to the environmental impact they suffer as a result of human activities. Therefore, the monitoring and follow-up of the environmental parameters that are determinant in their development is a preventive tool for the maintenance of these meadows.

The present study has 2 objectives: to determine those parameters that can be used to monitor water quality in order to conserve the meadows. That the monitoring of these parameters be carried out with low cost systems, in order to be able to use a large number of sensors in the environment.

Two parameters were determined that meet these requirements: turbidity and conductivity. In the case of conductivity, an inductive type sensor was chosen, and for turbidity, an optical sensor was chosen.

On the one hand, we did not obtain satisfactory results with the inductive sensor, since the reading differences between the 25 mg/l and 35 mg/l samples were minimal. With the turbidity sensor, a voltage difference of 0.615 V was obtained, with a calibration error of 0.35 NTU and a verification error of 0.25 NTU.

Key words: sensor, phanerogram, induction, optical

ÍNDICE

Índice de tablas	II
Índice de figuras	III
1. Introducción	1
1.1 Parámetros de estudio	3
1.2 Trabajos relacionados	5
1.3 Propuesta del trabajo	6
1.4 Objetivos generales	7
1.5 Estructura del proyecto	8
2. Estudio de un sensor inductivo para la medición de la conductividad	9
2.1 Objetivos del proyecto	9
2.2 Material utilizado	10
2.3 Método empleado	10
2.4 Descripción del experimento	11
2.5 Mediciones realizadas y resultados obtenidos	14
3. Estudio de un sensor óptico	15
3.1 Material utilizado	15
3.2 Método empleado	15
3.3 Descripción del experimento	17
3.4 Mediciones realizadas y resultados obtenidos	19
3.5 Calibración y verificación	21
4. Conclusión del estudio	30
5. Bibliografía	32

Índice de tablas

Tabla 1. Muestras utilizadas en el ensayo del conductímetro	11
Tabla 2. Descripción de los prototipos de conductímetro	12
Tabla 3. Frecuencias-pico y diferencias de voltaje de cada prototipo	14
Tabla 4. Combinación de resistencias por modelo	21
Tabla 5. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 1	21
Tabla 6. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 2	25
Tabla 7. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 3	26
Tabla 8. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 4	27
Tabla 9. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 5	28

Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo de barrido del lecho marino	3
Figura 2. Ejemplo de emisario	3
Figura 3. Descripción esquemática del ensayo del conductímetro	11
Figura 4. Fotografía del ensayo con el prototipo 4	13
Figura 6. Métodos de medición utilizados en turbidímetros	16
Figura 7. Esquema descriptivo del ensayo del turbidímetro	17
Figura 8. Fotografía del turbidímetro realizado	17
Figura 9. Ensayo del turbidímetro	19
Figura 10. Conexiones y posición de las resistencias	19
Figura 11. Gráfico resumen de los resultados obtenidos en el ensayo del turbidímetro	20
Figura 12. Relación concentración/turbidez de cada muestra del ensayo	22
Figura 13. Función de regresión y tramos del modelo 1	23
Figura 14. Función de regresión y tramos del modelo 2	24
Figura 15. Función de regresión y tramos del modelo 3	25
Figura 16. Función de regresión y tramos del modelo 4	27
Figura 17. Función de regresión y tramos del modelo 5	28

1. INTRODUCCIÓN

La *Posidonia oceánica* (L.) Delile, 1813 es una fanerógama marina que se caracteriza por encontrarse en los fondos marinos mediterráneos, extendiéndose en gran parte de su territorio. Las fanerógamas marinas son plantas originarias del medio terrestre que hace decenas de millones de años se adaptaron a vivir en el medio marino, manteniendo una estructura compleja, constituida por raíces, rizomas y hojas y con la capacidad de producir flores, frutos y semillas. Este hecho las hace distinguirse de otros organismos vegetales marinos menos complejos, como las algas. Su importancia ecológica reside en una serie de capacidades y propiedades que otorga al medio, que justifican la importancia de su conservación en el ecosistema marino:

- Son especies formadoras de hábitat, cuya estructura y morfología de pradera generan espacios que son utilizados como refugio para el desarrollo y crecimiento de numerosas especies marinas.
- Son grandes productoras de oxígeno llegando a poder producir hasta 20 litros de oxígeno a diario, siendo una de las fuentes de oxigenación del mar Mediterráneo de mayor importancia (New Garden System, 2017).
- Capturan grandes cantidades de CO₂ y entierran el sedimento, realizando una labor clave en la mitigación del cambio climático.
- Gracias a su enraizamiento tanto en vertical como en horizontal, puede crear barreras, fija el suelo y disipa el oleaje; evitando en general la erosión de la costa (Menorca Nautic Blog, 2019).

No obstante, a lo largo de esta última década la situación y conservación de las praderas mediterráneas de este tipo de fanerógamas se ha degradado en gran medida. Se estima que se pierde anualmente entre un 2% y un 7% de estos ecosistemas, lo que constituye un ritmo de pérdida 7 veces mayor que hace medio siglo. Se dice que la pérdida de estos ecosistemas tiene lugar hasta 4 veces más rápido (en proporción) que el de los bosques tropicales (Conservación Ibérica Natura, 2020).

Actualmente se ha visto fuertemente afectada en la región mediterránea por una serie de actuaciones y factores antropogénicos, que han dificultado su estabilización y mantenimiento a lo largo de la última década. Los principales factores que contribuyen a su degradación son:

- Barrido del lecho marino como consecuencia del agarre de barras y anclas
- Contaminación del agua como consecuencia del vertido por parte de los emisarios de aguas residuales.
- Descargas de aguas residuales por parte de las embarcaciones.
- Extracción de arenas y dragados en los puertos
- Presencia de especies invasoras como la *Caulerpa taxifolia* (A. Meisnez 1993)
- Numerosas prácticas pesqueras que afectan a los fondos marinos

Entre los principales causantes de la situación actual en la que se encuentra la *Posidonia Oceánica* (L.) Delile, 1813, con respecto al grado de afección que han tenido sobre las praderas, son los movimientos de áridos y arrastre por el fondo marino y las descargas de vertidos residuales que provocan contaminación por aguas residuales. Con respecto a los movimientos y

actuaciones que afectan al fondo marino, podemos englobar varias actividades que generan la misma consecuencia: el arrastre de las fanerógamas que integran las praderas. Entre ellas, destacamos los movimientos de áridos en los fondos marinos, el efecto producido en el fondo por los anclajes de las embarcaciones (como se puede observar en la figura 2 y las numerosas prácticas pesqueras de fondo marino en menor magnitud ya que la mayoría de ellas están prohibidas en ámbito nacional a profundidades menores de 50 metros).

La principal diferencia entre el arrastre del fondo marino y la polución marina ocasionada por el vertido de aguas residuales es el tipo de afectación que ejercen sobre las fanerógamas marinas; el arrastre del fondo provoca un efecto directo, cuyo daño es causado en el preciso momento en el que se está llevando a cabo, por otra parte, los vertidos y contaminación de aguas residuales tienen un efecto cuyo daño se manifiesta a largo plazo, interfiriendo en ciertos parámetros de desarrollo, crecimiento y establecimiento de la pradera (Leriche, 2006). Estos vertidos normalmente son arrojados desde canalizaciones que dan directamente con el fondo marino tal y como se puede ver en la figura 3, con lo que afecta en mayor medida al fondo, donde se encuentran las praderas de fanerógamas marinas.

Se han desarrollado numerosos estudios y trabajos relacionados con la cuantificación del impacto provocado por el primero de los factores nombrados, ya que su efecto es de medición sencilla mediante la realización de ensayos y simulaciones sobre un entorno controlado, a diferencia del desarrollo y estudio del segundo de los factores descritos anteriormente. Por ejemplo, se evaluó el impacto producido por las artes de arrastre sobre la pradera de *Posidonia oceánica* (L.) Delile, 1813, determinando que se llega a una disminución de la complejidad estructural (densidad y cobertura) debido a la erosión mecánica del fondo marino que producen este tipo de actividades, aunque esto estaría determinado por el estado de la pradera, llegando a obtener diferencias del 30 % de terreno afectado entre numerosas zonas estudiadas que presentaban grandes diferencias entre ellas con respecto al estado de conservación de sus fondos (González-Correa et al. 2005). Por otro lado, en 2011 se realizó un estudio basado en la evaluación del efecto del anclaje de embarcaciones sobre praderas de *Posidonia oceánica* (L.) Delile, 1813 en dos localidades mediterráneas (Perez-Tonda T. et al. 2011). Se observaron que los efectos producidos afectarían principalmente a las condiciones morfológicas de las fanerógamas, de forma muy similar a la expuesta en el anterior trabajo referenciado, aunque se llegó a observar en una de las localidades estudiadas un equilibrio entre la degradación producida por el anclaje y la regeneración natural de la pradera.

Actualmente, se han realizado numerosas actuaciones y medidas de conservación que se han implantado para la protección de la *Posidonia oceánica* (L.) Delile, 1813 (SavePosidoniaProject 2017):

- Regulación con boyas ecológicas que evitan que los sistemas de anclaje de las embarcaciones degraden y arrastren el fondo marino
- Servicio de asistencia y vigilancia de fondeo de informar y concienciar a los navegantes sobre la importancia de fondear sobre la arena y no sobre la Posidonia.
- Aumento de flotas de vigilancia debido al incremento de las embarcaciones de recreo

No obstante, no se tiene constancia de implantación de medidas frente al vertido de residuos que afecta a las praderas de Posidonia. Esta es otra de las razones por las que nos centraremos en dar una herramienta de monitorización de esta amenaza de los fondos marinos.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es el desarrollo de un sistema de sensores que sea capaz de medir los principales parámetros alterados como consecuencia de la perturbación causada por la contaminación de aguas residuales hacia las praderas de posidonias del litoral Mediterráneo para su aplicación en futuros proyectos en el estudio y cuantificación del impacto que genera en las fanerógamas y cuál es su respuesta biológica ante estos cambios y alteraciones.



Figura 1. Ej. de barrido del lecho marino.
Foto: Manu San Félix



Figura 2. Ej. de emisarios.
Foto: Ecologistas en acción

1.1 Parámetros de estudio

A la hora de evaluar el impacto generado como consecuencia de los vertidos nos centraremos en el estudio de 2 parámetros: la conductividad y la turbidez. Dichos parámetros han sido elegidos como motivo de estudio ya que sus valores suelen verse altamente alterados tras la perturbación generada por las aguas residuales y vertidos que afectan en los fondos marinos.

No obstante, estos parámetros no son los únicos que se ven afectados y alterados por el vertido de aguas residuales, ya que entre los anteriormente nombrados otros de los parámetros modificados es el pH, la temperatura y los nutrientes. El vertido de aguas residuales en fondos marinos produce severas alteraciones del valor de pH que se suele encontrar en estas zonas, que en condiciones normales se encontraba entre el 7,89-7,91. No obstante, la polución de las aguas ha producido cambios en dichos valores de pH en zonas muy concretas situadas en emisarios, contribuyendo a una acidificación inmediata en la zona de descarga del vertido (Sandoval-Gil et al. 2012). Es por ello, que es un parámetro cuyo estudio resulta interesante para nuestro trabajo, debido a la implicación que dicha acidificación significa para la *Posidonia oceánica* (L.) Delile. A pesar de ello, su estudio nos ha resultado imposible de realizar debido a la inviabilidad económica que supone el costoso mantenimiento de las sondas de pH a gran escala

Por otra parte, la temperatura es otro de los parámetros del agua que se ven alterados por la polución marina. Se han estudiado los efectos que los cambios de temperatura producen sobre la *Posidonia Oceánica*, determinándose que a partir de los 28,5 °C las tasas de mortalidad se disparan para las especies de fanerógamas que se encuentran en los primeros 15 metros de profundidad (Ferrer 2021) . No obstante, los cambios de temperatura producido por los vertidos, al igual que ocurre con el pH afectan de forma muy local. Tan solo en el lugar de descarga del vertido es donde detectaremos variaciones térmicas relevantes. En el resto del fondo marino,

dichas alteraciones son provocadas por el cambio climático en su gran mayoría, con lo que un estudio basado en la observación de los cambios de temperatura producidos por los vertidos de aguas residuales no resulta de gran importancia, debido a la baja implicación que tienen en las variaciones térmicas del Mediterráneo.

Finalmente, el exceso de nutrientes en las aguas, tanto de mares como de ríos es un grave problema para la vida acuática. A esta problemática se le denomina eutrofización. El vertido de residuos contribuye a la eutrofización de las aguas, sobre todo en el punto de descarga del vertido. El excesivo aporte de nutrientes en el agua provoca la aparición de bacterias que consumen el oxígeno del agua. Esas bacterias se extienden por encima de la posidonia y, al cubrirla, la asfixian (Castejón 2011). La medición del nitrógeno se puede realizar siguiendo el método químico o por membranas selectivas. No obstante, su utilización requiere costes de mantenimiento y limpieza debido a la facilidad que tiene de ensuciarse. Por otro lado, el fósforo solo se puede medir siguiendo procedimientos químicos. No obstante, esta metodología sigue resultando inviable debido a sus altos costes de mantenimiento.

La conductividad, es la capacidad o resistencia que de los cuerpos y líquidos ofrecen al paso de electrones. En su proceso de medición tradicional se mide la capacidad o resistencia a la conducción de electricidad en el fluido. Se conocen principalmente 2 metodologías de medición del parámetro, la medición por celdas de electrodos y la medición mediante inducción, generando de forma colateral la liberación de iones y electrones de los átomos del agua, como consecuencia de la ionización. Por otra parte, la turbidez del agua, se define como la falta de transparencia debida a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parece y el valor de turbidez es más alto. Esto afecta a la capacidad de penetración de luz a través de él, y es un parámetro cuyo estudio guarda mucha importancia con el desarrollo y establecimiento de las fanerógamas.

La medición de estos parámetros se justifica debido a la importancia determinante que tienen sus valores en un entorno marino para el desarrollo y mantenimiento de las praderas fanerógamas de los fondos marinos. La conductividad, por un lado, está estrechamente relacionada con la salinidad, o en otras palabras la cantidad de sales disueltas en el agua. Esta es determinante en el mantenimiento y ciclo de vida de las fanerógamas, ya que en ambientes marinos, los cambios de salinidad dan lugar a un flujo inmediato de agua acorde con el gradiente osmótico, que va acompañado de una aclimatación rápida a partir del reajuste de las concentraciones de los solutos intracelulares y del potencial hídrico para el mantenimiento de la presión de turgencia, lo cual en las fanerógamas comporta un gasto de energía que produce un déficit asociado al desarrollo de otras funciones vitales, como el crecimiento fisiológico. (Centro de estudios de Puertos y Costas, 2012)

Relacionado con lo anterior, hay que tener en cuenta que, como en todos los procesos biológicos, la adaptación osmótica a las variaciones en la salinidad en el ambiente sólo se produce para un rango determinado o umbral de tolerancia. Superados estos niveles, los procesos de regulación requieren mayores esfuerzos energéticos lo que conlleva en primer lugar a una disminución en el crecimiento o la disminución de otros procesos metabólicos (tasa de fotosíntesis, reproducción, etc.) seguido por un daño en los tejidos e incluso la muerte. Por ello, es muy importante conseguir identificar los cambios de salinidad que se producen en el agua marina.

Los grandes cambios de salinidad, que pueden llegar a superar este umbral de tolerancia de las fanerógamas no suelen ser provocados por factores o procesos naturales, sino que suelen estar

asociados al vertido de contaminantes, produciéndose una rápida mezcla del efluente con el agua del medio receptor.

Con respecto a la turbidez, al estar relacionada con la presencia de sólidos genera un obstáculo para el paso lumínico a través del agua, con lo que afección a las fanerógamas es clara: es un inhibidor del desarrollo fotosintético de las fanerógamas, afectando además a su desarrollo fisiológico. Los aumentos de turbidez son a su vez producidos por vertidos de contaminantes que producen un aumento de los sólidos en los fondos marinos.

1.2 Trabajos relacionados

En esta sección realizaremos un repaso de los anteriores trabajos y estudios realizados por otros autores, basados en la realización de conductímetros y turbidímetros para su aplicación en ecosistemas marinos.

Generalmente encontramos 2 métodos para la medición de la conductividad en el agua; la medición por celda y la medición por inducción. Se realizaron numerosos trabajos acerca de estas metodologías para la medición de este parámetro.

Se realizaron mediciones de algunas relaciones dependientes de la temperatura y la presión de la conductividad eléctrica del agua de mar en varias salinidades utilizando celdas de conductividad de cuatro electrodos. Este estudio obtiene resultados satisfactorios en muestras realizadas en el laboratorio, aunque presenta complicaciones a la hora de ser utilizado en sistemas no aislados. Además, su aplicación en un caso de estudio como la realización de medidas en praderas de Posidonia en el fondo marino resulta ineficiente debido a su falta de robustez. (Medrano et.al, 2007)

Por otra parte, existen otros trabajos o estudios que se basan en el aprovechamiento de las propiedades inductivas del agua. En este sentido, se presentó un diseño de una celda inductiva para la medición de la conductividad eléctrica en aguas saladas, basado en la utilización de un doble transformador (Ribeiro et al., 2009). Otro estudio presentó un sensor inductivo basado en un recipiente cilíndrico enrollado por bobinas eléctricas en el exterior con fluido magnético (H. Cui et al., 2009). En este estudio se determinó que la sensibilidad en la medición está estrechamente relacionada con la del fluido magnético. Estos métodos de medición por inducción resultan más efectivos que las celdas, debido a las ventajas que estas presentan (mayor resistencia y posibilidad de ser aislados del medio). Es por ello que utilizaremos esta metodología por inducción para la realización de nuestro prototipo. No obstante, no existen trabajos que se refieran a la realización de un sensor inductivo para la medición de la conductividad en salinidades comprendidas entre 30-35 mg/L, por lo que no podemos definir la mejor configuración para nuestro prototipo.

Por otra parte, en lo que se refiere a la realización y diseño de turbidímetros encontramos algunos estudios y trabajos realizados sobre ello. Hay que tener en cuenta que existen numerosas metodologías para la medición de la turbidez en muestras. Los más destacados son los métodos ópticos, atenuación acústica, y densidad del tubo vibratorio (David Félix, 2018). Observaremos los estudios y trabajos relacionados con ellos con el fin de determinar que metodología es la más adecuada para nuestro caso.

En primer lugar, se han realizado trabajos utilizando la atenuación acústica como metodología de medición de la turbidez. Un estudio de esta índole ideó un método basado en la utilización de dos perfiladores acústicos de efecto Doppler operando a diferentes frecuencias empleados

en la misma vertical de medición para muestrear un perfil de concentración de sedimentos en suspensión en el río de Panamá (M.Guerrero et al. 2013) . Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios para sedimentos grandes, como las piedras y rocas, aunque presentaban muchas complicaciones a la hora de determinar la concentración de pequeñas partículas y sedimentos. Es por ello, que los métodos acústicos no se adaptan a las condiciones de nuestro caso, ya que buscamos detectar la presencia de partículas que no sean visibles a simple vista por el ojo humano.

Por otro lado, realizó en 2014 un diseño de turbidímetro utilizando componentes electrónicos listos para usar y hardware impreso en 3D. Este contaba con un diodo emisor de luz (LED) de infrarrojo cercano y un photoreceptor colocados a 90 grados con respecto a la fuente emisora de luz en un diseño de "single-beam" (Kelley et al., 2014). Como resultado se obtienen un prototipo que detecta la turbidez con rango, exactitud y precisión bastante comparables a los de un dispositivo comercial portátil. Estos métodos ópticos resultan más apropiados en nuestro estudio, ya que detectan el paso y presencia de las partículas con gran sensibilidad y nos permite cierta flexibilidad con respecto al diseño de un prototipo basado en esta metodología.

En otra búsqueda de estudios y trabajos relacionados, se propusieron un diseño de turbidímetro basado en la utilización de fibra óptica (García et al. 2005). La fibra óptica es ampliamente elegida para el diseño de turbidímetros, ya que actúa como un medio de transmisión de luz entre las muestras de agua y el circuito receptor. La fibra óptica proporciona protección a los circuitos electrónicos porque se puede colocar debajo agua. No obstante, resultan diseños económicamente más costosos. Este alto coste de realización y mantenimiento hace que la utilización de esta metodología en nuestro prototipo no sea viable.

Finalmente, se realizaron estudios basado en el análisis de los resultados obtenidos mediante la utilización en el medio de un densímetro de tubo vibrante utilizando un medidor de flujo y densidad de Coriolis (CFDM) (Basse, 2014). Este análisis comprobó la capacidad de este diseño para operar con gran precisión en fluidos monofásicos (que interactúan con ello en una sola fase). No obstante, presentaba complicaciones en el análisis de fluidos multifásicos (flujo simultaneo de más de una fase fluida) (Connor 2019). Se producían errores de medición debido al movimiento del centro de masa. Debido a que la gran mayoría de vertidos son fluidos multifásicos (como los vertidos de petróleo) esta metodología resulta inviable como base de diseño de nuestro prototipo.

1.3 Propuesta del trabajo

La propuesta ante la problemática que hemos planteado- es la siguiente: diseñar 2 prototipos de medición de los parámetros de estudios planteados con los medios y materiales justos para conseguir un modelo económico, que pueda utilizarse en sistemas multitudinarios para cubrir grandes extensiones de terrenos y que guarde la fiabilidad y efectividad necesaria para la discusión de los resultados que se obtengan y sean capaces de ser utilizados durante largos periodos de tiempo en una determinada zona de estudio, adaptados a la situación y condiciones en las que se encuentren las praderas de *Posidonia oceánica* (L.) Delile, 1813 .

Para ello, la realización de dicho estudio se ha repartido en una serie de fases de trabajo, con el fin de conseguir realizar un estudio lo mas completo y documentado posible:

- Una fase inicial de documentación y búsqueda de referencias, tanto para el conocimiento en profundidad de la naturaleza y situación histórica y actual de la *Posidonia Oceánica* (L.) Delile, 1813, morfología, importancia ecológica y funcionamiento en los fondos marinos. Además, se ha realizado la búsqueda de información con respecto a las principales amenazas de la fanerógama, tanto naturales como antropogénicas.
- Posteriormente, se han determinado los principales parámetros del agua de mar que se ven afectados como consecuencia de la polución marina. Entre los parámetros identificados se han identificado 2 de ellos, turbidez y conductividad, como los parámetros de estudio de fácil medición con posibilidad de desarrollar un sistema de bajo coste. Para ello, se ha realizado un análisis intensivo mediante la aplicación de una serie de criterios de selección, como inviabilidad económica, falta de tecnología para monitorización en continuo, impacto sobre el medio ambiente (esto viene mejor explicado en el apartado 1.2 Parámetros de estudio)
- Se han realizado los prototipos diseñados para la monitorización de los parámetros de estudio. Para ello, de forma previa se ha realizado una búsqueda de estudios y trabajos relativos a nuestro caso, con el fin de conseguir documentación acerca de las metodologías y diseños que se plantean en otros trabajos, y realizar un análisis sobre los aspectos y diseños más compatibles con respecto a los medios y materiales disponibles en el laboratorio. Tras esto, se han diseñado a mano los prototipos por separado.
Por último, se han analizado las capacidades y propiedades de estos prototipos poniéndolos a prueba en ensayos relacionados con la medición y detección de variaciones de los parámetros de estudios en el conjunto de muestras analizadas. Además, se han sometido respectivamente, a fases de calibración y verificación con el fin de dar con la configuración o modelo de cada prototipo más adecuado para el caso de estudio propuesto.

1.4 Objetivos generales

Con el desarrollo del presente trabajo nos ponemos una serie de objetivos a la vista de su cumplimiento tras su realización. Estos son los objetivos marcados al inicio del TFG:

- Diseñar y probar prototipos económicos a partir de los medios disponibles para cada parámetro de estudio planteado, que sea capaz de medir los valores asociados a cada uno de ellos con cierto grado de fiabilidad en sus resultados
- Conseguir demostrar la fiabilidad de los modelos escogidos a través de ensayos de calibración y validación y dar con un prototipo a proponer
- Abrir futuras vías de investigación y aplicación de los prototipos propuestos para la medición de parámetros y su puesta en marcha en campañas de medición y rehabilitación de praderas posidonias.

Estos objetivos fueron planteados al inicio de la investigación, con lo que han surgido nuevas metas a lograr u ofrecer solución frente a ciertos problemas e incertidumbres que se han generado durante la realización del trabajo:

- Observar las interferencias y problemáticas surgidas en la realización de las medidas del conductímetro.
- Analizar a los cambios de tendencia observados en las mediciones del turbidímetro

Todo ello, tendrá que cumplir el principal objetivo de diseñar unos prototipos, capaces de detectar cambios producidos en la conductividad eléctrica y la turbidez cuando sus valores normales se vean alterados por algunos de los episodios detallados en los apartados anteriores.

Para ello, estos prototipos tendrán una base de medición común, la detección de cambios en dichos parámetros como resultados de cambios en el valor de voltaje recibido. Esto se fundamenta en el hecho de que además de contar con instrumental y aparatos de laboratorio que son capaces tanto de generar corrientes y recibirla de forma inducida como de medición de voltajes recibidos, esto, unido al hecho de que el voltaje es un parámetro muy sensible a los cambios y alteraciones, se asociará mediante una serie de métodos y procesos que se irán detallando en los apartados y secciones del presente trabajo para la identificación y medición de los parámetros de estudio.

1.5 Estructura del proyecto

El presente trabajo está estructurado principalmente en 3 apartados.

El primero de ello, la sección 2. Estudio de un sensor inductivo para la medición de la conductividad se basará en explicar detalladamente los pasos y experimentos realizados para la obtención de un sensor inductivo para la medición de la conductividad en agua de mar. Se realizará una descripción detallada de la metodología utilizada y la descripción del experimento ideado además de la presentación de los resultados destacando los puntos clave del experimento realizado.

Le seguirá el punto 3. Estudio de un sensor óptico. En esta sección se detallará cuáles han sido los aspectos tenidos en cuenta y la justificación de la metodología utilizada para el diseño de un sensor óptico para la detección de cambios y medición de la turbidez en muestras preparadas para ello. Además, se detallará la metodología utilizada como base de diseño y configuración electrónica del experimento realizado. Finalmente, se describirán los resultados obtenidos en las fases de calibración y verificación con el fin de dar con la combinación adecuada de intensidad del LED y resistencia utilizada.

Finalmente, en el apartado 4. Conclusión del proyecto se realizará un análisis del proyecto completo. Se reflexionará acerca del grado de cumplimiento de sus objetivos y de los problemas surgidos en el proceso de realización del trabajo. Además, se detallarán cuáles son los conocimientos ganados tras completar el trabajo y cuáles son las futuras vías de investigación o de trabajo del mismo.

2. Estudio de un sensor inductivo para la medición de la conductividad

La conductividad es un parámetro cuya identificación y medición en los ecosistemas marinos resulta de gran importancia, ya que está directamente relacionada con la cantidad de sales disueltas en el agua. La medición de la conductividad eléctrica en el agua guarda mucha importancia y se fundamenta como una tarea esencial en diferentes procesos desarrollados en numerosas áreas de estudio y trabajo como en control de aguas, agricultura o acuicultura. Nuestro campo de aplicación o caso de estudio se localiza en los campos de fanerógamas submarinas, más específicamente de Posidonia Oceánica, donde los cambios bruscos de conductividad, y por tanto, de sales disueltas en el agua marina provocan una respuesta fisiológica colateral en las especies, correspondiendo con retardos en el crecimiento y desarrollo de partes de su anatomía o la degradación e irrigación de las ya existentes, comportando una destacable amenaza para su supervivencia. En nuestro caso, la medición de la conductividad eléctrica en campos de fanerógamas submarinas nos ofrece una herramienta de monitorización de dicho parámetro como factor relevante dentro del mantenimiento de la flora y fauna de la pradera localizada como zona de estudio.

No obstante, a la hora de realizar estas labores de mantenimiento en extensas praderas de fanerógamas, la utilización para la causa de conductímetros comerciales no resulta posible en la mayoría de casos, debido al alto coste económico y a las dificultades técnicas que surgen en su desarrollo. Es por ello que si queremos extender el uso de estos sistemas de monitorización deberemos desarrollar sensores mucho más económicos que mantengan los requerimientos de eficacia y calidad de las medidas y resultados que obtengan.

2.1 Objetivos del proyecto

Principalmente, los objetivos de nuestro proyecto están relacionados con respecto a una serie de requerimientos de obligado cumplimiento de los prototipos diseñados como propuesta final:

- Económicamente más viables que los diseños comerciales actuales
- Conseguir un diseño que tenga el menor impacto posible con el ecosistema elegido como caso de estudio
- Alta fiabilidad en los resultados obtenidos
- Obtener un diseño de aplicación directa y rápida en el ecosistema, sin necesidad de calibración

Además de esto, el principal objetivo del diseño que buscamos desarrollar se basará en el aprovechamiento de las propiedades inductivas del agua como las alteraciones del campo magnético: esta decisión se justifica desde la necesidad de desarrollar un conductímetro que se aisle del ecosistema que va a medir y evitar el contacto entre el sensor y la zona de estudio, lo cual es necesario para cumplir uno de los objetivos marcados previamente.

Para el presente ensayo se han medido, con diferentes condiciones de salinidad, un conjunto de test y ensayos comparativos de los modelos seleccionados con el fin de obtener una serie de resultados y cumplir otro conjunto de objetivos:

- Utilizar diferentes tipos de modelos de bovinas, con diferente número de diámetro tamaños y estructuras
- Encontrar la mejor frecuencia de trabajo para nuestro estudio
- Realizar las diferentes funciones de calibrado y verificación de los modelos seleccionados dentro del rango de frecuencias identificado.

2.2 Material utilizado

En esta sección se detallará la lista de materiales e instrumental utilizado para la realización de este experimento. En este apartado se diferenciarán entre materiales utilizados para la realización y diseño de los prototipos y muestras como el instrumental y apartados electrónicos utilizados para la realización del ensayo y la obtención de sus resultados:

- Generador de funciones modelo AFG1022.
- Osciloscopio modelo TBS1104.
- Bobinas de cobre de diferente diámetro (0.4 mm y 0.6 mm).
- Resistencia de 100 Ω .
- Sal de NaCl.
- Recipientes de cristal de 600 mL.
- Cables de conexión al instrumental del ensayo (tanto al generador como al osciloscopio).
- Condensador de 10 nF.

2.3 Método empleado

El método utilizado está basado en principios electromagnéticos debido a las ventajas que este ofrece y las grandes capacidades que supone su utilización en la determinación de la conductividad en praderas submarinas. Aunque el método por celdas de electrodos resulte más preciso en la obtención de mediciones son menos aplicables a nuestro caso de estudio. En ese caso, preferimos la medición por inducción como base de diseño de nuestro prototipo, debido a la robustez que tiene y a su fácil aplicabilidad al fondo marino.

Cuando un cable conduce una corriente eléctrica alterna se genera un campo electromagnético variable que se asocia alrededor del alambre. Este campo electromagnético puede generar un campo electromagnético en otro cuerpo (inducción electromagnética) según la ley de Faraday. La inducción electromagnética, se define como aquella originada cuando un campo magnético variable induce una corriente eléctrica, nunca se puede obtener a partir de un campo magnético fijo, de ahí la justificación de la utilización de una corriente alterna. El principal objetivo de dichos sensores es medir la inducción, y registrar cambios en el voltaje inducido a partir de modificación de propiedades en el medio de estudio, en este caso variaciones en la conductividad del agua.

Este diseño se utilizará en un experimento que nos permita la posibilidad de medir la conductividad eléctrica mediante la generación de un campo electromagnético en un sensor basado en bobinas formadas por alambre de cobre esmaltado. En nuestro caso utilizaremos 2 bobinas por sensor, una alimentada y otra inducida, enrolladas a lo largo de un tubo de plástico PVC, embobinadas una delante de otra, la primera de ellas estará conectada a un generador de corriente alterna que generará una señal eléctrica que conducirá por la bobina y generará un campo magnético que inducirá la segunda bobina. Esta corriente será medida mediante un oscilómetro al que estará conectada. La configuración utilizada para la realización de este ensayo esta descrito de forma más visual en la figura 3

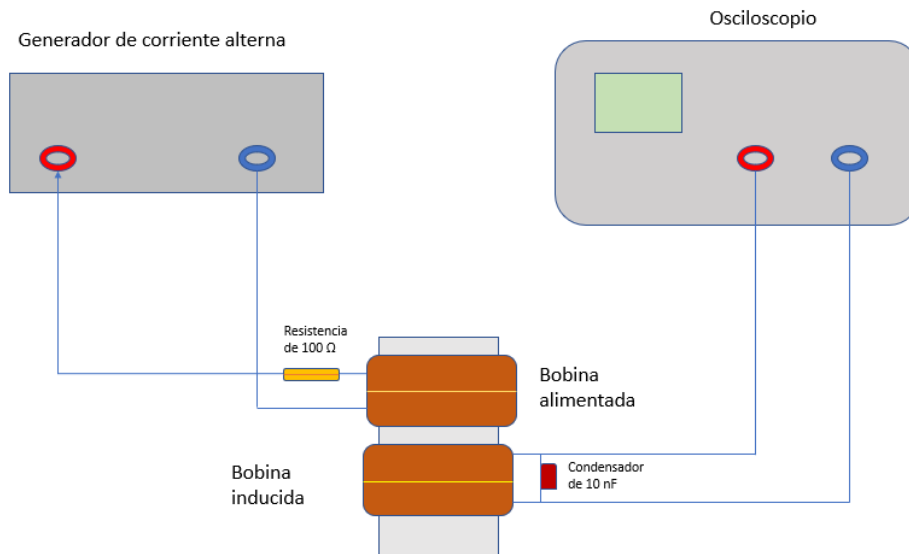


Figura 3. Descripción esquemática del ensayo del conductímetro

2.4 Descripción del experimento

El experimento realizado contempla 2 tipos de instrumentos para la realización del mismo: el generador y el osciloscopio. El generador de corriente alterna generará una corriente a lo largo del sensor produciendo el campo magnético variable necesario para la obtención de los resultados, estos resultados se referirán a las diferencias del voltaje inducido en el osciloscopio, el cual trabaja en un rango de frecuencias del orden de kHz (para nuestro caso de estudio). Por otro lado, el osciloscopio será aquel instrumento que nos dará una imagen gráfica del voltaje inducido por el sensor, contemplando diferentes parámetros y propiedades del voltaje recibido, para una determinada frecuencia de trabajo.

Para la realización del experimento se han utilizado 2 muestras, una de 25 mg/L y otra de 35 mg/l de NaCl. La elección de estas concentraciones se explica en el hecho de que, como nuestro prototipo está pensado para su introducción en ambientes y ecosistemas marinos, no importa su capacidad para medir cambios en la conductividad de muestras de agua limpia, o poco salada y hemos elegido este rango de concentración ya que el agua de mar suele contar con una concentración en sales promedio entre 30-55 mg/L (Aedyr 2020).

Tabla 1. Muestras utilizadas en el ensayo del conductímetro

Muestra	1	2
Concentración en sales (mg/L)	25	35
Conductividad (mS/cm)	39	55



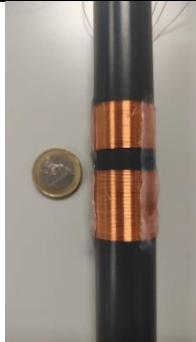
Posteriormente, se han realizado el desarrollo del experimento previamente explicado trabajando en un rango desde 100 a 1000 kHz y con un voltaje de trabajo de 3.3 V, realizando mediciones de las frecuencias obtenidas cada 10 kHz, con el fin de llegar a obtener una serie de resultados:


- Las frecuencias de trabajo de cada prototipo
- Identificación del rango de voltajes donde se obtengan mayores diferencias entre las frecuencias resultantes de cada muestra analizada.

Se definen como frecuencias de trabajo como la frecuencia en la que se presentan mayores diferencias por parte de los prototipos que componen el experimento.

Para ello, se han diseñado 4 diferentes prototipos, las cuales son semejantes en cuanto a la base de diseño utilizada para desarrollarlos (2 bobinas de alambre de cobre, una encima de otra, enrolladas a lo largo de un tubo de PVC), aunque con diferencias en su diseño que afectan a los resultados obtenidos tras la realización del experimento. En la tabla 2 se han descrito e identificado los prototipos utilizados en el presente ensayo.

Tabla 2. Descripción de los prototipos de conductímetro

Nº de prototipo	Imagen	Bobina alimentada	Bobina inducida
1		Nº de espiras: 30 Diámetro cable 0.4 mm Diámetro PVC 25 mm Espesor PVC 0.3 mm	Nº de espiras: 60 Diámetro cable 0.4 mm Diámetro PVC 25 mm Espesor PVC 0.3 mm
2		Nº de espiras: 40 Diámetro cable 0.4 mm Diámetro PVC 25 mm Espesor PVC 0.3 mm	Nº de espiras: 40 Diámetro cable 0.4 mm Diámetro PVC 25 mm Espesor PVC 0.3 mm
3		Nº de espiras: 40 Diámetro cable 0.4 mm Diámetro PVC 25 mm Espesor PVC 0.3 mm	Nº de espiras: 60 Diámetro cable 0.4 mm Diámetro PVC 25 mm Espesor PVC 0.3 mm

4		Nº de espiras: 40 Diámetro cable 0.4 mm Diámetro PVC 25 mm Espesor PVC 0.3 mm	Nº de espiras: 80 Diámetro cable 0.4 mm Diámetro PVC 25 mm Espesor PVC 0.3 mm
---	---	--	--

Estos prototipos han sido utilizados para la realización de las mediciones a lo largo del rango de voltajes escogido, uno detrás de otro realizando las mediciones de cada prototipo el mismo día de trabajo. Esto se ha realizado de esta forma que, si las mediciones se hubieran dejado para otros días, los resultados podrían haberse visto alterados por las modificaciones que puedan sufrirse en ciertos parámetros que influyen en el valor obtenidos, como por ejemplo la temperatura, constituyéndose como un factor a tener en cuenta a lo hora de la realización del ensayo.

Con respecto a la configuración eléctrica y conexión de los prototipos a los instrumentos de medición, hemos seguido la siguiente configuración eléctrica: Las dos salidas de la bovina superior, que será la alimentada, se conectarán respectivamente al generador de corriente alterna tras ser enlazados previamente a un condensador de 10 nf. Por otra parte, los cables de la bovina inferior o inducida se conectarán a los puertos del oscilómetro, que recibirá el voltaje inducido por el sensor, siendo el cable superior de la bovina inducida (el que se conecta al puerto del positivo en el osciloscopio) enlazado a una resistencia de 100 Ω . El resultado se puede observar en la figura 4 , para el prototipo 4.

Este tipo de configuración es necesaria que se mantenga por cada prototipo estudiado ya que, de no respetar el orden impuesto de conexión de cables, las mediciones se verían alteradas y el estudio resultaría invalido.



Figura 4. Fotografía del ensayo con el prototipo 4

2.5 Mediciones realizadas y resultados obtenidos

En esta sección se describirán los resultados obtenidos tras la realización del ensayo por cada prototipo y caso de estudio desarrollado.

Tal y como hemos descrito en el apartado 2.4 Descripción del experimento uno de los objetivos de esta sección es la obtención de las frecuencias pico y voltajes asociado a dicha frecuencia por cada prototipo utilizado en el ensayo. Definimos como frecuencias-pico aquellas en las que se registran mayor voltaje inducido en el oscilómetro entre los voltajes recogidos del rango de frecuencias estudiado para cada prototipo. Estas frecuencias-pico estarán asociadas a la sensibilidad del modelo, con lo que su identificación resulta importante a la hora de su utilización en futuros trabajos. En la tabla 3 se puede observar lo anteriormente redactado, según los resultados obtenidos:

Tabla 3. Frecuencias-pico y diferencias de voltaje de cada prototipo

Prototipo	1	2	3	4
Frecuencia-trabajo	190 kHz	570 kHz	180 kHz	250 kHz
Voltaje 35 mg/L	5.43 V	701.5 mV	6.26 V	3.25 V
Voltaje 25 mg/L	5.40 V	695.8 mV	6.21V	3.23 V
Diferencia	0.03 V	22.5 mV	0.05 V	0.02 V

Como observamos, las diferencias entre los prototipos estudiados resultan muy pequeñas, variando entre los 0.02-0.05 V. Esto quizás sea una complicación en la realización de las siguientes actividades del ensayo, como la calibración ya que, si ya encontramos diferencias prácticamente despreciables entre los prototipos escogidos en una comparación entre 2 muestras de 25 y 35 mg/L, estas serán aún más insignificantes si realizamos dicho estudio comparativo entre las muestras comprendidas en un conjunto de muestras que presenten una variación de concentración de 2 mg/L entre muestras contiguas. Este hecho complica en gran medida la construcción de una gráfica de regresión de los resultados y proceso de verificación posterior a la obtención del gráfico y su función de tendencia.

Otro de los objetivos propuestos es el de encontrar un rango de frecuencias óptimo de trabajo de los prototipos diseñados. Dicho proceso de identificación es necesario en la continuación del ensayo para dar con el prototipo adecuado para constituir la propuesta de conductímetro más óptima, ya que habilitara los siguientes procesos de estudio: la calibración y verificación de los prototipos. Dicho rango de frecuencias será identificado como aquel en el que se presenten mayores diferencias de voltaje entre las muestras estudiadas. No obstante, tal y como hemos expuesto en el párrafo previo las diferencias entre los prototipos son mínimas, con lo que la realización de los procesos de calibración y verificación no es posible, dándose por terminado el estudio en este punto del ensayo realizado.

3. Estudio de un sensor óptico

La turbidez se define como la propiedad óptica de una suspensión, que hace que la luz se disperse y no se transmita a través de la suspensión (Hanna Instruments, 2019), producida por la presencia de sólidos y sustancias presentes en un líquido. Un líquido con enturbiamiento tiene la propiedad de dispersar y reflejar la luz irradiada sobre el mismo y por ello la intensidad de la luz reflejada nos proporciona información sobre la dimensión del enturbiamiento-.

Para la medición de este parámetro hemos recurrido a uno de los tantos métodos que existen para la monitorización del mismo. Este método consiste en la utilización de un haz luminoso, generalmente generado por un diodo laser o LED, que atraviesa la muestra a analizar y será recibido por fotodiodos (organizados en diferentes configuraciones según el ángulo que mantengan con el diodo laser, ya sea 90°, 180° u otro) que son elementos electrónico que al recibir luz deja pasar una corriente eléctrica, convirtiéndose en una medida que se observara en el lector del aparato de medición.

La medida asociada a la cuantificación de la turbidez es conocida como NTU, siglas que responden a la expresión Nephelometric Turbidity Unit (IAGUA 2016).

3.1 Materiales utilizado

Para la realización del turbidímetro se han utilizado un conjunto de materiales procedentes del laboratorio de trabajo, ingeniándonos un diseño que cumpla los objetivos propuestos:

- Tarros prismáticos de 600 ml
- Conjunto de fotorreceptores y un diodo laser generador de un haz luminoso
- Multímetro digital TENMA 72-2600.
- Fuente de alimentación PROMAX serie PCE-TUM 20.
- Cubo de plástico, como aislante de la luz ambiente.
- Botella de arcilla de 600 ml
- Probeta de 1000 ml y 10 ml de capacidad
- Conjunto de resistencias de diferentes ordenes (Ohmios y Kilo Ohmios)

Estos son todos los materiales utilizados para el desarrollo completo del ensayo propuesto, solo una parte de ellos han sido empleados en el diseño del modelo propuesto.

3.2 Método empleado

En el presente apartado se realizará una explicación y descripción de todos los aspectos relevantes con respecto a la realización del turbidímetro a partir de los materiales y métodos disponibles con el fin de conseguir completar los objetivos marcados con respecto al desarrollo del turbidímetro.

El diseño que nosotros utilizaremos para la realización de este trabajo estará relacionado con el método de medición que utilizan los turbidímetros comerciales disponibles en nuestro laboratorio de trabajo, con el fin de establecer relaciones entre ambos modelos y facilitar nuestra labor de verificación de los resultados obtenidos para verificar la efectividad y puesta en marcha del modelo diseñado.

Generalmente existen tres patrones de diseño de turbidímetros ópticos según el número y orientación de los diodos en el diseño del mismo. Estos son: a) de 1 fotodiodo a 90° o "single-beam", b) de 2 fotodiodos (90° y 180°) o "ratio y c) Con 2 haces de luz y cuatro fotorreceptores

o "modulated four-beam" (Kelley, C.D et al. 2014). Su esquema gráfico se puede observar en la figura 5, de forma simplificada.

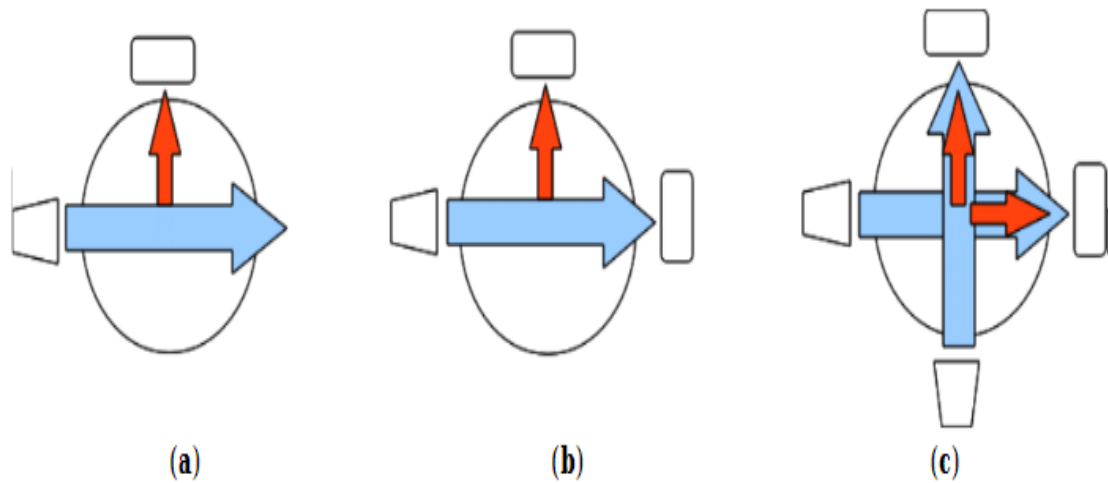


Figura 5. Métodos de medición utilizados en turbidímetros

En este caso, el turbidímetro comercial de referencia para nuestro experimento es el Turbidímetro serie PCE-TUM 20, el cual es un medidor de turbidez portátil que cumple con rangos de medición de 0 a 1000 NTU.

Este turbidímetro se basa en un diseño que utiliza 2 fotodiodos, uno situado a 90° al rayo de luz, el cual recibe la luz reflejada por las partículas de la muestra referencia de medición y es utilizado como método de medición nefelométrico para la cuantificación de la luz difundida; y otro situado a 180° , utilizado para el rango de medición superior, que efectúa una medición de la luz transmitida.

Este diseño es conocido esta basado en la metodología conocida como "ratio". Este tipo de metodología es utilizada ya que al tratarse de medio marino (o está pensado como tal en su futra aplicación) queremos conocer la medida de turbidez teniendo en cuenta la dispersión de luz, factor que puede afectar al desarrollo de las fanerógamas, como hemos explicado en el apartado de Introducción. Parámetros de estudio.

Para poder explicar de una forma adecuada como diseñaremos el modelo de medición resulta más adecuado la utilización de un gráfico explicativo sencillo como la figura 6. El segundo fotodiodo se sitúa a 90° del fotorreceptor que medie la transmitancia de luz, este será el encargado de medir la dispersión lumínica que es producida por las partículas en dispersión cuando la luz interfiere sobre ellas.

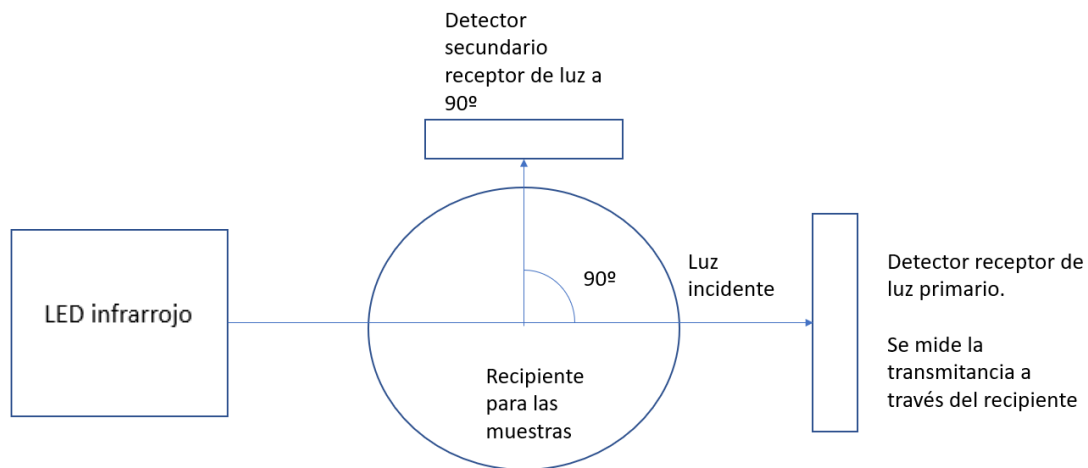


Figura 6. Esquema descriptivo del ensayo del turbidímetro

Este esquema teórico previamente planteado ha sido utilizado como hoja de ruta para la realización y diseño del turbidímetro, obteniendo el resultado visible en la figura 7.

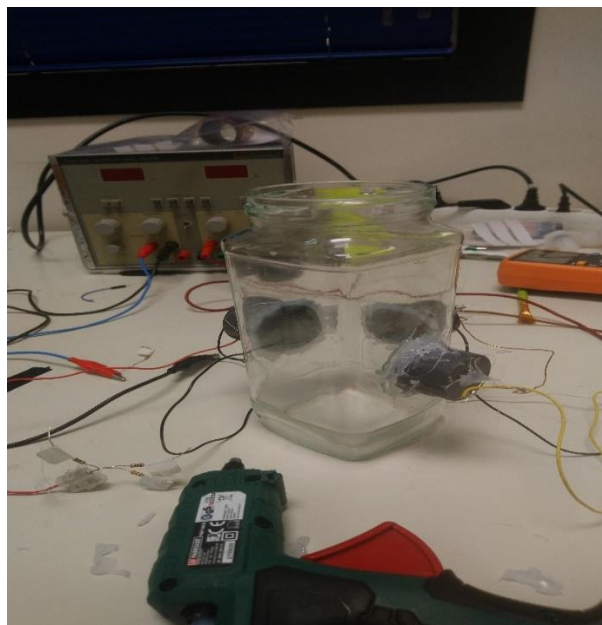


Figura 7. Fotografía del turbidímetro realizado

3.3 Descripción del experimento

Para la realización de las medidas necesarias para comprobar la validez del prototipo utilizado hemos diseñado un ensayo que intente simular un escenario en el que se ha producido una carga de partículas sólidas en un fluido y poder realizar una comparativa entre los valores obtenidos en el ensayo sin interferencia de partículas en el medio y el correspondiente al medio contaminado. Esto, se realizará con el objetivo de encontrar la mejor combinación de resistencias y de ajuste de intensidad del LED.

Con respecto al material utilizado para la realización del prototipo deseado sería el siguiente:

- Recipiente de 600 ml con forma prismática
- 1 LED infrarrojo
- 2 fotodiodos (fotorreceptores) receptores de luz

Estos se han utilizado tal y como se explica en la sección 3.2 Método empleado, con el fin de lograr el efecto deseado.

Posteriormente para el muestreo, hemos utilizado una muestra patrón 250 g/l de arcilla que hemos preparado con carácter previo al desarrollo del ensayo, con el fin de generar 3 muestras:

- **Muestra 1 (M1):** Agua limpia sin impurezas
- **Muestra 2 (M2):** Agua con 10 mg/L de arcilla.
- **Muestra 3 (M3):** Agua con 40 mg/L de arcilla.

Se generaron estos 3 tipos de muestras con el fin de representar 3 diferentes escenarios de contaminación por sólidos en el agua, con el objetivo detectar las máximas diferencias a fin de seleccionar a que intensidad alimentamos el LED y la resistencia del fotodiodo. El fotodiodo y la resistencia actúan como un divisor de voltaje.

Para la obtención de las diferentes muestras se han realizado numerosas diluciones de forma regulada con el fin de conseguir la solución deseada, diluyendo 10 ml de la botella de arcilla en una probeta de 100 ml con agua destilada, y posteriormente introduciendo 10 ml y 40 ml en cada bote de prueba, que serán las muestras 2 y 3 respectivamente.

Dichas muestras fueron preparadas una a una en botes de 600 ml, que se adaptan a los requerimientos volumétricos del recipiente utilizado en el modelo del turbidímetro, ya que tiene situarse por encima de la altura de los fotodiodos para que consigan realizarse las mediciones correctamente (teniendo en cuenta que el volumen del recipiente del turbidímetro es cercano a los 800 ml)

Una vez preparadas las muestras las medidas se realizarán mediante la utilización de una fuente de alimentación doble, siendo el modelo PROMAX FAC-662B, que es una fuente de alimentación doble que nos permite alimentar a 2 voltajes. Uno de ellos alimentará al LED y el otro voltaje se alimentará al fotodiodo, siendo independientes entre ellas.

El fotodiodo receptor de luz directa (el que se encuentra enfrente al emisor de luz) se conecta a la fuente de alimentación intercalado a resistencias del orden de 560, 220, 150, 100, 68, 33 y 22 Ω , con el fin de ajustar la intensidad del LED. Por otra parte, la salida negativa del fotodiodo conectado a 90° y 180° fueron intercalados a otro grupo de resistencias de diferente orden, respectivamente de 10, 47, 100, 220, 680, 1000, 2200 y 8200 k Ω , tal y como se observa en la figura 8.

El ensayo, consistirá en probar cada resistencia relacionada con el primer fotodiodo con cada una de las resistencias del grupo conectado al fotodiodo a 90°, obteniendo los resultados mediante la utilización del multímetro digital comentada en este segundo grupo de resistencias, por cada muestra de agua que se analizase, de forma similar a la expuesta en la fotografía correspondiente a la figura 9.

Cabe resaltar que el ensayo se ha realizado utilizando un voltaje en la fuente de alimentación de 5 V y que los resultados han sido obtenidos mediante la utilización de un multímetro digital portátil TENMA 72-2600 para conseguir los resultados que se obtienen en el fotorreceptor. Este

se ha utilizado, situando respectivamente las entradas del multímetro a ambos lados de la resistencia conectada al fotodiodo configurado a 90º del diodo laser

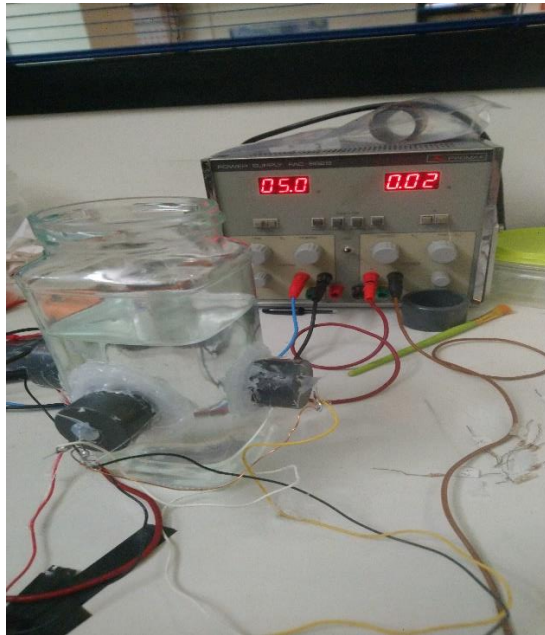


Figura 8. Ensayo del turbidímetro

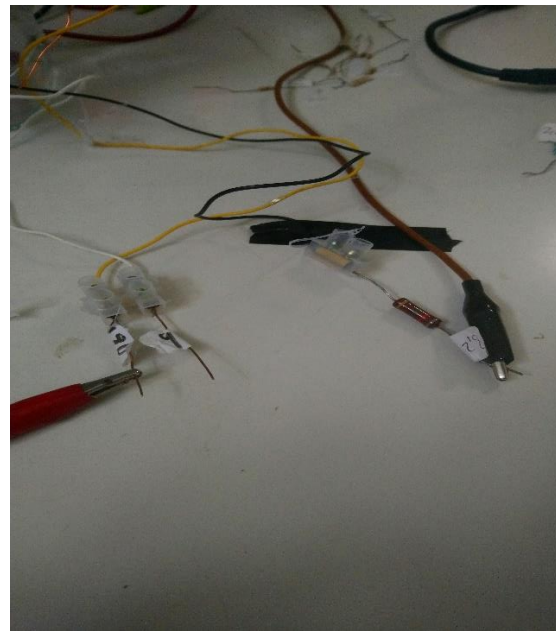


Figura 9. Conexiones y posición de las resistencias

Por último, tener en cuenta que por cada medición realizada para las resistencias utilizadas se ha cubierto el turbidímetro con un cubo negro de plástico que había en el laboratorio, con el fin de evitar interferencias lumínicas de la luz ambiente del despacho en el líquido analizado en el modelo, ya que en caso de no realizar esta acción las mediciones obtenidas se habrían visto notablemente modificadas.

3.4 Mediciones realizadas y resultados obtenidos

Como resultado del presente estudio y ensayo realizado, que ha sido expuesto de forma detallada en apartados previos hemos obtenido unos resultados, por cada grupo de resistencias utilizado y número de muestra analizado, agrupando los resultados del ensayo completo en un gráfico que nos permita observar una visión global de los resultados obtenidos en el experimento realizado.

Como podemos ver en la figura 10, observamos que el turbidímetro está realizando mediciones que siguen el esquema lógico del que se parte previamente a la realización del ensayo; los voltajes obtenidos decrecen entre las muestras a medida que hay mayor concentración de sólidos en el líquido muestreado, ya que a mayor concentración de sólidos en el agua mayor dispersión de luz y menor cantidad lumínica llega al fotorreceptor del que se obtienen las medidas y resultados del gráfico, cuyo valor de voltaje variará según la combinación de resistencias utilizada en cada caso.

Además, observamos que se registra mayor voltaje en los ensayos realizados con resistencias en Ohms de menos orden, ya que permiten el paso de la corriente eléctrica con mayor facilidad. No obstante, las mediciones realizadas se han realizado con el objetivo de registrar los ensayos con mayores diferencias encontradas entre los diferentes grupos de resistencias entre las

diferentes muestras utilizadas, con el objetivo que identificar un pequeño grupo de combinaciones de resistencias con las que poder habilitar el siguiente paso en el proceso de la elección de nuestra propuesta como modelo final, ya que los pasos relativos con respecto a la calibración del modelo resulta más sencillo y efectivo sobre modelos que presenten mayores diferencias. Además, se observa que cuando la intensidad aumenta mayor voltaje se registra.

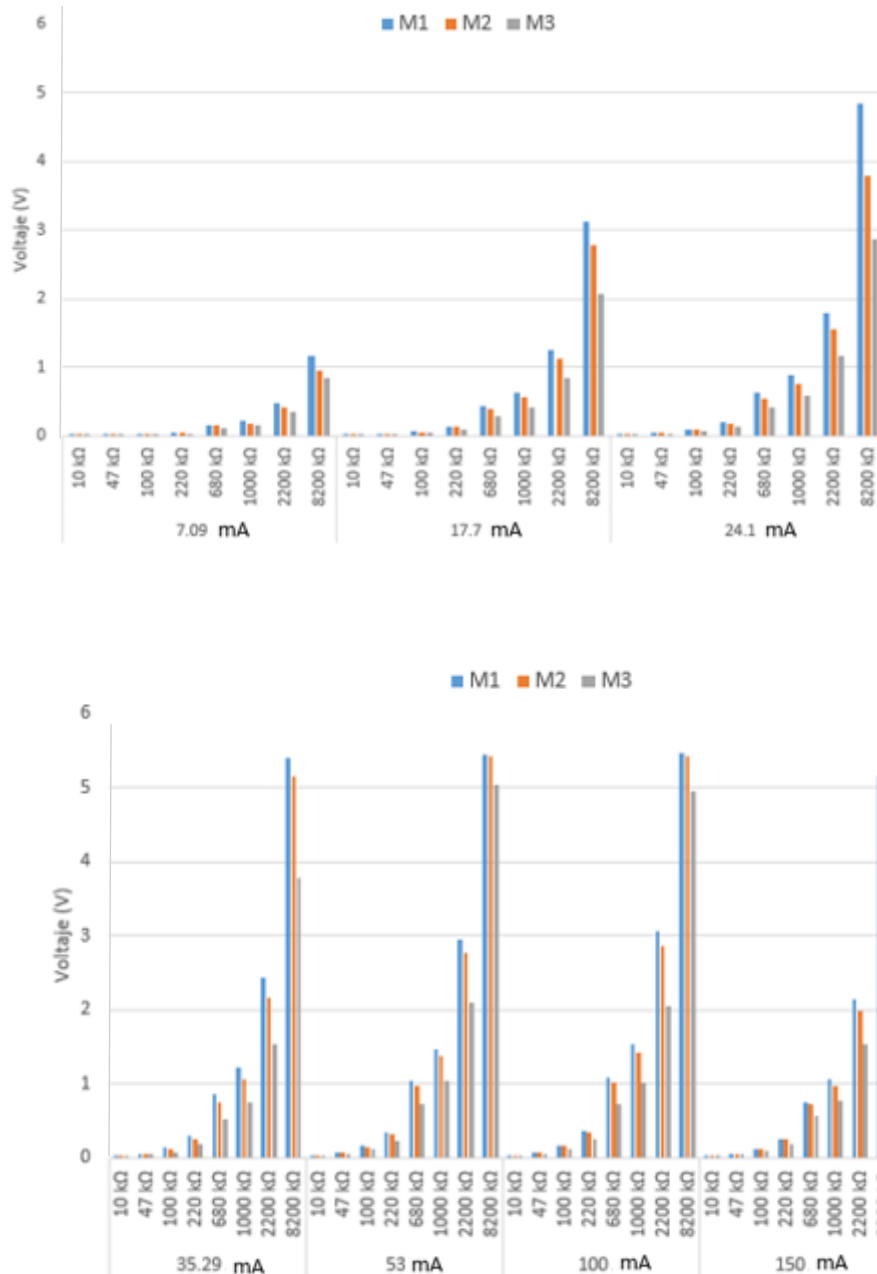


Figura 10. Gráfico resumen de los resultados obtenidos en el ensayo del turbidímetro

Posteriormente, se ha realizado un simple calculo en el que se obtiene la diferencia entre los voltajes registrados en la muestra de agua limpia con respecto a las contaminadas. Realizando esto observamos que las máximas diferencias se producen en la combinación de resistencias 15 mA / 8200 kΩ, con una diferencia entre la muestra 1 y los 2 restantes de -1.053 V y -1.963 V. Este modelo es el más adecuado para el siguiente paso, aunque realizaremos una elección de

un grupo más amplio de configuraciones con el objetivo de amplificar nuestro rango de estudio y dar con una propuesta que se ajuste en la mayor medida de lo posible a los máximos requerimientos de precisión y efectividad que se nos sea posible llegar a conseguir. Así destacamos 5 diferentes combinaciones, las cuales identificaremos para simplificar su descripción en apartados posteriores. Las combinaciones escogidas vienen descritas en la Tabla 4.

Tabla 4. Combinación de resistencias por modelo

Combinación	Resistencia 1 (k Ω)	Resistencia 2 (k Ω)	Diferencias entre M1 y M2 (V)	Diferencias entre M1 y M3 (V)
1	220	8200	0.347	1.047
2	150	8200	1.053	1.963
3	100	2200	0.278	0.901
4	100	8200	0.235	1.616
5	33	2200	0.2	1.011

Como observamos cuanto menor valor guarde la resistencia 1 (entre 33 a 220 Ω) y mayor valor tenga la resistencia 2 (entre 2200 y 8200 k Ω) mayores diferencias presenta el modelo estudiado, lo cual determina una dinámica que ha sido descubierta durante el desarrollo de este ensayo.

Cabe resaltar que una de las combinaciones con mayores diferencias presentadas es la combinación de resistencias 22 Ω / 8200 k Ω , respectivamente. No obstante, esta no se ha tomado en cuenta para la siguiente fase de estudio ya que no podía mantenerse conectada durante largos periodos de tiempo, debido al calentamiento sufrido en los bornes intercalados a la resistencia 1, lo cual no cumple con el objetivo propuesto de obtener un modelo de utilización a largo plazo y durante extensos periodos de tiempo, quedando descartado como posible propuesta de diseño final.

Tal y como hemos anotado anteriormente, el modelo 2 es el que presenta mayor diferencia entre las medidas de las muestras, no obstante, esto no quiere decir que es el modelo más adecuado, ya que el modelo más adecuado es aquel que resulte más fiable en sus resultados tras un proceso de calibración y verificación, que será desarrollado en orden a obtenerla combinación más adecuada de trabajo con respecto a los objetivos y expectativas de trabajo supuestas.

3.5 Calibración y verificación

La calibración y verificación de los equipamientos e instrumentos de medición son procesos que en ocasiones pueden ser confundidos entre sí, pero se desarrollan de forma interrelacionada con el fin de garantizar el mayor grado de eficacia y fiabilidad de los resultados para que puedan aplicarse a situaciones y casos de estudio y obtener mediciones que sean realísticas y útiles en futuras vías de investigación, siendo una de las fases más importantes a la hora de obtener el mejor diseño posible para nuestros objetivos.

El proceso de calibración se basará en la generación de un gráfico en el que se representa la relación Voltaje/Turbidez, a partir del análisis de los resultados obtenidos. Previamente, se realizarán un conjunto de muestras basándose en un rango de turbidez o concentración de sólido cuyo análisis sea efectivo para nuestro caso de estudio, en este caso entre 0-50 mg/L. Posteriormente a la realización de las mediciones y la obtención de los resultados en los gráficos,

se buscará identificar una tendencia aceptable para los prototipos estudiados, asociable a una función determinada y que sea representable mediante una expresión matemática conocida como ecuación de regresión.

Por otra parte, cuando dicha fase de calibración esté completada se realizara la verificación del modelo, consistente en, previamente la realización del ensayo con 5 muestras con diferentes concentraciones que se encuentren dentro del rango de turbidez utilizado en los ensayos previos, la obtención de los resultados correspondientes a este nuevo experimento y la comparación entre los voltajes obtenidos en este ensayo y los voltajes obtenidos en la ecuación de regresión tras despejar la variable asociada al voltaje en ella. Dicha comparación se traducirá a una resta entre los valores, cuyo resultado será definido como el error del prototipo; cuanto mayor sea el error menos validez tendrá.

Para ello, empezaremos realizando un conjunto de muestras en un rango que engloben los 3 casos de estudio planteados como muestras en el apartado 4.3 Mediciones realizadas, específicamente desde 0 a 50 mg/l, con un rango entre cada medida que nos permita observar diferencias en el voltaje entre cada muestra consecutiva analizada. No obstante, realizar las funciones de calibrado en mg/L no resulta correcto en nuestro estudio, ya que esta no es una medida asociada con la turbidez, con lo que deberemos expresarlo en NTU. Para ello, hemos utilizado el turbidímetro portátil serie PCE-TUM 20 en cada muestra realizada.

La relación entre la concentración de sólidos y la turbidez de la muestra, es la observada en la Figura 11. En esta podemos observar como ambos parámetros tienen una correlación directa, cuando la concentración aumenta, la turbidez también lo hace. Además, dicha correlación parece ajustarse a una tendencia prácticamente lineal.

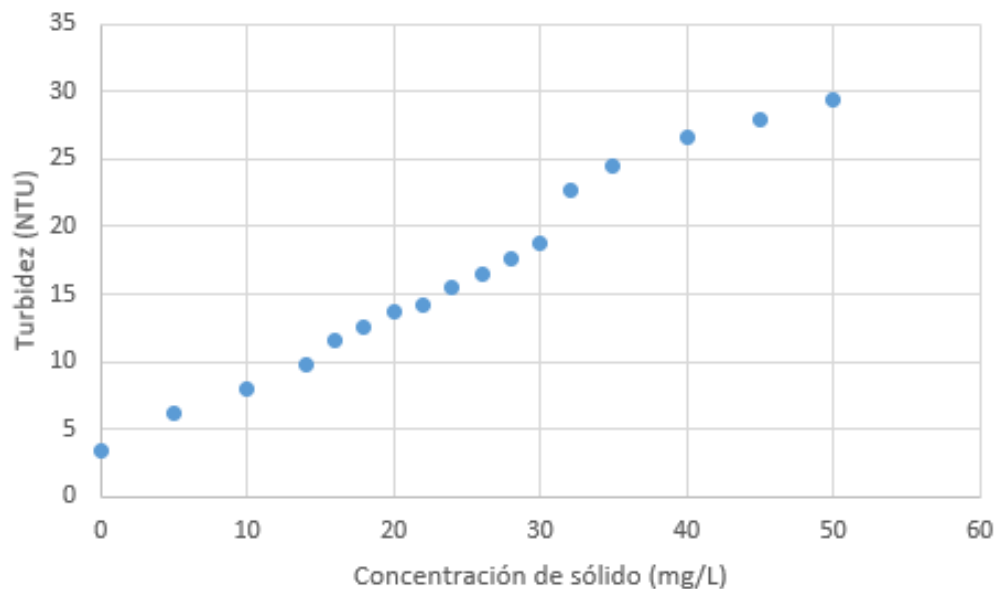


Figura 11. Relación concentración/turbidez de cada muestra del ensayo

Con dichas muestras se han realizado las mediciones del voltaje obtenido realizando el mismo proceso de medición que el descrito en el apartado 4.2 Descripción del ensayo. Posteriormente, se han descrito los resultados del experimento realizado en un gráfico que nos permita observar la regresión de cada modelo en el ensayo:

Como podemos observar en la figura 12, tenemos el gráfico relativo a los resultados obtenidos en el modelo 1 la tendencia de las medidas no se adapta claramente a una función determinada. No obstante, analizando la figura 17 podemos observar que existen 2 tramos con distinto comportamiento. El primero de los comprende las 20 primeras unidades de turbidez, y el otro desde 20 hasta el final del estudio. Los trabajemos por separado y determinaremos sus funciones de tendencia. Para la definición de estas funciones utilizaremos el programa Statgraphics, que nos ayudara a identificar la función de tendencia con mayor fiabilidad para los tramos identificados.

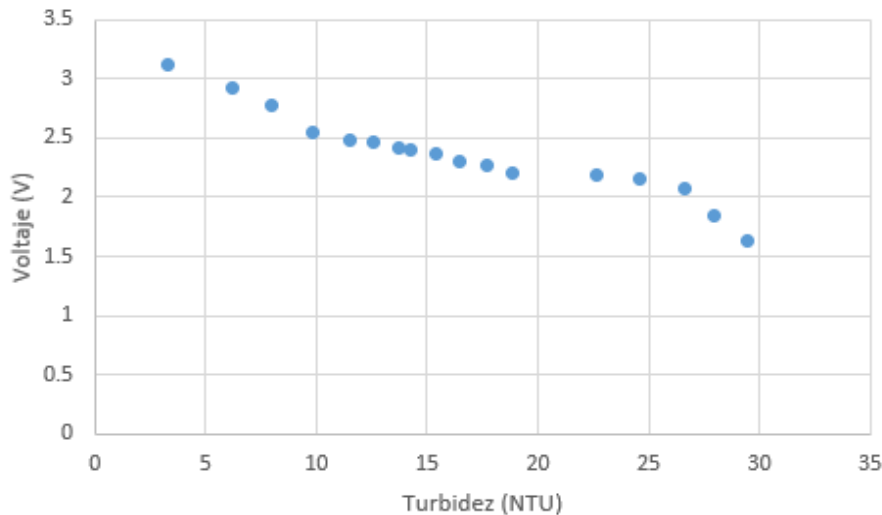


Figura 12. Función de regresión y tramos lineales del modelo 1

El primero de estos tramos, que definiremos como tramo 1, presenta una tendencia que se adapta a una función logarítmica con un valor R^2 de 0,912 (1). Por su parte, el segundo tramo cuenta con una tendencia representable mediante una función de doble cuadrado, con un R^2 de 0,912 (2).

$$V = \sqrt{13.41} - 2.89 * \ln(NTU) \quad (1)$$

$$V = \sqrt{8.18} - 0.006 * NTU^2 \quad (2)$$

Posteriormente, realizamos la validación/verificación del modelo, estableciendo un grupo de muestras con diferentes mezclas de concentración (pasadas a turbidez mediante su comprobación con el turbidímetro portátil) que nos permitan observar las diferencias a lo largo del ensayo y observar y dar con conclusiones sobre la efectividad del modelo. En la tabla 5 se resumen los resultados, observando las diferencias entre los valores del campo "Medida (V)" que representa el voltaje obtenido a partir de su medición mediante el modelo de turbidímetro seleccionado y el campo denominado "Calculo (V)", relativo al voltaje que se obtienen tras despejar dicha variable en su correspondiente función de regresión, dependiendo de a qué valor de turbidez se encuentre asociado, La diferencia entre ambos valores estará identificada en su correspondiente campo "Error", y este determinará la efectividad o validez del modelo

analizado para los diferentes rangos de turbidez. En la tabla 6 observamos los resultados obtenidos para este Modelo 1.

Tabla 5. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 1

Concentración (mg/L)	Turbidez (NTU)	Medida (V)	Cálculo (V)	Error (V)
12	9.03	2.704	2.655	0.049
17	11.21	2.488	2.535	-0.047
27	17.31	2.276	2.274	-0.002
33	23.44	2.165	2.209	0.045
42	27.3	1.956	1.925	0.030

Una primera vista de la tabla nos permite concluir que las regresiones lineales y la identificación de tramos lineales ha sido satisfactoria, debido a los bajos errores obtenidos por cada voltaje analizado. Según los resultados obtenidos observamos unos errores bastante bajos, sobre todo en el primer rango de medidas desde los 9.03 NTU hasta los 17.31 NTU, aunque realizando un promedio de error de todas las medidas obtenemos un 0,035 V, lo cual objetivamente representa un error muy bajo y llega a cumplir con los estándares que buscamos como propuesta final. No obstante, deberemos analizar el resto de alternativas de forma comparativa para buscar una posible opción más acertada.

La figura 13 representa la función obtenida para el Modelo 2, la cual a simple vista parece adaptarse a una función logarítmica, no obstante, tras obtener su ecuación de regresión y realizar el ensayo de forma similar, se han obtenido resultados con errores altos, con lo que no ha sido satisfactoria la utilización de dicho tipo de regresión. Por ello, hemos realizado una división de la función en tramos de forma semejante a la realizada en el Modelo 1, utilizando el mismo conjunto de valores de turbidez para cada tramo. Mediante el programa Statgraphics hemos averiguado que el Tramo 1 se adapta a una función de tendencia de raíz de X inversa, con una R^2 de 0.983 (3). El tramo 2, por su parte, tienen una función de tendencia de doble cuadrado, con una R^2 de 0,826 (4).

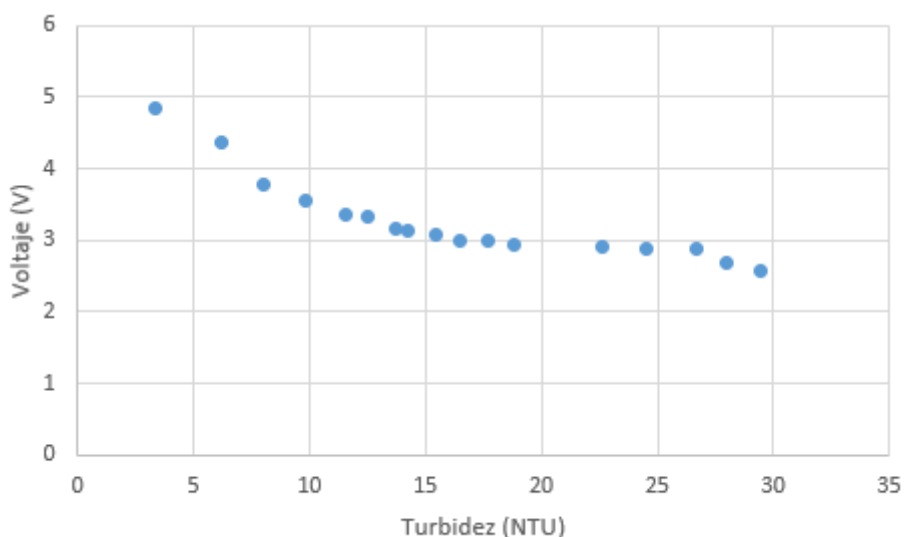


Figura 13. Función de regresión y tramos lineales del modelo 2

$$\text{Voltaje} = \frac{1}{0.1 + 0.057 * \sqrt{NTU}} \quad (3)$$

$$\text{Voltaje} = \sqrt{11.59 - 0.006 * NTU^2} \quad (4)$$

Tabla 6. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 2

Concentración (mg/L)	Turbidez (NTU)	Medida (V)	Cálculo (V)	Error
12	9.03	3.665	3.686	-0.021
17	11.21	3.335	3.438	-0.103
27	17.31	3.005	2.966	0.039
33	23.44	2.896	2.879	-0.016
42	27.3	2.865	2.668	0.197

Los resultados de la tabla 6 resultan peores en algunos casos específicos como para el valor de turbidez 27.3 NTU, si realizamos una comparativa con los obtenidos para el Modelo 1. Esto puede haber ocurrido por diversos factores, como que por ejemplo la regresión utilizada para dicho tramo no se ajusta correctamente al dicho punto. Realizando un segundo análisis observamos que presenta diferencias notablemente superiores, de 0.075 V de media, lo cual es un error relativamente grande, aunque no representa un valor centralizado de las mediciones obtenidas, ya que la diferencia de 0.197 V presentada en el último punto de la regresión hace que la media se eleve mucho.

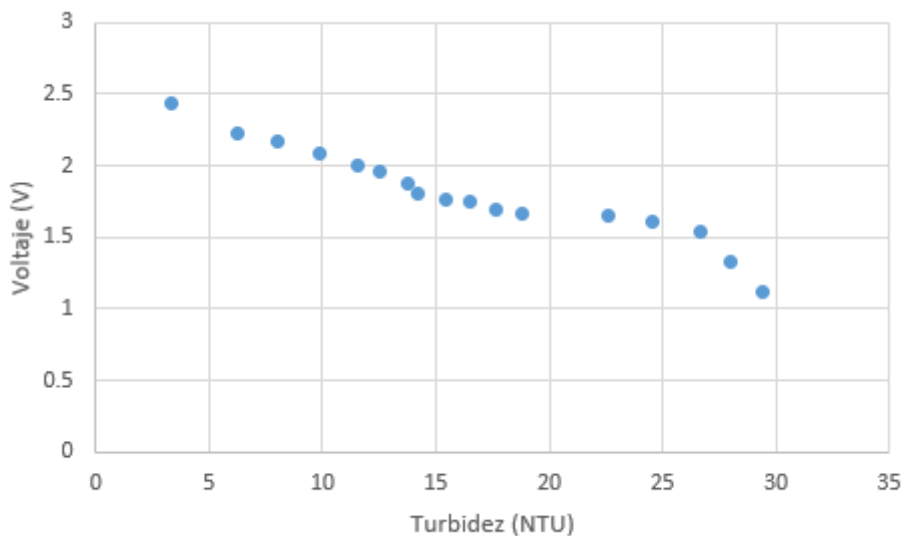


Figura 14. Función de regresión y tramos lineales del modelo 3

De nuevo, como ocurría en los casos anteriores observamos un cambio de tendencia muy claro a partir de los 20 NTU. Por ello volveremos a dividir en 2 tramos tomando de referencia este valor de turbidez. El tramo 1 se ajusta a una función de tendencia de Y cuadrada- Raíz cuadrada de X, con una R^2 de 0,99 (5). El tramo 2 se adapta a una tendencia con función de doble cuadrado con R^2 de 0,90 (6).

$$\text{Voltaje} = \sqrt{8.28 - 1.29 * \sqrt{NTU}} \quad (5)$$

$$\text{Voltaje} = \sqrt{5 - 0.004 * NTU^2} \quad (6)$$

Los resultados de la tabla 7 nos ofrece un modelo que funciona con una muy baja magnitud de error para bajas turbideces, comportando diferencias de 0,014 V como máximo, con lo que resulta muy efectivo a rangos de turbidez bajos. Si analizamos su comportamiento a partir de los 20 NTU observamos errores que varían entre 0.03-0.04 V, relativamente superiores aunque siguen siendo muy válidos. Por último, en promedio el modelo presenta una diferencia de voltaje de 0,022 V siendo similar al obtenido en el primer modelo. Todo este conjunto de características hacen que este modelo sea contemplado como una de las principales opciones a la hora de la elección de la propuesta de turbidímetro.

Tabla 7. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 3

Concentración (mg/L)	Turbidez (NTU)	Medida (V)	Cálculo (V)	Error
12	9.03	2.111	2.098	-0.013
17	11.21	1.976	1.990	-0.014
27	17.31	1.702	1.707	-0.004
33	23.44	1.633	1.674	0.041
42	27.3	1.456	1.421	0.035

Analizando la figura 15, observamos el mismo comportamiento, con lo que es bastante predecible que en este tipo de prototipos siempre se da un cambio de tendencia notorio a partir de los 20 NTU. Contamos con 2 tramos, el tramo 1 ajustado a una función de tendencia exponencial con X^2 , con una R^2 de 0,993 (7). Por su parte, el tramo 2 presenta una función de tendencia de doble cuadrado, con una R^2 de 0,974 (8).

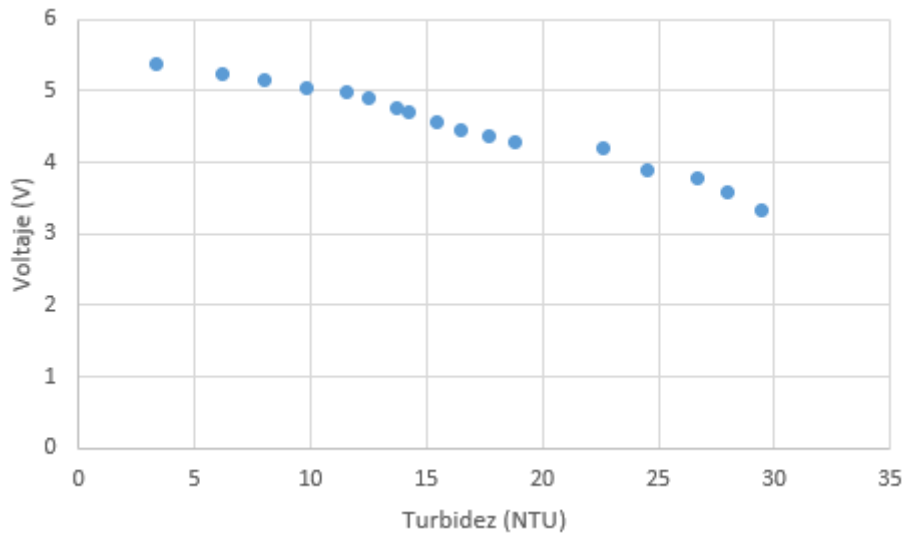


Figura 15. Función de regresión y tramos del modelo 4

$$Voltaje = e^{1.687-0.0007*NTU^2} \quad (7)$$

$$Voltaje = \sqrt{26.04 - 0.017 * NTU^2} \quad (8)$$

En este caso, y observando la tabla 8, podemos observar que esta combinación conlleva un error relativamente bajo hasta los primero 20 NTU pero a partir de este valor de turbidez presenta errores mucho más elevados, que hacen que el prototipo no pueda ser utilizado en esos rangos de turbidez para la combinación contemplada.

Tabla 8. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 4

Concentración (mg/L)	Turbidez (NTU)	Medida (V)	Cálculo (V)	Error
12	9.03	5.143	5.103	0.039
17	11.21	4.982	4.948	0.034
27	17.31	4.433	4.381	-0.052
33	23.44	4.202	3.962	0.239
42	27.3	3.665	3.517	0.148

Observando la figura 16, volvemos a ver dicho cambio de tendencia, con lo que nuestra suposición previa tiene más peso y nos permite confirmar dicho cambio de comportamiento de los valores a partir de las 20 NTU. En este caso, el tramo 1 se ajusta a una función de tendencia de raíz cuadrada, con una R^2 de 0,996 (9). El tramo 2 se le identifica con una función de tendencia de doble cuadrado, presentando una R^2 de 0,901 (10).

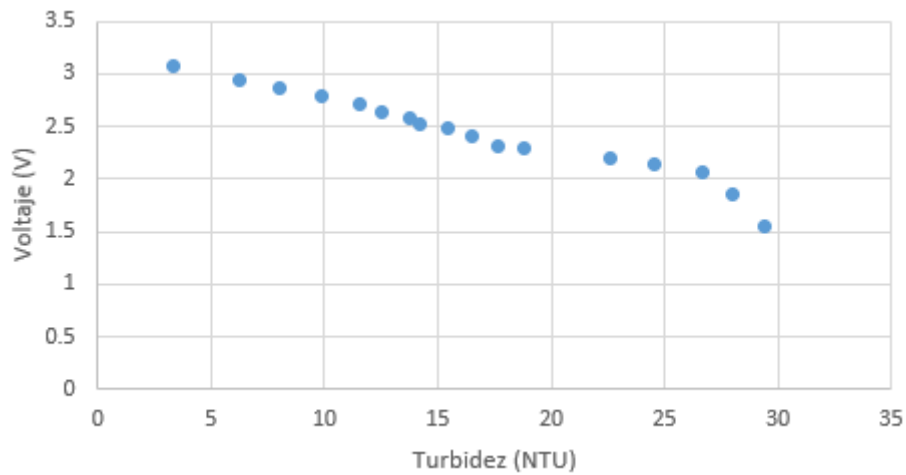


Figura 16. Función de regresión y tramos del modelo 5

$$Voltaje = \sqrt{10.41 - 0.276 * NTU} \quad (9)$$

$$Voltaje = \sqrt{8.554 - 0.007 * NTU^2} \quad (10)$$

Por último, en este último caso de estudio se nos presenta un muy buen funcionamiento a valores de turbidez por debajo de 20-25 NTU, aunque a partir de ese umbral presenta una diferencia de 0,167 V. Es una situación similar al caso anterior, aunque en este caso si que podría ser una combinación válida a partir de 20 NTUs, ya que presenta un error promedio de 0,099 V en los valores de turbidez de la regresión por encima de este umbral, siendo un error asumible para estas medidas. Estas diferencias se observan en la Tabla 9

Tabla 9. Comparación de los voltajes medidos y calculados del modelo 5

Concentración (mg/L)	Turbidez (NTU)	Medida (V)	Cálculo (V)	Error
12	9.03	2.885	2.814	0.071
17	11.21	2.688	2.705	0.017
27	17.31	2.422	2.373	0.049
33	23.44	2.201	2.169	0.031
42	27.3	1.994	1.827	0.167

Según lo acontecido en este apartado hemos llegado a la conclusión de que el prototipo de turbidímetro N° 3 es el que mayor efectividad y menor error representa. Este puede realizar mediciones en todos los valores de turbidez del rango propuesto para la regresión del estudio, a diferencia de otros modelos que presentan errores más altos a partir de los 20 NTU, presentando errores mínimos, lo cual hace que la combinación elegida, en este caso la configuración 35.29 mA / 2200 kΩ. Si despejamos las ecuaciones de regresión para sacar la turbidez a partir del voltaje observaríamos que esta combinación presenta un error de calibración de 0,35 NTU y de verificación de 0,25 NTU. Estos errores resultan bastante bajos,

para el prototipo estudiado Por ello esta configuración será la que utilizaremos para realizar las mediciones con nuestro prototipo de turbidímetro.

4. Conclusión del estudio

En esta sección se realizará un análisis exhaustivo del proyecto realizado ya completado y se detallarán las conclusiones del estudio realizado. Estas se describirán en una serie de apartados, expuestos a continuación.

4.1 Cumplimiento del objetivo

Como hemos podido observar, si comparamos los estudios y prototipos realizados para cada parámetro de estudio vemos una gran diferencia con respecto a los resultados obtenidos. Por una parte, el estudio relativo al sensor inductivo para la medición de la conductividad no ha podido completarse debido a que no se han presentado diferencias entre las muestras analizadas, con lo que el diseño del prototipo no ha cumplido con las expectativas que se esperaban. Las diferencias que se presentan en dicho estudio han sido entre 0.02-0.05 V, y no resultan lo suficientemente destacables como para poder continuar el estudio. No obstante, los resultados conseguidos en el estudio relativo al sensor óptico para la medición de la turbidez han resultado mucho más satisfactorio, llegando a completar todas las fases previstas en el desarrollo del ensayo completo. Tras la realización del mismo se ha llegado a da con la combinación de 35.29 mA / 2200 k Ω . Presenta una diferencia de voltaje de 0,615 V, con un error de calibración de 0,35 NTU y de verificación de 0,25 NTU. Esta configuración del sensor parece ser altamente óptima y eficaz para el seguimiento y monitorización de la turbidez en agua de mar, siguiendo la base de diseño propuesta.

Por ello, en futuros trabajos buscaremos identificar y dar solución al problema que nos ha surgido en el diseño del sensor inductivo. Ya sea buscando una base de diseño que sea más eficaz y nos permita lograr los objetivos propuesto o analizando posibles interferencias que se hayan producido durante la realización de las mediciones y que no han identificado.

4.2 Conclusiones sobre el proyecto

Tras la realización del trabajo, y de sus experimentos hemos llegado a una serie de conclusiones que podemos comentar.

En primer lugar, podemos concluir que el desarrollo del conductímetro y la realización de sus mediciones no han sido satisfactorias. Desde el punto de vista teórico la utilización de sensores inductivos para su medición resultaba adecuada, aunque en la práctica hemos visto otra realidad. No es concluyente que la metodología utilizada en el diseño (inducción) sea incorrecta para el caso de estudio. Hemos visto en otros trabajos relacionados como la medición mediante inducción ha resultado efectiva en diferentes tipos de casos y muestras. Una posibilidad es que esta metodología no esté preparada para la medición de muestras con salinidades altas, entre 30-35 mg/L, y de ahí la poca sensibilidad en la detección de diferencias entre las muestras.

Por otro lado, parece que la combinación de Intensidad el LED y resistencia del prototipo de sensor óptico nº 3 es altamente fiable para la obtención de mediciones. Esta estará concebida para su utilización en grupos de trabajo más numerosos con el fin de constituir una herramienta de monitorización de bajo coste para extensas praderas de Posidonia.

Esto, a su vez tendrá una implicación económica relevante. Si tras la utilización de estos sistemas de monitorización de bajo coste, se obtienen resultados satisfactorios es posible que este sistema de medición sustituya a los modelos de medición comerciales, como los turbidímetros portátiles.

4.3 Problemas encontrados

El principal problema que hemos encontrado durante la realización del proyecto, ha sido el errático ensayo realizado relativo al sensor inductivo. La solución que podemos ofrecer a este problema quizás sea la realización del experimento con otro tipo de conductímetros. Si esto no funcionase valoraríamos utilizar otro tipo de metodología de medición como base de diseño del prototipo.

Otro problema que hemos visto ha sido la falta de información/bibliografía relativa a la medición de conductividad por inducción de muestras saladas de mar. Haber contado con trabajos relacionados nos habría facilitado el hecho de valorar que metodología utilizar, además de darnos ideas sobre cuál es la configuración de bobinado más correcta para muestras con esta concentración.

Por último, personalmente he tenido complicaciones a la hora de la realización del proyecto debido a mis limitados conocimientos de electrónica y realización de sensores. En mi titulación existe solo una asignatura en toda la carrera relativa a los sensores, aunque el empleo práctico de estos no se explica, lo cual creo que es una forma errónea de impartir la asignatura. La solución a este problema ha sido ponerme en contacto y aprender las diferentes metodologías, fundamentos y conceptos relacionados con este mundo de la electrónica y los sensores.

4.4 Aportaciones personales

Personalmente, la realización de este proyecto ha sido complicada para mí, en un principio. Como dije no contaba con los conocimientos necesarios desde el inicio de proyecto, y fui aprendiendo día a día de los instrumentos y técnicas relacionados con la realización y análisis de sensores.

Esto, también me ha ayudado a comprender el funcionamiento de las técnicas y instrumentos de medición observando como los cambios en un medio de estudio afectan en mayor o menor medida a los resultados que después se obtienen.

4.5 Futuras líneas de trabajo

Debido al satisfactorio cumplimiento de los objetivos marcados para el diseño del sensor óptico este es probable que sea utilizado en futuros trabajos, como en sistemas de monitorización del fondo marino. Normalmente, su empleo se realizará en grupos grandes de trabajo, debido al bajo coste de diseño y mantenimiento.

Además, el presente proyecto que he realizado puede serme útil en futuros trabajos que realice, como por ejemplo el TFM. Este podría ser relativo a la observación de los cambios morfológicos que se produzcan en La *Posidonia oceánica* (L.) Delile, 1813 como consecuencia de cambios en la turbidez. En este ejemplo, utilizaría mi propuesta de sensor óptico para la monitorización de la muestra.

5. Bibliografía

- Basse, N. T. (2014). A review of the theory of Coriolis flowmeter measurement errors due to entrained particles. *Flow Measurement and Instrumentation*, 37, 107-118.

Castejón Silvo, I. (2011). Grazing on the epiphytic community of *Posidonia oceanica* (L.) Delile: an assessment of its relevance as a buffering process of eutrophication effects.

Centro de Estudios de Puertos y Costas. (2012). UMBRALES DE TOLERANCIA AL INCREMENTO DE SALINIDAD DE DIVERSAS ESPECIES MARINAS.

Connor, Nick. "¿Qué Es El Flujo de Fluido Monofásico versus Multifásico? - Definición." *Thermal Engineering*, 1 Oct. 2019, www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-flujo-de-fluido-monofasico-versus-multifasico-definicion/. Accessed 8 Sept. 2022

Cui, H., Li, D., & Sun, M. (2009, April). Inductive level measurement sensor with magnetic fluid. In *2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation* (Vol. 1, pp. 28-30). IEEE

David Felix, Ismail Albayrak, Robert Michael Boes, In-situ investigation on real-time suspended sediment measurement techniques: Turbidimetry, acoustic attenuation, laser diffraction (LISST) and vibrating tube densimetry, *International Journal of Sediment Research*, Volume 33, Issue 1, 2018, Pages 3-17.

Ferrer, Joan Lluís. "Objetivo: Salvar La Posidonia Para Salvar El Clima." *Verde Y Azul*, 15 Nov. 2021, verdeyazul.diarioinformacion.com/objetivo-salvar-la-posidonia.html. Accessed 8 Sept. 2022

García, A., Pérez, M. A., Ortega, G. J. G., & Dizy, J. T. (2007). A new design of low-cost four-beam turbidimeter by using optical fibers. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 56(3), 907-912.

González-Correa, J. M., Bayle, J. T., Sánchez-Lizaso, J. L., Valle, C., Sánchez-Jerez, P., & Ruiz, J. M. (2005). Recovery of deep *Posidonia oceanica* meadows degraded by trawling. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320(1), 65-76.

Guerrero, M., Szupiany, R. N., & Latosinski, F. (2013). Multi-frequency acoustics for suspended sediment studies: an application in the Parana River. *Journal of Hydraulic Research*, 51(6), 696-707.

iAqua. "Tecnoconverting Responde: ¿Que Es La NTU?", 30 June 2016, www.iagua.es/noticias/espana/tecnoconverting/16/06/30/tecnoconverting-responde-que-es-ntu-. Accessed 8 Sept. 2022.

Kelley, C. D., Krolick, A., Brunner, L., Burklund, A., Kahn, D., Ball, W. P., & Weber-Shirk, M. (2014). An affordable open-source turbidimeter. *Sensors*, 14(4), 7142-7155

Leriche, A., Pasqualini, V., Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., Clabaut, P., & Denis, J. (2006). Spatial, temporal and structural variations of a *Posidonia oceanica* seagrass meadow facing human activities. *Aquatic Botany*, 84(4), 287-293.

Martín, M. A., Sánchez-Lizaso, J. L., & Ramos-Esplá, A. A. (1813). Cuantificación del impacto de las artes de arrastre sobre la pradera de *Posidonia oceanica* (L.). *Delile*, 1997(23), 243-53.

“Medidas de Conservación Actualmente Implantadas En Formentera – Formentera.” SavePosidoniaProject, 2017, www.saveposidoniaproject.org/es/medidas/. Accessed 8 Sept. 2022

Medrano, M., Pérez, A. T., & Soria-Hoyo, C. (2007). Design of a conductivity meter for highly insulating liquids. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 40(5), 1477.

Meinesz, A., De Vaugelas, J., Hesse, B., & Mari, X. (1993). Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *Journal of applied Phycology*, 5(2), 141-147.

Pérez Tonda, T., Forcada, A., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2011). Evaluación de los efectos del anclaje de embarcaciones sobre pradera de *Posidonia oceanica* (L.) en dos localidades mediterráneas.

Pozuelo, Pablo Pérez. “*Posidonia Oceanica*, Ecosistema Amenazado.” *Conservación Ibérica Natura*, 5 July 2020, conservacionibericanatura.es/2020/07/05/posidonia-oceanica-ecosistema-amenazado/. Accessed 8 Sept. 2022.

“Protección de La *Posidonia* Oceánica.” *Menorca Nautic Blog*, 28 July 2019, www.menorcanautic.com/blog/proteccion-posidonia/#:~:text=Las%20praderas%20de%20posidonia%20act. Accessed 8 Sept. 2022.

Ribeiro, A. L., Ramos, H. M. G., Ramos, P. M., & Pereira, J. D. (2006, September). Inductive conductivity cell for water salinity monitoring. In *Proceedings of XVIII Imeko World Congress, Metrology for a Sustainable Development* (pp. 0018-9464).

Sandoval-Gil, J.M., Marín-Guirao, L. & Ruiz, J.M. Tolerance of Mediterranean seagrasses (*Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*) to hypersaline stress: water relations and osmolyte concentrations. *Mar Biol* 159, 1129–1141 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00227-012-1892-y>

System, New Garden. “*Posidonia Oceanica*, La Gran Fuente de Oxígeno Del Mediterráneo.” *La Forma Inteligente de Hacer Jardinería*, 17 Feb. 2017, mypot.eu/blog/actualidad/posidonia-oceanica-la-gran-fuente-de-oxigeno-del-mediterraneo/#:~:text=Por%20cada%20metro%20cuadrado%2C%20las. Accessed 8 Sept. 2022

¿Qué Es La Turbidez?» HANNA® Instruments México.” *HANNA® Instruments México*, 29 Mar. 2019, hannainst.com.mx/blog/que-es-la-turbidez/