



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

PROYECTO INTEGRADOR DE ELECTRÓNICA

E1227

---

Informe Final: Acelerando La Pesca

---

*Autor:* Bértora, Juan Martín

*Numero de Alumno:* 71314/9

*Director:* Fernandez Corazza, Mariano

# Índice

<b>1. Resumen</b>	<b>3</b>
<b>2. Summary</b>	<b>3</b>
<b>3. Marco General del Proyecto</b>	<b>4</b>
3.1. Introducción . . . . .	4
3.2. Motivación . . . . .	4
3.3. Objetivos . . . . .	5
3.3.1. Objetivo General . . . . .	5
3.3.2. Objetivos Específicos . . . . .	5
3.3.3. Especificaciones Preliminares . . . . .	5
3.4. Conclusión . . . . .	6
<b>4. Prototipos y Desarrollo Iterativo</b>	<b>6</b>
4.1. Introducción . . . . .	6
4.2. Selección de Hardware . . . . .	6
4.3. Programación . . . . .	7
4.4. Primer Prototipo . . . . .	7
4.4.1. Contexto de Desarrollo . . . . .	7
4.4.2. Pruebas Realizadas . . . . .	8
4.4.3. Resultados y Estudio de Señales . . . . .	9
4.4.4. Conclusión del primer Prototipo . . . . .	10
4.5. Segundo Prototipo . . . . .	10
4.5.1. Contexto de Desarrollo . . . . .	10
4.5.2. Pruebas Realizadas . . . . .	11
4.5.3. Resultados y Estudio de Señales . . . . .	11
4.5.4. Estudio de Señales: Densidad Espectral de Potencia . . . . .	12
4.5.5. Estudio de Señales: Wavelets . . . . .	13
4.5.6. Estudio de Señales: Filtros en Frecuencia y Gauss . . . . .	14
4.5.7. Conclusión del Segundo Prototipo . . . . .	17
4.6. Prototipo Definitivo . . . . .	17
4.6.1. Contexto de Desarrollo . . . . .	17
4.6.2. Pruebas Realizadas . . . . .	19
4.6.3. Resultados y Estudio de Señales . . . . .	20
4.6.4. Curvas ROC . . . . .	22
4.6.5. Conclusión del Tercer Prototipo . . . . .	25
4.7. Conclusión . . . . .	26
<b>5. Producto Final</b>	<b>26</b>
5.1. Programación En C . . . . .	27
5.2. Prueba de Campo Rió Gualeguaychú . . . . .	29
5.3. Prueba de Campo En un Entorno Controlado . . . . .	30
5.4. Conclusión Del Producto final . . . . .	33

<b>6. Conclusión General</b>	<b>34</b>
<b>7. Referencias</b>	<b>35</b>

## **1. Resumen**

La pesca, en todas sus formas, es un vínculo profundo con la naturaleza que ha trascendido generaciones. Sin embargo, en la pesca con boyas remotas, donde la caña no está presente físicamente para detectar un pique, surge un desafío único: cómo saber cuándo un pez se ha enganchado en el anzuelo. En este contexto, nace la motivación detrás de este proyecto.

Para lograrlo, se implementó un sistema electrónico que integraba un acelerómetro con un microcontrolador, configurado para adquirir y procesar datos de aceleración en tiempo real. Se llevaron a cabo mediciones exhaustivas de señales de piques y condiciones no deseadas, como las variaciones en el oleaje, con el fin de analizar detalladamente sus características en el dominio del espacio, tiempo y frecuencia.

El proyecto se enfocó en el desarrollo de algoritmos de procesamiento de señales robustos y eficientes que permitieran la detección precisa de piques de peces, minimizando los falsos negativos. Además, se contempló la construcción de un prototipo compacto, listo para pruebas en condiciones reales de pesca.

## **2. Summary**

Fishing, in all its forms, is a deep connection with nature that has transcended generations. However, in remote buoy fishing, where the fishing rod is not physically present to detect a bite, a unique challenge arises: how to know when a fish has hooked onto the bait. In this context, the motivation behind this project was born.

To achieve this, an electronic system was implemented that integrated an accelerometer with a microcontroller, configured to acquire and process acceleration data in real-time. Comprehensive measurements of bite signals and undesired conditions, such as variations in waves, were conducted to analyze their characteristics in the domains of space, time, and frequency.

The project focused on developing robust and efficient signal processing algorithms that would enable the accurate detection of fish bites, minimizing false negatives. Additionally, the construction of a compact prototype, ready for testing in real fishing conditions, was considered.

### **3. Marco General del Proyecto**

#### **3.1. Introducción**

El Proyecto surgió como un apartado de un proyecto mayor, basado en la creación de una boyá capaz de detectar el pique de un pez en el río y comunicar al pescador a una distancia considerable, funcionando en un entorno alejado de la zona urbana. En este proyecto, solo se abordó la problemática relacionada con la detección del pique.

Este proyecto se concentró en el desarrollo de un dispositivo de detección de piques de peces en entornos fluviales mediante el uso de un acelerómetro. Su objetivo principal fue identificar y caracterizar las aceleraciones específicas relacionadas con los piques de peces, con el propósito de distinguirlas de las señales ambientales, como las generadas por el movimiento del agua.

#### **3.2. Motivación**

La pesca, en todas sus formas, es un vínculo profundo con la naturaleza que ha trascendido generaciones. Sin embargo, en la pesca con boyas remotas, donde la caña no está presente físicamente para detectar un pique, surge un desafío único: cómo saber cuándo un pez se ha enganchado en el anzuelo. En este contexto, nace la motivación detrás de este proyecto.

Esta radicó en la necesidad de desarrollar un dispositivo capaz de detectar de manera precisa y oportuna el momento en que un pez se engancha en el anzuelo de una boyá remota. Esta tecnología abordó la incertidumbre inherente a esta modalidad de pesca, accionando de manera inmediata un método de notificación al pescador. La aspiración fundamental es mejorar la eficacia y la experiencia de la pesca con boyas remotas, permitiendo que los pescadores aborden cada salida con la confianza de que podrán capturar esos momentos cruciales de éxito.

En el contexto del proyecto, se enfrentó el desafío de detectar el pique de peces en presencia de condiciones adversas como las olas. La necesidad central es desarrollar una solución automatizada que distinga con precisión las señales del pique deseado de las asociadas a fenómenos indeseados como las variaciones en el oleaje o enganches fortuitos en objetos.

Como primeras soluciones al problema, se plantearon dos posibles enfoques. Uno consistía en utilizar un acelerómetro como herramienta principal, estudiando cómo las señales se modifican entre eventos de interés (pique) y eventos no deseados. La otra opción considerada fue el uso de una celda de carga. Se decidió en conjunto abordar ambas posibilidades en dos proyectos distintos; en este proyecto, nos enfocamos exclusivamente en la solución que utiliza el acelerómetro.

### **3.3. Objetivos**

#### **3.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un sistema de detección de piques de peces en boyas remotas mediante la utilización de un acelerómetro, centrándose en la caracterización de la aceleración asociada a los piques y la implementación de algoritmos de procesamiento de señales para lograr una detección precisa y confiable.

#### **3.3.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar e implementar un sistema electrónico que integre el acelerómetro con un microcontrolador, configurándolo para la adquisición y procesamiento de datos de aceleración en tiempo real.
- Realizar mediciones de piques de peces y de señales no deseadas, como variaciones en el oleaje, para llevar a cabo un análisis exhaustivo de las características de estas señales en el dominio del espacio y de la frecuencia.
- Diseñar y desarrollar una estrategia de procesamiento de señales robusta y eficiente para la detección precisa de piques de peces, enfocándose en la discriminación efectiva de estas señales frente a las variaciones no deseadas, como las causadas por el oleaje o enganches en objetos, con el fin de mejorar la fiabilidad del sistema de detección.
- Cumplir con las Especificaciones Preliminares descriptas en la siguiente sección

#### **3.3.3. Especificaciones Preliminares**

- Voltaje de Alimentación: 5 V
- Consumo Máximo: 60 mA
- Detecta Piques con frecuencias menores a 50 Hz
- Sensibilidad: 80 %
- Especificidad: 80 %
- Tamaño menor a
  - Ancho 4 cm
  - Largo 8 cm
  - Alto 4 cm
- Peso menor a 80 g

### **3.4. Conclusión**

La propuesta se enfoca en el desarrollo de un dispositivo de detección con acelerómetro, abordando desafíos como la identificación precisa de piques en ausencia física de la caña. Los objetivos incluyen el diseño del sistema electrónico, mediciones exhaustivas y algoritmos robustos de procesamiento de señales.

En resumen, este capítulo sienta las bases para un proyecto que busca mejorar la eficacia y la experiencia de la pesca con boyas remotas, a través de un enfoque técnico centrado en la detección de piques de peces.

## **4. Prototipos y Desarrollo Iterativo**

### **4.1. Introducción**

Este segundo capítulo la etapa de desarrollo donde los conceptos teóricos y objetivos trazados en el primer capítulo se transforman en realidades tangibles a través de la creación de prototipos. Cada uno de estos prototipos representa una iteración, una oportunidad de aprender, ajustar y mejorar antes de alcanzar el producto final.

El desarrollo iterativo es un proceso fundamental en la creación de soluciones tecnológicas, permitiendo la adaptación continua a medida que se ganan perspectivas valiosas. En este capítulo, exploraremos tres fases de este proceso, cada una con su propio contexto, pruebas, resultados y análisis de señales. Cada prototipo desempeña un papel fundamental, contribuyendo al refinamiento progresivo de la solución.

### **4.2. Selección de Hardware**

Cada prototipo se diseñó utilizando un acelerómetro MPU6050 y un microcontrolador ESP32. La elección del ESP32 se realizó en conjunto con los demás integrantes del proyecto general con el fin de poder integrar las funciones de todo el proyecto en un solo microcontrolador de ser posible. El mismo nos proporciona varias ventajas, entre ellas su gran poder de computo y la presencia de Bluetooth integrado, simplificando la comunicación a distancia.

La adopción del MPU6050 se estableció como un requisito previo por parte de la cátedra, en virtud de que disponía de uno. Este módulo integra un giroscopio de tres ejes y un acelerómetro de tres ejes, permitiendo la medición precisa de la velocidad angular y la aceleración lineal en diferentes direcciones. Su funcionamiento se basa en la detección de cambios en la capacitancia generada por la aceleración y la rotación, convirtiendo estos cambios en señales eléctricas interpretables por un microcontrolador.

### **4.3. Programación**

Para agilizar este proceso iterativo, se adoptó un enfoque pragmático en la programación de los prototipos. A pesar de que la elección del entorno de ArduinoIDE y el uso de librerías específicas pueden tener limitaciones en términos de rendimiento, se optó por la accesibilidad y velocidad de implementación.

El código implementa un protocolo de comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) entre un microcontrolador ESP32 y un sensor MPU6050 para la medición de datos de aceleración y velocidad angular en tres ejes. La configuración inicial del módulo MPU6050 incluye la definición de rangos de medida para el acelerómetro y el giroscopio, así como la selección de la banda de frecuencia del filtro. Posteriormente, el bucle principal del programa adquiere eventos del sensor, que contienen información sobre la aceleración y velocidad angular.

De manera concurrente, se inicia la comunicación Bluetooth utilizando el módulo Bluetooth-Serial del ESP32. Los datos obtenidos del MPU6050, que incluyen valores de aceleración y velocidad angular en los tres ejes, se envían a través de Bluetooth para su monitoreo o análisis en un dispositivo externo. El formato de transmisión incluye también el número de muestra y el tiempo transcurrido entre muestras.

Este código facilita la integración del MPU6050 con una computadora, permitiendo la adquisición remota de datos mediante una conexión Bluetooth. Esta funcionalidad es especialmente valiosa en aplicaciones donde la movilidad y el monitoreo a distancia son fundamentales. El monitoreo se realizó utilizando el software “SerialPlotter”, que permite observar en tiempo real el puerto serie asignado a la conexión Bluetooth y graficar los datos leídos, además de poder guardar los datos observados en un formato “.csv” para el estudio de las señales.

### **4.4. Primer Prototipo**

#### **4.4.1. Contexto de Desarrollo**

El primer prototipo de la boya se gestó a través de la integración del acelerómetro y el microcontrolador en un protoboard. Esta configuración fue previamente programada y probada. Luego, el conjunto se montó en un recipiente de 5 litros, típicamente utilizado para la venta de productos químicos. El protoboard se fijó en una de las paredes del recipiente utilizando cinta adhesiva, se aprovechó la forma de asa del recipiente para adosar un anzuelo y una plomada, simulando así una boya remota lista para la pesca.

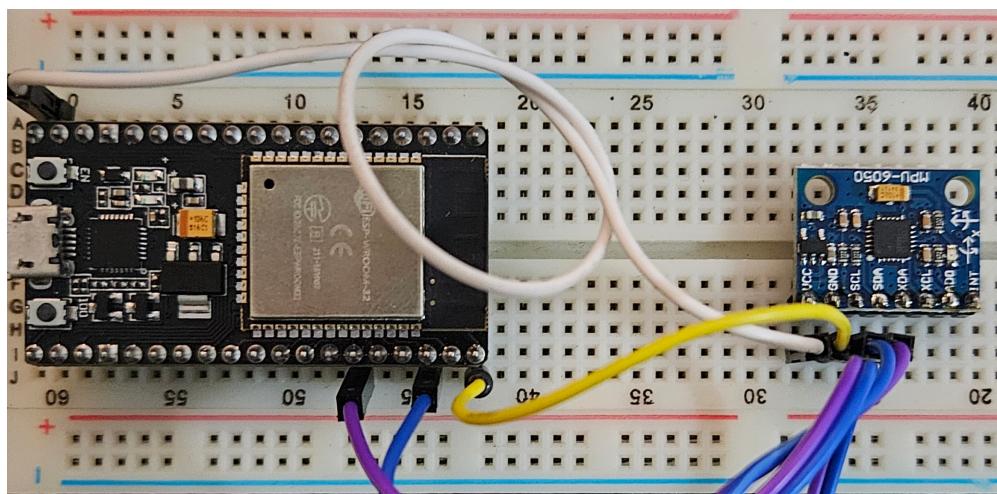


Figura 1: Hardware montado en el Prototipo 1

#### 4.4.2. Pruebas Realizadas

El dispositivo se sometió a una prueba en el Río Gualeguaychú el 17/09/2023. Las condiciones no fueron ideales debido a los fuertes vientos, como se evidencia en imágenes y videos disponibles en la sección "Vídeos e Imágenes de las Pruebas realizadas". Se intentó simular un pique tirando hacia abajo del anzuelo con una caña, revelando inconvenientes significativos. La gran flotabilidad del dispositivo, resultado de su volumen, dificultó la detección de movimientos sutiles que podrían indicar un pique.



Figura 2: Prototipo 1 en el Río Gualeguaychú

#### 4.4.3. Resultados y Estudio de Señales

El prototipo presentó tres problemas fundamentales. Primero, el volumen generó una excesiva flotabilidad, limitando la capacidad de detectar piques de peces medianos o pequeños. Segundo, la forma alta y estrecha del recipiente causó oscilaciones como un péndulo, generando aceleraciones no deseadas. Tercero, la falta de estructura en la parte superior del recipiente planteó el riesgo de que la boya no se mantuviera impermeable en caso de hundimiento.

Por otro lado, la parte del hardware y software del prototipo se comportaron de buena manera, logrando un envío continuo de 200 datos por segundo sin perdidas, aunque cabe aclarar que el uso del protoboard puede llegar a ocasionar un mal contacto cortando la comunicación.

El estudio de señales para esta prueba solo arrojó aceleraciones características de las olas, aunque se vieron afectadas en gran medida por los movimientos oscilatorios del recipiente por lo que no fueron utilizadas para un fin práctico en el proyecto.

Todas las señales obtenidas en esta prueba se encuentran en formato “.csv” en la sección de “Señales/Prototipo1\_PruebasRioGualeguaychu”.

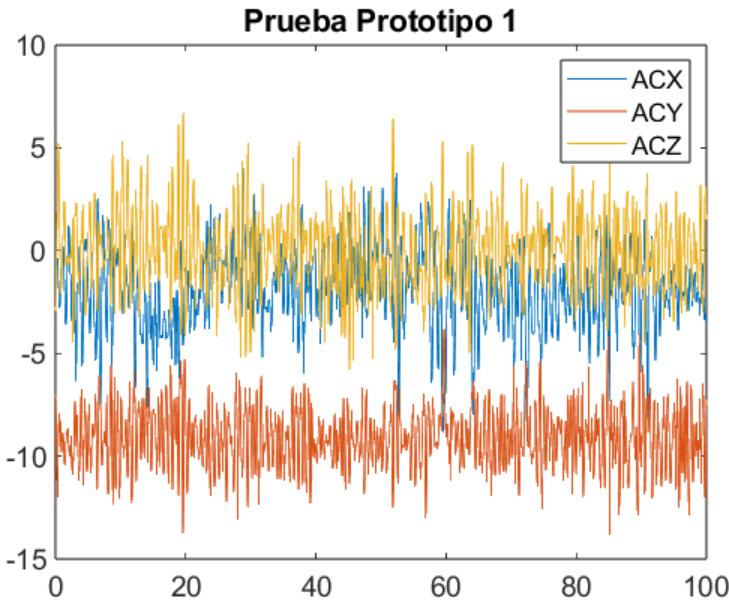


Figura 3: Aceleraciones Obtenidas: Río Gualeguaychú

#### 4.4.4. Conclusión del primer Prototipo

El primer prototipo reveló limitaciones críticas en términos de detección de piques, estabilidad y resistencia estructural. Estos desafíos informaron directamente el desarrollo del próximo prototipo, centrado en mitigar los problemas de flotabilidad, oscilación y garantizar la impermeabilidad en situaciones de hundimiento.

### 4.5. Segundo Prototipo

En esta sección, se abordan las mejoras físicas implementadas en el segundo prototipo en comparación con su predecesor. Se detallarán las pruebas llevadas a cabo en un entorno controlado, así como los resultados obtenidos durante dicho proceso. Además, iniciaremos el análisis de las señales, explorando distintos métodos potenciales para la detección de piques, cada uno con sus respectivos resultados y conclusiones.

#### 4.5.1. Contexto de Desarrollo

Este segundo prototipo presenta una estructura completamente diferente a la del modelo anterior, abordando de manera efectiva ciertos inconvenientes identificados en la fase previa. En este caso, se optó por utilizar un recipiente de plástico de pequeñas dimensiones, aproximadamente 1 litro, comúnmente utilizado para alimentos. Esta elección se realizó con la finalidad de facilitar la inmersión, haciendo el dispositivo más sensible a fuerzas menos intensas y, por ende, ampliando la capacidad de detección de peces.

La forma del recipiente, con una base amplia y una baja altura, mitigó significativamente el problema de las oscilaciones inducidas por vientos laterales. Además, al ser un tupper de alimentos, cuenta con una tapa extraíble que proporciona fácil acceso a los componentes internos, en caso de ser necesario, manteniendo la hermeticidad a bajas profundidades.

#### **4.5.2. Pruebas Realizadas**

Este prototipo fue sometido a pruebas en un entorno controlado, utilizando una bañera convencional de gran capacidad. Las pruebas incluyeron la generación de diversas señales para simular condiciones de funcionamiento real. Se crearon señales que imitaban un oleaje constante en el agua de la bañera, así como señales que simulaban diferentes tipos de piques. Estos últimos consistieron en hundir el recipiente de manera rápida hasta el fondo, variando la fuerza de inmersión para observar su impacto en las señales. La técnica de simulación de piques se basó en consultas con pescadores experimentados, quienes confirmaron que, en situaciones reales, la boyta se sumerge de manera casi constante durante un pique.

Las señales obtenidas en estas pruebas pueden encontrarse en la sección de “Señales/Prototipo2\_PruebasEnLaDucha”.

#### **4.5.3. Resultados y Estudio de Señales**

En este informe, se seleccionaron dos de las señales generadas durante las pruebas realizadas: una que representa un entorno simulado de oleaje y otra que simula varios piques. Estas señales específicas se han elegido con el propósito de ilustrar los resultados obtenidos en cada fase del proceso llevado a cabo en el análisis de señales, aunque es importante destacar que las pruebas abarcaron todas las señales recopiladas.

En el inicio del análisis de las señales, se abordó un problema común presente en los acelerómetros que utilizan la tecnología capacitiva, como el MPU6050. Estos dispositivos, en todo momento, miden la componente gravitatoria en alguno de sus ejes, la cual varía al rotar el dispositivo en alguna dirección. Con el fin de mitigar esta característica y dado que no se conoce con certeza en qué dirección se movería la boyta durante un pique, se implementa la suma cuadrática de las lecturas en las aceleraciones en los tres ejes, obteniendo así el siguiente resultado.

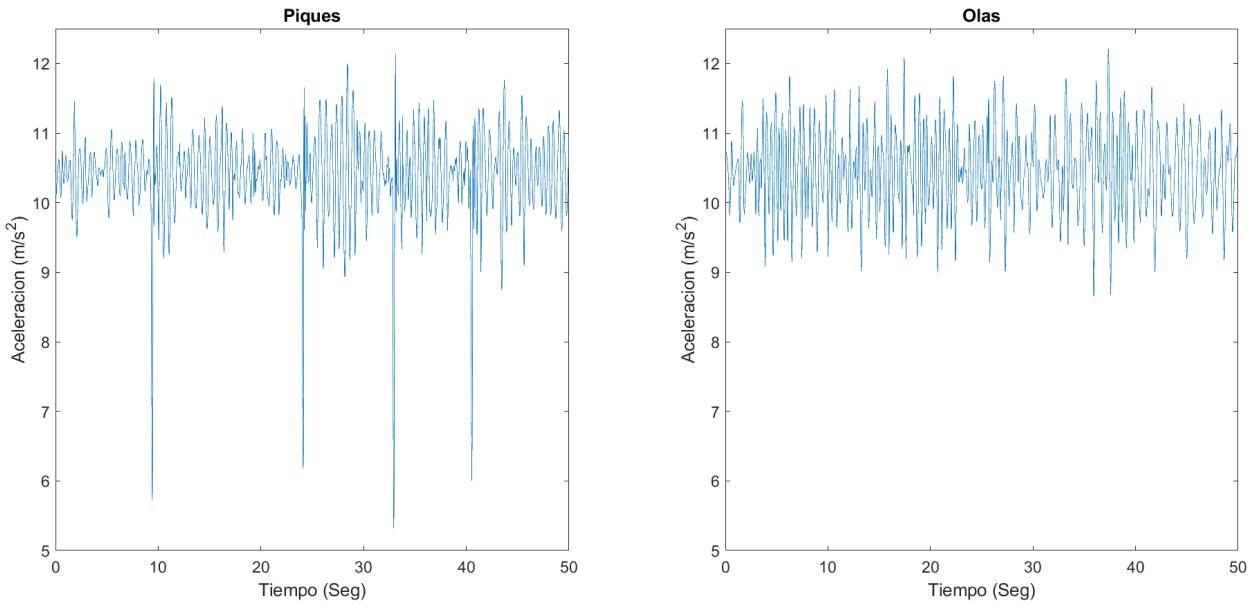


Figura 4: Aceleraciones Obtenidas: 4 piques y Olas

En el gráfico izquierdo pueden observarse aceleraciones características de los 4 piques realizados en los segundos 10, 24, 32 y 40 de la prueba. Por otro lado, en el gráfico derecho de se encuentran las señales obtenidas al simular un oleaje continuo durante toda la prueba.

En esta etapa del proyecto, se comenzó con un arduo estudio de distintos métodos para trabajar las señales obtenidas, con el fin de identificar alguna característica propia de las aceleraciones de un pique que pudiera destacarse por encima de las obtenidas en las olas, facilitando así su identificación. Para esto, se estudiaron los siguientes métodos en el orden de las siguientes subsecciones:

#### 4.5.4. Estudio de Señales: Densidad Espectral de Potencia

La Densidad Espectral de Potencia (PSD, por sus siglas en inglés) es una herramienta en el campo del procesamiento de señales que permite analizar la distribución de la potencia de una señal en el dominio de la frecuencia. En términos más sencillos, nos ayuda a entender cómo se distribuye la energía de una señal en diferentes componentes de frecuencia.

En este estudio, se calculó la PSD para ambas señales, comparando la distribución de la energía en función de la frecuencia. Se esperaba que los picos correspondientes a los piques de peces tuvieran una amplitud y frecuencia distintiva respecto a las oscilaciones generadas por las olas. Sin embargo, este método no logró evidenciar diferencias significativas que permitieran una discriminación efectiva entre las señales de piques y las de las olas, como se ve por ejemplo en la figura 5.

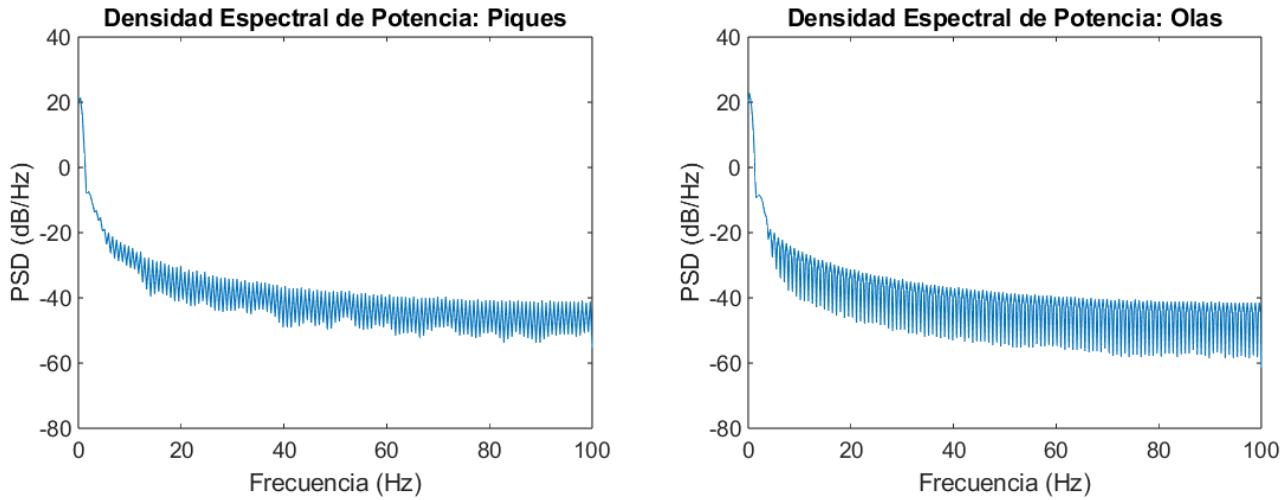


Figura 5: Densidad Espectral de Potencia

Para replicar estos resultados en Matlab puede utilizar el programa “ProcesamientoDeSeñales\_Matlab/TrabajosDeSeñales.m”.

#### 4.5.5. Estudio de Señales: Wavelets

La transformada wavelet es una técnica en el procesamiento de señales que permite analizar tanto la localización en el tiempo como la frecuencia de las componentes de una señal. A diferencia de otras transformadas, como la Transformada de Fourier, la transformada wavelet destaca por su capacidad para adaptarse a cambios en la frecuencia a lo largo del tiempo, lo que la hace especialmente útil para analizar señales no estacionarias.

Supongamos que tienes una señal compleja que varía en frecuencia y amplitud con el tiempo, como podría ser la señal de aceleración registrada durante la pesca. La transformada wavelet toma esta señal y realiza múltiples convoluciones con una función wavelet que varía en ancho, permitiendo evaluar cómo las características de la señal cambian en cada instante de tiempo.

En el contexto del estudio de piques de peces, la transformada wavelet se utiliza para identificar patrones locales en la señal que podrían estar asociados a eventos específicos, como los piques. Se busca si hay cambios significativos en la frecuencia y amplitud de la señal en momentos particulares.

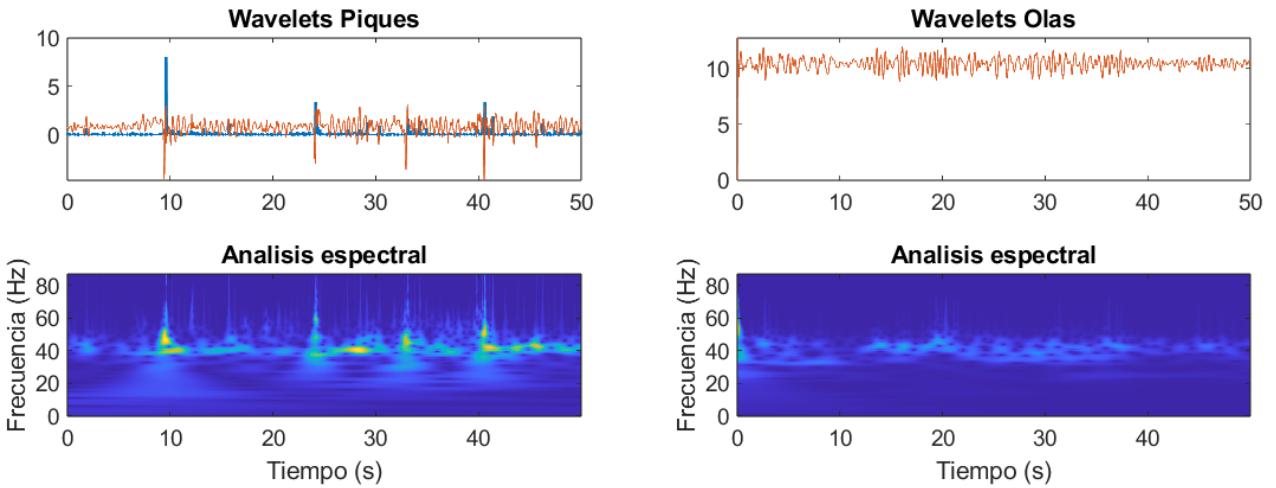


Figura 6: Densidad Espectral de Potencia

En la figura 6 se presentan en los subplot superiores, las señales originales representadas en naranja, en azul se presenta una función también realizada con wavelets, la cual aumenta su energía al detectar cambios en el patrón de la señal, y por ultimo en el subplot inferior se presenta el análisis espectral la cual se realiza con todas las convoluciones explicadas en esta misma sección, y se las coloca variando su color respecto de la intensidad obtenida en cada convolución e instante de tiempo.

Al observar los resultados de la figura 6, se presenta un diferencia respecto de ambos gráficos, ya que el spectrograma se la señal con piques presentan una mayor energía en los instantes ya mencionados anteriormente, aunque no es una gran diferencia, debido a que las olas presentan una energía concentrada en frecuencias de 40 Hz, mientras que en los piques, esto puede subir su en acumulación de energía pero manteniendo la frecuencia. Además, cabe aclarar que todos los métodos estudiados deben ser evaluados en cuanto al poder de computo necesario, debido a que en próximas etapas, este deberá ser realizado continuamente en el microcontrolador.

Concluyendo con este método, debido a la baja diferencia observada en las señales y el gran poder de computo necesario se optó por descartarlo.

Para replicar estos resultados en Matlab puede utilizar el programa “ProcesamientoDeSeñales\\_Matlab/TrabajosDeSeñales.m”.

#### 4.5.6. Estudio de Señales: Filtros en Frecuencia y Gauss

En la tercera fase del análisis de señales, se abordó la investigación sobre la energía de las señales vistas inicialmente en esta sección. Durante este proceso, se observó una marcada discrepancia en las frecuencias que caracterizaban cada evento, lo que llevó a la decisión de realizar un estudio específico sobre cómo las señales respondían a la aplicación de un filtro Butterworth pasa altos a diferentes frecuencias. La intención era atenuar en gran medida las frecuencias bajas asociadas a las olas, permitiendo que predominaran las frecuencias más altas presentes en los piques

de peces.

Un filtro Butterworth es un tipo de filtro en el procesamiento de señales que se caracteriza por proporcionar una respuesta de frecuencia plana en la banda de paso (frecuencias que permite pasar) y una atenuación gradual en la banda de paro (frecuencias que bloquea). En el contexto de un filtro Butterworth pasa altos en frecuencia, su función principal es permitir el paso de frecuencias superiores a una frecuencia de corte predeterminada, mientras atenúa gradualmente las frecuencias inferiores a esta.

Para llevar a cabo este análisis, se diseñó un programa de procesamiento de señales capaz de calcular el valor absoluto de la señal y aplicar una serie de filtros pasa alto a diferentes frecuencias: 20, 25, 30, 35 y 40 Hz. El proceso concluyó con la aplicación de un filtro Gaussiano, y se generaron representaciones gráficas de los resultados.

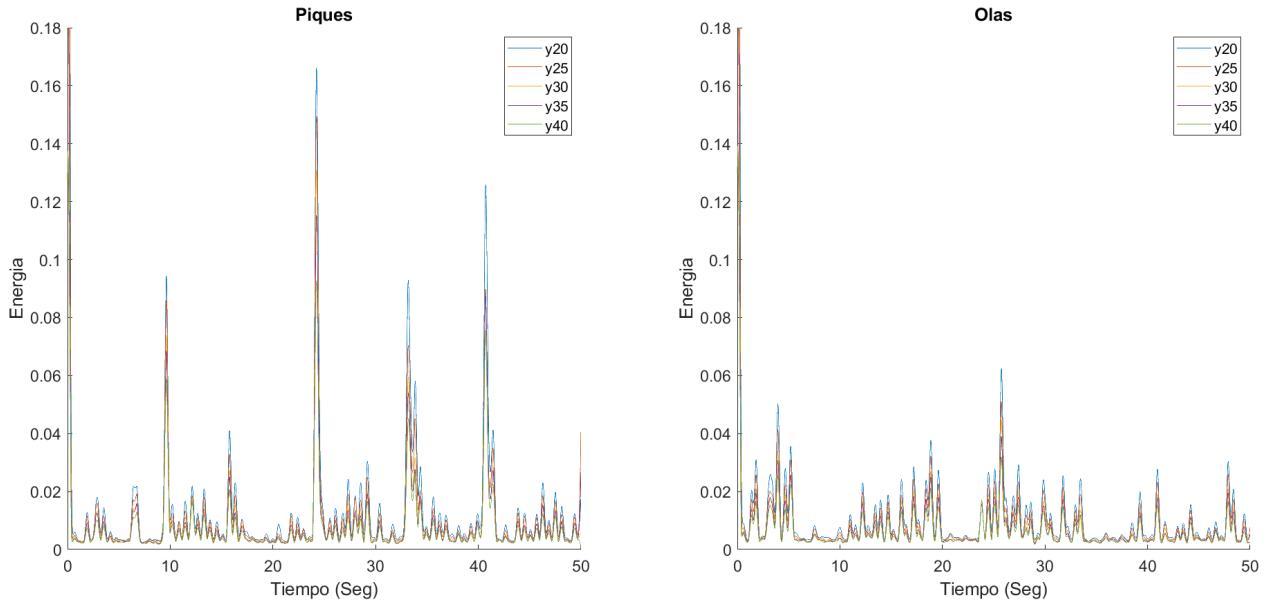


Figura 7: Señales Filtradas a distintas frecuencias

Posteriormente, se efectuó un análisis exhaustivo de todas las señales obtenidas, tanto las relacionadas con las olas como las vinculadas a los piques de peces. Se registraron los resultados para cada frecuencia, identificando aquellas que generaban los valores más bajos en el caso de los piques y los valores más altos en el caso de las olas, considerando así el peor escenario posible. Los datos obtenidos indicaron que filtrar a 25 Hz se presenta como la opción más efectiva, lo que se refleja en la hoja de cálculo correspondiente.

Este enfoque sistemático y analítico proporciona una base para la detección de piques de peces y la diferenciación de las aceleraciones debidas a las olas, demostrando ser una estrategia prometedora para futuras etapas del proyecto.

Estudio de Señales tomadas en la ducha: Acelerando la Pesca												
	Piques Valor Mínimo						Olas Valor Máximo					
	Frecuencia de filtrado Hz						Frecuencia de filtrado Hz					
Señal	20	25	30	35	40		Señal	20	25	30	35	40
pique 2	0.132	0.116	0.1044	0.096	0.0836		olas 1	0.061	0.05	0.044	0.038	0.031
pique 3	0.082	0.079	0.076	0.075	0.061		olas 2	0.063	0.049	0.041	0.035	0.03
pique 4	0.097	0.0725	0.06	0.052	0.042		olas 3	0.054	0.0417	0.0342	0.03	0.025
pique 5	0.27	0.19	0.17	0.15	0.13							
Mín	0.082	0.0725	0.06	0.052	0.042		Máx	0.054	0.0417	0.0342	0.03	0.025

		Frecuencia de filtrado Hz				
		20	25	30	35	40
Diferencia Valor Max y Min		0.028	0.0308	0.0258	0.022	0.017

Cuadro 1: Datos de Energía

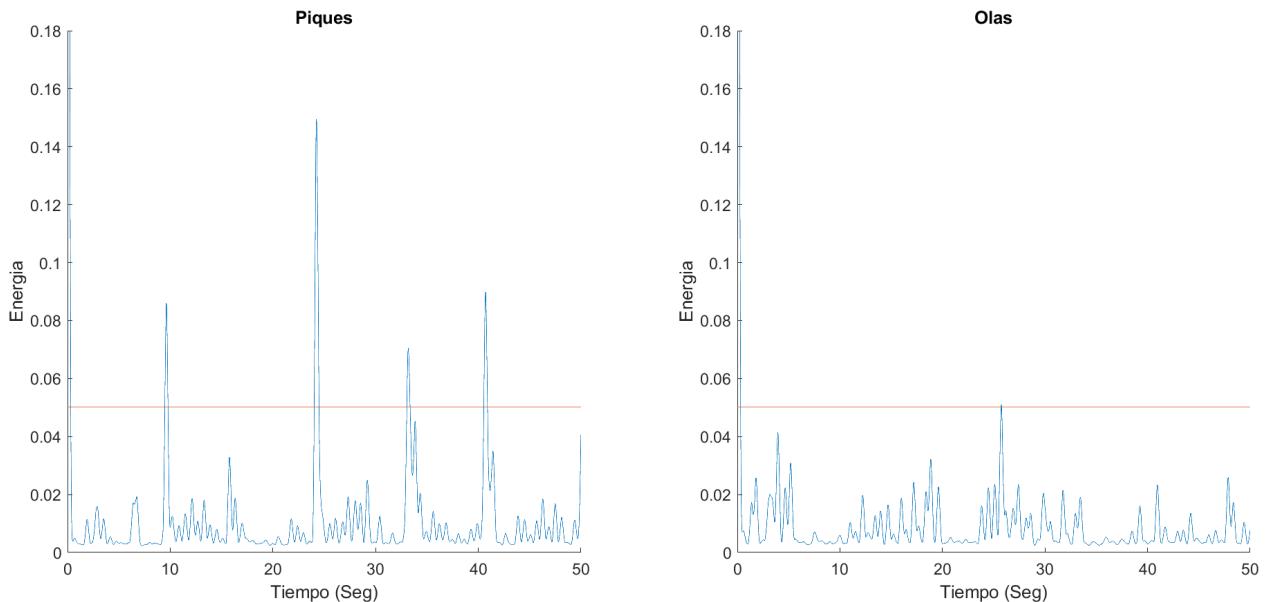


Figura 8: Señal Filtrada a 25 Hz y Umbral de Predicción

Como puede observarse en la figura 8, los 4 piques simulados en la ducha superan con un buen margen el umbral de máxima energía de las olas.

Concluyendo con este método, pudo observarse que esta clase de análisis presenta un futuro prometedor en el ámbito de la detección de piques en entornos reales de funcionamiento, finalizando momentáneamente la búsqueda de algún otro método para el manejo de las señales hasta realizar nuevas pruebas en un entorno real como cualquier río y analizarlas. Además aplicar esta clase de filtros en un microcontrolador como el ESP 32 no debería contemplar ningún problema.

#### **4.5.7. Conclusión del Segundo Prototipo**

Este segundo prototipo funcionó como una buena base para la obtención de señales en entornos de interior con eventos simulados, mejorando todas las falencias observadas en el primer prototipo, pudiendo comenzar con el apartado de Estudio de Señales lo cual fue de gran importancia para el avance del proyecto.

Sin embargo, este dispositivo solo puede ser utilizado para la obtención de señales en entornos controlados debido a que simular un pique en un entorno real de funcionamiento resulta poco práctico ya que una persona debe ejercer una fuerza constante hacia el agua sumergiendo el dispositivo. Además este continua siendo de un volumen considerable como para que un pez mediano o pequeño pueda sumergirlo, además su forma no presenta una manera útil y confiable para adosar un hilo de pesca con un anzuelo. Por esto se trabaja en mejorar estas falencias con la construcción del siguiente prototipo.

### **4.6. Prototipo Definitivo**

En esta sección se discutirá los últimos arreglos físicos realizados a un prototipo, las pruebas de campo realizadas con el mismo, sus resultados y se finalizó con el estudio de señales, escogiendo un método definitivo y analizando su sensibilidad y especificidad. Este análisis se llevará a cabo en comparación con las especificaciones preliminares, permitiendo una evaluación de la eficacia del prototipo mejorado.

#### **4.6.1. Contexto de Desarrollo**

Con el propósito de abordar la problemática asociada al volumen de la boyas, que directamente afecta las mediciones de aceleración y, consecuentemente, la detección precisa de piques, se llevó a cabo la creación de un prototipo definitivo. Este enfoque no solo optimiza la identificación de piques, sino que también amplía las posibilidades de detectar peces de menor tamaño.

Dado que la boyas no se concibe exclusivamente para este propósito, sino como parte de un desarrollo integral que requiere albergar diversos componentes además del hardware para la detección, se tomó la decisión de separar estos elementos. Se incorporó una boyas de pesca convencional, cuyo diseño ha perdurado a lo largo de los años en la pesca, para albergar el acelerómetro y llevar a cabo la detección de piques. Paralelamente, el microcontrolador y la batería se ubican en un recipiente hermético conectado mediante un cable a la boyas de pesca. Este enfoque proporciona un diseño adaptable a diversos contenedores que puedan albergar todos los controladores y periféricos necesarios.

El proceso inició con la adquisición de una boyas hueca con dimensiones adecuadas para alojar el acelerómetro. Se realizaron cortes y perforaciones en la boyas para permitir el paso de un cable de 2 metros, que cumple la función tanto de suministrar energía como de establecer comunicación

con el acelerómetro.



Figura 9: Boya de Pesca con Acelerómetro

Posteriormente, se procedió a la preparación del recipiente hermético que alberga el microcontrolador y la batería. Se utilizó un envase de yogurt, el cual fue perforado para pasar el cable, se realizaron empalmes en los cables incorporando conectores específicos para la conexión con el microcontrolador, y se sellaron todas las entradas del cable, siguiendo el mismo principio aplicado en la boya de pesca.



Figura 10: Dispositivo Completo listo para Funcionar

Debido a que un pez de gran tamaño podría tirar con mucha fuerza del anzuelo, hundiendo por

completo ambos dispositivos, pudiendo dañar el cable, ambos dispositivos deben estar unidos por un hilo de pez de una distancia menor que el largo del cable. De esta manera, la fuerza de flote del dispositivo al hundirse no es aguantada por el cable.

#### 4.6.2. Pruebas Realizadas

El dispositivo se sometió a una prueba en el Río Gualeguaychú el 16/10/2023. Las condiciones del río fueron muy buenas debido a un oleaje moderado y la presencia de varios vehículos náuticos que generaban un entorno completo para probar el dispositivo, esto puede evidenciarse en imágenes y videos disponibles en la sección "Vídeos e Imágenes de las Pruebas realizadas". El dispositivo demostró un rendimiento acorde, logrando una conexión rápida y estable, incluso a distancias de hasta 7 metros mediante la comunicación Bluetooth.

Durante estas pruebas, se pudo medir el movimiento de las olas en el río y simular diversos piques de peces, que, según mi evaluación personal y la de pescadores experimentados, se asemejaron a piques reales. A pesar de los resultados prometedores, no se logró la detección de un pique real.



Figura 11: Pruebas en el Río Gualeguaychu

#### 4.6.3. Resultados y Estudio de Señales

Entre las señales obtenidas en las pruebas realizadas, se encuentra mucho material el cual debió ser estudiado con detenimiento en función de poder caracterizar lo mas posible el entorno real que va a sufrir el dispositivo trabajando en el río, por esto en la sección de “Señales/Prototipo3\_PruebasRioGualeguaychu” se pueden encontrar señales con diversos piques de diferentes ángulos, olas en condiciones normales y hasta con presencia de vehículos náuticos como lanchas a motor. En esta sección a modo de ilustración se usara solo la señal “piques4ultimograbadosinzoom” que es exactamente la señal que se encuentra grabada en la sección de imágenes y videos. Las pruebas fueron realizadas con todas las señales obtenidas.

Al igual que se explicó en la sección anterior “Estudio de Señales: Filtros en Frecuencia y Gauss” se toman las señales obtenidas en las pruebas, se les resta la media a cada una de las aceleraciones en los 3 ejes, luego se realiza la suma cuadrática de las mismas y por ultimo se calcula si valor absoluto, obteniendo luego de este procedimiento la Energía que caracteriza una aceleración en cualquier sentido de la boyas. En la señal de ejemplo se obtuvo lo siguiente.

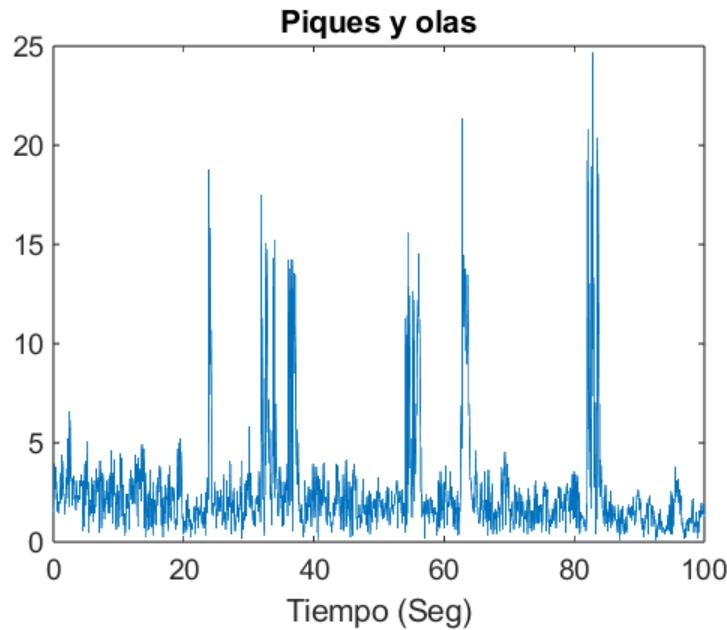


Figura 12: Aceleraciones Obtenidas: Río Gualeguaychú

En la figura 12 pueden apreciarse varios piques simulados en los segundos 22, 30 ,55, 63 y 81 aproximadamente, algunos de ellos representan piques 2 piques seguidos. En este caso, no se contrastó una señal con piques, con otra de olas, debido a que conviven ambos escenarios en la misma señal.

Al observar la imagen anterior y estudiarla con el método definido en etapas anteriores, se llegó a la conclusión de que realizar un filtrado en frecuencia como primer etapa para poder quitar las señales que caracterizaban las olas resultaba obsoleto, debido a que las olas y los piques presentan

una frecuencia muy similar, solo varían su amplitud. Debido a esto de manera de poder manejar una señal mas amena y con menos ruido, se procedió aplicando un filtro Gaussiano ajustado específicamente para este tipo de señales.

El Filtro de Gauss se utiliza para suavizar la señal, reduciendo el ruido y destacando las tendencias subyacentes. Funciona convolucionando la señal con una función Gaussiana, lo que implica asignar pesos más altos a los puntos centrales y pesos más bajos a los puntos periféricos. Esto tiene el efecto de “suavizar” la señal al reducir las variaciones abruptas y resaltar las características más significativas. En el caso de un acelerómetro, esto puede ayudar a obtener una representación más clara de las tendencias de movimiento al filtrar las variaciones de alta frecuencia que pueden deberse al ruido o vibraciones no deseadas.

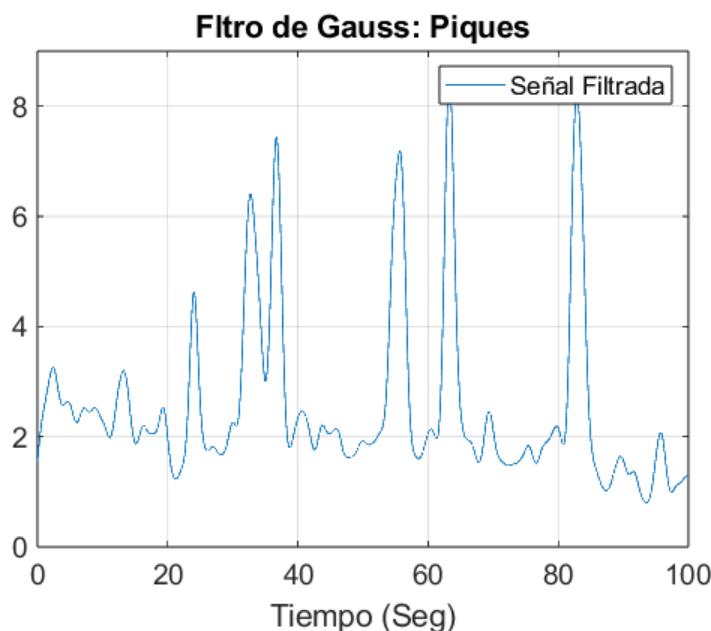


Figura 13: Energía Filtrada

Una vez con esta señal suavizada, donde pueden distinguirse claramente todos los piques simulados, ya observados en la figura 12, se pasó a tratar de detectar los mismos. Para esto el método elegido, ya que puede observarse que la energía de todos los piques superan la energía de base generada por las olas, es el de colocar un umbral de detección, un valor de energía que divida ambos resultados, si se supera este umbral se identificara un pique y si no se supera no sucederá nada.

Por razones obvias, este umbral, aunque podría haberse hecho, no fue elegido a ojo observando todas las señales, sino que se realizó el estudio de cual es el umbral mas adecuado respecto la especificidad y sensibilidad requeridos, ya que como se vio anteriormente se prometió en las especificaciones preliminares superar con un 80 % ambas características. Este estudio se realiza mediante el gráfico de las curvas ROC.

#### 4.6.4. Curvas ROC

Las Curvas ROC representan gráficamente la relación entre la Sensibilidad (tasa de verdaderos positivos) y 1 - Especificidad (tasa de falsos positivos) para diversos umbrales de decisión. Cada punto en la curva corresponde a un umbral diferente, proporcionando una visión detallada del rendimiento del sistema en diferentes configuraciones.

Para su realización deben calcularse las siguientes variables:

- **Sensibilidad (tasa de verdaderos positivos):** Mide la capacidad del sistema para identificar adecuadamente las picadas. Se calcula dividiendo el número de verdaderos positivos entre la suma de verdaderos positivos y falsos negativos.
- **1 - Especificidad (o tasa de falsos positivos):** Indica la proporción de eventos no deseados que son incorrectamente identificados como eventos de interés. Se calcula como el número de falsos positivos dividido por la suma de falsos positivos y verdaderos negativos.

#### Interpretación:

- **AUC (Área Bajo la Curva):** El área bajo la curva ROC proporciona una métrica cuantitativa del rendimiento del clasificador. Un AUC de 1.0 indica un rendimiento perfecto, mientras que un AUC de 0.5 sugiere un rendimiento similar al azar.
- **Punto óptimo:** El punto donde la curva se acerca más al extremo superior izquierdo indica el mejor equilibrio entre sensibilidad y especificidad.

Para calcular esto se realizó un programa en Matlab, el cual puede encontrarse al final de esta sección, en el apartado dedicado a las Curvas ROC se necesita generar externamente un vector llamado Verdad de 400 muestras, que contenga 1 (positivo) o 0 (negativo), cada muestra representa una ventana de 0.25 segundos en su respectivo orden. Con esto mirando la señal a estudiar se colocan las muestras, tratando de identificar los piques dentro de ventanas positivas, como puede observarse en la siguiente figura.

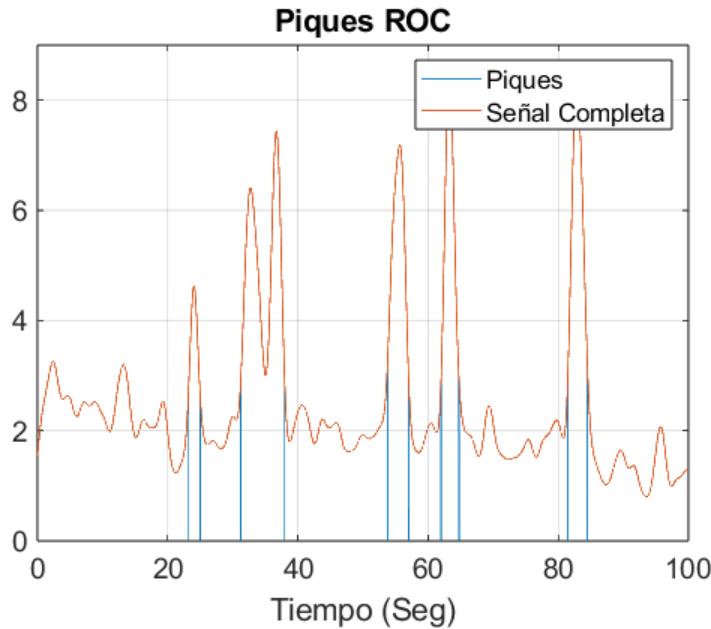


Figura 14: Curva ROC: Piques Verdaderos

Como puede observarse en la figura 14 en azul, se creó una señal Piques, que cuando el vector de Verdad contiene un positivo, la misma copia la señal original, caso contrario vale 0. Esta imagen muestra como todos los piques ya mencionados anteriormente se encuentran contenidos en la señal azul.

Luego el programa se encarga de calcular todos los parámetros necesarios, variando el umbral desde el valor mínimo hasta el máximo, con el paso especificado y genera dos vectores, los cuales contiene los cálculos de Sensibilidad y 1-Especificidad necesarios para graficar la Curva ROC.

De manera de concentrar toda la información que proporcionan estas curvas, en función de no tener que observar un gráfico por cada señal estudiada, se realizo una sola curva ROC, la cual contiene todas las señales concatenadas, cada una con su vector de verdad. Obteniendo como resultado final un solo gráfico que estudia y compara todos los piques juntos, brindando un resultado mas general. Esta prueba se realizo concatenando “piques4ultimograbadosinzoom”, “piquededeabajo3piquesultimo largo” y “piquesvariosdeabajo” respectivamente.

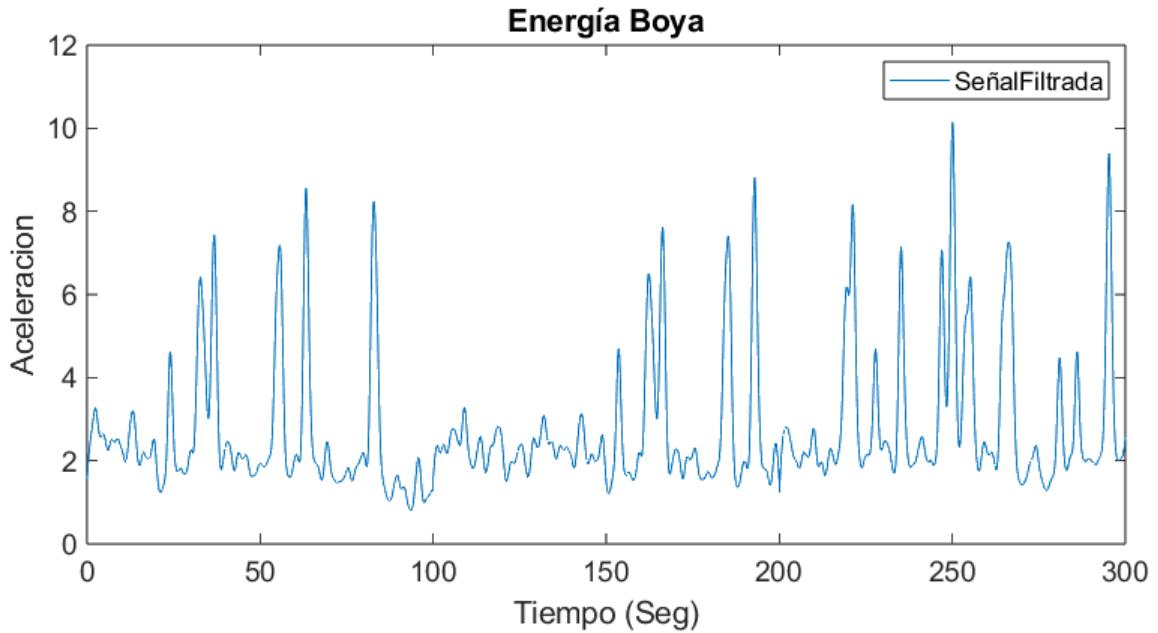


Figura 15: Señales “piques4ultimograbadosinzoom”, “piquededeabajo3piquesultimo largo” y “piquesvariosdeabajo” Concatenadas

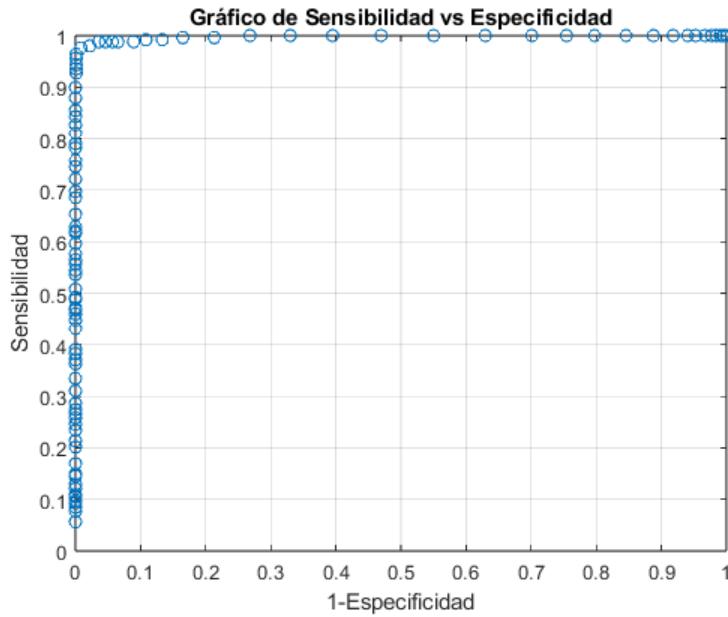
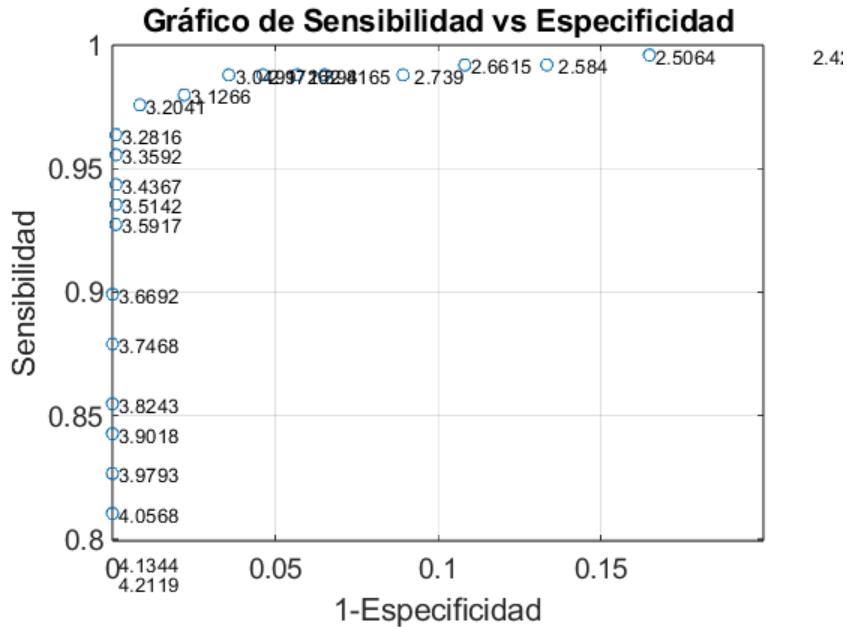


Figura 16: Curva ROC

Realizando un zoom en la imagen y agregando el valor del umbral respectivo en cada punto se obtuvo lo siguiente. El zoom se realizo en la zona donde se cumplen las especificaciones preliminares, por lo que cualquier umbral dentro de esta seria válido, aunque siempre se buscara el mas óptimo.



umbral entre 3.12 y 3.3592, se logró superar las especificaciones preliminares con una sensibilidad y especificidad superior al 95

## 4.7. Conclusión

A lo largo de este capítulo, hemos trazado la evolución progresiva de los prototipos en nuestro proyecto. Desde los primeros desafíos en el ensamblaje del Prototipo 1 hasta la culminación en el Prototipo definitivo.

Uno de los aspectos cruciales abordados en este capítulo es el estudio de las señales generadas por el acelerómetro. Hemos estudiado métodos de detección como Wavelets, densidad espectral de potencia, y diversos filtros, incluido el filtro Gaussiano. Estas exploraciones nos han proporcionado una comprensión de las características de las señales de aceleración, permitiéndonos tomar decisiones sobre la metodología de detección de piques.

Además, hemos abordado el desafío de la selección del umbral más adecuado y eficiente para nuestro sistema. En este sentido, la aplicación de curvas ROC ha desempeñado un papel importante. La creación y análisis de curvas ROC nos han permitido evaluar y seleccionar el umbral óptimo para la detección de piques, proporcionando una medida cuantitativa del rendimiento del sistema.

En conjunto, este capítulo refleja la dedicación a la mejora continua y la búsqueda de la excelencia en el diseño y desarrollo del sistema. Las lecciones aprendidas de cada prototipo, combinadas con el estudio detallado de las señales y la aplicación de curvas ROC, han sentado las bases para un sistema de detección de piques robusto y preciso.

## 5. Producto Final

En este capítulo se discutirán, todas las características presentes en el dispositivo final, a base del aprendizaje obtenido con los prototipos discutidos anteriormente. Aunque la estructura física del dispositivo permanece igual al prototipo definitivo, las transformaciones clave se centran en la programación y la integración de funciones.

La programación se ha migrado por completo a C desde ArduinoIDE, proporcionando al microcontrolador una mayor capacidad de procesamiento. Además, el análisis de señales, que antes se realizaba externamente en MATLAB, ahora se lleva a cabo directamente en el programa del microcontrolador, simplificando el proceso.

Por último se discutirán las pruebas realizadas con el mismo, en función de terminar de ajustar algunos parámetros como puede ser el umbral de detección, además de las realizadas una vez terminado para verificar su funcionamiento y sus características finales.

## **5.1. Programación En C**

La transición a la programación en C fue una decisión destinada a aprovechar al máximo el rendimiento del microcontrolador. A diferencia de Arduino IDE, la programación en C elimina la carga de librerías innecesarias, brindando un control más preciso sobre cada línea de código y optimizando los recursos disponibles.

En el proceso de desarrollo del programa, se optó por una librería externa para la configuración y funcionamiento del acelerómetro. Esta elección se basó en su facilidad de comprensión y utilización, ajustando las características del acelerómetro con los mismos parámetros que se utilizaban en Arduino IDE.

El programa se estructuró alrededor de un bucle infinito, cuyo diagrama de flujo refleja la organización del mismo. Este bucle integra el método previamente discutido en el prototipo definitivo sobre el estudio de señales. Aquí, todos los cálculos que anteriormente se realizaban externamente en MATLAB ahora se llevan a cabo en el propio programa del microcontrolador.

Un elemento destacado del programa es la incorporación de un condicionador que detecta si la energía observada en las aceleraciones de la boyas, después de todo el procesamiento de señales, supera un umbral predefinido. En caso afirmativo, se activa una alarma que establece un pin en alto, sirviendo como aviso para iniciar el sistema de comunicación con el pescador, aspecto que se detalla en otro proyecto. Esta integración fue acordada de antemano entre ambas partes, mejorando la funcionalidad y la interactividad del dispositivo en el contexto de la pesca.

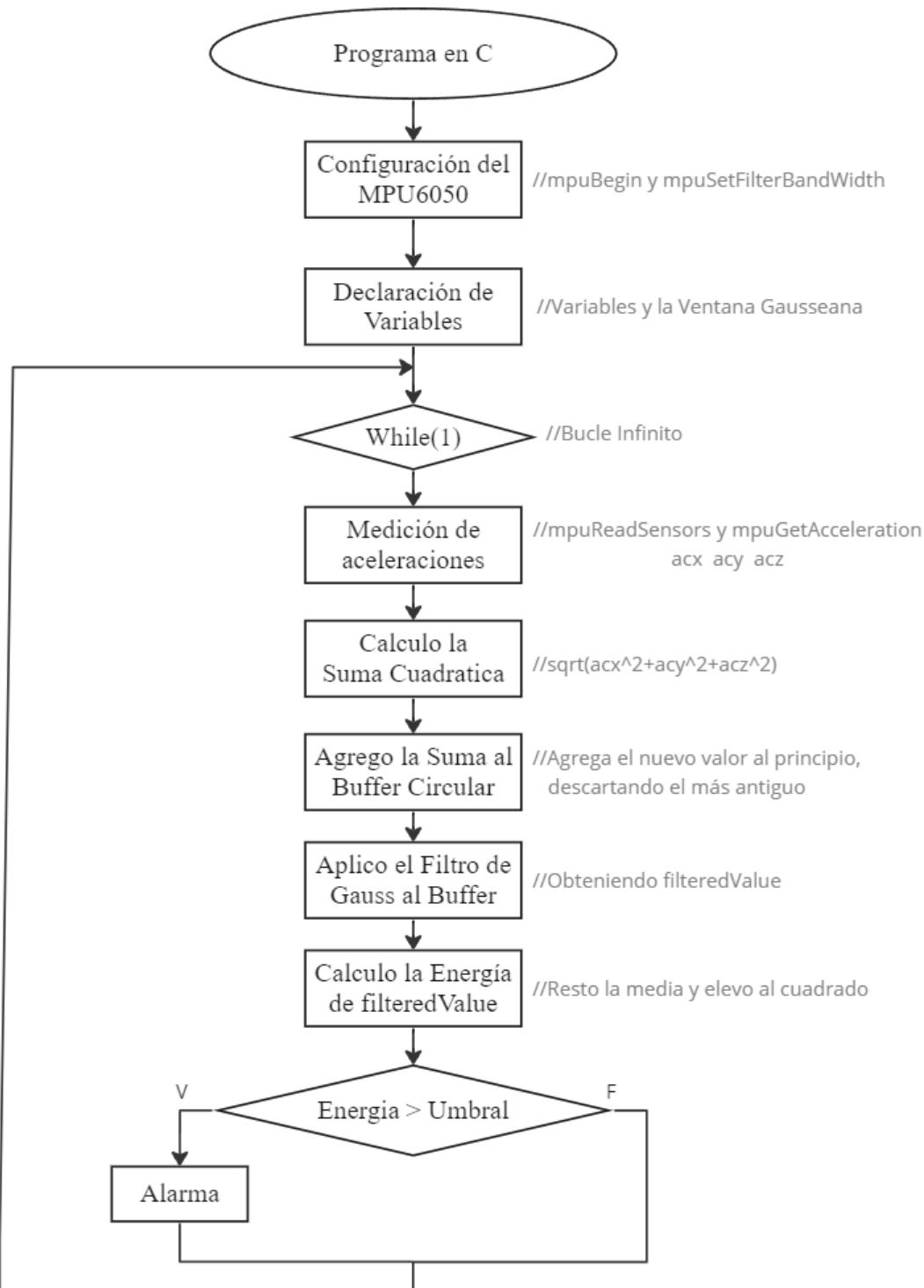


Figura 18: Diagrama de Flujo

Con la implementación de este nuevo programa se lograron obtener de manera estable 100 muestras por segundo, imprimiendo por puerto serie 5 datos separados por comas las 3 aceleraciones en los ejes, la suma cuadrática y por ultimo el valor de la energía.

Por razones de tiempo, se descartó la posibilidad de utilizar la conexión bluetooth para el monitoreo a distancia, aunque esto no limita ninguna característica crítica para la detección de piques, solo afecta en que al momento de monitorearlo se deberá realizar a través de un cable usb.

## 5.2. Prueba de Campo Río Gualeguaychú

El producto final se sometió en primera instancia a una prueba de campo en el mismo lugar donde se probó el último prototipo 4.6 el Río Gualeguaychú el 19/11/2023. Debido a que la conexión debe realizarse por cable, el dispositivo se probó en la costa, cercano a una balsa donde se encontraba la computadora que monitoreaba las señales. Además el río se encontraba en un inundación con poco oleaje presente, esto puede evidenciarse en imágenes y videos disponibles en la sección “Vídeos e Imágenes de las Pruebas realizadas”.

En la prueba se simularon varios piques tirando del hilo hacia abajo con distintas intensidades, una de las señales registrada se encuentra grabada para que se pueda tener un parámetro gráfico del pique.

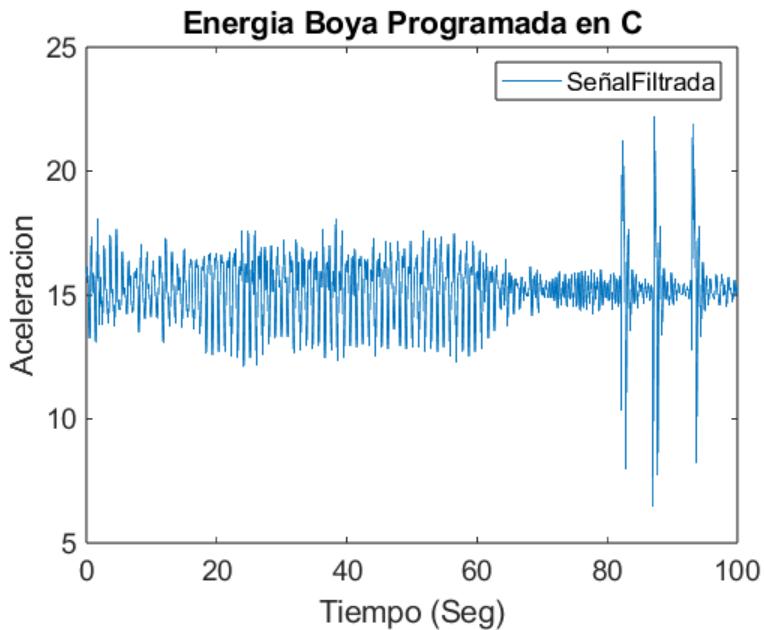


Figura 19: Prueba de Campo Dispositivo final, Río Gualeguaychú

Al estudiar las señales obtenidas en esta prueba se evidenció un error en el código, ya corregido en la sección 5.1, el mismo solo realizaba la suma cuadrática de las aceleraciones en 3 ejes y aplicaba el filtro Gaussiano, sin calcular la energía de la misma al final. Esto puede evidenciarse en la figura 19, ya que la señal no representa lo esperado al medir la energía de las aceleraciones, debería asemejarse a la figura 13.

Debido a este error, en función de verificar que los cálculos estén correctamente realizados hasta esa instancia, y con el fin de poder observar la energía captada en la prueba, se calcularon los pasos restantes en Matlab.

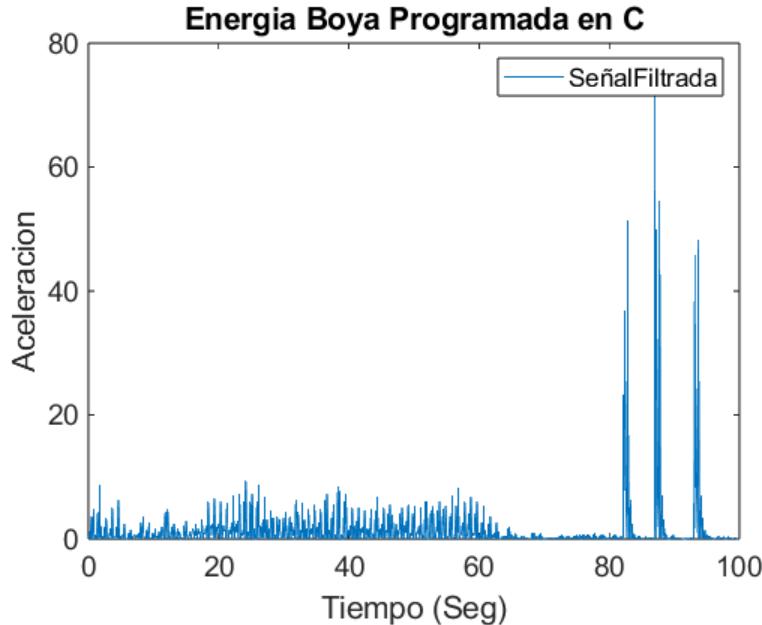


Figura 20: Energía Calculada en Matlab

Al observar la energía, es evidente que los tres picos finales en la señal exhiben una amplitud significativamente superior a la generada por las olas al inicio de la misma. En este contexto, resultaría práctico establecer un umbral de amplitud en 20 para detectar todos los picos, proporcionando un amplio margen en caso de que la amplitud de las olas aumente.

### 5.3. Prueba de Campo En un Entorno Controlado

Con el fin de ofrecer un análisis de señales más preciso utilizando el programa en C corregido, optamos por realizar una nueva prueba debido a la desconfianza generada al modificar el programa anterior y no querer depender de la energía calculada en la prueba previa. Dada la distancia respecto al entorno de la prueba anterior, llevamos a cabo una última evaluación en un entorno controlado donde ya se había probado el segundo prototipo: una bañera convencional llena de agua. Esta prueba se llevó a cabo el 27/11/2023, simulando oleaje y diversos picos con variaciones de intensidad, los cuales se pueden visualizar en la sección de “Vídeos e Imágenes de las Pruebas realizadas”.

Con el propósito de ejemplificar, utilizaremos la señal de la prueba 4, que está grabada en su totalidad, con el objetivo de contar con una referencia visual de la intensidad de los picos y poder identificarlos en la señal obtenida. Además, se utilizarán los gráficos obtenidos con la señal de la prueba 2, aunque esta prueba no se encuentra grabada. A continuación, se presentan las señales de

las energías proporcionadas por el microcontrolador en dichas pruebas.

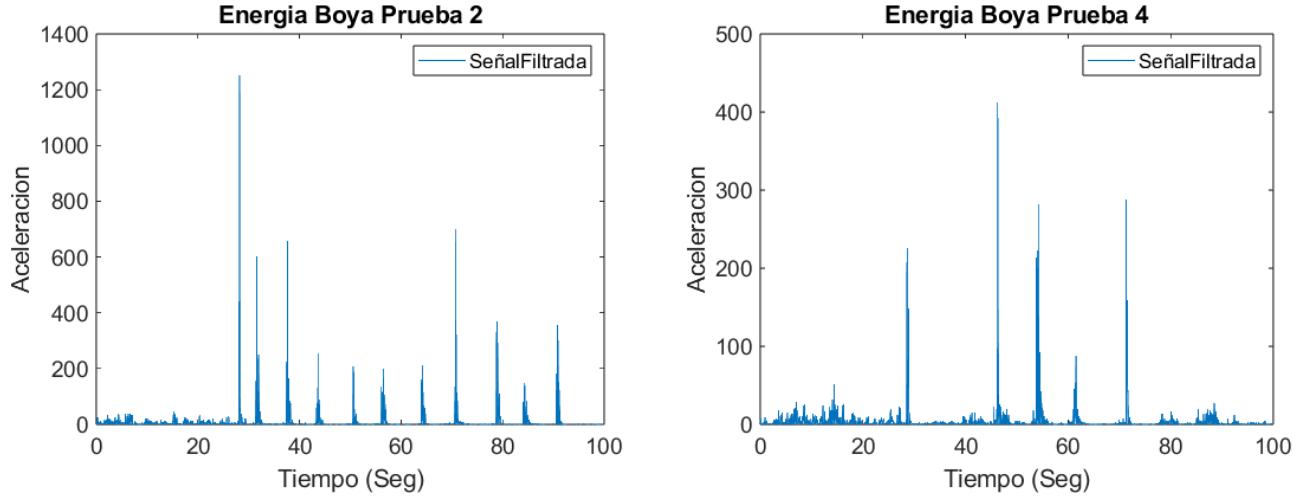


Figura 21: Energía de olas y piques

Aunque se observa un considerable nivel de ruido en la señal de energía de ambas pruebas, por lo que sería recomendable cambiar el parámetro sigma, que controla el ancho de la ventana Gaussiana. A través de un proceso de calibración basado en prueba y error, se determinó que el valor actual es el más beneficioso para la detección de piques. Intentar suavizar la señal de energía, como se experimentó durante la calibración, afecta negativamente al disminuir las amplitudes obtenidas en los piques.

Como se puede observar en la figura 21, las dos señales no comparten la misma escala en términos de energía. Esto se realiza con el propósito de visualizar la amplitud de las olas al principio de la prueba 4. Además, se pretende destacar que, hasta el cuarto pique de la prueba 4, la amplitud se acerca a 100. Al verificar el vídeo, se evidencia que este pique en particular fue generado con baja intensidad y de manera más lenta en comparación con los demás. Por ende, podría no ser considerado un pique válido, aunque su detección sería posible mediante un umbral adecuado. Para evaluar esto, se calcularon, como en etapas anteriores, las curvas ROC. Para obtener más información sobre estas curvas, se proporciona una explicación detallada en la sección 4.6.4.

De manera de concentrar toda la información que proporcionan estas curvas, en función de no tener que observar un gráfico por cada señal estudiada, se realizó una sola curva ROC, la cual contiene todas las señales concatenadas, cada una con su vector de verdad. Obteniendo como resultado final un solo gráfico que estudia y compara todos los piques juntos, brindando un resultado mas general.

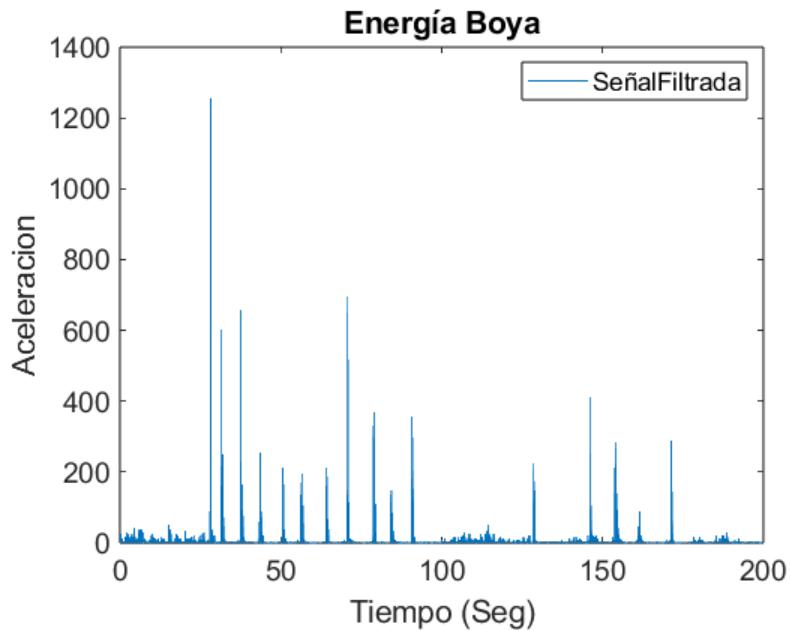


Figura 22: Señales “prueba2” y “prueba4” Concatenadas

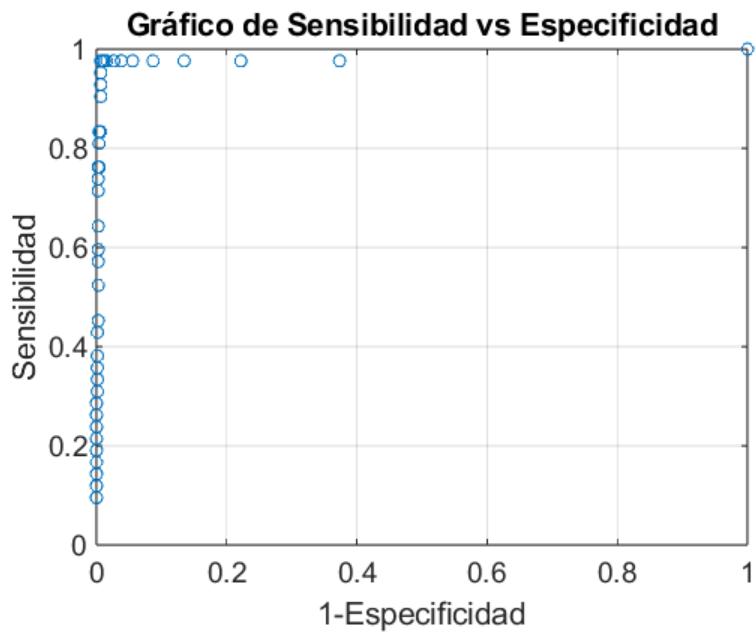


Figura 23: Curvas ROC: Energía Concatenada

Realizando un acercamiento en la región que cumple con las especificaciones preliminares, lo que implica que cualquier umbral dentro de esta zona sería considerado válido y agregando los valores correspondientes al umbral en cada punto.

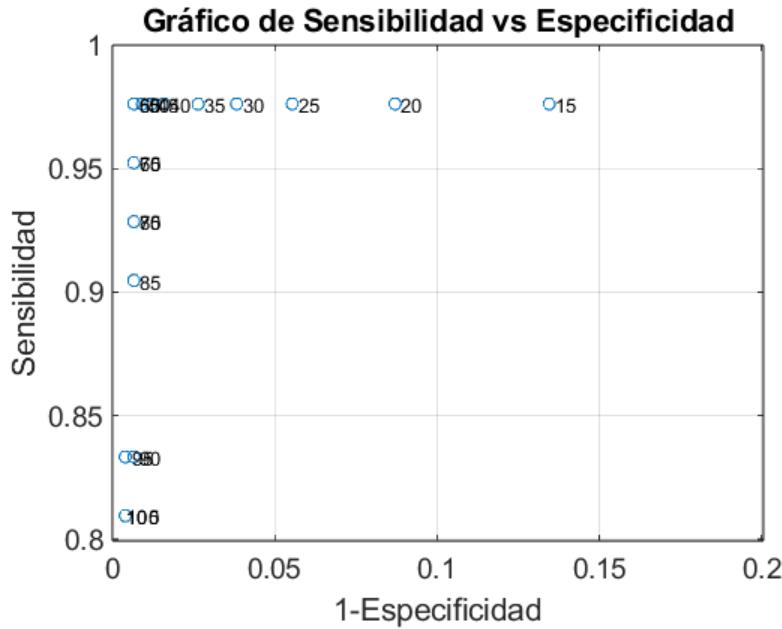


Figura 24: Curvas ROC: Energía Concatenada

Observando el gráfico 24, puede verificarse que sería una buena elección tomar un umbral igual a 60. A modo de ampliar el margen entre el umbral y la energía del oleaje, debido a que no se pudo probar el dispositivo en distintos ámbitos, donde podría llegar a presentarse un oleaje mayor, tomaremos un umbral superior como 85 que presenta una sensibilidad del 91 % y una especificidad del 99 % tomando el riesgo de perder el pique de muy baja intensidad realizado en la prueba 4, aunque este no se asemeja a un pique normal de un pez.

#### 5.4. Conclusión Del Producto final

El dispositivo final ha experimentado mejoras fundamentales, destacando la transición a la programación en C y la realización interna del análisis de señales. Las pruebas de campo en el Río Gualeguaychú y en un entorno controlado han sido esenciales para verificar su rendimiento y adaptabilidad.

La identificación y corrección de errores, junto con la flexibilidad demostrada en la prueba controlada, resaltan la robustez del dispositivo. La elección proactiva de un umbral superior para hacer frente a oleajes más intensos asegura una mayor confiabilidad, aunque con la consideración de posibles pérdidas en la detección de piques de baja intensidad.

En resumen, el dispositivo final representa un avance sólido en la detección de piques en la pesca, proporcionando una herramienta eficaz y adaptable para los pescadores en diversas condiciones.

En relación a los objetivos preliminares, la mayoría se alcanzó de manera satisfactoria. El voltaje de entrada y su consumo se ajustaron según las especificaciones, considerando el voltaje del microcontrolador y el acelerómetro, así como sus consumos máximos indicados por el fabricante.

No obstante, hubo ajustes en la perspectiva del peso y tamaño del dispositivo. Inicialmente concebido como un dispositivo compacto para integrarse en la boyas remota, las pruebas demostraron que esta idea no resultaba eficiente. La solución fue separar la boyas del acelerómetro y microcontrolador, resultando en un peso final de 80 gramos, incluyendo el envase del controlador. Respecto al tamaño, se optó por una boyas externa cilíndrica de 12 cm de largo y 4 cm de diámetro, mientras que la boyas remota alberga únicamente el ESP32 de 5x2.5x1.5 cm junto con sus cables. Por último, la detección de piques menores a 50 Hz no se logró completamente, aunque todos los piques realizados fueron detectados correctamente. Dadas las muestras por segundo obtenidas, la detección de piques de frecuencia menor a 25 Hz resulta viable.

## 6. Conclusión General

A lo largo de este proyecto, hemos transitado la evolución desde la idea conceptual hasta la creación de un dispositivo de detección de piques de peces en boyas remotas. A través de diversas fases de desarrollo, desde prototipos hasta el dispositivo final, hemos perfeccionado un sistema capaz de adaptarse a entornos reales y controlados.

La transición a la programación en C y la realización interna del análisis de señales demuestran mejoras fundamentales. Las pruebas de campo en el Río Gualeguaychú y en un entorno controlado validan el rendimiento y la confiabilidad del dispositivo. La elección de umbrales proactiva garantiza su robustez ante condiciones adversas.

Este proyecto fusiona la pesca tradicional con la tecnología de manera emocionante, ofreciendo a los pescadores una herramienta eficaz y adaptable para mejorar su experiencia. En resumen, el dispositivo representa un sólido avance en la detección de piques, destacando el potencial de la innovación en la utilización de boyas remotas en el mundo de la pesca.

Como ya se comentó en la sección 5.4, los objetivos preliminares fueron superados o adaptados hacia un estado mejor, obteniendo un producto que cumple perfectamente con las expectativas que se tenían del proyecto.

Por ultimo cerrando con este proyecto, quiero brindar mi experiencia propia y los recursos aprendidos a lo largo de todo el proyecto. De este proyecto, me llevo mucha experiencia ganada en todo el ámbito laboral, ya que simula ser un trabajo para un cliente, con sus debidas limitaciones y especificaciones a cumplir, el enfrentar de manera propia, utilizando todo el conocimiento aprendido a lo largo de estos años en la facultad. Fue un desafío adicional el hecho de que se tuvo que realizar en solo 6 meses, lo que implicó enfrentar el proyecto con una limitación de tiempo significativa. Mi tutor, Mariano Fernandez Corazza, desempeñó un papel fundamental, sabiendo orientarme cuando era necesario hacia una posible solución de los problemas, pero siempre dejando que yo trabaje y aprenda, además de compartirme su experiencia adquirida a lo largo de los años para asegurar el éxito del proyecto. Asimismo, esta experiencia me permitió perfeccionar mi habilidad para presentar y explicar cada etapa del proceso, reconociendo la importancia de comunicar efectivamente el trabajo realizado.

## 7. Referencias

- **ESP32:** [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- **MPU6050:** <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- **Curvas ROC:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Curva\\_ROC](https://es.wikipedia.org/wiki/Curva_ROC)
- **Sensibilidad y Especificidad:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Sensibilidad\\_y\\_especificidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Sensibilidad_y_especificidad)