

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN



TEMA:

**SISTEMA DE ACOPLAMIENTO FÍSICO DE SEÑALES DE SENSORES A SISTEMAS
EMBEBIDOS**

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Redes de
Comunicación

AUTOR (A):

Hugo Gabriel Basantes Patiño

DIRECTOR (A):

MSc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez

Ibarra, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003983564		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Basantes Patiño Hugo Gabriel		
DIRECCIÓN:	Calle Rio Chinchipe, Junto a la Academia Las Colinas, Conjunto Campo Real Casa #4		
EMAIL:	hgbasantesp@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0993990048

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE ACOPLAMIENTO FÍSICO DE SEÑALES DE SENSORES A SISTEMAS EMBEBIDOS
AUTOR (ES):	Basantes Patiño Hugo Gabriel
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	21/06/2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Electrónica Y Redes de Comunicación
ASESOR /DIRECTOR:	Msc. Cuzme Rodríguez Fabián Geovanny

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de junio de 2023

EL AUTOR:

Hugo Basantes



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA EN INGENIERÍA EN REDES Y
COMUNICACIÓN

CERTIFICACIÓN

MAGISTER FABIÁN GEOVANNY CUZME RODRÍGUEZ, MSC., DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación “SISTEMA DE ACOPLAMIENTO FÍSICO DE SEÑALES DE SENSORES A SISTEMAS EMBEBIDOS”, fue realizado en su totalidad por el Sr. Hugo Gabriel Basantes Patiño, bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Msc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Dedicado,

A mi familia, en especial a mi madre quien a lo largo de los años me ha demostrado que con esfuerzo y dedicación los objetivos y sueños son posibles de alcanzar, quien con sus consejos, experiencia y sabiduría supo guiarme en todo momento.

A mis hermanos, que son ejemplo de superación, quienes con sus palabras de aliento me han motivado y me han dado la fuerza durante el transcurso de mi carrera universitaria.

A las personas que de una u otra forma han contribuido para conseguir este logro, por su apoyo desinteresado e incondicional en los momentos más complicados de la universidad.

Hugo Basantes

AGRADECIMIENTOS

Agradezco,

En primer lugar, a Dios por la vida, a mi madre y a mis hermanos quienes a lo largo de los años han aportado a mí formación tanto personal como profesional, con valores, consejos, sabiduría, correcciones, cariño y apoyo incondicional.

Al Ingeniero Fabián Cuzme director de mi proyecto de titulación, quien con su colaboración, voluntad y tiempo supo guiarme en el desarrollo y culminación de este proyecto.

Al Ingeniero Jaime Michilena asesor del proyecto de titulación, que gracias a su experiencia y conocimientos aportó significativamente en el desarrollo de este proyecto de tesis.

A todas las personas que me han brindado su apoyo a lo largo de la carrera universitaria, con formación educativa, consejos, apoyo y motivación.

Muchas GRACIAS a todos.

Hugo Basantes

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se desarrolla un sistema de acoplamiento de señales de sensores a sistemas embebidos con el fin de reducir el ruido y errores en la señal de datos previamente a su procesamiento, con lo cual se pretende obtener señales con menores variaciones. Al adquirir información sobre el fenómeno en muchos casos, no se toman consideraciones de validar el proceso de adquisición de señales de estos sistemas con respecto a instrumentos robustos que permitan cerciorarse de la calidad de las señales de datos.

El desarrollo del sistema electrónico cuenta con un proceso de diseño que conllevó una adecuada selección de elementos para una efectiva visualización de la señal y contribuir a la interpretación del caso o fenómeno de estudio y aplicación de este tipo de señales. A su vez, el proceso de acoplamiento y adquisición de datos se desarrolló acorde con la aplicación y el tipo de sensor empleado. El proyecto se encuentra desarrollado en base a la metodología en cascada con la cual se establecieron los parámetros y funciones del sistema, se encuentra desarrollada en cuatro etapas, en la primera etapa se unen la definición y análisis de requerimientos, se reúnen los requisitos que debe cumplir el sistema, la segunda etapa es la de diseño la cual se traduce los requerimientos en una representación de sistema en donde se enfoca en una estructura general del sistema, arquitectura, diseño del circuito del sistema y determinación de ambientes de funcionamiento para la adquisición de datos, la tercera etapa es donde se establece la implementación y pruebas, donde los requisitos y especificaciones de las etapas anteriores se traducen en una placa electrónica de acoplamiento de la señal de datos y por última una comparativa de las señales para validar el funcionamiento y detecciones de errores con la ayuda de la herramienta Matlab.

Las diferentes señales resultantes de cada sensor se analizaron mediante una comparativa de diferentes aproximaciones análogas (Butterworth, Bessel, Chebyshev y Elíptica) y técnicas de filtrado digital (Hampel, Mediana y Savitzky-Golay) con el uso de Matlab para simular un filtrado ideal y con la placa de acoplamiento se determinó que el sistema es aplicable en futuros proyectos de esta índole, obteniendo resultados entre un 83 % entre bueno y muy bueno de acuerdo a un análisis de magnitud de valores, variación de rizado o ruido, estabilidad de la señal y se realizó las respectivas conclusiones y recomendaciones de este sistema.

ABSTRACT

In the present graduation project, a signal coupling system is being developed to connect sensor signals to embedded systems in order to reduce noise and errors in the data signal prior to processing, thereby aiming to obtain signals with lower variations. While acquiring information about the phenomenon, often there is no consideration given to validating the signal acquisition process of these systems using robust instruments that ensure the quality of the data signals.

The development of the electronic system involves a design process that includes a careful selection of components for effective signal visualization, contributing to the interpretation of the case or study phenomenon and the application of such signals. Additionally, the coupling and data acquisition process is developed according to the application and the type of sensor used. The project is based on the cascade methodology, in which system parameters and functions were established. It is divided into four stages:

The first stage involves the definition and analysis of requirements, gathering the necessary system requirements. The second stage is the design phase, where the requirements are translated into a system representation focusing on the overall system structure, system circuit design, and determination of operational environments for data acquisition. The third stage encompasses the implementation and testing, where the requirements and specifications from previous stages are translated into an electronic data signal coupling board. A signal comparison is performed to validate the functionality and error detection using the Matlab tool. The final stage involves the analysis of different resulting signals from each sensor through a comparative study of various analog approaches (Butterworth, Bessel, Chebyshev, and Elliptic) and digital filtering techniques (Hampel, Median, and Savitzky-Golay) using Matlab to simulate an ideal filtering. The coupling board demonstrates that the system is applicable for future projects of this nature, achieving results ranging from 83% to very good based on an analysis of value magnitude, ripple or noise variation, signal stability, and relevant conclusions and recommendations are drawn for this system.

CONTENIDO

1. CAPITULO I: ANTECEDENTES.....	17
1.1. PROBLEMA	17
1.2. OBJETIVOS.....	18
1.2.1. Objetivo General.....	18
1.2.2. Objetivos Específicos.....	18
1.3. ALCANCE.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	20
2. CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO.....	21
2.1. Análisis de Señales	21
2.2. Señales de Datos	21
2.3. Taxonomía de Sensores	22
2.3.1. Sensores análogos	23
2.3.2. Sensores Digitales.....	24
2.3.3. Sensores por comunicación.....	24
2.3.4. Métricas de Evaluación de Sensores.....	24
2.4. Sistemas embebidos	26
2.5. Técnicas de Acoplamiento de Señales de Datos	27
2.5.1. Acondicionamiento Analógico	27
2.5.2. Filtrado.....	30

2.5.3. Conversión A/D	45
2.5.4. Acondicionamiento Digital	47
2.6. Adquisición de señales de datos	48
2.7. Etapas de Acoplamiento de Señales	50
2.7.1. Comparativa Técnicas de Acoplamiento de Señales de Sensores	50
2.8. Normativa y Recomendaciones de un Circuito Electrónico	54
2.8.1. Funcionalidad del Esquemático	54
2.8.2. Lazos de Corriente	54
2.8.3. Recomendaciones Generales sobre el Esquemático	55
3. CAPITULO III: DESARROLLO	56
3.1. Metodología	56
3.2. Requerimientos y Análisis	56
3.3. Propósito y Ámbito del Sistema	57
3.4. Requerimientos del Sistema	57
3.4.1. Requerimientos de Stakeholders	59
3.4.2. Requerimientos del Sistema	61
3.4.3. Requerimientos de Arquitectura	62
3.4.4. Descripción General de Sistema	65
3.5. Estructura por bloques	66

3.6. Diseño de Adquisición de Datos.....	67
3.6.1. Selección de Sensores	67
3.6.2. Etapa de Acoplamiento: Selección de Hardware de Acoplamiento	75
3.6.3. Selección Software Acoplamiento para Pruebas de Funcionamiento.....	81
3.7. Diseño del Circuito del Sistema de Acoplamiento	82
3.7.1. Circuito del Sistema de Acoplamiento.	83
3.8. Determinación de Ambientes de Sensores y Pruebas del Sistema.....	85
4. CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE RESULTADOS	88
4.1. Implementación del Circuito de Acoplamiento.....	88
4.2. Pruebas de Funcionamiento.....	90
4.2.1. Pruebas de Sensores Sin Acoplamiento.....	90
4.2.2. Pruebas de Sensores con Acoplamiento	99
4.2.3. Prueba de Señales de los Sensores con Matlab.....	108
4.3. Comparativa de Señales Resultantes y Análisis de Resultados.	120
4.3.1. Comparativa de Señales Resultantes de Pulso Cardíaco	121
4.3.2. Comparativa de Señales Resultantes de Temperatura	122
4.3.3. Comparativa de Señales Resultantes de Presencia/movimiento	124
4.3.4. Comparativa de Señales Resultantes de Presión/Fuerza.....	125
4.3.5. Comparativa de Señales Resultantes de Calidad de Aire	126
4.3.6. Comparativa de Señales Resultantes de Rayos UV	127
CONSLUSIONES	130

RECOMENDACIONES	131
REFERENCIAS.....	133
ANEXOS.....	135
Ficha de Requerimiento	135
Criterios para el diseño del circuito.	7
Códigos Arduino Adquisición de Datos	1
Algoritmos de Matlab utilizados para las señales de sensores.....	12
Figuras de Resultados de Aproximaciones y filtros digitales para cada sensor.....	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Taxonomía de sensores propuesta según el tipo de señal de datos.</i>	23
Figura 2. <i>Arquitectura interna general de un microcontrolador.</i>	26
Figura 3. <i>Diseño interno de un conversor análogo-digital de aproximación sucesiva.</i> ...	28
Figura 4. <i>Estructura interna de un conversor análogo-digital sigma-delta.</i>	29
Figura 5. <i>Funcionamiento interno de un conversor análogo-digital integrador.</i>	29
Figura 6. <i>Respuesta de un filtro Butterworth en la banda pasante.</i>	32
Figura 7. <i>Respuesta de un filtro Chebyshev en la banda pasante.</i>	33
Figura 8. <i>Respuesta inversa de un filtro Chebyshev en la banda pasante.</i>	34
Figura 9. <i>Respuesta de la aproximación elíptica en la banda pasante.</i>	34
Figura 10. <i>Respuesta del filtro Bessel en la banda pasante.</i>	35
Figura 11. <i>Respuesta de un filtro ideal pasa baja.</i>	36
Figura 12. <i>Circuito general de un filtro pasa bajos de primer orden.</i>	37
Figura 13. <i>Circuito general de un filtro pasa bajas de segundo orden.</i>	37
Figura 14. <i>Respuesta de un filtro ideal pasa alto.</i>	38
Figura 15. <i>Circuito general de un filtro pasa altos de primer orden.</i>	38
Figura 16. <i>Circuito general de un filtro pasa altos de segundo orden.</i>	39
Figura 17. <i>Respuesta de un filtro pasa banda ideal.</i>	40
Figura 18. <i>Circuito general de un filtro pasa banda de segundo orden.</i>	40
Figura 19. <i>Respuesta de un filtro elimina banda ideal.</i>	41
Figura 20. <i>Circuito general de un filtro elimina banda de segundo orden.</i>	42
Figura 21. <i>Circuito general de un filtro universal de segundo orden.</i>	43
Figura 22. <i>Representación de las zonas del filtro en respuesta a la frecuencia.</i>	45

Figura 23. <i>Conversión de una señal analógica a digital con muestreo de valores.</i>	47
Figura 24. <i>Técnicas de acoplamiento de señales en sistemas de adquisición de datos.</i>	50
Figura 25. <i>Diagrama general del sistema de acoplamiento.</i>	65
Figura 26. <i>Etapas del Acondicionamiento de señales de sensores.</i>	66
Figura 27. <i>Acoplamiento de sensores análogos de propósito específico.</i>	67
Figura 28. <i>Configuración pull-up y pull-down para sensores digitales.</i>	69
.Figura 29. <i>Componentes de voltaje continuo en la transformación de la señal.</i>	77
Figura 30. <i>Respuesta en frecuencia de los filtros.</i>	77
Figura 31. <i>Prueba de diferentes amplificadores operacionales.</i>	79
Figura 32. <i>Circuito de filtro de primer orden para pruebas de AOP.</i>	81
Figura 33. <i>Diagrama de circuito del sistema de acoplamiento de señales.</i>	83
Figura 34 <i>Placa del circuito del sistema de acoplamiento.</i>	88
Figura 35 <i>Conexión Sensor de Presión/Fuerza con Arduino Uno.</i>	92
Figura 36 <i>Señal del sensor de Presión/Fuerza FSR402.</i>	92
Figura 37. <i>Toma de datos estacionarios con sensor PIR digitales-estados lógicos.</i>	93
Figura 38. <i>Conexión de sensor de gas con Arduino.</i>	94
Figura 39 <i>Conexión sensor de pulso cardiaco y Arduino.</i>	96
Figura 40 <i>Señal de Pulso Cardiaco.</i>	96
Figura 41 <i>Conexión sensor DHT11 y Arduino.</i>	97
Figura 42 <i>Señal obtenida a partir de las pruebas con el sensor DHT11.</i>	97
Figura 43. <i>Conexión Sensor UV con Arduino.</i>	98
Figura 44 <i>Señal de rayos ultravioleta y voltaje a través de las pruebas.</i>	99
Figura 45 <i>Señal resultante del pulso cardiaco con acoplamiento.</i>	101

Figura 46. <i>Acoplamiento de la señal del sensor de Presencia/Movimiento.</i>	103
Figura 47 <i>Acoplamiento de la señal del sensor de Calidad de Aire.</i>	104
Figura 48 <i>Acoplamiento de la señal de Pulso Cardíaco.</i>	105
Figura 49 <i>Conexión del sensor con la placa de acoplamiento y la señal resultante.</i>	106
Figura 50 <i>Acoplamiento de la señal de Rayos UV y Voltaje UV</i>	107
Figura 51 <i>Señales resultantes de Presión/Fuerza con técnicas de filtrado en Matlab.</i> ..	110
Figura 52 <i>Señales resultantes de Presencia/Movimiento con suavizado de Matlab.</i>	112
Figura 53 <i>Señales Resultantes de la calidad de aire con técnicas de filtrado Matlab</i> ...	113
Figura 54 <i>Señales Resultantes de Pulso Cardíaco con técnicas de filtrado Matlab</i>	115
Figura 55 <i>Señales Resultantes de Temperatura con técnicas de filtrado Matlab</i>	117
Figura 56. <i>Señales Resultantes de Rayos UV aplicando técnicas de filtrado Matlab.</i> ...	119
Figura 57 <i>Señales Resultantes de Pulso cardíaco.</i>	121
Figura 58 <i>Señales Resultantes de temperatura.</i>	123
Figura 59 <i>Señales Resultantes de Presencia/Movimiento.</i>	124
Figura 60 <i>Señales Resultantes de Presión/fuerza.</i>	125
Figura 61 <i>Señales Resultantes de Calidad de Aire.</i>	126
Figura 62 <i>Señales Resultantes de Rayos UV.</i>	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Métricas para analizar el funcionamiento de sensores.</i>	25
Tabla 2. <i>Tipos de filtros de acuerdo a su frecuencia de funcionamiento.</i>	35
Tabla 3. <i>Características de los filtros de acuerdo a la respuesta en frecuencia.</i>	44
Tabla 4. <i>Errores generales en lectura de sensores.</i>	49
Tabla 5. <i>Técnicas de acondicionamiento de señales de datos.</i>	52
Tabla 6. <i>Lista de Stakeholders.</i>	58
Tabla 7. <i>Definición de acrónimos.</i>	58
Tabla 8. <i>Prioridades de los requerimientos del sistema.</i>	59
Tabla 9. <i>Requerimientos de Stakeholders.</i>	60
Tabla 10. <i>Requerimientos iniciales del Sistema.</i>	61
Tabla 11. <i>Requerimientos de Arquitectura.</i>	63
Tabla 12. <i>Principales sensores análogos de propósito específico.</i>	68
Tabla 13. <i>Principales sensores de señal digital-estados lógicos.</i>	70
Tabla 14. <i>Principales sensores de señal digital-tren de pulsos.</i>	71
Tabla 15. <i>Principales sensores de señal análoga- Bioseñales.</i>	72
Tabla 16 . <i>Principales sensores por Comunicación CxI2C.</i>	74
Tabla 17 <i>Sensores seleccionados.</i>	75
Tabla 18. <i>Descripción de estructuras de filtros.</i>	76
Tabla 19. <i>Amplificador Operacional UA741.</i>	80
Tabla 20. <i>Coefficientes de aproximación Butterworth en estructura Sallen-Key.</i>	7
Tabla 21 <i>Ambientes de adquisición de señales.</i>	85
Tabla 22 <i>Resumen Pruebas sin Acoplamiento.</i>	90

Tabla 23 <i>Resumen de Pruebas con Acoplamiento</i>	99
Tabla 24 <i>Resumen de Pruebas con Matlab</i>	108
Tabla 25 <i>Resumen de Análisis de resultados</i>	129

1. CAPITULO I: ANTECEDENTES

En el presente capítulo se redacta sobre la dificultad que comprende el procesamiento de señales de datos provenientes de sensores sin una etapa de acondicionamiento, por lo que se plantea una implementación de un circuito de acoplamiento de señales para contribuir a un adecuado procesamiento, lectura y entendimiento de estas señales de datos por medio de sistemas embebidos. Además, se plantea los objetivos y alcance del presente proyecto.

1.1.PROBLEMA

Los fenómenos físicos del entorno para la comprensión del ser humano necesitan ser transformados a una forma entendible. Esto se lo realiza por medio de dispositivos denominados transductores o sensores, que convierten estos fenómenos a señales eléctricas (o viceversa), mismas que pueden ser analógicas o digitales dependiendo del tipo de sensor, las cuales son la representación de los datos que son interpretados y procesados por sistemas embebidos para desarrollar el conocimiento. (Computing, 2012).

En la adquisición de datos de sensores, la señal producida presenta variaciones en sus valores que se generan por la conexión directa con el sistema embebido sin una etapa de acoplamiento o verificación del funcionamiento adecuado del sensor (Computing, 2012). “Estas señales de datos adquiridos no están libres de errores y generalmente tienen varios puntos faltantes e ingresados erróneamente” (Embarak, 2018). Las posibles variaciones que se presentan pueden afectar la utilidad del conocimiento obtenido a través de estas señales. Por ejemplo, en el caso de un diagnóstico médico utilizando sensores cardiacos, donde es necesario que la señal sea lo más exacta posible para realizar un estudio adecuado (Rivera, De la Rosa, & Espina, 2015). Debido a estos errores, se podría determinar tratamientos no acordes al estado del paciente, y si estos datos son guardados, se crearían grandes cantidades con falencias que no presentarían utilidad.

En este sentido, se plantea implementar un circuito de acoplamiento mediante el estudio de técnicas de filtrado como son la conversión de señales análogo-digital, digital-analógica, uso de filtros pasa baja, pasa banda y pasa alta, amplificadores operacionales, entre los sensores y el sistema embebido con el fin de obtener una señal con más exactitud, precisión, estabilidad y menor factor de error y ruido, para una adquisición de señales de datos de mayor calidad.

El desarrollo del conocimiento a través de la transducción de fenómenos físicos por medio de sensores conectados a sistemas embebidos es realizado sin una etapa de acoplamiento por lo que se producen señales de datos que presentan variaciones en sus valores, que se entienden como ruido y errores, por este motivo se plantea implementar un circuito de acoplamiento que permita minimizar estas variaciones para obtener una señal con mayor estabilidad.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Implementar un sistema de acoplamiento físico de datos basado en filtrado de señales para mayor exactitud en la adquisición y procesamiento.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar una comparación de técnicas de acoplamiento de datos, para reconocer los idóneos a ser implementados.
- Diseñar un esquema de acoplamiento de diferentes tipos de señales para mejorar la adquisición de datos.
- Realizar las pruebas del sistema, mediante el análisis en métricas de acoplamiento de señales de datos para determinar el correcto funcionamiento de sistema de acoplamiento.

1.3.ALCANCE

El acoplamiento de señales de datos implica, la conversión análogo-digital, digital-analógica conjuntamente con amplificadores operacionales para obtener una menor variación de la señal, enfocándose en la reducción del factor de rizado de la señal que se entiende como ruido y errores por medio del filtrado de señales analógicas y digitales generadas en sensores, que se conectan a un sistema embebido, por medio de diversas técnicas como: el uso de filtros pasa-baja, pasa-banda y pasa-alta, entre los cuales se analizan características fundamentales de los siguientes tipos mediante un método comparativo de investigación; Bessel, Butherworth y Chebychev; para así obtener como resultado una señal de datos más estable.

En la adquisición de datos se busca un acoplamiento que permita una mayor exactitud en señales mediante un sistema que permita conectar sensores de señales analógicas, señales digitales (cuadrática y tren de bits). Para esto se realiza una esquemática de conexión y diseño de filtros adecuados para el tipo de señal de entrada, con los diferentes elementos como: resistencias, fuente de voltaje, condensadores, bobinas, amplificadores operacionales, puertos de conexión de sensores; requeridos para el sistema de acoplamiento de señales.

La realización de pruebas de funcionamiento del sistema de acoplamiento de señales en la adquisición de datos se lo realizara en un ambiente controlado, con un análisis comparativo de señales mediante el uso del software Matlab para verificar el comportamiento y factores de ruido y errores que puede presentar la señal y la importancia del sistema de acoplamiento. Con el estudio de métricas de filtrado como: Exactitud de un resultado, que se expresa mediante el error absoluto, que es la diferencia entre el valor experimental y el valor verdadero, es decir, se refiere a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido; Precisión, se refiere a una disminución de variabilidad de la señal, es decir, cuanto menor es la dispersión de un conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud se obtiene mayor precisión;

Reproducibilidad, se refiere a la capacidad del sistema de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones a lo largo de periodos de tiempo; Estabilidad, se refiere a la capacidad de mantener las características del sistema por un periodo largo de tiempo; Error y Ruido, se refiere a minimizar las variaciones de datos que se agregan en la señal a través del acoplamiento.

1.4.JUSTIFICACIÓN

La señal de información que es recolectada por un sistema de adquisición de datos (consiste en sensores y un microprocesador) según (Zhiqiang, Jingzhi, & Wenxian, 2014) inevitablemente se mezcla con una variedad de ruido de canal, entorno y de otros factores, y para tomar una decisión estratégica siempre se necesita información eficiente, por esto un proceso de acoplamiento de la señal es necesario para obtener información de un sistema de adquisición de datos.

El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 manifiesta un cambio paulatino con la innovación hacia una sociedad del conocimiento, donde la infraestructura productiva, la tecnología y el conocimiento son elementos fundamentales, donde las posibilidades de transformación estructural, con miras a incrementar la productividad y la generación de valor agregado nacional requiere un mejoramiento de los servicios de apoyo a la producción y fomento de sistemas de innovación (como ciudades inteligentes) (Senplades, 2017).

El presente proyecto es un sistema de acoplamiento de señales en la adquisición de datos donde se filtran las señales de sensores para su posterior procesamiento y generación de conocimiento más preciso que puede tener diversas aplicaciones, como el análisis del estado médico con sensores de señales electrocardiográficas en donde si no se obtiene resultados adecuados en las mediciones de la señal, podría no detectarse el problema adecuadamente y al almacenar estos datos clínicos se estaría guardando información carente de utilidad. En este sentido con el dispositivo se aporta información más estructurada, y así mejorar el desarrollo del conocimiento a partir de estas señales.

Por otra parte, al existir escasos de un proyecto similar en la casona universitaria se aporta al cumplimiento de la misión universitaria, que busca la generación de procesos de investigación, de conocimientos científicos, tecnológicos y de innovación (UTN, 2008).

2. CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO

En el presente capítulo se aborda el análisis de investigación teórica sobre los temas principales para comprender de esta manera lo que se quiere desarrollar en el presente proyecto como son; el análisis de señales, sistemas embebidos, taxonomía de sensores, adquisición de datos, técnicas de acoplamiento de señales, temas relacionados.

2.1. Análisis de Señales

El estudio, entendimiento o monitoreo de fenómenos físicos requiere de sistemas de adquisición de datos, los cuales se componen de diversos elementos entre los cuales están fundamentalmente los sensores para la medición de variables relevantes, que son representadas por medio de señales de datos. Este tipo de sistemas son utilizados en la implementación del método científico en donde el análisis y recopilación son aspectos de gran importancia para demostrar una hipótesis, por otro lado, son ampliamente usados en la industria para el control o monitoreo de una variable (Vallejo & Alexander, 2022).

Un sistema de Adquisición de datos presenta una estructura general, iniciando con un proceso físico que se requiere estudiar, para medir las variables de interés se lo realiza por medio de sensores como primer punto del sistema, sensores que normalmente requieren un sistema de acondicionamiento de señal que se encarga de una transformación de la variable eléctrica, luego estas señales son digitalizadas, procesadas a través de sistemas embebidos para ser presentadas en pantallas, display, computadores, entre otros. (Vallejo & Alexander, 2022).

2.2. Señales de Datos

La señal de datos es la representación de los fenómenos físicos obtenidos por medio de transductores o sensores, se pueden visualizar en tres tipos principales como: Señal Analógica, Cuadrática, Tren de bits. Las señales generalmente se componen de diversas características que incluye amplitud, fase, tiempo, características de transmisión que dependen de los sistemas de adquisición de datos y transductores disponibles para convertir de un tipo de señal de medida a otra señal de medida. (Singhal, 2014)

2.3.Taxonomía de Sensores

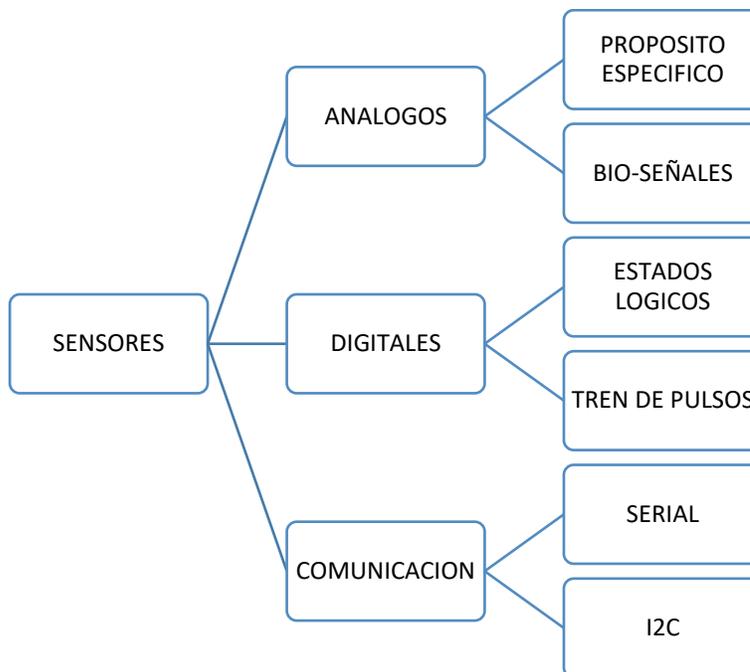
Sensores son dispositivos que convierten los fenómenos físicos en señales eléctricas de una forma entendible para el ser humano, es decir es un elemento electrónico capaz de medir variables del entorno y presentarlas mediante señales eléctricas para ser analizadas y procesadas (Computing, 2012).

La información de fenómenos físicos para el entendimiento humano, debe medirse a través de variables adquiridas a través de dispositivos denominados sensores, elementos electrónicos que poseen la capacidad de convertir los fenómenos físicos a señales eléctricas que son procesadas y analizadas, de esta manera el sensor cuenta con dos componentes principalmente. Por un lado, el elemento que permita la interacción con el medio para la adquisición de datos. Por otro lado, un transductor, cuya función es de convertir la medición a una señal eléctrica, en consecuencia, los sensores pueden clasificarse en relación a la naturaleza del fenómeno a ser analizado o medido, la forma de adquisición del sistema, el tipo de construcción del sensor, entre otros (Computing, 2012).

Con el avance tecnológico, los sensores han ampliado su rango de aplicación, a tal punto que se pueden encontrar en cualquier rama del conocimiento. En muchos casos para mejorar la interacción entre los sensores y el sistema embebido, los desarrolladores proporcionan sistemas de acoplamiento con el fin de mejorar el proceso de envío de datos. Sin embargo, en relación al fenómeno estudiado y las condiciones reales de funcionamiento, es necesario contar con sistemas robustos de filtrado de datos y suavizado de la señal. Este proceso está ligado a la forma de envío de datos desde sensor hacia el sistema que procesa la señal (Becker, 2015). Por esta razón, se propone una taxonomía de sensores que los clasifique según su forma de envío de datos a continuación en la **Figura 1**.

Figura 1

Taxonomía de sensores propuesta según el tipo de señal de datos.



Fuente: Adaptado de (Vallejo & Alexander, 2022) pág. 25-26.

2.3.1. Sensores análogos

La principal forma de adquirir datos de un fenómeno estudiado es mediante la variación de voltaje del transductor al recibir los cambios de la señal de entrada. Sin embargo, este proceso conlleva una gran cantidad de incertidumbre en la veracidad de la información recopilada. Estos tipos de sensores, en relación a su aplicación se dividen en dos grupos. Por un lado, se encuentran los sensores de bio-señales, ya que cuentan con un filtrado muy similar al recopilar información del cuerpo humano. Esto se debe a que estas señales se encuentran en bajas frecuencias. Por otro lado, los de propósito específico no cuentan con una frecuencia estándar de funcionamiento. Por esta razón su filtrado se enfoca en la no-linealidad de los elementos electrónicos y se orienta a usar técnicas de suavizado en software (Gizlenmişir, 2018).

2.3.2. Sensores Digitales

En algunos casos, los sensores solo pueden detectar dos estados (nivel alto y bajo). Esta información es sencilla de adquirir y procesar. Sin embargo, en un lenguaje digital (0 a 5 voltios), existe un rango de incertidumbre entre 1.3 a 2.7 voltios que el sistema no lo reconoce adecuadamente y puede generar errores de lectura.

Existen otros tipos de sensores digitales que hacen uso de un tren de pulsos. Estos son usados generalmente para medir fenómenos como la distancia, gases, humedad, entre otros. Ya que hacen su funcionalidad se basa en una comparativa interna para expresar un valor del fenómeno estudiado.

2.3.3. Sensores por comunicación

En la actualidad, se busca simplificar el proceso de diseño de circuitos electrónicos y realizar sistemas modulares (fácil integración entre sistemas). Con ello, los sistemas se vuelven flexibles ya que pueden modificar la funcionalidad de ágil manera. Este es el caso de un nuevo estándar de integración de sensores llamado QWIIC. Este cuenta con conectores estándar que facilita la conexión de forma secuencial. Esto ayuda a un rápido prototipado al contar todos con el protocolo de comunicación I2C. Con esto, la identificación de cada sensor se vuelve sencilla mediante un código hexadecimal. Cabe recalcar que cada sensor con este nuevo estándar cuenta con librerías muy depuradas de adquisición de datos.

2.3.4. Métricas de Evaluación de Sensores

Las métricas relacionadas con el desempeño permiten conocer la capacidad de recrear el fenómeno estudiado a partir de los componentes de la señal almacenados, las más relevantes y relacionadas para el proyecto son las que se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1.*Métricas para analizar el funcionamiento de sensores.*

Métrica	Descripción
Exactitud	Representa la exactitud del valor de salida del sensor hacia el sistema electrónico en comparación con el valor real.
Precisión	La capacidad del sensor de proporcionar la misma lectura al realizar repetidas veces el mismo experimento, magnitud estadística que puede evaluarse mediante la desviación estándar.
Repetibilidad	Se define a la capacidad de reproducir las mismas lecturas desde un entorno controlado, es cercanamente relacionada con la precisión.
Reproducibilidad	Capacidad del sensor de repetir las mismas respuestas después de haberse alterado las condiciones de medición
Estabilidad	Facultad de producir el mismo valor de salida cuando se mide la misma medida y durante un periodo similar de tiempo.
Ruido	Es el cambio en la salida del sensor cuando no está expuesto a ningún estímulo.
Error	Se denomina a las fluctuaciones de la señal existentes al no modificar el valor de entrada medido. Este es un factor muy importante sobre la calidad de los datos extraídos por medio del sensor. La relación señal/ruido es usada en aplicaciones con sensores con la forma S/N donde S es el promedio de la señal y N es la desviación estándar del ruido.

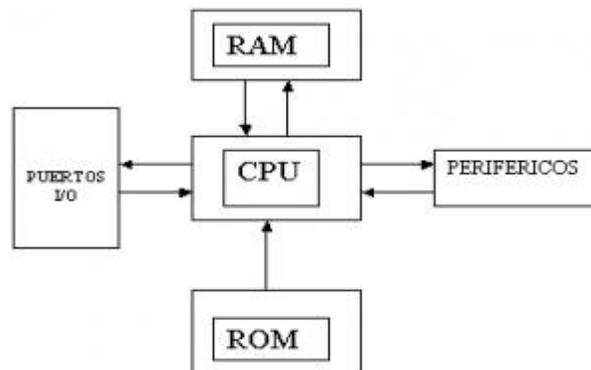
Resolución	Es el valor mínimo que se puede detectar en la variación del estímulo. Está limitada fuertemente por ruido de la señal y la capacidad de procesamiento que cuente el sistema embebido.
-------------------	--

2.4.Sistemas embebidos

El desarrollo de sistemas embebidos se ha convertido en un importante campo de investigación debido a su capacidad de recopilar datos en cualquier área del conocimiento, en relación a su funcionamiento existen diversas formas de procesar y recopilar datos principalmente provenientes de sensores. Un sistema embebido o también denominado microcontrolador, es la unión de diversos componentes electrónicos en un circuito integrado, cuyo funcionamiento es como una CPU (unidad de procesamiento central), la cual mediante buses de comunicación interna se realiza el intercambio de información entre los periféricos de entrada y salida. Por otra parte, es fundamental para el procesamiento y almacenamiento el uso memorias RAM y ROM (Gizlenmiştir, 2018). Además, según su campo de aplicación y empresa que lo desarrolla sus características pueden variar para mejorar sus prestaciones, pero en términos generales cuenta internamente con conversores análogos-digitales y digitales-análogos, diferentes tipos de registros, contadores de tiempo, interrupciones, entre otros. A continuación, se muestra en la **Figura 2** un esquema general de un microcontrolador.

Figura 2.

Arquitectura interna general de un microcontrolador.



Nota: El microcontrolador y microprocesador en un solo circuito integrado (Ingeniería Mecafenix, 2017)

El microcontrolador puede interactuar con todos sus periféricos y ejecutar código, pero al contar con limitados recursos computacionales su programación debe ser concisa en relación a su propósito específico. En cuanto al desarrollo con estos sistemas electrónicos y con la tendencia del uso de hardware y software libre se presenta los diagramas y especificaciones técnicas de los microcontroladores Arduino y Raspberry Pi. No obstante, estos sistemas se encargan solo de aplicaciones específicas y están diseñados para cada una de ellas, por esta razón, se tiene la necesidad de integrar sensores para recopilar datos de su entorno y un medio de comunicación que permitirá enviar la información a un servidor o aplicaciones de Internet de las cosas (IoT), este proceso permite la extracción de conocimiento intrínseco que existe en el conjunto de datos adquiridos. Por estas razones se han denominado sistemas embebidos (SE) (Vallejo & Alexander, 2022).

2.5.Técnicas de Acoplamiento de Señales de Datos

El acondicionamiento de señales hace uso de técnicas como filtración o aislamiento para proteger a las señales de datos de los componentes de ruido o efectos no deseados, de esta manera, minimizar efectos de interferencia para obtener una señal de datos más adecuada para el procesamiento y comprensión del fenómeno físico a estudiar.

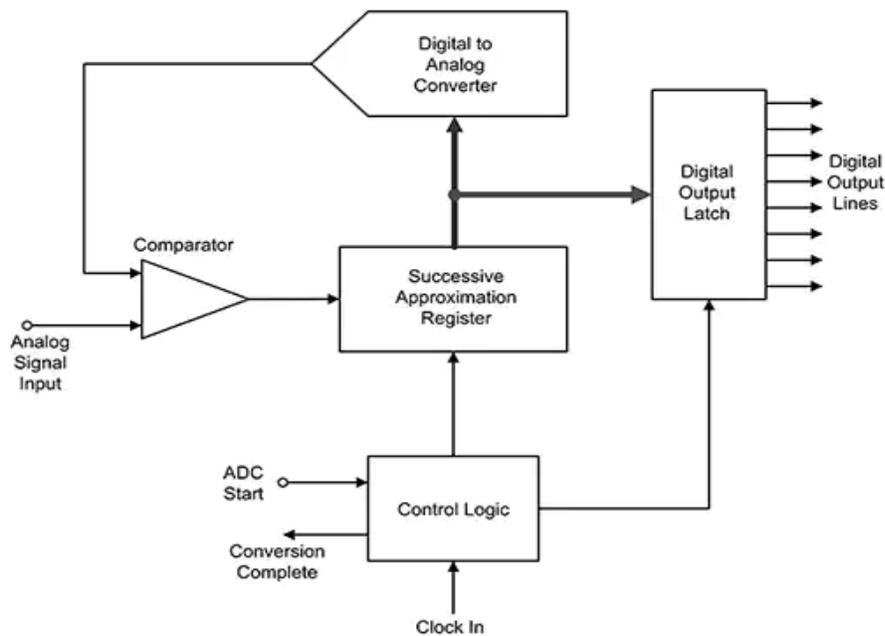
2.5.1. Acondicionamiento Analógico

La información obtenida por el sensor es variante en el tiempo y susceptible a ligeras variaciones en su magnitud que debe detectar el sistema embebido. Por tal motivo, debe existir un proceso de cuantificación y codificación univoca binaria. Donde cada valor binario, corresponde a un solo valor de tensión o corriente. Como resultado, una señal analógica es convertida a una señal digital para ser tratada. Este conjunto de elementos electrónicos es llamado como conversor análogo-digital (CAD). Este proceso puede causar pérdida en la información. Es por ello, que la resolución (escala capaz de representar una señal análoga) juega un papel importante en este proceso. (Vallejo & Alexander, 2022) (Computing, 2012):

- **Aproximación sucesiva:** Es el hardware comúnmente utilizado en microcontroladores por su facilidad de implementación y flexibilidad en los muestreos de la señal. El cual, usa comparadores por medio de amplificadores operacionales para codificar la señal. En la Figura 3 muestra su estructura interna.

Figura 3.

Diseño interno de un conversor análogo-digital de aproximación sucesiva.

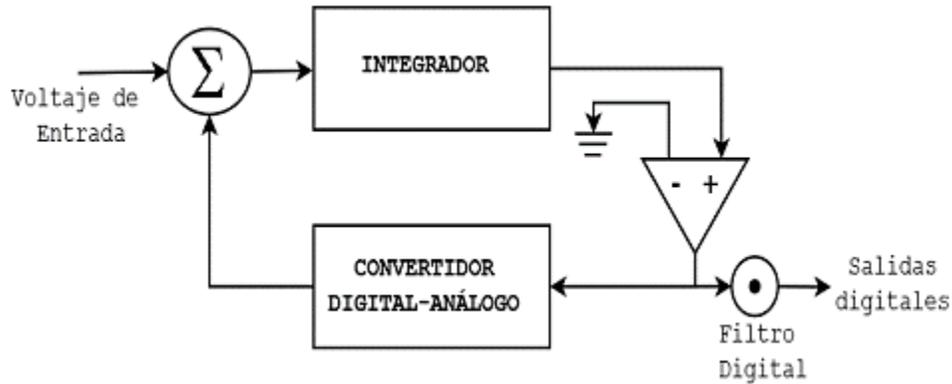


Nota: El CAD de SAR (Registro de Aproximaciones Sucesivas) proporciona una buena resolución con requisitos de potencia baja a moderada (Art, 2018)

- **Voltaje a frecuencia:** Esta forma de CAD se encuentra orientado a variar su frecuencia al recibir la variación de voltaje de entrada al sensor. Generalmente se utiliza en sensores digitales que envían los datos por medio de protocolos de comunicación cableada. Además, necesita de un circuito de reloj que permita sincronizar los datos desde la entrada de la señal hacia la generación de pulsos a diferentes frecuencias. En la siguiente **Figura 4** se muestra la estructura interna de un CAD.

Figura 4.

Estructura interna de un conversor análogo-digital sigma-delta.

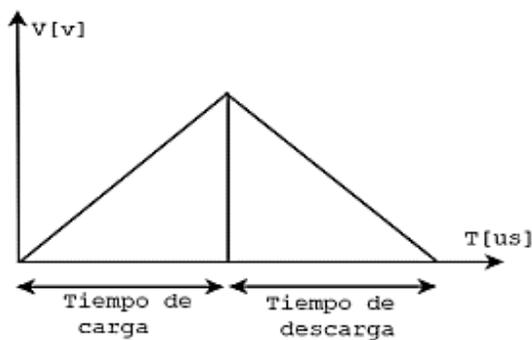


Nota: Obtenido de (Computing, 2012).

- **Integrador:** Es el proceso más sencillo de realizar una conversión análogo-digital al usar el tiempo de carga y descarga de un capacitor. Sin embargo, se encuentran descontinuados en la actualidad por ser muy susceptibles a fallos. En la Figura 5 se muestra el funcionamiento interno de un capacitor al tener una señal análoga y ha sido integrada.

Figura 5.

Funcionamiento interno de un conversor análogo-digital integrador.



Nota: Obtenido de (Computing, 2012).

2.5.2. Filtrado

Es un sistema que amplifica o atenúa en amplitud ciertas señales eléctricas que están en un determinado rango de frecuencia, definida por los diseñadores. También puede modificar la fase de la señal de entrada al filtro. El libro Principios de electrónica lo define como: “Un filtro deja pasar una banda de frecuencia mientras rechaza otras”. El libro, Diseño Electrónico, se refiere a la acción de los filtros como: “la eliminación de porciones no deseadas del espectro de frecuencia”.

El autor José Cabrera (2019) define los filtros como: “un sistema que permite el paso de señales eléctricas a un rango de frecuencias determinadas e impide el paso del resto.” Según el académico, Según J. I. Huircán, (2017) un filtro es: “un dispositivo de dos puertas capaz de transmitir una banda de frecuencias limitada”.

Otro académico, Juan José González (2018), de la Universidad de Cádiz, hace referencia a un filtro como: “un circuito selectivo en frecuencia que se emplea para eliminar cierto intervalo de frecuencias o componentes espectrales de la señal de entrada”.

- **Ecuaciones de transferencia:** Son las ecuaciones que definen el comportamiento del filtro. Esta ecuación puede estar en función de $j\omega$ o plano “s”, ya que $j\omega = s$. Se calcula de la siguiente manera.

$$H(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} \quad \text{I}$$

Dónde: $H(s)$ = Ecuación de transferencia en función de "s". V_{out} = Voltaje de salida. V_{in} = voltaje de entrada.

- **Ancho banda:** Es el rango de frecuencia presente en los filtros pasa banda y elimina ubicado a -3 dB de la ganancia máxima del filtro, se presentan dos frecuencias, una inferior y otra superior. Se calcula de la siguiente forma.

$$BW = f_{cs} + f_{ci} \quad \text{II}$$

Dónde: BW = ancho de banda. f_{cs} = frecuencia de corte superior. f_{ci} = frecuencia de corte inferior.

Para los filtros de tipo pasa bajo, el ancho de banda corresponde a todas las frecuencias que estén dentro de la banda pasante, la cual va desde las frecuencias mayores a cero, hasta la frecuencia de corte.

Para los filtros de tipo pasa alto, el ancho de banda corresponde a todas las frecuencias que estén dentro de la banda pasante, la cual va desde la frecuencia de corte hasta el límite de alta frecuencia que pueda soportar el dispositivo usado para la construcción del filtro.

- **Orden del filtro activo:** El orden del filtro corresponde a los polos que hay en la ecuación de transferencia que rige el filtro activo, es decir, el orden es igual al exponente del término “s” de dicha ecuación que se encuentra en el denominador. Generalmente, se puede determinar el orden del filtro, contando el número de condensadores usados en su construcción.

$$n \cong \text{número de condensadores}$$

Si se requiere un filtro de un orden superior, basta con ubicar en cascada los filtros, sumando el orden de cada uno para obtener el orden deseado, por ejemplo, si se desea un filtro de quinto orden, se pueden ubicar dos filtros de segundo orden y uno de primer orden.

- **Factor de calidad:** Se relaciona directamente con el factor de amortiguamiento (ζ).

$$Q = \frac{1}{2\zeta} \quad \text{III}$$

Dónde: $Q = \text{factor de calidad}$, $\zeta = \text{amortiguamiento}$

Desde el punto de vista de un sistema de control de segundo orden en función de la variable “s”:

$$A(s) = \frac{s^2 + w_c^2}{w_c \cdot s + c^2 K s^2 + Q} \quad \text{IV}$$

Se deduce que el valor de ζ es el número que multiplica al término “s” de grado uno. Para filtros pasa bajo y alto, dependiendo del valor del factor de calidad (o en su defecto, del factor de amortiguamiento), se puede obtener una respuesta deseada del filtro activo, por ejemplo:

Respuesta	Q	ζ	Tipo de sistema
Butterworth	0.707	1.414	Sobreamortiguado
Chebyshev	>1	<1	Subamortiguado
Bessel	0.577	1.154	Sobreamortiguado

- **Aproximación de Butterworth.** - Si se diseña usando aproximación Butterworth, se obtiene una respuesta plana en la banda pasante, esto se refleja en un voltaje de salida constante hasta la o las frecuencias de corte. Después de pasar la o las frecuencias de corte, la salida disminuirá a razón de:

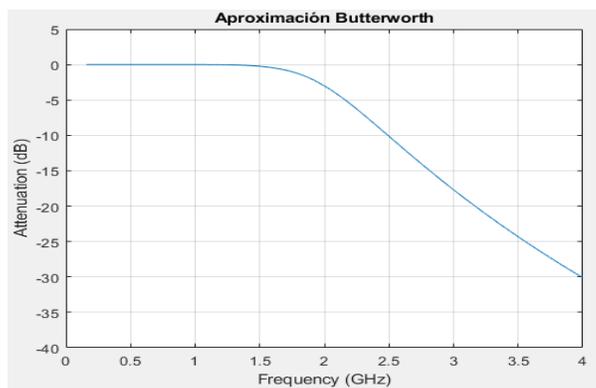
$$\text{pendiente: } 20 \cdot n \text{ dB década/}$$

$$\text{pendiente: } 6 \cdot n \text{ dB octava/}$$

Donde n es el orden del filtro. Cabe destacar que mientras más alto sea el orden del filtro, más pronunciada será la pendiente, por lo tanto, el desempeño del filtro se asemejará más al comportamiento de un filtro ideal. Su respuesta en banda eliminada es monótonica. La respuesta Butterworth se puede ver en la **Figura 6**.

Figura 6.

Respuesta de un filtro Butterworth en la banda pasante.



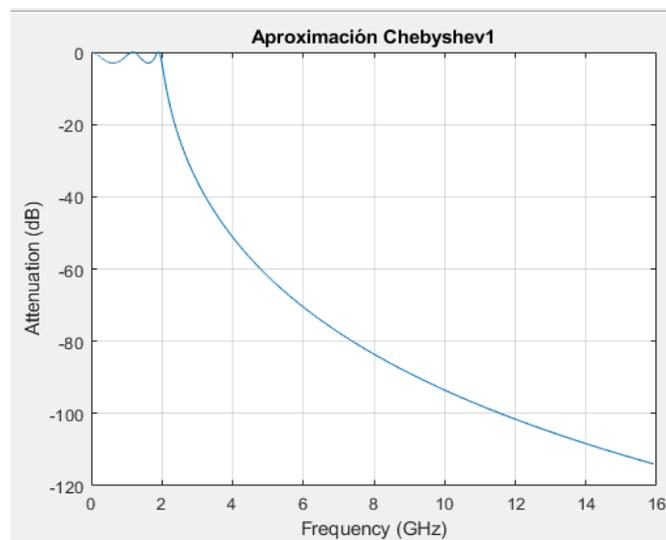
- **Aproximación Chebyshev.**- si se diseña usando aproximación Chebyshev, se obtiene una pendiente más pronunciada que un Butterworth en la región de transición, sin embargo, su respuesta en la banda pasante no es plana, sino que se presentarán rizados tal como se presenta en la **Figura 7**. El número de rizados se obtiene a partir de:

$$N_{\text{rizado}} = \frac{n}{2} \quad \forall$$

Donde n es el número de rizados. Mientras más alto sea el orden del filtro, más pronunciada será la pendiente, pero a su vez habrá más rizados en la banda pasante. Su respuesta en la banda eliminada es monótonica.

Figura 7.

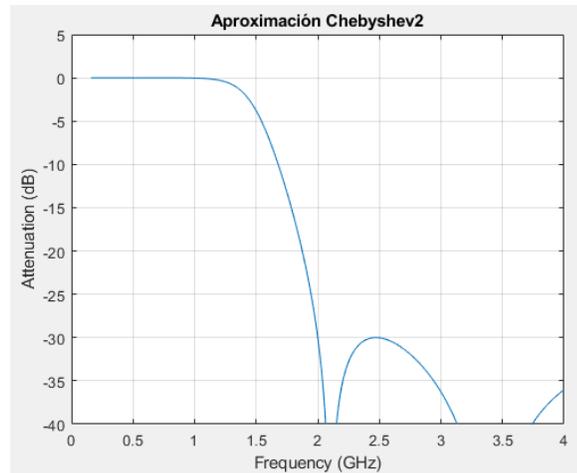
Respuesta de un filtro Chebyshev en la banda pasante.



- **Aproximación inversa de Chebyshev.**- Esta aproximación ofrece una respuesta plana en la banda pasante, una pendiente pronunciada en la región de transición, además de un rizado en la banda eliminada como se muestra en la **Figura 8**, por lo tanto, no posee una respuesta monótonica.

Figura 8.

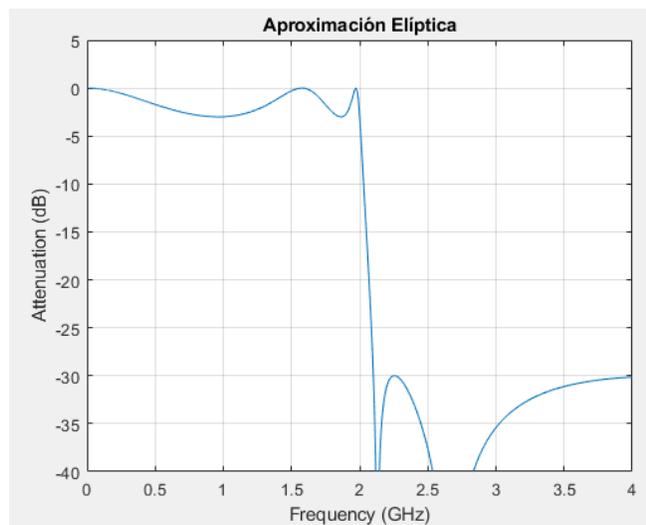
Respuesta inversa de un filtro Chebyshev en la banda pasante.



- **Aproximación elíptica:** Esta aproximación ofrece la pendiente con mayor pronunciación de todos los tipos de aproximaciones en la región de transición. Usar esta implica tener un rizado, tanto en la banda pasante, como en la banda eliminada. No posee una respuesta monótonica como se aprecia en la **Figura 9**.

Figura 9.

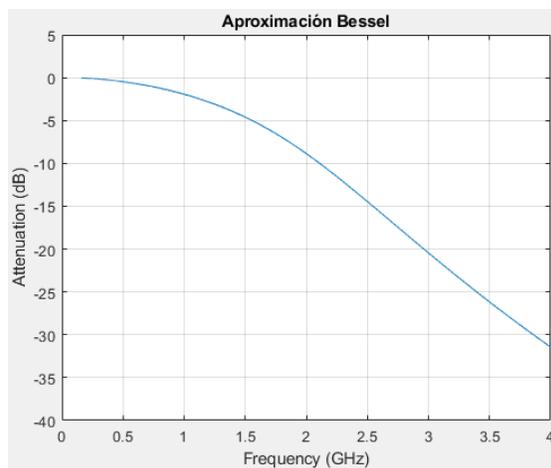
Respuesta de la aproximación elíptica en la banda pasante.



- **Aproximación Bessel:** Este tipo de aproximación posee la pendiente menos pronunciada de todas en la región de transición. Ofrece una respuesta plana en la banda pasante y en una respuesta monótonica en la banda eliminada como se observa en la **Figura 10**.

Figura 10.

Respuesta del filtro Bessel en la banda pasante.



- **Tipos de filtros**

Los filtros principalmente se dividen en 4 categorías de acuerdo a la frecuencia de corte o de funcionamiento como se muestra a continuación en la **Tabla 2**; filtros pasa bajo, pasa banda, pasa alto y elimina banda.

Tabla 2.

Tipos de filtros de acuerdo a su frecuencia de funcionamiento.

Tipo de filtro	Descripción
Pasa bajo	Atenúa todas las señales cuya frecuencia sea mayor a la frecuencia de corte y mantiene las que están bajo esta.
Pasa alto	Atenúa todas las señales cuya frecuencia sea menor a la frecuencia de corte y mantiene las que están sobre esta.

Pasa banda	Permite el paso de las señales cuya frecuencia se encuentre dentro del intervalo creado entre dos frecuencias, atenuando el resto.
Elimina banda	Permite el paso de las señales cuya frecuencia este fuera del rango del intervalo creado entre dos frecuencias, atenuando las que están dentro de esta.

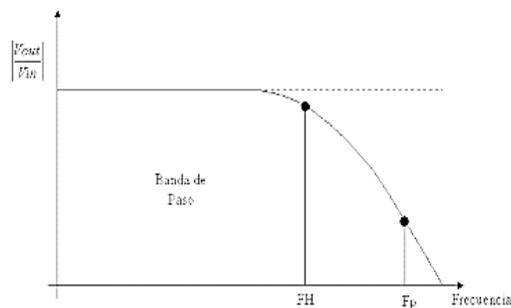
- **Filtro pasa bajo.**

Este tipo de filtro deja pasar todas las frecuencias desde 0 a la frecuencia de corte y bloquea las frecuencias que están sobre esta. A Las frecuencias que se ubican entre 0 hasta la frecuencia de corte se le denomina banda pasante mientras las frecuencias que están encima de la frecuencia de corte se le denomina banda eliminada. Las zonas entre la banda pasante y la banda eliminada se le llaman banda de transición.

En la **Figura 11**, se puede apreciar el comportamiento del filtro pasa bajo ideal.

Figura 11.

Respuesta de un filtro ideal pasa baja.

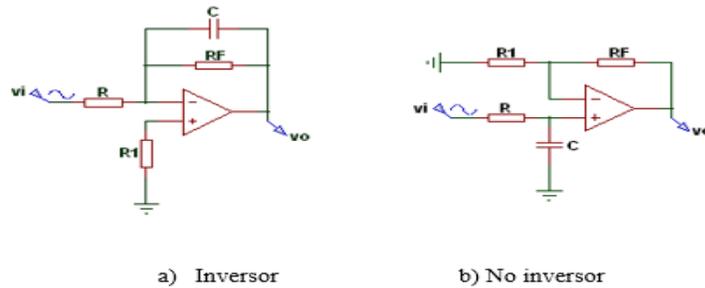


Nota: Adaptado de (Congo, 2015)

Las ecuaciones del filtro se definen por la ganancia del sistema, donde siempre hay involucrado un número complejo, debido a él o los condensadores que hay en el circuito del filtro. Ejemplo de un filtro de primer orden se muestra en la **Figura 12**:

Figura 12.

Circuito general de un filtro pasa bajos de primer orden.

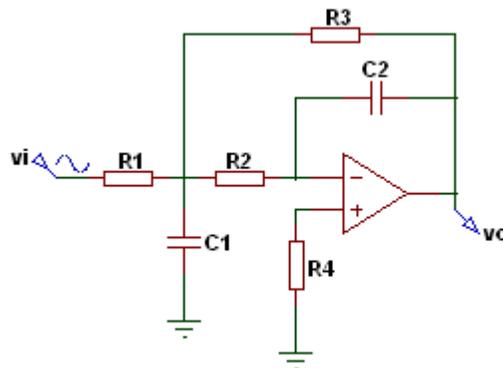


Nota: Obtenido de (Wilaeba electronica , 2018)

Ejemplo de un filtro de segundo orden se muestra en la **Figura 13**:

Figura 13.

Circuito general de un filtro pasa bajas de segundo orden.



Nota: Obtenido de (Wilaeba Electronica, 2018).

La ecuación de transferencia del filtro pasa baja de segundo orden es:

$$\frac{v_o}{v_i}(s) = - \frac{1}{s^2 + s \frac{1}{C_1} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) + \frac{1}{C_1 C_2 R_2 R_3}} \quad \text{VI}$$

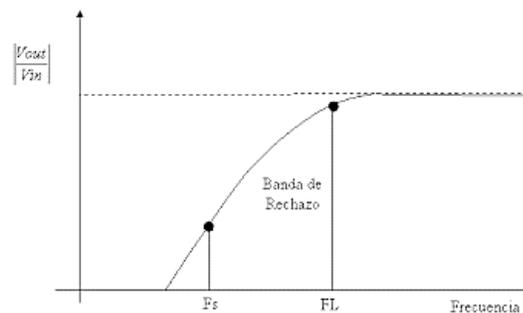
- **Filtro pasa alto.**

Este tipo de filtro tiene una banda pasante ubicada entre la frecuencia de corte y el infinito. Su banda de rechazo se ubica por debajo de la frecuencia de corte, hasta el 0.

Las ecuaciones del filtro se definen por la ganancia del sistema, donde siempre hay involucrado un número complejo, debido a él o los condensadores que hay en el circuito del filtro. La **Figura 14** muestra el comportamiento de un filtro pasa alto ideal. La siguiente figura muestra el comportamiento de un filtro pasa alto ideal:

Figura 14.

Respuesta de un filtro ideal pasa alto.

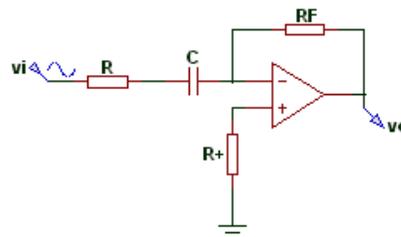


Nota: Obtenido de (Congo, 2015)

Ejemplo de un filtro de primer orden se presenta en la **Figura 15**:

Figura 15.

Circuito general de un filtro pasa altos de primer orden.



Nota: Obtenido de (Wilaeba Electronica, 2108).

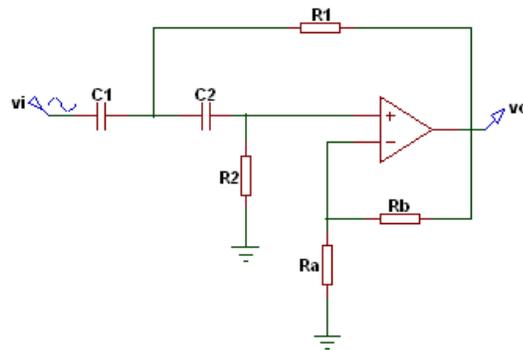
La ecuación de transferencia del filtro pasa alto de primer orden es:

$$A(s) = \frac{s}{s+W_c} \cdot K \quad \text{VII}$$

La **Figura 16** muestra un filtro pasa alto de segundo orden.

Figura 16.

Circuito general de un filtro pasa altos de segundo orden.



Nota: Filtro activo de 2do orden Sallen Key Obtenido de (Wilaeba Electronica, 2018).

La ecuación de transferencia del filtro pasa alta de segundo orden es:

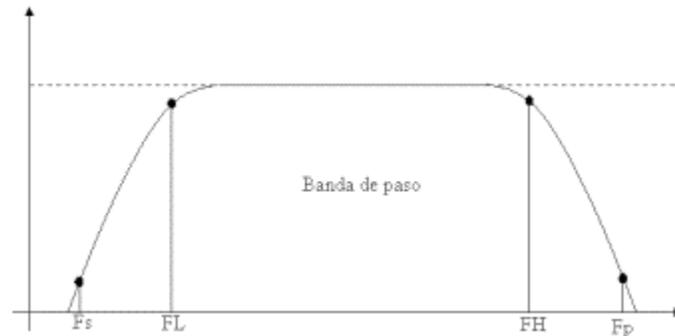
$$\frac{v_o}{v_i}(s) = - \frac{\left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) s^2}{s^2 + s \left(\frac{1}{C_1 R_2} + \frac{1}{C_2 R_2} + \frac{R_b}{C_1 R_1 R_a} \right) + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}} \quad \text{VIII}$$

- **Filtro pasa banda.**

Este tipo de filtro, a diferencia de los anteriores, posee dos frecuencias de corte, una inferior y otra superior. La banda pasante se encuentra entre las frecuencias de corte superior e inferior, mientras que las bandas de rechazo se ubican desde 0 a la frecuencia de corte inferior y desde la frecuencia de corte superior hasta el infinito. La **Figura 17** muestra el comportamiento de un filtro pasa banda ideal.

Figura 17.

Respuesta de un filtro pasa banda ideal.

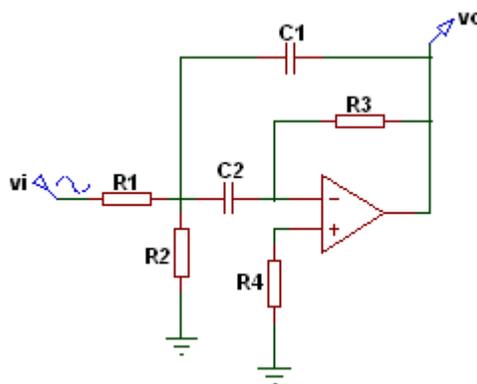


Nota: Obtenido de (Congo, 2015)

Las ecuaciones del filtro se definen por la ganancia del sistema, donde siempre hay involucrado un número complejo, debido a los condensadores que hay en el circuito del filtro. Este filtro es siempre de orden 2, ya que es mezclar un filtro pasa bajo y otro pasa alto para generar la banda pasante. En la **Figura 18** se muestra un circuito de filtro pasa banda de segundo orden:

Figura 18.

Circuito general de un filtro pasa banda de segundo orden.



Nota: Obtenido de (Wilaeba Electronica, 2108)

La ecuación de transferencia del filtro pasa banda de segundo orden es:

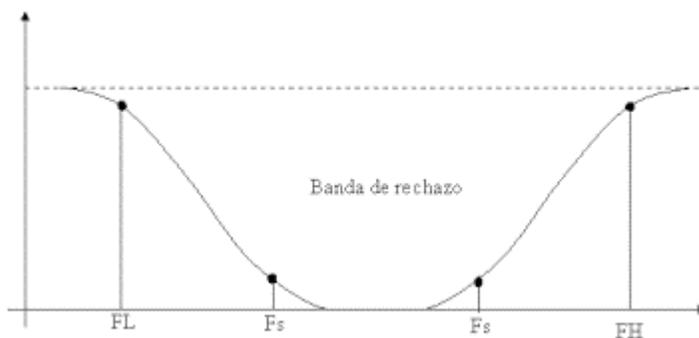
$$\frac{v_o}{v_i}(s) = -\frac{s \frac{1}{C_1 R_1}}{s^2 + s \frac{1}{R_3} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) + \frac{1}{C_1 C_2 R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \quad \text{IX}$$

- **Filtro eliminador de banda.**

Este tipo de filtro posee dos frecuencias de corte, una inferior y otra superior. Para este tipo de filtro, hay dos bandas pasantes, estas se encuentran desde 0 a la frecuencia de corte inferior y la otra desde la frecuencia de corte superior hasta el infinito. La **Figura 19** muestra el comportamiento de un filtro elimina banda ideal.

Figura 19.

Respuesta de un filtro elimina banda ideal.

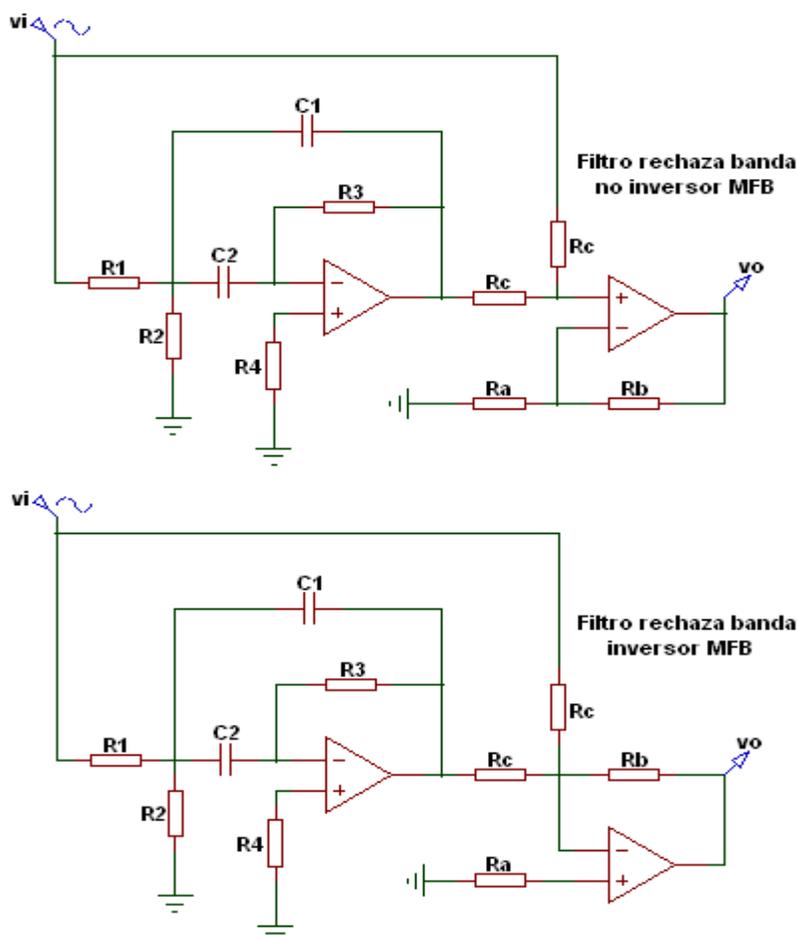


Nota: Respuesta en frecuencia de un filtro elimina banda, Obtenido de (Congo, 2015)

Las ecuaciones del filtro se definen por la ganancia del sistema, donde siempre hay involucrado un número complejo, debido a los condensadores que hay en el circuito del filtro. Este filtro es siempre de orden 2, porque hay que tomar un filtro pasa bajo y otro pasa alto para generar las dos bandas pasantes. En la **Figura 20** se muestra un circuito de filtro pasa banda de segundo orden:

Figura 20.

Circuito general de un filtro elimina banda de segundo orden.



Nota: La magnitud en ambos filtros, se diferencia en la fase, en el no inversor la fase inicia en cero grados, en el inversor la fase inicia en 180 grados. Además, hay dos características principales comunes: Permite trabajar con cualquier valor de ganancia, y también permite trabajar con cualquier valor de factor de calidad, los máximos y mínimos valores dependen de los elementos que se vayan a usar y de la disponibilidad de los mismos. Filtro Rechaza banda activa de 2do orden MFB (Wilaeba electronica , 2018)

La ecuación de transferencia del elimina banda de segundo orden es:

$$\frac{v_o}{v_i}(s) = \pm A \left[\frac{s^2 + \frac{1}{C_1 C_2 R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}{s^2 + s \frac{1}{R_3} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) + \frac{1}{C_1 C_2 R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \right] \quad X$$

La función de transferencia es la misma para ambos filtros, solo se diferencian en el signo, que es positivo para el filtro no inversor y negativo para el filtro inversor. Las ecuaciones de diseño son las siguientes que se muestran a continuación:

Filtro elimina banda no inversora.

$$R_a = \frac{AR_c}{2A-1} \quad XI$$

Filtro elimina banda inversora.

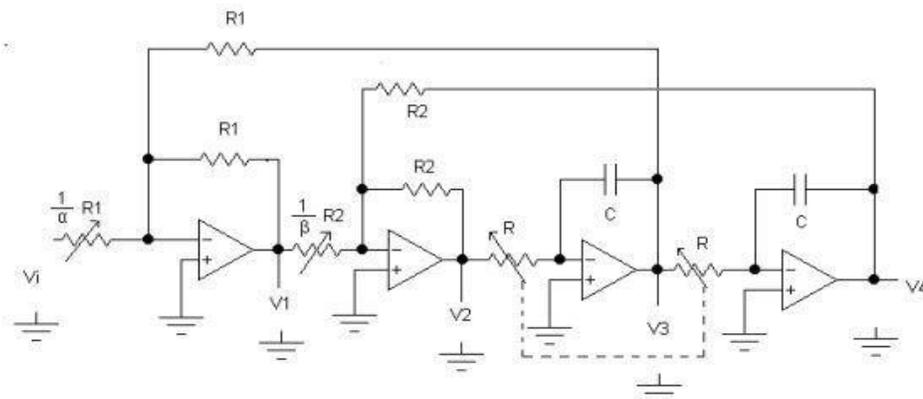
$$R_a = \frac{AR_c}{2A+1} \quad XII$$

- **Filtro universal orden 2 (4 salidas)**

El filtro universal es un circuito que permite obtener los cuatro tipos de filtro (pasa alto, bajo, banda y elimina banda) en uno, con salidas independientes. En la **Figura 21** se puede ver el circuito.

Figura 21.

Circuito general de un filtro universal de segundo orden.



Nota: En este circuito, la primera salida (V1), es un filtro de tipo elimina banda, la segunda salida (V2), un filtro de tipo pasa alto, la tercera salida (V3), es un filtro de tipo pasa banda y la cuarta salida (V4), es un filtro de tipo pasa bajo (Computing, 2012).

▪ **Respuesta en frecuencia:**

Este análisis se origina desde la frecuencia de la señal de entrada observando sus componentes de energía para conocer el rango de frecuencias que contiene la señal para discretizar las componentes de ruido que se desea eliminar. En este sentido es fundamental conocer la frecuencia de muestreo con la cual ha sido adquirida la señal. El origen de la misma para tener un conocimiento teórico de sus frecuencias principales que generalmente puedan considerarse como ruido, entre otras características que se presentan en la **Tabla 3**. De esta manera se puede diseñar un filtro pasa bajos, altos, banda y elimina banda. A continuación, en la **Figura 22** se muestra las bandas de funcionamiento de los filtros.

Tabla 3.

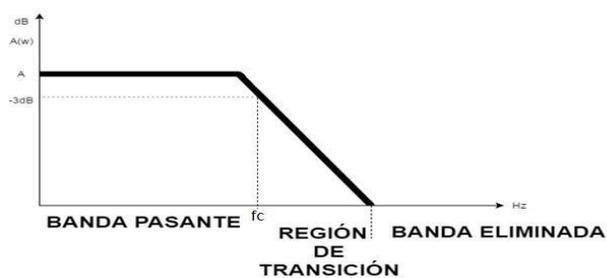
Características de los filtros de acuerdo a la respuesta en frecuencia.

Característica	Descripción	Ecuación
Ganancia (K)	El parámetro que compara la amplitud de la señal de salida (V_{out}) con la señal de entrada (V_{in}).	$K = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ <p>En decibeles:</p> $20 \log K = K_{dB}$
Frecuencia de corte	Es la frecuencia que separa la banda pasante de la región de transición del filtro. Para los filtros pasa banda y elimina banda poseen dos frecuencias de corte: inferior y superior, esto sucede por trabajar entre un rango de frecuencia, que determina cual es el rango de frecuencia que será eliminada y cuál será la banda pasante. Al considerar que los filtros no tienen una respuesta ideal, se dice que la frecuencia de corte no tiene una ganancia igual a la frecuencia pasante, la ganancia que posee f_c es de -3dB.	<p>Por lo tanto, la frecuencia de corte se tiene un voltaje a la salida de:</p> $v_{fc} = v_i \times K \times 0.707$ $v_{fc} = v_i \cdot K \cdot 0.707$ <p>Donde:</p> <p>v_{fc} = Voltaje en la frecuencia de corte.</p> <p>v_i = Voltaje de entrada. K = Ganancia.</p>

Banda pasante	Es la banda de frecuencia deseada, la banda pasante tiene una respuesta plana o rizada dependiendo del tipo de aproximación que se utilice al momento de diseñar.	El voltaje de salida obedece la siguiente ecuación: $v_o = K \times v_i$ El valor de K de esta banda va desde: $KdB_{m\acute{a}x} \rightarrow KdB_{m\acute{a}x} - 3dB.$
Región de transición	Es la zona donde se presenta la pendiente de caída de ganancia, que va desde la frecuencia de corte del filtro, hasta la banda eliminada. En esta zona, la pendiente del filtro puede variar, dependiendo del tipo de aproximación que se ocupe al momento de diseñar el filtro activo.	
Banda eliminada	Es el rango de frecuencias que se encuentra después de la región de transición, donde la ganancia es mínima, por lo tanto, el voltaje a la salida tiende a cero. La banda eliminada puede tener una respuesta monotónica o rizada, dependiendo del tipo de aproximación que se usa al momento de diseñar (Singhal, 2014)	

Figura 22.

Representación de las zonas del filtro en respuesta a la frecuencia.



Nota: Obtenido de (Computing, 2012).

2.5.3. Conversión A/D

“Conversión analógica a digital es transformar un voltaje analógico a un número binario (una serie de 1 y 0) y posteriormente a un número decimal en base 10 para su lectura.” (DA) pero este número digital es un valor aproximado debido a la desratización de la señal.

- **Precisión y Resolución:** Las mediciones de un ADC contienen errores que influyen en su exactitud cuando σ_i representa el error independiente, el error total se representa como:

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2} \quad \text{XIII}$$

Esta ecuación incluye errores como: anomalías en el sensor, ruido, ganancia del amplificador, error de cuantización (resolución de ADC, es decir, existen brechas entre un número digital y su consecutivo que depende del valor cuántico más pequeño que el ADC puede resolver) y otros factores. El ADC no puede digitalizar una tensión de tiempo variando la resolución completa a menos que el cambio de voltaje sea lento respectivamente a la frecuencia de muestreo (DA)

- **Amplificadores Operacionales:** La señal de salida de muchos sensores es de un nivel muy bajo por lo general demasiado pequeño para ser aplicada al sistema, por lo que es necesario una etapa de amplificación con amplificadores operacionales cuyo funcionamiento en el sistema viene determinado por resistencias y condensadores externos. La mayoría de las etapas de un amplificador operacional se llaman inversor o no inversor.
- **Etapa de inversión:** Configuración más básica, invierte la polaridad de una señal de entrada, luego de amplificarla, está definida por la siguiente ecuación.

$$V_o = -V_{in} \left(\frac{R_f}{R_i} \right) \quad \text{XIV}$$

Donde:

V_o = señal de salida (voltios), V_{in} = señal de entrada (Voltios), R_f = resistencia de retroalimentación (Ohmios, Ω) y R_i = resistencia de entrada (Ohmios, Ω).

- **Etapa de no inversión:** La fase de la señal de salida coincide con la de la entrada y depende del divisor de tensión compuesto de R_f y R_i quedando de la siguiente forma.

$$V_o = -V_{in} \left(\frac{R_f + R_i}{R_i} \right) \quad \text{XV}$$

- **Diferencial:** Combinación de inversores y n inversores, la señal de entrada es aplicada entre la señal positiva y negativa y puede ser aislado un conector a tierra o de común para la flexibilidad del amplificador, la señal responde a la tensión diferencial entre los terminales resultando en una ecuación como se muestra:

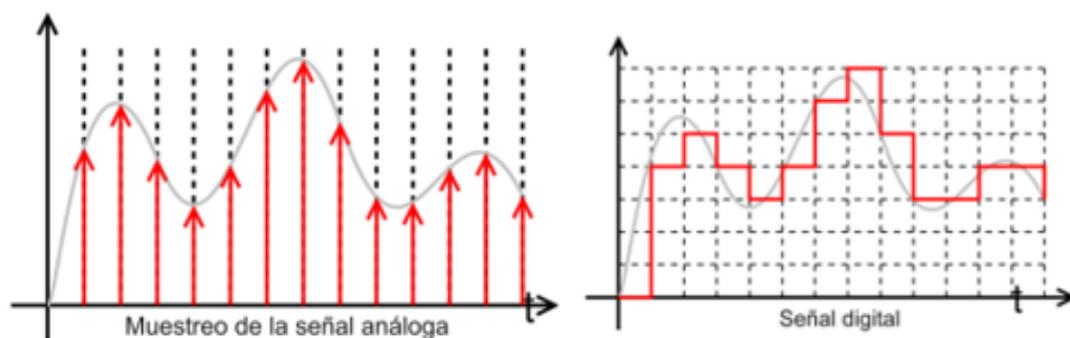
$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_i}\right) (V_1 - V_2) \quad \text{XVI}$$

2.5.4. Acondicionamiento Digital

En algunas aplicaciones digitales, la frecuencia de pulsos se compara en una base de tiempo fija. Los circuitos monitorean el tren de pulsos condicionando para un nivel adecuado entre el estado alto-bajo. Con ello, se evitan los rebotes del sistema y se mejora la capacidad de adquirir datos a altas velocidades. Esto se realiza mediante un comparador que genera un ancho de pulso constante cada vez que la señal de entrada pasa por cero. Luego, el pulso pasa a través de un circuito integrador, como un filtro pasa bajo y genera un nivel de señal que cambia lentamente en su salida, proporcional a la frecuencia de entrada como se muestra en la **Figura 23**. Este criterio es considerado cuando el propio sensor ya ha realizado el proceso de convertir la señal a un lenguaje digital.

Figura 23.

Conversión de una señal analógica a digital con muestreo de valores.



Nota: Construcción de la señal digital mediante muestras de la señal analógica (Ramirez, 2012)

2.6. Adquisición de señales de datos

sistema que puede medir y almacenar datos que puede estar compuesto de instrumentos que aporten a su finalidad como multiplexores, ADC (los parámetros principales referentes a sistemas de adquisición de datos son la resolución y velocidad) y amplificador instrumental (circuito compuesto por amplificadores operacionales), elementos que definen el rendimiento del sistema (Computing, 2012). Generalmente, las señales eléctricas adquiridas por un sensor pueden ser observadas de la misma forma con aparatos tradicionales de medida como voltímetros o amperímetros. No obstante, la creciente necesidad de registrar y preservar estos fenómenos para analizar datos en posterior obliga a desarrollar sistemas que permitan realizar este proceso de una forma flexible que los equipos antes mencionados no lo pueden realizar. Anteriormente, se empleaban sistemas que eran considerados como tarjetas complementarias a un computador (Vallejo & Alexander, 2022).

Sin embargo, con el desarrollo de los sistemas embebidos, se volvieron independientes y capaces de adquirir datos de gran volumen por su cuenta (Embarak, 2018). Estos sistemas embebidos buscan contar con datos confiables, precisos, repetibles y sin errores. Los diferentes tipos de errores en la adquisición de datos por parte de sensores se muestran en la **Tabla 4**.

Por esta razón, es necesario seleccionar adecuadamente los sensores para cada aplicación, capturar la señal con la debida frecuencia, rango y magnitud y realizar una impedancia correcta para la interconexión entre sistemas. Ya que las naturalezas de señales son de carácter no lineal y eso hace más difícil su tratamiento. Además, tomando en consideración que estos sistemas pueden ser susceptibles a golpes, temperaturas extremas, vibraciones, desgaste del material, entre otros (Vallejo & Alexander, 2022).

Tabla 4.*Errores generales en lectura de sensores.*

Error	Descripción
Error del operador	Se da por falta de agudeza visual del operador, del cansancio o por el descuido de este.
Error por instrumentos mal calibrados	Los instrumentos que no han sido calibrados correctamente proporcionan errores en la lectura de datos.
Error por la fuerza utilizada al efectuar la medición	Cuando se realiza una medición si se utiliza demasiada fuerza puede provocar deformaciones en la pieza que se desea medir.
Error por instrumento inadecuado	El uso de instrumentos que no están diseñados específicamente para medir una variable generan datos erróneos, por ello se debe utilizar el instrumento o equipo adecuado para realizar la medición de acuerdo al caso.
Error por punto de apoyo	Cuando se utilizan instrumentos que tiene una longitud grande, el cómo se apoya el instrumento provoca errores en la lectura, para esos casos es necesario utilizar apoyos especiales.
Errores por método de sujeción del instrumento	La forma con la que se sujete al instrumento puede generar errores al momento de realizar la lectura.
Error por desgaste	Se debe a que los instrumentos para la medición son susceptibles al desgaste como cualquier dispositivo.
Error por condiciones ambientales	Entre los factores más comunes que generan un error en la lectura esta la humedad, el polvo, las interferencias electromagnéticas.

Nota: No obstante, ciertos sensores cuentan con diferentes etapas de acoplamiento y, en algunos casos, con microcontroladores que mejoran el proceso de adquisición de datos. En este sentido, el dato ya no proviene desde una señal analógica a ser procesada. En vez de ello, cuentan con una

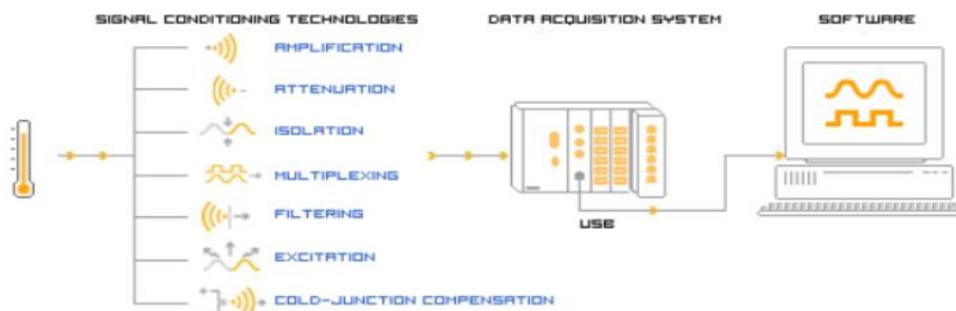
interpretación en un lenguaje digital que puede ser enviado hacia el sistema embebidos como trenes de pulsos o estados lógicos.

2.7.Etapas de Acoplamiento de Señales

La mayoría de estas señales requieren de alguna manera de preparación antes de que sean digitalizadas. Por ejemplo, las señales de un sensor de temperatura, estas señales proporcionan unos niveles muy pequeños de tensión que deben ser amplificados antes que sean digitalizados. Podemos mencionar de otros sensores, como detectores de temperatura mediante resistencia (RTD), los termistores, las galgas extensiométricas y los acelerómetros, toda esta tecnología que se requiere un trabajo de preparación conlleva un acondicionador de señales (Vallejo & Alexander, 2022). En la **Figura 24** se muestra algunas técnicas de acondicionamiento.

Figura 24.

Técnicas de acoplamiento de señales en sistemas de adquisición de datos.



Nota: Obtenido de Logicbus, <https://www.logicbus.com.mx/acondicionador-de-senales.php>

2.7.1. Comparativa Técnicas de Acoplamiento de Señales de Sensores

Las técnicas de acoplamiento de señales de sensores se utilizan para transferir la señal de un sensor a un sistema embebido para su procesamiento. Hay varias técnicas que se pueden utilizar para este propósito, y la elección de la técnica depende de varios factores, como el tipo de sensor, la distancia entre el sensor y el Arduino, la naturaleza de la señal y la precisión requerida.

En esta sección se presenta una descripción general de algunas técnicas de acoplamiento de señales de sensores comúnmente utilizadas una tabla de sus principales ventajas y desventajas.

- **Conexión directa:** La técnica más simple y común es conectar directamente el sensor a los pines de entrada analógicos o digitales del Arduino. Esta técnica es adecuada para sensores que generan señales analógicas como sensores de temperatura o de luz. Sin embargo, no es adecuada para sensores que requieren una condición de señal más compleja o amplificación, como los medidores de tensión o células de carga.
- **Divisor de voltaje:** Un divisor de voltaje se utiliza para reducir el nivel de voltaje de una señal a un nivel que pueda ser leído por el pin de entrada analógico del Arduino. Esta técnica es adecuada para sensores que generan señales analógicas con un rango de voltaje superior al que el Arduino puede manejar.
- **Amplificador:** Un amplificador se utiliza para amplificar la señal del sensor a un nivel que pueda ser leído por el Arduino. Esta técnica es adecuada para sensores que generan señales débiles como medidores de tensión o células de carga.
- **Convertidor analógico a digital (ADC):** Un ADC se utiliza para convertir la señal analógica del sensor a una señal digital que pueda ser leída por los pines de entrada digitales del Arduino. Esta técnica es adecuada para sensores que generan señales analógicas con una resolución superior a la que los pines de entrada analógicos del Arduino pueden manejar.
- **Comunicación serial:** La comunicación serial se utiliza para transferir la señal del sensor al Arduino mediante un protocolo digital como I2C o SPI. Esta técnica es adecuada para sensores que requieren una condición de señal más compleja o amplificación, como acelerómetros o giroscopios.

En conclusión, la elección de la técnica de acoplamiento de señales de sensores depende de varios factores, como el tipo de sensor, la distancia entre el sensor y el Arduino, la naturaleza de la señal y la precisión requerida. Es importante analizar cuidadosamente estos factores

Las técnicas de acoplamiento de señales de sensores se utilizan para transferir la señal de un sensor a un Arduino para su procesamiento. Además de las técnicas de acoplamiento

mencionadas anteriormente, también es importante considerar el filtrado de la señal del sensor antes de enviarla al Arduino. El filtrado se utiliza para reducir el ruido y las interferencias en la señal del sensor, lo que puede afectar la precisión y la calidad de los datos.

Existen diferentes tipos de filtros que se pueden utilizar para filtrar la señal del sensor, como filtros pasa bajo, pasa alto, pasa banda y rechaza banda. La elección del tipo de filtro depende del tipo de señal y del tipo de interferencias presentes en la señal.

Una técnica comúnmente utilizada para el filtrado de la señal es el filtro pasa bajo, que elimina las frecuencias altas y deja pasar las frecuencias bajas. Este filtro es adecuado para sensores que miden señales lentas o de baja frecuencia, como sensores de temperatura. El filtro pasa alto, por otro lado, elimina las frecuencias bajas y deja pasar las frecuencias altas, lo que lo hace adecuado para sensores que miden señales rápidas o de alta frecuencia, como sensores de vibración.

Otra técnica comúnmente utilizada es el filtro pasa banda, que deja pasar un rango específico de frecuencias y elimina las demás. Este filtro es adecuado para sensores que miden señales dentro de un rango de frecuencia específico, como sensores de presión arterial. El filtro rechaza banda, por otro lado, elimina un rango específico de frecuencias y deja pasar las demás, lo que lo hace adecuado para sensores que miden señales con interferencias específicas en un rango de frecuencia específico, como sensores de electrocardiograma.

En la **Tabla 5** se muestra las principales técnicas de acoplamiento de señales de sensores hacia un sistema embebido con sus principales ventajas y desventajas en la cual se selecciona las idóneas a ser implementadas en el presente proyecto.

Tabla 5.

Técnicas de acondicionamiento de señales.

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Conexión Directa	Simple y fácil de implementar	Rango y precisión limitados

Divisor de Voltaje	Simple y económico	Precisión y sensibilidad limitadas
Amplificador	Alta precisión y sensibilidad	Requiere una fuente de alimentación externa, circuito más complejo
Conversor Análogo-Digital	Alta precisión y resolución	Requiere un ADC externo, circuito más complejo.
Comunicación Serial	Alta precisión y resolución, largo alcance.	Circuito más complejo, transferencia de datos más lenta.
Filtrado	<p>Reducción del ruido: El filtrado de la señal reduce el ruido y las interferencias en la señal del sensor, lo que mejora la calidad y la precisión de los datos. Mejora la confiabilidad y Eliminación de interferencias: Al utilizar un filtro específico, se pueden eliminar las interferencias específicas presentes en la señal del sensor, lo que permite obtener datos más precisos.</p>	<p>Retardo de la señal: El filtrado de la señal puede causar un retardo en la respuesta del sistema debido al tiempo que tarda el filtro en procesar la señal.</p> <p>Pérdida de información: El filtrado de la señal puede eliminar información importante presente en la señal del sensor si se utiliza un filtro demasiado agresivo.</p> <p>Ajuste del filtro: La elección del filtro adecuado y su ajuste pueden ser un desafío ya que depende del tipo de señal y de las interferencias presentes.</p>

Es importante tener en cuenta que el filtrado de la señal también puede afectar la velocidad de respuesta del sistema y, por lo tanto, es importante encontrar un equilibrio entre la precisión de la señal y la velocidad de respuesta. En conclusión, el filtrado de la señal es importante para mejorar la calidad y la precisión de los datos del sensor en una aplicación Arduino. Sin embargo, también es importante tener en cuenta las desventajas asociadas al filtrado y ajustar adecuadamente el filtro para obtener los mejores resultados posibles.

2.8. Normativa y Recomendaciones de un Circuito Electrónico

Según López Jaime (2019) es común que al generar un circuito impreso no se consideren factores como la disposición de elementos, referencias de tierra, componentes de corriente continua (DC), de corriente alterna (AC) de las señales actuantes o la dimensión de los caminos, consideraciones que al no darles importancia pueden conllevar a interferencia, inestabilidad y reducción del tiempo de vida del circuito. En el proceso de diseño de placa de circuito impreso (PCB) es muy importante conocer el funcionamiento del circuito, teniendo en cuenta la naturaleza de las señales, con el fin de elaborar el plano de distribución de elementos de forma tal que cumpla con los requerimientos funcionales de los circuitos electrónicos.

2.8.1. Funcionalidad del Esquemático

Un esquemático correcto es el punto de partida para diseñar el PCB, el cual debe reflejar de forma precisa el diseño con sus componentes, alimentaciones, pines de entrada/salida, conexión entre los componentes.

2.8.2. Lazos de Corriente

En los circuitos impresos es posible identificar trayectorias que portan corrientes con comportamientos pulsantes, sobre picos y componentes de alta frecuencia, estos aspectos contribuyen a la interferencia electromagnética (EMI) y es indispensable que el diseñador preste atención a los lazos que transportan estas corrientes, de esta manera es apropiado que estos caminos se incorporen al diseño del circuito impreso.

2.8.3. Recomendaciones Generales sobre el Esquemático

- En un esquemático los componentes deben estar bien organizados, alineados e identificados de manera que sea legible.
- En la medida de lo posible, las señales deben fluir de izquierda (entradas a la izquierda) hacia la derecha (salidas a la derecha).
- En la medida de lo posible, es interesante que se dispusieran los componentes en el esquemático como nos gustaría que quedaran en el diseño final del PCB.
- Verificar que todos y cada uno de los componentes tienen su identificador de componente (designador) que identifica de forma unívoca todos y cada uno de los componentes que forman el diseño. Este tipo de información la suelen añadir de forma automática todas las herramientas.
- Evitar el cruce de señales, dentro de lo que sea posible y asegurarse que queda claro qué se conecta con qué.
- Utilizar puntos de unión cuando 3 o más señales deben estar conectadas eléctricamente. Algunos programas los ponen solos. Esto ayuda a distinguir claramente qué señales se cruzan y qué señales estarán unidas eléctricamente en nuestro diseño.
- Agrupar los componentes que forman parte del mismo bloque lógico juntos.

3. CAPITULO III: DESARROLLO

El presente capítulo, muestra el esquema de acoplamiento de la señal de datos orientado a sistemas embebidos con respecto al tipo de sensor empleado y su forma de enviar dicha información para ser procesada. Para esto se presenta el desarrollo de estos sistemas en función de su capacidad de procesamiento de información, con una división entre los conceptos de acoplamiento y filtrado, relacionados a la naturaleza del diseño. Posteriormente, se definen los criterios adecuados sobre cada tipo de sensor en conjunto con las diferentes recomendaciones.

3.1. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se utiliza el modelo en cascada, en el cual consta de fases o etapas como los requerimientos, análisis, diseño, implementación, pruebas y mantenimiento del sistema. Estas etapas proporcionan un proceso con una serie de pasos a cumplir para el adecuado diseño e implementación del sistema de acoplamiento de señales.

- **Requerimientos y Análisis.** – En este punto se define los requerimientos del sistema en función a las necesidades del cliente.
- **Diseño.** - En esta etapa se representan los requerimientos por medio de una esquemática del sistema con las diferentes etapas de acoplamiento y acondicionamiento de las señales de datos, con una selección de elementos, elección de técnicas de filtrado para las diferentes señales propuestas.
- **Implementación.** – Este punto comprende la aplicación del diseño y requerimientos en un esquemático del circuito físico con las etapas de acoplamiento analizadas.
- **Pruebas de funcionamiento.** - En esta etapa se realiza una comprobación del funcionamiento del sistema a través de una comparativa de señales medidas en base a métricas de señales.

3.2. Requerimientos y Análisis

El proceso permitirá establecer los requerimientos específicos que debe tener el sistema y determinar los requisitos de software y hardware.

Esta sección presenta los lineamientos principales que rigen el desarrollo del sistema de acondicionamiento de señales, los aspectos a cubrir en base al estudio realizado en el **ANEXO A**

Ficha de Requerimiento son los siguientes: propósitos y objetivos del sistema.

3.3.Propósito y Ámbito del Sistema

Se propone desarrollar un prototipo con sensores, una placa de acoplamiento y sistema embebido para acondicionar señales de sensores.

El sistema permitirá acondicionar la señal de diferentes tipos de señales de sensores para su posterior procesamiento mediante sistemas embebidos para el entendimiento o interpretación de la información de la señal.

El objetivo fundamental en el que se sostiene gran parte del proyecto es el diseño de una solución conveniente al problema del ruido, errores e interferencia que podría presentarse en la señal proveniente del sensor.

3.4.Requerimientos del Sistema

Se establecerán bajo el estándar IEEE 29148:2011 basándose en atributos. Son requerimientos que determinan el adecuado funcionamiento del sistema y a partir de ellos obtendrá los requisitos necesarios para desarrollar el prototipo. Estos requerimientos se conforman los siguientes: Requerimientos de Sistema y Requerimientos de Hardware.

- ✓ **Beneficiarios:** Corresponde a los beneficiarios directos e indirectos. Los beneficiarios directos constituyen los estudiantes o personas que hacen uso de sensores para proyectos investigativos o experimentales para estudiar un fenómeno físico u adquisición de datos.
 - Los usuarios directos son las personas que hacen uso de sensores y sistemas embebidos.
 - Los usuarios indirectos del sistema los conformaran los sujetos que hacen uso de la información acondicionada, con menor índice de ruido y errores en la señal obtenida de sensores.

Tabla 6.

Lista de Stakeholders.

Lista de Stakeholders
1. Estudiantes que desarrollen proyectos con sensores y sistemas embebidos.
2. Investigadores o personas que desarrollen proyectos u experimentos con sensores y sistemas embebidos.
3. Mgs. Cuzme Fabian (director del trabajo de Titulación)
4. Mgs. Michilena Jaime (Asesor del trabajo de titulación)
5. Basantes Hugo (Desarrollador del proyecto)

- **Nomenclatura de los requerimientos:** En la **Tabla 7** se muestra las consideraciones y nomenclatura basada en el estándar para el diseño de tablas que contengan información de relevancia para el presente proyecto, de esta manera, identificar mediante tablas de manera clara los requerimientos en general del sistema para la elección de hardware y software.

Tabla 7.*Definición de acrónimos.*

Descripción	Abreviatura
Requerimientos de Stakeholders	StSR
Requerimientos del Sistema	SySR
Requerimientos de Arquitectura	SRSH

El estándar permite asignar prioridades a cada uno de los requerimientos como se muestra en la **Tabla 8**, estas son determinadas mediante criterios como: la importancia para el usuario, el rendimiento del sistema y el riesgo para el diseño y la implementación del proyecto.

Tabla 8.

Prioridades de los requerimientos del sistema.

Prioridad	Descripción
Alta	Es un requerimiento crítico que debe incluirse durante el desarrollo del sistema. Si no se implementa puede afectar la funcionalidad.
Media	El no incluir este tipo de requerimiento puede afectar la decisión final del sistema; sin embargo, se puede omitir este requerimiento en condiciones de fuerza mayor.
Baja	Si no se incluye este requerimiento no se espera un impacto significativo en la decisión final del sistema.

3.4.1. Requerimientos de Stakeholders.

Se considera stakeholder a todo grupo o individuo que tiene un interés directo en el resultado alcanzado por el desarrollo del proyecto. La definición de los requerimientos del stakeholder (StSR) tiene como finalidad identificar los requisitos de los interesados para el sistema. En la **Tabla 9** se analizan específicamente los requerimientos operacionales y de usuario que tienen que ver con la interacción directa de los usuarios con el sistema.

Tabla 9.*Requerimientos de Stakeholders.*

#	REQUERIMIENTOS	PRIORIDAD			RELACION
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES					
StSR1	El prototipo debe permitir ser implementado entre el sensor y un sistema embebido.	X			
StSR2	El sistema debe presentar bajo consumo de energía		X		
StSR3	El sistema debe ser lo más compacto posible.			X	
REQUERIMIENTOS DE USUARIOS					
StSR4	El acondicionamiento de la señal debe ejecutarse un mínimo de retardo.		X		
StSR5	El sistema debe mantener funcionamiento constante o por intervalos de acuerdo al funcionamiento de los sensores.		X		

StSR6	Los usuarios directos podrán manipular las opciones del sistema.	X
-------	--	---

Los requerimientos presentados son parte de las necesidades identificadas en base a una investigación de artículos en relación directa con el proyecto, proporcionando una idea general del producto en relación con los usuarios y su funcionamiento.

3.4.2. *Requerimientos del Sistema.*

Los requerimientos del sistema (SySR) tienen que ver con las operaciones que va a realizar el sistema y todo lo que requiere para su funcionamiento como son: requerimientos de uso, interfaz, performance, modos o estados y físicos. A continuación, se describen los requerimientos iniciales del sistema en la **Tabla 10**.

Tabla 10.

Requerimientos iniciales del Sistema.

#	REQUERIMIENTOS	PRIORIDAD			RELACION
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS DE USO					
SySR1	El sistema deberá permitir conexión de diferentes tipos de sensores disponibles en el mercado y de costo accesible.	X			StSR6
SySR2	La señal proveniente del sensor deberá ser adaptada acorde a las características del sistema embebido.	X			

REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ			
SySR3	Pines de entrada y salida de la señal del sistema.	X	StSR1
SySR4	El sistema debe interactuar con el sensor y el sistema embebido.	X	StSR1
SySR5	El sistema electrónico (Sensores, elementos activos, elementos pasivos, sistema embebido, alimentación eléctrica) deberán interactuar entre sí.	X	
REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE			
SySR6	Adquisición de la señal de datos en un ambiente controlado.	X	
SySR7	Taza de transferencia de la señal alta.	X	StSR4
REQUERIMIENTOS FISICOS			
SySR8	El sistema debe estar situado adecuadamente en un lugar donde no interfiera con la medición de los sensores.	X	

3.4.3. *Requerimientos de Arquitectura.*

En este apartado se definen los requerimientos de hardware, software y el sistema eléctrico en la **Tabla 11**; mismos que serán la base para la elección del hardware y software.

Tabla 11.*Requerimientos de Arquitectura.*

#	REQUERIMIENTOS	PRIORIDAD			RELACION
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS LOGICOS					
SRSH1	Se requiere un sistema compatible con una placa embebida.		X		StSR1 y SySR4
SRSH2	Se requiere compatibilidad del sistema con los sensores a utilizar para la adquisición de la señal.		X		StSR6 y SySR1
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE					
SRSH3	Se requiere de sensores, elementos activos y pasivos, sistema embebido; asequibles.		X		SySR5
SRSH4	El sistema requiere una etapa de filtrado para reducción de ruido en la señal de datos.		X		
SRSH5	El sistema requiere de entradas análogas y/o digitales para la conexión de		X		StSR6 y SySR1

	los diferentes sensores con sus respectivos tipos de señal.	
SRSH7	El sistema embebido debe permitir la compatibilidad de sensores y accesorios de otros fabricantes.	X
SRSH8	Se requiere una etapa de conversión de la señal análogo digital y digital análoga.	X
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE		
SRSH9	Se requiere de un software compatible con el sistema embebido para realizar las pruebas de funcionamiento mediante una comparativa de señales.	X
SRSH10	El software debe permitir la simulación del acondicionamiento de la señal de datos.	X
REQUERIMIENTOS ELECTRICOS		
SRSH11	Se requiere una fuente de alimentación mayor o igual a 9V tanto con polaridad	X

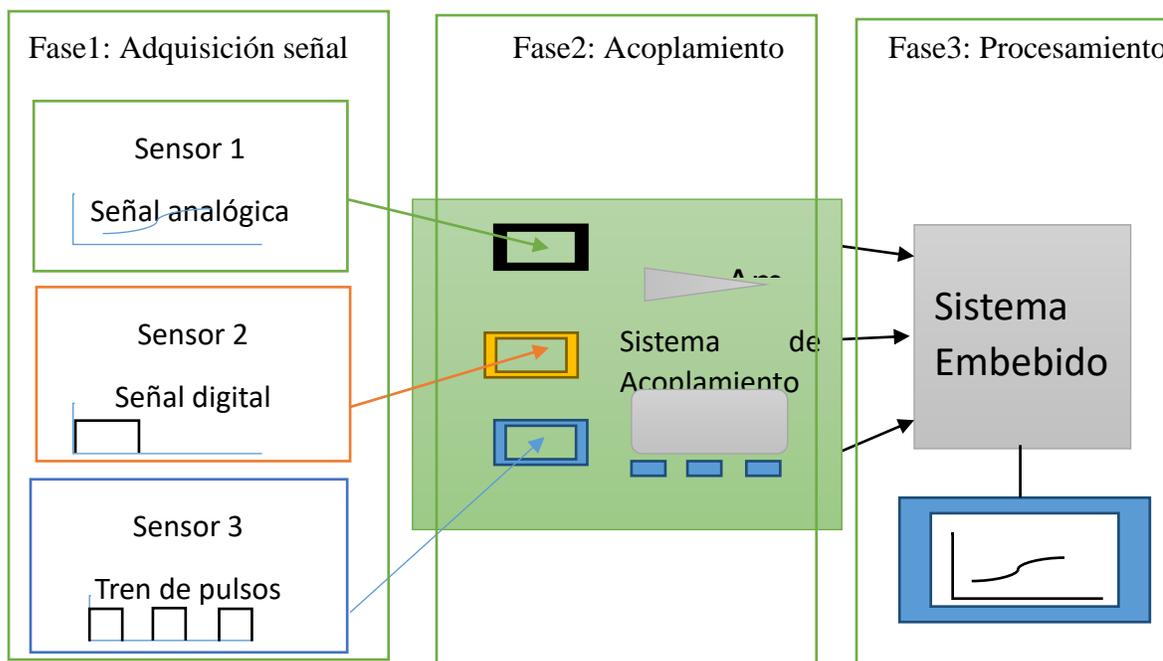
positiva y polaridad negativa para el funcionamiento de los amplificadores operacionales y una fuente de 5V para el funcionamiento de sensores y elementos.

3.4.4. Descripción General de Sistema

En la siguiente figura se muestra el esquema de acoplamiento de la señal de datos orientado a sistemas embebidos con respecto al tipo de sensor empleado y su forma de enviar dicha información para ser procesada. Para esto se presenta el desarrollo de estos sistemas en función de su capacidad de procesamiento de información, con una división entre los conceptos de acoplamiento y filtrado, relacionados a la naturaleza del diseño tal como se muestra en la **Figura 25**.

Figura 25.

Diagrama general del sistema de acoplamiento.



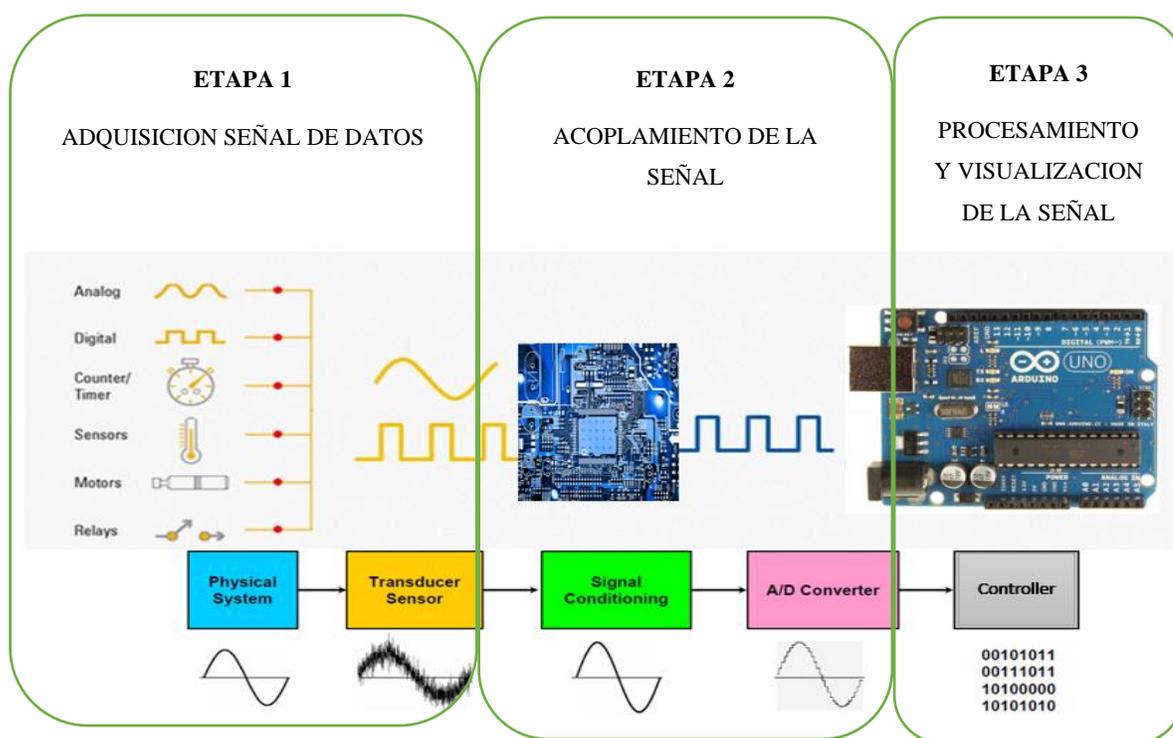
Nota: Se propone un diagrama que consiste en tres etapas, como primera etapa esta la obtención de la señal de sensores, como siguiente etapa está el acondicionamiento de las señales y por último se tiene la salida y conexión con el sistema embebido.

3.5. Estructura por bloques

Se ha establecido una estructura que consiste en la adquisición de datos por medio de los sensores para posteriormente realizar un acondicionamiento de la señal, un acoplamiento para ser procesada por un sistema embebido, de forma gráfica se la representa en la **Figura 26**.

Figura 26.

Etapas del Acondicionamiento de señales de sensores.



Nota: Sistema propuesto por etapas para el acoplamiento de señales.

3.6. Diseño de Adquisición de Datos

El sistema propuesto de adquisición de datos se basa en la taxonomía de sensores presentado con anterioridad. En este sentido, se pueden realizar filtros, acoplamiento y suavizado de la señal en software y hardware.

3.6.1. Selección de Sensores

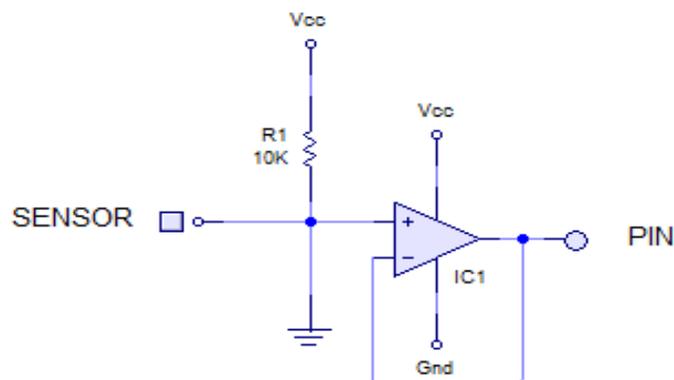
En este apartado se presenta una selección de sensores de acuerdo a la taxonomía propuesta en la Figura 1

- **Sensores Análogos-Propósito específico**

Los sensores de este apartado son muy variados en su campo de aplicación, por ende, no se define un rango de frecuencias. No obstante, existe el inconveniente analizado previamente de los errores en los componentes electrónicos que generan voltajes continuos. Por esta razón, al hacer uso de un amplificador operacional de acoplamiento con retroalimentación y una resistencia que establece un estado alto o de pull-up como se muestra en la **Figura 27**, se logra tener una alta impedancia de entrada al sistema y logra entregar un voltaje alterno con menor ruido. Además, algunos sensores pueden funcionar con voltajes mayores a los 5 voltios permisibles en un sistema embebido actual. Por ende, los divisores resistivos director pueden atenuar fácilmente cualquier rango de voltajes y ser un buen complemento al acoplamiento.

Figura 27.

Acoplamiento de sensores análogos de propósito específico.



Los principales sensores de señal analógica de propósito específico a tener en cuenta por su uso más común, disponibilidad en el mercado y asequibilidad en costo se presentan a continuación en la **Tabla 12** en la cual se presenta una descripción de funcionamiento del sensor, el precio y el proveedor para su posterior selección.

Tabla 12.

Principales sensores analógicos de propósito específico.

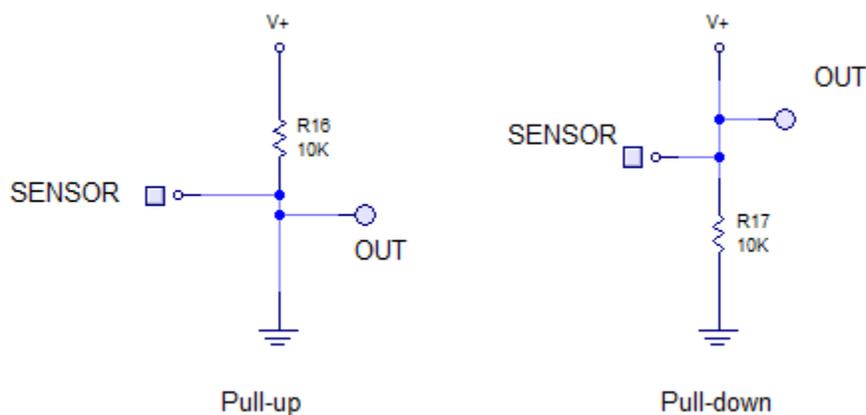
Sensores	Descripción	Precio	Proveedor
Flexómetro	Produce una resistencia variable en relación al grado que se encuentre doblado. En este sentido, el sensor convierte la curvatura en distintos valores de resistencia eléctrica. Sensor de flexión de 2.2" de largo. Su funcionamiento consiste en una resistencia que varía su valor conforme se va flexionando el sensor. A mayor flexión se producirá mayor resistencia y este valor puede ser fácilmente interpretado por el microcontrolador a través de una entrada analógica. Flat Resistance: 25K Ohms. Resistance Tolerance: $\pm 30\%$. Bend Resistance Range: 45K to 125K Ohms (depending on bend radius). Power Rating: 0.50 Watts continuous. 1 Watt Peak. Life Cycle: >1 million. Height: 0.43mm (0.017"). Temperature Range: -35°C to $+80^{\circ}\text{C}$	\$ 25.81 (\$2.56 de envío)	PLEXY LAB (Cuenca)
Presión	El sensor de presión flexible (también llamado FSR) que al aplicar presión en su área de detección su resistencia interna varía y por este efecto el voltaje de salida lo hace de igual forma. En cuanto mayor sea la presión, mayor será el voltaje de salida. FSR402 sensor resistivo de fuerza y peso, 0.1-100N. Compatible con Arduino, microcontroladores PIC, AVR. Este dispositivo presenta una disminución de resistencia a medida que la fuerza se incrementa sobre la superficie del sensor. Puede emplearse como sensor de fuerza (y de forma indirecta para medir también presión). Características y Especificaciones: Diámetro del área sensible: 15 mm, Rango de trabajo: 0.1-100 N (0.01-10 kgf), Tipo de sensor: Resistivo (varía inversamente con la fuerza aplicada), Resistencia máxima: > 10 Mega Ohm (sin carga aplicada), Resistencia mínima: 250 Ohm (con una fuerza de 100 N aplicada)	\$12.50	TECmikro

- **Sensores de señal Digital-Estados lógicos**

En proyectos con sistemas embebidos que pueden recibir señales de sensores de estados lógicos, los cuales presentan un rango de funcionamiento entre 0 y 5 voltios en donde su umbral de incertidumbre se encuentra entre 1.7 a 2.5 voltios, es decir en este umbral puede tomarse una lectura como 1 lógico o 0 lógico por alguna interferencia. Este inconveniente, se puede solucionar al usar configuraciones con resistencias en modo pull-up o pull-down las cuales como se muestra en la **Figura 28** se colocan en las entradas digitales para de esta manera fijar un valor de reposo y asegurar un valor lógico bien definido evitando un estado indefinido.

Figura 28.

Configuración pull-up y pull-down para sensores digitales.



Los principales sensores digitales de estados lógicos por su uso más común, disponibilidad en el mercado y asequibilidad en costo se presentan a continuación en la **Tabla 13** en la cual se presenta una descripción de funcionamiento del sensor, el precio y el proveedor para su posterior selección y adquisición.

Tabla 13.*Principales sensores de señal digital-estados lógicos.*

Sensores de estados lógicos	Descripción	Precio	Proveedor
Presencia	<p>El sensor comúnmente utilizado para detectar la presencia o el movimiento es el Sensor piroeléctrico (Pasivo) infrarrojo (También llamado PIR) que se basan en la medición de la radiación infrarroja. Todos los cuerpos (vivos o no) emiten una cierta cantidad de energía infrarroja, mayor cuanto mayor es su temperatura, disponen de un sensor piro eléctrico capaz de captar esta radiación y convertirla en una señal eléctrica. El módulo incluye el sensor, lente, controlador PIR BISS0001, regulador y todos los componentes de apoyo para una fácil utilización. Rango de detección: 3 m a 7 m, ajustable mediante trimmer (Sx). Lente fresnel de 19 zonas, ángulo < 100°. Salida activa alta a 3.3 V. Tiempo en estado activo de la salida configurable mediante trimmer (Tx). Redisparo configurable mediante jumper de soldadura. Consumo de corriente en reposo: < 50 μA, Voltaje de alimentación: 5 VDC.</p>	\$ 5.46 (\$2.56 de envió)	Megatronica (Quito)
Distancia	<p>HC-SR04 es un sensor ultrasónico que brinda mediciones estables y precisas a distancias entre 2cm-450cm. Tiene un ángulo de menos de 15° grados y una precisión aproximada de ± 3 mm. Este sensor utiliza un sonido ultrasónico para medir la distancia como lo hacen los murciélagos y los delfines. El sonido ultrasónico es de alta frecuencia de tal manera que los humanos no lo pueden percibir. Este sensor en particular envía un sonido ultrasónico que tiene una frecuencia aproximada de 40 kHz. El sensor tiene dos partes principales: un transductor que crea un sonido ultrasónico y otro que detecta el eco. Para usar este sensor para medir distancia, debemos conectarle una parte lógica la cual debe medir la cantidad de tiempo que tarda el sonido desde el momento en que se envía hasta el momento que recoge el eco.</p>	\$ 5.01 (\$ 2.56 de envió)	Megatronica (Quito)
Color	<p>El TCS34725 es posiblemente el mejor sensor de reconocimiento de color del mercado para Arduino o Raspberry Pi, incluye sensores RGB y de luz blanca. Cuenta con filtro bloqueador de IR integrado, que minimiza el espectro IR logrando unas medidas de color muy precisas. El sensor de color TCS34725 del arca LC Tech es un convertidor de luz a frecuencia que combina fotodiodos de silicio reconfigurables y una corriente de frecuencia en un solo circuito integrado.</p>	\$10.84 (\$ 2.56 de envió)	Mgssystem (Quito)

Los principales sensores de señal digital tren de pulsos por su uso más común, disponibilidad en el mercado y asequibilidad en costo se presentan a continuación en la **Tabla 14** en la cual se presenta una descripción de funcionamiento del sensor, el precio y el proveedor para su posterior selección y adquisición.

Tabla 14.

Principales sensores de señal digital-tren de pulsos.

Sensores tren de pulsos	Descripción	Precio	Proveedor
Temperatura	<p>Humedad y temperatura (DHT11). Es un sensor que envía una señal digital calibrada que contiene un microcontrolador de 8 bits. Además, está constituido de dos sensores resistivos (NTC y humedad). El Módulo DHT11 es un sensor que permite mediciones de temperatura y humedad relativa (RH). Su tecnología garantiza la alta fiabilidad y una excelente estabilidad a largo plazo. Es compatible con la tecnología Arduino, PIC, AVR, COP, DSP, STM32, etc. El DHT11 cuenta con una excelente calidad, respuesta rápida, capacidad anti-interferencia y ventajas de rendimiento de alto coste, pero a un precio bajo. Cada DHT11 es calibrado de forma precisa en laboratorio.</p>	\$ 6.06 (\$2.56 de envió)	Megatronica (Quito)
Gas y calidad de aire	<p>El sensor de humo MQ-135 consiste en un dióxido de estaño (SnO₂), una capa de perspectiva dentro de microtubos de óxido de aluminio (electrodos de medición) y un elemento calefactor dentro de una carcasa tubular. La cara final del sensor está encerrada por una red de acero inoxidable y la parte posterior sostiene los terminales de conexión. El humo se emite desde la fuente al quemar cualquier cosa. Con la cascada de humo en la capa de detección de dióxido de estaño, la resistencia disminuye. Mediante el uso de la resistencia de carga externa, la variación de resistencia se convierte en una variación de voltaje adecuada. Amplio alcance de detección. Respuesta rápida y alta sensibilidad. Estable y larga vida útil Circuito de accionamiento simple. Utilizado en equipos de control de calidad del aire para edificios / oficinas, es adecuado para la detección de NH₃, NO_x, alcohol, benceno, humo, CO₂, etc. Tamaño: 35mm x 22mm x 23mm (largo x ancho x alto). Voltaje de funcionamiento: DC 5 V. Instrucción de salida de señal. Salida de señal dual (salida analógica y salida digital alta/baja). Voltaje de salida analógica de 4.2V, cuanto mayor sea la concentración, mayor será el voltaje.</p>	\$ 8.94 (5.35 de envió)	PREXYLAB (Cuenca)

▪ Sensores Análogos- Bioseñales

Los datos provenientes de estos sensores son señales continuas con similares rangos de frecuencia. En este sentido, los filtros IIR e FIR cuentan con diferentes características que pueden influir en la adquisición de datos. Para ser implementados, generalmente se enfocan en componentes en frecuencia y en el dominio del tiempo respectivamente. Sin embargo, no es una condición estricta a cumplir. Es por ello que, es posible implementar ambos criterios en el filtrado de una señal EMG que proviene de un sensor, donde el sistema ha muestreado a una frecuencia de 1kHz (superior a Nyquist), obteniendo un total de 1400 muestras.

Como primer enfoque se plantean los filtros IIR con las aproximaciones Chebyshev, Buterworth y Bessel. Además, el orden del filtro es un factor muy importante. En este caso, se optan por tener filtros de orden 3,5 y 7. Para su implementación, es necesario conocer la frecuencia de la señal a filtrar.

Los principales sensores de bioseñales por su uso más común, disponibilidad en el mercado y asequibilidad en costo se presentan a continuación en la **Tabla 15** en la cual se presenta una descripción de funcionamiento del sensor, el precio y el proveedor para su posterior selección y adquisición.

Tabla 15.

Principales sensores de señal análoga- Bioseñales.

Tipo de Bioseñal	Descripción Sensores	Precio	Proveedor
ECG	El sensor de ritmo cardíaco es un dispositivo de “plug and play”, puede ser utilizado para obtener fácilmente una lectura del ritmo cardíaco en tiempo real, el sensor se puede ser colocado en la punta de los dedos o en el lóbulo de la oreja. Este sensor puede conectarse a una tarjeta Arduino, los tres cables de conexión entre estos dispositivos son: alimentación de 5V DC (+), tierra (-) y señal de salida analógica (S), en el caso de utilizarse una tarjeta Raspberry Pi será necesario el uso de un convertidor analógico-digital. El frente del sensor marcado con el logo de un corazón es el lado que hace contacto con la piel. En la parte frontal el sensor cuenta con un LED y un sensor de luz ambiental como el que se utiliza en algunos	\$22.04 (\$5.35 de envío)	PLEXY LAB (Cuenca)

celulares, tabletas y laptops para ajustar el brillo de la pantalla en diferentes condiciones de luz. Una de las ventajas de este tipo de dispositivos es que el software es de código abierto lo que permite obtener gráficamente el ritmo cardiaco en tiempo real mediante Processing si se está utilizando la tarjeta Arduino. El consumo de corriente es bajo siendo de 4mA con una alimentación de 5V DC. Para su funcionamiento solo debes de poner en contacto el sensor con tu cuerpo, alimentarlo de 3V a 5V y ya estará listo para tomar las medidas del ritmo cardiaco. Para poner en funcionamiento el sensor previamente se requiere realizar algunos aislamientos de la tarjeta electrónica

EEG	<p>EEG es una prueba que mide y registra la actividad del cerebro.</p> <p>PLUX SKU: RB-Plu-47 de SENSPRO-EEG, Sensor diferencial de un solo canal, cuenta con dos electrodos de medición y una banda elástica para la cabeza para la medición de EEG clásica y localizada. Ganancia: 40000 / Rango: $\pm 37.5\mu V$ (con VCC = 3V), Ancho de banda: 0.8-49Hz / Impedancia de entrada: >100GOhm. Salidas de datos sin procesar analógicas y de grado médico pre acondicionadas.</p>	<p>\$142.50 (\$12.90 de envío)</p>	<p>RobotSho P</p>
EMG	<p>EMG (señal de electromiografía) que registra la actividad eléctrica generada por los músculos estriados durante su contracción y se adquiere mediante electrodos superficiales o intramusculares. Tamaño pequeño y fácil de llevar. Diseñado específicamente para controladores Arduino; Compatibilidad fuerte; Cable EMG profesional</p>	<p>\$57.48 (\$4.83 de envío)</p>	<p>Megatronica (Quito)</p>

Los principales sensores de comunicación CxI2C por su uso más común, disponibilidad en el mercado y asequibilidad en costo se presentan a continuación en la **Tabla 16** en la cual se presenta una descripción de funcionamiento del sensor, el precio y el proveedor para su posterior selección y adquisición.

Tabla 16 .*Principales sensores por Comunicación CxI2C.*

Sensores de Comunicación CxI2C	Descripción	Precio	Proveedor
Rayos UV	<p>El Gy-8511 Sensor de Luz Ultravioleta es un módulo que emite una salida analógica al detectar la cantidad de luz ultravioleta detectada gracias al sensor ML8511 UV. Este sensor está equipado con un amplificador interno, que convierte la fotocorriente en voltaje según la intensidad de los rayos UV. La salida analógica está relacionada linealmente con la intensidad UV (mW/cm²). Rango de detección de longitud de onda: 280nm a 390nm (este rango cubre tanto al espectro UV-B como al UV-A). Voltaje de alimentación: 3.3V a 5V. Tipo de salida: analógica. Salida de voltaje analógica lineal: 1V a 3V. Consumo ultra bajo de energía.</p>	\$13.84 (\$5.35 de envío)	PREXYLAB (Cuenca)
Dióxido de Carbono (CO2)	<p>Sensor de gas MG-811 CO2 Dióxido de carbono ideal para detección del mismo gas. El módulo tiene una salida digital a través de un comparador con umbral ajustable y una salida analógica que la puedes medir con cualquier microcontrolador o tarjeta de desarrollo con ADC.</p> <p>Este sensor, está diseñado para capturar el CO2 en el ambiente. “El dióxido de carbono es un gas incoloro, inoloro y vital para la vida en la Tierra. Este compuesto químico encontrado en la naturaleza está compuesto de un átomo de carbono unido con sendos enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. El CO2 existe en la atmósfera de la Tierra como gas traza a una concentración de alrededor de 0,04% (400 ppm) en volumen. Fuentes naturales incluyen volcanes, aguas termales, glaciares y es liberado por rocas carbonatadas al diluirse en agua y ácidos.</p> <p>Dado que el CO2 es soluble en agua, ocurre naturalmente en aguas subterráneas, ríos, lagos, campos de hielo, glaciares y mares. Está presente en yacimientos de petróleo y gas natural.</p>	\$ 69.59 (\$5.60 de envío)	ElectroStore (Riobamba)

De acuerdo a los criterios como aplicación comúnmente de los sensores, asequibilidad, disponibilidad en el mercado, de costo reducido, se ha seleccionado de cada tipo uno o dos sensores que se presentan a continuación en la **Tabla 17**

Tabla 17

Sensores seleccionados.

Sensores	Tipo de Señal
Pulso Cardíaco	Análogo de Bioseñales
Presión y Fuerza	Análoga de Propósito Especifico
Temperatura y Humedad	Digital Tren de Pulsos
Calidad de Aire	Digital Tren de Pulsos
Rayos UV	Comunicación CxI2C
Presencia	Digital Estados Lógicos

3.6.2. Etapa de Acoplamiento: Selección de Hardware de Acoplamiento

Este criterio es adecuado para acoplar entre el sensor y el sistema que procesa su información. Además, las etapas de filtrado permiten eliminar componentes de una manera efectiva. Este proceso se lo puede realizar mediante el uso de amplificadores operacionales. Ya que sus principales aplicaciones se encuentra el desarrollo de filtros y funciones matemáticas en base a elementos resistivos, capacitivos e inductivos. Por esta razón, los filtros continuos o considerados como impulso infinito (IIR) con sus debidas aproximaciones son los adecuados para este criterio. A continuación, en la **Tabla 18** se hace una breve descripción de las estructuras de filtros para posteriormente elegir y diseñar el filtro del sistema de acoplamiento.

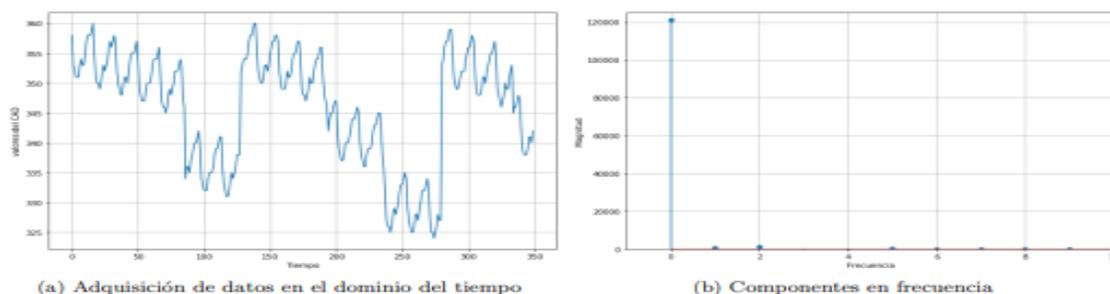
Tabla 18.*Descripción de estructuras de filtros.*

Estructura Filtros	Descripción
Butterworth	Es una aproximación para contar con una respuesta plana, su banda de transición sea la mejor posible y tenga una banda eliminada con mayor perdida.
Bessel	Esta aproximación tiene una región de transición adecuada. Sin embargo, no cuenta con una banda de respuesta plana.
Chebyshev	Cuenta con la mayor perdida en las bandas eliminadas, pero tiene un rizo en su banda pasante. Sin embargo, al aumentar el filtro, estos errores tienen a disminuir.
Sallen-Key	Es un tipo de filtro electrónico activo particularmente valioso por su simplicidad. El circuito produce un filtro pasa bajo o pasa alto de dos polos usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador. Para obtener un filtro de orden mayor se pueden poner en cascada varias etapas
Multiple Feedback	A diferencia del anterior filtro Sallen-Key, MFB Posee el sistema de retroalimentación para mejorar la etapa de ganancia

- Filtros en base a la frecuencia de trabajo:** Las frecuencias de trabajo son consideradas bajas, donde sus principales componentes se basan en un rango entre 0 a 300Hz. Teniendo en consideración que en frecuencias muy cercanas a 2 Hz son consideradas como ruido o componentes de voltaje continuo no deseable ocasionadas por los elementos electrónicos empleados. En este sentido, se emplea la transformada rápida de Fourier para transformar esta señal que se encuentra en el dominio del tiempo, para convertirla en el dominio de la frecuencia como se muestra la señal en la **Figura 29**. Con ello, se puede conocer las componentes de energía existentes en la señal. Donde se puede apreciar las componentes principales, sus armónicos y los errores presentes. Un proceso recomendable para conocer los errores de la placa de acoplamiento es adquirir datos a una frecuencia previamente establecida componentes sin tener ninguna conexión en el conversor análogo-digital, al transformar esta señal al dominio de la frecuencia, se puede apreciar los componentes en voltaje continuo considerado como error.

Figura 29.

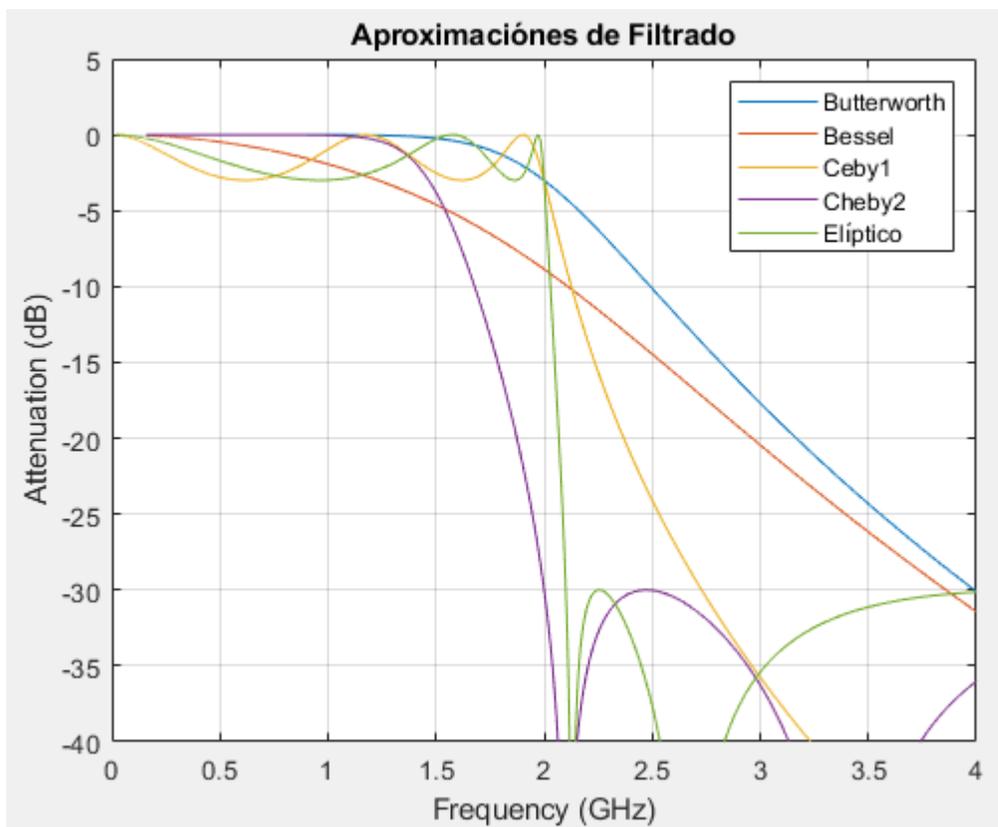
Componentes de voltaje continuo en la transformación de la señal.



A continuación, en la **Figura 30** se observa los tipos de aproximaciones de filtrado mencionados anteriormente en el apartado de Filtrado del Capítulo de Fundamentación Teórica como son: Bessel, Butterwoth, Chebyshev y Eliptica.

Figura 30.

Respuesta en frecuencia de los filtros.

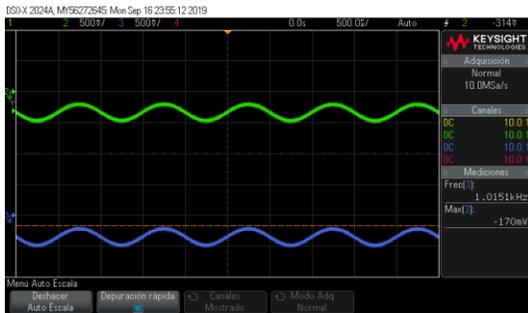


Nota: Adaptada de (MathWorks, 2023). A partir de la figura se observa que la aproximación más estable con respecto a variaciones de Atenuación con respecto a la respuesta en Frecuencia, la señal azul que corresponde a la aproximación Butterworth se muestra con menor variaciones y una respuesta más estable, por consiguiente, se toma esta aproximación para desarrollar el proceso de acoplamiento del sistema.

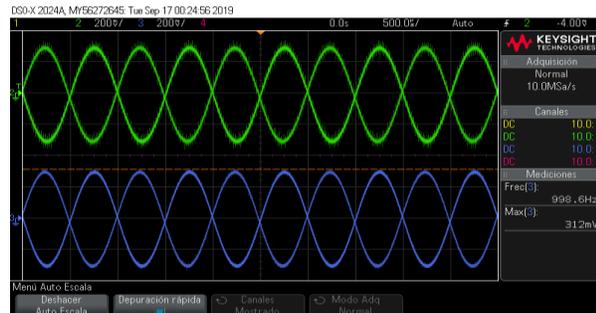
- **Selección Amplificadores operacionales:** Para seleccionar el amplificador operacional adecuado se ha realizado una prueba mediante el uso de un generador de onda sinusoidal y un lector de señales, se ha realizado la medición con los siguientes amplificadores operacionales: En las Figura 31 se muestra la señal producto del generador en color verde y la señal en la salida de los AOP de color azul.

Figura 31.

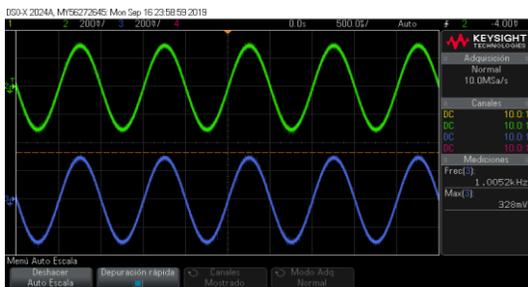
Prueba de diferentes amplificadores operacionales.



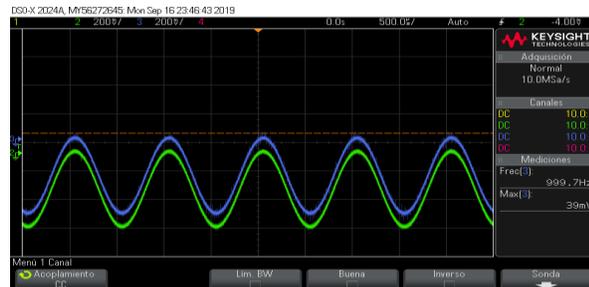
a) LF353



b) LF357



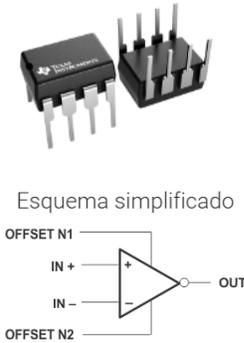
c) LM324N



d) UA741

En las gráficas resultantes obtenidas a través de un osciloscopio se observa que en la respuesta del amplificador operacional UA741 la señal de salida es mayormente semejante a la señal de entrada en cuanto a la fase y amplitud, por consiguiente, sería el más idóneo a utilizar para el sistema por su estabilidad en la señal resultante, a continuación, en la **Tabla 19** se presenta una descripción y las características principales de este amplificador.

Tabla 19.*Amplificador Operacional UA741.*

AOP UA741	Descripción	Características	Precio
 <p>Esquema simplificado</p> <p>(Texas Instruments, 2023)</p>	<p>El dispositivo $\mu A741$ es un amplificador operacional de propósito general con capacidad nula de voltaje compensado.</p> <p>El alto rango de voltaje de entrada de modo común y la ausencia de enganche hacen que el amplificador sea ideal para aplicaciones de seguimiento de voltaje.</p> <p>El dispositivo está protegido contra cortocircuitos y la compensación de frecuencia interna garantiza la estabilidad sin componentes externos. Se puede conectar un potenciómetro de bajo valor entre las entradas nulas de desplazamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de Operación DC: ± 22 V (Típico) • Amplificadores Operacionales por Integrado: 1 • Circuitos Integrados Equivalentes: NTE941M, 941M, LM741, CUA741CP, NTE941 • Ancho de Banda (GBP): 1 MHz • Proporción de Rechazo de Modo Común (CMR): 90 dB • Voltaje OffSet de entrada típico: 1 mV 	<p>\$ 1.00</p> <p>Mundo Electrónico (Ibarra)</p>

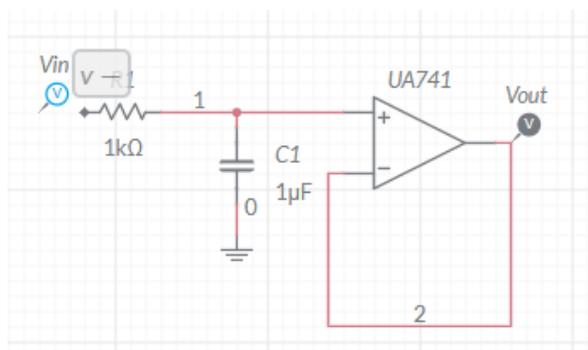
para anular el voltaje de compensación

- Compensado en frecuencia internamente
- Alta ganancia
- Salida protegida contra corto circuito continuo

La señal se ha obtenido a través de un filtro de primer orden con retroalimentación negativa lo que permite que a curva en ambos casos desciende lentamente hasta su nivel más bajo. Lo ideal sería que el filtro tuviera una forma más cuadrada de manera que las frecuencias indeseables fueran totalmente eliminadas para su selección. Como se muestra en la **Figura 32**.

Figura 32.

Circuito de filtro de primer orden para pruebas de AOP.



3.6.3. Selección Software Acoplamiento para Pruebas de Funcionamiento

A pesar de que los componentes de hardware son muy adecuados, en algunas ocasiones es necesario asegurar el proceso de adquisición de datos al realizar el suavizado o filtrado de la señal mediante software. Esto se debe a la posibilidad de almacenar componentes para un mejor análisis de la señal. Además, debido a la complejidad y la frecuencia de los datos mediante protocolos de comunicación que generan los trenes de pulsos en el caso de los sensores que presentan

comunicación I2C. Es por ello, que se debe realizar una comparativa de la señal mediante Matlab aplicando aproximaciones digitales como Butterworth, Chebyshev, Sabitzky-Golay, de esta manera seleccionar una adecuada para este tipo de señales de sensores.

3.7. Diseño del Circuito del Sistema de Acoplamiento

De acuerdo a las condiciones de respuesta en frecuencia de filtros, se diseña un filtro activo pasa banda desde 5Hz hasta los 1000 Hz. Donde los requerimientos de funcionamiento son: (1) la banda de transición debe ser lo más rápida posible para limitar su rango de frecuencias y que no exceda el orden del filtro (superior a 7) para no aumentar el uso de elementos electrónicos.

Para ello se definieron parámetros para las bandas de rechazadas. Estos son (2) banda rechazada de -40dB, (3) banda de transición de -20dB y (4) una ganancia de 10dB. Se usa una estructura Sallen-Key por ser de mayor simplicidad en diseño y presentar un buen comportamiento en señales de baja frecuencia. Como resultado, se asegura la calidad del filtro. Se plantean aproximaciones para el diseño del filtro con resultados del estudio de los anexos ANEXO B, ANEXO E y como referencia de (Gizlenmişir, 2018) que la aproximación que mejor se adapta a las frecuencias planteadas es la Butterworth. Ya que tiene una respuesta plana en la banda pasante y menor caída en la transición de frecuencias de corte.

El diseño correspondiente del filtro pasa banda de tipo Butterworth como se mencionó anteriormente ofrece una aproximación estable con respecto a la respuesta en frecuencia de los filtros y está realizado en dos etapas. La primera, es un diseño de filtro pasa bajo, el cual como su nombre lo indica permite el paso de frecuencias por debajo de la frecuencia de corte. La segunda, es un filtro pasa alto el cual su funcionamiento es inverso al anterior, obteniendo así un filtro de tipo Butterworth pasa banda. Como se trató en la sección de filtrado del capítulo de fundamentación teórica lo ideal sería eliminar todas las frecuencias indeseables para lo cual se incrementa el orden de los filtros de esta manera se establece en la primera etapa un filtro de orden 6 pasa baja y la siguiente etapa un filtro pasa alto de orden 2. Con la estructura establecida, se seleccionan los componentes electrónicos por medio de la ecuación XVII y haciendo uso de los datos presentes en la tabla de ANEXO B en la que se consideran los coeficientes de aproximación Butterworth según el orden de los filtros y el número de subetapas correspondiente a cada orden:

$$R_{1,2} = \frac{a_i C_2 \pm \sqrt{a_i^2 C_2^2 - 4b_i C_1 C_2}}{4\pi f_c C_1 C_2} \quad \text{XVII}$$

$$C_2 > C_1 \frac{4b_i}{a_i^2} \quad \text{XVIII}$$

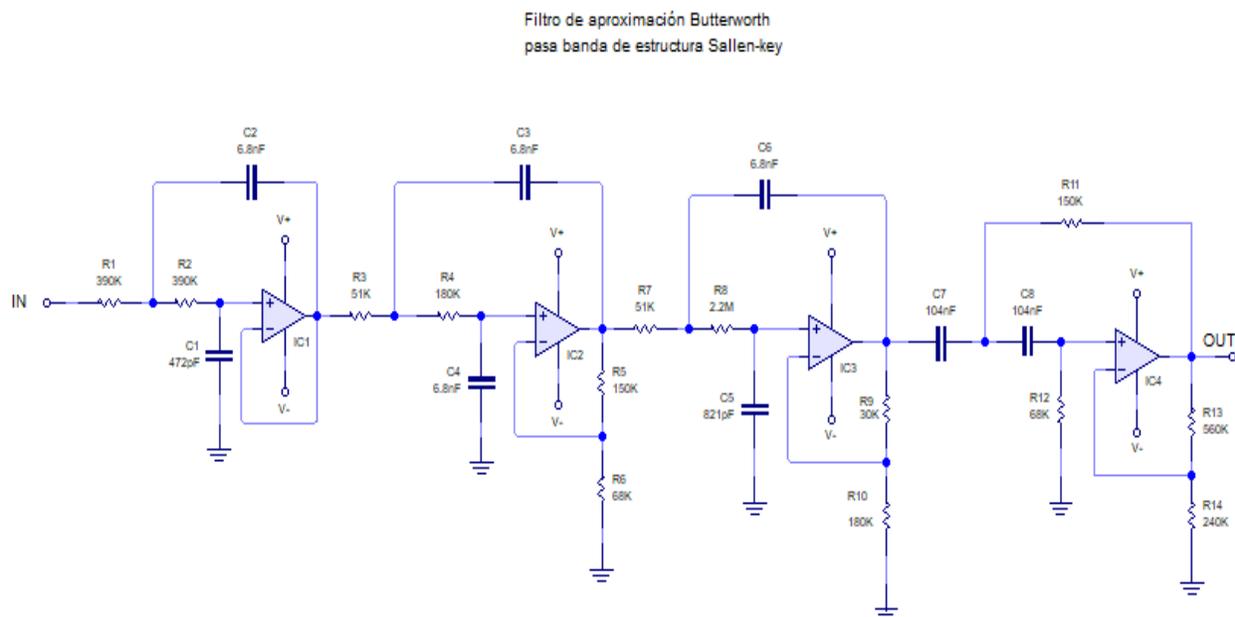
Donde a_i y b_i son los coeficientes de la aproximación reflejados en su tabla estándar de diseño de filtros. Como resultado, se muestra el circuito a realizar con los valores específicos de resistencias y capacitores.

3.7.1. Circuito del Sistema de Acoplamiento.

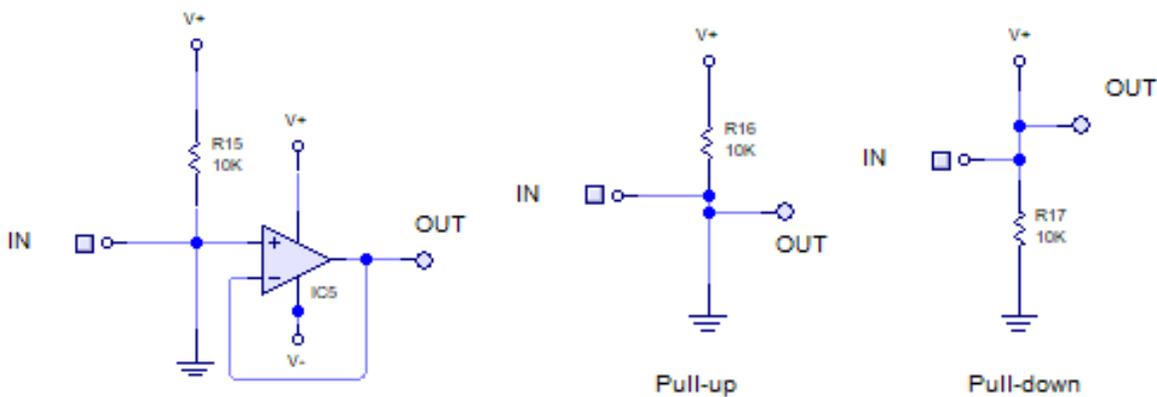
De acuerdo a lo establecido en los ítems previos el sistema cuenta con tres secciones de filtrado de la señal obtenida a través de los sensores según el tipo de señal del sensor, una primera etapa pasa banda de una aproximación Butterworth para los sensores de señales análogas-bioseñales como se muestra en la **Figura 33 a**, una segunda etapa de retroalimentación y una resistencia que establece un pul-up para señales análogas-propósito específico **Figura 33 b**. Por último, una etapa que establece estado pull-up o pull-down para sensores de señal digital - estados lógicos como se muestra en la **Figura 33 c**. Posteriormente se ha diseñado por medio del software PCB Wizard el sistema para su implementación en la placa en donde se ha aplicado las recomendaciones presentes en la sección 2.8 del capítulo de fundamentación Teórica obteniendo como resultado el circuito presente en la **Figura 33 d**.

Figura 33.

Diagrama de circuito del sistema de acoplamiento de señales.

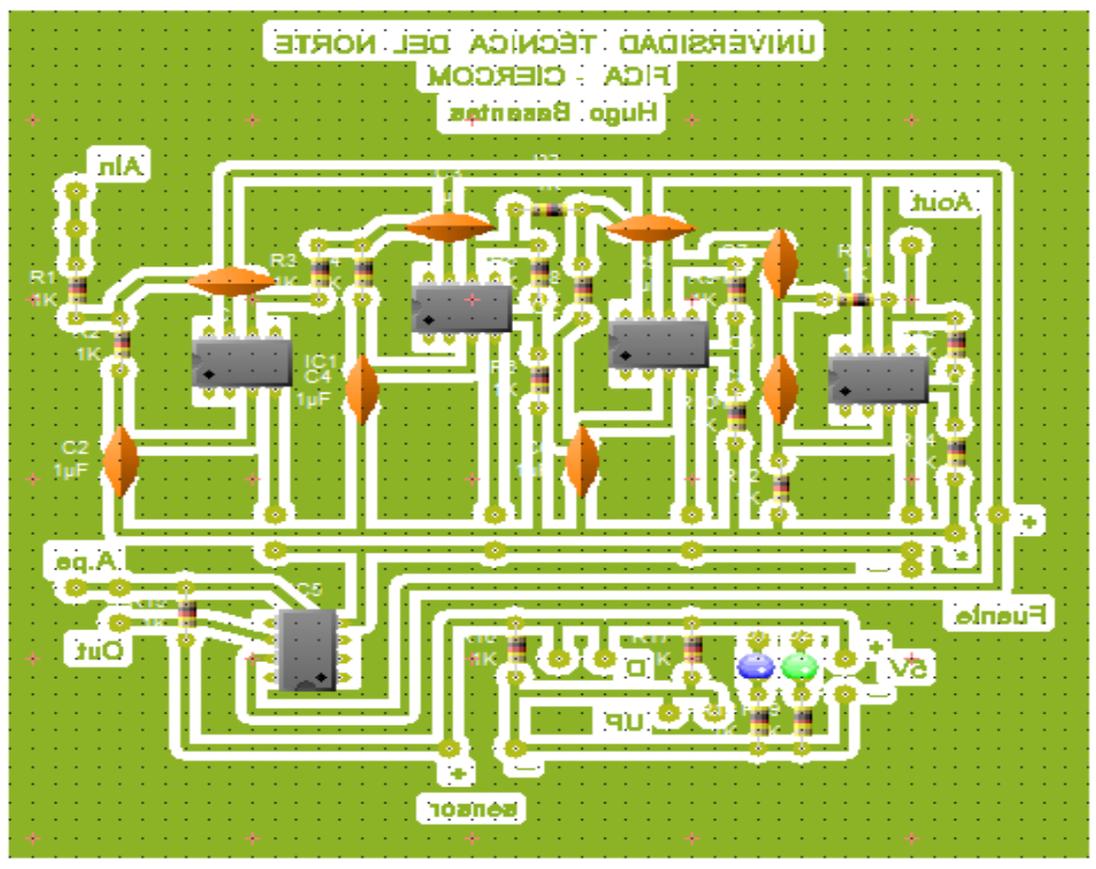


a) Diagrama del circuito para suavizado de bioseñales



b) Diagrama del circuito suavizado señales
Análogas - Propósito específico

c) Diagrama del circuito para señales
Digitales- Estados lógicos



d) Diseño del PCB del sistema de acoplamiento

3.8. Determinación de Ambientes de Sensores y Pruebas del Sistema

Para la implementación del sistema de acoplamiento es necesario definir el ambiente en el cual se tomarán las señales de sensores para las pruebas correspondientes de funcionamiento, los cuales se detallan en la **Tabla 21**, en la cual se muestra el sensor y el ambiente o la forma en la cual se procederá a realizar las pruebas de funcionamiento las cuales se tomarán entre 200 a 1000 muestras dependiente el funcionamiento de cada sensor para graficar la señal.

Tabla 20

Ambientes de adquisición de señales.

Sensor	Ambiente
Pulso Cardiaco	Se coloca el sensor en el lóbulo de la oreja o en un dedo y conectado al sistema embebido, se procede a leer la frecuencia cardiaca cada 0.1 segundos 500 muestras de la señal.
Presión	El proceso se inicia tomando muestras cada 0.5 segundos aplicando diferente fuerza o presión en la zona del sensor con el dedo pulgar, estos toques se dividen en cuatro tipos, siendo toques muy leves, leves, de mediana fuerza y de bastante presión.
Presencia	El proceso de adquisición de datos se realizan pruebas de presencia de una persona a una distancia de 1 metro del sensor. La persona se muestra frente al sensor en intervalos de 3 segundos en su rango de detección infrarroja y en los siguientes 3 segundos se aleja del rango de detección para permitir que el sensor vuelva a estar funcional y tomar una nueva lectura.
Temperatura	Para este proceso de adquisición de datos se utilizará hielo para simular un ambiente frio en un recipiente para tomar medidas de temperatura y humedad acercando al sensor, por otra parte, se hace uso de un cautín para simular un ambiente cálido con menor humedad por intervalos de 20 segundos se alternará entre un ambiente y otro, tomando muestras cada 0.5 segundos.
Calidad de aire MQ-135	Para este proceso se realiza con el sensor de gas MQ135 que se emplea en una caja de pruebas pequeña con un emisor de gas (encendedor) Cada minuto el gas ingresa al sistema para la adquisición de datos y en el siguiente minuto se quita el sensor de la caja para eliminar la contaminación y regularizar las muestras.
Rayos UV	El sensor de rayos ultravioletas (UV) muestra el índice de radiación provenientes del sol. Para la obtención de muestras se realiza una exposición

en el aire durante un periodo de 30 minutos en intervalos de 5 segundo cada muestra.

4. CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentarán las pruebas de funcionamiento y los resultados obtenidos del sistema de acoplamiento físico de señales a Arduino. El sistema tiene como objetivo permitir la conexión de diferentes sensores a una placa para reducir errores, ruido y permitir mayor estabilidad en la señal que será receptada por Arduino para su procesamiento y aplicación. Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para evaluar el rendimiento y la precisión del sistema, asegurando su correcto funcionamiento antes de su implementación en aplicaciones prácticas.

Las pruebas de funcionamiento se llevaron a cabo en un entorno controlado utilizando una variedad de sensores y se diseñaron pruebas específicas para evaluar diferentes aspectos del sistema, como la precisión en valores, la estabilidad de la señal, la reducción de ruido y la compatibilidad con diferentes tipos de sensores.

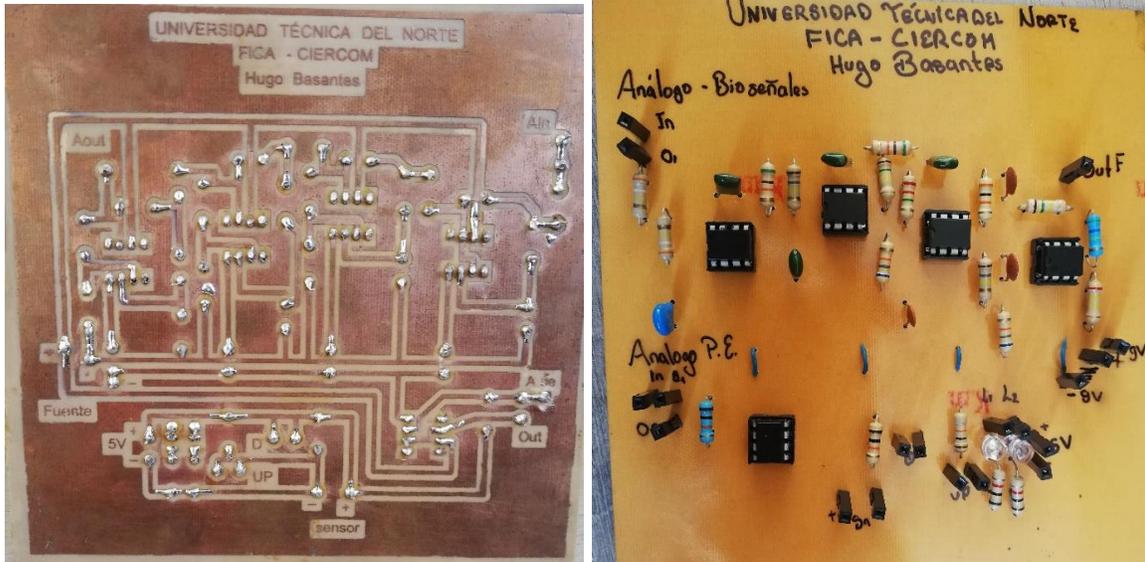
Durante las pruebas, se realizaron mediciones y se compararon los resultados obtenidos por el sistema con los valores de referencia establecidos y con la aplicación de métodos preestablecidos por medio de Matlab para comparar resultado y obtener una conclusión acerca del funcionamiento. Se evaluaron parámetros como la lectura analógica, la digitalización de señales, la capacidad de respuesta, reducción de rizado, estabilidad de la señal dependiendo de cada sensor utilizado. Además, se verificó la integridad de la señal transmitida y las señales resultantes.

4.1. Implementación del Circuito de Acoplamiento

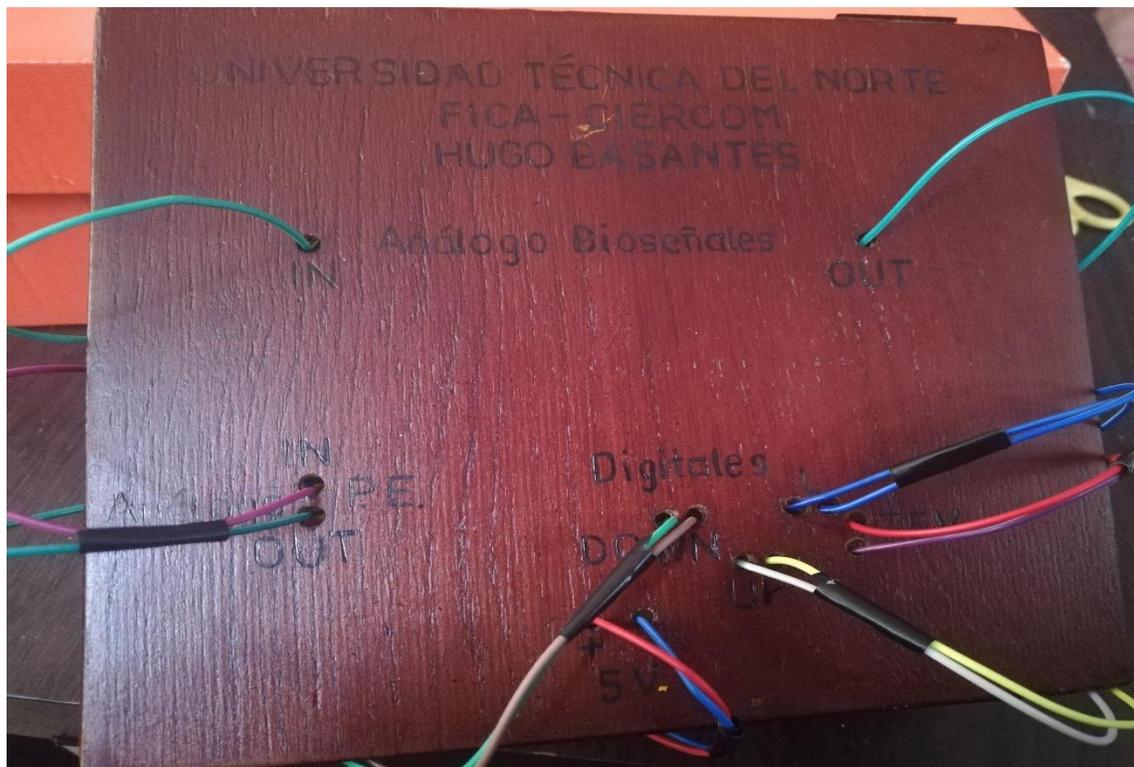
En este apartado se procede a la implementación de la Placa de Circuito Impreso de acuerdo al diseño planteado mediante el software PCB (Printed Circuit Board) se ha realizado el diseño de ubicación de elementos, posicionamiento de líneas de conexión entre ellos, puntos para conexión de alimentación y líneas de conducción hacia los diferentes elementos en la placa del circuito como se muestra en la **Figura 34 a**. Posteriormente se procede a Imprimir el diseño en una placa de cobre y la cual se procesa mediante un planchado de la hoja, disolver en acido y finalmente soldar los elementos, obteniendo como resultado la placa que se observa en la **Figura 34 b y c**.

Figura 34

Placa del circuito del sistema de acoplamiento.



a) PCB del sistema de acoplamiento posterior b) PCB elementos del sistema



c) Sistema de Acoplamiento en su caja de presentación

4.2.Pruebas de Funcionamiento

Las pruebas de acondicionamiento de la señal del sensor están diseñadas para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos del sensor, estas pruebas son esenciales para verificar la funcionalidad de los circuitos e identificar cualquier problema potencial que pueda afectar la precisión de la señal. Estos circuitos se utilizan para amplificar, filtrar y convertir la salida del sensor sin procesar en una señal que se puede utilizar para su posterior procesamiento o análisis. Estos circuitos pueden incluir amplificadores, filtros y otros componentes que se utilizan para modificar la señal para reducción de ruido y errores den la señal.

Durante las pruebas de acondicionamiento de la señal del sensor, se evalúan varios parámetros de rendimiento, como la ganancia, la linealidad, el ancho de banda, el ruido y la distorsión. Los resultados de estas pruebas se utilizan para identificar cualquier problema o anomalía en el circuito de acondicionamiento de señales y para determinar las acciones correctivas apropiadas. De esta manera se divide las pruebas en tres secciones, sin acoplamiento, con acoplamiento y finalmente se realiza las pruebas aplicando suavizado de señales digitales y análogos por medio de Matlab. De esta manera se obtendrán valores de cada señal de los sensores para posteriormente realizar la comparativa de la placa de acoplamiento con las tres señales resultantes obtenidas.

4.2.1. Pruebas de Sensores Sin Acoplamiento.

La prueba de señales de sensores sin acoplamiento generalmente implica verificar la salida de cada sensor independientemente de cualquier otro sensor o sistema de control en este caso directamente a Arduino mediante los algoritmos de programación presentes en el ANEXO C. Este tipo de prueba es importante para garantizar que cada sensor funcione correctamente y proporcione datos precisos en la **Tabla 22** se muestra un breve resumen de las pruebas realizadas en esta sección.

Tabla 21

Resumen Pruebas sin Acoplamiento.

Test	Tipo de Señal	Sensor	Descripción
1	Análoga Propósito Específico	Presión o Fuerza FSR402	Se adquiere la señal de datos del Sensor FSR402 de Presión/Fuerza en intervalos de 10 segundos presionando el sensor conectado directamente al sistema embebido Arduino Uno.
2	Digital Estados Lógicos	Presencia o Movimiento PIR	Se ha obtiene la señal de datos del Sensor PIR de Presencia/Movimiento en intervalos de 10 segundos una persona se coloca dentro del rango de detección del sensor.
3	Análoga Propósito Específico	Calidad de Aire MQ- 135	Se obtiene la señal de datos del sensor MQ-135 de calidad de aire, durante intervalos de 30 segundos se pone el sensor en una caja en la cual se pone humo de un encendedor y se retira el sensor de la caja durante los siguientes 30 segundos, conectado directamente al sistema embebido Arduino Uno.
4	Análoga Bioseñales	Pulso Cardiaco	Se obtiene la señal de pulso cardiaco al poner el dedo en el sensor conectado al sistema embebido directamente.
5	Digital tren de pulsos	Temperatura DHT-11	Se obtiene la señal de temperatura del sensor DHT11 con la ayuda de hielo para simular temperaturas de un ambiente frío y un caudín para aumentar la temperatura y simular un ambiente caliente por intervalos de 20 segundos entre cada ambiente, el sensor conectado al sistema embebido directamente.

6	Comunicación CxI2C	Rayos Ultravioleta	Se obtiene la señal de los rayos ultravioletas por medio de la exposición del sensor UV al aire libre en intervalos de 1 minuto durante 30 minutos, con muestras cada 5 segundos conectado al sistema embebido.
---	-----------------------	-----------------------	---

- **Test 1: Sensor de Presión/Fuerza:** este proceso se realiza conectando el sensor FSR402 con Arduino Uno como se muestra en la **Figura 35** se conecta un pin del sensor directamente a la alimentación de 5V de Arduino, se conecta el otro pin en la entrada Analógica de Arduino Uno A0. Posteriormente se procede a realiza la lectura de la señal, se ha tomado muestras en intervalos de 10 segundos alternando la aplicación de presión entre 30 a 40 N lo que hace que el sensor reduzca su resistencia entre 400 a 300 Ω obteniendo como resultado la señal que se presenta en la **Figura 36**.

Figura 35

Conexión Sensor de Presión/Fuerza con Arduino Uno.

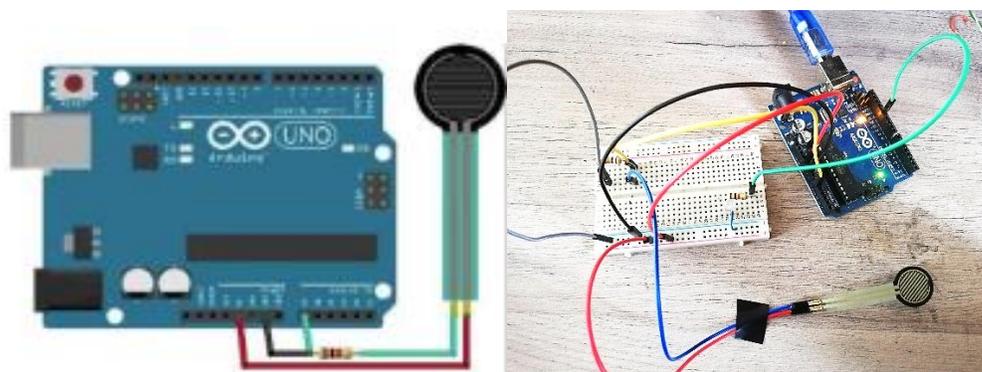
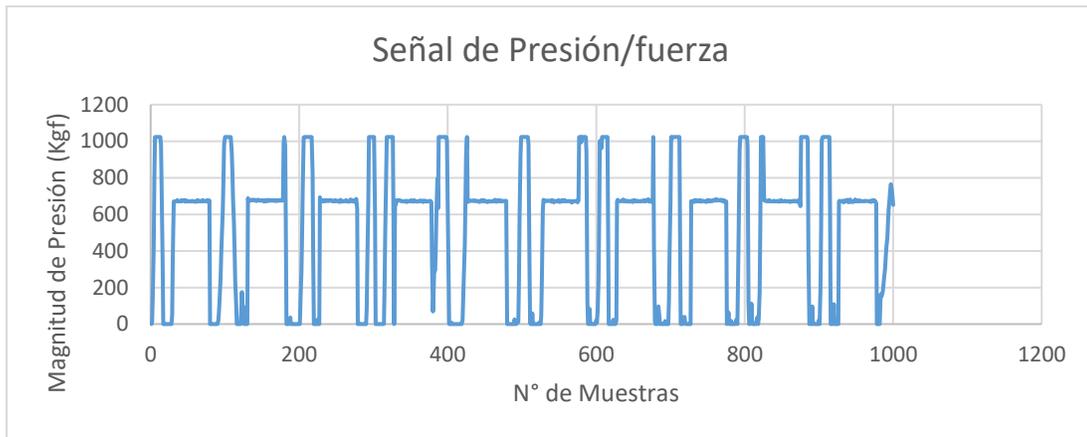


Figura 36

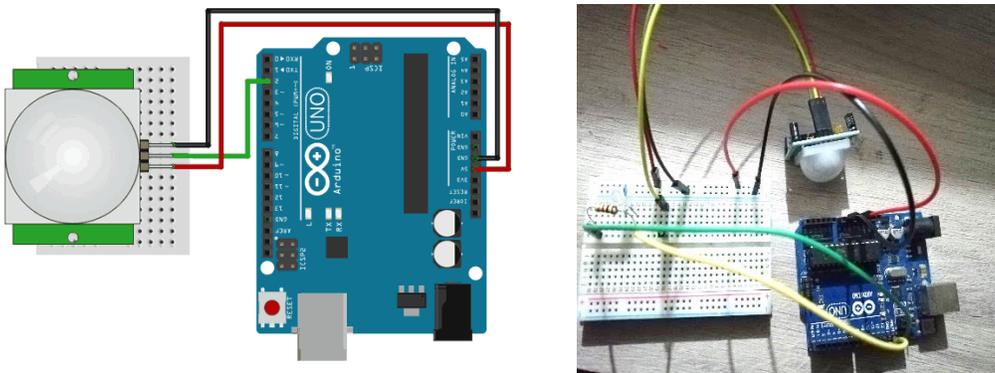
Señal del sensor de Presión/Fuerza FSR402.



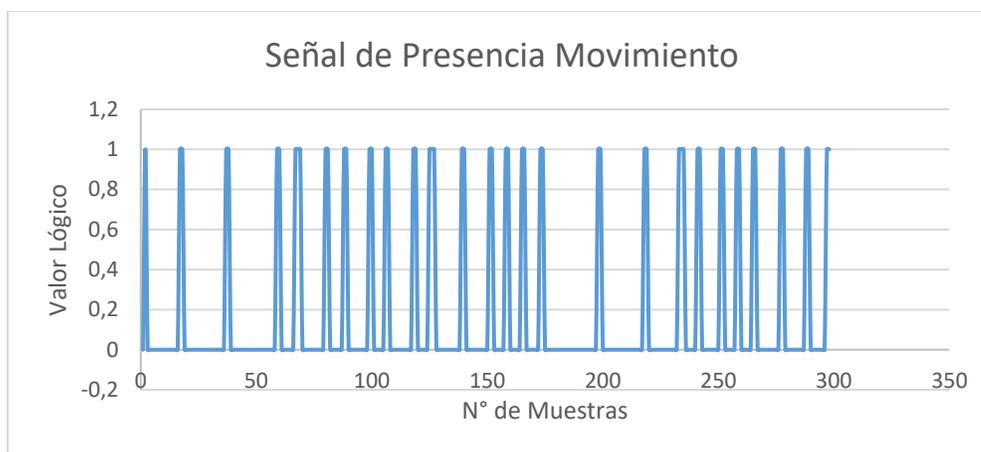
- Test 2: Sensor de Presencia/Movimiento:** Este tipo de sensores son estacionarios. Esto se debe a que solo son activados al detectar la existencia de un evento. Por tal razón, solo envía un pulso digital para su posterior tratamiento. Como se muestra en la Figura 38 se conecta el sensor con el sistema embebido y se realiza el proceso de adquisición de datos con la presencia de una persona a una distancia de 1 metro del sensor. La persona cada 20 segundos se mostraba al frente del sensor y en los siguientes 10 segundos se aleja del rango de detección. Para esta prueba se ha tomado 300 valores del estado del sensor para graficar la señal.

Figura 37.

Toma de datos estacionarios con sensor PIR digitales-estados lógicos.



a) Conexión del sensor de Presencia o Movimiento PIR y Arduino

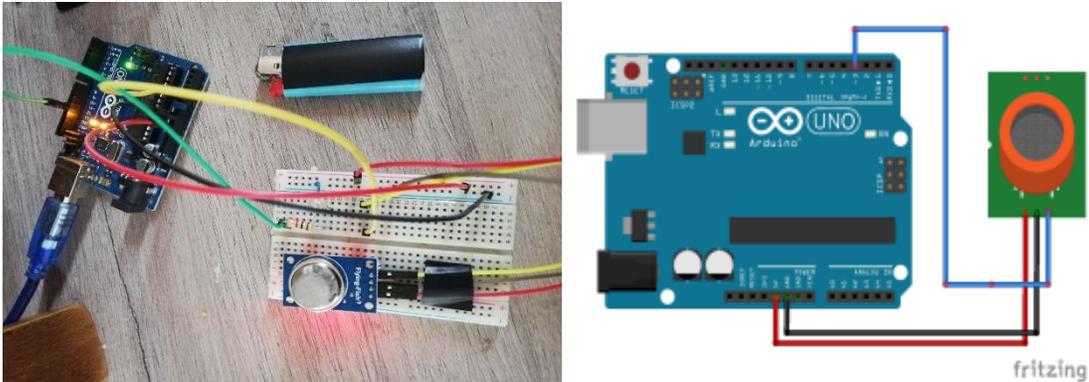


b) Señal de Sensor de presencia/movimiento

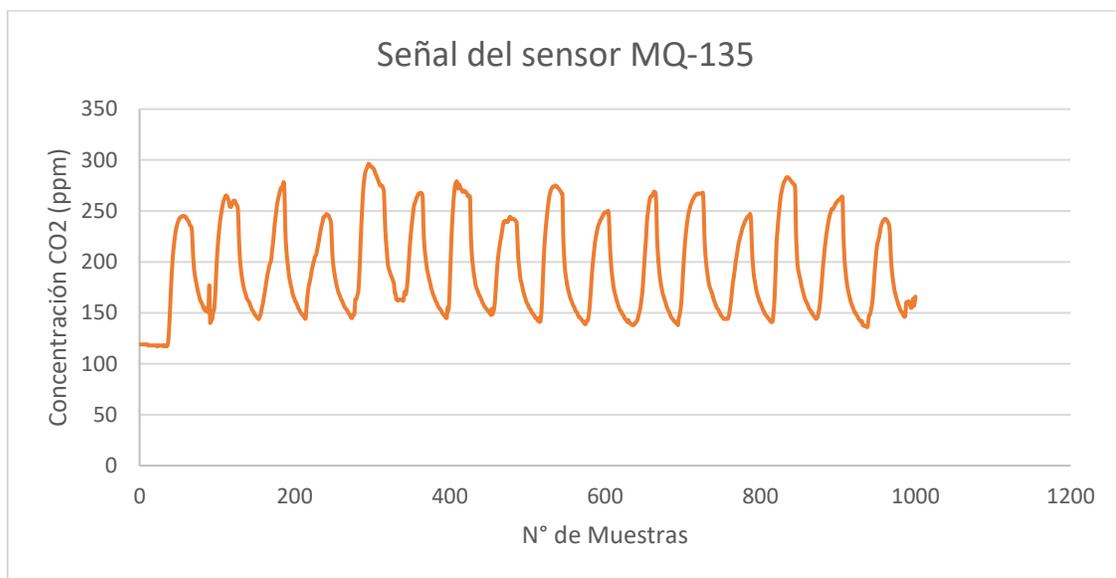
- Test 3: Sensor de Calidad de Aire:** El sensor de gas MQ 135 fue empleado conectando al sistema embebido en este caso Arduino Uno como se observa en la **Figura 38 a**. Los datos de salida del sensor MQ135 pueden tener la forma de un voltaje analógico o una señal digital. El voltaje analógico es proporcional a la concentración del gas detectado. Para la prueba se ha utilizado una caja pequeña de pruebas y con un emisor de gas (encendedor), cada 30 segundos se coloca la caja de prueba sobre el sensor dejando una hendidura por la cual se ingresa el humo al sistema para la adquisición de datos y en el siguiente periodo de 30 segundos se quita la caja para reducir la contaminación como se muestra en la **Figura 38 b**. Cabe recalcar que a pesar de que el sistema elimina de aceptable forma el humo, el ambiente se contamina rápidamente y el sensor tiende a tener fallos.

Figura 38.

Conexión de sensor de gas con Arduino.



a) Conexión sensor MQ135

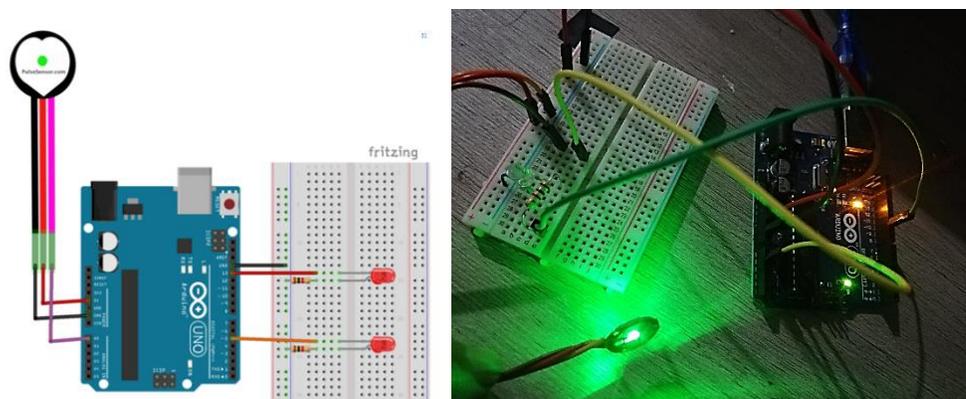


b) Señal obtenida de la prueba con el sensor

- Test 4: Sensor de Pulso Cardíaco:** El sensor de Pulso cardíaco se coloca el dedo índice y se conecta con Arduino como se muestra en la **Figura 39** y también se conectan dos leds a los puertos digitales 13 y 5 del Arduino que funcionaran el uno cuando se detecte una lectura encenderá su luz y el otro cuando detecte una lectura decrementara su intensidad de luz. Se procede a tomar la medición cada 0.01 segundos obteniendo 1000 muestras de la señal. Cabe mencionar que la lectura en el puerto serial se configura en 115200 baudios para una lectura adecuada para este sensor.

Figura 39

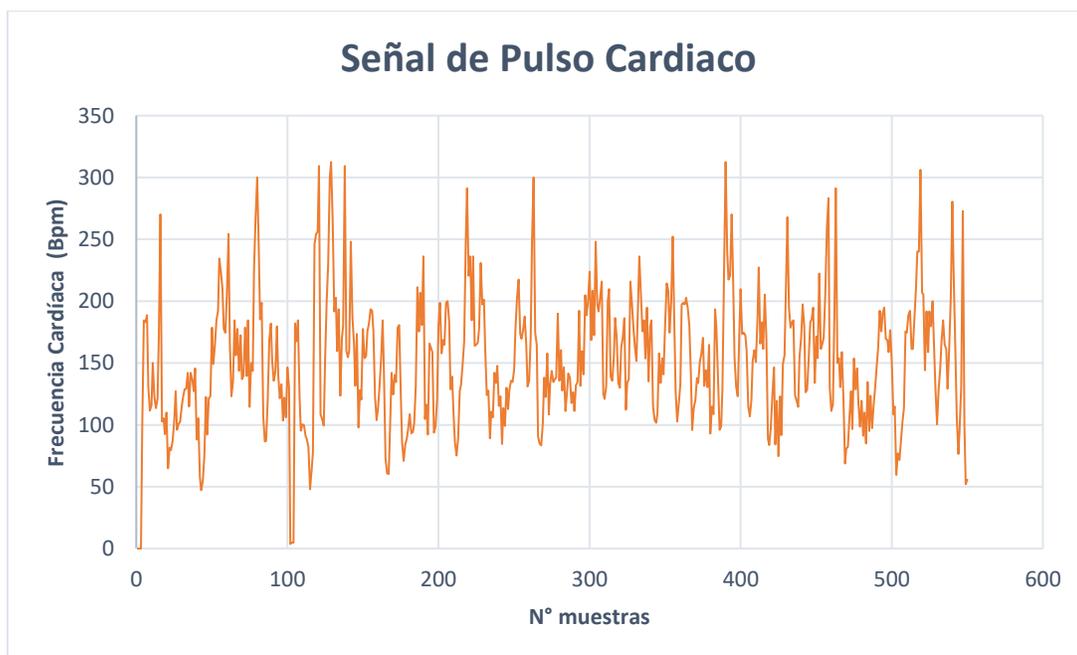
Conexión sensor de pulso cardiaco y Arduino.



En la **Figura 40** se muestra la señal a partir de esta prueba con el sensor en la cual se observa la componente digital señal de color rojo y la señal del sensor en su estado análogo de color verde graficando 500 valores de la señal.

Figura 40

Señal de Pulso Cardíaco.



- Test 5: Sensor de Temperatura y Humedad:** En esta sección, se emplea el sensor de temperatura dht11 En la **Figura 41** se observa la conexión del sensor con Arduino. El proceso de adquisición de datos se basa en contar hielo en un recipiente acercarlo al sensor durante 20 segundos se disminuirá la temperatura rápidamente. Al activar el cautín conectado por 2 minutos se acerca a una distancia de 5cm del sensor lo que hace que se incremente rápidamente la temperatura durante 20 segundos. De esta manera se muestreo a 50Hz y se obtuvo 1000 muestras y se grafica la señal que se puede observar en la **Figura 42**.

Figura 41

Conexión sensor DHT11 y Arduino.

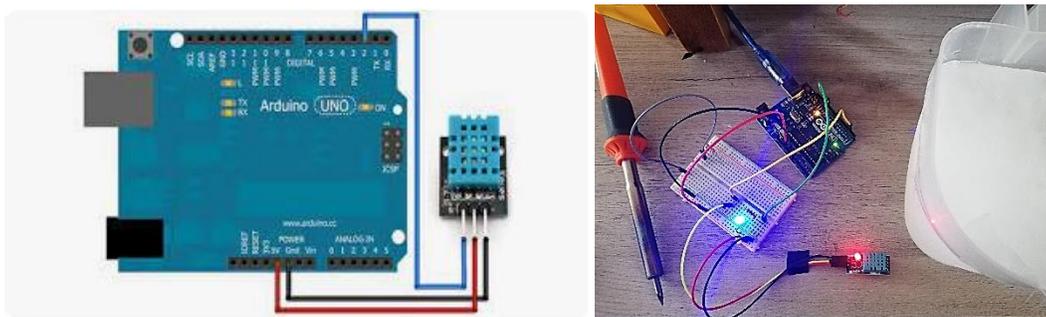
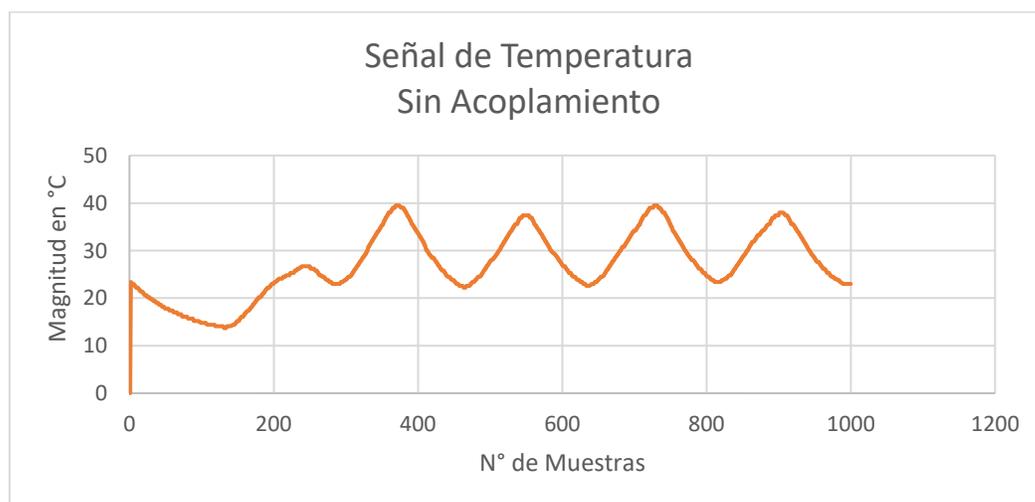


Figura 42

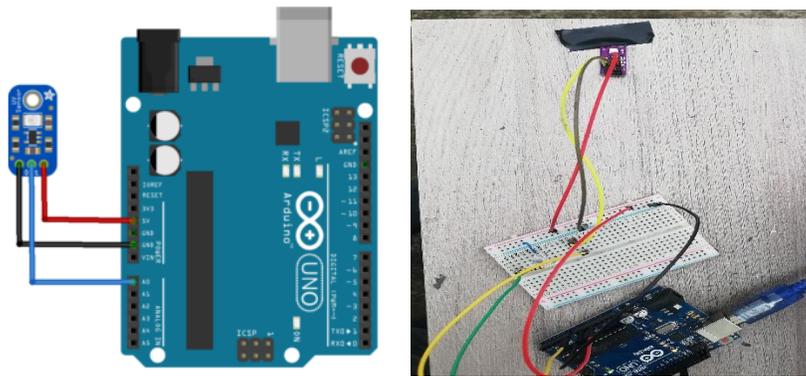
Señal obtenida a partir de las pruebas con el sensor DHT11.



- **Test 6: Sensor de Rayos Ultravioleta:** Los sensores que envían datos por comunicación CxI2C son los más robustos del mercado ya generalmente cuentan con procesador internos que mejora el proceso de adquisición y envío de datos. El sensor de rayos ultravioletas (UV) muestra el índice de radiación provenientes del sol. Para su análisis se realiza la exposición directa por lapsos de 1 minuto para obtener muestras cada 1 segundo. En la **Figura 43** se muestra su conexión con Arduino en los puertos de alimentación y lectura de datos análogos.

Figura 43.

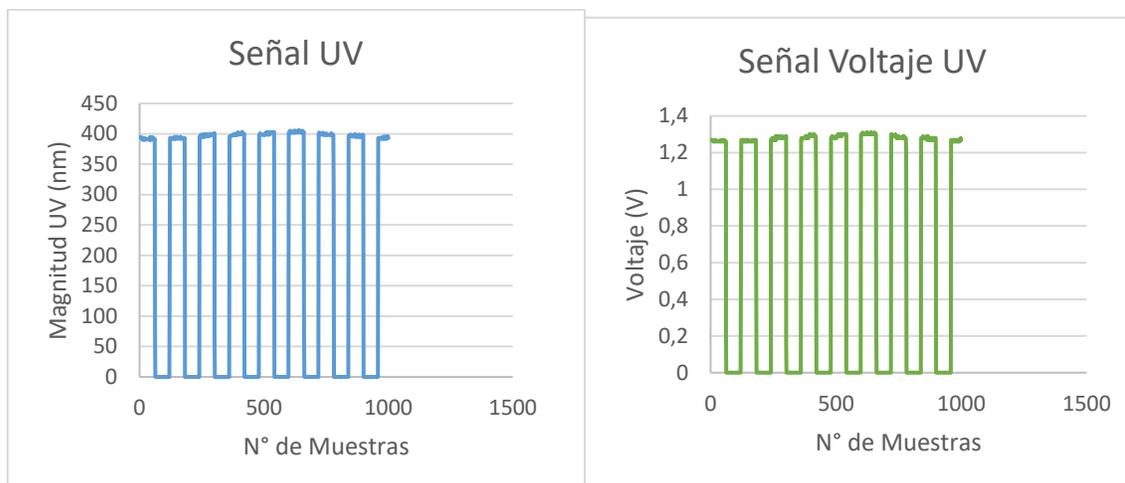
Conexión Sensor UV con Arduino.



Para esta prueba se obtuvo 700 valores de la señal como se muestra en la **Figura 44** se presenta de color azul la señal de rayos UV con valores entre 0 hasta valores cercanos 800 y de color verde la señal de Voltaje oscilando entre los valores de 0 hasta aproximadamente 3 V. Cabe mencionar que los índices UV indican la intensidad de la radiación UV-B según INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) en una escala del 1 al 11 considerando los valores 1-2 (0-199 nm) como baja, 3-5 (200 – 399 nm) como moderada, 6-7 (400-599 nm) como alta, 8-10 (600 -999 nm) como muy alta, 11 (1000-1500 nm) como extremadamente alta.

Figura 44

Señal de rayos ultravioleta y voltaje a través de las pruebas.



4.2.2. Pruebas de Sensores con Acoplamiento

La prueba de señales de sensores con acoplamiento implica evaluar la calidad y la precisión de los datos del sensor para garantizar que sean confiables para la aplicación prevista y se analice los datos del sensor para determinar los tipos y la magnitud de los errores presentes sin acoplamiento en la **Tabla 23** se presenta un breve resumen de las pruebas que se han realizado.

Tabla 22

Resumen de Pruebas con Acoplamiento.

Test	Tipo de Señal	Sensor	Descripción
1	Análoga Propósito Específico	Presión o Fuerza FSR402	Se realiza la toma de la señal del sensor de Presión/Fuerza en este caso se conecta el sensor a la placa de acoplamiento y la salida hacia el sistema embebido Arduino Uno realizando la toma de muestras como en la prueba sin acoplamiento para este sensor.

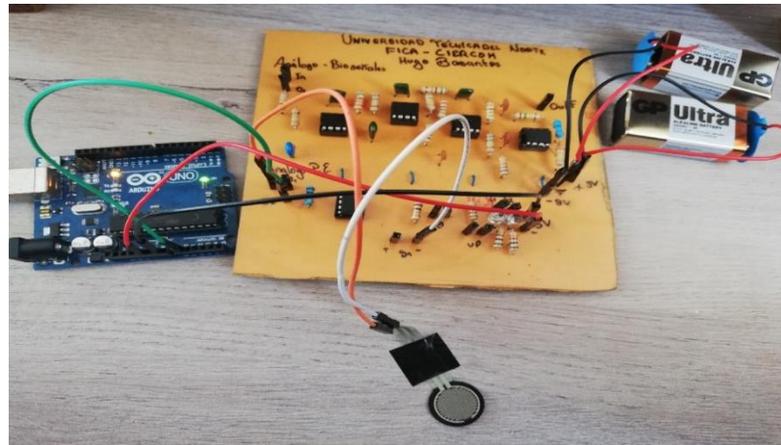
2	Digital Estados Lógicos	Presencia o Movimiento PIR	Se realiza la toma de la señal del sensor de Presencia/Movimiento en este caso se conecta el sensor a la placa de acoplamiento y la salida hacia el sistema embebido Arduino Uno realizando la toma de muestras como en la prueba sin acoplamiento para este sensor.
3	Análoga Propósito Específico	Calidad de Aire MQ- 135	Se realiza la toma de la señal del sensor de CO2 o Calidad de Aire en este caso se conecta el sensor a la placa de acoplamiento y la salida hacia el sistema embebido Arduino Uno realizando la toma de muestras como en la prueba sin acoplamiento para este sensor.
4	Análoga Bioseñales	Pulso Cardíaco	Se realiza la toma de la señal del sensor de Pulso Cardíaco en este caso se conecta el sensor a la placa de acoplamiento y la salida hacia el sistema embebido Arduino Uno realizando la toma de muestras como en la prueba sin acoplamiento para este sensor.
5	Digital tren de pulsos	Temperatura DHT-11	Se realiza la toma de la señal del sensor de Temperatura en este caso se conecta el sensor a la placa de acoplamiento y la salida hacia el sistema embebido Arduino Uno realizando la toma de muestras como en la prueba sin acoplamiento para este sensor.
6	Comunicación CxI2C	Rayos Ultravioleta	Se realiza la toma de la señal del sensor de Rayos Ultravioleta en este caso se conecta el sensor a la placa de acoplamiento y la salida

hacia el sistema embebido Arduino Uno realizando la toma de muestras como en la prueba sin acoplamiento para este sensor.

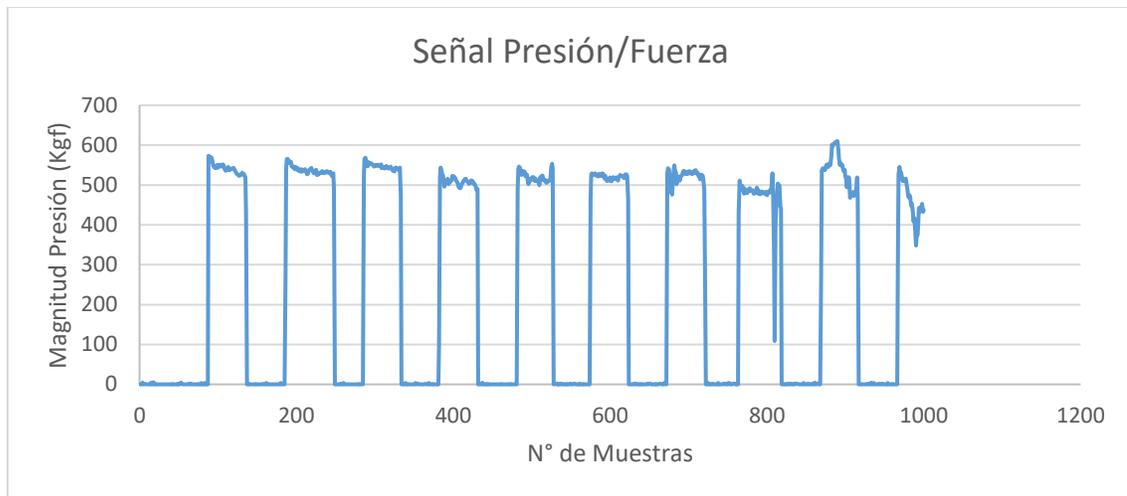
- **Test 1: Sensor de Presión/fuerza:** Este proceso se realiza conectando el sensor FSR402 con la placa de acoplamiento y la salida con Arduino, se ha tomado 500 muestras en intervalos de 10 segundos alternando la aplicación de presión entre 30 a 40 N lo que hace que el sensor reduzca su resistencia entre 400 a 300 Ω obteniendo como resultado una señal como se puede observar en la **Figura 45 b**.

Figura 45

Señal resultante del pulso cardiaco con acoplamiento.



a) Acoplamiento de la señal de Presión/Fuerza

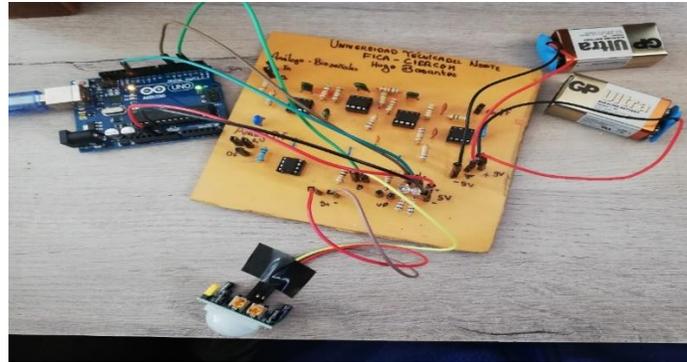


b) Señal obtenida de la placa de acoplamiento a partir del sensor de Presión/Fuerza

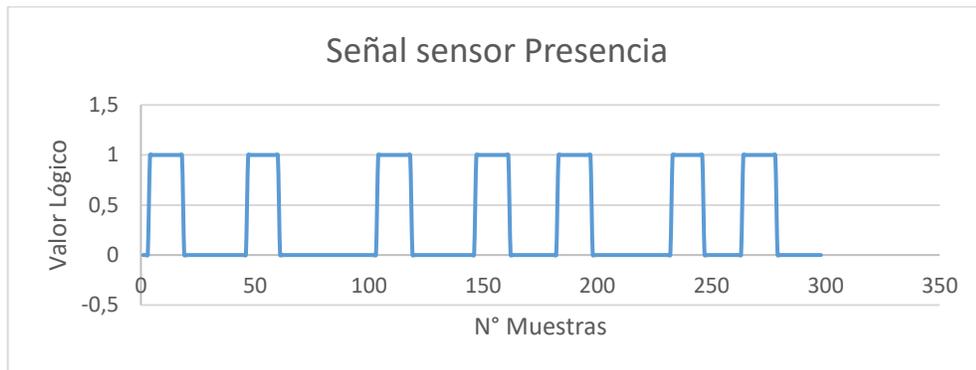
- **Test 2: Sensor de Presencia/Movimiento con Acoplamiento:** Este sensor como se mencionó en la Prueba 3 son activados al detectar la existencia de un evento y envía un pulso digital. En este sentido, la mejoría en la adquisición de estos datos se enfoca en evitar los rebotes del sistema por las variaciones de voltaje. Este proceso se lo puede realizar con la configuración de resistencias pull-down o pull-up. Como se aprecia en la **Figura 46 b**. La señal se muestra con variaciones más estables en cuanto a su estado. En esta prueba se conecta el sensor en la placa del sistema de acoplamiento y la salida al sistema embebido, de esta manera se realiza el proceso de adquisición de datos similar a la Prueba sin acoplamiento, tomado 300 valores del estado del sensor para graficar la señal.

Figura 46.

Acoplamiento de la señal del sensor de Presencia/Movimiento.



a) Conexión entre el sensor PIR, la placa de acoplamiento y Arduino.

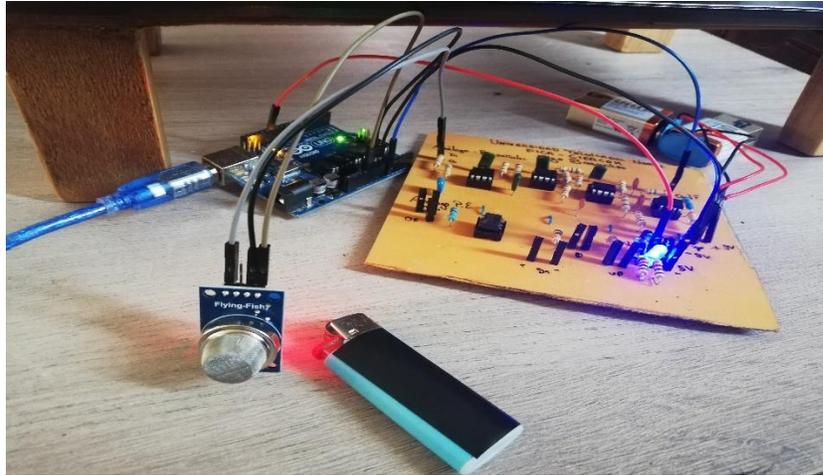


b) Señal obtenida del acoplamiento del sensor de Presencia/Movimiento

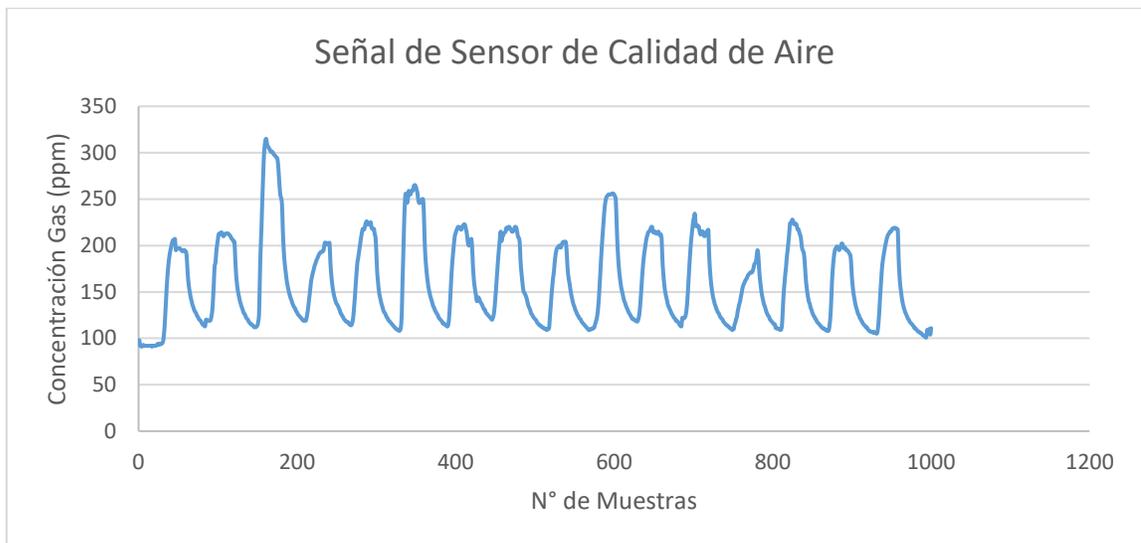
- Test 3: Sensor de Calidad de Aire:** El sensor de gas MQ 135 fue empleado conectando al sistema embebido en este caso Arduino Uno como se observa en la **Figura 47**. Con una caja pequeña de pruebas y con un emisor de gas (encendedor), cada 30 segundos se coloca la caja de prueba sobre el sensor dejando una hendidura por la cual se ingresa el humo al sistema para la adquisición de datos y en el siguiente periodo de 30 segundos se quita la caja para reducir la contaminación. Cabe recalcar que a pesar que el sistema elimina de aceptable forma el humo, el ambiente se contamina rápidamente y el sensor tiende a tener fallos, en este caso se aplica un suavizado digital de la señal con diferentes tipos de filtros digitales.

Figura 47

Acoplamiento de la señal del sensor de Calidad de Aire.



a) Conexión entre el sensor MQ135, la placa de acoplamiento y Arduino.



b) Señal obtenida del acoplamiento del sensor de Calidad de Aire.

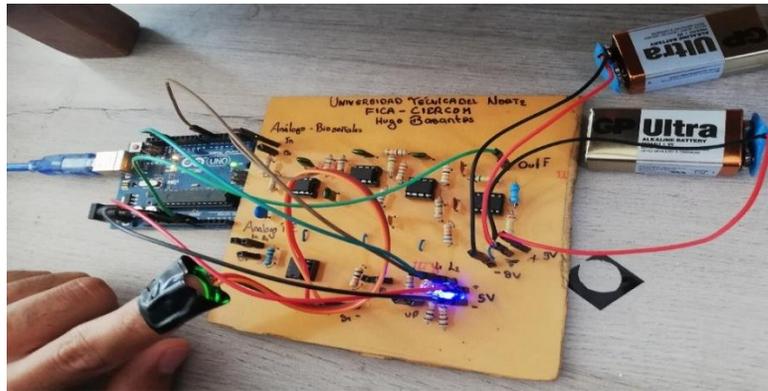
▪ **Test 4: Sensor de Pulso Cardíaco con Acoplamiento**

Se realiza el procedimiento similar a la prueba anterior, pero se incluye la conexión del sensor a la placa del sistema de acoplamiento y posteriormente la salida de la placa al sistema embebido Arduino obteniendo como resultado la señal que se muestra en la **Figura 48 b**.

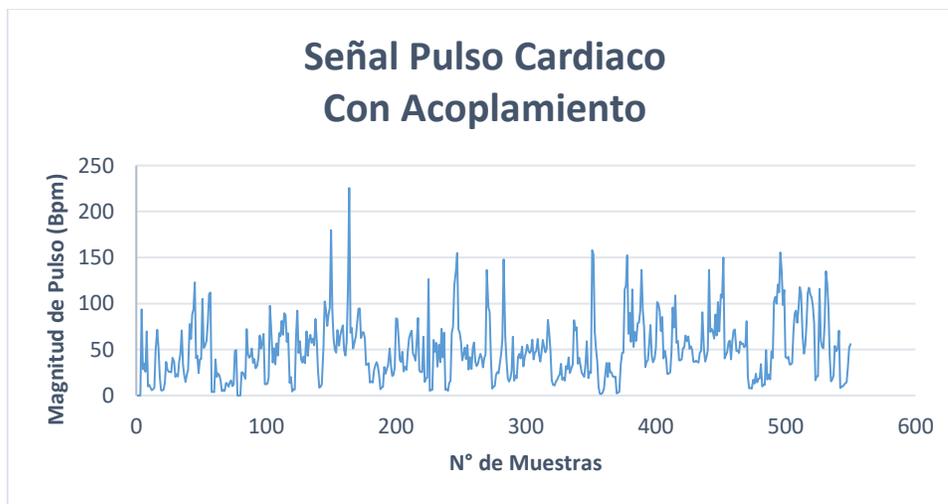
En la cual se observa la componente digital de color rojo con mayor estabilidad, con cambios mínimos de valor entre alto y bajo. Por otra parte, la señal análoga del pulso cardiaco de color verde se observa con mayor amplitud por las etapas de amplificación y mucho más estable en los cambios.

Figura 48

Acoplamiento de la señal de Pulso Cardíaco.



a) *Conexión entre el sensor, la placa de acoplamiento y Arduino*



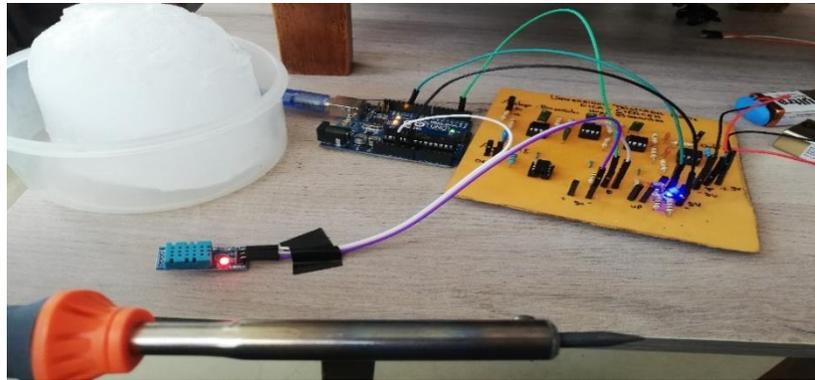
b) *Señal obtenida del acoplamiento del sensor de pulso cardiaco.*

- **Test 5: Sensor de Temperatura con Acoplamiento:** Se realiza el proceso de adquisición de la señal tomando el procedimiento de la prueba anterior, con la diferencia que se conecta el sensor DHT11 a la placa del sistema de acoplamiento y la salida al sistema

embebido Arduino como se muestra en la **Figura 49 a**. Se obtiene como resultado la señal que se presenta en la **Figura 49 b** en la cual se aprecia el valor de temperatura con respecto a la cantidad de muestras.

Figura 49

Conexión del sensor con la placa de acoplamiento y la señal resultante.



a) Conexión del sensor DHT11 con la placa y Arduino, hielo y cautín.



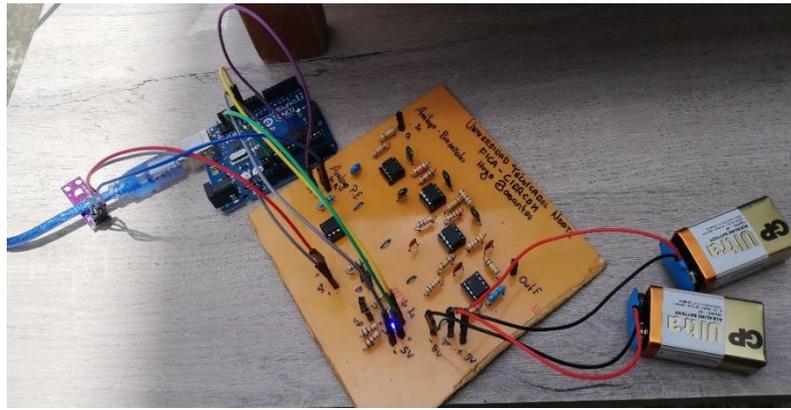
b) Señal obtenida de la placa de acoplamiento con el sensor DHT11.

- **Test 6: de Sensor UV:** El sensor de rayos ultravioletas (UV) muestra el índice de radiación proveniente del sol, para esta prueba se realiza el procedimiento de toma de la

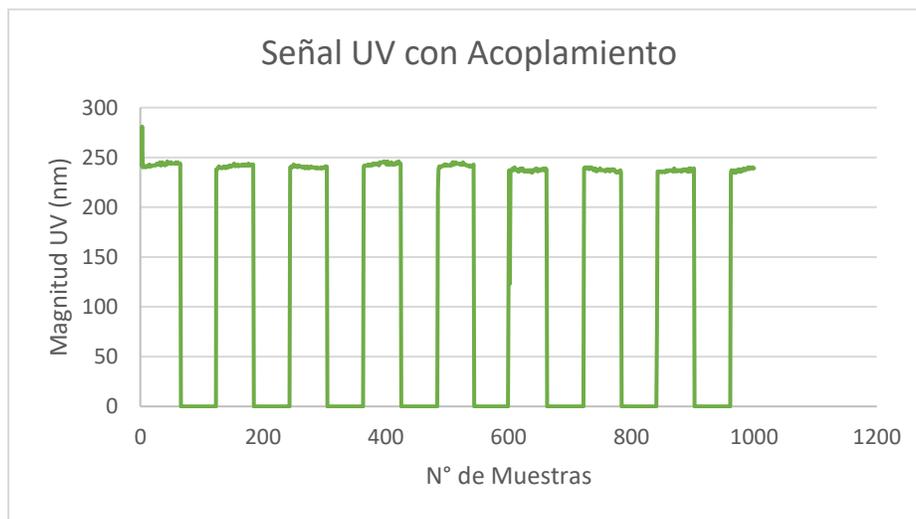
señal de datos como se realizo sin acoplamiento tomando muestras cada 30 segundos en exposición al sol con la diferencia que se conecta el sensor a la placa de acoplamiento y a su vez la salida hacia Arduino para obtener los valores de radiación de la señal y visualizar en la **Figura 50**, donde se muestra la conexión y las señales resultantes de radiación UV con acoplamiento y la señal de voltaje UV.

Figura 50

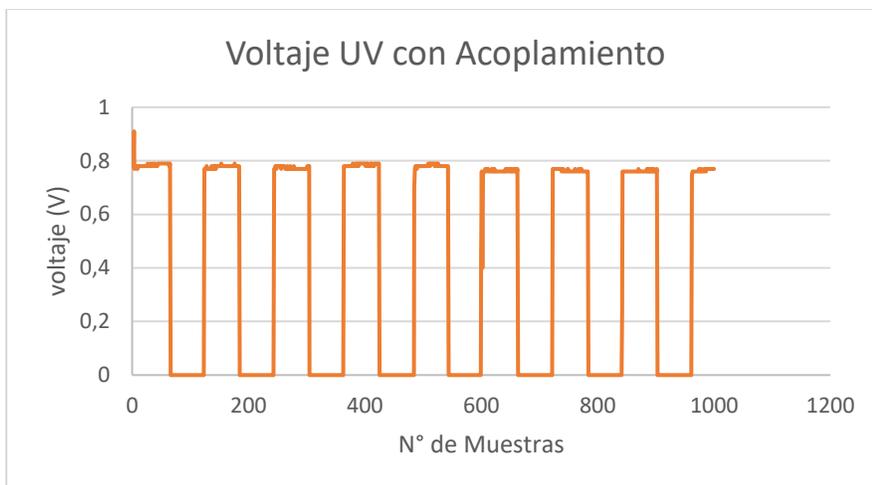
Acoplamiento de la señal de Rayos UV y Voltaje UV



a) Conexión entre el sensor de rayos UV con la placa y a su vez con Arduino.



b) Señal de rayos UV con Acoplamiento



c) Señal de voltaje UV con Acoplamiento

4.2.3. Prueba de Señales de los Sensores con Matlab

El filtrado de señales digitales y analógicas en Matlab es una tarea común en el procesamiento de señales. En general, el proceso de filtrado implica eliminar los componentes de frecuencia no deseados de una señal mientras se conservan los componentes de frecuencia deseados. Hay diferentes tipos de filtros de señales digitales y analógicas en Matlab mediante los algoritmos presentes en ANEXO D y ANEXO E. Según sus requisitos específicos y las características de su señal, se ha experimentado con diferentes tipos de filtros y parámetros para encontrar el mejor enfoque a continuación en la **Tabla 24** se presenta un breve resumen de las pruebas.

Tabla 23

Resumen de Pruebas con Matlab.

Test	Tipo de Señal	Sensor	Descripción
1	Análoga Propósito Especifico	Presión o Fuerza FSR402	En este caso se tomó los datos de la señal de Presión/Fuerza sin acoplamiento y se aplica

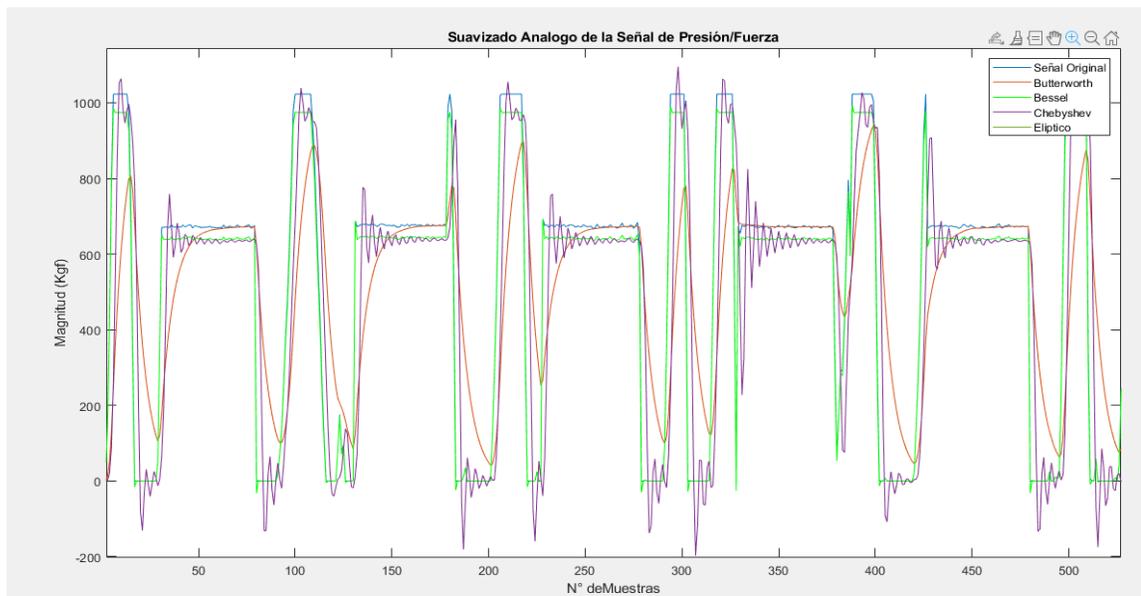
			diferentes técnicas de suavizado de la señal por medio de Matlab.
2	Digital Estados Lógicos	Presencia o Movimiento PIR	En este caso se tomó los datos de la señal de Presencia/Movimiento sin acoplamiento y se aplica diferentes técnicas de suavizado de la señal por medio de Matlab.
3	Análoga Propósito Específico	Calidad de Aire MQ- 135	En este caso se tomó los datos de la señal de Calidad de Aire sin acoplamiento y se aplica diferentes técnicas de suavizado de la señal por medio de Matlab.
4	Análoga Bioseñales	Pulso Cardíaco	En este caso se tomó los datos de la señal de Pulso Cardíaco sin acoplamiento y se aplica diferentes técnicas de suavizado de la señal por medio de Matlab.
5	Digital tren de pulsos	Temperatura DHT-11	En este caso se tomó los datos de la señal de Temperatura sin acoplamiento y se aplica diferentes técnicas de suavizado de la señal por medio de Matlab.
6	Comunicación CxI2C	Rayos Ultravioleta	En este caso se tomó los datos de la señal de Rayos Ultravioleta sin acoplamiento y se aplica diferentes técnicas de suavizado de la señal por medio de Matlab.

- **Test 1: Señal de Presión/fuerza:** En este caso se ha tomado la señal de Presión/Fuerza sin acoplamiento (señal de color azul) y se ha experimentado con diferentes técnicas de suavizado de la señal tanto con técnicas digitales como analógicas por medio de Matlab

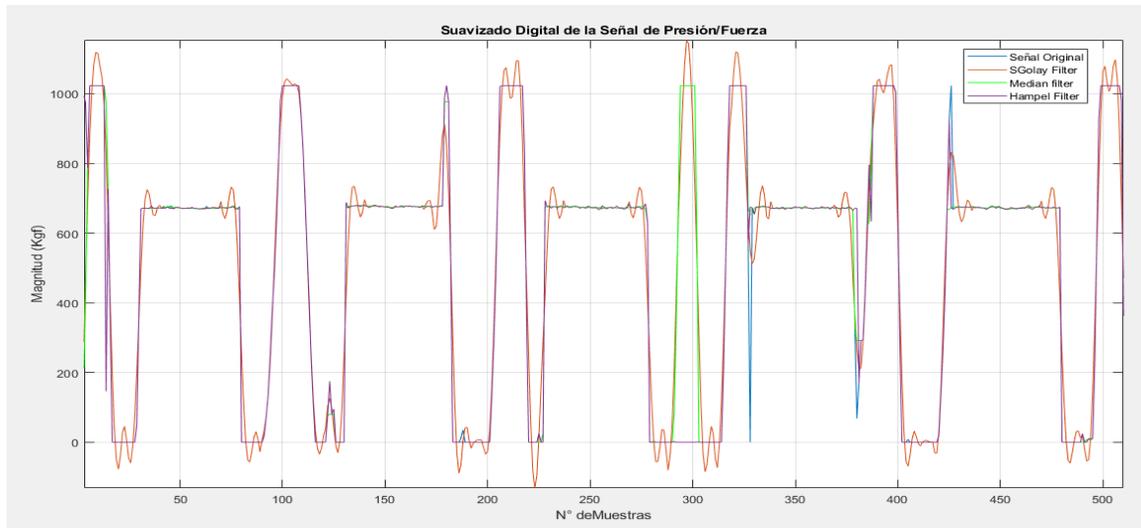
obteniendo las señales que se presentan en la **Figura 51**, en la cual se observan las aproximaciones análogas que se han aplicado a la señal como son: Butterworth (color rojo), Bessel (color verde), Chebyshev (color violeta) y Elíptica (verde opaco). En la **Figura 51 b**, se observan las técnicas de filtrado digital como son: Savitzky Golay (color rojo), Mediana (color verde) y Hampel (color violeta).

Figura 51

Señales resultantes de Presión/Fuerza con técnicas de filtrado en Matlab.



a) Suavizado Análogo de la señal de Presión/Fuerza por medio de Matlab



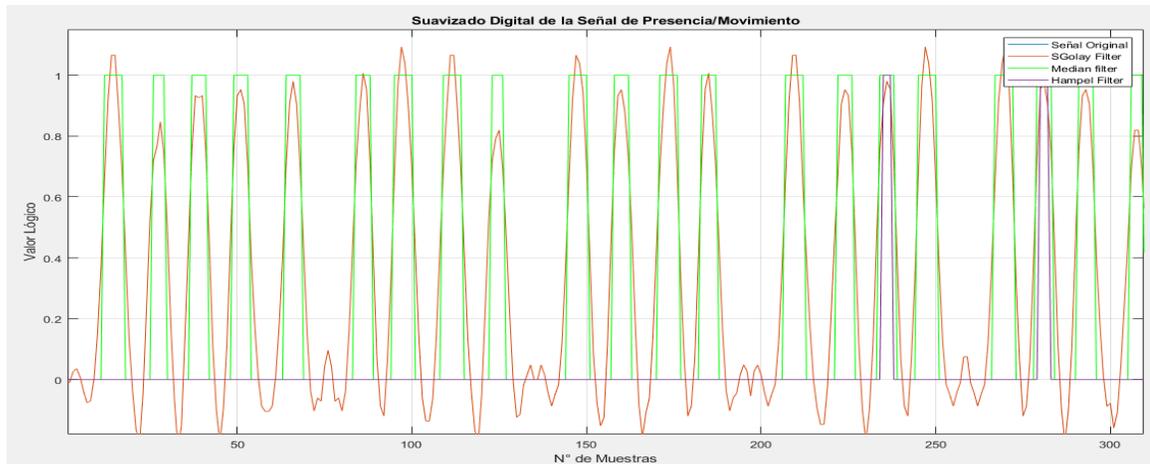
b) Suavizado Digital de la señal de Presión/Fuerza por medio de Matlab

En las gráficas resultantes podemos observar en el caso de las técnicas de suavizado Análogo en la **Figura 51 a**, la señal de Presión/Fuerza la aproximación Bessel de color verde es la que presenta una mayor similitud en relación a la señal original de color azul, pero con respecto a la magnitud de Kilogramo fuerza se presenta una reducción y un menor factor de rizado en cada pico de la señal por lo que se establece como una aproximación adecuada para este tipo de señal de sensor. En cuanto a las técnicas de suavizado digital podemos observar en la **Figura 51 b**, la señal resultante que mayormente se asemeja a la señal original de color azul, en cuanto a magnitud es la señal resultante del filtro Hampel de color violeta en la cual se observa que hay menor variación o rizado en los puntos de presión tanto cuando hay presión como cuando no hay presión. Como resultado se recomienda para este tipo de señal de sensor aplicar un filtro análogo de aproximación Bessel y como complemento un filtrado digital de tipo Hampel.

- **Test 2: Señal de Presencia/Movimiento:** Para esta prueba se ha tomado la señal de Presencia/Movimiento sin acoplamiento y se ha experimentado con diferentes técnicas de suavizado de la señal con técnicas digitales por medio de Matlab obteniendo las señales que se presentan en la **Figura 52**, en la cual se observan las técnicas de filtrado digital como son: Savitzky Golay (color rojo), Mediana (color verde) y Hampel (color violeta).

Figura 52

Señales resultantes de Presencia/Movimiento con suavizado de Matlab.

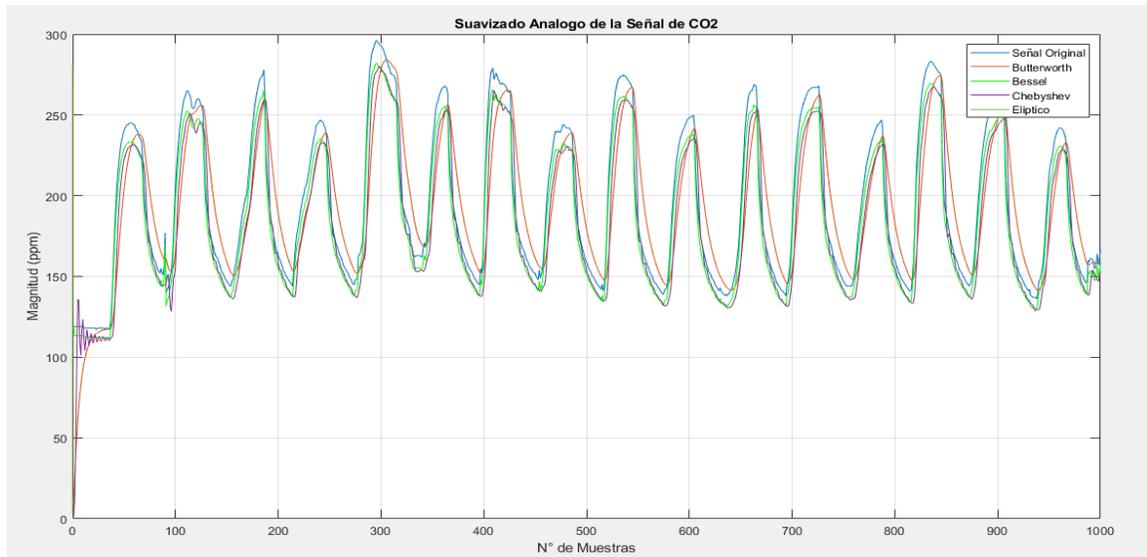


En la gráfica de las señales resultantes podemos observar en el caso de las técnicas de suavizado digital podemos observar que la señal resultante que mayormente se asemeja a la señal original de Presencia/Movimiento de color azul, en cuanto a su valor lógico es la señal resultante del filtro Mediano de color verde en la cual se observa que no hay un desfase en cuanto a la señal tanto cuando detecta una presencia o cuando no hay presencia. Como resultado se recomienda para este tipo de señal de sensor aplicar una técnica digital de filtrado de tipo Mediana.

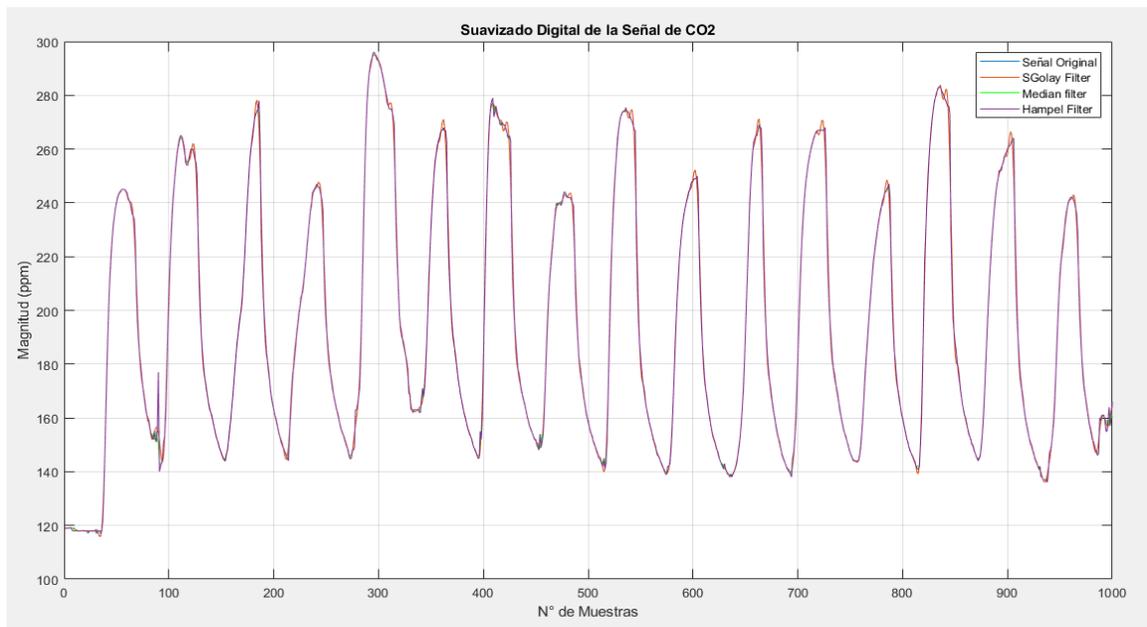
- **Test 3: Señal de Calidad de Aire o CO2:** En este caso se ha tomado la señal de Calidad de Aire sin acoplamiento (señal de color azul) y se ha experimentado con diferentes técnicas de suavizado de la señal tanto con técnicas digitales como analógicas por medio de Matlab obteniendo las señales que se presentan en la **Figura 53**, en la cual se observan las aproximaciones análogas que se han aplicado a la señal como son: Butterworth (color rojo), Bessel (color verde), Chebyshev (color violeta) y Elíptica (verde opaco). En la **Figura 53 b**, se observan las técnicas de filtrado digital como son: Savitzky Golay (color rojo), Mediana (color verde) y Hampel (color violeta).

Figura 53

Señales Resultantes de la calidad de aire con técnicas de filtrado Matlab



a) Suavizado análogo de la señal de Calidad de Aire mediante Matlab



b) Suavizado digital de la señal de Calidad de Aire mediante Matlab

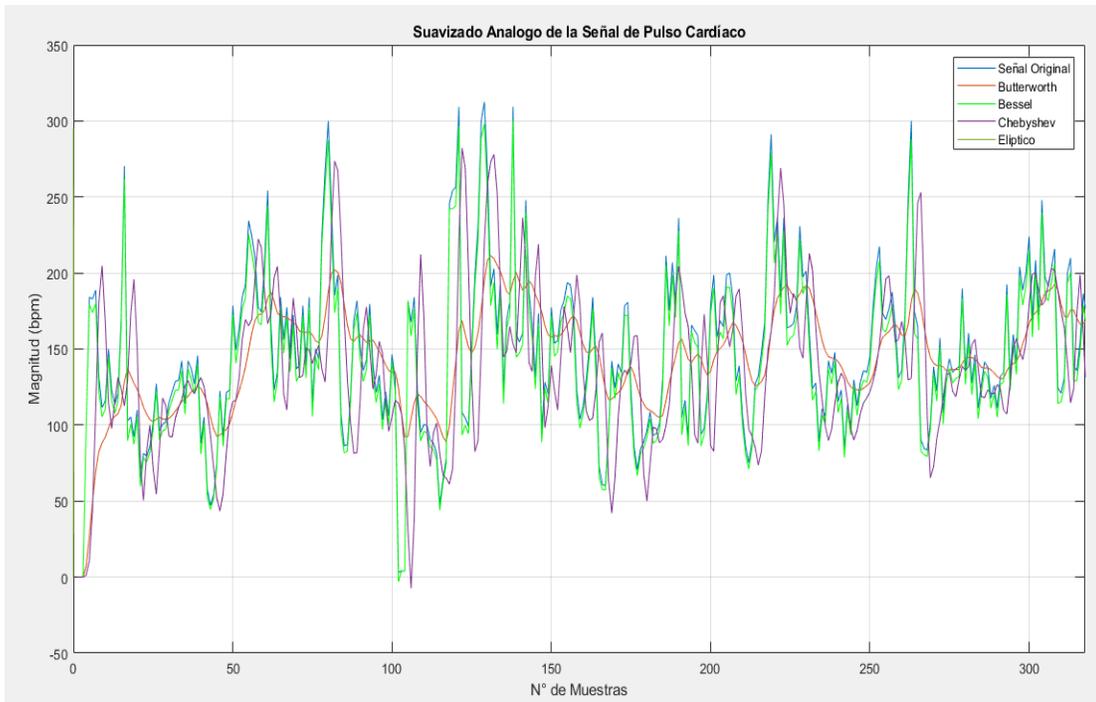
c)

En las gráficas resultantes podemos observar en el caso de las técnicas de suavizado Análogo en la **Figura 53 a**, la señal de Calidad de Aire la aproximación Butterworth de color rojo es la que presenta una mayor estabilidad en relación a la señal original de color azul se observa que hay menor factor de rizado o variaciones en los puntos máximos y mínimos, con respecto a la magnitud también presenta una reducción pero con respecto a la magnitud de Kilogramo fuerza se presenta una disminución mínima con un valor de aproximadamente 5 ppm, de esta manera se establece como una aproximación adecuada para este tipo de señal de sensor. En cuanto a las técnicas de suavizado digital podemos observar en la **Figura 53 b**, que las señales resultantes se asemejan en cuanto a la magnitud a la señal original de color azul, con diferencias mínimas en los puntos máximos y mínimos las técnicas de filtrado S-Golay (color rojo) y la Mediana (color verde) presentan menores variaciones lo que se interpreta como mayor estabilidad. Como resultado se recomienda para este tipo de señal de sensor aplicar un filtro análogo de aproximación Butterworth y como complemento un filtrado digital de tipo S-Golay o Mediana.

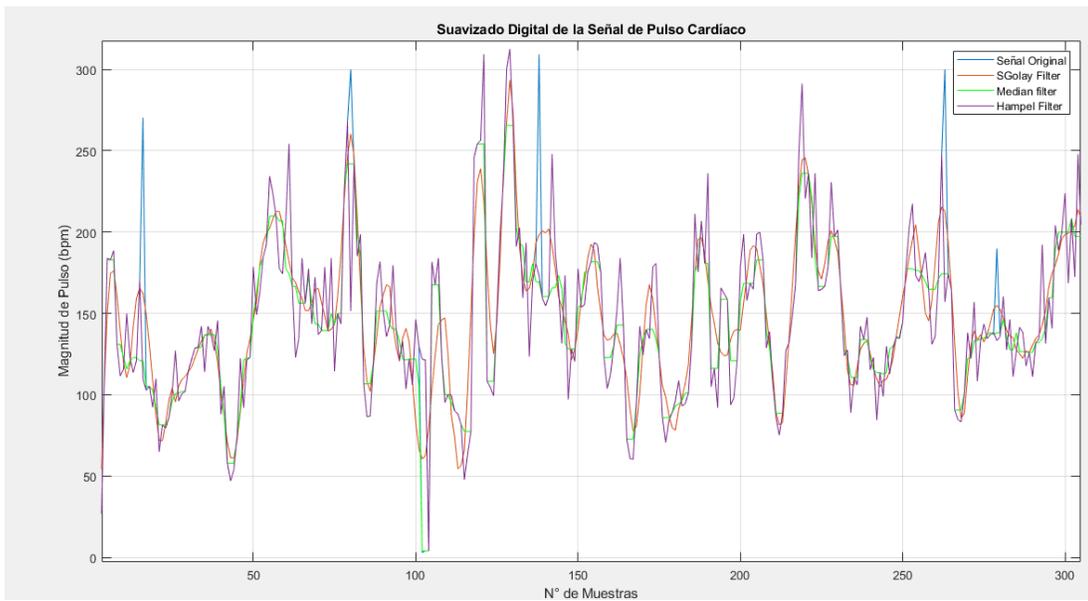
- **Test 4: Señal de Pulso Cardíaco:** En este caso se ha tomado la señal de Pulso Cardíaco sin acoplamiento (señal de color azul) y se ha experimentado con diferentes técnicas de suavizado de la señal tanto con técnicas digitales como analógicas por medio de Matlab obteniendo las señales que se presentan en la **Figura 54**, en la cual se observan las aproximaciones análogas que se han aplicado a la señal como son: Butterworth (color rojo), Bessel (color verde), Chebyshev (color violeta) y Elíptica (verde opaco). En la **Figura 54 b**, se observan las técnicas de filtrado digital como son: Savitzky Golay (color rojo), Mediana (color verde) y Hampel (color violeta).

Figura 54

Señales Resultantes de Pulso Cardíaco con técnicas de filtrado Matlab



a) Suavizado Análogo de la señal de Pulso Cardíaco mediante Matlab



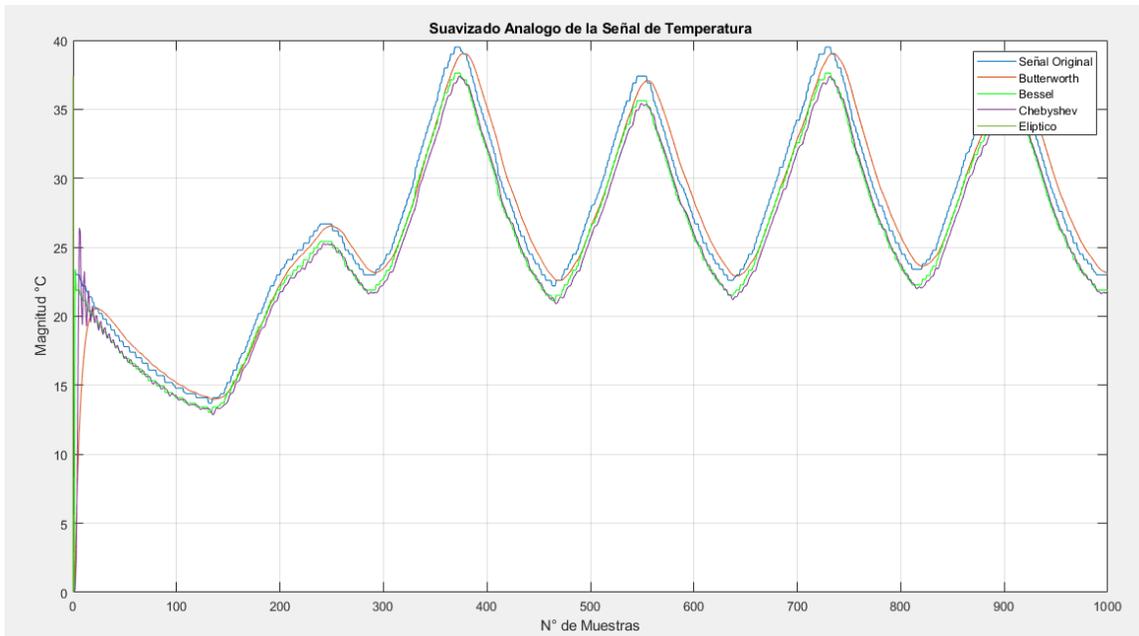
b) Suavizado Digital de la señal de Pulso Cardíaco mediante Matlab

En base a las señales resultantes de las diferentes técnicas de filtrado análogas en la **Figura 54 a**, con respecto a la señal original de Pulso Cardíaco de color azul, la aproximación Butterworth de color rojo es la que presenta una mayor estabilidad en relación a la señal hay menor factor de rizado o menor cantidad de variaciones en los puntos máximos y mínimos, con respecto a la magnitud la señal original presenta valores que oscilan entre los 0 y 300 la magnitud del Pulso, con respecto a la que presenta la aproximación Butterworth que oscila entre los valores entre 0 y 200 aproximadamente de magnitud de Pulso, con respecto a las otras aproximaciones presentan magnitud semejante a la de la señal original pero de igual manera mayor cantidad de variaciones y un desfase de la señal, por lo cual se establece la aproximación Butterworth adecuada para este tipo de señal de sensor. En cuanto a las técnicas de suavizado digital podemos observar en la **Figura 54 b**, que las señales resultantes se asemejan en cuanto a la magnitud a la señal original de color azul, con la diferencia de la técnica de filtrado S-Golay (color rojo) que presentan menores variaciones lo que se interpreta como mayor estabilidad. Como resultado se recomienda para este tipo de señal de sensor aplicar un filtro análogo de aproximación Butterworth y como complemento un filtrado digital de tipo S-Golay.

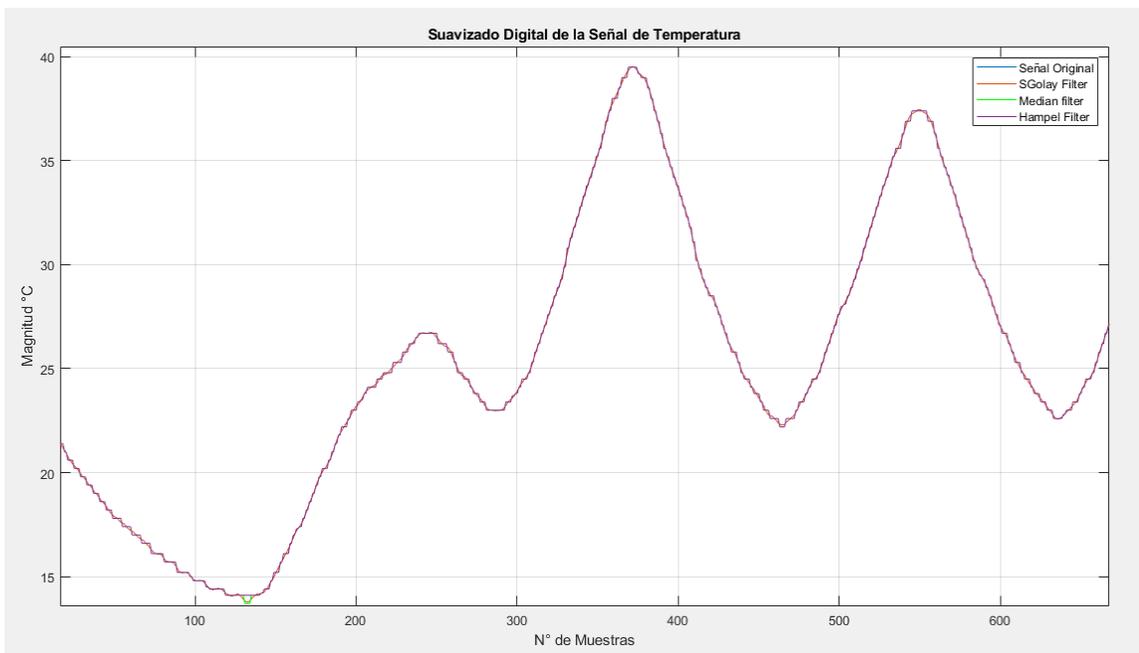
- **Test 5: Señal de Temperatura:** En este caso se ha tomado la señal de Temperatura sin acoplamiento (señal de color azul) y se ha experimentado con diferentes técnicas de suavizado de la señal tanto con técnicas digitales como analógicas por medio de Matlab obteniendo las señales que se presentan en la **Figura 55**, en la cual se observan las aproximaciones análogas que se han aplicado a la señal como son: Butterworth (color rojo), Bessel (color verde), Chebyshev (color violeta) y Elíptica (verde opaco). En la **Figura 55 b**, se observan las técnicas de filtrado digital como son: Savitzky Golay (color rojo), Mediana (color verde) y Hampel (color violeta).

Figura 55

Señales Resultantes de Temperatura con técnicas de filtrado Matlab



a) Suavizado Análogo de la Señal de Temperatura mediante Matlab



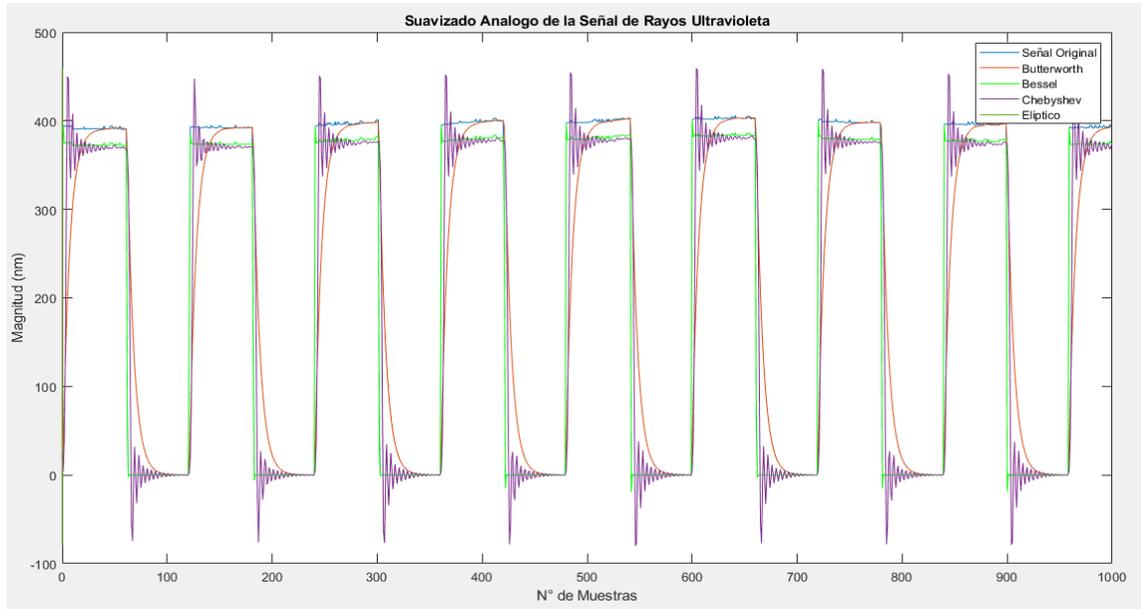
b) Suavizado Digital de la señal de Temperatura mediante Matlab

En base a las señales resultantes de las diferentes técnicas de filtrado análogas en la **Figura 55 a**, con respecto a la señal original de Temperatura de color azul, la aproximación Butterworth de color rojo es la que presenta una mayor estabilidad en relación a la señal hay menor factor de rizado o menor cantidad de variaciones en los puntos máximos y mínimos, con respecto a la magnitud con la señal original presenta valores semejantes con una diferencia mínima de aproximadamente 1 °C, con respecto a las otras aproximaciones presentan mayor cantidad de variaciones y un desfase en magnitud de la señal, por lo cual se establece la aproximación Butterworth adecuada para este tipo de señal de sensor. En cuanto a las técnicas de suavizado digital podemos observar en la **Figura 55 b**, que las señales resultantes se asemejan en cuanto a la magnitud a la señal original de color azul, con la diferencia de la técnica de filtrado S-Golay (color rojo) que presentan menores variaciones o un menor factor de rizado lo que se interpreta como mayor estabilidad y menor ruido. Como resultado se recomienda para este tipo de señal de sensor aplicar un filtro análogo de aproximación Butterworth y como complemento un filtrado digital de tipo S-Golay.

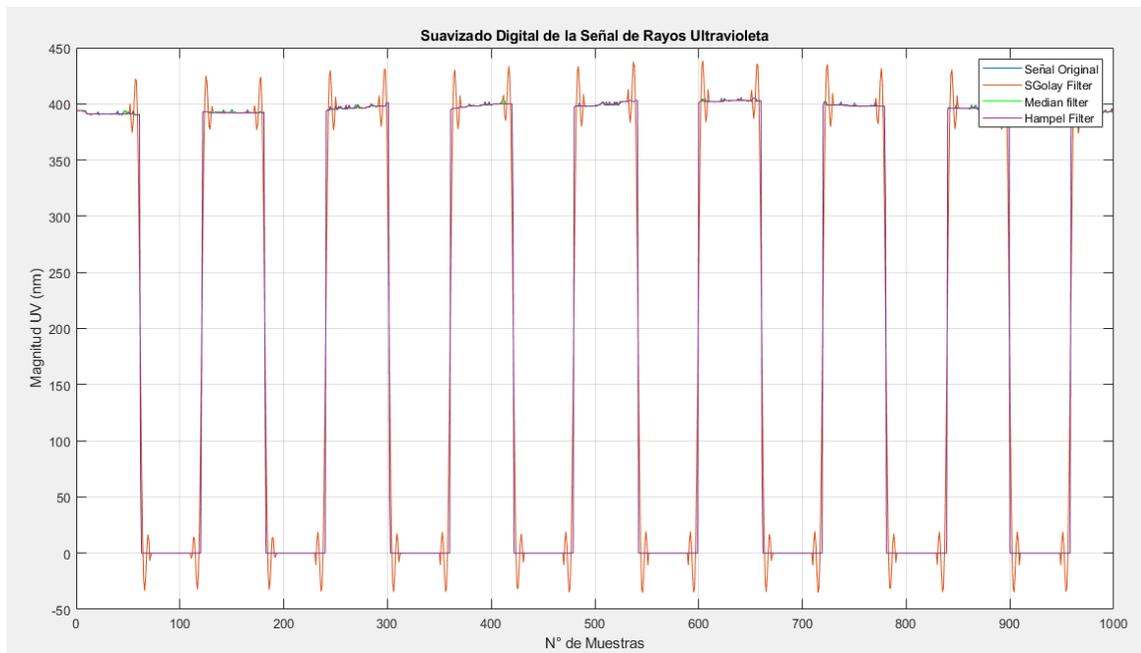
- **Test 6: Señal de Rayos Ultravioleta:** En este caso se ha tomado la señal de Rayos UV sin acoplamiento (señal de color azul) y se ha experimentado con diferentes técnicas de suavizado de la señal tanto con técnicas digitales como analógicas por medio de Matlab obteniendo las señales que se presentan en la **Figura 56**, en la cual se observan las aproximaciones análogas que se han aplicado a la señal como son: Butterworth (color rojo), Bessel (color verde), Chebyshev (color violeta) y Elíptica (verde opaco). En la **Figura 56 b**, se observan las técnicas de filtrado digital como son: Savitzky Golay (color rojo), Mediana (color verde) y Hampel (color violeta).

Figura 56.

Señales Resultantes de Rayos UV aplicando técnicas de filtrado Matlab.



a) Suavizado análogo de la señal de rayos UV mediante Matlab



b) Suavizado digital de la señal de rayos UV mediante Matlab

En base a las señales resultantes de las diferentes técnicas de filtrado análogas en la **Figura 56 a**, con respecto a la señal original de Rayos UV de color azul, la aproximación Chebyshev de color violeta es la que se asemeja en gran medida a la señal original con menor factor de rizado cuando la señal presenta algún cambio y con respecto a la magnitud con la señal original presenta valores muy similares, con respecto a las otras aproximaciones presentan mayor cantidad de variaciones y un desfase en magnitud de la señal, por lo cual se establece la aproximación Chebyshev adecuada para este tipo de señal de sensor. En cuanto a las técnicas de suavizado digital podemos observar en la **Figura 56 b**, que las señales resultantes se asemejan en cuanto a la magnitud a la señal original de color azul, con la diferencia de la técnica de filtrado Mediana (color verde) que presenta menores variaciones o un menor factor de rizado lo que se interpreta como mayor estabilidad y menor ruido. Como resultado se recomienda para este tipo de señal de sensor aplicar un filtro análogo de aproximación Chebyshev y como complemento un filtrado digital de tipo Mediana.

4.3.Comparativa de Señales Resultantes y Análisis de Resultados.

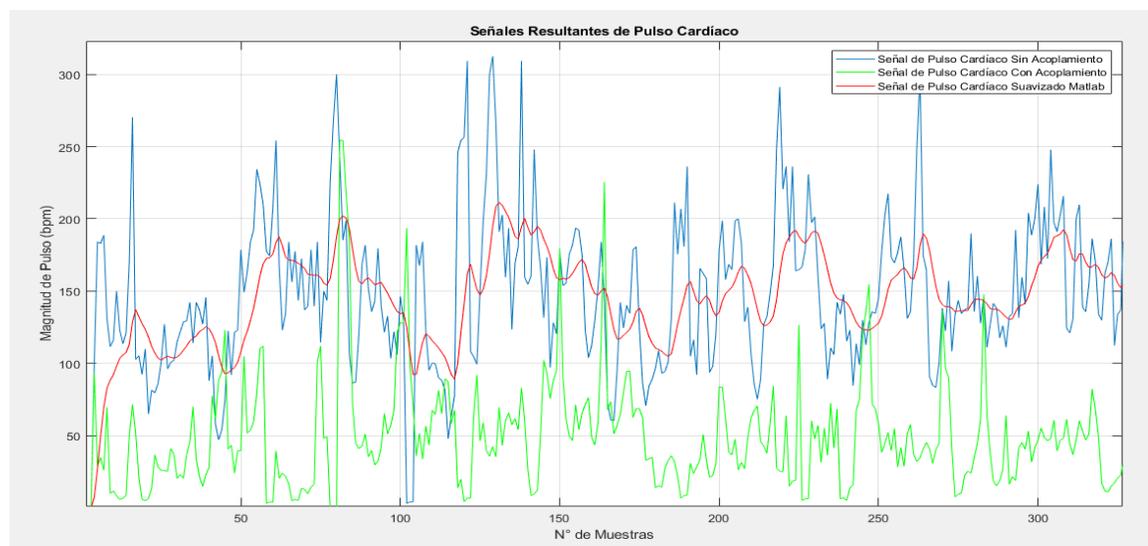
El análisis comparativo de señales resultantes es un proceso utilizado para identificar similitudes y diferencias entre las señales y sacar conclusiones sobre la eficacia y eficiencia del sistema de acoplamiento. El primer paso en el análisis comparativo es obtener las señales resultantes de los diferentes sistemas o procesos. Estas señales pueden estar en forma de representaciones visuales. Una técnica común para comparar señales es utilizar herramientas de visualización en este caso se lo realizó mediante Matlab para identificar patrones o tendencias en las señales que pueden no ser evidentes de inmediato solo con los datos y sacar conclusiones sobre los procesos que se comparan. Al analizar cuidadosamente las señales resultantes, es posible obtener información que puede conducir a una mejor toma de decisiones y un mejor desempeño.

4.3.1. Comparativa de Señales Resultantes de Pulso Cardíaco

En este punto se ha tomado la señal de pulso cardíaco sin acoplamiento, la señal de pulso cardíaco con acoplamiento y la señal de pulso cardíaco aplicada la técnica de filtrado que se ha seleccionado en la sección de pruebas en Matlab como se muestra en la **Figura 57**, en la cual se muestran las señales de pulso cardíaco: sin acoplamiento (color azul), con acoplamiento (color verde) y con filtrado en Matlab (color rojo).

Figura 57

Señales Resultantes de Pulso cardíaco.



En base a la **Figura 57** se evidencia que la señal con acoplamiento mediante la placa establece en su mayor parte valores en la magnitud del pulso entre 0 y 100 latidos por minuto (bpm) se refiere a la cantidad de latidos del corazón que ocurren en un minuto, pero también se presentan picos que exceden este valor pero son mucho menos frecuentes que la señal original del pulso sin acoplamiento en este caso se ha presentado 300 muestras en las cuales la señal original presenta 15 picos que exceden el valor de 200 bpm y a su vez la señal con acoplamiento presenta 8 picos que exceden el valor de 100 bpm lo cual establece un valor mayormente acercado a la realidad en la frecuencia de latidos del corazón. Por ejemplo, una frecuencia cardíaca saludable en reposo suele estar entre 60 y 100 bpm y el rango de frecuencia cardíaca para un adulto saludable puede estar entre 60 y 150 latidos por minuto durante el ejercicio (Bonavent & Faro, 2022).

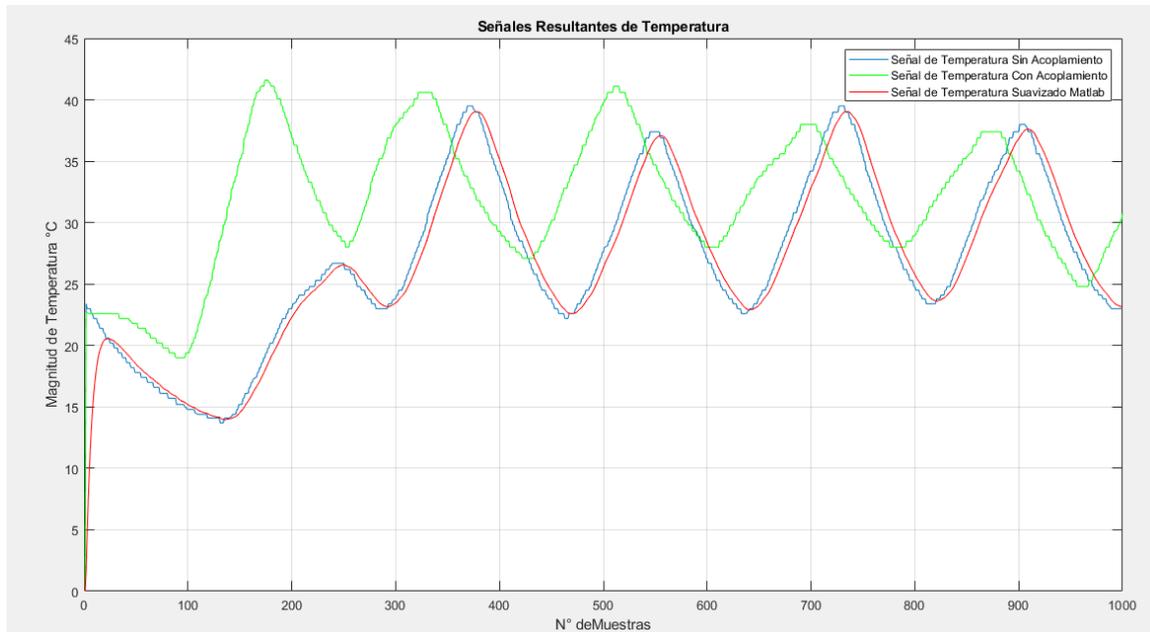
Ciclo cardíaco: Esto se refiere a la secuencia de eventos que ocurren durante un latido del corazón, incluyendo la contracción y relajación de las cavidades del corazón. La duración del ciclo cardíaco se puede medir en segundos o milisegundos. una persona que varía dependiendo de su edad entre valores de 0 a 140 latidos por minuto (bpm), por otro lado, también se evidencia una menor cantidad de rizado en las variaciones pequeñas de la señal, lo cual se traduce como menor factor de ruido. En cuanto a la señal filtrada por medio de Matlab en la cual se aplica un filtro lo más cercano a ideal por lo que se elimina casi completamente las variaciones pequeñas que podrían considerarse como errores o ruido de señal y establece una variación de valores con un rango de aproximadamente 100 bmp de manera similar al rango de la señal con acoplamiento. Por lo que se concluye que se ha obtenido obteniendo un resultado de acoplamiento por medio de la placa muy bueno con una señal más limpia, más estable y con menor ruido.

4.3.2. Comparativa de Señales Resultantes de Temperatura

En este caso se ha tomado la señal de temperatura sin acoplamiento, la señal de temperatura con acoplamiento y la señal de temperatura aplicada la técnica de filtrado que se ha seleccionado en la sección de pruebas en Matlab como se muestra en la **Figura 58**, en la cual se muestran las señales de temperatura: sin acoplamiento (color azul), con acoplamiento (color verde) y con filtrado en Matlab (color rojo). Cabe mencionar que en este caso las pruebas sin acoplamiento y con acoplamiento se realizan con un procedimiento similar, pero al ser mediciones diferentes las señales se presentan con un pequeño desfase.

Figura 58

Señales Resultantes de temperatura.



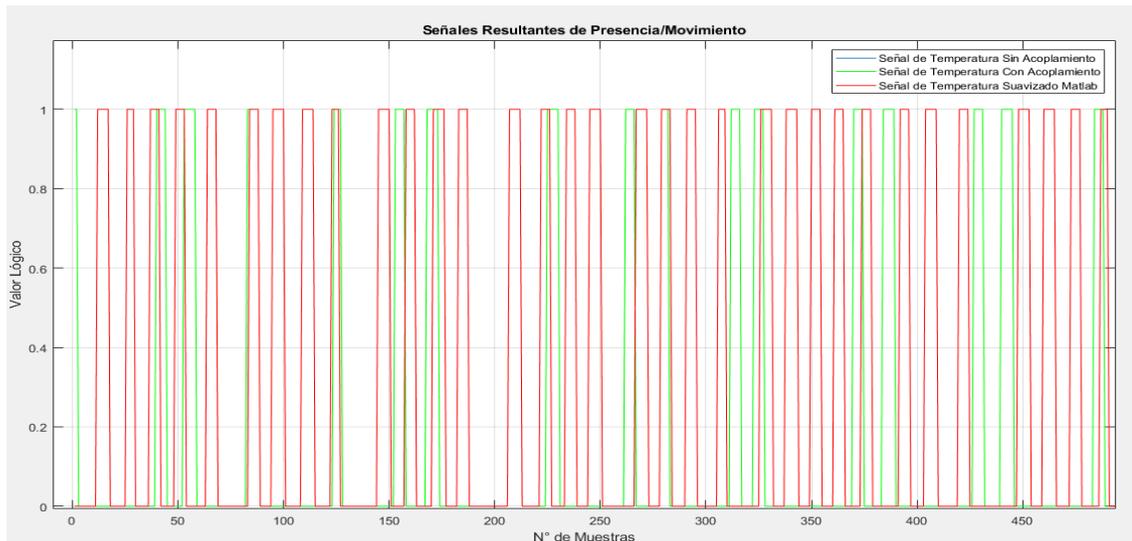
En base a la **Figura 58** se evidencia que la señal con acoplamiento mediante la placa se observa que los valores oscilan aproximadamente entre 26 °C como valor mínimo y 42 °C como valor máximo con un rango de variaciones de 16 °C y se puede visualizar que con respecto a la señal sin acoplamiento presenta menor rizado pero no lo elimina completamente como se evidencia en la señal filtrada por Matlab donde se muestra una señal completamente plana ya que se aplica un filtro ideal, por su parte la señal sin acoplamiento presenta una oscilación de valores entre 14°C y 39 °C aproximadamente con un rango de trabajo de 25°C. a partir de estos aspectos se concluye que el acoplamiento establece menor rango de variaciones lo que hace una señal resultante con mayor exactitud y una menor presencia de ruido pero al presentar un mínimo índice de perturbaciones se establece un acoplamiento calificado como bueno.

4.3.3. Comparativa de Señales Resultantes de Presencia/movimiento

En este caso se ha tomado la señal de presencia sin acoplamiento, la señal de presencia con acoplamiento y la señal de presencia aplicada la técnica de filtrado que se ha seleccionado en la sección de pruebas en Matlab como se muestra en la **Figura 59**, en la cual se muestran las señales de presencia: sin acoplamiento (color azul), con acoplamiento (color verde) y con filtrado en Matlab (color rojo). Cabe mencionar que en este caso las pruebas sin acoplamiento y con acoplamiento se realizan con un procedimiento similar, pero al ser mediciones diferentes las señales se presentan con un pequeño desfase.

Figura 59

Señales Resultantes de Presencia/Movimiento.



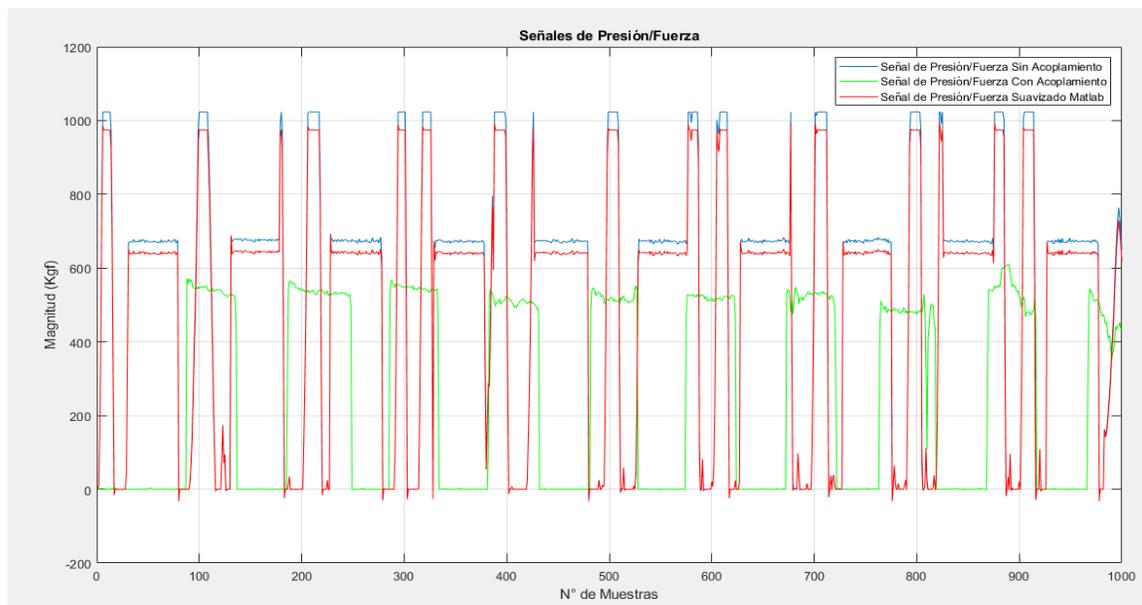
En base a la **Figura 59** se evidencia que la señal con acoplamiento mediante la placa se observa que los valores lógicos se establecen en una menor frecuencia con respecto a la señal original y tanto como en la señal filtrada de Matlab la cual se presenta semejante a la señal original por lo que las variaciones son mínimas entre 0 y 1 lógico no se evidencia en la señal un rizado o ruido en la adquisición, de esta manera con el acoplamiento ya no se presentan valores lógicos inestables que podrían tomarse tanto como 1 o como 0 por lo que se puede concluir que el acoplamiento realizado por la placa con una configuración pull-down es muy bueno por la señal resultante con mayor exactitud.

4.3.4. Comparativa de Señales Resultantes de Presión/Fuerza

En este caso se ha tomado la señal de presión sin acoplamiento, la señal de presión con acoplamiento y la señal de presión aplicada la técnica de filtrado que se ha seleccionado en la sección de pruebas en Matlab como se muestra en la **Figura 60**, en la cual se muestran las señales de presión: sin acoplamiento (color azul), con acoplamiento (color verde) y con filtrado en Matlab (color rojo). Cabe mencionar que en este caso las pruebas sin acoplamiento y con acoplamiento se realizan con un procedimiento similar, pero al ser mediciones diferentes las señales se presentan con un pequeño desfase.

Figura 60

Señales Resultantes de Presión/fuerza.



En base a la **Figura 60** se evidencia que la señal con acoplamiento mediante la placa se observa que los valores de presión fuerza en Kilogramo fuerza entre 400 a 600 en este caso se evidencia menores picos en la medición cuando no se ha aplicado presión o fuerza en el sensor, por otro lado presenta variaciones y perturbaciones similares en cuanto a rizado cuando se aplica la presión pero establece valores definidos en 0 cuando no hay presión, en cuanto al filtrado por parte de Matlab se disminuye en un factor mínimo el rizado cuando hay presión pero se evidencia las mismas perturbaciones cuando no hay presión por lo cual se puede establecer que se realiza un

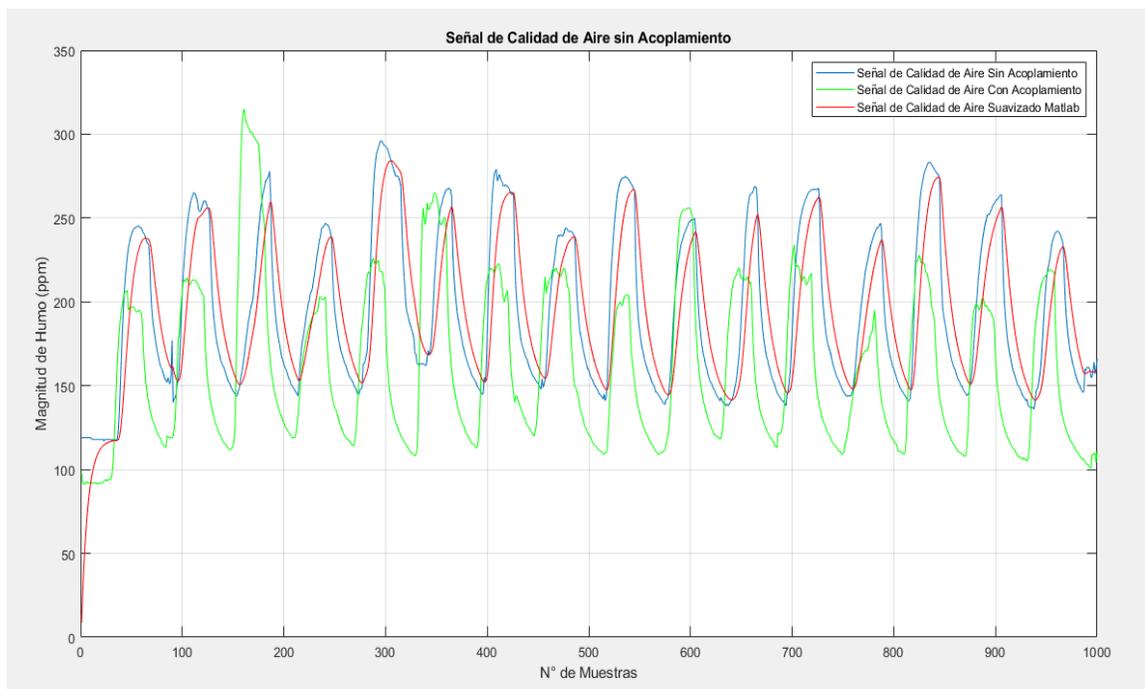
acoplamiento por parte de la placa bueno con una señal mucho más estable en cuanto se aplica o no presión en el sensor pero se podría mejorar en la reducción de ruido en la señal por lo que se recomienda aplicar conjuntamente un filtro digital como se recomienda en la sección anterior en pruebas de Matlab un tipo de filtrado Mediana o Hampel para un mejor acoplamiento de este tipo de señal.

4.3.5. Comparativa de Señales Resultantes de Calidad de Aire

En este caso se ha tomado la señal de presión sin acoplamiento, la señal de Calidad de Aire con acoplamiento y la señal de calidad de aire aplicada la técnica de filtrado que se ha seleccionado en la sección de pruebas en Matlab como se muestra en la **Figura 61**, en la cual se muestran las señales de calidad de aire: sin acoplamiento (color azul), con acoplamiento (color verde) y con filtrado en Matlab (color rojo). Cabe mencionar que en este caso las pruebas sin acoplamiento y con acoplamiento se realizan con un procedimiento similar, pero al ser mediciones diferentes las señales se presentan con un pequeño desfase.

Figura 61

Señales Resultantes de Calidad de Aire.



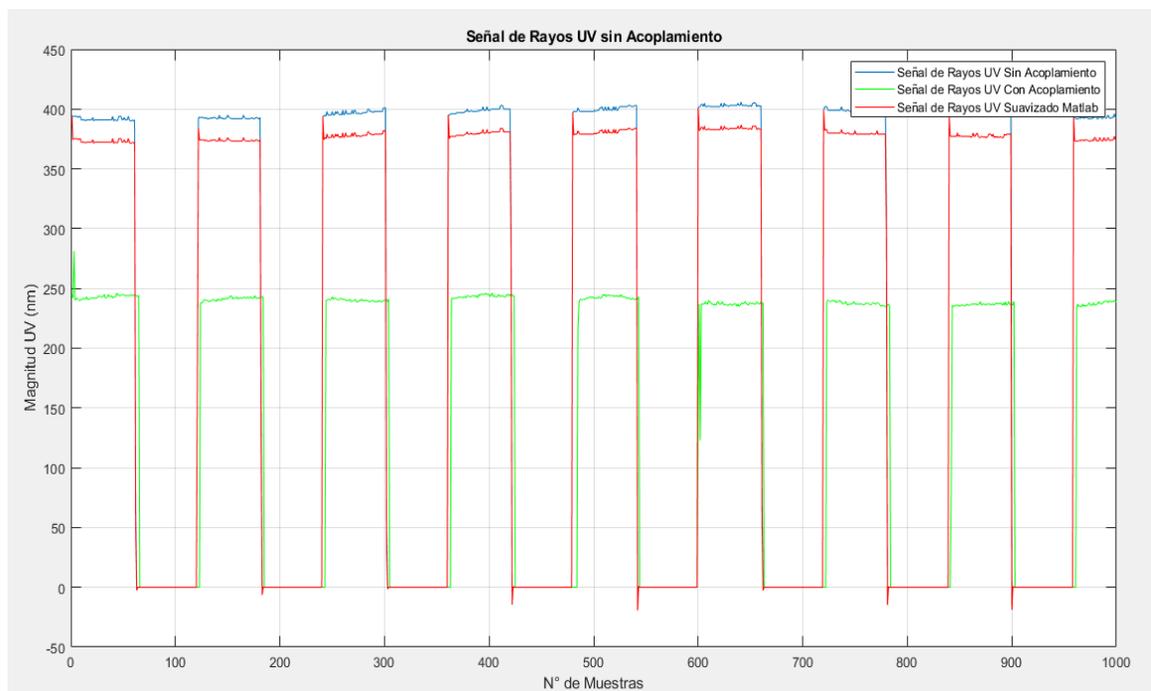
En base a la **Figura 61** se observa que los valores de la calidad de aire en referencia a la concentración de gas, mientras que la señal digital indica si el gas está presente o no. la concentración del gas detectado suele expresarse en partes por millón (ppm) o miligramos por metro cúbico (mg/m^3), el nivel de concentración para una calidad de aire normal es una concentración de CO_2 de 380-600 ppm (Lapshina, Kurilova, & Belitsky, 2019). En este caso observamos que la señal original (color azul) presenta una variación de valores aproximadamente entre 140 cuando no se activa el encendedor, es decir cuando no se presenta una emisión de gas, mientras que cuando se aplica el encendedor presento 300 ppm en su punto más alto, por su parte la señal de acoplamiento por la placa (color verde) presenta una variación entre valores de aproximadamente entre 100 sin activar el encendedor y de 320 ppm como el punto más alto al activar el encendedor pero también se observa que se presenta valores de concentración menores que la señal original en gran parte de las muestras al realizar el mismo método de prueba, pero también se observa que en una manera mínima se reducen las variaciones en los picos de la señal, en cuanto se establece como resultado de acoplamiento regular. Por otra parte, la señal resultante de Matlab se presentan valores con una señal plana, sin ruido y como se observa mayormente estable por lo que se recomienda para este caso aplicar un suavizado digital de la señal.

4.3.6. Comparativa de Señales Resultantes de Rayos UV

En este caso se ha tomado la señal de presión sin acoplamiento, la señal de rayos UV con acoplamiento y la señal UV aplicada la técnica de filtrado que se ha seleccionado en la sección de pruebas en Matlab como se muestra en la **Figura 62**, en la cual se muestran las señales de rayos UV: sin acoplamiento (color azul), con acoplamiento (color verde) y con filtrado en Matlab (color rojo). Cabe mencionar que en este caso las pruebas sin acoplamiento y con acoplamiento se realizan con un procedimiento similar, pero al ser mediciones diferentes las señales se presentan con un pequeño desfase.

Figura 62

Señales Resultantes de Rayos UV.



En base a la **Figura 62** se observa que la magnitud de rayos ultravioleta se presenta en la señal original de aproximadamente 400nm que representa entre un nivel moderado y alto de radiación con un índice UV entre 3-7, de manera muy similar se presenta la señal de suavizado mediante Matlab que presenta un nivel moderado con valores aproximadamente de 350 nm y en cuanto a la señal resultante del acoplamiento mediante la placa se presenta un rango de valores de aproximadamente 240 nm con un nivel moderado pero se ha reducido las variaciones al momento de exponer el sensor a la radiación UV y se presenta en un rango moderado lo cual se traduce como menor ruido y una señal resultante más estable por lo cual se establece un acoplamiento bueno.

A continuación, en la **Tabla 25** se presenta un resumen con el análisis de resultados de acoplamiento de la señal respecto a la señal sin acoplamiento de cada sensor en la cual se presenta el sensor un calificativo de acoplamiento como malo, regular, bueno y muy bueno.

Tabla 24*Resumen de Análisis de resultados.*

Sensor	Resultado de Acoplamiento Físico	Resultado de Acoplamiento Digital
Pulso Cardíaco	Muy Bueno	Bueno
Calidad de Aire	Regular	Muy Bueno
Presión/Fuerza	Muy Bueno	Regular
Presencia/Movimiento	Bueno	Bueno
Radiación UV	Bueno	Regular
Temperatura	Bueno	Bueno

El sistema demostró un desempeño sólido y consistente. Los resultados obtenidos fueron precisos, estables y se mantuvieron en línea con los valores de referencia establecidos. Esto indica que el sistema es capaz de adquirir y procesar señales de manera confiable en diferentes situaciones obteniendo resultados buenos en un 50 % de las pruebas con los sensores y muy buenos en un 36%. Estos resultados destacan el excelente desempeño del sistema en situaciones específicas. En estas pruebas, el sistema demostró una alta precisión y una capacidad de respuesta sobresaliente. Pudo capturar eventos rápidos y transmitir la información de manera eficiente con reducción de ruido y una mayor estabilidad en los valores con respecto a la señal sin el sistema. Esto indica que el sistema es especialmente adecuado para sistemas embebidos que requieren señales adecuadas para la adquisición y procesamiento de señales. Por otra parte, a pesar de que el sistema obtuvo resultados regulares en una de las pruebas, es importante porque puede ser indicativo de una menor eficiencia en una situación específica o una posible área de mejora.

CONCLUSIONES

El acoplamiento físico de las señales de sensores a sistemas embebidos es un proceso que implica la transferencia de señales de información de fenómenos o magnitudes para su procesamiento y análisis. A continuación, se presentan las conclusiones que se ha obtenido en el desarrollo de este proyecto:

- En la elaboración de este proyecto se ha evidenciado que un acoplamiento físico adecuado de las señales de los sensores a los sistemas embebidos es esencial para la recopilación y el análisis de datos precisos, es decir es importante para reducir el ruido en las señales, establecer un rango adecuado de trabajo en los sensores mediante una reducción en la variación como se evidencia en la señal de pulso cardíaco. Cualquier interrupción o interferencia en el proceso de adquisición de datos puede generar señales de información defectuosas o poco confiables, lo que puede comprometer el procesamiento de la información o su aplicación.
- La elección de los métodos de acoplamiento físico dependerá del tipo de sensor seleccionado, la señal que se produce, el ambiente de funcionamiento y su aplicación. En este proyecto se ha aplicado una conversión análogo digital y digital análoga para tener una señal de datos muestreada y aplicar diferentes técnicas de suavizado y filtrado por medio de Matlab por lo que se evidencio que cada método tiene sus ventajas y desventajas, y como se analizó la aproximación Butterworth para señal análoga es la más efectiva para minimizar el ruido, proporcionar una señal con un menor rango de variaciones y mayormente acercado a la realidad. De manera similar se ha aplicado suavizado digital y la selección dependerá de los requisitos específicos de la aplicación o se podría realizar un método combinado para un mejor acoplamiento.
- En general, los resultados de las pruebas muestran que el sistema de acoplamiento físico de señales a Arduino es una solución prometedora con un desempeño sólido y confiable en la mayoría de las situaciones evaluadas. Los resultados buenos y muy buenos indican que el sistema es capaz de cumplir con los requisitos de adquisición de señales, adecuado funcionamiento y han validado su desempeño, mostrando una alta precisión, capacidad de respuesta y compatibilidad con una amplia variedad de sensores.

- Además, se comprobó que el sistema era compatible con una amplia gama de sensores y dispositivos electrónicos, lo que lo hace versátil y adaptable a diferentes aplicaciones. La conexión física entre los sensores y el sistema se mantuvo estable y segura durante las pruebas, minimizando las interferencias y asegurando una transmisión de señal confiable.

RECOMENDACIONES

Las siguientes son algunas recomendaciones para el acoplamiento físico de las señales de los sensores a los sistemas embebidos:

- El acoplamiento físico de las señales de los sensores a los sistemas embebidos es un proceso crítico que requiere una cuidadosa consideración y selección del método de filtrado, diseño e implementación del circuito para garantizar un rendimiento óptimo y una recopilación de señales de datos confiable, en este caso para los sensores que se ha realizado pruebas el acoplamiento en su mayor parte ha sido bueno y muy bueno por lo que se plantea importante su implementación para proyectos con sensores disponibles en el mercado y de un costo accesible para estudiantes.
- Elegir el método de acoplamiento físico teniendo en cuenta factores como el tipo de sensor, el tipo de señal que proporciona el sensor, el sistema embebido y las condiciones ambientales en las que se realiza la adquisición de datos, para este caso se ha establecido ambientes lo más simulado a la realidad en cuanto a los sensores que se han seleccionado por su disponibilidad y asequibilidad, se ha seleccionado el método de filtrado Butterworth y como complemento se recomienda un acoplamiento digital para obtener mejores resultados en el procesamiento de la señal de datos.
- En general, la planificación y el diseño adecuados del proceso de acoplamiento físico son esenciales para un rendimiento óptimo y una recopilación de datos fiable utilizando una cantidad de elementos electrónicos necesarios sin exceder para evitar interferencias o errores, utilizando cables y conectores prefabricados y que sean apropiados para el método de acoplamiento físico seleccionado y asegurando que los cables estén correctamente blindados para minimizar los efectos de las interferencias electromagnéticas.

- Considerar el uso de técnicas de compresión de datos para reducir la cantidad de datos transmitidos desde los sensores al sistema embebido, lo que puede ayudar a reducir los requisitos de ancho de banda y mejorar el rendimiento del sistema. Además, que el sistema embebido tenga la potencia de procesamiento y la capacidad de memoria adecuadas para manejar los datos recopilados por los sensores. Esto puede requerir la optimización de los algoritmos de software utilizados para procesar los datos en caso de uso de utilizar suavizado digital.

|

REFERENCIAS

- Art, P. (3 de abril de 2018). *Digi-Key Electronics*. Obtenido de Asociar el ADC correcto con la aplicación: <https://www.digikey.com/es/articles/match-the-right-adc-to-the-application>
- Becker, D. (2015). *BIG DATA, BIG DATA QUALITY PROBLEM*.
- Bonavent, N., & Faro, B. (2022). *Estudio descriptivo de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, en afectados de esclerosis lateral amiotrófica*. Universidad Europea de Madrid . Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12880/4400>
- Computing, M. M. (2012). *DATA ACQUISITION HANDBOOK* (Third Edition ed.). United States of America .
- Congo, J. (2015). *Aplicaciones del Software MATLAB/SIMULINK en Modelado de Sistemas Basicos de Telecomunicaciones*. Quito.
- Embarak, O. (2018). *Data Gathering and Cleaning* .
- Gizlenmişir, Y. (2018). *Filter Based Analysis Unit Design for Data Acquisition Systems*.
- Ingenieria Mecafenix. (6 de abril de 2017). *Ingenieria Mecafenix*. Obtenido de Microcontrolador PIC [Partes y aplicaciones]: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/microcontrolador-pic-partes-aplicaciones/>
- Kumar, H., & Pillai, S. (2014). *Digital Compensation Method for Sinc filters in Data Acquisition Systems based on Sigma-Delta ADCs*.
- Lapshina, P., Kurilova, S., & Belitsky, A. (2019). *Development of an Arduino-based CO2 Monitoring Device*. IEEE. doi:10.1109/EIConRus.2019.8656915
- MathWorks. (07 de 02 de 2023). *Matlab*. Obtenido de Mathworks: <https://la.mathworks.com/help/signal/ref/butter.html>
- Ramirez, F. (2012). *Sistemas de Adquisicion de Datos*. Mexico .
- Rivera, J., De la Rosa, J., & Espina, J. (2015). *Adquisición de señales electrocardiográficas (ECG)*. México D. F. Obtenido de https://www-optica.inaoep.mx/~tecnologia_salud/2013/1/memorias/carteles/MyT2013_11_C.pdf

- Senplades. (2017). *Plan Nacional del Buen Vivir 2017-2021*.
- Singhal, A. (2014). *Filter Design: Analysis and Review*.
- Vallejo, M., & Alexander, A. (2022). *Introducción a la adquisición y acondicionamiento de señales*. INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO - ITM. Obtenido de <https://catalogo.itm.edu.co/gpd-introduccion-a-la-adquisicion-y-acondicionamiento-de-senales-9789585122642.html>
- Wilaeba electronica . (11 de septiembre de 2018). *Wilaeba electronica* . Obtenido de Filtro Pasa bajos Activo de 1er Orden RC: <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtro-pasa-bajos-activo-de-1er-orden-rc.html>
- Wilaeba Electronica. (25 de septiembre de 2018). *Wilaeba Electronica*. Obtenido de Filtro Pasa bajos Activo de 2do Orden MFB: <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtro-pasa-bajos-activo-de-2do-orden-mfb.html>
- Wilaeba Electronica. (11 de septiembre de 2108). *Wilaeba Electronica*. Obtenido de Filtros Pasa Altos: <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtro-pasa-altos-activo-de-1er-orden-rc.html>
- Zhiqiang, H., Jingzhi, Z., & Wenxian, Z. (2014). *Design and Implement of a Band-pass FIR filter based on FPGA in Multi-channel Data Acquisition System*.

ANEXOS

ANEXO A

Ficha de Requerimiento

Proyecto de Titulación: “Sistema de acoplamiento de señales de sensores a sistemas embebidos”

Objetivo del Análisis: Comprender los requerimientos que debe contar el sistema para proporcionar un adecuado acoplamiento de la señal de datos proveniente de sensores y a su vez cumplir con los objetivos planteados.

Fecha de realización: 20 de enero del 2023

Artículos o Libros utilizados para el estudio de requerimientos:

1. Introducción a la Adquisición y Acondicionamiento de Señales
2. Aplicaciones del Software Matlab/Simulink en modelado de sistemas básicos de telecomunicaciones.
3. Benchmark de selección de sensores para una WSN de recolección de datos para un sistema de alerta temprana de incendios forestales.
4. Description of Continuous Linear Systems in the Time, Operator and Frequency Domain.
5. Sistema de Acondicionamiento de Señales Digitales para la ampliación del rango de alcance del radio control de aeronaves no tripuladas en el centro de investigación y desarrollo de la fuerza aérea ecuatoriana.
6. Metodología de optimización de recursos multicriterio para sistemas embebidos con algoritmos de clasificación supervisada.
7. Design of ECG signal acquisition and processing system
8. Microcontroller-based, low-cost data-acquisition system with a double adaptative polarographic electrode for measuring dissolved oxygen in wine.
9. A simple Digital Data acquisition System for a Chopper Type Anemometer
10. Statistical Degradation Modeling and Prognostics of Multiple Sensor Signals via Data Fusion: A Composite Health Index Approach.

11. A Low-Cost Real-Time IOT Enabled Data Acquisition System for Monitoring of PV System.
12. Elements of Robotics: Chapter 2 Sensors.
13. Data Acquisition Handbook

Lista de Stakeholders

Descripción	Abreviatura
Requerimientos de Stakeholders	StSR
Requerimientos de Sistema	SySR
Requerimientos de Arquitectura	SrSH

Requerimiento de Stakeholders			
Nomenclatura	Requerimiento	Descripción	Prioridad
SiRS1	Ubicación del prototipo	<p>El consumo de energía al estar en un ambiente que pueda presentar variaciones instantáneas o grandes cambios de las condiciones puede afectar el correcto funcionamiento del sistema, lo que podría conllevar errores en su funcionamiento, motivo por el cual es recomendable ubicarlo en un ambiente controlado o que presente cambios mínimos en las condiciones. (Art: 4, 5 y 6)</p>	Media
SiRS1	Reducción de ruido de la señal	<p>La reducción de ruido en la señal es un tema importante en las redes de sensores inalámbricos, es por lo cual, una estructura de filtrado de orden 6 resulta adecuada. (Art: 1, 2, 5 y 13)</p>	Alta

StRS2	Conversión Análogo- Digital	Se hace necesario la utilización de una conversión de la señal proveniente del sensor para ser procesada la información digitalmente por el sistema embebido (Art: 1, 7 y 13).	Alta
StRS3	Amplificación	La señal proveniente de ciertos sensores presenta niveles de voltaje inferior al funcionamiento de ciertos elementos o etapas como la de conversión o lectura del sistema embebido por lo cual es importante una etapa de amplificación de la señal proveniente del sensor. (Art: 1, 13, 5)	Alta
StRS4	Respuesta en Frecuencia	Al trabajar con diferentes sensores, cada uno es independiente su funcionamiento por lo cual se estima definir una frecuencia adecuada para la lectura adecuada de la señal, de esta	Alta

		manera evitar errores en lecturas. (1,4 y 8)	
StRS5	Bajo consumo de Energía al realizar el proceso de adquisición de señales de datos	Al utilizar sensores se hace uso de baterías para los funcionamientos inalámbricos o remotos, los nodos que están ubicados lejos de la estación base consumen más rápidamente su energía (Elshrkawey et al., 2018), por lo cual al ser una red escalable se debe contar con una fuente de energía duradera.	Media

Requerimiento de Sistema

Requerimientos de Hardware

Nomenclatura	Requerimiento	Descripción	Prioridad
SrSH1	Disponibilidad y fácil adquisición de los elementos del sistema.	En el diseño e implementación del sistema es necesario el uso de elementos como amplificadores operacionales, resistores, capacitores, entre otros elementos los cuales al diseñar el circuito presenten ciertos valores para el funcionamiento ideal, pero no estar disponibles en el mercado ya que son fabricados y distribuidos de acuerdo a ciertos valores estándar, para esto se hace necesario desarrollar el circuito del sistema considerando estos aspectos relevantes. (Art. 3, 5 y 9).	Media

SrSH2	Compatibilidad del sistema con sensores y el tipo de señal		
SrSH3	Tolerancia a la interferencia	Hassan et al., (2022) afirma que la estructura subyacente de tolerancia a fallos es un requisito crítico que debe tenerse en cuenta al diseñar cualquier sistema de adquisición de datos, debido a que posteriormente se realiza un análisis y procesamiento de la información para ser aplicada de acuerdo al tema de interés (Art. 1 y 5).	Alta
Requerimientos de Software			
SrSH8	Software Compatible con el sistema Embebido	Para evidenciar el funcionamiento del sistema se hace necesario el uso de un software que permita visualización de la señal de datos provenientes del	Alta

		sensor y del sistema, de esta manera realizar un análisis comparativo en base a las métricas de filtrado, por lo cual es importante el uso de un software compatible con el sistema embebido y que permita una simulación de las señales. (Art. 2)	
--	--	--	--

Elaborado por: Hugo Basantes

Hugo Gabriel Basantes Patiño

Revisado por: MSc. Fabián ~~Cuzme~~ Rodríguez

Msc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez

ANEXO B

Criterios para el diseño del circuito.

Tabla 25

Coefficientes de aproximación Butterworth en estructura Sallen-Key.

n	Etapas	a_i	b_i
1	1	1.00	0.00
2	1	1.4142	1.00
3	1	1.00	0.00
	2	1.00	1.00
4	1	1.8475	1.00
	2	0.7654	1.00
5	1	1.00	0.00
	2	1.6180	1.00
	3	0.6180	1.00
6	1	1.9319	1.00
	2	1.4142	1.00
	3	0.5176	1.00

$$R_{1,2} = \frac{a_i C_2 \pm \sqrt{a_i^2 C_2^2 - 4b_i C_1 C_2}}{4\pi f_c C_1 C_2} \quad \text{XIX}$$

$$R_{1,2} = \frac{(0.5176)(6.8 \times 10^{-9}) \pm \sqrt{(0.5176)^2 (6.8 \times 10^{-9})^2 - 4(1.00)(6.8 \times 10^{-9})(472 \times 10^{-12})}}{4\pi(5 \text{ Hz})(6.8 \times 10^{-9})(472 \times 10^{-12})}$$

$$R_{1,2} = \frac{3.51968 \times 10^{-9} \pm \sqrt{0.26790976 \times (4.624 \times 10^{-17}) - 4(3.2096 \times 10^{-18})}}{2.016651156 \times 10^{-14}}$$

$$R_{1,2} = \frac{3.51968 \times 10^{-9} \pm \sqrt{1.23881473 \times 10^{-17} - 1.28384 \times 10^{-17}}}{2.016651156 \times 10^{-14}}$$

$$R_{1,2} = \frac{3.51968 \times 10^{-9} \pm \sqrt{4.502527 \times 10^{-19}}}{2.016651156 \times 10^{-14}}$$

$$R_{1,2} = \frac{3.51968 \times 10^{-9} \pm 6.710087183 \times 10^{-10}}{2.016651156 \times 10^{-14}}$$

$$R_{1,2} = \frac{4.190688718 \times 10^{-9}}{2.016651156 \times 10^{-14}}$$

$$R_{1,2} = (208804.3446) \times 2$$

$$R_{1,2} = 408 \text{ K}\Omega$$

El resultado es en el caso de una resistencia ideal, pero por disponibilidad en el mercado se ha tomado los valores más cercanos en este caso 390 kΩ.

Comparación de ventajas y desventajas entre filtros Activos y pasivos

Filtros Pasivos		Filtros Activos	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Muy económico.	Respuesta de frecuencias limitada por sus componentes pasivos.	No se usan elementos inductivos para su implementación.	Se requiere de alimentación de energía.
Fácil de implementar.	Por el paso del tiempo, se van desgastando y perdiendo sus propiedades	Se adaptan fácilmente a las impedancias	Frecuencias de trabajo limitadas por los amplificadores operacionales.
Trabaja para altas frecuencias y aplicaciones de potencias.	Las inductancias se deben diseñar de forma particular.	Son fáciles de implementar para filtros de gran orden (se conectan en cascada).	No trabajan en aplicaciones de alta potencia.
No utiliza fuente de alimentación.		Sus componentes no son de gran costo, Puede amplificar la señal de entrada.	La amplificación de la señal de entrada se limita a la alimentación del circuito.

ANEXO C

Códigos Arduino Adquisición de Datos

SENSOR DE TEMPERATURA DHT11

Este código es para un programa Arduino que lee la temperatura y la humedad utilizando un sensor DHT11 y muestra las lecturas en el monitor serie.

Aquí hay un desglose del código:

- **#include <DHT.h>**: Esta línea incluye la biblioteca DHT, que proporciona funciones para leer datos de temperatura y humedad de los sensores DHT.
- **#define PinSensor 2**: Esta línea define el número de pin al que está conectado el sensor DHT11.
- **#define Tipo DHT11**: Esta línea define el tipo de sensor DHT como DHT11.
- **DHT dht(PinSensor, Tipo)**: Esta línea crea un objeto DHT denominado **dht**, que se utiliza para interactuar con el sensor DHT11 conectado al pin especificado.
- **int led = 12**: Esta línea define una variable entera y le asigna el valor 12. Este pin se utilizará para controlar un LED.
- **void setup() { ... }**: Esta función se llama una vez cuando se inicia la placa Arduino. Inicializa la comunicación serie, el sensor DHT, y establece el modo pin para el LED como salida.
- **void loop() { ... }**: Esta función se llama repetidamente después de ejecutar la función. Lee los datos de temperatura y humedad del sensor DHT, imprime los datos en el monitor serie y enciende y apaga el LED para indicar que se está leyendo el sensor.
- **digitalWrite(led, HIGH)**: Esta línea enciende el LED ajustando el pin de salida a HIGH (5V).
- **delay(1000)**: Esta línea pausa el programa durante 1 segundo para dar tiempo a que el sensor DHT se estabilice y obtenga lecturas precisas.
- **float humedad = dht.readHumidity()**: Esta línea lee los datos de humedad del sensor DHT y los almacena en la variable **humedad**.

- **float temperatura = dht.readTemperature();**: Esta línea lee los datos de temperatura del sensor DHT y los almacena en la variable **temperatura**
- **digitalWrite(led, LOW);**: Esta línea apaga el LED ajustando el pin de salida a LOW (0V). **led**
- **Serial.print("Humedad: ");**: Esta línea imprime el texto "Humedad:" en el monitor serie.
- **Serial.print(humedad);**: Esta línea imprime el valor de humedad almacenado en la variable en el monitor serie. **humedad**
- **Serial.print(" Temperatura: ");**: Esta línea imprime el texto " Temperatura: " en el monitor serie.
- **Serial.print(temperatura);**: Esta línea imprime el valor de temperatura almacenado en la variable en el monitor serie. **temperatura**
- **Serial.print ("\n");**: Esta línea imprime un nuevo carácter de línea en el monitor serie, que mueve el cursor a la línea siguiente.

SENSOR DE PRESIÓN/FUERZA FSR402

Este es un programa de Arduino que lee el valor analógico de un sensor conectado al pin analógico A0 y utiliza ese valor para controlar un LED conectado al pin digital 13.

Aquí hay un desglose del código:

- «const int LEDPin= 13;
- 'void setup() { ... }
- 'Serial.begin (9600);
- 'pinMode(LEDPin, SALIDA
- 'pinMode(A0, ENTRADA);

- 'void loop() { ... }**setup()** se ejecuta. Lee el valor analógico del sensor, lo imprime en el monitor serie y enciende y apaga el LED en función del valor del sensor.
- 'int value= analogRead(Avalue.
- «Serial.println (valor,DEC); variable (la lectura del sensor analógico) en el monitor serie en formato decimal seguido de un carácter de nueva línea.
- «retraso(200);
- 'if (value == HIGH) { ... }**HIGH**. Si es así, el LED se enciende y se apaga con un retraso de 50 milisegundos entre ellos.
- 'digitalWrite(LEDpin, HIGH**LEDpin** a ALTO (5V).
- «retraso(50);
- **digitalWrite(LEDpin, LOW);**: Esta línea apaga el LED configurando el pin de salida **LEDpin** a BAJO (0V).
- 'else { ... }
- **digitalWrite(LEDpin, LOW);**: Esta línea apaga el LED configurando el pin de salida **LEDpin** a BAJO (0V)

SENSOR DE RADIACIÓN UV

Este es un programa de Arduino que lee el valor de voltaje analógico de un sensor conectado al pin analógico A1, calcula el voltaje del sensor en función del valor ADC y luego activa y apaga un LED conectado al pin digital 12 en un intervalo regular.

Aquí

- 'int led = 12;
- 'void setup() { ...
- 'Serial.begin(9600);
- 'pinMode(led, OUTPUT);

- **void loop() { ... }**: Esta función se llama repetidamente después de la **setup()** se ejecuta. Lee el valor analógico del sensor, calcula el voltaje del sensor en función del valor ADC, imprime los valores en el monitor serie y enciende y apaga el LED.
- 'sensor de flotaciónVoltaje
- 'float sensorValue;
- 'sensorValue = analogRead(A1);**sensorValue** variable.
- **sensorVoltage = sensorValue/1024*3.3;** Esta línea calcula el valor de voltaje del sensor utilizando el valor ADC y la referencia de voltaje de 3.3V.
- 'Serial.print("sensor reading = "); Serial.print(sensorValue); Serial.print(" "); Serial.print("voltaje del sensor = "); Serial.print(sensorVoltage); Serial.println(" V");
- 'digitalWrite (led, HIGH);
- **delay(1000);** Esta línea pausa el programa durante 1000 milisegundos.
- 'digitalWrite(led, LOW);**led** a BAJA

SENSOR CALIDAD DE AIRE MQ135

Este es un programa Arduino que lee un sensor analógico conectado al pin A5, verifica si el valor del sensor es mayor que 400 y activa y apaga un LED conectado al pin digital 12 según el valor del sensor.

Aquí hay un

- '#include <MQUnifiedsensor.h
- 'int sensorValue;
- 'int digital
- **int led = 12;** Esta línea declara una variable entera denominada **led** y le asigna el valor de 12. Este número de pin se utiliza para definir el pin de salida del LED

- **void setup() { ... }**: Esta función se llama una vez cuando se inicia la placa Arduino. Inicializa la comunicación serie y establece el modo de pin para el LED como salida.
- **Serial.begin(9600);**: Esta línea inicializa la comunicación serie a una velocidad en baudios de 960
- **pinMode(led, OUTPUT);**: Esta línea establece el modo del pin digital 12 (el pin LED) como salida.
- **void loop() { ... }**: Esta función se llama repetidamente después de la **setup()** se ejecuta. Lee el valor analógico del sensor, comprueba si el valor del sensor es superior a 400, enciende y apaga el LED en consecuencia e imprime el valor del sensor en el monitor serie.
- **sensorValue = analogRead(5);**: Esta línea lee el valor analógico del sensor conectado al pin analógico A5 y lo almacena en el **sensorValue** variable.
- `< if (sensorValue > 400`
- `'digitalWrite(led, HIGH`
- **else digitalWrite(led, LOW);**: Esta línea apaga el LED configurando el pin de salida **led** a BAJO (0V) si el **sensorValue** es menos
- `'Serial.println(sensorValue`
- **delay(1000);**: Esta línea pausa el programa durante 1000 milisegundos antes de la siguiente lectura.

SENSOR DE PRESENCIA/MOVIMIENTO PIR

Este es un código para un sensor de movimiento PIR y un LED. El sensor PIR (infrarrojo pasivo) detecta el movimiento al detectar la radiación infrarroja emitida por un cuerpo en movimiento. Cuando se detecta movimiento, el LED se enciende y, cuando no se detecta movimiento, el LED se apaga.

```
#include <PIR.h>
```

```
const int PIRpin = 11; //Sensor de Movimiento PIR | pin 11 Arduino
```

```
const int led = 12; // Led | pin 12 Arduino

int movimiento = 0 ; // Variable que guarda el cambio de estado del sensor

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(PIRpin, INPUT);

  pinMode(led, OUTPUT);

  Serial. print ("Sensor de Movimiento PIR Motion\n");

  Serial.print ("Hugo Basantes");

  Serial.print (" ");

}

void loop() {

  movimiento = digitalRead(PIRpin);

  delay(200);

  if (movimiento == HIGH) {

    Serial.print(movimiento); Serial.print (" : "); Serial.print ("Movimiento Detectado\n");

    digitalWrite (led, HIGH);

  }

  else {

    Serial.print (movimiento); Serial.print (" : "); Serial.print ("No se detecta movimiento\n");

    delay(200);

    digitalWrite (led, LOW);

  }

}}
```

En `loop()` , el programa lee el valor digital de la **PIRpin** Utilizando el comando `digitalRead()` y lo almacena en el cuadro **movimiento** variable. Si se detecta movimiento (el valor de **movimiento** es 'HIGHHIGH'), el programa enciende el 'led**led** configurándolo en **HIGH**. También imprime un mensaje en el monitor serie indicando que se ha detectado movimiento. Si no se detecta ningún movimiento (el valor de **movimiento** es 'LOWLOW'), el programa apaga el 'led**led** configurándolo**LOW**. También imprime un mensaje en el monitor serie indicando que no se ha detectado movimiento. El `delay()` se utiliza para evitar leer el 'PIRpin'**PIRpin** demasiado rápido y para dar tiempo a que el sensor se estabilice.

SENSOR DE PULSO CARDIACO

Este software no está diseñado para uso médico.

/*

Cada Sketch que use el PulseSensor Playground debe ser

defina `USE_ARDUINO_INTERRUPTS` antes de incluir `PulseSensorPlayground.h`.

Aquí, `#define USE_ARDUINO_INTERRUPTS true` le dice a la biblioteca que se use interrupciones para leer y procesar automáticamente los datos de `PulseSensor`.

Consulte `ProcessEverySample.ino` para ver un ejemplo de cómo no usar interrupciones.

*/

```
#define USE_ARDUINO_INTERRUPTS true
```

```
#include <PulseSensorPlayground.h>
```

/*

El formato de nuestra salida.

Establézcalo en `SERIAL_PLOTTER` si va a ejecutar

Serial Plotter del IDE de Arduino.

*/

```
const int OUTPUT_TYPE = SERIAL_PLOTTER;
```

```
/*
```

Asignación de pines:

PULSE_INPUT = Entrada analógica. Conectado al sensor de pulso

Sin Acoplamiento(señal).

PULSE_INPUT2 = Entrada analógica. Conectado al sensor de pulso

con Acoplamiento (señal).

PULSE_BLINK = Salida digital. Conectado a un LED (y una resistencia en serie de 1K)

que parpadeará en cada pulso detectado.

PULSE_FADE = Salida digital. Pin PWM conectado a un LED (y resistencia de serie 1K)

que se desvanecerá suavemente con cada pulso.

NOTA: PULSE_FADE debe ser un pin compatible con PWM. No utilice

pin 9 o 10, porque el PWM de esos pines interfiere con el temporizador de muestra.

El UMBRAL debe configurarse más alto que la señal de PulseSensor inactiva

cuando no hay nada tocándolo. El valor inactivo esperado

debe ser 512, que es la mitad del rango de ADC. Para comprobar el valor inactivo

abra un monitor en serie y tome nota de los valores de la señal PulseSensor

sin que nada toque el sensor. UMBRAL debe ser un valor más alto

que el rango de ruido inactivo por 25 a 50 más o menos. Cuando la biblioteca

está encontrando latidos, el valor se ajusta en función de la señal del pulso

forma de onda THRESHOLD establece el valor predeterminado cuando no hay pulso presente.

Ajuste según sea necesario.

```
*/
```

```

const int PULSE_INPUT = A0;

const int PULSE_BLINK = LED_BUILTIN;

const int PULSE_FADE = 5;

const int THRESHOLD = 2; // Ajuste este número para evitar el ruido cuando está inactivo.

```

```

/*

```

Todas las funciones del PulseSensor Playground .

```

*/

```

```

PulseSensorPlayground pulseSensor;

```

```

void setup() {

```

```

/*

```

Use 115200 baudios porque eso es lo que Processing Sketch espera leer,

y porque esa velocidad proporciona unos 11 bytes por milisegundo.

Si usáramos una tasa de baudios más lenta, probablemente escribiríamos bytes más rápido que se pueden transmitir, lo que estropearía el tiempo

de llamadas readSensor(), lo que haría que la medición del pulso

no trabaja adecuadamente.

```

*/

```

```

Serial.begin(115200);

```

```

// Configure el administrador de PulseSensor.

```

```

pulseSensor.analogInput(PULSE_INPUT);

```

```

pulseSensor.blinkOnPulse(PULSE_BLINK);

```

```

pulseSensor.fadeOnPulse(PULSE_FADE);

```

```

pulseSensor.setSerial(Serial);

```

```
pulseSensor.setOutputType(OUTPUT_TYPE);
pulseSensor.setThreshold(THRESHOLD);
// Ahora que todo está listo, comience a leer la señal de PulseSensor.
if (!pulseSensor.begin()) {
  /*
  La inicialización de PulseSensor falló,
  probablemente porque nuestra plataforma particular de Arduino interrumpe
  aún no son compatibles.
  */
  for (;;) {
    // Parpadee el led para mostrar que las cosas no funcionaron.
    digitalWrite(PULSE_BLINK, LOW);
    delay(50);
    digitalWrite(PULSE_BLINK, HIGH);
    delay(50);
  }
}
}

void loop() {
  /*
  Espera un poco.
  No sacamos todas las muestras, porque nuestra tasa de baudios
  no soportará tanta E/S.
  */
}
```

```
*/  
  
delay(20);  
  
// escribe la última muestra en Serial.  
  
pulseSensor.outputSample();  
  
/*  
  
    Si ha ocurrido un latido desde la última vez que verificamos,  
    escribe la información por latido en Serial.  
  
*/  
  
if (pulseSensor.sawStartOfBeat()) {  
    pulseSensor.outputBeat();  
}  
}
```

ANEXO D

Algoritmos de Matlab utilizados para las señales de sensores

APROXIMACIÓN BUTTERWORTH

Este es un código de MATLAB que procesa una señal muestreada de un sensor y almacenada en un archivo .txt. Aquí hay una breve explicación de lo que hace el código:

- La primera línea carga una señal de ECG de un archivo de texto llamado "ECG.txt" en una variable llamada "sig".
- `sig = load('ECG.txt');`
- Luego, el código traza la señal de ECG original en una subgráfica (2 filas, 2 columnas) de una figura, con un título, etiquetas y líneas de cuadrícula.

```
subplot(2,2,1)
```

```
plot(sig)
```

```
title('Señal de Pulso Cardíaco sin Acoplamiento')
```

```
xlabel('N° de Muestras')
```

```
ylabel('Magnitud de Pulso (bpm)')
```

```
grid on
```

- La siguiente sección calcula y traza el espectro de magnitud de la señal de ECG ruidosa en otra subgráfica de la misma figura. Utiliza la transformada rápida de Fourier (FFT) para calcular la representación en el dominio de frecuencia de la señal y traza el valor absoluto del resultado FFT.
- `Mag = abs(fft(sig));`
- Luego, el código aplica un filtro Butterworth de paso bajo a la señal de ECG ruidosa para eliminar el ruido de alta frecuencia. Encuentra y traza la respuesta de frecuencia del filtro y, a continuación, aplica el filtro a la señal de ECG original utilizando la función "filtro" en MATLAB.
- `[bl_low al_low] = butter (1, 0.05, 'low');`

- Finalmente, el código traza la señal de ECG filtrada en una subgráfica separada de la figura, junto con la señal de ECG original, y agrega una leyenda, título y etiquetas a la gráfica.

```

• H_low = freqz(bl_low, al_low, floor(n/2));
•
• plot([0:1/(n/2-1):1], abs(H_low), 'r')
• %filtered Signal
• filtered = filter(bl_low, al_low, sig);
• subplot(2,1,2)
• plot(filtered)
• title('Señal de Pulso Cardíaco Suavizada Matlab ')
• xlabel('N° de Muestras')
• ylabel('Magnitud de Pulso (bpm) ')
• grid on

```

En general, este código realiza el procesamiento de la señal en una señal de ECG para eliminar el ruido y visualizar la señal filtrada resultante.

APROXIMACIÓN BESSEL

Este código aplica un filtro de paso alto a la señal de ECG para eliminar los componentes de baja frecuencia y mantener los componentes de alta frecuencia de la señal. El filtro utilizado es un filtro Bessel de orden 6 con una frecuencia de corte de 0,05 Hz. Aquí hay una breve explicación del código:

Cargue la señal de ECG desde el archivo "ECG.txt".

```
sig = load('ECG.txt');
```

Trazar la señal de ECG original en la primera subtrama.

```

subplot(2,2,1)
plot(sig)
title('Señal de Pulso Cardíaco sin Acoplamiento')
xlabel('N° de Muestras')
ylabel('Magnitud de Pulso (bpm) ')
grid on

```

Calcule el espectro de magnitud de la señal de ECG utilizando el FFT y tráquelo en la segunda subgráfica.

```

Mag = abs(fft(sig));
subplot(2,2,2)
plot(Mag)

```

```

title('Magnitud de Ruido en la señal')
xlabel('N° de Muestras')
ylabel('Magnitud de Ruido')
grid on

```

Trazar el eje de frecuencia normalizado hasta la mitad de la longitud de la señal.

```

n = length(sig);
plot([0:1/(n/2-1):1], Mag(1:n/2))
hold on

```

Defina los coeficientes de filtro del filtro de Bessel con una frecuencia de corte de 0,05 Hz.

```
[bl_low al_low] = besself(6, 0.05, 'high');
```

Calcule la respuesta de frecuencia del filtro utilizando la función "freqz" y tráquela en la segunda subtrama.

```

H_low = freqz(bl_low, al_low, floor(n/2));
plot([0:1/(n/2-1):1], abs(H_low), 'r')

```

Aplique el filtro a la señal de ECG utilizando la función "filtro".

```
filtered = filter(bl_low, al_low, sig);
```

Trazar la señal de ECG filtrada en la tercera subtrama.

```

subplot(2,1,2)
plot(filtered)
title('Señal de Pulso Cardíaco Suavizada Matlab ')
xlabel('N° de Muestras')
ylabel('Magnitud de Pulso (bpm)')
grid on

```

Tenga en cuenta que la tercera subtrama es ahora una figura separada de las dos primeras subtramas.

APROXIMACIÓN CHEBYSHEV

Este código lee una señal de ECG de un archivo de texto, establece la frecuencia de muestreo en 1.000 Hz y define una frecuencia de corte de 400 Hz. Luego verifica si la frecuencia de corte es inferior a la mitad de la frecuencia de muestreo, calcula los coeficientes de filtro utilizando un filtro Chebyshev Tipo I con un orden de filtro de 6, aplica el filtro a la señal utilizando la función de filtro y traza las señales originales y filtradas en subgráficas separadas.

```

signal = load ('ECG.txt');
fs = 1000; % sampling frequency in Hz
f_cutoff = 400; % cutoff frequency in Hz

if f_cutoff >= fs/2
    error('Cutoff frequency must be less than half the sampling frequency')
end

Wn = f_cutoff/(fs/2); % normalize the cutoff frequency
[b1,a1] = cheby1(6,0.5,Wn,'low'); % compute the filter coefficients

% Filter the signal
filtered_signal = filter(b1,a1,signal);

% Plot the original and filtered signals
figure
subplot(2,1,1)
plot(signal)
title('Señal Original de Pulso Cardíaco')
xlabel('Tiempo (muestras)')
ylabel('Magnitud de Pulso (bpm)')
subplot(2,1,2)
plot(filtered_signal)
title('Señal de Pulso Cardíaco Suavizada Chebyshev')
xlabel('Tiempo (muestras)')
ylabel('Magnitud de Pulso (bpm)')

```

El propósito de este código es filtrar el ruido y suavizar la señal de ECG utilizando un filtro Chebyshev Tipo I. La señal filtrada se puede utilizar para análisis adicionales, como detectar complejos QRS o calcular la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

APROXIMACIÓN ELIPTICA

Los filtros elípticos son una tercera opción para el suavizado de señales de ECG. Proporcionan el rolloff más pronunciado de cualquier tipo de filtro, lo que puede resultar en la menor cantidad de distorsión a frecuencias más altas. Sin embargo, tienen ondulaciones tanto en la banda de paso como en la banda de parada, y también pueden introducir distorsión de fase no lineal.

```
% Load txt signal
sig = load('ECG.txt');

% Set filter specifications
fs = 8000; % Sampling frequency
fpass = 1000; % Passband edge frequency
fstop = 2000; % Stopband edge frequency
Rp = 0.5; % Passband ripple in dB
Rs = 40; % Stopband attenuation in dB

% Normalize frequencies
Wp = fpass/(fs/2);
Ws = fstop/(fs/2);

% Determine filter order
[n, Wn] = ellipord(Wp, Ws, Rp, Rs);

% Design filter
[b, a] = ellip(n, Rp, Rs, Wp, 'low');

% Apply filter to signal
filtered = filter(b, a, sig);

% Plot original and filtered signals
t = (0:length(sig)-1)/fs; % Time vector
subplot(2,1,1)
plot(t, sig)
title('Señal Original de Pulso Cardíaco')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Magnitud de Pulso (bpm)')
grid on
subplot(2,1,2)
plot(t, filtered)
title('Señal de Pulso Cardíaco Suavizada Eliptico')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Magnitud de Pulso (bpm)')
grid on
```

FILTRADO HAMPEL

El filtro Hampel es un método robusto para eliminar el ruido y los valores atípicos de una señal. Se basa en una ventana deslizante que se mueve a través de la señal, y en cada posición, se calcula la desviación absoluta mediana (MAD) de los datos dentro de la ventana. A continuación, se establece un umbral como múltiplo del MAD y cualquier punto de datos que supere este umbral se reemplaza con el valor medio de los datos dentro de la ventana.

En el código proporcionado, el filtro Hampel se aplica a una señal de pulso cargada desde un archivo. El tamaño de la ventana y el número de desviaciones estándar para el umbral se establecen como parámetros del filtro. La señal filtrada se traza junto con la señal original para visualizar el efecto del filtro.

Vale la pena señalar que el filtro Hampel es un filtro no lineal y puede introducir distorsión en la señal, especialmente cuando el umbral se establece demasiado bajo o el tamaño de la ventana es demasiado pequeño. Por lo tanto, es importante elegir los parámetros cuidadosamente para lograr el nivel deseado de reducción de ruido sin afectar las características de la señal.

```
% Load signal from a file
y = load('ECG.txt');

% Design the Hampel filter
window_size = 13; % Window size for the filter
num_std = 3; % Number of standard deviations for thresholding
y_filtered = hampel(y, window_size, num_std);

% Plot the original signal and filtered signal
plot(y);
hold on;
plot(y_filtered);
legend('Señal Original de Pulso Cardíaco', 'Señal de Pulso Cardíaco Hampel');
xlabel('N° de Muestras')
ylabel('Pulso (bpm)')
title('Señales de Pulso Cardíaco')
grid on
% Save the filtered signal to a file
%save('filtered_signal.txt', 'y_filtered', '-ascii');
```

FILTRADO MEDIANA

Se ha aplicado diferentes técnicas de suavizado a la señal de ECG original y ha trazado los resultados en una figura con dos subgráficos. La primera subgráfica muestra la señal original junto con las señales obtenidas utilizando la media móvil, el filtro Savitzky-Golay, y la segunda subgráfica muestra la señal original y la señal obtenida mediante el filtro mediano.

El filtro de media móvil calcula el promedio de las últimas N muestras de la señal para suavizarla. El filtro Savitzky-Golay es un filtro de suavizado polinómico que puede preservar las características de la señal al tiempo que reduce el ruido. El filtro mediano reemplaza cada muestra con el valor mediano de una ventana de N muestras, que puede eliminar los valores atípicos y el ruido impulsivo de manera efectiva.

Los resultados muestran que todas las técnicas de suavizado han reducido el ruido y suavizado la señal original del ECG hasta cierto punto. Sin embargo, la eficacia de los filtros para preservar las características de la señal y reducir el ruido puede variar según las características de la señal y los parámetros del filtro utilizados. Es importante elegir el filtro y los parámetros adecuados en función de la aplicación específica y las características de la señal.

```
% Load signal from a txt file
data = load('ECG.txt');
x = data(:,1); % assume signal is in first column of file
t = 1:length(x); % assume time index is simply the sample number

% Apply filters and plot results
yMovingAverage = conv(x,ones(5,1)/5,'same');
ySavitzkyGolay = sgolayfilt(x,3,5);
yMedFilt = medfilt1(x,5,'truncate');

figure;
subplot(2,1,1);
plot(t,x, ...
      t,yMovingAverage, ...
      t,ySavitzkyGolay);
legend('Señal de Pulso Cardíaco Original','moving average','Savitzky-Golay');
title('Señales Suavizadas');
ylabel('Magnitud de Pulso (bpm)');
xlabel('N° de Muestras');
grid on

subplot(2,1,2);
```

```

plot(t,x, ...
      t,yMedFilt);
legend('Señal de Pulso Cardíaco Original',' Suavizado Mediano');
title('Señal de Pulso Cardíaco Suavizado Mediano Matlab');
ylabel ('Magnitud de Pulso (bpm)')
xlabel ('N° de Muestras')
grid on

```

FILTRADO SAVITZKY-GOLAY

El código parece estar usando el filtro Savitzky-Golay para suavizar la señal de ECG cargada desde un archivo. El filtro Savitzky-Golay es un tipo de filtro de procesamiento de señal digital que se puede utilizar para suavizar y diferenciar una señal. Funciona ajustando un polinomio a una sección local de la señal y luego usando ese polinomio para estimar el valor suavizado de la señal.

En el código, el 'sgolayframen determina la longitud de la ventana utilizada para ajustar el polinomio. A continuación, los coeficientes de filtro se utilizan para calcular la señal suavizada aplicando el filtro a la señal de ECG utilizando el 'conv

Finalmente, el código aplica el filtro al principio y al final de la señal utilizando una versión invertida de los coeficientes de filtro para evitar efectos de borde.

```

dt = 1/5;
t = (0:dt:1000-dt)';
x = load ('ECG.txt');
order = 6;
framen = 21;

b = sgolay(order,framen);
ycenter = conv(x,b((framen+1)/2,:), 'valid');

ybegin = b(end:-1:(framen+3)/2,:) * x(framen:-1:1);
yend = b((framen-1)/2:-1:1,:) * x(end:-1:end-(framen-1));

y = [ybegin; ycenter; yend];
figure();
subplot (2,1,1)
plot([x y])
title ('Señal de Pulso Cardíaco')
legend('Señal de Ruido',' Señal de Pulso Cardíaco')
ylabel ('Magnitud (Bpm)')
xlabel ('N° de Muestras')
grid on

subplot(2,1,2)

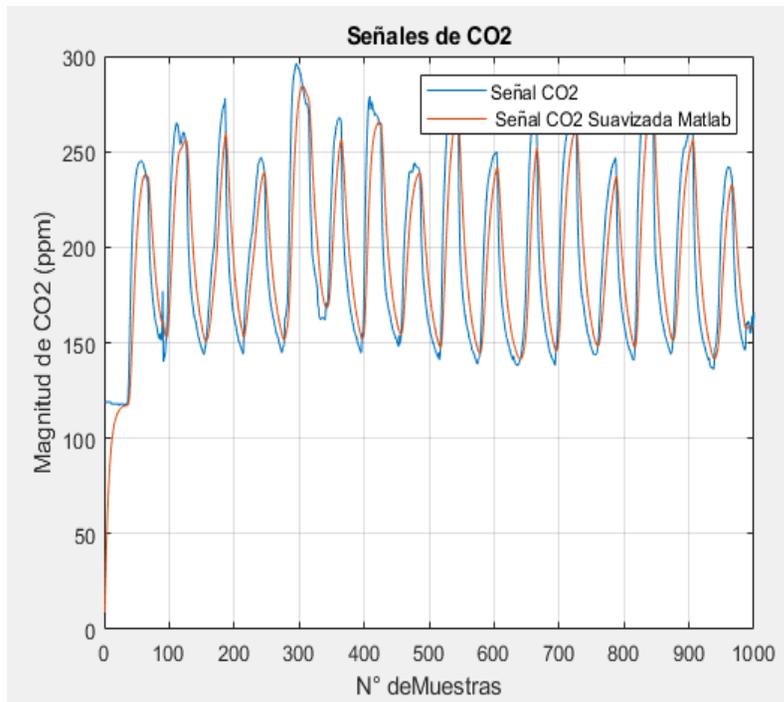
```

```
plot (y)
title ('Señal de Pulso Cardíaco Sabitzky Golay')
ylabel ('Magnitud (Bpm)')
xlabel('N° de Muestras')
grid on
```

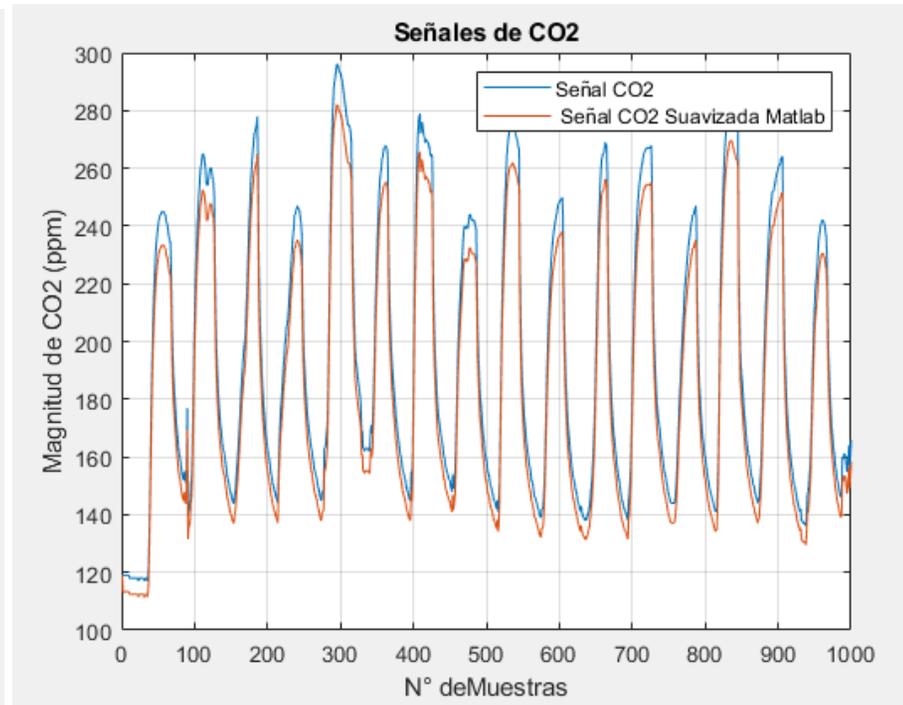
ANEXO E

Figuras de Resultados de Aproximaciones y filtros digitales para cada sensor

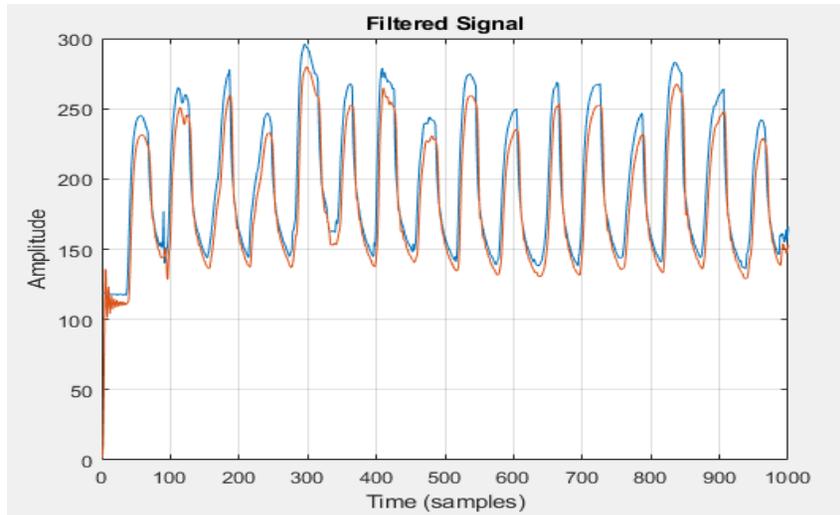
SENSOR CALIDAD DE AIRE MQ135



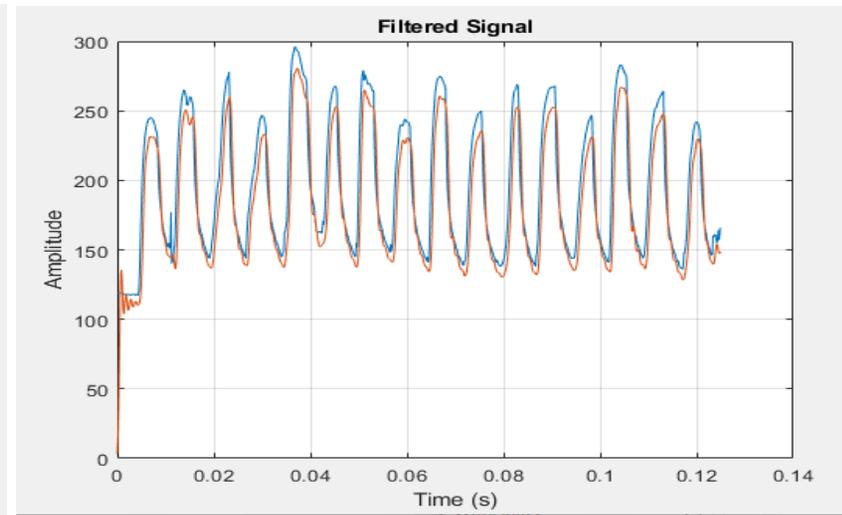
a) Aproximación Butterworth



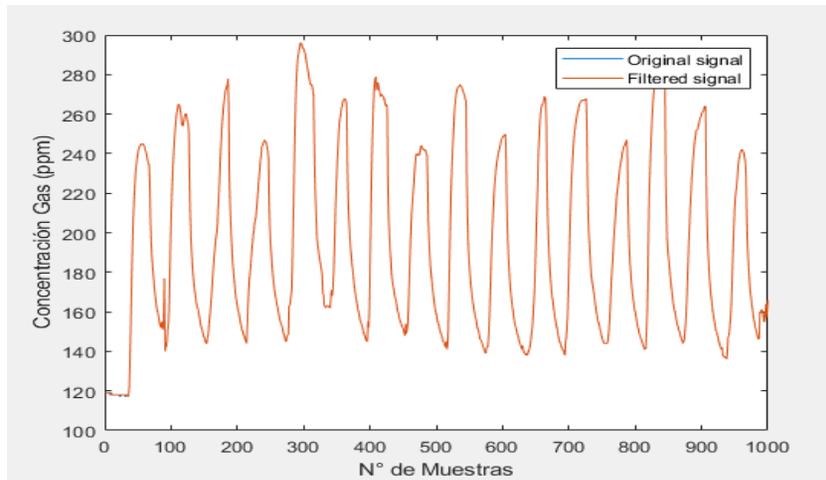
b) Aproximación Bessel



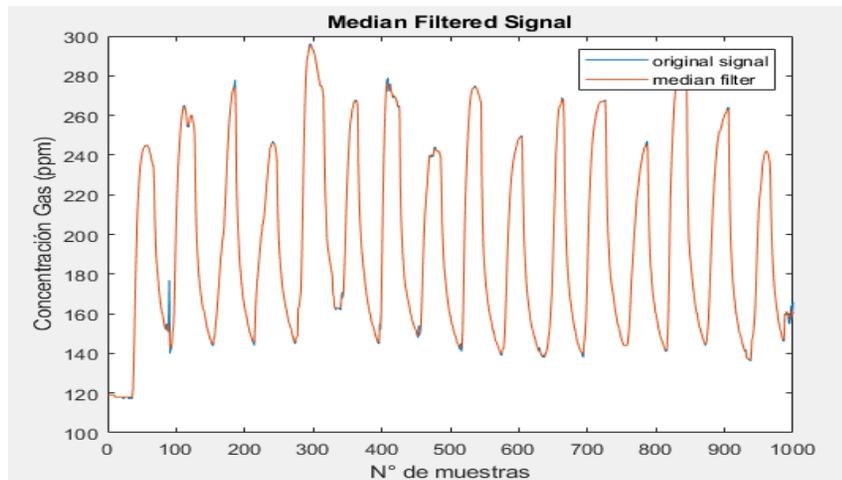
c) Aproximación Chebyshev



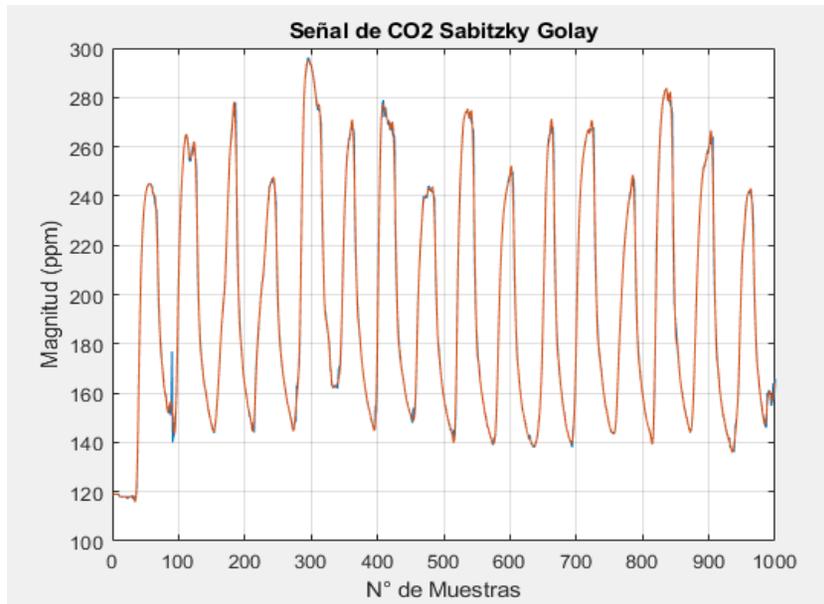
d) Aproximación Elíptica



e) Filtrado Hampel

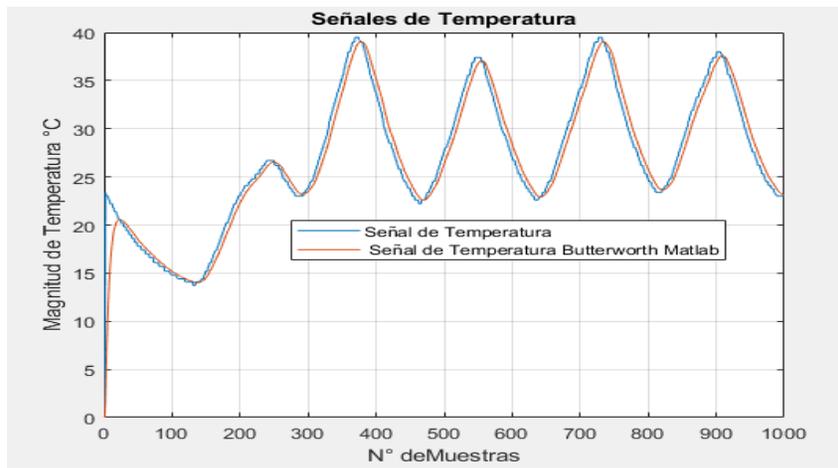


f) Filtrado Mediana

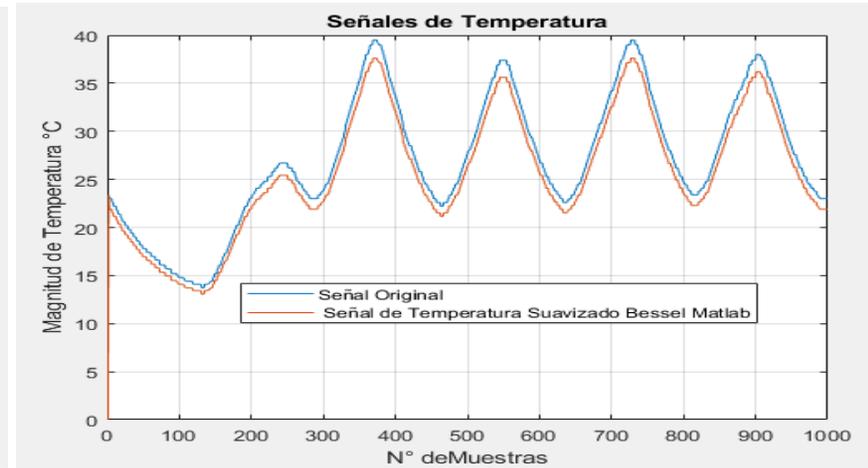


g) Filtrado Sabitzky golay

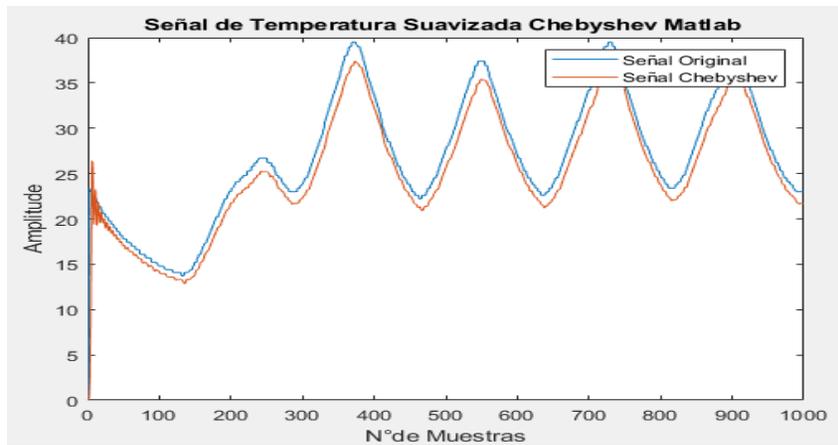
SENSOR DE TEMPERATURA DHT11



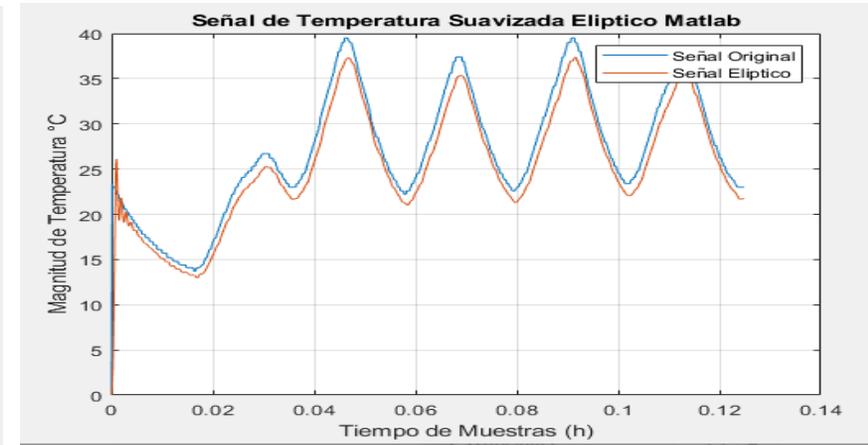
a) Aproximación Butterworth



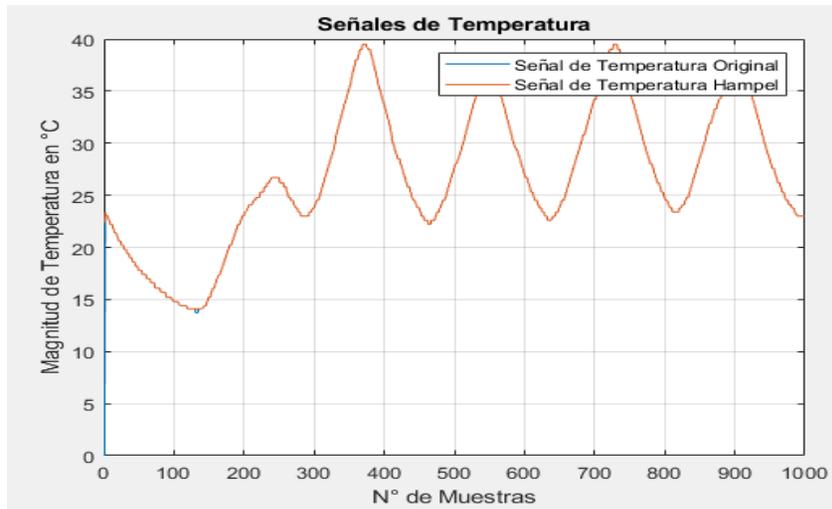
b) Aproximación Bessel



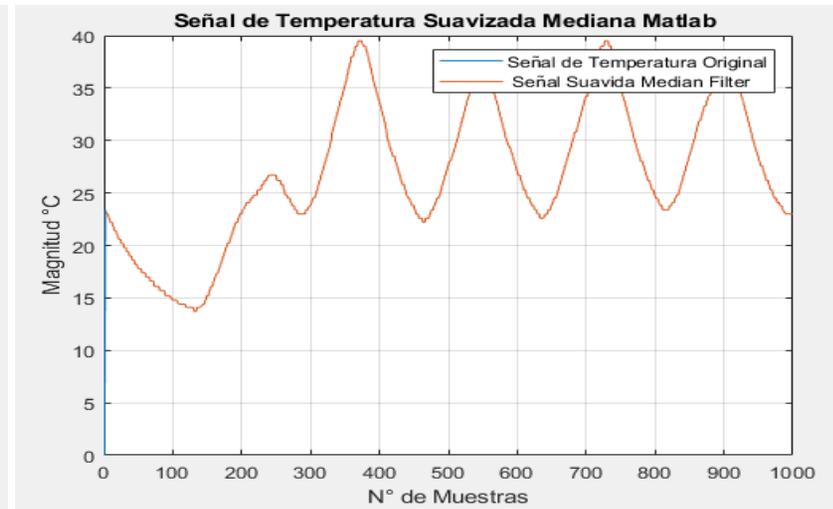
c) Aproximación Chebyshev



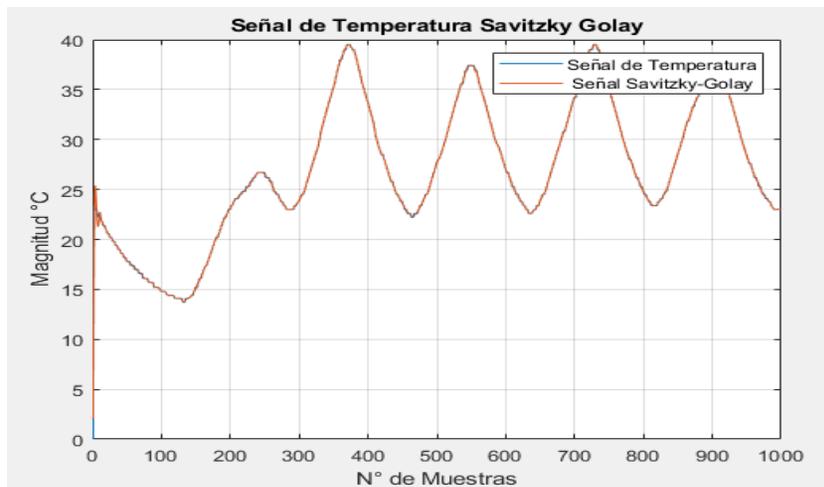
d) Aproximación Elíptica



e) Filtrado Hampel

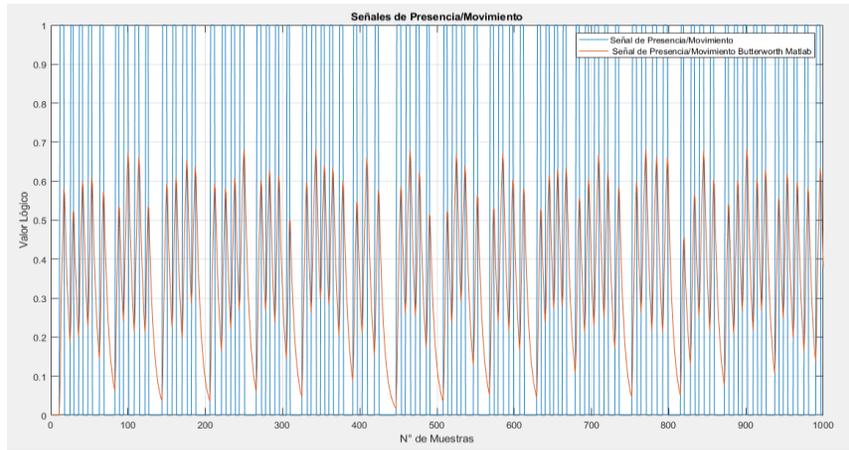


f) Filtrado Mediana

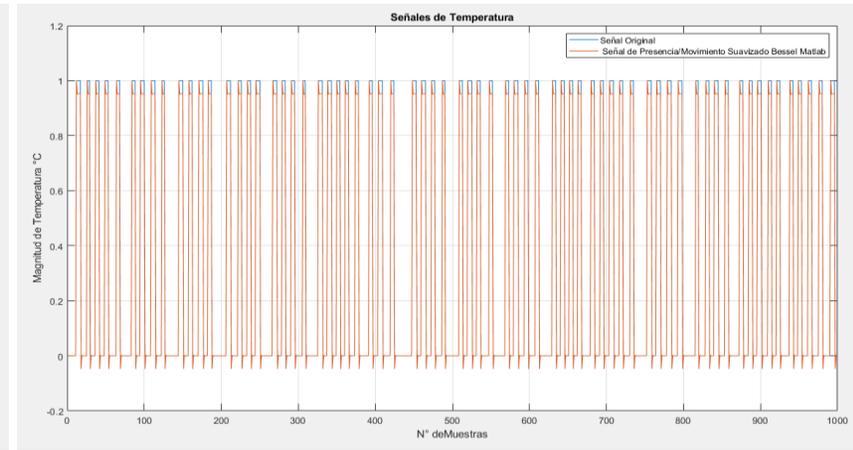


g) Filtrado Savitsky-Golay

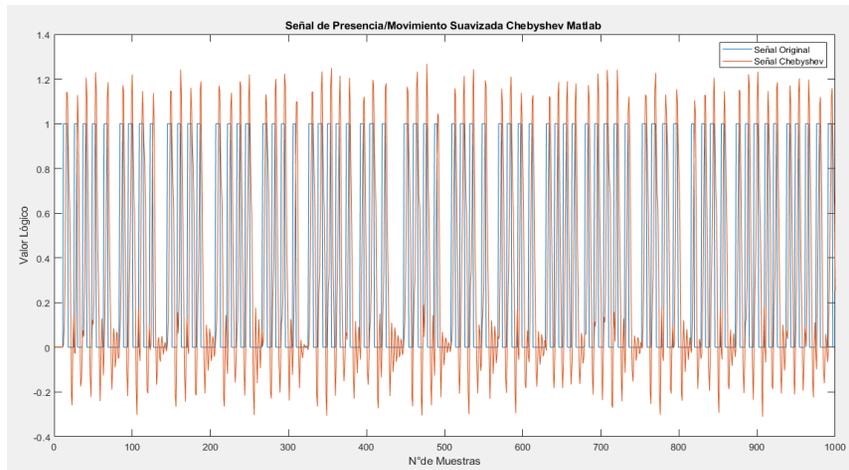
SENSOR DE PRESENCIA/MOVIMIENTO PIR



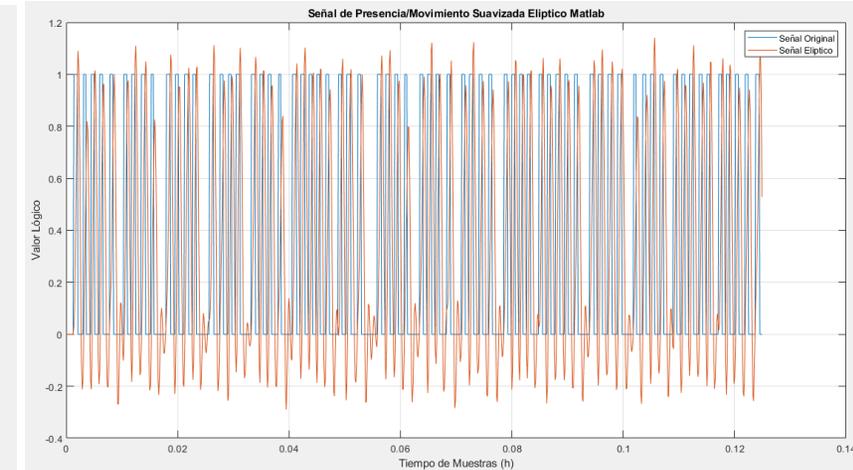
a) Aproximación Butterworth



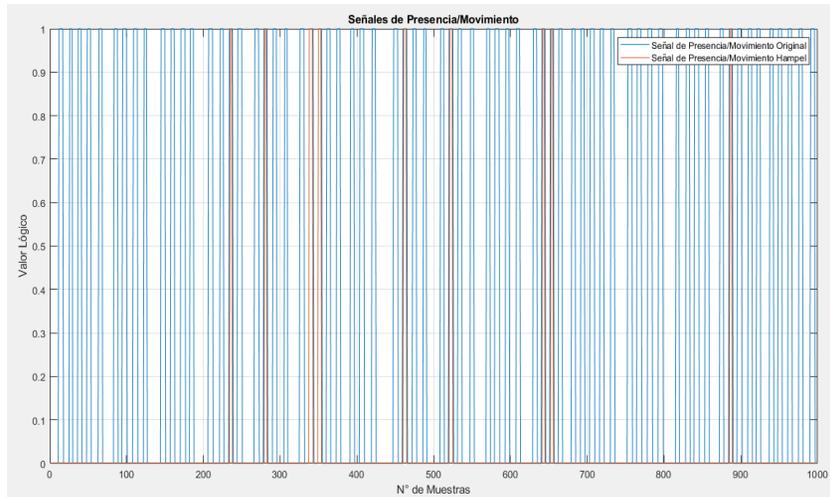
b) Aproximación Bessel



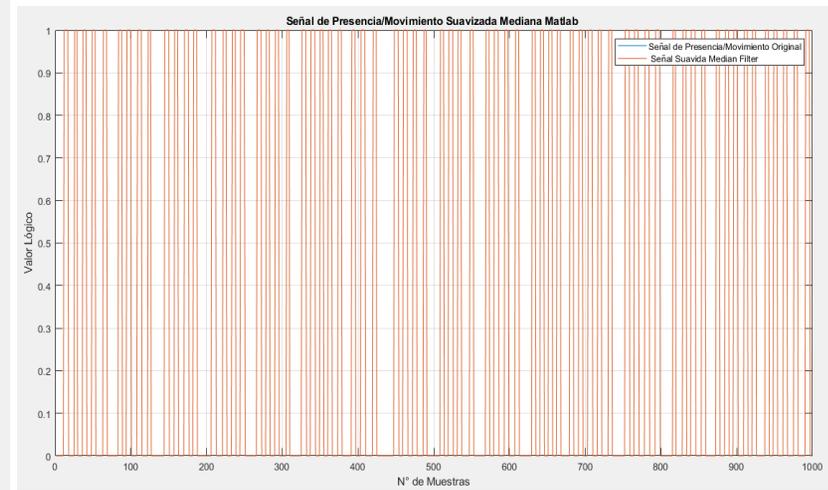
c) Aproximación Chebyshev



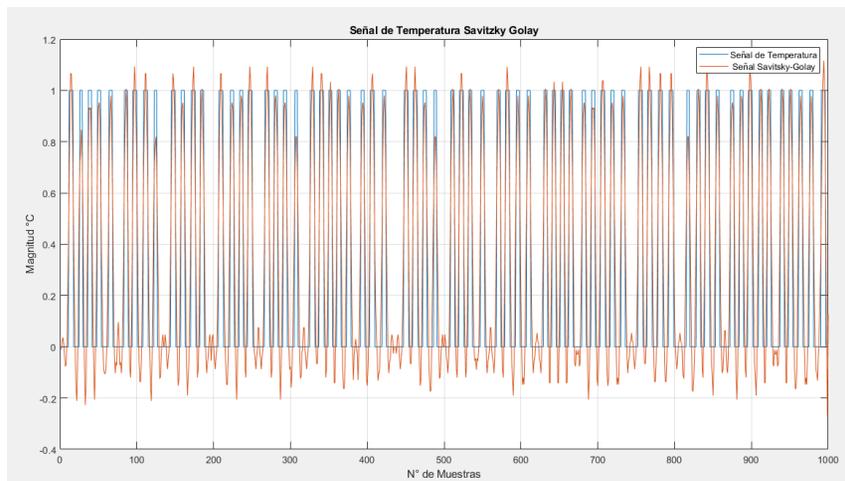
d) Aproximación Elíptica



e) Filtrado Hampel

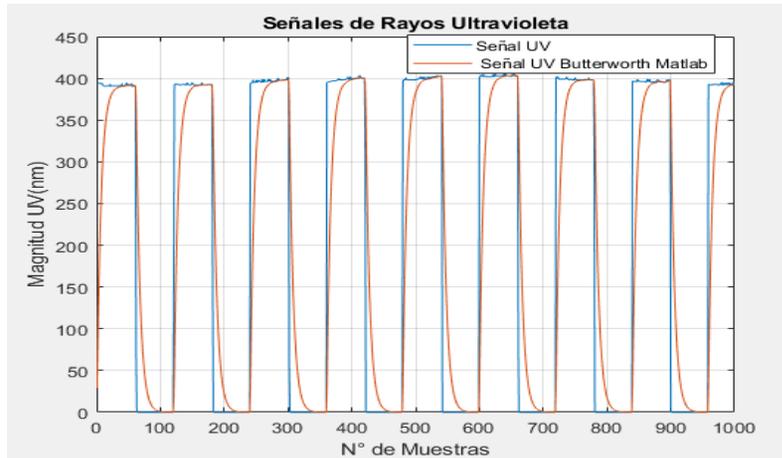


f) Filtrado Mediana

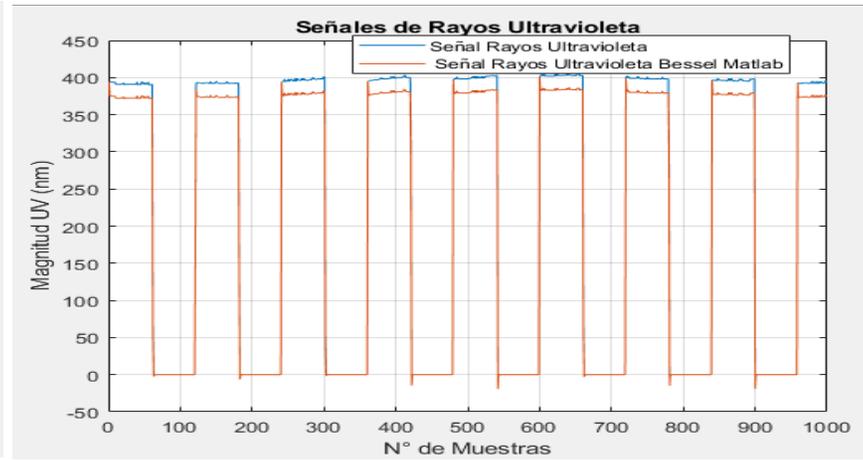


g) Filtrado Savitsky-Golay

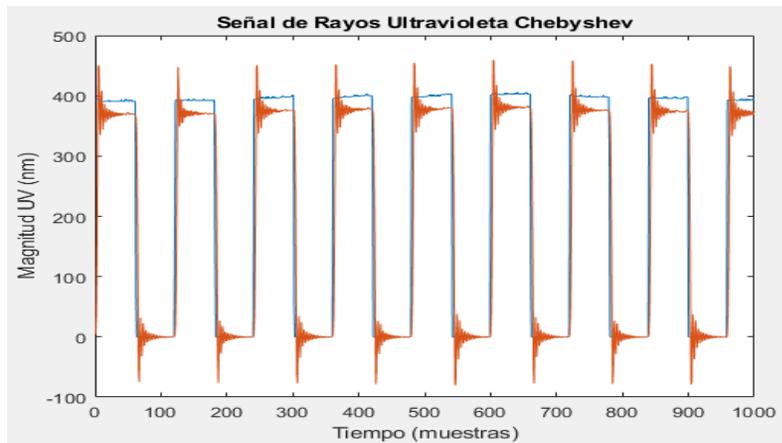
SENSOR DE RADIACIÓN UV



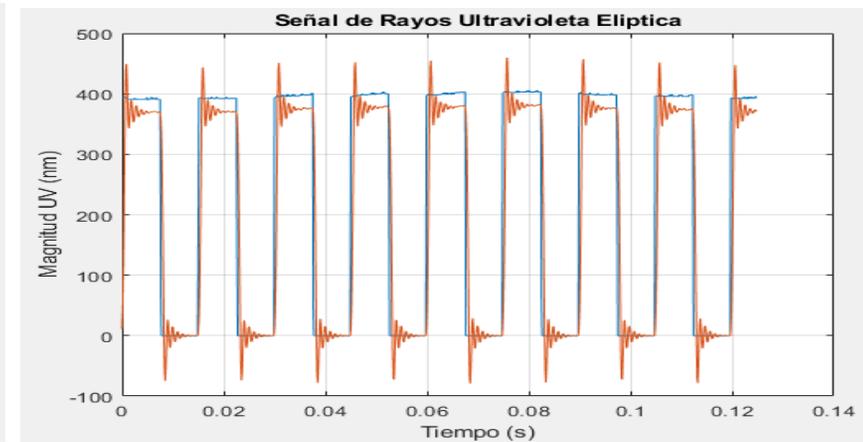
a) Aproximación Butterworth



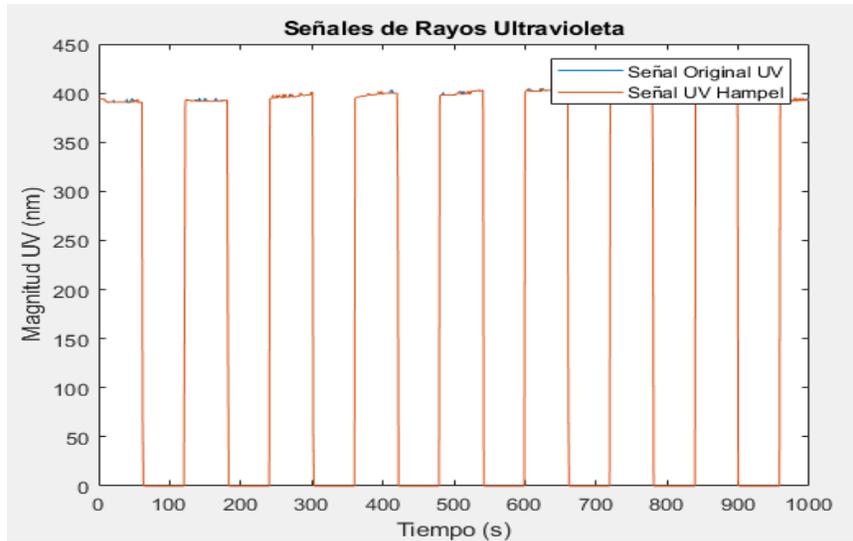
b) Aproximación Bessel



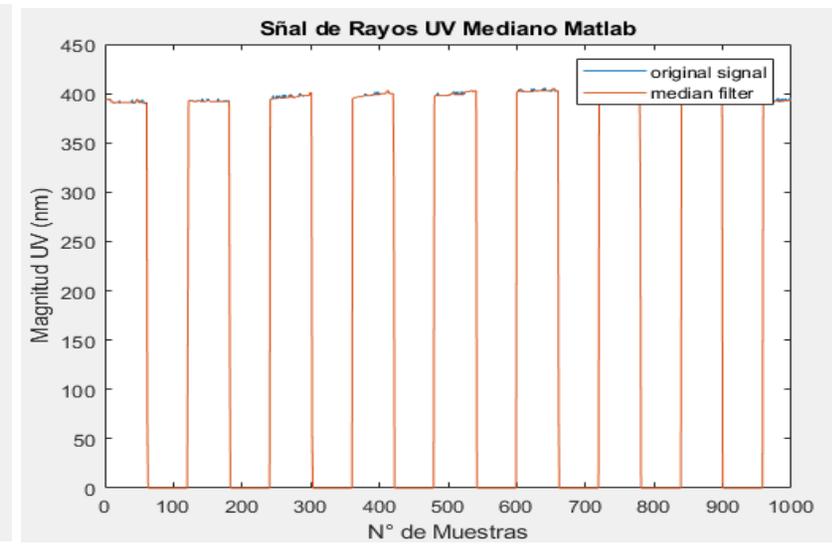
c) Aproximación Chebyshev



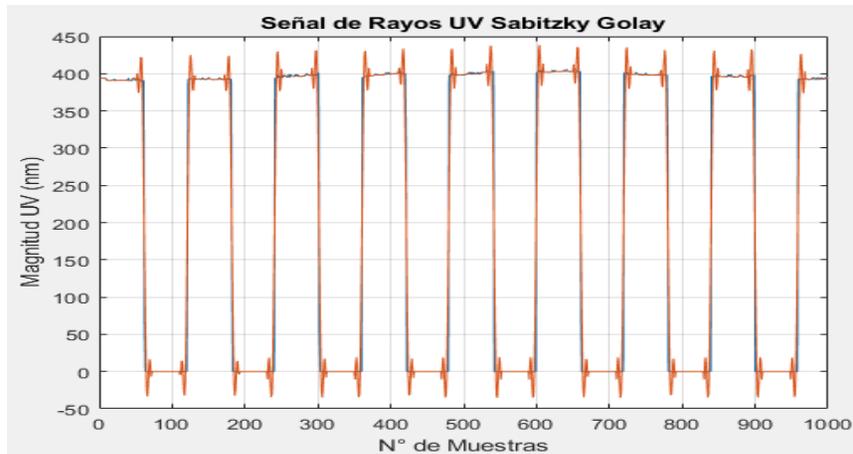
d) Aproximación Elíptica



e) Filtrado Hampel

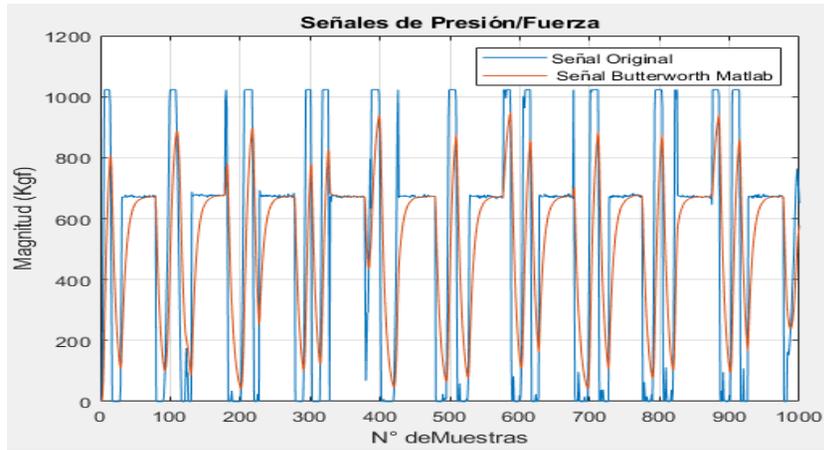


f) Filtrado Mediana

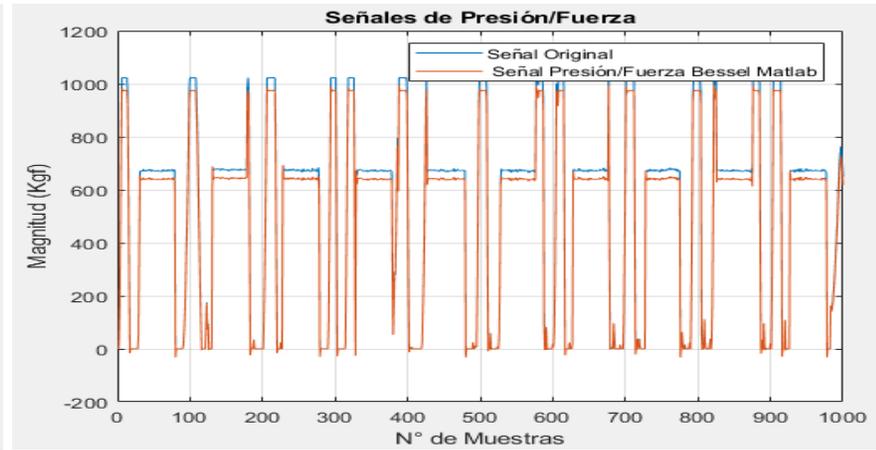


g) Filtrado Savitsky-Golay

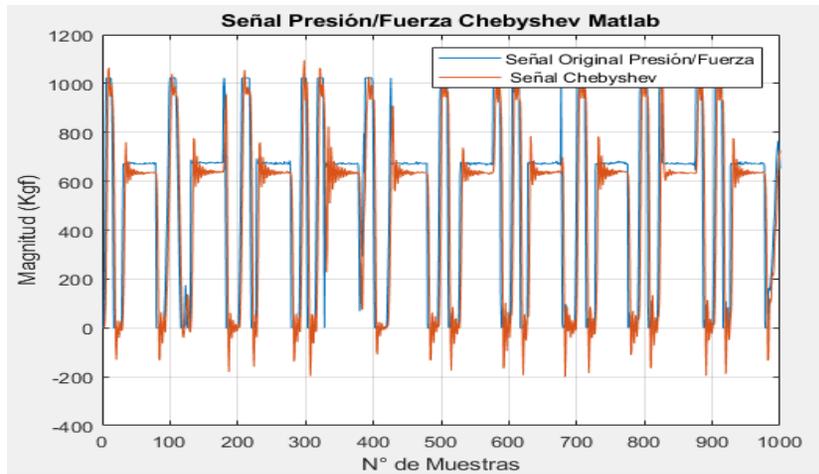
SENSOR DE PRESIÓN/FUERZA FSR402



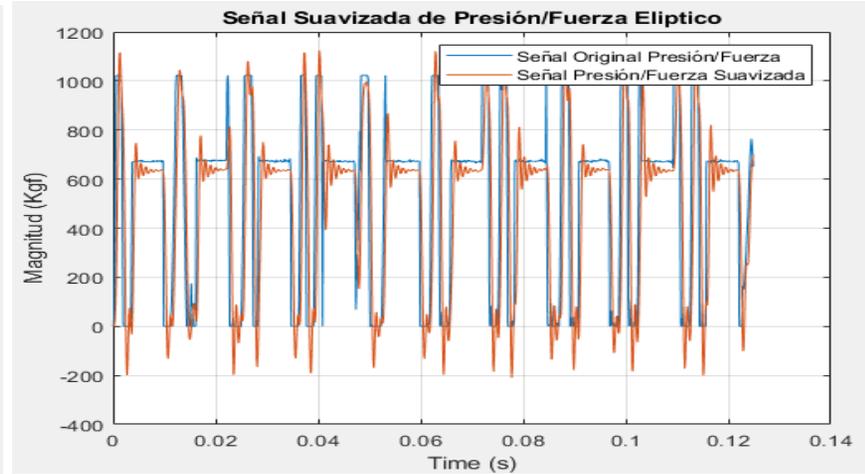
a) Aproximación Butterworth



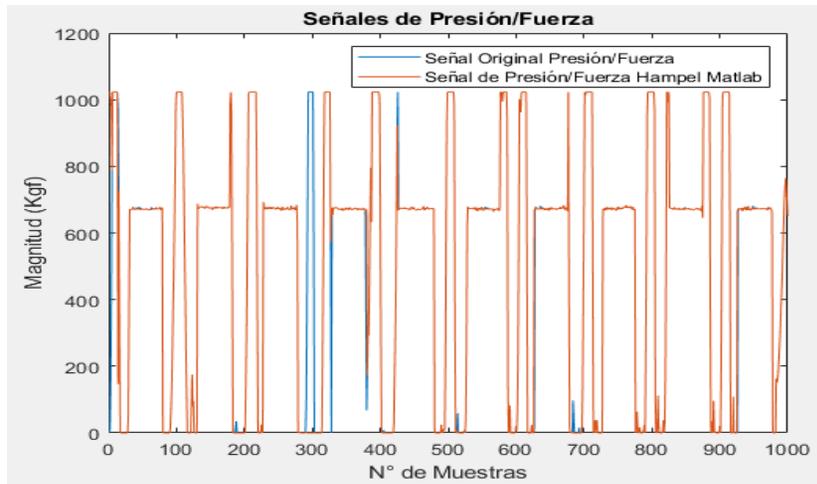
b) Aproximación Bessel



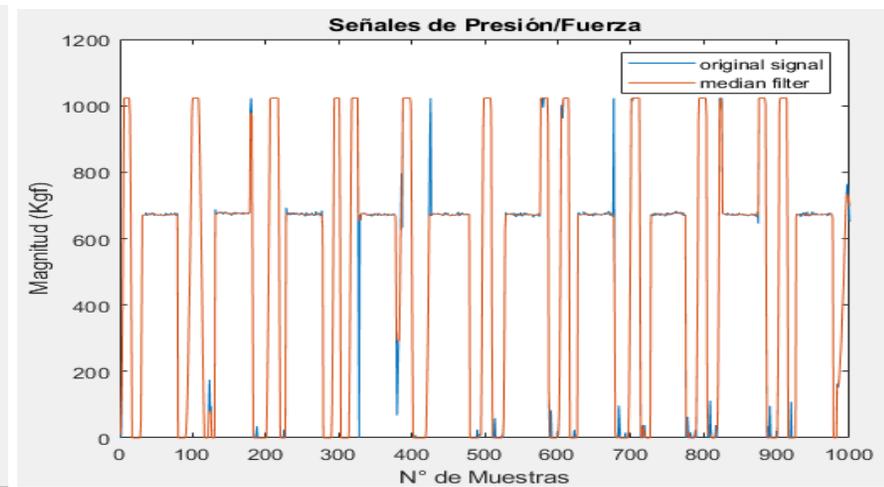
c) Aproximación Chebyshev



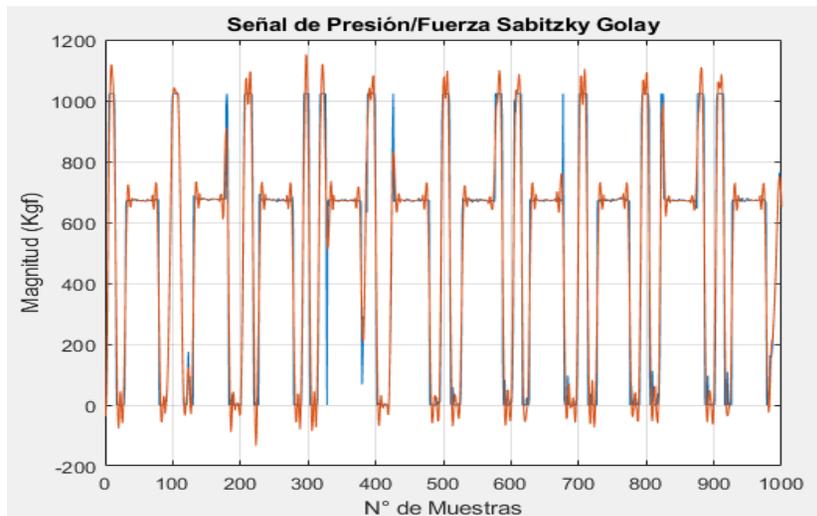
d) Aproximación Elíptica



e) Filtrado Hampel

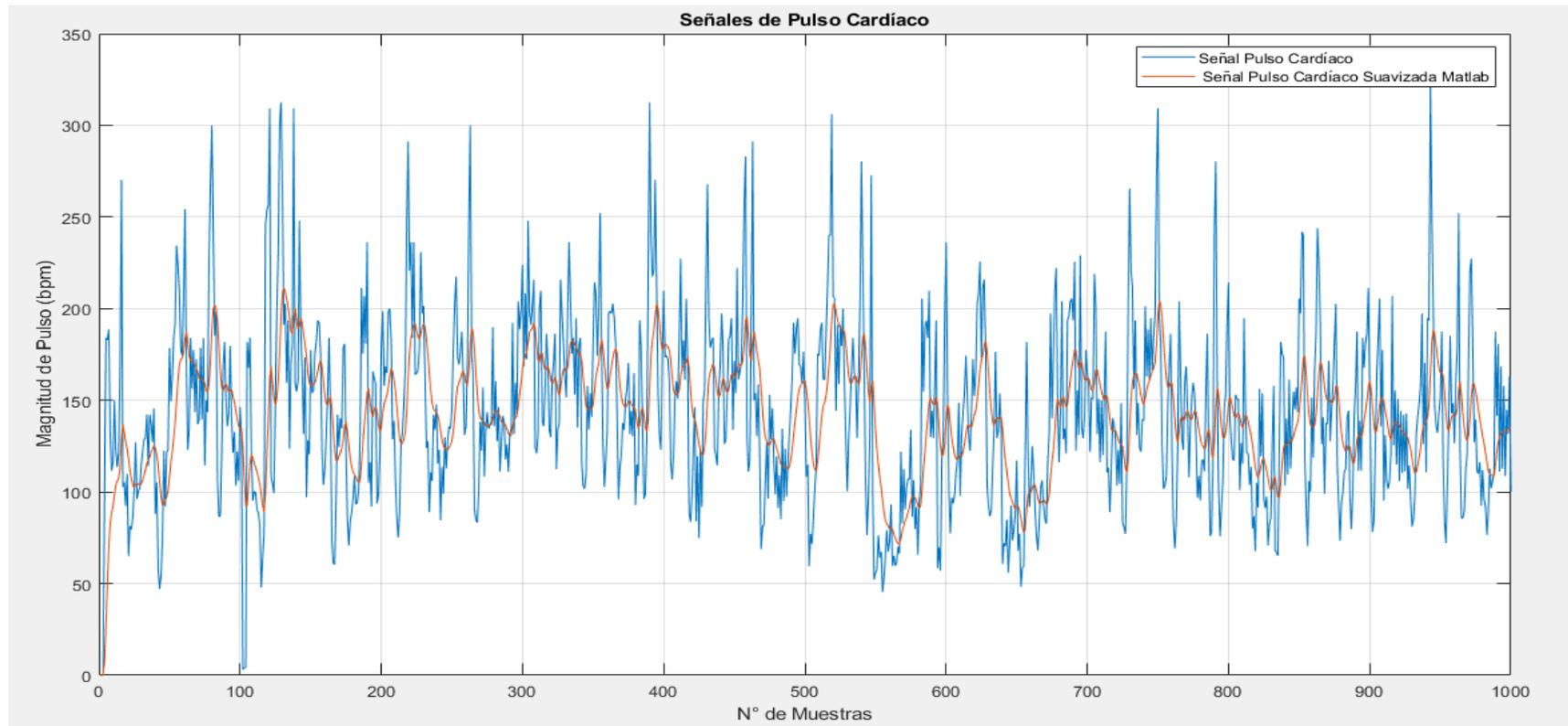


f) Filtrado Mediana

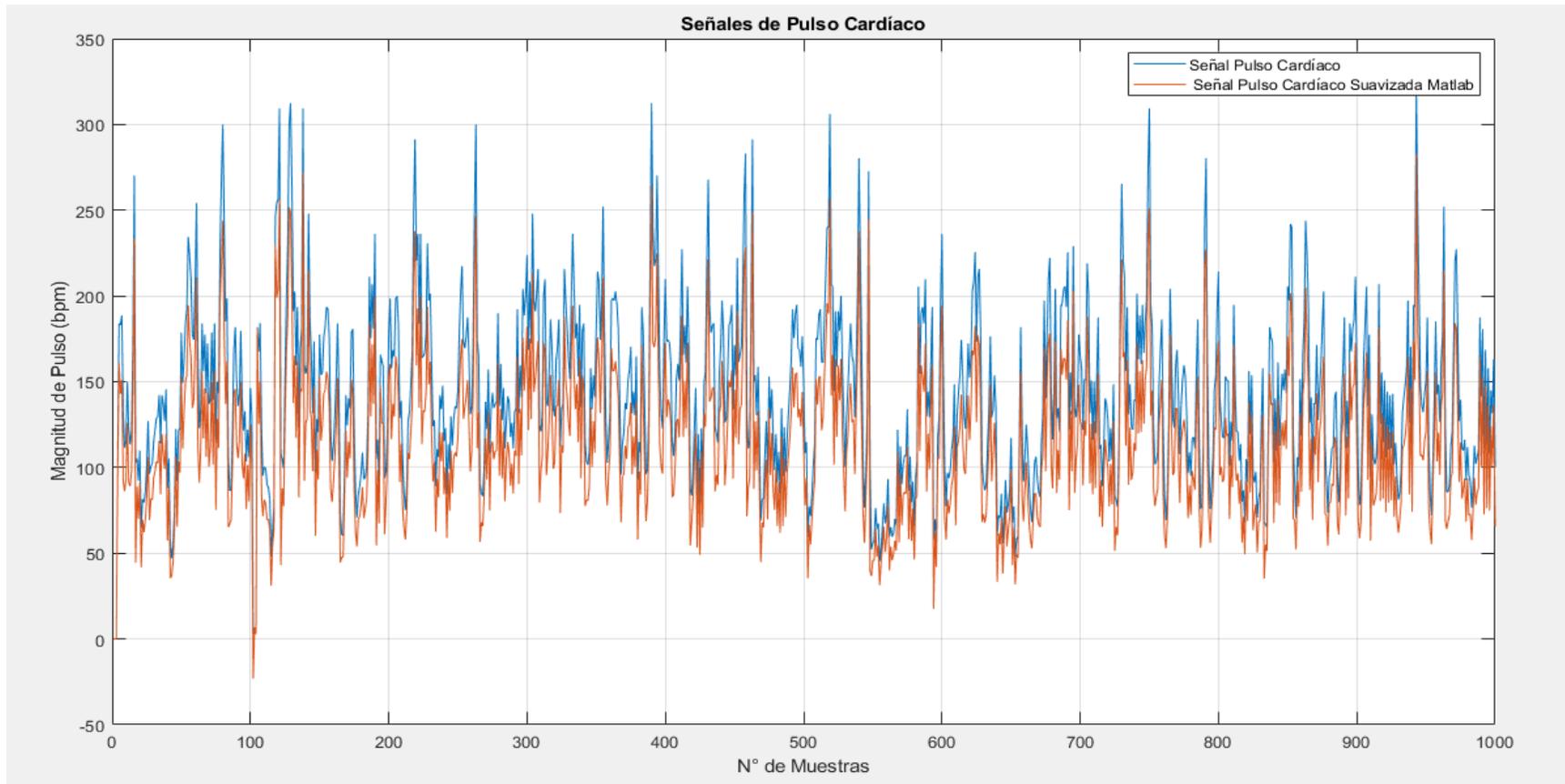


g) Filtrado Savitsky-Golay

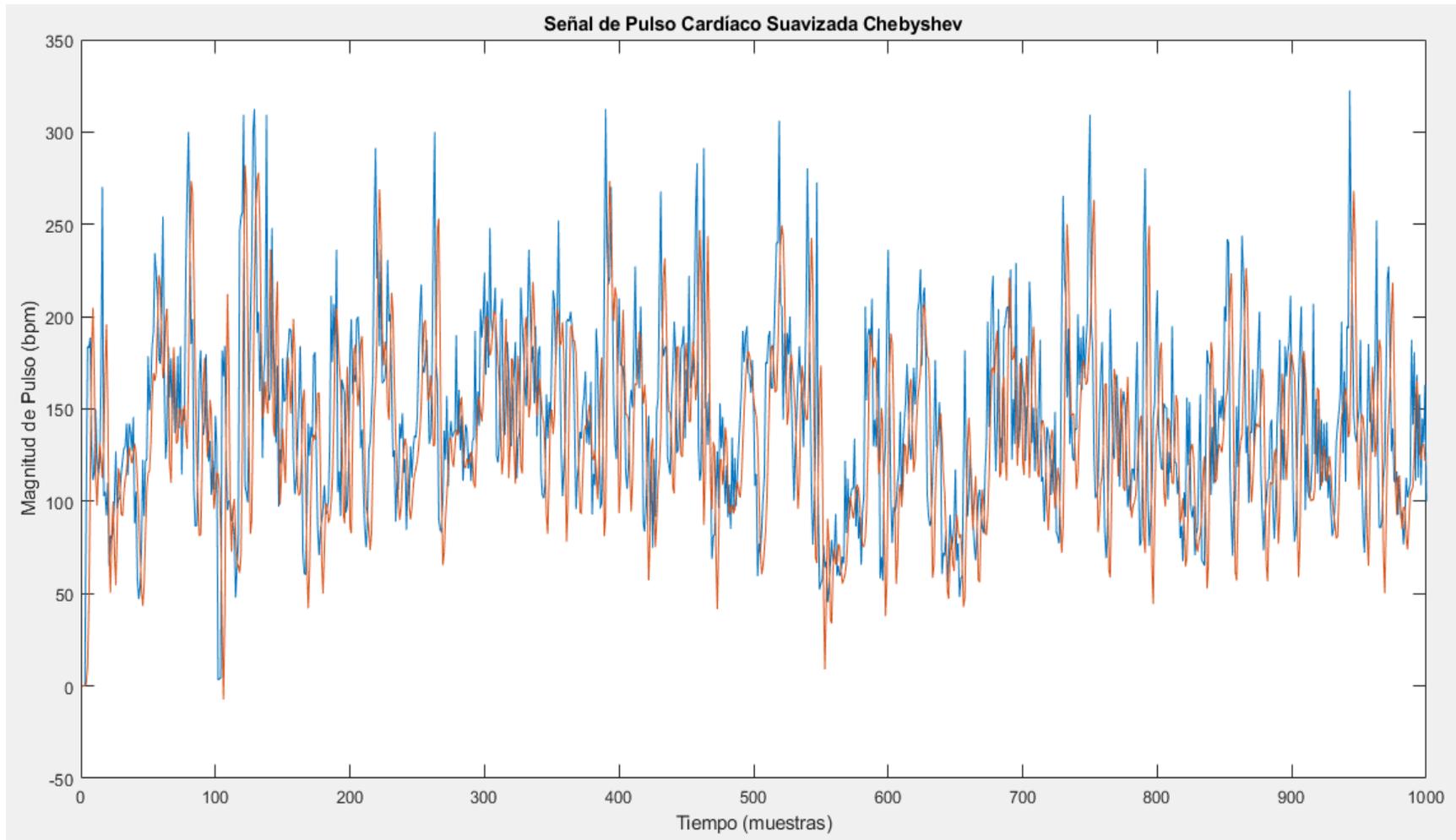
SENSOR DE PULSO CARDÍACO



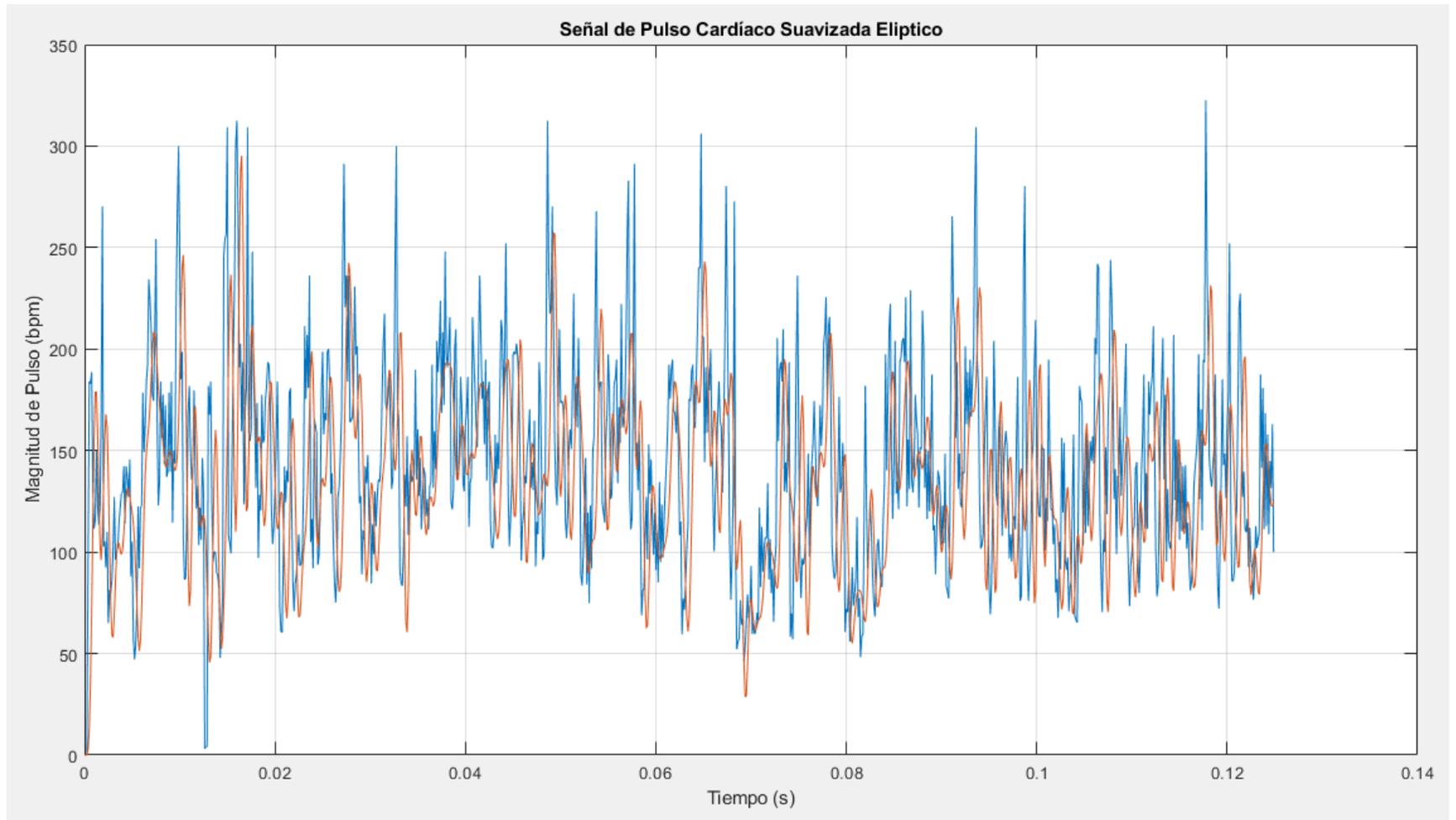
a) Aproximación Butterworth



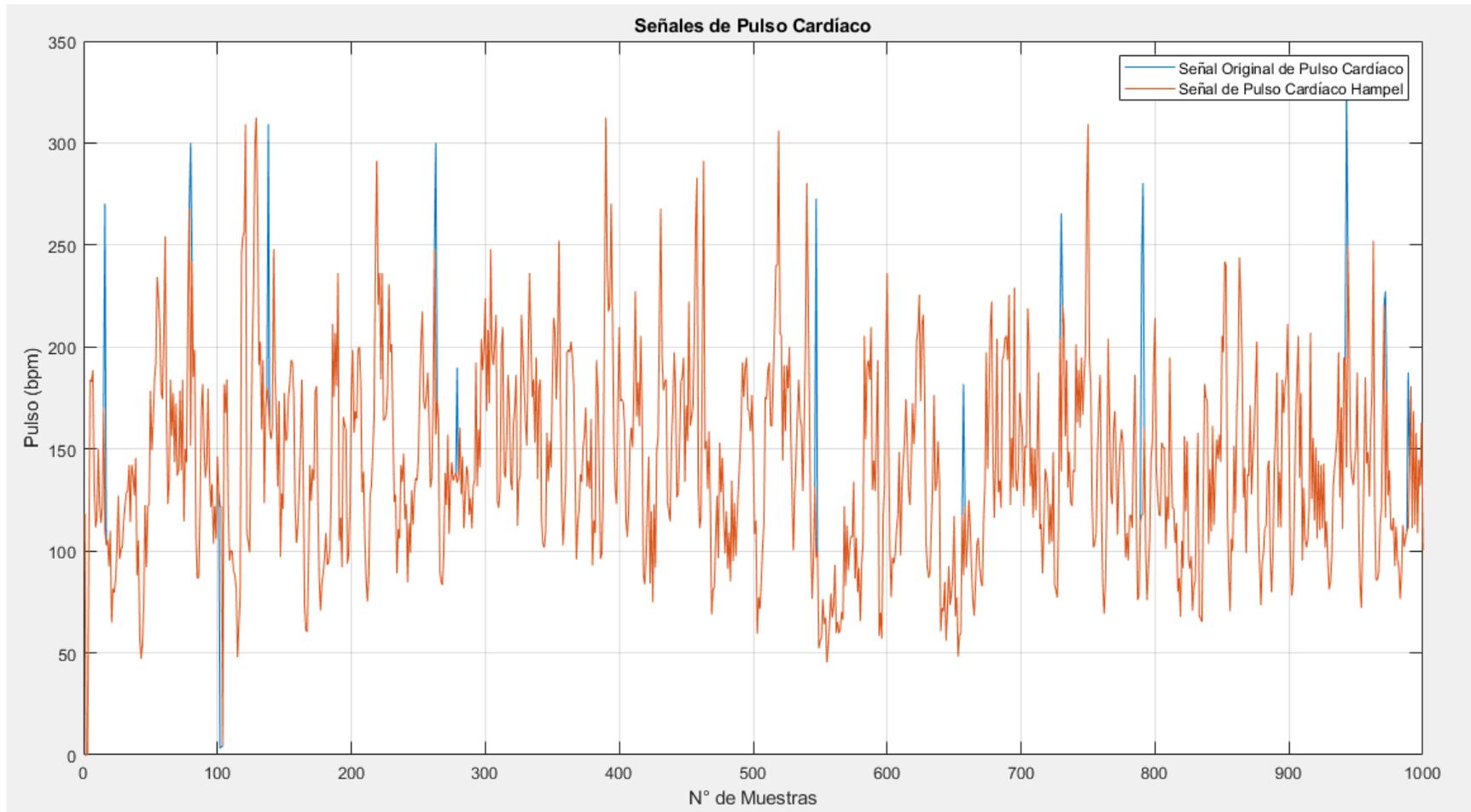
b) Aproximación Bessel



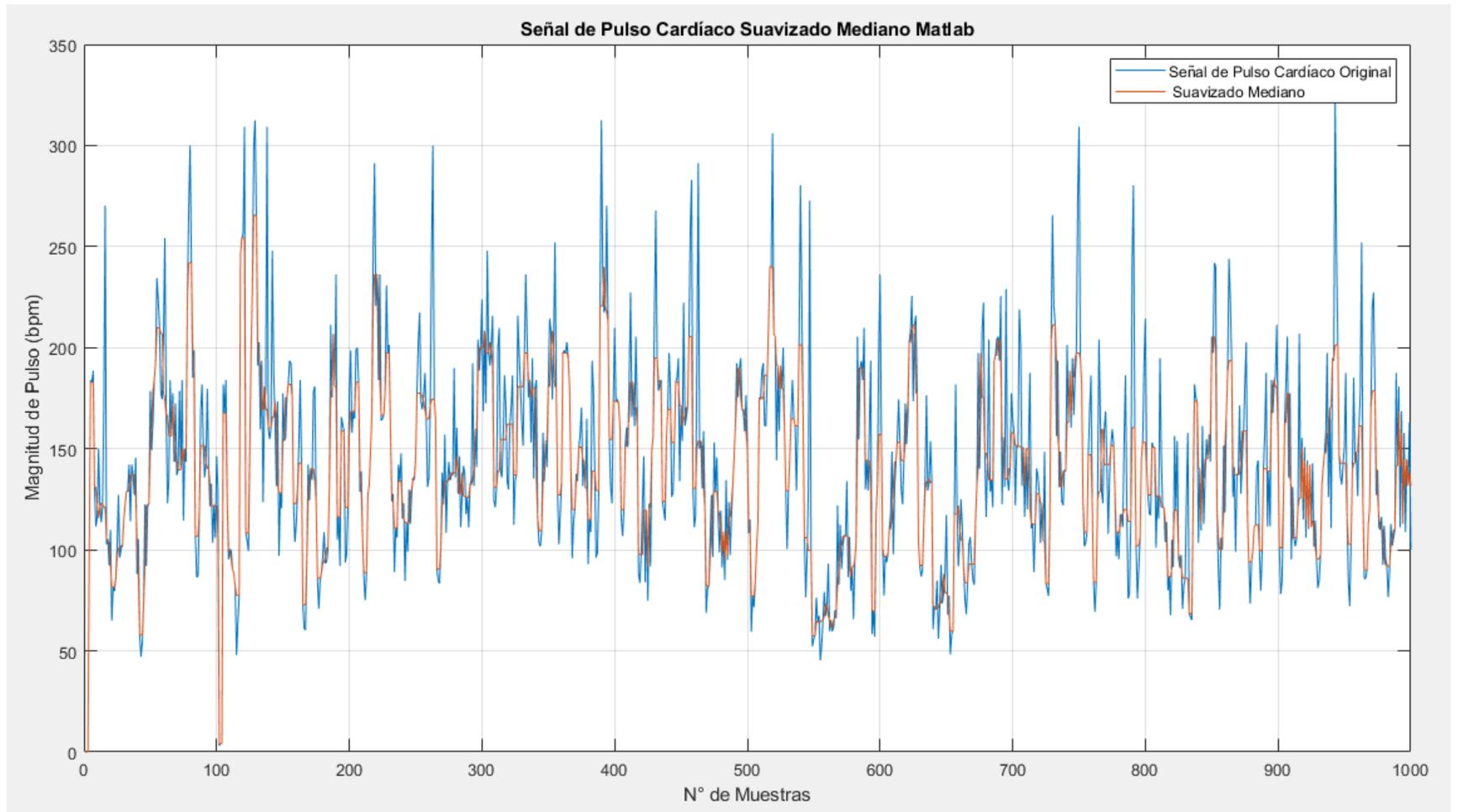
c) Aproximación Chebyshev



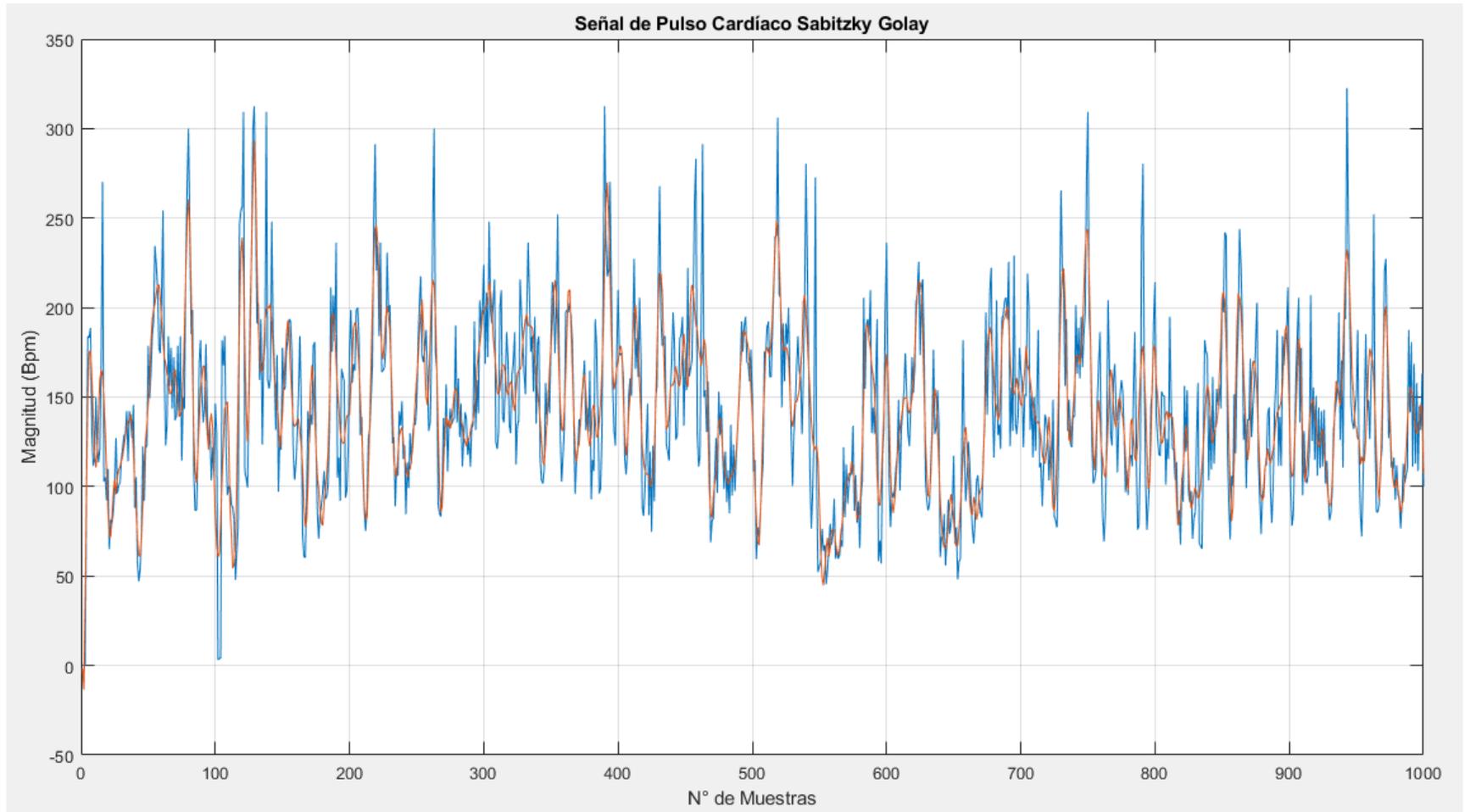
d) Aproximación Elíptica



e) Filtrado Hampel



f) Filtrado Mediana



g) Filtrado Savitsky-Golay