

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

***OBTENCIÓN OFF-LINE DE LA SEÑAL DE  
PROFUNDIDAD A PARTIR DE LA SEÑAL DE  
ACELERACIÓN DURANTE LA  
REANIMACIÓN CARDIOPULMONAR***

**Alumno: Buruchaga Ramos,Aingeru**

**Director: Ruiz Ojeda, Jesús María**

**Curso: 2017 - 2018**

**Fecha: 17 - 07-2018**

# Índice

Resumen trilingüe.....	3
Lista de acrónimos y siglas.....	5
Lista de ilustraciones.....	6
Lista de tablas .....	8
1. Introducción.....	10
2. Contexto.....	13
2.1 Doble integración de la señal de aceleración .....	13
2.2 Alternativas para obtener la señal de profundidad.....	13
2.3 Equipos para el registro de la señal de aceleración.....	15
2.4 Conclusión.....	15
3. Objetivos y alcance del trabajo.....	16
3.1 Obtención off-line de la señal de profundidad mediante el método BPF.....	16
3.2 Obtención off-line de la señal de profundidad mediante análisis espectral.....	16
3.3 Desarrollo de una herramienta de análisis gráfico de la señal de profundidad .....	16
4. Beneficios.....	17
4.1 Beneficios técnicos .....	17
4.2 Beneficios para el personal médico .....	17
4.3 Beneficios sociales .....	17
4.4 Beneficios socioeconómicos .....	17
5. Estado del arte .....	19
5.1 Método ZCV .....	19
5.2 Estimación de la profundidad de las compresiones por medio de procesado de señal en señales de aceleración .....	20
6. Metodología.....	21

6.1 Registros iniciales.....	21
6.2 Implementación de los métodos.....	23
7. Planificación.....	34
7.1 Equipo de trabajo.....	34
7.2 Fases del proyecto.....	34
7.3 Descripción de tareas.....	35
7.4 Diagrama de Gantt.....	42
8. Presupuesto.....	43
8.1 Horas internas.....	43
8.2 Amortizaciones.....	43
8.3 Subcontrataciones.....	43
8.4 Gastos.....	43
8.5 Resumen.....	44
9. Análisis de riesgos.....	45
9.1 Pérdida de información (A1).....	45
9.2 Fallos en la programación (A2).....	45
9.3 Retrasos en los plazos previstos (A3).....	45
9.4 Bajas de personal (A4).....	46
9.5 Matriz de probabilidad - impacto.....	46
10. Conclusiones.....	48
11. Referencias.....	49
Anexo I. Análisis gráfico de los resultados.....	52

# Resumen trilingüe

## Resumen

Se entiende como parada cardiorrespiratoria el cese de la circulación sanguínea provocada por la detención súbita de la actividad mecánica del corazón. En episodios de parada cardiorrespiratoria dos actuaciones son fundamentales: la reanimación cardiopulmonar precoz (RCP) y la desfibrilación precoz.

Para aumentar las posibilidades de supervivencia de la persona afectada, la calidad de las compresiones es de gran importancia. Para comprobar la actuación en episodios de parada cardiorrespiratoria, se puede registrar la señal de aceleración durante la reanimación y posteriormente obtener la señal de profundidad de las compresiones. Este proceso se realiza de manera *off-line*, a partir de los registros en los que se ha guardado la señal.

En este trabajo se estudian dos métodos que permiten obtener la señal de profundidad de las compresiones de manera *off-line* a partir de la señal de aceleración. Se utilizarán unos registros con información de reanimaciones cardiorrespiratorias realizadas y el software MATLAB. Para comprobar el funcionamiento de cada uno de los métodos, se ha realizado una representación gráfica de las señales obtenidas mediante los dos métodos.

## Laburpena

Bihotz-biriketako geldialdia odol-zirkulazioaren etetea da bihotzaren aktibitate bat-bateko geldialdi baten ondorioz. Bihotz-biriketako geldialdian, bi ekintza hauek ezinbestekoak dira: bihotz-biriketako berpizte goiztiarra eta desfibrilazio goiztiarra.

Bularreko sakaden kalitatea oso garrantzitsua da bizirik irauteko aukerak handitzeko. Egindako bihotz-biriketako berpiztea aztertzeke, bular-sakaden azelerazio seinale erregistratu daiteke sakaden sakontasuna lortzeko. Prozesu hau *off-line* egiten da, seinaleak gordeta duten erregistroak erabiliz.

Lan honetan bular-sakaden azelerazio seinaletik sakontasuna seinalea lortzeko bi metodo *off-line* inplementatuko dira. Helburua lortzeko, bihotz-biriketako berpizteen informazioa duten erregistroak eta MATLAB softwarea erabiliko dira. Emaitzak aztertzeke, errepresentazio grafikoa egingo da.

## Abstract

Sudden cardiac arrest is the absence of blood circulation due to the sudden cessation of the mechanical activity of the heart. Two actuations are very important after a sudden cardiac arrest: early cardiopulmonary resuscitation (CPR) and early defibrillation.

The quality of chest compressions is essential to increase the possibilities of survival. For this reason, the acceleration signal can be used to calculate the depth signal of the compressions. The depth signal is off-line obtained from the registers.

This work studies two methods to get the depth signal off-line from the acceleration signal during the CPR. In this study, registers with CPR information and the MATLAB software for signal processing have been used. In order to check the reliability of the methods, a graphical representation has been implemented.

## Lista de acrónimos y siglas

AHA: American Heart Association

BPF: Band Pass Filter (Filtro paso banda)

cpm: Compresiones por minuto

DEA: Desfibrilador externo automático

ERC: European Resuscitation Council

GUI: Graphical User Interface

GSC: Grupo de Señal y Comunicaciones

ILCOR: International Liaison Committee on Resuscitation

MATLAB: Matrix Laboratory

PCR: Parada cardiorrespiratoria

RCP: Reanimación cardiopulmonar

SAA: Spectral analysis of the acceleration signal

SVA: Soporte Vital Avanzado

SVB: Soporte Vital Básico

ZCV: Zero-crossing instants in the velocity signal

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1:Cadena de supervivencia .....	11
Ilustración 2:Sistema de feedback basado en un acelerómetro.CPRmeter(Laerdal). 12	
Ilustración 3:Señal de aceleración .....	13
Ilustración 4:Diagrama de bloques del filtro paso banda.....	14
Ilustración 5: Ejemplo gráfico del método ZCV .....	19
Ilustración 6: Procesado de las señales de aceleración de los dos sensores. ....	20
Ilustración 7: Desfibrilador Philips HeartStart MRx M3536A .....	21
Ilustración 8: Señal sin modificar .....	22
Ilustración 9: Señal modificada.....	22
Ilustración 10: Señal de aceleración(arriba) y señal de profundidad calculada por el método BPF(abajo) .....	24
Ilustración 11:Diferentes casos para la reconstrucción de la señal .....	27
Ilustración 12: Pasos para la representación gráfica de las señales.....	29
Ilustración 13: Señal de aceleración del registro.....	30
Ilustración 14: Solución al problema en el método SAA (Dominio de la frecuencia) y método BPF(Filtrado paso banda) .....	30
Ilustración 15: Problema de continuidad .....	31
Ilustración 16: Pasos seguidos para la corrección de discontinuidades.....	31
Ilustración 17: Señal sin corregir(arriba) y señal corregida(abajo).....	33
Ilustración 18:Diagrama de Gantt del proyecto completo .....	42
Ilustración 20:Resultados con el registro rec_19 .....	52
Ilustración 21:Resultados con el registro rec_20 .....	52
Ilustración 22:Resultados con el registro rec_22 .....	53
Ilustración 23:Resultados con el registro rec_29 .....	53
Ilustración 24:Resultados con el registro rec_30 .....	53
Ilustración 25:Resultados con el registro rec_31 .....	53
Ilustración 26:Resultados con el registro rec_33 .....	54
Ilustración 27:Resultados con el registro rec_37 .....	54

Ilustración 28:Resultados con el registro rec_41 .....	54
Ilustración 29:Resultados con el registro rec_50 .....	54
Ilustración 30:Resultados con el método SAA en el registro rec_19.....	55
Ilustración 31:Resultados con el método SAA en el registro rec_20 .....	55
Ilustración 32:Resultados con el método SAA en el registro rec_22 .....	56
Ilustración 33:Resultados con el método SAA en el registro rec_29 .....	56
Ilustración 34:Resultados con el método SAA en el registro rec_30 .....	56
Ilustración 35:Resultados con el método SAA en el registro rec_31 .....	56
Ilustración 36:Resultados con el método SAA en el registro rec_33 .....	56
Ilustración 37:Resultados con el método SAA en el registro rec_37 .....	56
Ilustración 38:Resultados con el método SAA en el registro rec_41 .....	56
Ilustración 39:Resultados con el método SAA en el registro rec_50.....	56



## Lista de tablas

Tabla 1: Señales modificadas y su duración .....	22
Tabla 2: Contenido de la estructura res, resultante de generar los armónicos .....	25
Tabla 3: Valores de los parámetros temporales del visor .....	28
Tabla 4: Límites superiores e inferiores para la representación de las señales .....	29
Tabla 5: Equipo de trabajo del proyecto .....	34
Tabla 6: Proposición del proyecto y seguimiento .....	35
Tabla 7: Proposición del proyecto .....	35
Tabla 8: Seguimiento del proyecto .....	35
Tabla 9: Formación previa .....	36
Tabla 10: Formación en el ámbito de la resucitación .....	36
Tabla 11: Formación en MATLAB .....	36
Tabla 12: Estudio y acondicionamiento de los registros .....	37
Tabla 13: Estudio de los registros .....	37
Tabla 14: Acondicionamiento de los registros .....	37
Tabla 15: Desarrollo del sistema .....	38
Tabla 16: Obtención y estudio de las estructuras de entrada .....	38
Tabla 17: Implementación de los métodos .....	38
Tabla 18: Realización del visor .....	39
Tabla 19: Prueba del software .....	39
Tabla 20: Corrección de errores del sistema .....	39
Tabla 21: Memoria .....	40
Tabla 22: Documentación del proyecto .....	40
Tabla 23: Revisión de la memoria .....	40
Tabla 24: Resumen de los hitos del proyecto .....	41
Tabla 25: Partida del presupuesto para horas internas .....	43
Tabla 26: Partida del presupuesto para amortizaciones .....	43
Tabla 27: Partida del presupuesto para gastos .....	43

Tabla 28:Resumen de las diferentes partidas .....	44
Tabla 29:Valores de los parámetros de la matriz probabilidad-impacto .....	46
Tabla 30:Matriz probabilidad-impacto .....	47

# 1. Introducción

Se entiende como parada cardiorrespiratoria (PCR) la interrupción inesperada de la respiración pulmonar y de la actividad mecánica del corazón. La parada cardiorrespiratoria provoca el cese del flujo de sangre y de aporte de oxígeno a órganos vitales del cuerpo humano, como el cerebro.

La reanimación cardiopulmonar (RCP) consiste en la realización de series de compresiones torácicas y ventilaciones para mantener un mínimo flujo sanguíneo a los órganos vitales de la persona afectada por la parada cardiorrespiratoria. La reanimación inmediata es fundamental, porque mantiene cierto grado de actividad cerebral, evitando daños permanentes.

Existen organizaciones en todo el mundo como el ERC (European Resuscitation Council) o la AHA (American Heart Association), que han publicado guías con recomendaciones para una intervención eficaz en situaciones de parada cardiorrespiratoria. El ILCOR surgió para lograr la cooperación entre los diferentes organismos y conseguir consensos en la reanimación. De este modo, se utilizan prácticas similares para la reanimación en distintos países.

El ILCOR promueve el concepto de cadena de supervivencia, establecido por la AHA [1]. Este concepto describe la secuencia de pasos a seguir para una resucitación exitosa en un entorno extrahospitalario, donde se producen el mayor número de paradas cardiorrespiratorias [2]. Los pasos a seguir son los siguientes: reconocimiento precoz y pedir ayuda, RCP precoz, desfibrilación precoz y soporte vital avanzado precoz.

- Reconocimiento precoz y pedir ayuda: El primer paso consiste en reconocer los síntomas de una persona sufriendo una parada cardíaca y avisar a los servicios de emergencia. Estos síntomas son: pérdida de conciencia, falta de pulso, falta de respuesta y una respiración anormal.
- Reanimación cardiopulmonar precoz: Realizar la RCP inmediatamente aumenta la probabilidad de supervivencia. Un reanimador formado debe dar compresiones torácicas junto con ventilaciones. Si el reanimador no está formado, el operador telefónico de emergencias le guiará para dar la RCP sólo con compresiones torácicas mientras llegan los servicios de emergencia.

- Desfibrilación precoz: La desfibrilación se debe realizar en los primeros 5 minutos después de la parada cardiorrespiratoria. Para ello, existen desfibriladores externos automáticos (DEA), colocados en lugares públicos.
- Soporte vital avanzado precoz: El último paso es el tratamiento y cuidado por parte de personal médico cualificado.



Ilustración 1: Cadena de supervivencia [3]

Las guías de resucitación describen como debe realizarse la RCP en casos de Soporte Vital Básico (SVB), en los que se emplean técnicas no-invasivas, y en casos de Soporte Vital Avanzado (SVA), donde se producen situaciones en las que puede estar comprometida la vida del paciente.

Las guías remarcan la importancia de la calidad de las compresiones torácicas. Una manera adecuada de realizar las compresiones es utilizando una frecuencia de compresión que se encuentre entre 100 y 120 compresiones por minuto (cpm) y una profundidad de compresión de aproximadamente 5 cm, pero no más de 6 cm. Además, se debe dejar que el tórax se vuelva a expandir completamente después de cada compresión [4].

Existen numerosos estudios que relacionan la mejora de la calidad de las compresiones con una resucitación satisfactoria. Sin embargo, conseguir los parámetros de una actuación óptima conlleva cierta dificultad incluso para reanimadores con experiencia [5][6]. Por ello, se han desarrollado sistemas de *feedback* para mejorar la calidad de estas compresiones. Estos sistemas ofrecen a la persona reanimadora información sobre sus compresiones y de este modo, poder comprobar o corregir su actuación [7].

La mayoría de estos sistemas están basados en acelerómetros, que ofrecen una medida precisa de la señal de aceleración producida durante la reanimación. Este tipo de sistemas se colocan entre el pecho del paciente y las manos del reanimador.



*Ilustración 2: Sistema de feedback basado en un acelerómetro. CPRmeter(Laerdal) [8]*

## 2. Contexto

Mediante estos sistemas basados en acelerómetros, se consigue la señal de aceleración del pecho del paciente durante la RCP.

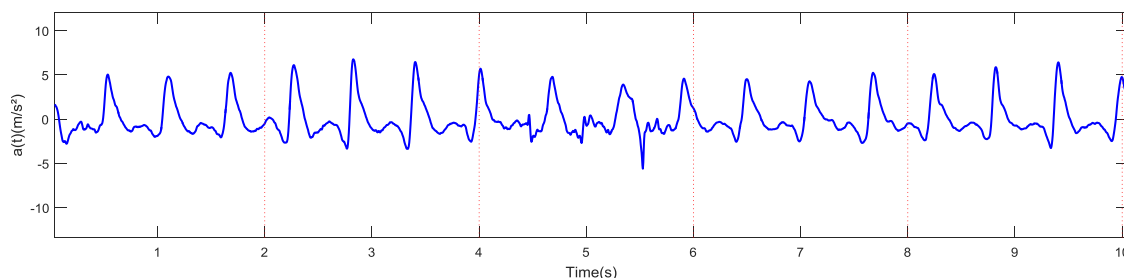


Ilustración 3: Señal de aceleración

### 2.1 Doble integración de la señal de aceleración

La señal de profundidad de las compresiones torácicas se puede conseguir realizando una doble integración sobre la señal de aceleración. Integrando una vez la señal de aceleración  $a(t)$ , se obtiene la señal de velocidad  $v(t)$ , y si se repite el procedimiento sobre la señal de velocidad, el resultado es la señal de desplazamiento del pecho durante las compresiones  $s(t)$ .

Tras el registro de la señal de aceleración, se puede realizar la integración por medio de alguno de los algoritmos de integración, como el método de la regla del trapecio, que es uno de los más extendidos.

Sin embargo, el proceso de integración es inestable, y cualquier pequeña componente continua en la señal de aceleración produce errores que se van acumulando en la estimación de la señal de profundidad [9]. Por esta razón, se deben compensar estos errores aplicando condiciones de contorno al integrar.

### 2.2 Alternativas para obtener la señal de profundidad

Existen distintas alternativas para lograr la señal de profundidad de las compresiones, como los sistemas que proporcionan el *feedback* de la RCP. Entre estos sistemas destacan principalmente los basados en sensores de presión y los sistemas que utilizan acelerómetros para obtener la señal de aceleración [10], de la que es posible conseguir la señal de profundidad.

### 2.2.1 Sistemas basados en sensores de fuerza o presión

Son dispositivos mecánicos que utilizan sensores de fuerza o presión para ofrecer el *feedback* de la profundidad de las compresiones. Se obtiene la fuerza aplicada en cada compresión, pero no la frecuencia de las compresiones. A pesar de ofrecer información de la profundidad, varios estudios muestran que la rigidez del pecho varía entre diferentes individuos [11] y, aunque se tomen medidas para aproximar esta rigidez, otros factores como la elasticidad del pecho impiden una aproximación precisa de la profundidad de las compresiones empleando este tipo de sistemas.

### 2.2.2 Sistemas basados en acelerómetros

Estos sistemas emplean acelerómetros para medir la aceleración producida en el pecho del paciente durante la RCP. Existen diferentes maneras para calcular la profundidad y la frecuencia de las compresiones durante la reanimación utilizando únicamente la señal de aceleración registrada con este tipo de sistemas.

Una forma de conseguir la señal de profundidad es la utilización de un método de filtrado para evitar la inestabilidad producida en el proceso de integración. Este método consiste en aproximar la integración por medio de un filtro paso banda, compuesto por la conexión en serie de un filtro paso alto y un sistema que aplica la regla del trapecio, haciendo de filtro paso bajo. La función del filtro paso alto es compensar la inestabilidad del sistema para bajas frecuencias.

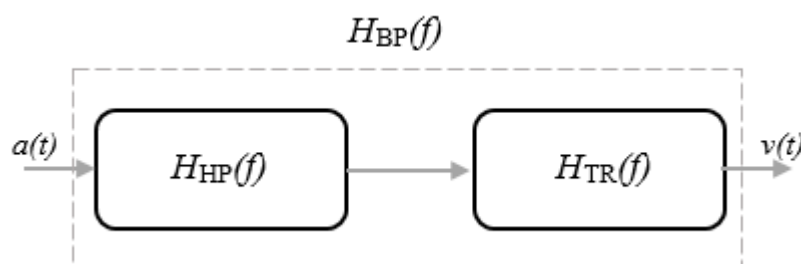


Ilustración 4: Diagrama de bloques del filtro paso banda

Una solución diferente es utilizar el dominio de la frecuencia para conseguir la señal de profundidad, evitando el proceso de integración [12]. Este método calcula la frecuencia y la profundidad de las compresiones cada 2 segundos aplicando el análisis espectral de la señal de aceleración. En intervalos de tiempo pequeños en los que se han

producido compresiones torácicas, las señales de aceleración y de profundidad son casi periódicas. En cada intervalo, ambas señales se pueden modelar como una aceleración y una profundidad periódicas, con una frecuencia fundamental  $f_{cc}$  (Hz). Utilizando los primeros 3 armónicos de la representación en serie de Fourier, se pueden descomponer las señales de aceleración  $a(t)$  y de profundidad  $s(t)$  de la siguiente manera:

$$a(t) = \sum_{k=1}^3 A_k \cos(2\pi k f_{cc} t + \theta_k) \quad (1)$$

$$s(t) = \sum_{k=1}^3 S_k \cos(2\pi k f_{cc} t + \phi_k) \quad (2)$$

Donde  $A_k$ (m/s<sup>2</sup>),  $\theta_k$ (rad) y  $S_k$ (mm),  $\phi_k$ (rad) son las amplitudes y fases de los armónicos de la aceleración y la profundidad, respectivamente.

### 2.3 Equipos para el registro de la señal de aceleración

Actualmente, los sistemas de *feedback* de la actuación más utilizados son los que emplean acelerómetros. Además, la señal de aceleración medida por los acelerómetros puede registrarse para trabajar con ella de manera *off-line*, utilizándola después de haberla registrado. Estos equipos que permiten registrar la señal de aceleración se pueden utilizar para mejorar la calidad de las compresiones y en la práctica médica.

### 2.4 Conclusión

En muchas ocasiones, es necesario obtener de modo *off-line* la señal de profundidad a partir de la señal de aceleración registrada previamente. En este trabajo de fin de grado se aborda esta problemática, utilizando dos métodos para conseguir la señal de profundidad a partir de la señal de aceleración. El primero de los métodos será un filtro paso banda que evite la inestabilidad de la integración y el segundo método consistirá en la obtención de la señal de profundidad por medio del análisis espectral de la señal de aceleración. Finalmente, se comprobará la adecuación de los métodos y se analizarán los resultados.



## 3. Objetivos y alcance del trabajo

El objetivo principal de este trabajo consiste en conseguir la señal de profundidad de las compresiones a partir de la señal de aceleración durante la RCP de forma *off-line*. Se proponen dos métodos distintos cuya aplicación principal es el estudio de la actuación realizada ante un episodio de parada cardiorrespiratoria. Este objetivo principal se desarrolla a través de los siguientes objetivos parciales.

### 3.1 Obtención *off-line* de la señal de profundidad mediante el método BPF

Se pretende utilizar un sistema de filtrado para aproximar la integración de la señal de aceleración. Este método consiste en un filtro paso banda estable compuesto por dos sistemas: un filtro paso alto y un sistema que aplique la regla del trapecio para realizar la integración.

### 3.2 Obtención *off-line* de la señal de profundidad mediante análisis espectral

Se trabajará en el dominio de la frecuencia sobre la señal de aceleración para obtener la señal de profundidad, evitando la inestabilidad que se produce en el proceso de integración.

### 3.3 Desarrollo de una herramienta de análisis gráfico de la señal de profundidad

Una última finalidad del trabajo consiste en comprobar la señal de profundidad obtenida y visualizarla. Para ello, se visualizará la señal de profundidad conseguida a través de los dos métodos y se podrá comprobar la calidad de las compresiones de la RCP realizada.

Por medio de este trabajo se visualizarán las señales de profundidad obtenidas por cada método utilizando las funcionalidades de representación gráfica de MATLAB. Una vez obtenidas las señales, se podrá analizar el funcionamiento de ambos métodos representando las diferentes señales en un gráfico de MATLAB, que permita compararlas y analizarlas visualmente.

## 4. Beneficios

Este proyecto puede ofrecer beneficios en diferentes ámbitos. Desde el punto de vista técnico, ofrece una solución que puede ser aprovechada por proyectos futuros en el ámbito de la resucitación. Por otro lado, puede aportar beneficios en el servicio médico y, como consecuencia de ello, puede ser útil para la sociedad en general.

### 4.1 Beneficios técnicos

Por medio de este proyecto se puede obtener de manera *off-line* la señal de profundidad de las compresiones a partir de la señal de aceleración en la RCP. Durante el proyecto se aplican dos métodos y se representan los resultados, por lo que el estudio realizado puede ser utilizado como apoyo para futuros proyectos en el ámbito de la resucitación que utilicen de alguno de estos métodos.

### 4.2 Beneficios para el personal médico

Otra aportación de interés de este proyecto es en el ámbito médico. Según varios estudios, conseguir la frecuencia y profundidad en las compresiones que establecen las guías de resucitación es complicado incluso para el personal más cualificado. Por ello, el registro de la señal de aceleración y la posterior obtención de la señal de profundidad permite determinar la calidad de las compresiones que se han realizado. Tras comprobar la actuación, la persona que haya realizado las compresiones podrá sacar las conclusiones pertinentes y mejorar su actuación.

### 4.3 Beneficios sociales

Son muchos los casos de parada cardiorrespiratoria que se producen a lo largo del año, fundamentalmente en entorno extrahospitalario. Por ello, es un tema que preocupa a gran parte de la sociedad, siendo muestra de ello el hecho de que va en aumento el número de cursos de reanimación cardiopulmonar que se ofrecen [13]. Por medio de los métodos utilizados, se consigue mejorar la calidad de la actuación en esta situación, haciendo que los reanimadores puedan mejorar sus compresiones.

### 4.4 Beneficios socioeconómicos

El objetivo principal de este proyecto no es obtener una gran rentabilidad económica. No obstante, invertir en la mejora de la atención médica puede resultar en la reducción

de costes en un futuro. Por otro lado, una implementación adecuada de los métodos proveería de información adicional en dispositivos médicos, que mostrarían la señal de profundidad. Como resultado de ofrecer mayor número de utilidades, el valor de cualquier sistema que los ofrezca también aumentaría.

## 5. Estado del arte

Existen otras alternativas a los dos métodos utilizados para calcular la frecuencia y la profundidad de las compresiones a partir de la señal de aceleración. Una de las más importantes es el método de detección de los instantes en los que se producen paso por cero en la señal de velocidad (ZCV). Además, se han desarrollado estudios en los que se estima la señal de profundidad en diferentes situaciones.

### 5.1 Método ZCV

El método ZCV consiste en calcular los valores de frecuencia y de profundidad de las compresiones directamente de la señal de velocidad, sin calcular la señal de profundidad. En primer lugar, se aplica el filtrado paso banda explicado en el método anterior a la señal de aceleración, para conseguir la señal de velocidad. En la señal resultante se pueden identificar el instante en el que comienza la compresión y en el que se produce el máximo desplazamiento del tórax. De esta manera, se identifican los instantes en los que la señal de velocidad pasa de positiva a negativa (comienzo de la compresión) y de negativa a positiva (valor máximo del desplazamiento). Posteriormente, se calcula la profundidad correspondiente a cada ciclo como el área entre los dos puntos que se han identificado.

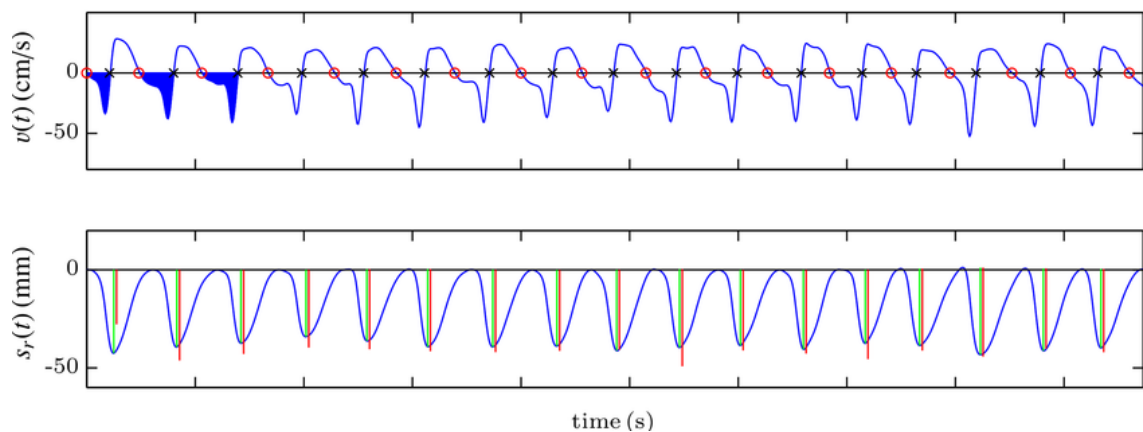
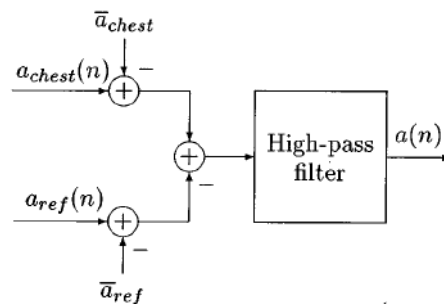


Ilustración 5: Ejemplo gráfico del método ZCV

## 5.2 Estimación de la profundidad de las compresiones por medio de procesamiento de señal en señales de aceleración

Existe un estudio en el que se estima la señal de profundidad para determinar la calidad de la reanimación cardiopulmonar utilizando dos acelerómetros, uno colocado en el pecho del paciente y otro de referencia, colocado al lado [14]. Mediante el procesamiento de señal en tiempo discreto, se consiguió la conversión de aceleración a posición. Se establecieron condiciones de contorno para resolver el problema de inestabilidad producida por la integración.

El estudio tenía como objetivo investigar de qué manera se puede estimar la profundidad de las compresiones utilizando el principio de navegación inercial, calculando el cambio de posición producido por la aceleración. Para ello, se utilizaron las señales de los dos acelerómetros y se filtraron con un filtro paso alto, antes de realizar el proceso de integración.



*Ilustración 6: Procesado de las señales de aceleración de los dos sensores.*

La integración se realizó cada ciclo de compresión empleando un conmutador que indicaba el instante de comienzo del ciclo y aplicando las condiciones de contorno. De esta manera, la integración se calculaba recursivamente.

Para la realización del estudio se empleó un maniquí, acelerómetros y un conmutador. Se hicieron pruebas inclinando el maniquí de medida en diferentes posiciones y en diferentes entornos, como un coche o un barco.

Algunas de las limitaciones de este estudio fueron la falta de otro maniquí con el que poder comparar los resultados del método y la falta de reanimadores adicionales que pudieran variar la frecuencia y profundidad de las compresiones.

## 6. Metodología

La metodología seguida en este proyecto se puede dividir en tres partes: estudio de la información registrada, implementación de los métodos para obtener la señal de profundidad y representación gráfica para el estudio de los resultados obtenidos.

La señal de profundidad se obtiene de manera *off-line*, es decir, se aplican los métodos a una señal de aceleración que esté registrada previamente. Para ello, es necesario unos registros iniciales que contengan la señal de aceleración con los que probar los métodos.

### 6.1 Registros iniciales

Para comprobar el funcionamiento de los métodos implementados, se han utilizado varios registros con información sobre actuaciones en situaciones de parada cardiorrespiratoria, y que han sido prestados para la realización del proyecto. Estos registros fueron obtenidos por el monitor/desfibrilador Philips HeartStart MRx M3536A y están guardados como estructura de datos de MATLAB. El contenido de los registros es el siguiente:

- *Información*: Información sobre la medida del registro. Esta información incluye la fecha de la medida, el nombre del fichero, el nombre del monitor/desfibrilador y el modelo.
- *Señales*: Valores de las muestras de los diferentes parámetros medidos y su correspondiente frecuencia de muestreo. Estos parámetros son los siguientes: pads, fuerza torácica, aceleración torácica, ventilación, indicador de contacto del paciente y CO<sub>2</sub>.
- *Canales*: Indica si el registro contiene o no el parámetro indicado.



Ilustración 7: Desfibrilador Philips HeartStart MRx M3536A [15]

Los registros contienen varios minutos de la actuación. Con el objetivo de optimizar los métodos implementados, se ha modificado esta duración eliminando los instantes previos al inicio de las compresiones y los instantes finales donde no existen compresiones. De esta manera, se consigue evitar el coste computacional del software cuando no es necesario aplicarlo.

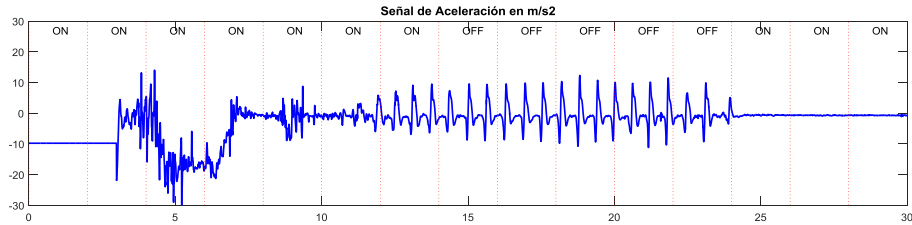


Ilustración 8: Señal sin modificar

Como se puede apreciar en la imagen, existen unos segundos de señal que no corresponden a compresiones. Estos instantes pueden corresponder a la colocación del acelerómetro en el pecho o a algún movimiento involuntario.

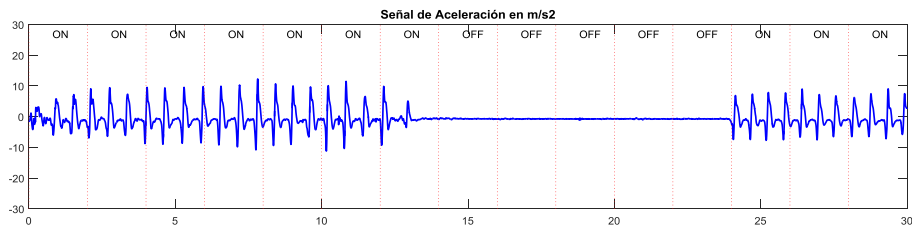


Ilustración 9: Señal modificada

Tras la modificación de las señales iniciales, se han obtenido las señales empleadas en los dos métodos. Las duraciones de las señales de los registros se recogen en la siguiente tabla:

<b>Registro</b>	<b>rec_19</b>	<b>rec_20</b>	<b>rec_22</b>	<b>rec_29</b>	<b>rec_30</b>
<b>Duración(s)</b>	1340	2127	1970	2742	1692
<b>Registro</b>	<b>rec_31</b>	<b>rec_33</b>	<b>rec_37</b>	<b>rec_41</b>	<b>rec_50</b>
<b>Duración(s)</b>	1116	624	1594	1120	3040

Tabla 1: Señales modificadas y su duración

## 6.2 Implementación de los métodos

El objetivo de este proyecto es utilizar dos métodos para conseguir de manera *off-line* la señal de profundidad de las compresiones a partir de la señal de aceleración. Durante el desarrollo de este proyecto, se han implementado los dos métodos descritos anteriormente para obtener la señal de profundidad y poder analizar los resultados. Para aplicar estos métodos es necesario diseñar un sistema que permita introducir la señal de aceleración como entrada y obtener señal de profundidad como salida. Las funciones que ha de realizar el sistema implementado son la siguientes:

- Carga de la información de los registros.
- Obtención de la estructura de datos sobre la que aplicar los métodos.
- Obtención de la señal de profundidad.
- Representación gráfica de las señales.

Estos pasos se han seguido con los dos métodos analizados: utilizando un filtrado paso banda y trabajando en el dominio de la frecuencia.

### 6.2.1 Software MATLAB

El software utilizado para la implementación de los métodos es MATLAB. MATLAB es un lenguaje de alto nivel para el cálculo intensivo que integra elementos para la computación, visualización y la programación. Entre sus usos más típicos destacan: cálculo y computación, desarrollo de algoritmos, análisis de datos y visualización, gráficos científicos e ingenieriles y desarrollo de interfaces gráficas(GUI) [16]. Por otro lado, MATLAB es una de las herramientas más utilizadas para adquirir, medir y analizar señales [17].

Mediante MATLAB, se implementan los dos métodos con los que se obtiene la señal de profundidad: el filtro paso banda (BPF) y el análisis espectral de la señal de aceleración (SAA).

### 6.2.2 Filtro paso banda

Para la realización de este método, se han diseñado los dos sistemas que lo forman: el filtro paso alto y el sistema que aplica la regla del trapecio. El filtro paso alto se consigue aplicando un filtro Butterworth de orden 4. Este tipo de filtros se caracterizan por ser prácticamente planos en la banda de paso, evitando distorsionar la señal en el proceso de filtrado.



La función que se utiliza para simular el filtro paso banda tiene los siguientes parámetros:

Parámetros de entrada:

- *acceleration*: Señal de aceleración en  $m/s^2$
- *fs*: Frecuencia de muestreo

Parámetros de salida:

- *velocidad*: Señal de velocidad en  $mm/s$
- *profundidad*: Señal de profundidad en  $mm$

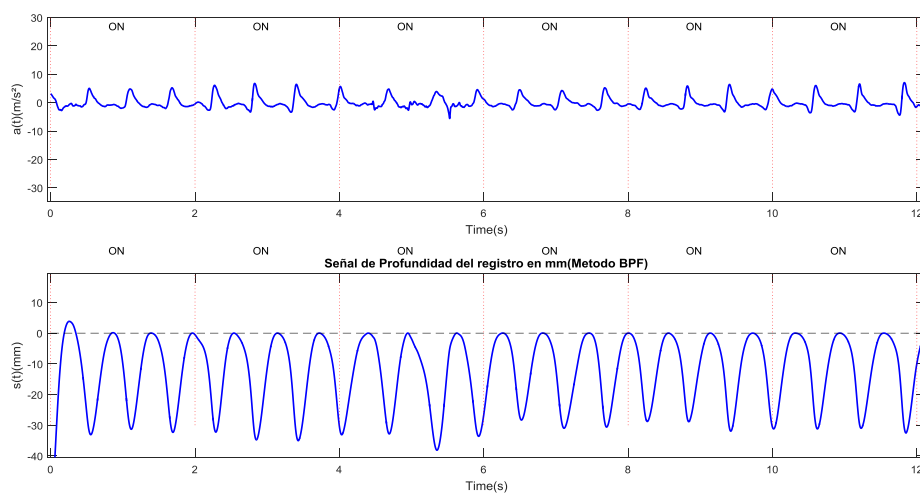


Ilustración 10: Señal de aceleración(arriba) y señal de profundidad calculada por el método BPF(abajo)

### 6.2.3 Dominio de la frecuencia

El segundo método utilizado para conseguir la señal de profundidad es el análisis espectral de la señal de aceleración. A diferencia del método anterior, la profundidad de las compresiones se consigue aplicando el análisis espectral en cada ventana temporal, en vez de obtenerla mediante la integración de la señal de aceleración. La implementación de este método consta de dos partes:

- Obtención de las estructuras de datos con la información de la señal de profundidad.
- Reconstrucción de la señal de profundidad con la información contenida en las estructuras.

- *Obtención de las estructuras*

Para la obtención de las estructuras de datos, se utiliza una función que genere los armónicos de la señal de profundidad a partir del análisis espectral de la señal de aceleración.

Una característica de este método es que se trabaja por ventanas temporales, de tamaño fijo. El tamaño de las ventanas utilizado es de 2 segundos y el número de muestras de cada ventana ( $Nmw$ ) depende de la frecuencia de muestreo ( $f_s$ ) y de la duración de la ventana ( $Tw$ ):

$$Nmw = f_s * Tw \quad (3)$$

Para la reconstrucción de la señal de profundidad, es necesario que las estructuras utilizadas guarden los valores de amplitud y fase de los 3 primeros armónicos de la señal de profundidad, además de otros valores que sirvan para optimizar la reconstrucción de la señal. Debido a que la señal se calcula por cada ventana, las estructuras tendrán información de la señal en cada ventana en la que se divide.

La descripción y el tamaño de cada campo de estas estructuras se muestra en la siguiente tabla:

<b>Campo</b>	<b>Contenido</b>	<b>Tamaño del array</b>
<b>csn</b>	Indica si en la ventana existe o no compresión 0: No existe compresión 1: Existe compresión	$1xNw$
<b>fcc</b>	Frecuencia de las compresiones en Hz	$1xNw$
<b>amp_arm_s</b>	Amplitudes de los armónicos de la profundidad en mm	$3xNw$
<b>fase_arm_s</b>	Fases de los armónicos de la profundidad en radianes	$3xNw$

*Tabla 2: Contenido de la estructura res, resultante de generar los armónicos*

El campo *tamaño del array* indica el número de valores que tiene el campo indicado. *Nw* es el número de ventanas, por lo que los campos *csn* y *fcc* tendrán un valor en cada ventana. Los otros dos campos, *amp\_arm\_s* y *fase\_arm\_s*, contienen el valor de las amplitudes y fases de los 3 primeros armónicos de la profundidad en cada ventana.

- *Reconstrucción de la señal*

Tras el estudio de las estructuras anteriores, se realiza la reconstrucción de la señal de profundidad utilizando MATLAB. Para ello, se ha programado una función que calcule esta señal a partir de la información contenida en las estructuras. Los parámetros que utiliza esta función se describen a continuación:

Parámetros de entrada:

- *res*: Estructura con los resultados de cada ventana
- *fs*: Frecuencia de muestreo

Parámetros de salida:

- *s\_recons*: Señal de profundidad reconstruida

La reconstrucción de la señal de profundidad se realiza en cada ventana, utilizando las amplitudes y fases de los armónicos de la señal en la ventana correspondiente y aplicando la fórmula (2) del método. Los valores de profundidad conseguidos en cada ventana se van guardando en un array, que tendrá los valores de la señal reconstruida.

Sin embargo, debido a las características tanto de la señal de aceleración como del método utilizado, se debe realizar una distinción de las ventanas en las que se aplica el método. Las diferentes ventanas pueden corresponder a un tramo de señal en el que no existen compresiones, al inicio de un bloque de compresiones o a la continuación de un bloque de compresiones. La implementación del método en cada ventana se hace de la siguiente manera:

- *Ventana actual sin compresiones*

Se crea un array de elementos nulos de tamaño igual al número de muestras de una ventana y se añaden al array de la señal reconstruida. Al no existir compresiones, no es necesario aplicar el método.

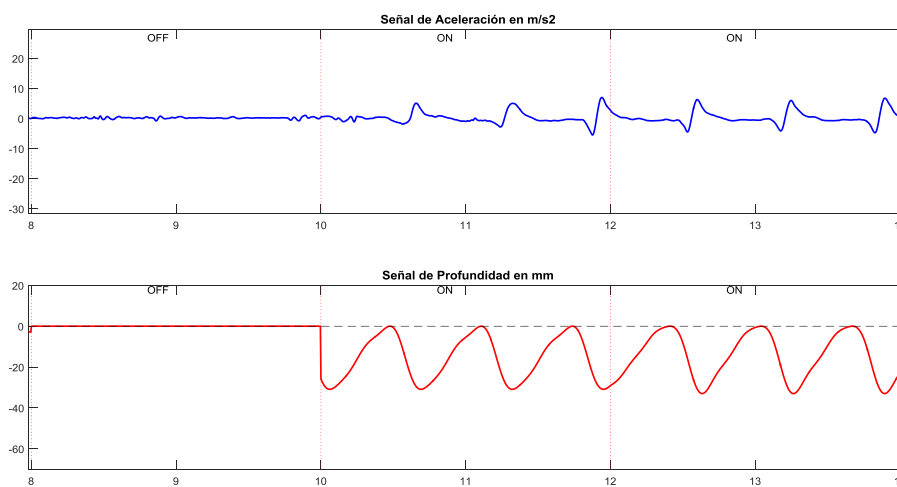
- *Ventana actual con compresiones y ventana anterior sin compresiones*

Es el inicio de un bloque de compresiones. Se guarda en un array los valores resultantes de aplicar el método y se añaden al array de la señal reconstruida.

- *Ventana actual con compresiones y ventana anterior con compresiones*

Se trata de una ventana que se encuentra dentro de un bloque de compresiones. La diferencia de este caso respecto al resto, es el problema de continuidad que surge con la ventana anterior. Entre dos ventanas consecutivas, es posible que la diferencia de valores entre la última muestra de la ventana anterior y la primera muestra de la ventana actual sea lo suficientemente grande y la señal quede desajustada en ese tramo.

El resultado de la implementación del método se puede ver en la siguiente imagen, donde aparecen los diferentes casos mencionados.



*Ilustración 11: Diferentes casos para la reconstrucción de la señal*

Cabe destacar el caso de la primera ventana, que requiere una consideración adicional. En esta ventana la señal se reconstruye de manera independiente, debido a que no existe una ventana anterior con la que hacer la comparación.

#### 6.2.4 Representación gráfica

Tras conseguir las señales de profundidad aplicando el método correspondiente, se crea un script de MATLAB que sirva como visor. Este visor muestra gráficamente la señal de aceleración del registro inicial y la señal de profundidad obtenida. La característica principal de este visor es su sencillez para el usuario, utilizando gran parte del espacio en pantalla para mostrar las diferentes señales. Entre sus características se encuentran:

- *División por ventanas*: Se divide la visualización de las señales en intervalos de tiempo de 2 segundos, y se indica si en cada ventana existen compresiones indicando ON u OFF.
- *Interactividad*: El usuario final puede moverse a instantes anteriores o posteriores de una señal y las demás señales mostradas también lo harán. Por medio de esta funcionalidad, se muestran los valores de la señal de aceleración y profundidad en el mismo instante de tiempo. Por otro lado, el visor también permite que al hacer zoom para ampliar o reducir la visualización de alguna de las señales, se haga automáticamente el mismo cambio en el resto de señales.

Para la representación gráfica de las señales se establecen ciertos parámetros, como los límites de los ejes horizontales y verticales de las señales o el tiempo de señal que se muestra.

- *Span*: Tiempo de señal en segundos que se visualiza en pantalla.
- *Solape*: Tiempo en segundos que se solapa una ventana gráfica con la siguiente.
- *Avance*: Tiempo en segundos que se avanza o retrocede de la señal. Debido al solape, se define como la diferencia entre *span* y *solape*.
- *Max\_prof*: Límite superior de la señal de profundidad.
- *Min\_prof*: Límite inferior de la señal de profundidad.
- *Max\_ acel*: Límite superior de la señal de aceleración.
- *Min\_ acel*: Límite inferior de la señal de aceleración.

Tras analizar en varias simulaciones las señales de aceleración y de profundidad calculadas con ambos métodos, se ha optado por los siguientes valores para la visualización de las señales:

<b>Parámetro</b>	<b>Valor(s)</b>
<b><i>Span</i></b>	30
<b><i>Solape</i></b>	5
<b><i>Avance</i></b>	25

*Tabla 3: Valores de los parámetros temporales del visor*

Parámetro	Valor (mm)
<i>max_prof</i>	20
<i>min_prof</i>	-70
<i>max_acel</i>	30
<i>min_acel</i>	-30

Tabla 4: Límites superiores e inferiores para la representación de las señales

El visor realizado permite la visualización de las señales de aceleración y de profundidad en los límites temporales establecidos. Entre otras características del visor, destaca la facilidad para moverse a instantes posteriores o anteriores de las señales, mediante las teclas de dirección del teclado. Esta funcionalidad es de gran utilidad para conocer la manera en la que han variado las compresiones durante la reanimación.

Se pueden ver los pasos seguidos para la realización del visor en la siguiente imagen:

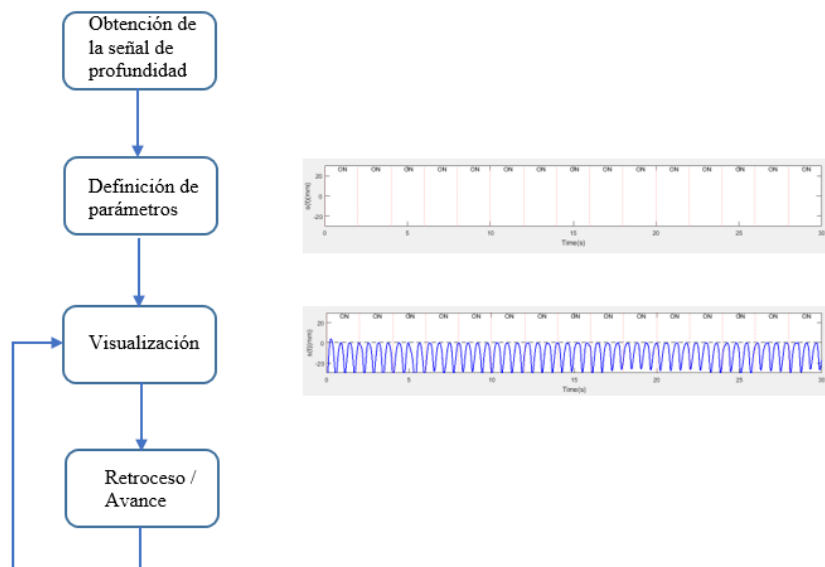


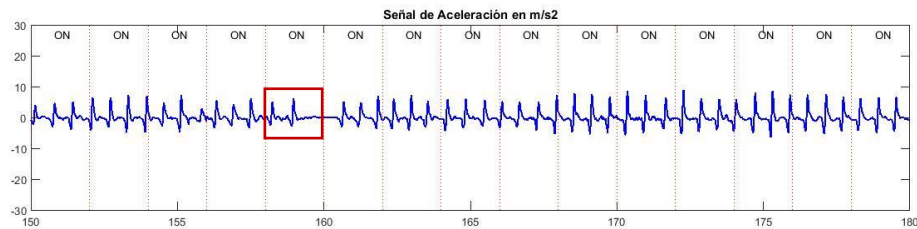
Ilustración 12: Pasos para la representación gráfica de las señales

#### 6.2.5 Solución a los problemas en la representación gráfica

Con los parámetros escogidos se visualizan las señales de manera clara y ordenada. Sin embargo, debido a las características de los métodos utilizados, surgen algunos problemas en la representación gráfica de las señales de profundidad calculadas. Para solucionar estos problemas, se ha optado por soluciones sencillas, pero efectivas.

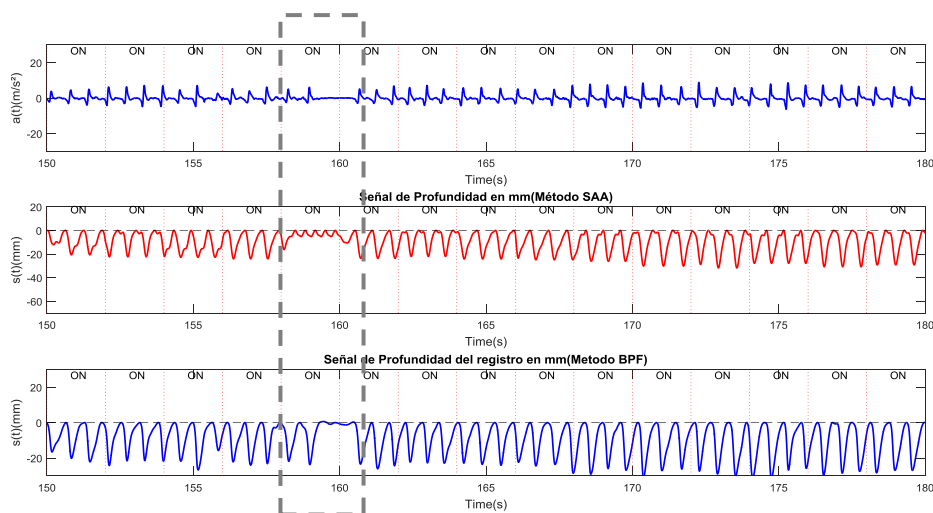
- *Problema de identificación de compresión*

En las señales de aceleración utilizadas, es posible que existan intervalos en los que aparezcan instantes correspondientes a compresiones, junto a instantes en los que no ha habido compresiones, como se puede ver en la Ilustración 13.



*Ilustración 13: Señal de aceleración del registro*

Este problema se resuelve con el código realizado. Se detecta que existe una compresión suficiente para aplicar el método en el intervalo y se obtiene como resultado una señal de profundidad válida. Los valores que toma la señal de profundidad en la parte del intervalo correspondiente a la ausencia de compresiones son pequeños y se diferencian de los instantes en los que sí que existen compresiones, debido a que la amplitud de la señal es mayor.



*Ilustración 14: Solución al problema en el método SAA (Dominio de la frecuencia) y método BPF (Filtrado paso banda)*

- *Problema de continuidad y solución mediante procesado de señal*

El problema de continuidad es el más crítico en la visualización de la señal conseguida. Como el método del dominio de la frecuencia trabaja con ventanas de 2 segundos, tanto

las amplitudes como las fases están calculadas en intervalos del mismo tamaño, provocando en algunos casos discontinuidades en la señal de profundidad en el paso entre dos ventanas consecutivas. Esta discontinuidad se puede apreciar en la Ilustración 15.

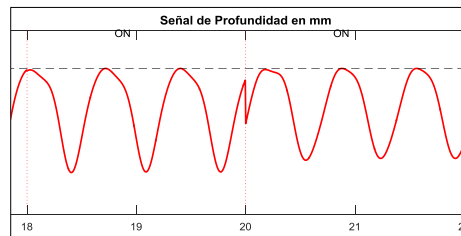


Ilustración 15: Problema de continuidad

Para solucionar este problema, se intentaron varias técnicas cuyo resultado no ofrecía una señal adecuada, debido a que las discontinuidades no se corregían suficientemente. Finalmente, utilizando el procesamiento de señal para la corrección de las discontinuidades se ha conseguido una señal de profundidad continua en el paso entre ventanas. Se ha seguido el siguiente procedimiento para realizar la corrección:

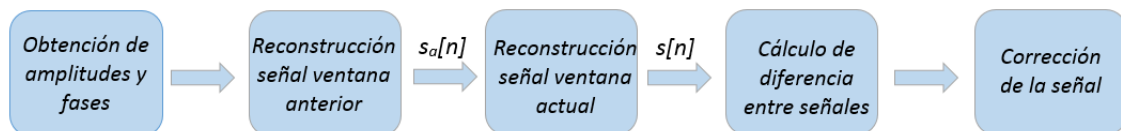


Ilustración 16: Pasos seguidos para la corrección de discontinuidades

1. Obtención de los valores de las amplitudes y de las fases de los armónicos de la señal de profundidad en la ventana actual y en la ventana anterior.
2. Reconstrucción de la señal de profundidad en la ventana anterior.
3. Reconstrucción de la señal de profundidad en la ventana actual.
4. Cálculo de la diferencia entre las dos señales hasta el primer cruce entre ambas. Se obtiene el array que contiene las diferencias de las dos señales en cada instante y otro array con las posiciones en las que la diferencia es menor que un umbral determinado.
5. Corrección de la señal de la ventana actual utilizando el array con las diferencias y la posición calculada en el paso anterior.



En los pasos 2 y 3, se reconstruyen las señales de profundidad correspondientes a la ventana actual y a la ventana anterior. Para realizar la comparación entre las señales, se calculan los valores de las dos señales en los mismos instantes de tiempo, pero los valores de amplitud y fase de los armónicos son diferentes en cada ventana. Por ello, la fórmula (2) del método se aplica de la siguiente manera en el cálculo de la señal de profundidad en la ventana anterior:

$$s_a(n) = \sum_{k=1}^3 S_k \cos(2 \pi k f_{cc} n + \varphi_k) \quad (4)$$

En la fórmula (4), la señal  $s_a$  se reconstruye con los valores de amplitud ( $S_k$ ) y fase ( $\varphi_k$ ) de los armónicos de la ventana anterior. De esta forma, se consiguen las dos señales: la correspondiente a la ventana actual aplicando el método directamente, y la señal en la ventana anterior realizando la modificación previamente descrita.

El procesado necesario para obtener la señal corregida se realiza en los pasos 4 y 5. De los pasos anteriores se ha conseguido las dos señales de profundidad que se van a comparar. La diferencia entre ambas señales se guarda en un array y se consigue una estimación del error entre la señal actual y la obtenida con los datos de la ventana anterior.

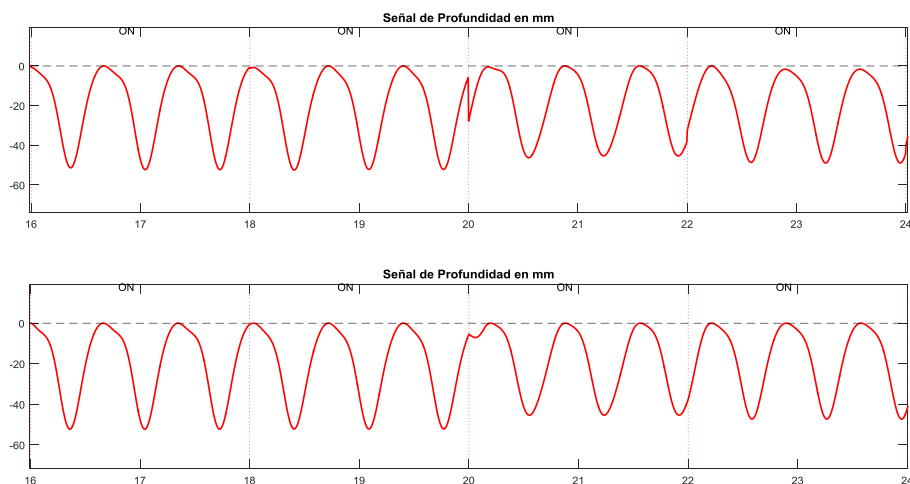
Posteriormente, se encuentra la posición en la que la diferencia entre las señales es menor que un umbral determinado (que se establece en 1.5 mm). En este proceso, se han guardado en un array todas las posiciones que cumplen esa condición, y de este array con las posiciones, se escoge el valor que indicará la posición hasta la que se modifica la señal.

La modificación de la señal se realiza sólo al inicio de la ventana, donde se produce la discontinuidad. Se modifican aquellas muestras comprendidas entre la primera muestra de la ventana y la muestra en la posición determinada anteriormente. Durante el desarrollo de esta corrección, se estableció un valor mínimo de 15 para la posición, para garantizar que la corrección se realice al menos en las primeras 15 muestras de la ventana. Este valor se ha escogido tras la realización de varias pruebas con otros valores diferentes. Un valor inferior proporciona una señal más parecida a la señal real pero no

corrige eficazmente el problema de discontinuidad. Por el contrario, un valor superior proporciona una transición menos pronunciada de una ventana a otra, pero con la desventaja de que se modifica un mayor número de muestras de la señal original.

La última operación de esta corrección es recalcular con los datos anteriores las primeras muestras de la señal en la ventana actual (desde la primera hasta la muestra en la posición calculada anteriormente), correspondientes a las muestras modificadas. En esta parte de la corrección es de gran importancia la posición obtenida en el paso anterior, ya que indica el número de muestras que se van a modificar en la señal.

Finalmente, se realiza un prorrato de los valores del array de diferencias. Con este prorrato se consigue que en las primeras muestras modificadas (donde la diferencia entre las dos señales es más grande), se multipliquen por un valor mayor y reducir la diferencia con la siguiente muestra de la señal. Tras el prorrato, se suman los valores del array de diferencias al array con los valores de la señal de profundidad reconstruida. El resultado de este procedimiento es una señal sin discontinuidades, como se puede apreciar en la Ilustración 17.



*Ilustración 17: Señal sin corregir(arriba) y señal corregida(abajo).*

La corrección realizada permite mostrar la señal de profundidad calculada por el método del análisis espectral de manera mucho más óptima. Como se puede apreciar en la imagen, las discontinuidades entre ventanas se han corregido suficientemente, permitiendo una mejor interpretación visual de la señal de profundidad.

## 7. Planificación

A continuación, se describe la planificación seguida en la realización del proyecto. Se mencionan las personas que han participado y las fases y tareas que forman el proyecto.

### 7.1 Equipo de trabajo

En el desarrollo de este proyecto ha sido necesario el trabajo de las siguientes personas:

<b>Nombre y Apellidos</b>	<b>Responsabilidad</b>	<b>Tarea</b>
Jesús María Ruiz Ojeda	Ingeniero Senior	Dirección y seguimiento del proyecto
Aingeru Buruchaga Ramos	Ingeniero Junior	Realización del proyecto

Tabla 5: Equipo de trabajo del proyecto

### 7.2 Fases del proyecto

El proyecto está formado por 5 fases: proposición del proyecto, formación previa, estudio de los registros, desarrollo del sistema y memoria.

- *Proposición del proyecto y seguimiento:* Establecimiento del objetivo del proyecto y seguimiento del mismo para comprobar su correcta realización.
- *Formación previa:* Estudio e investigación sobre el tema de la resucitación y familiarización con el programa a utilizar y con las señales biomédicas.
- *Estudio de los registros:* Análisis de los registros con los que se va a trabajar.
- *Desarrollo del sistema:* Implementación de los métodos, comprobación de su funcionamiento y estudio de los resultados.
- *Memoria:* Documentación del trabajo que se ha realizado.

## 7.3 Descripción de tareas

En las siguientes tablas se describen detalladamente las diferentes fases del proyecto. Se muestra la información sobre la duración y fechas del proyecto, la descripción de cada tarea y los recursos humanos y técnicos empleados.

### 7.3.1 Paquete de trabajo 1: Proposición del proyecto y seguimiento

<b>Duración</b>	<b>172 días</b>
<b>Comienzo</b>	28/11/2017
<b>Fin</b>	24/07/2018

*Tabla 6: Proposición del proyecto y seguimiento*

- Tarea 1: *Proposición del proyecto*

<b>Comienzo</b>	28/11/2017
<b>Fin</b>	29/11/2017
<b>Descripción</b>	Proposición y descripción del trabajo de fin de grado al alumno.
<b>Recursos técnicos</b>	Bibliografía (artículos y libros el ámbito de la resucitación)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Senior (5 horas)

*Tabla 7: Proposición del proyecto*

- Tarea 2: *Seguimiento del proyecto*

<b>Comienzo</b>	28/11/2017
<b>Fin</b>	24/07/2018
<b>Descripción</b>	Reuniones periódicas para el seguimiento del proyecto.
<b>Recursos técnicos</b>	Ordenador(10 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Senior (20 horas)

*Tabla 8: Seguimiento del proyecto*

### 7.3.2 Paquete de trabajo 2: Formación previa

<b>Duración</b>	<b>47 días</b>
<b>Comienzo</b>	30/11/2017
<b>Fin</b>	2/02/2018

*Tabla 9: Formación previa*

- Tarea: 1 *Formación en el ámbito de la resucitación*

<b>Comienzo</b>	30/11/2017
<b>Fin</b>	20/12/2017
<b>Descripción</b>	Formación para aumentar los conocimientos en el tema de la resucitación.
<b>Recursos técnicos</b>	Ordenador (35 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior(35 horas)

*Tabla 10: Formación en el ámbito de la resucitación*

- Tarea 2: *Formación en MATLAB*

<b>Comienzo</b>	22/12/2017
<b>Fin</b>	2/02/2018
<b>Descripción</b>	Formación para obtener conocimiento y formación práctica de MATLAB
<b>Recursos técnicos</b>	Ordenador (25 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior (25 horas) e Ingeniero Senior (5 horas)

*Tabla 11: Formación en MATLAB*

### 7.3.3 Paquete de trabajo 3: Estudio y acondicionamiento de los registros

<b>Duración</b>	<b>10 días</b>
<b>Comienzo</b>	12/02/2018
<b>Fin</b>	23/02/2018

*Tabla 12: Estudio y acondicionamiento de los registros*

- Tarea 1: *Estudio de los registros*

<b>Comienzo</b>	12/02/2018
<b>Fin</b>	16/02/2018
<b>Descripción</b>	Estudio de la información de los registros con los que se trabaja, en forma de estructura de datos de MATLAB.
<b>Recursos técnicos</b>	Dos ordenadores (15 horas y 3 horas), licencia de MATLAB(12 horas y 2 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior (15 horas) e Ingeniero Senior (3 horas)

*Tabla 13: Estudio de los registros*

- Tarea 2: *Acondicionamiento de los registros*

<b>Comienzo</b>	19/02/2018
<b>Fin</b>	23/02/2018
<b>Descripción</b>	Modificación de las señales de los registros para optimizar el uso del sistema.
<b>Recursos técnicos</b>	Ordenador(10 horas), licencia de MATLAB (8 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior (10 horas)

*Tabla 14: Acondicionamiento de los registros*

### 7.3.4 Paquete de trabajo 4: Desarrollo del sistema

<b>Duración</b>	<b>36 días</b>
<b>Comienzo</b>	26/02/2018
<b>Fin</b>	13/06/2018

*Tabla 15: Desarrollo del sistema*

- Tarea 1: *Obtención y estudio de las estructuras de entrada*

<b>Comienzo</b>	26/02/2018
<b>Fin</b>	9/03/2018
<b>Descripción</b>	Obtención de las estructuras de datos que contengan la información de la señal de aceleración y estudio de estas.
<b>Recursos técnicos</b>	Dos ordenadores (20 horas y 3 horas), licencias de MATLAB (20 horas y 3 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior (20 horas) e Ingeniero Senior (3 horas)

*Tabla 16: Obtención y estudio de las estructuras de entrada*

- Tarea 2: *Implementación de los métodos*

<b>Comienzo</b>	26/02/2018
<b>Fin</b>	13/04/2018
<b>Descripción</b>	Implementación de los dos métodos con los que se trabaja por medio de MATLAB.
<b>Recursos técnicos</b>	Dos ordenadores(65 horas y 15 horas) y licencia de MATLAB(65 horas y 15 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior (65 horas) e Ingeniero Senior (15 horas)

*Tabla 17: Implementación de los métodos*

- Tarea 3: *Realización del visor*

<b>Comienzo</b>	16/04/2018
<b>Fin</b>	8/05/2018
<b>Descripción</b>	Representación gráfica de las señales
<b>Recursos técnicos</b>	Ordenador (30 horas) y licencia de MATLAB (30 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior (30 horas)

*Tabla 18:Realización del visor*

- Tarea 4: *Prueba del software*

<b>Comienzo</b>	9/05/2018
<b>Fin</b>	30/05/2018
<b>Descripción</b>	Comprobación de los métodos implementados utilizando diferentes registros de entrada.
<b>Recursos técnicos</b>	Dos ordenadores (25 horas y 4 horas) y licencia de MATLAB(25 horas y 4 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior (25 horas) e Ingeniero Senior (4 horas)

*Tabla 19:Prueba del software*

- Tarea 5: *Corrección de errores del sistema*

<b>Comienzo</b>	31/05/2018
<b>Fin</b>	13/06/2018
<b>Descripción</b>	Modificación de los errores localizados en el proceso de prueba.
<b>Recursos técnicos</b>	Ordenador(30 horas) y licencia de MATLAB (30 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior(30 horas)

*Tabla 20:Corrección de errores del sistema*



### 7.3.5 Paquete de trabajo 5: Memoria

<b>Duración</b>	<b>36 días</b>
<b>Comienzo</b>	18/06/2018
<b>Fin</b>	24/07/2018

Tabla 21:Memoria

- Tarea 1: *Documentación del proyecto*

<b>Comienzo</b>	18/06/2018
<b>Fin</b>	20/07/2018
<b>Descripción</b>	Recopilación de la información del proyecto para escribir una memoria final del mismo.
<b>Recursos técnicos</b>	Ordenador(45 horas), licencia de Word
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Junior(45 horas)

Tabla 22:Documentación del proyecto

- Tarea 2: *Revisión de la memoria*

<b>Comienzo</b>	23/07/2018
<b>Fin</b>	24/07/2018
<b>Descripción</b>	Revisión del informe por parte del director del proyecto.
<b>Recursos técnicos</b>	Ordenador(5 horas)
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero Senior (5 horas)

Tabla 23:Revisión de la memoria

### 7.3.6 Hitos

Se definen los siguientes hitos en el proyecto:

- H1: *Proyecto definido*. Se ha establecido el objetivo del proyecto y los pasos a seguir para realizarlo.
- H2: *Formación realizada*. Se ha adquirido el conocimiento necesario para llevar a cabo el proyecto.
- H3: *Registros adquiridos*. Se han realizado las modificaciones necesarias en los registros para utilizarlos posteriormente.
- H4: *Implementación y prueba de los métodos*. Se han desarrollado los métodos para conseguir la señal de profundidad y se han realizado pruebas y corregido los errores.
- H5: *Entrega de la memoria*. Se ha entregado la memoria escrita que recoge toda la información sobre el proyecto.

Hito	Descripción	Fecha
H1	Proyecto definido	29/11/2018
H2	Formación realizada	2/02/2018
H3	Registros adquiridos	23/02/2018
H4	Implementación y prueba de los métodos	13/06/2018
H5	Entrega de la memoria	24/07/2018

Tabla 24: Resumen de los hitos del proyecto

## 7.4 Diagrama de Gantt

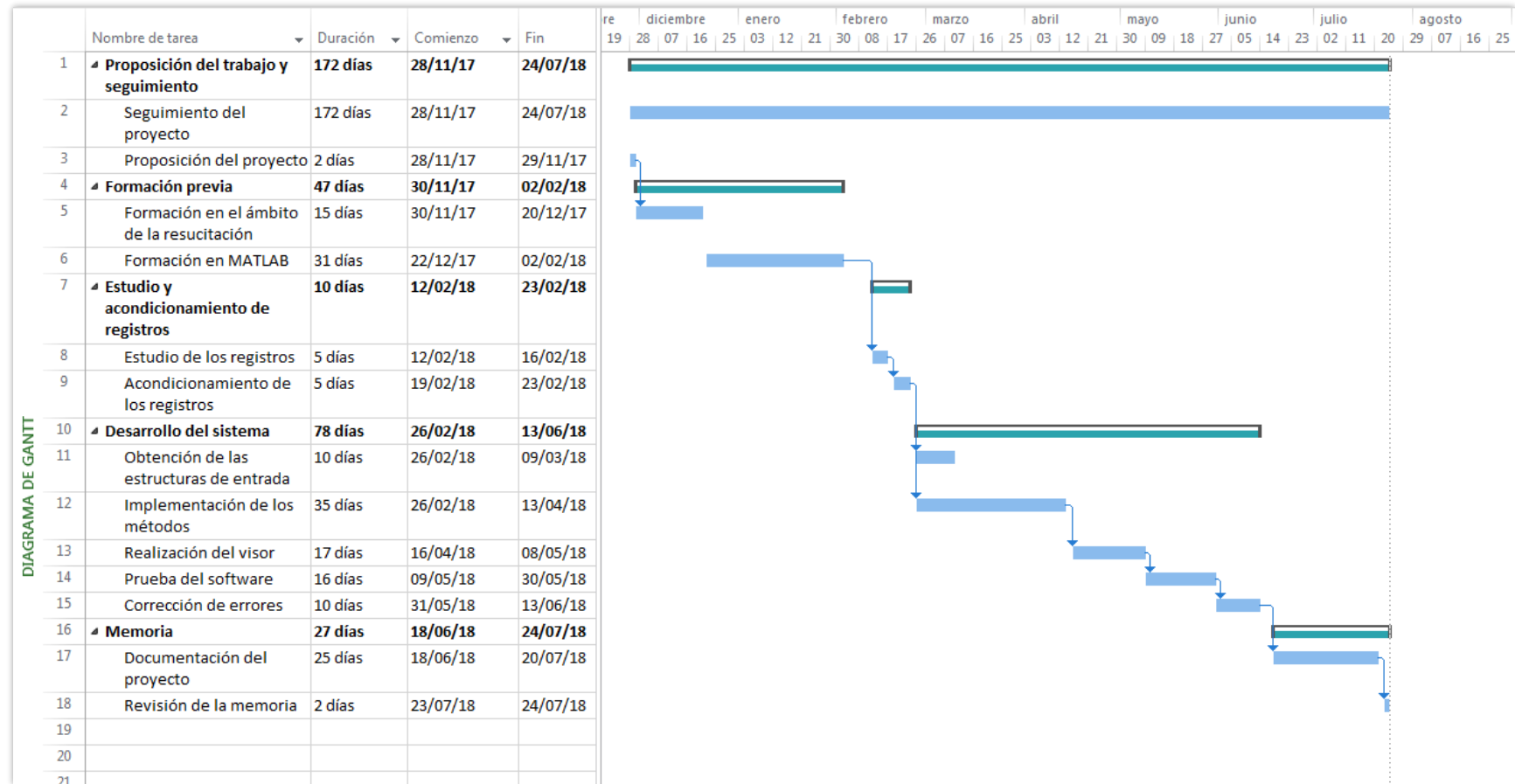


Ilustración 18: Diagrama de Gantt del proyecto completo

## 8. Presupuesto

En este apartado se recogen los costes del proyecto desglosados en los siguientes conceptos: horas internas, amortizaciones, subcontrataciones y gastos.

### 8.1 Horas internas

En la siguiente tabla se muestran los costes relacionados con el personal que ha participado en el proyecto.

Nombre	Cargo	Categoría	Coste(€/h)	Horas	Total (€)
Aingeru Buruchaga Ramos	Proyectista	Ingeniero Junior	10	300	3.000
Jesús María Ruiz Ojeda	Director de proyecto	Ingeniero Senior	50	60	3.000
SUBTOTAL					<b>6.000</b>

Tabla 25:Partida del presupuesto para horas internas

### 8.2 Amortizaciones

Se detallan los recursos necesarios a lo largo del proyecto. Se tiene en cuenta el coste correspondiente a las horas de uso en este proyecto.

Concepto	Coste Inicial	Vida útil(horas)	€/hora	Horas	Total (€)
Ordenador Ing. Junior	700	2.000	0,35	300	105,00
Ordenador Ing. Senior	1.000	2.500	0,4	40	16
Licencia MATLAB	2.000	1.500	1,33	208	312,00
SUBTOTAL					<b>417,00</b>

Tabla 26:Partida del presupuesto para amortizaciones

### 8.3 Subcontrataciones

Para realizar este proyecto no ha sido necesario la subcontratación de ningún servicio. Por tanto, el coste de las subcontrataciones es de 0 €.

### 8.4 Gastos

Concepto	Coste(€)
Material de oficina	100
Electricidad	20
SUBTOTAL	<b>120</b>

Tabla 27:Partida del presupuesto para gastos

## 8.5 Resumen

Concepto	Coste(€)
Horas internas	6.000,00
Amortizaciones	417,00
Subcontrataciones	0,00
Gastos	120,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>6.537,00</b>

*Tabla 28: Resumen de las diferentes partidas*

El presupuesto total para la realización del proyecto “Obtención *off-line* de la señal de profundidad a partir de la señal de aceleración durante la reanimación cardiopulmonar” es de **seis mil quinientos treinta y siete euros (6.537€)**.

## 9. Análisis de riesgos

En esta sección se detallan los diferentes riesgos que pueden aparecer a lo largo del proyecto. En caso de producirse alguno de estos, el proyecto puede sufrir retraso o cancelación. Para evaluar el impacto de cada uno de los posibles riesgos, se caracterizan con dos factores:

- Impacto sobre el proyecto
- Probabilidad de aparición

### 9.1 Pérdida de información (A1)

La pérdida de los registros, el software o la documentación puede tener un gran impacto en el proyecto. Para hacer frente a este riesgo, se tienen varias copias de seguridad de los diferentes elementos del proyecto tanto en formato físico (pendrive, ordenador) como en la nube (Dropbox, Google Drive). De esta forma, en caso de pérdida de la información en alguno de los formatos, se puede recuperar fácilmente.

*Probabilidad:* Muy baja

*Impacto:* Muy alto

### 9.2 Fallos en la programación (A2)

Es posible que al implementar los métodos en MATLAB aparezcan ciertos errores de programación que hagan que el funcionamiento no sea el adecuado. Por ello, los métodos se implementan progresivamente y comprobándolos cada cierto tiempo, para detectar los errores lo antes posible.

*Probabilidad:* Media

*Impacto:* Alto

### 9.3 Retrasos en los plazos previstos (A3)

En todos los proyectos existe la posibilidad de excederse en los plazos previstos para la realización de las tareas. Las tareas se han planificado con cierto margen, teniendo en cuenta los posibles retrasos que puedan surgir en la realización de cada una de ellas. Haciendo una buena planificación, se consigue reducir el impacto de los retrasos, prestando especial atención a aquellas tareas más importantes.

*Probabilidad:* Media

*Impacto:* Bajo

#### 9.4 Bajas de personal (A4)

Debido a que es un proyecto realizado por sólo dos personas, el impacto de la baja de alguna de ellas sería alto, aunque por ser un proyecto de corta duración es poco probable que ocurra esta situación. En caso de que ocurriera una baja de personal, se tendría que hacer otra planificación diferente y realizar los cambios en función de la persona que falte.

*Probabilidad:* Baja

*Impacto:* Alto

#### 9.5 Matriz de probabilidad - impacto

Se muestran los diferentes riesgos por medio de la matriz probabilidad-impacto. De este modo, se pueden identificar claramente las probabilidades y el impacto de cada uno de los riesgos.

Se define un código de colores para una interpretación más visual del efecto de cada uno de los riesgos. El color verde indica que el riesgo no afecta de manera significativa al desarrollo del proyecto. Por el contrario, el color rojo es indicativo de que el riesgo debe tenerse en alta consideración.

En la siguiente tabla se muestra el código de colores establecido:

	1	2	3	4	5
Probabilidad	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Impacto	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

*Tabla 29: Valores de los parámetros de la matriz probabilidad-impacto*

<b>Probabilidad</b>	<b>5</b>					
	<b>4</b>					
	<b>3</b>		<b>A3</b>		<b>A2</b>	
	<b>2</b>				<b>A4</b>	
	<b>1</b>					<b>A1</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
		<b>Impacto</b>				

*Tabla 30:Matriz probabilidad-impacto*

Como se puede apreciar en la matriz, los riesgos que requieren una mayor atención son la pérdida de información (A1) y los fallos en la programación (A2). El proyecto no tiene riesgos muy altos, aun así, un buen plan de contingencia para los riesgos mencionados será necesario para que el proyecto se realice satisfactoriamente.



## 10. Conclusiones

Por medio de este proyecto se ha conseguido obtener de manera *off-line* la señal de profundidad de las compresiones a partir de la señal de aceleración durante la RCP. La señal de profundidad se ha obtenido por medio de dos métodos:

- Filtrado paso banda.
- Análisis espectral de la señal de aceleración

Para poder probar el funcionamiento de los métodos se han utilizado unos registros con información de diferentes reanimaciones realizadas. Estos registros se han modificado para optimizarlos y se han llevado a los métodos propuestos.

La señal de profundidad se ha conseguido por medio de los dos métodos, por lo que se puede considerar que ambos métodos se han implementado correctamente.

Con el segundo método (análisis espectral), han surgido ciertos problemas de continuidad en la representación gráfica de la señal obtenida debido a que trabaja con ventanas de 2 segundos. Estos problemas se han corregido y se ha obtenido una señal de profundidad sin discontinuidades.

El objetivo principal del proyecto se ha conseguido, obteniendo la señal de profundidad de las compresiones mediante los dos métodos propuestos. Esto permite seguir avanzando en el estudio en el ámbito de la resucitación, donde es fundamental conocer la calidad de la RCP. Los métodos analizados y el procesado de señal, que cada vez es más avanzado, permiten mejorar la RCP y salvar un mayor número de vidas en un futuro.

## 11. Referencias

- [1] R.O. Cummins, J.P. Ornato, W.H. Thies, P.E. Pepe, <<Improving survival from sudden cardiac arrest: the “chain of survival” concept. A statement for health professionals from the Advanced Cardiac Life Support Subcommittee and the Emergency Cardiac Care Committee>>, *American Heart Association. Circulation*, 83 (1991), pp. 1832-1847
- [2] McNally B., Robb R., Mehta M., *et al.*, <<Out-of-hospital cardiac arrest surveillance - Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival (CARES)>>, United States, October 1, 2005–December 31, 2010, *MMWR Surveill Summ.*, 2011; 60:1–19
- [3] Signosvital 2.0, <<Análisis de las nuevas Guías AHA y ERC 2015. La cadena de supervivencia>> [En línea].  
Disponibile en <http://signosvital20.com/analisis-de-las-nuevas-guias-aha-y-erc-2015-la-cadena-de-supervivencia/>
- [4] Koster RW, Baubin MA, Bossaert LL, *et al.*, <<European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators>>, *Resuscitation*. 2010 Oct; 81:1277-92.
- [5] Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H, *et al.* <<Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest >>, *JAMA*. 2005 Jan;293(3):299-304.
- [6] Gallagher EJ, Lombardi G, Gennis P, << Effectiveness of bystander cardiopulmonary resuscitation and survival following out-of-hospital cardiac arrest >>, *JAMA*, 1995 Dec, 274(24), pp. 1922-1925.
- [7] Wenzel V, Russo SG, Arntz HR, *et al.*, << Comments on the 2010 guidelines on cardiopulmonary resuscitation of the European Resuscitation Council >>, *Anaesthetist* 2010; 59:1105–23.
- [8] Información del CPRmeter [En línea]  
Disponibile en <https://www.laerdal.com/ca/doc/3589/CPRmeter-2>
- [9] Ruiz de Gauna S, González-Otero D. M., Ruiz J, & Russell J. K. (2016), << Feedback on the Rate and Depth of Chest Compressions during Cardiopulmonary Resuscitation Using Only Accelerometers >>. *PLoS ONE*, 11(3), e0150139.
- [10] Gruber J, Stumpf D, Zapletal B, Neuhold S, Fischer H, << Real-time feedback systems in CPR>>, *Trends in Anaesthesia and Critical Care*, vol 2, nº 6, pp. 287-294, dec. 2012.

- [11] Tomlinson AE, Nysaether J, Kramer-Johansen J, Steen P, and Dorph E, <<Compression force-depth relationship during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation >>, *Resuscitation* 2007; 72(3); 364-370.
- [12] González-Otero DM, Ruiz JM, Ruiz de Gauna S, Irusta U, Ayala U, and Alonso E, <<A new method for feedback on the quality of chest compressions during cardiopulmonary resuscitation>>, *BioMed research international* 2014; Article ID 865967.
- [13] Fundación española del corazón [En línea]  
Disponible en: <http://www.fundaciondelcorazon.com/prensa/notas-de-prensa/3157-la-fec-y-amat-forman-a-empresas-para-que-promuevan-habitos-cardiosaludables-en-el-entorno-laboral.html>
- [14] Aase SO and Myklebust H, << Compression depth estimation for CPR quality assessment using DSP on accelerometer signals>>, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 2002; Vol 49, No 3.
- [15] Información del monitor/desfibrilador Philips HeartStart MRx M3536A [En línea]  
Disponible en <http://daemed.com/60-producto-HeartStart>
- [16] Anza Aguirrezabala J, << Simulación Numérica del Comportamiento de Sistemas Gobernados por Ecuaciones Diferenciales >>. *EHU*.
- [17] <<Digital Signal Processing with MATLAB – Mathworks>> [En línea]  
Disponible en <https://es.mathworks.com/solutions/dsp.html>

---

## ANEXO

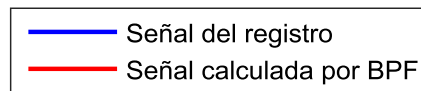
---

I. Análisis gráfico de los resultados
---------------------------------------

## Anexo I. Análisis gráfico de los resultados

Se han utilizado 10 registros para comprobar los métodos implementados. Estos registros contienen información sobre diferentes RCP realizadas, registrada por medio del monitor/desfibrilador. En este apartado, se realiza la comparación entre la señal de profundidad de cada registro con la que se ha obtenido con los métodos utilizados. Esta comparación se realiza mediante la representación gráfica de las diferentes señales y permite comprobar visualmente el error producido en la implementación de los métodos.

### Método BPF



- rec\_19

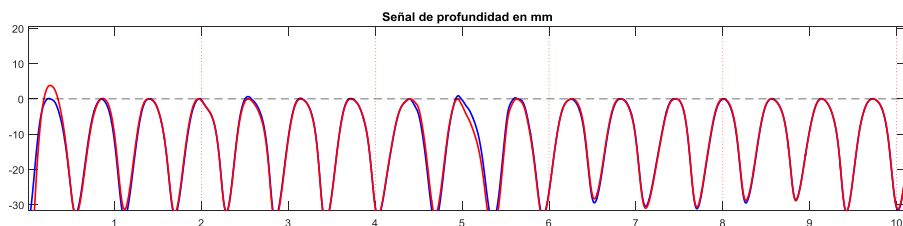


Ilustración 19: Resultados con el registro rec\_19

- rec\_20

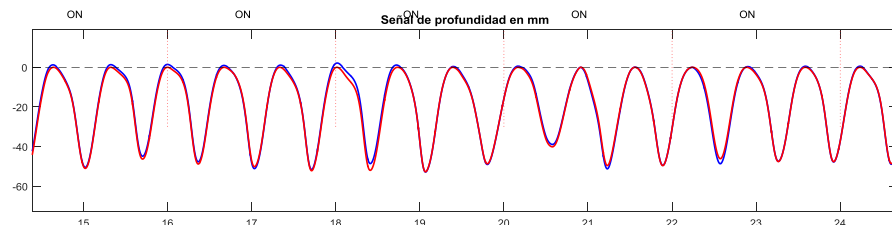


Ilustración 20: Resultados con el registro rec\_20

- rec\_22

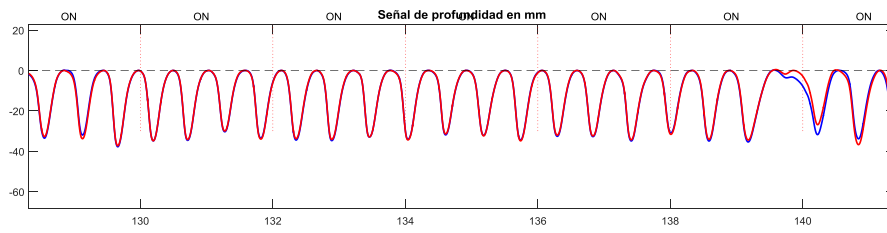


Ilustración 21: Resultados con el registro rec\_22

- rec\_29

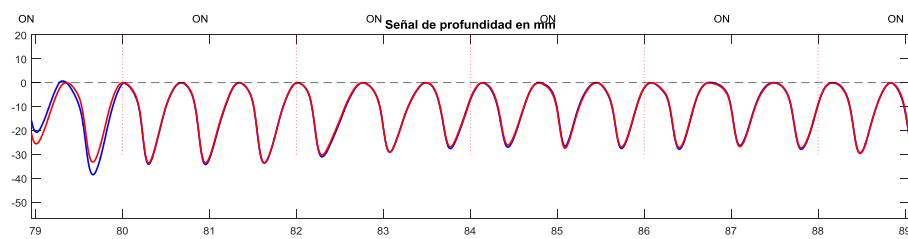


Ilustración 22: Resultados con el registro rec\_29

- rec\_30

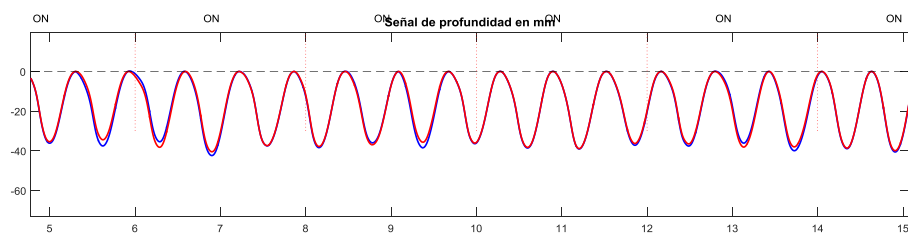


Ilustración 23: Resultados con el registro rec\_30

- rec\_31

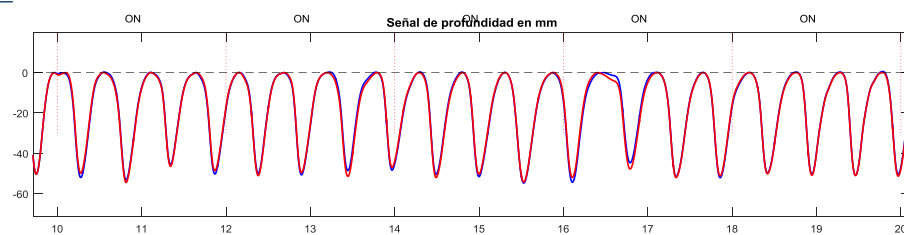


Ilustración 24: Resultados con el registro rec\_31

- rec\_33

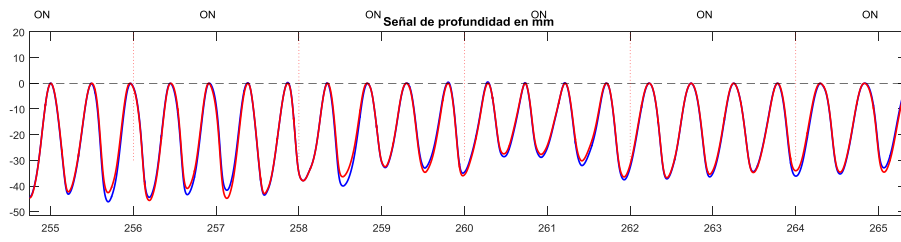


Ilustración 25: Resultados con el registro rec\_33

- rec\_37

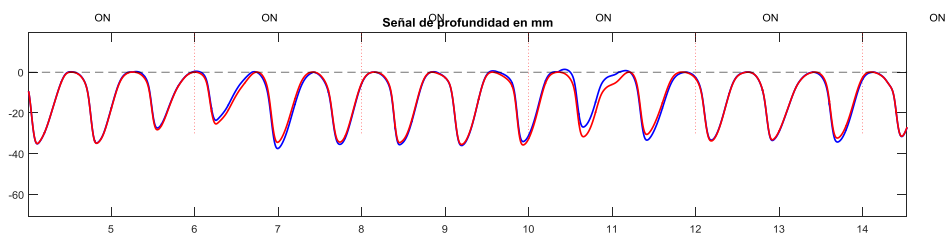


Ilustración 26: Resultados con el registro rec\_37

- rec\_41

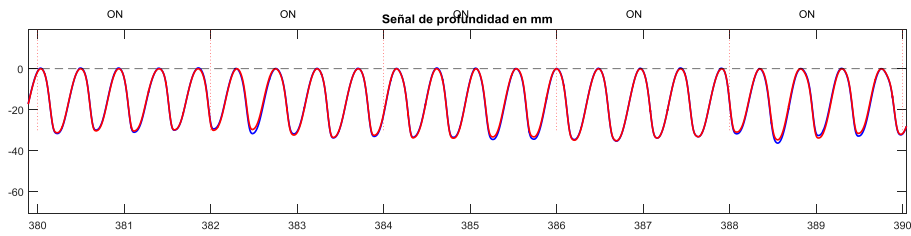


Ilustración 27: Resultados con el registro rec\_41

- rec\_50

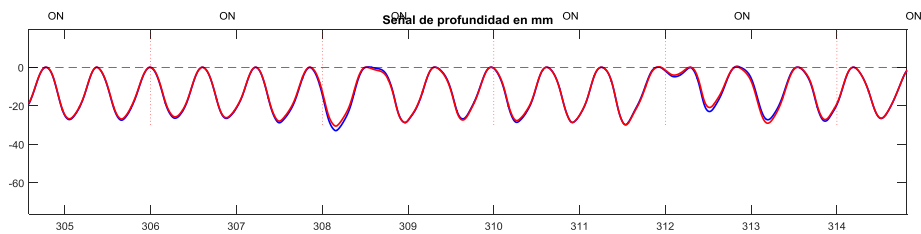
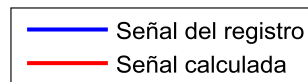


Ilustración 28: Resultados con el registro rec\_50

## Método del dominio de la frecuencia

A continuación, se muestran los resultados del método en el dominio de la frecuencia para los diferentes registros. Se muestran el resultado de la señal sin corregir las discontinuidades y el resultado con la señal corregida.



- rec\_19

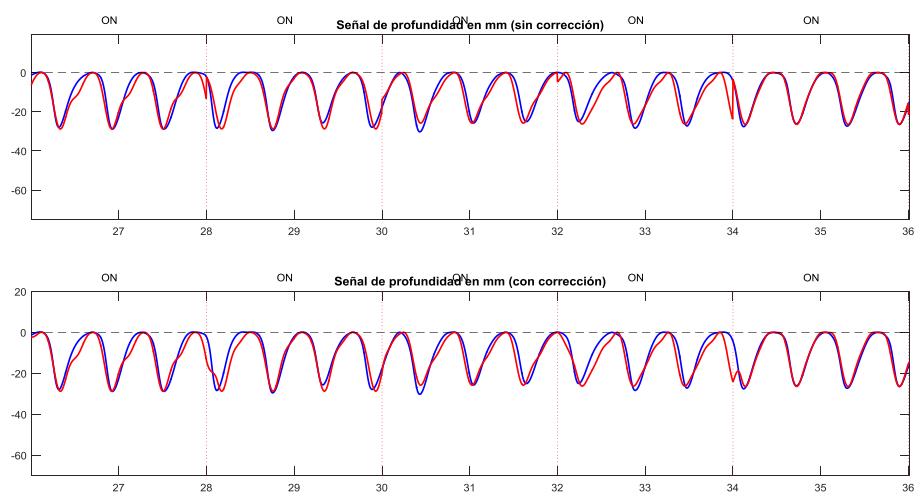


Ilustración 29: Resultados con el método SAA en el registro rec\_19

- rec\_20

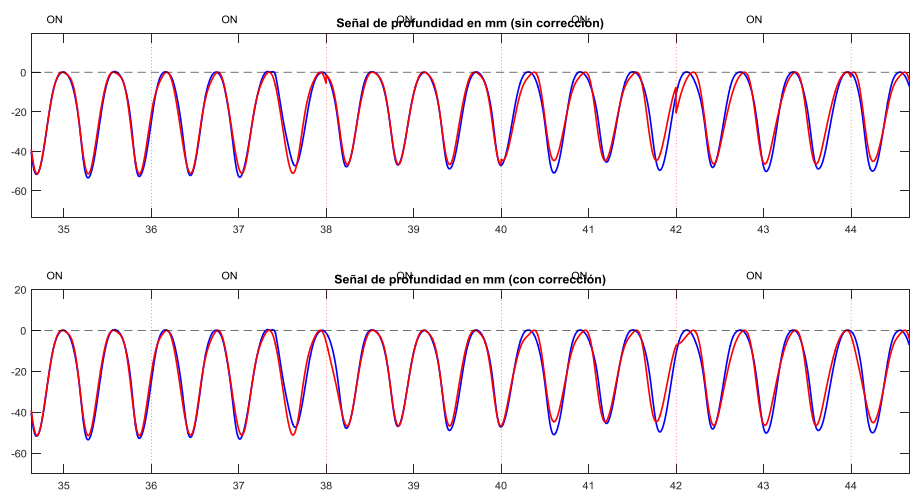
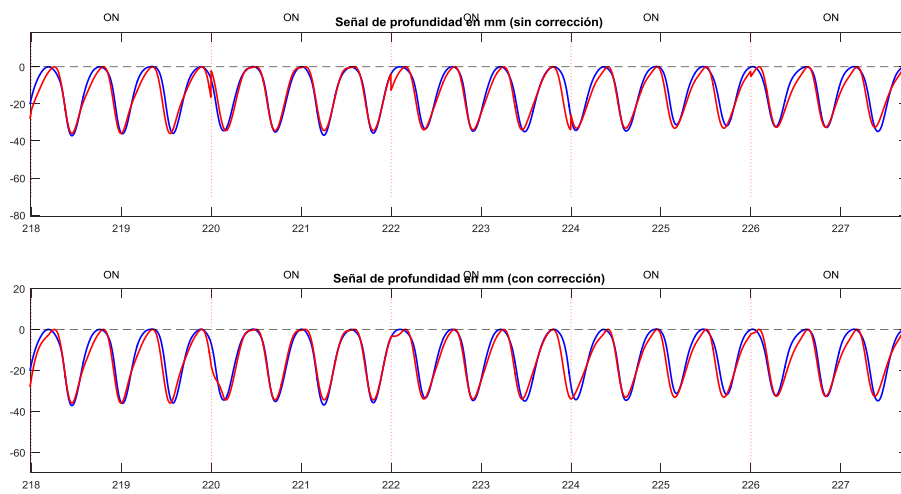


Ilustración 30: Resultados con el método SAA en el registro rec\_20

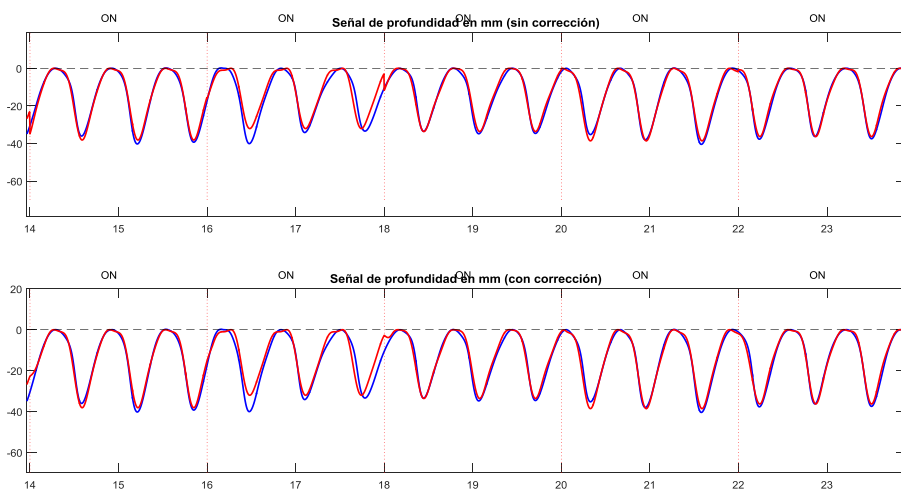


- rec\_22



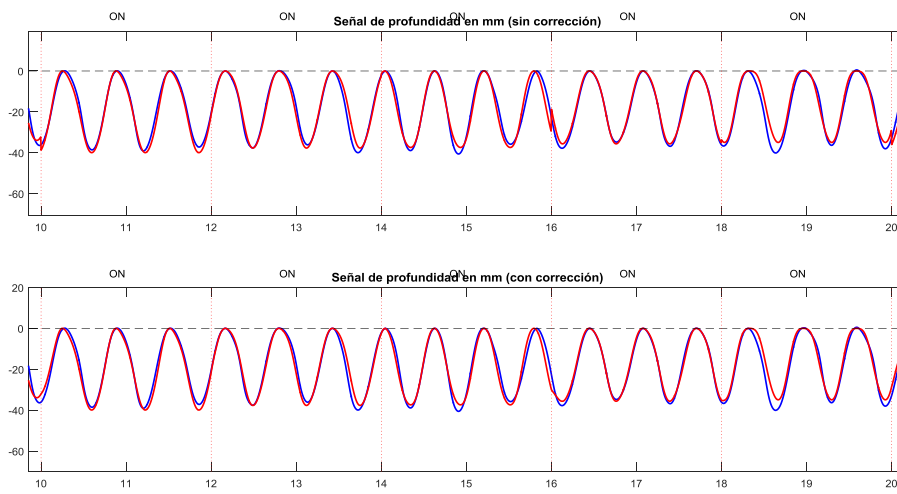
*Ilustración 31: Resultados con el método SAA en el registro rec\_22*

- rec\_29



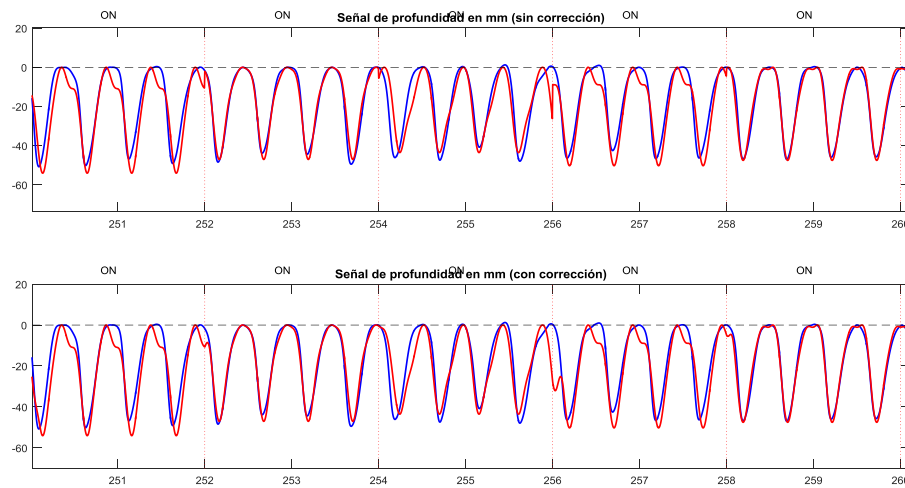
*Ilustración 32: Resultados con el método SAA en el registro rec\_29*

- rec\_30



*Ilustración 33: Resultados con el método SAA en el registro rec\_30*

- rec\_31



*Ilustración 34: Resultados con el método SAA en el registro rec\_31*

- rec\_33

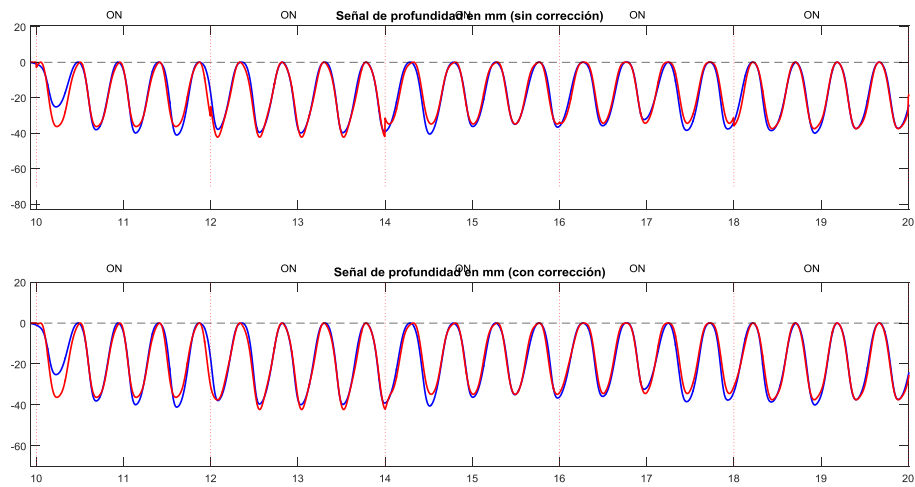


Ilustración 35: Resultados con el método SAA en el registro rec\_33

- rec\_37

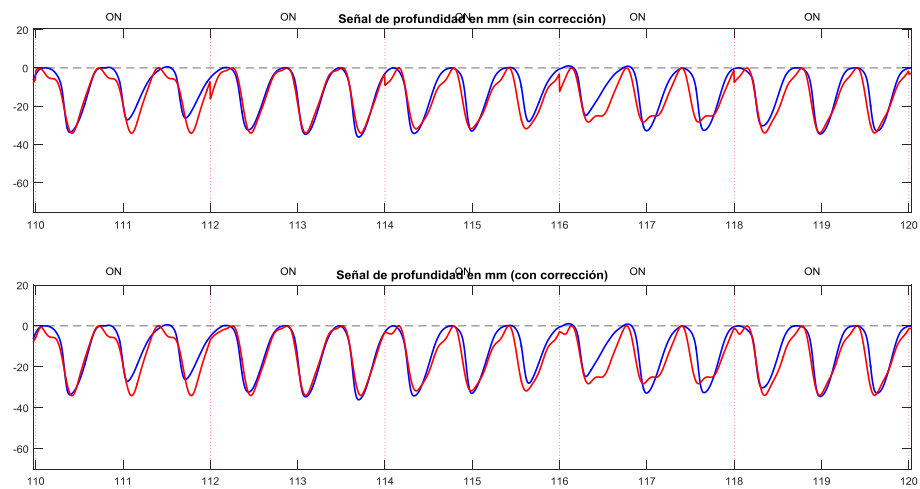


Ilustración 36: Resultados con el método SAA en el registro rec\_37

- rec\_41

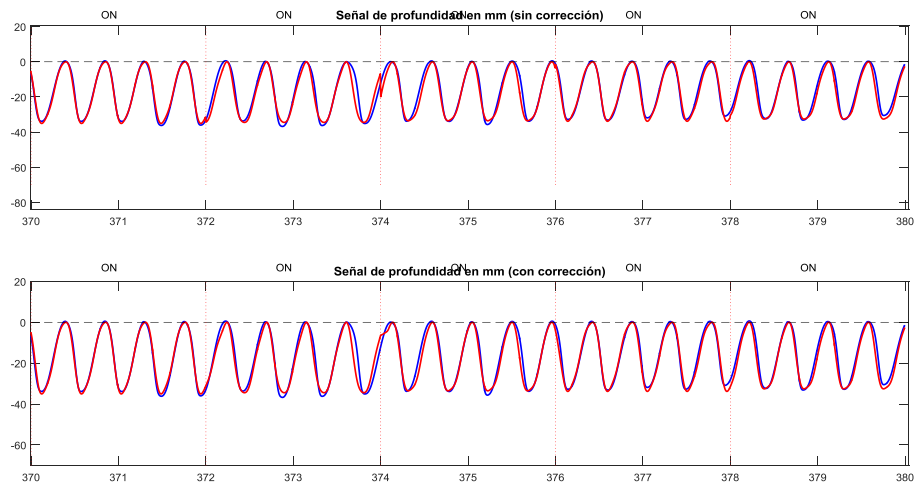


Ilustración 37: Resultados con el método SAA en el registro rec\_41

- rec\_50

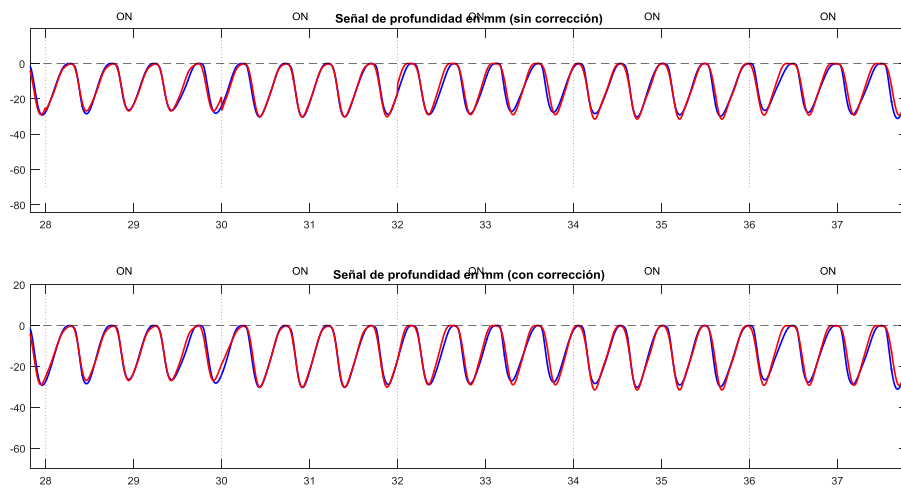


Ilustración 38: Resultados con el método SAA en el registro rec\_50