

# Estudio observacional retrospectivo sobre los parámetros de calidad de las compresiones torácicas durante la resucitación cardio-pulmonar

---

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

INGENIARITZA GOI ESKOLA TEKNIKOA

BILBAO

---

Alumno: González Gómez de Segura, Mikel

Director: Ruiz Ojeda, Jesús María

Codirectora: González Otero, Digna María

**Fecha**  
10-03-2017

**Curso Académico**  
2016/2017

**Documento**  
Trabajo Fin de Master



# Resumen

---

*Hoy en día las muertes por parada cardiorrespiratoria superan en número a otras más mediáticas como aquellas que se producen por incendios o en accidentes de tráfico y sin embargo su repercusión es mucho menor. Esto debe ser motivo de preocupación ya que con una correcta formación de la población en materia de resucitación cardíaca muchas de estas muertes podrían ser evitadas. Con el objetivo de avanzar en la investigación sobre la reanimación cardiopulmonar surgen las guías de resucitación, que aglutinan los avances realizados en el campo y los toman como base para recomendar un protocolo de actuación en casos críticos.*

*Las guías de resucitación publicadas cada 5 años basan su desarrollo en la investigación de 3 parámetros principales presentes en las compresiones realizadas durante el masaje cardíaco: la profundidad, la frecuencia y la relación entre el tiempo de compresión/descompresión y el tiempo total de ciclo. Estos 3 parámetros definen la calidad de la reanimación cardiopulmonar, y es por ello que hasta la actualidad los estudios se han centrado en analizar su comportamiento de cara a mejorar la respuesta de los equipos de emergencia. Sin embargo recientemente se ha propuesto la existencia de otro parámetro independiente que pueda constituir una fuente de información relevante de cara a evaluar la calidad de las compresiones: la velocidad de descompresión del pecho.*

*La compañía Zoll Medical Corporation en colaboración con diferentes partners ha publicado recientemente un estudio en el que concluye que si bien no puede garantizar la relevancia de este parámetro, si abre una nueva vía de investigación en torno a él. La incógnita principal es si realmente este parámetro es un parámetro independiente a los tradicionales o si guarda relación con alguno de ellos y por tanto, no confiere tanta información como se pensaba.*

*En este contexto, este documento detalla el estudio observacional realizado sobre una base de registros previamente grabada en el que se profundiza en el análisis de la variable de velocidad. Una herramienta desarrollada para este trabajo permite caracterizar de manera unívoca cada una de las compresiones presentes en la base de registros, extrayendo sus parámetros principales para su posterior análisis observacional. Las conclusiones extraídas no sólo serán un avance científico en sí mismas, sino que en caso de ser positivas abrirán un camino de investigación en relación a este nuevo parámetro.*

## Abstract

---

*Nowadays the amount of people who die because of cardiac arrest is significantly higher than others like the ones related to traffic accidents or fires, even if these have more relevancy in the media but it's repercussion is way lower. This must be matter of concern because a good training of the population in rescuing and first aid would be very important for reducing some of these deaths. Resuscitation guidelines were founded with the objective of going forward on the research. These guidelines summarize the advances made in the field of cardiac arrest and take them as a baseline to recommend an actuation protocol for high-risk situations.*

*Resuscitation guidelines, published every 5 years, base their development in the deep research of 3 main parameters taking part during the compressions delivered during heart massage: depth, rate and compression/decompression time/total cycle time relation. These 3 parameters define the quality of the cardiopulmonary resuscitation, and this is why researches have focused on the analysis of their behaviour in order to improve the performance of the emergency equipment. Nevertheless, recently the existence of a new independent parameter has been proposed. This parameter, chest decompression velocity, would be an important source in order to assess the quality of compressions.*

*Zoll Medical Corporation company in collaboration with many other partners has recently published a research concluding that, even though if there is not a strong evidence to say this new parameter is relevant, it can be a new way to research. The main question is if this parameter actually is an independent parameter from the traditional ones or if it's somehow related with any of them, and therefore it does not have as much information as it seemed.*

*In this context this document develops the observational study performed over a previously recorded database, focusing on the analysis of the variable of velocity of the chest release. A specifically developed tool allows the characterization of each of the compressions of the database, extracting its main parameters for their observational analysis. Extracted conclusions will not be only a scientific progress for themselves, but in positive case they will also open a new way of research in relation to this new parameter.*

# Laburpena

---

*Gaur egun bihotz-biriketako geldialdiaren eraginez gertatutako heriotzak mediatikoagoak diren beste batzuk baino gehiago dira, hala nola suteen edota trafikoko istripuen eraginez gertatutakoak, eta hala ere bere oihartzuna askoz txikiagoa da. Jazoera hau larritzeko arrazoa izan behar da, izan ere bihotz-biriketako berpiztearen inguruko populazioaren hezkuntza zuzen batekin, heriotza hauetako asko ekidin ahal izango ziren. Bihotz-biriketako berpiztearen arloko ikerketan aurrera egiteko berpizte gidak sortu ziren, egindako aurrerapenak biltzen eta horietan oinarrituta kasu kritikoetarako jarraibidea finkatzen dutelarik.*

*5 urtero argitaratutako berpizte gidak bere garapena berpiztean egindako konpresioetan parte hartzen duten 3 parametro nagusietan oinarritzen dute: sakonera, frekuentzia eta konpresio/deskonpresio denbora eta ziklo osoaren denboraren arteko erlazioa. 3 parametro hauek bihotz-biriketako berpiztearen kalitatea definitzen dute, horregatik orain arte ikerketak bere portaera aztertzean zentratu dira emergentzia taldeen erantzuna hobetzeko asmoz. Hala ere duela gutxi konpresioen kalitatea aztertzeko garrantzitsua izan daitekeen parametro independente berri baten existentzia proposatu da: bularraren deskonpresio abiadura.*

*Zoll Medical Corporation konpainiak beste partner batzuen laguntzarekin ikerketa bat argitaratu berri du non parametro berriaren garrantzia baieztatu ezin duen arren, bai ireki egiten du ikerketa bide bat horren inguruan. Galdera nagusia hurrengoa da: parametro hau berez beste parametro tradizionaletikiko parametro independente bat da edo nolabaiteko erlazioa dauka horietako batekin/batzuekin eta berez, ez du pentsatu bezain besteko informazioa?*

*Testuinguru honetan dokumentu honek aurretik grabatutako erregistro base batetan oinarritutako behaketa ikerketa garatzen du, non abiadura aldagaiaren analisisan zentratzen da. Espreski proiektu honetarako garatutako erreminta batek banan-banan erregistro-basean dauden konpresio guztiak karakterizatzea ahalbidetzen du, bere parametro garrantzitsuenak identifikatuz ondoren horien gainean behaketa analisia egiteko. Ateratako ondorioak ez dira berez garapen zientifiko bat bakarrik izango, izan ere positiboak izanez gero parametro berri honen inguruan ikerketa bide berri bat irekiko dute.*

# Lista de figuras

Figura 1: Cadena de supervivencia	12
Figura 2: Señal velocidad & señal profundidad	15
Figura 3: Análisis de riesgos	34
Figura 4: Definición de términos para definir cada compresión	39
Figura 5: Ejemplo de compresiones válidas	41
Figura 6: Ejemplo de compresiones inválidas	42
Figura 7: Ejemplo de compresión doble	42
Figura 8: Ejemplo 1 de tramo inválido	43
Figura 9: Ejemplo 2 de tramo inválido	43
Figura 10: Ejemplo 1 de tramo sin información	44
Figura 11: Ejemplo 2 de tramo sin información	45
Figura 12: Interfaz de selección	47
Figura 13: Distribución del parámetro duty cycle	48
Figura 14: Distribución de los parámetros tiempo de compresión y tiempo de compresión efectivo	48
Figura 15: Distribución del parámetro profundidad	49
Figura 16: Duración de ciclo, duración efectiva de ciclo, duración efectiva de compresión, profundidad, CCRV y CCRV vs profundidad para el registro número 4	50
Figura 17: Duración de ciclo y duración de ciclo efectiva para compresiones válidas y eliminadas	50
Figura 18: Distribución del parámetro profundidad para compresiones válidas y eliminadas	51
Figura 19: Distribución del parámetro CCRV para compresiones válidas y eliminadas	51
Figura 20: Representación de características temporales de las compresiones	52
Figura 21: Distribución de los parámetros profundidad, rate, duty cycle, effective duty cycle y CCRV	52
Figura 22: Representación de CCRV vs prof/tiempo de descompresión efectivo para varios registros	53
Figura 23: Duración de compresión absoluta y efectiva frente a profundidad y rate	53
Figura 24: Ejemplo CCRV frente a profundidad de las compresiones entre tiempo de descompresión	54
Figura 25: Ejemplo CCRV frente a profundidad de las compresiones entre tiempo de descompresión con compresiones de calidad en rojo	54
Figura 26: Ejemplo CCRV frente a profundidad de las compresiones entre tiempo de descompresión con compresiones de calidad en rojo y condición de velocidad	55
Figura 27: Diagrama de Gantt	59
Figura 28: CCRV vs prof/tiempo de descompresión para varios casos concretos y para el total de las compresiones	63
Figura 29: Protocolo de rescate en caso de parada cardiorrespiratoria	74
Figura 30: Estructura general de la herramienta de selección	80
Figura 31: Interfaz gráfica de la herramienta de selección	81
Figura 32: Panel de visualización	82
Figura 33: Panel de navegación	83
Figura 34: Panel de ajustes	83
Figura 35: Panel de edición	83
Figura 36: Panel de herramientas informativas	83

Figura 37: Panel de herramientas funcionales	84
Figura 38: Lógica de programación	84
Figura 39: Descomposición de la variable base	85
Figura 40: Interfaz original de la herramienta de selección	86
Figura 41: Herramienta de selección de registro	86
Figura 42: Panel de edición de parámetros	87
Figura 43: Panel de edición de compresiones	87
Figura 44: Ejemplo de adición de nueva compresión	87
Figura 45: Ejemplo de eliminación de compresiones	87
Figura 46: Panel de reseteo de registros	87
Figura 47: Herramientas informativas	88
Figura 48: Herramientas funcionales	88
Figura 49: Interfaz de la herramienta analisis_duty_cycle	90
Figura 50: Interfaz de la herramienta analisis_profundidad_frecuencia	91
Figura 51: Interfaz de la herramienta analisis_release_velocity_1	91
Figura 52: Interfaz de la herramienta analisis_release_velocity_2	92
Figura 53: Interfaz de la herramienta analisis_release_velocity_3	93
Figura 54: Interfaz de la herramienta graphs_art 1	94
Figura 55: Interfaz de la herramienta graphs_art 2	95
Figura 56: Interfaz de la herramienta graphs_art 3	96
Figura 57: Interfaz de la herramienta graphs_art 4	96
Figura 58: Interfaz de la herramienta resultados->Duty Cycle	97
Figura 59: Menu de la herramienta resultados	97
Figura 60: Segunda interfaz de la herramienta resultados->Duty Cycle	98
Figura 61: Interfaz de la herramienta resultados->1-by-1	98
Figura 62: Interfaz de la herramienta resultados->Deleted	99
Figura 63: Segunda interfaz de la herramienta resultados->Deleted	99
Figura 64: Duración de las distintas fases de las compresiones	102
Figura 65: Distribución del parámetro de profundidad	103
Figura 66: Distribución del parámetro CCRV	103
Figura 67: Relación entre los parámetros de CCRV y el cociente entre la profundidad y el tiempo efectivo de descompresión	104
Figura 68: Diferentes episodios de CCRV frente a profundidad efectiva entre tiempo efectivo de descompresión	108
Figura 69: Diferentes episodios de tiempo de compresión absoluto y efectivo frente a profundidad y rate	112
Figura 70: Diferentes episodios de CCRV frente a profundidad entre diferentes fases del ciclo de compresión/descompresión	116
Figura 71: Distribución del parámetro CCRV para compresiones de alta calidad y de baja calidad	116

# Lista de tablas

---

Tabla 1: Criterios de selección de lenguaje de programación	28
Tabla 2: Criterios de selección de tramos a eliminar	30
Tabla 3: Estructura de la variable rec	36
Tabla 4: Formas de onda correcta e incorrecta	38
Tabla 5: Tiempos de compresión y descompresión elevados	41
Tabla 6: Definición de variable base	46
Tabla 7: Recursos materiales	56
Tabla 8: Recursos humanos	56
Tabla 9: PT1-Documentación y puesta en contexto	56
Tabla 10: PT2-Establecimiento de criterios de selección	57
Tabla 11: PT3-Diseño de la herramienta de selección	57
Tabla 12: PT4-Desarrollo de la herramienta de selección	57
Tabla 13: PT5-Selección automática de compresiones	57
Tabla 14: PT6-Selección manual de compresiones	57
Tabla 15: PT7-Revisión de datos obtenidos en la selección	57
Tabla 16: PT8-Establecimiento de objetivos de cara al análisis	57
Tabla 17: PT9-Diseño y desarrollo de la herramienta de análisis	57
Tabla 18: PT 10-Depuración de errores en el desarrollo	58
Tabla 19: PT11-Análisis de datos y extracción de conclusiones	58
Tabla 20: PT12-Supervisión continua de procesos	58
Tabla 21: Costes RRHH	60
Tabla 22: Costes recursos materiales	60
Tabla 23: Gastos	60
Tabla 24: Horas internas	61
Tabla 25: Amortizaciones/Inversiones	61
Tabla 26: Gastos	61
Tabla 27: Resumen de costes	62
Tabla 28: Valores de parámetros de las diferentes fases temporales	102

## Lista de acrónimos

---

<b>GSC</b> -----	Grupo de Señal y Comunicación
<b>ETSIB</b> -----	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao
<b>RCP</b> -----	Reanimación Cardiopulmonar
<b>CT</b> -----	Compresiones Torácicas
<b>ECG</b> -----	Electrocardiograma
<b>RV</b> -----	Release Velocity
<b>VF</b> -----	Fibrilación Ventricular
<b>CCRV</b> -----	Chest Compression Release Velocity
<b>DEA</b> -----	Desfibrilador Externo Automático
<b>MD</b> -----	Monitor Desfibrilador
<b>GUI</b> -----	Graphic User Interface
<b>CD</b> -----	Compression Duration
<b>ECD</b> -----	Effective Compression Duration
<b>CT</b> -----	Compression Time
<b>ECT</b> -----	Effective Compression Duration
<b>DT</b> -----	Decompression Time
<b>EDT</b> -----	Effective Decompression Time
<b>ALS</b> -----	Advanced Life Support

# ÍNDICE

<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Laburpena</b>	<b>3</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>4</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>6</b>
<b>Lista de acrónimos</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>8</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>11</b>
<b>2. Contexto</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Ámbito</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Evolución de los parámetros de calidad</b>	<b>13</b>
2.2.1. Profundidad	14
2.2.2. Frecuencia	14
2.2.3. Duty cycle	14
2.2.4. Velocidad	14
<b>2.3. Relación profundidad-velocidad</b>	<b>14</b>
<b>2.4. Definición del proyecto:</b>	<b>16</b>
<b>3. Objetivos y alcance</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Objetivo principal</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Objetivos secundarios</b>	<b>18</b>
3.2.1. Identificación de registros a analizar	18
3.2.2. Desarrollo de herramienta de edición	18
3.2.3. Generación de base de datos	19
3.2.4. Análisis	19
<b>4. Beneficios</b>	<b>20</b>
<b>4.1. Beneficios técnicos</b>	<b>20</b>
<b>4.2. Beneficios sociales</b>	<b>20</b>
<b>4.3. Beneficios económicos</b>	<b>21</b>
<b>5. Estado del arte</b>	<b>22</b>
<b>5.1. Evolución de las guías de resucitación</b>	<b>22</b>
<b>5.2. Evolución de cada uno de los parámetros</b>	<b>23</b>
5.2.1. Profundidad	23
5.2.2. Frecuencia	24
5.2.3. Duty cycle	24
<b>5.3. Estado de las investigaciones relativas al parámetro velocidad</b>	<b>25</b>

<b>6. Análisis de alternativas</b>	<b>26</b>
<b>6.1. Lenguaje de programación</b>	<b>26</b>
6.1.1. Alternativas	26
6.1.2. Criterio de selección	27
<b>6.2. Bases de registros disponibles: criterio básico, señales de aceleración y profundidad</b>	<b>28</b>
<b>6.3. Selección de tramos a eliminar</b>	<b>29</b>
6.3.1. Alternativas	29
6.3.2. Criterio de selección	30
<b>7. Análisis de riesgos</b>	<b>31</b>
7.1. Retrasos	31
7.2. Elección de alternativa incorrecta	31
7.3. Costes imprevistos	32
7.4. Indisposición de participantes en el proyecto	32
7.5. Interferencias de otros proyectos	32
7.6. Resultados inesperados	33
7.7. Resumen de riesgos	33
<b>8. Descripción de la solución</b>	<b>35</b>
8.1. Fundamentos generales	35
8.2. Selección de base de registros	35
8.3. Criterios de selección de compresiones	36
8.3.1. Establecimiento de criterios	37
8.3.2. Identificación automática	45
8.3.3. Identificación manual	45
8.4. Definición de “base”	46
8.5. Herramienta de selección y cálculo	46
8.6. Herramientas de análisis	47
<b>9. Metodología</b>	<b>56</b>
9.1. Recursos utilizados	56
9.1.1. Recursos materiales	56
9.1.2. Recursos humanos	56
9.2. Paquetes de trabajo	56
9.3. Diagrama de Gantt	58
<b>10. Aspectos económicos</b>	<b>60</b>
10.1. Recursos humanos	60
10.2. Recursos materiales	60
10.3. Presupuesto	60
10.3.1. Horas internas	60

10.3.2.	Amortizaciones/Inversiones _____	61
10.3.3.	Subcontrataciones _____	61
10.3.4.	Gastos _____	61
10.3.5.	Resumen de costes _____	61
<b>11.</b>	<b>Conclusiones _____</b>	<b>63</b>
<b>12.</b>	<b>Fuentes de información _____</b>	<b>65</b>
<b>13.</b>	<b>Anexos _____</b>	<b>69</b>
	<b>ANEXO I Normativa aplicable _____</b>	<b>71</b>
	Introducción _____	72
	Guías de resucitación _____	72
	<b>ANEXO II Herramienta de selección _____</b>	<b>79</b>
	Introducción _____	80
	Estructura software _____	80
	Lógica de programación _____	84
	Manual de usuario _____	86
	Selección de registro _____	86
	Edición de parámetros _____	87
	Edición de compresiones _____	87
	Herramientas _____	88
	Guardado de datos _____	88
	Herramientas adicionales _____	88
	<b>ANEXO III Herramientas de análisis _____</b>	<b>89</b>
	Introducción _____	90
	analisis_duty_cycle _____	90
	analisis_profundidad_frecuencia _____	90
	analisis_release_velocity1/2/3 _____	91
	graphs_art _____	93
	resultados _____	96
	<b>ANEXO IV Resultados _____</b>	<b>101</b>
	Caracterización de parámetros _____	102
	CCR <sub>V</sub> frente a cociente profundidad/tiempo de descompresión _____	104
	Comportamiento del parámetro duty cycle _____	108
	Distribución de compresiones en función de su calidad _____	112

# 1. Introducción

---

El proyecto al que hace referencia este documento ha sido promovido y desarrollado por el grupo de investigación llamado Grupo de Señal y Comunicación (GSC), ubicado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Bilbao (ETSI B). El grupo centra sus trabajos en el área de la resucitación cardíaca, con lo que este proyecto queda encuadrado en este contexto, y está estrechamente ligado a la mejora de la probabilidad de recuperación tras una parada cardiorrespiratoria.

La parada cardiorrespiratoria ocurre cuando el corazón entra en un estado de inestabilidad, con un ritmo anormal maligno (taquicardia o fibrilación ventricular) que puede desembocar en la muerte si no se trata con rapidez. El conjunto de acciones necesarias para devolver al corazón a su ritmo natural se denomina resucitación cardíaca (término proveniente del inglés *cardiac resuscitation*) y está compuesto por dos técnicas básicas. En primer lugar se presenta la maniobra de reanimación cardiopulmonar o RCP, consistente en la realización de compresiones torácicas (CT) y ventilaciones con el objetivo mantener un flujo mínimo de sangre en los órganos vitales. Por otra parte se presenta la técnica conocida como desfibrilación, que consiste en aplicar un shock eléctrico sobre el pecho del paciente para intentar restablecer un ritmo cardíaco eficaz para el bombeo de sangre.

Durante este proceso son muchas las señales puestas en juego que en mayor o menor medida afectan directamente a la probabilidad de supervivencia del paciente (electrocardiograma o ECG, impedancia en módulo y fase, aceleración triaxial, fuerza y profundidad). Sin embargo recientes estudios han sugerido la posibilidad de que una nueva señal pueda tener relevancia en la probabilidad de supervivencia, la señal de velocidad medida en el pecho del paciente. El presente proyecto desarrolla un análisis retrospectivo de episodios de paradas cardiorrespiratorias con el objetivo de dotar de una mayor base científica a dicha afirmación, así como de sentar las bases para un futuro desarrollo de la misma.

Este análisis se realizará en base a una serie de grabaciones registradas en episodios reales de parada cardiorrespiratoria, las cuales incluyen las señales necesarias para calcular la señal de velocidad. Se seleccionarán de dichos episodios los intervalos que sean útiles para el análisis, y posteriormente se procesarán los datos con el objetivo de obtener una serie de resultados estadísticos que puedan servir de base para extraer las conclusiones pertinentes. Este proceso no sólo desembocará en una serie de conclusiones, sino que también aportará una base de episodios procesados susceptibles de ser utilizados en otros proyectos.

## 2. Contexto

### 2.1. Ámbito

Hablamos de parada cardiorrespiratoria cuando el corazón de una persona deja de latir a un ritmo cardíaco natural y pasa a latir a un ritmo mediante el que no se proporciona un correcto flujo sanguíneo a los órganos vitales, lo cual afecta significativamente al suministro de oxígeno de los mismos y puede conducir a la muerte en caso de no actuar con rapidez. La gravedad que reviste este problema es fácilmente cuantificable consultando los datos publicados por las diferentes instituciones, que indican que anualmente entre 275 000 y 700 000 personas en Europa y entre 155 000 y 400 000 en EEUU pierden la vida debido a paradas cardiorrespiratorias. Estadísticamente estas paradas ocurren con mayor frecuencia en situación extrahospitalaria y en pacientes sin antecedentes por enfermedad cardíaca.

El término *resucitación* engloba el conjunto de acciones que deben llevarse a cabo para atender adecuadamente una situación de parada cardiorrespiratoria. Con el objetivo de conseguir una uniformidad del tratamiento a nivel mundial se establecieron una serie de consejos regionales de resucitación tales como el American Heart Association (AHA) para Estados Unidos o el European Resuscitation Council (ERC) para Europa, como los responsables de establecer las pautas a seguir en caso de parada cardiorrespiratoria en sus respectivas áreas de influencia. En un nivel superior se encuentra a su vez el International Liaison Committee On Resuscitation (ILCOR), encargado de la coordinación de las acciones de los consejos regionales. Estos consejos editan cada cinco años las llamadas guías de resucitación (la última edición del año 2015), que utilizan las evidencias científicas para recoger los procedimientos adecuados a seguir en caso de parada cardiorrespiratoria (ver anexo I).



Figura 1: Cadena de supervivencia

Estas guías toman como referencia principal el concepto “cadena de supervivencia”, representado en la figura 1 y que fue propuesto a principios de los años 90. Este concepto refleja las acciones básicas a desarrollar en caso de parada y consta de cuatro pasos básicos que entran en juego en una situación crítica:

- Rápida detección: detección y aviso a los servicios de emergencia en el menor intervalo de tiempo posible desde el momento de la parada cardiorrespiratoria.
- Rápido RCP: aplicación de las compresiones y ventilaciones determinadas en las recomendaciones médicas.
- Rápida desfibrilación: en caso de ser posible, aplicar desfibrilación a la mayor brevedad.
- Rápido apoyo vital avanzado: tratamiento proporcionado por personal sanitario y que precisa material complejo.

En esta coyuntura es importante mencionar que el tiempo transcurrido entre la parada y el inicio de la RCP es determinante en la supervivencia del paciente. Esta maniobra debe ser realizada correctamente ya que de lo contrario sería ineficiente y la posibilidad de recuperación de la circulación espontánea por parte del paciente disminuiría. Dada la importancia de este ejercicio muchos han sido los estudios llevados a cabo con el objetivo de refinar el proceso. Estos han puesto de manifiesto la gran relevancia de 3 parámetros principales durante el proceso de reanimación cardiopulmonar: la distancia recorrida por el pecho o profundidad, la cantidad de veces por unidad de tiempo que se comprime y descomprime el pecho o frecuencia, y el ratio tiempo de compresión/descompresión frente al tiempo total de ciclo o duty-cycle. En base a estos parámetros y a los diferentes estudios llevados a cabo en relación a ellos, las guías de resucitación establecen unos criterios para evaluar la calidad de las compresiones:

- Frecuencia: las compresiones deben realizarse a una frecuencia de entre 100 y 120 compresiones por minuto.
- Profundidad: el pecho debe comprimirse hasta una profundidad de entre 5 y 6 cm desde el estado de reposo.
- Duty cycle: la relación entre el tiempo de compresión y el tiempo total de compresión/descompresión debe ser del 50%.
- Punto de partida: el pecho debe volver a su posición inicial entre compresiones consecutivas.
- Interrupciones: las interrupciones de las compresiones torácicas deben ser mínimas; si es posible, sólo en caso de cambio de rescatador.

## 2.2. Evolución de los parámetros de calidad

El proceso de acotado y adecuación de los valores mencionados en el apartado anterior ha supuesto un reto para investigadores y médicos. Pese a que históricamente los primeros ensayos fueron llevados a cabo sobre sujetos caninos, este proceso de adaptación se consolidó a través de diferentes pruebas realizadas sobre cerdos. El motivo de la elección de los cerdos como pacientes fue el modelo realista que éstos ofrecen en comparación con un cuerpo humano medio en términos hemodinámicos.

Los estudios comprendieron experimentos en los cuales se inducía una fibrilación ventricular (VF) en el animal, para después ejecutar las maniobras de rescate correspondientes y observar sus efectos. Estos estudios fueron generalmente invasivos, consistentes en la colocación de catéteres para la administración de medicamentos y

medición de diferentes parámetros. Coincidiendo en el tiempo con estos ensayos, se editó la primera versión de las guías de resucitación, en las cuales se definía el concepto *parámetro de calidad de las compresiones* y se le asignaban ciertos valores. Estos valores fueron variando a medida que diferentes proyectos de investigación fueron llevados a cabo.

### 2.2.1. Profundidad

El parámetro de profundidad es sin duda el más relevante en lo que a daños físicos se refiere. Diferentes estudios sobre este parámetro han concluido que una profundidad de entre 5 y 6 cm es adecuada para maximizar las probabilidades de supervivencia del paciente, sin embargo realizar las compresiones a estas profundidades puede derivar en fracturas en el esternón o costillas del paciente. A pesar de ello estos daños no suponen un peligro ya que no tienen consecuencias importantes sobre la salud del paciente, constituyendo por lo tanto un daño colateral asumible.

Los últimos estudios en relación a este parámetro han conseguido reducir estadísticamente el margen en el que se encuentra el valor óptimo de este parámetro, sin embargo la dificultad para el rescatador de ser tan preciso en relación al aumento de la probabilidad de supervivencia lleva a los editores de las guías a no considerarlos tan relevantes.

### 2.2.2. Frecuencia

En cuanto a la frecuencia a la que las compresiones deben ser realizadas, los estudios más recientes afirman que una frecuencia de entre 100 y 120 compresiones por minuto optimiza las probabilidades de supervivencia. Esto se debe a que tasas más altas derivan en profundidades más bajas, lo cual afecta directamente a la sangre bombeada mecánicamente y, por tanto, a la probabilidad de supervivencia; tasas más bajas, por otra parte, conllevan una insuficiencia de oxígeno en los órganos vitales que conduce a la muerte.

### 2.2.3. Duty cycle

Pese a que, debido a la falta de evidencias científicas que demuestren lo contrario, desde las primeras guías publicadas se ha recomendado un duty cycle de 50-50, investigaciones publicadas después de la última versión de las guías han abierto nuevas vías de investigación. Estas investigaciones sugieren que tiempos de compresión más cortos (o dicho de otra manera ratios cercanos al 40-60) pueden aumentar las probabilidades de supervivencia de los pacientes. En cualquier caso son vías recientemente abiertas en cuanto a este parámetro por lo tanto aún no pueden ser tomadas como evidencias.

### 2.2.4. Velocidad

Además de los parámetros comentados, en la actualidad se plantea la inclusión de un nuevo parámetro en las guías, y este no es otro que la velocidad de descompresión del pecho. A continuación se detalla el origen de esta sugerencia, así como la base científica sobre la que se apoya.

## 2.3. Relación profundidad-velocidad

En el año 2015 diferentes investigadores financiados por la compañía Zoll Medical Corporation llevaron a cabo un estudio retrospectivo mediante el cual trataron de certificar la relevancia de la velocidad de descompresión del pecho (CCRV o RV) durante el desarrollo de la RCP, sin embargo los resultados no fueron lo suficientemente clarificadores.

En la figura 2 podemos ver la relación entre la señal de velocidad (en la parte superior) y la de profundidad (inferior). En este caso se muestra el espacio temporal correspondiente a una compresión completa, por lo que en la señal de profundidad se contempla cómo la profundidad decrece a medida que se comprime el pecho, toma su valor mínimo cuando el rescatador deja de ejercer fuerza sobre el mismo, y vuelve a su posición original durante el tiempo de descompresión. Al mismo tiempo se observa como la señal de velocidad muestra valores nulos cuando el pecho del paciente se encuentra en reposo (inicio y fin de la compresión e instante que determina la transición compresión/descompresión), y valores máximos tanto positivo como negativo en los puntos intermedios.

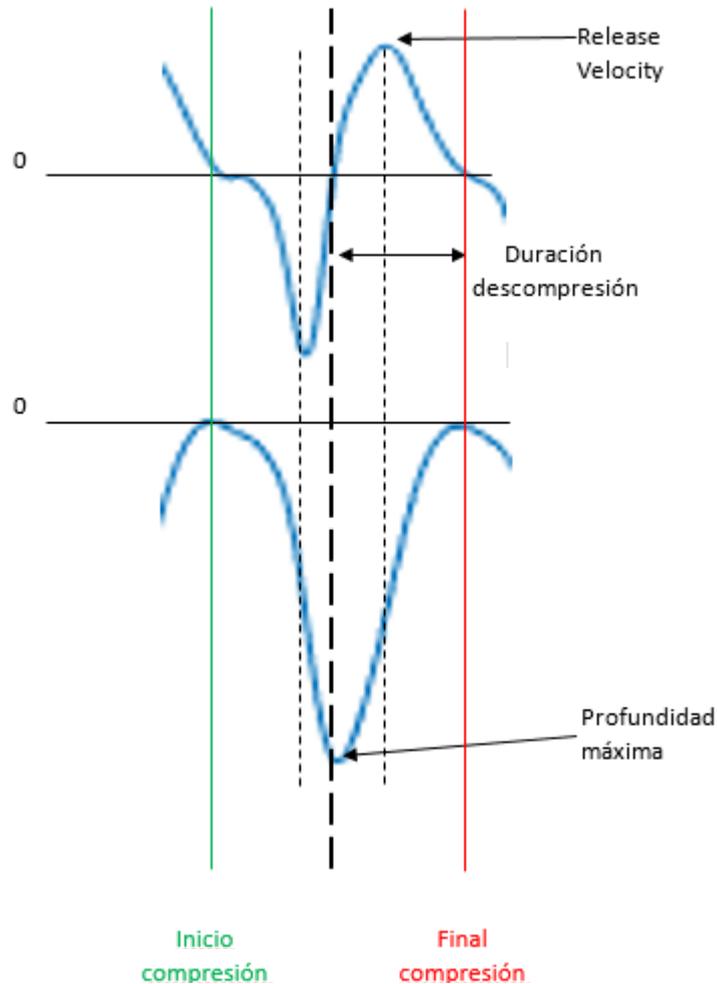


Figura 2: Señal velocidad & señal profundidad

La relevancia de éste parámetro se intuye debido a que afecta directamente al proceso mecánico que lleva a cabo el corazón, a través del cual se encarga de impulsar la sangre hasta los órganos para de ésta manera oxigenarlos y nutrirlos. En caso de parada cardiorrespiratoria este proceso no es llevado a cabo de manera automática y rítmica por el propio corazón, por lo que debe ser ejecutado manualmente por el rescatador a través de las compresiones. En este punto es donde se sugiere que, desde un punto de vista mecánico, la posibilidad de que una mayor velocidad de descompresión conlleve un mayor flujo de sangre está presente, sin embargo los trabajos realizados hasta el momento son escasos y contradictorios, ya que no muestran una correlación entre velocidades altas y casos de supervivencia del paciente.

Aun así el planteamiento de la RV como nuevo posible parámetro de calidad de las compresiones ha abierto nuevas expectativas en el campo de la resucitación cardiopulmonar. Dentro de esta coyuntura, se plantea la posibilidad de que la RV no sea un nuevo parámetro de calidad independiente, sino que exista una correlación entre éste y la profundidad de compresión. Para la demostración de esta relación se plantea la siguiente hipótesis, para la que se tomará como referencia la figura 2. En esta hipótesis se plantea el modelo poligonal de la señal de velocidad, cuya área se correspondería con el valor máximo de la profundidad de la manera que se describe a continuación.

Este modelo tomará como base la señal de velocidad mostrada primeramente, y la correspondiente a la profundidad mostrada debajo. La línea vertical de color verde indica el instante en el que se inicia la compresión y la roja, el instante en el que ésta se da por finalizada. Entre estas dos se sitúa el punto en el que la compresión es más profunda, representado por una línea vertical de color negro y mayor grosor que el resto. Las rectas verticales de menor grosor indican los puntos en los que la velocidad es máxima, y finalmente las horizontales el valor nulo para ambas señales.

En la imagen puede apreciarse que los puntos en los que la velocidad es nula coinciden con los máximos y mínimos en la señal de profundidad, así como los máximos de velocidad coinciden con los puntos intermedios entre máximos y mínimos de profundidad. Siguiendo la hipótesis anteriormente planteada, podemos deducir la siguiente ecuación:

$$K * (Dur. descompresión * RV) = Prof.$$

Esta ecuación corresponde al cálculo natural del área encerrada por un polígono. El procedimiento es alternativo al cálculo del área del polígono a través de la integral limitada de la función triangular, proceso que se corresponde con el cálculo del espacio recorrido durante las unidades de tiempo que definen la integral. Dicho de otro modo:

$$\int_0^{Dur.comp.} señal\ veloc. dt = K * (Dur. descompresión * RV) = Prof.$$

De esta ecuación podemos despejar:

$$RV = \left(\frac{1}{K}\right) * \frac{Prof.}{Dur. descomp.}$$

Según ésta última ecuación la RV podría ser deducida del cociente entre la profundidad máxima de la compresión y la duración necesaria para llevarla a cabo.

## 2.4. Definición del proyecto:

Una vez planteada la hipótesis y para responder a esta dicotomía se ha realizado un trabajo observacional retrospectivo que permita caracterizar, mediante un alto número de parámetros, todas y cada una de las compresiones realizadas en un importante número de actuaciones reales de resucitación. Para el desarrollo de este trabajo se diferenciarán dos etapas.

En la primera de las etapas se llevará a cabo un trabajo experimental en el que se identificarán las compresiones dentro de cada uno de los episodios a analizar, así como su caracterización a través de los parámetros anteriormente mencionados. En la segunda y última etapa se estudiarán las relaciones estadísticas entre los principales parámetros, buscando patrones que ayuden a identificar estas relaciones; de esta manera se obtendrán los datos necesarios para ofrecer unas conclusiones fehacientes sobre la

hipótesis planteada. Además, coyunturalmente se habilitará la base de datos utilizada en este proyecto para otros usos, ya que es un potencial recurso para soportar diferentes trabajos que puedan realizarse en el futuro.

## 3. Objetivos y alcance

---

### 3.1. Objetivo principal

En base a lo explicado anteriormente, el objetivo de este proyecto consiste en el desarrollo de un estudio retrospectivo en relación a la velocidad de descompresión torácica durante la maniobra de resucitación cardíaca. En este estudio se verifica la fiabilidad del modelo anteriormente desarrollado y se estudia su posible influencia en la probabilidad de supervivencia del paciente en caso de parada cardiorrespiratoria. De esta manera se establecen objetivos intermedios o secundarios con el fin de diferenciar etapas distintas dentro del desarrollo del trabajo.

### 3.2. Objetivos secundarios

Dentro del apartado de objetivos secundarios distinguimos cuatro apartados diferentes, identificables como cuatro fases del proyecto. A continuación se detalla cada una de ellas especificando el objetivo a conseguir.

#### 3.2.1. Identificación de registros a analizar

En primer lugar se procederá a seleccionar los registros que posteriormente se utilizarán en el análisis. En esta fase se seleccionarán una serie de registros que se consideren aptos en base a diferentes criterios con el objetivo de que la información contenida en los mismos sea útil, descartando así registros con información poco clara o que contenga errores durante la grabación y/o procesado de la misma. De este modo evitaremos problemas futuros debido a datos incorrectos o señales inadecuadas.

#### 3.2.2. Desarrollo de herramienta de edición

En segundo lugar se llevará a cabo el desarrollo de la herramienta de edición, a través de la cual se acondicionarán las señales extraídas de los registros seleccionados y se prepararán los datos para su posterior análisis. Esta herramienta combina técnicas automáticas y manuales, posibilitando de esta manera que el usuario tenga un control absoluto sobre las tareas llevadas a cabo.

La herramienta desarrollará un trabajo automático en el que procesará las señales en base a una serie de parámetros previamente establecidos. De esta manera se eliminarán grandes fuentes de error y se facilitará el procesamiento manual que el usuario tendrá que llevar a cabo.

Una vez ejecutado el trabajo automático, el usuario tendrá la posibilidad de realizar un trabajo de edición manual añadiendo o eliminando información sobre el trabajo realizado automáticamente. Esta edición permitirá realizar una selección de datos más precisa que derivará en resultados finales más fiables.

### 3.2.3. Generación de base de datos

Más tarde, de la edición de datos llevada a cabo en el punto anterior se extraerá una base de datos relativos a dicho registro. Esta base de datos almacenará la información necesaria para caracterizar las compresiones presentes en cada uno de los registros seleccionados inicialmente. Esta base de datos no sólo servirá para realizar el análisis estadístico de los datos, sino también para su posterior uso en diferentes proyectos que requieran de una base de datos de estas características.

### 3.2.4. Análisis

Finalmente se llevará a cabo un análisis de los datos obtenidos en etapas anteriores, utilizando para ello diferentes herramientas desarrolladas explícitamente para este fin. Los diferentes puntos de vista desde el que se analizarán los resultados permitirán asimismo dimensionar las conclusiones de una manera efectiva. Este análisis permitirá extraer las conclusiones pertinentes acerca del estudio y abrir nuevas vías de investigación referentes a la relevancia de la señal de velocidad.

## 4. Beneficios

---

La parada cardiorrespiratoria es hoy en día una de las mayores causas de mortalidad a nivel mundial, de modo que existe la necesidad de llevar a cabo investigaciones que promuevan el desarrollo de nuevas herramientas para rebajar esas cifras. A continuación analizaremos los beneficios de este proyecto en las tres categorías principales evaluadas en los proyectos y que determinan en gran parte el éxito y utilidad de los mismos.

### 4.1. Beneficios técnicos

Sin lugar a dudas el objeto de este trabajo es puramente técnico, ya que su objetivo es proporcionar una base científica para futuros trabajos en un campo muy concreto. De este modo se dará continuidad a una línea de investigación en la que aún quedan muchas variantes por estudiar, lo cual sin duda es un gran beneficio para este ámbito de la ingeniería.

Recordemos que el objetivo de este proyecto es realizar un análisis en relación al parámetro que define la velocidad de descompresión del pecho en la ejecución de las compresiones llevadas a cabo durante la RCP, estableciendo así su relación con la frecuencia y la profundidad, estudiadas hasta el momento. Debido a la escasez de investigaciones llevadas a cabo hasta la fecha este trabajo supone la generación de un cimiento sobre el que trabajar para la comunidad científica, así como un punto de partida para futuros trabajos a desarrollar en el propio GSC.

Del mismo modo durante el desarrollo del trabajo se generarán una serie de recursos y herramientas técnicas que podrán ser usados por el GSC en futuros proyectos. Estos recursos son principalmente dos. Por un lado la base de datos en la que se almacenarán los datos de las compresiones útiles, sobre la que se podrán realizar análisis sin necesidad de realizar un procesado previo. Por otro, las herramientas informáticas desarrolladas facilitarán la edición y análisis de bases de registros usadas en estudios futuros.

Así, pese a que también se aportan una serie de beneficios sociales y económicos, el objeto principal de este trabajo es técnico.

### 4.2. Beneficios sociales

Pese a que el objetivo principal es técnico, lo que esta y otras líneas de investigación buscan es ofrecer una mejora en la sociedad, en este caso en términos de tasas de supervivencia. Como se ha indicado en la introducción las muertes por parada cardiorrespiratoria suponen una de las mayores causas de mortalidad a nivel mundial, por lo tanto todo avance que se consiga realizar en este ámbito sin duda se traduce en una gran cantidad de vidas.

Pese a que este estudio no incide directamente en aplicaciones prácticas, si abre las puertas a futuras aplicaciones que contribuyan a aumentar las probabilidades de supervivencia de las personas que sufran un episodio de parada cardiorrespiratoria. De este modo, y pese a no ser el objetivo natural de este proyecto, su contribución social es evidente y sin duda es importante tenerla en cuenta.

### 4.3. Beneficios económicos

En último lugar se presentan los beneficios económicos del proyecto. En este caso, por ser un proyecto de investigación no se contemplan beneficios económicos directos, ya que no es el objetivo y no se ha orientado el trabajo a conseguirlos. Conceptualmente se plantea la posibilidad de obtener beneficios económicos de manera indirecta, pudiendo obtener financiación futura para otros proyectos en base a los logros alcanzados con este trabajo, como pudieran ser publicaciones en revistas o contribuciones a otros trabajos.

## 5. Estado del arte

---

En el apartado de introducción se ha hecho un resumen de la evolución de los parámetros relevantes durante el desarrollo de la resucitación cardiopulmonar. Dado el marcado carácter investigador de este proyecto, en este apartado se detalla esta evolución, así como el estado actual de las investigaciones.

### 5.1. Evolución de las guías de resucitación

Como se ha mencionado anteriormente, la primera edición de las guías de resucitación cardiopulmonar se publicó en el año 2000. Esta acción se llevó a cabo con el objetivo de estandarizar un proceso ejecutable por rescatadores ante pacientes en situación de parada cardiorrespiratoria, en base a los trabajos llevadas a cabo por diferentes grupos de investigación<sup>1</sup>. Como se indica textualmente en este documento, se consensua “crear unas guías de resucitación internacionales válidas y ampliamente aceptadas basadas en evidencias científicas internacionales y producidas por expertos internacionales en resucitación”. Ya en estos inicios se acuñó el término “cadena de supervivencia”, concepto referente desde entonces como ejemplo a seguir en caso de parada cardiorrespiratoria.

A lo largo de los siguientes años y tomando como referencia dicho documento, se desarrollaron muchos y diferentes caminos dentro del ámbito de la resucitación cardiopulmonar, dando lugar de esta manera a avances significativos. Estos avances se reflejaron en las guías publicadas cinco años más tarde<sup>2</sup>, las cuales hicieron hincapié en dos aspectos principales del proceso. Por una parte se incluyeron pautas a seguir en caso de disponer de un desfibrilador tanto automático como manual, ya que la aparición de estos dispositivos en el mercado generó la necesidad de conocer su funcionamiento. Por otro lado se desarrolló la teoría que incidía en reducir el número de ventilaciones suministradas al paciente, enfatizando de esta manera la importancia de las compresiones.

La aparición de los desfibriladores externos automáticos (DEA) así como de los monitores desfibriladores (MD) sin duda abrió un nuevo campo en el mundo de la investigación. Muchos proyectos centraron sus esfuerzos en desarrollar rápida y efectivamente protocolos de uso de estos aparatos, para su utilización tanto por el propio rescatador (entrenado y no entrenado) como a través de contacto telefónico. Del mismo modo, la propia aparición de estos dispositivos generó una serie de problemas técnicos sobre los que aún se sigue trabajando. Estos avances fueron recogidos en la siguiente edición de las guías de resucitación, publicada en el año 2010<sup>3</sup> y cuyo fin, además de los mencionados, fue actualizar los procesos de resucitación cardiopulmonar e informar de los avances realizados en el campo hasta la fecha.

A partir de entonces los esfuerzos se centraron principalmente en mejorar la calidad de las compresiones proporcionadas durante el episodio de parada cardiorrespiratoria. Esta mejoría no sólo incumbe a la optimización de los valores de los parámetros que forman parte de las compresiones, sino también a los protocolos a desarrollar por los rescatadores tanto en el propio terreno como a distancia. Dichos avances derivaron en la última de las ediciones de las guías, publicada en el año 2015<sup>4</sup>, suponiendo de este modo la última de las referencias editadas oficialmente por el ERC.

Como hemos dicho, uno de los pilares fundamentales sobre los que se apoya el proceso de reanimación cardiopulmonar es sin duda la calidad del mismo. Esta calidad se define a través de tres parámetros principales cuyos valores óptimos han sido

discutidos durante años, ya que estos determinan en gran medida la probabilidad de supervivencia. Los parámetros de los que hablamos son la profundidad, frecuencia y duty cycle. Sin embargo, en los últimos años se ha sugerido la posibilidad de que la velocidad con la que el pecho se descomprime pueda constituir un nuevo parámetro de calidad. A continuación se analiza el desarrollo de estos parámetros desde sus inicios, así como las nuevas hipótesis en referencia a este nuevo parámetro que es la velocidad.

## 5.2. Evolución de cada uno de los parámetros

Han sido muchas las investigaciones en las que se han analizado los parámetros de calidad de las compresiones, tratando de obtener valores que maximicen las probabilidades de supervivencia de los pacientes, sin embargo los resultados aún varían en función de muchos otros parámetros anatómicos. Debido a la relativa independencia que estos parámetros guardan entre ellos, analizaremos su evolución por separado.

### 5.2.1. Profundidad

La profundidad se define como la distancia recorrida por el pecho durante un ciclo de compresión. El valor óptimo de esta distancia ha ido evolucionando hasta situarse en los 50 mm que determinan hoy en día las guías de resucitación, sin embargo ha ido variando desde los primeros estudios realizados en la década de los 80 hasta hoy.

Los primeros estudios aunaron los avances en el campo de la medicina y de la bioingeniería. De este modo se llevaron a cabo experimentos en modelos caninos consistentes en la inducción de una VF sobre los mismos y la observación de los efectos sobre ellos<sup>5</sup>. A raíz de los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta que el uso de ejemplares porcinos suponía un modelo más cercano a la realidad del cuerpo humano, los siguientes estudios se realizaron utilizando cerdos<sup>6, 7</sup>. Estos estudios desembocaron en la necesidad de establecer unos valores estándar, necesarios para evaluar la calidad del proceso de reanimación cardiopulmonar. De este modo en el año 2007, y mediante un trabajo conjunto a nivel internacional, se realizó un estudio en el que se llevó a cabo el establecimiento de tales valores<sup>8</sup>. En dicho estudio se sugería que para ejecutar una RCP de calidad la profundidad de las compresiones debía situarse por debajo de los 38mm.

Desde ese momento y hasta el momento de la publicación de la siguiente edición de las guías, se desarrollaron otros trabajos retrospectivos que obtuvieron diferentes resultados<sup>9, 10</sup>. Estos estudios convergieron en las guías del año 2010<sup>3</sup>, en las que se indicaba que el valor óptimo de la profundidad debía ascender desde los 38 a los 50 mm, asumiendo aun así que los datos sobre los que recaía esta afirmación eran limitados por la falta de información sobre casos humanos. Estudios posteriores no pudieron confirmar ni desmentir la veracidad de este valor<sup>11, 12</sup>, ya que aunque sí que se observaba una relación directa entre la profundidad y las probabilidades de supervivencia, los datos no eran suficientemente sólidos.

A pesar de esta incertidumbre, diferentes autores siguieron realizando investigaciones en referencia a este parámetro, llegando finalmente a un consenso en el que su valor sí quedaba oficialmente acotado. Estos estudios revelaron que en base a los datos almacenados en diferentes episodios de parada cardiorrespiratoria, la profundidad óptima se sitúa entre los 40 y los 55 mm, ofreciendo un pico de correlación entre profundidad y supervivencia ubicado entre los 45.6 y los 51 mm<sup>13, 14</sup>.

De este modo llegamos a las guías de resucitación publicadas en el año 2015<sup>4</sup>, en las cuales se sugiere que la profundidad de compresión óptima se sitúa entre los 4.5 y los 5.5 cm, acotando de esta manera en gran medida el margen en el que se consideran las

compresiones como compresiones de alta calidad. En todo caso, debido a la falta de evidencias sobre esta afirmación se establece que las compresiones deben realizarse a una profundidad de entre 5 y 6 cm.

### 5.2.2. Frecuencia

Paralelamente al desarrollo de las investigaciones respecto a la profundidad, diversos estudios avanzaron también en el establecimiento de un valor adecuado para la frecuencia a la que se deben realizar las compresiones. Tras muchos debates en cuanto a este valor, las primeras investigaciones realizadas sobre sujetos caninos datan de la década de los 80<sup>15, 16</sup>. Dichas investigaciones tomaron como referencia las guías de resucitación publicadas por la AHA<sup>17</sup> en las que se especificaba que las compresiones debían realizarse a una frecuencia de entre 80 y 100 compresiones por minuto, aumentándose así este valor desde el intervalo 40-60 establecido anteriormente.

En estos casos se testearon diferentes frecuencias desde las 60 hasta las 120 compresiones por minuto, siendo éstas últimas las que provocaron mejores resultados hemodinámicos en los pacientes. Durante los siguientes años otros estudios fueron acotando este intervalo, quedando finalmente fijado entre las 100 y las 120 compresiones por minuto<sup>18,19</sup>. El hecho de que estos últimos trabajos fueran realizados sobre sujetos humanos sin duda los dotaron de gran fiabilidad, característica que se vio reflejada en las guías de los años posteriores. De hecho, y a pesar de que se continuó trabajando en este parámetro, los valores no han sufrido cambios significativos en el siglo XXI, tomándose los mismos como referencia para trabajos sobre otros parámetros o sobre la definición de “CPR de calidad”<sup>20, 21</sup>.

A pesar de ello diferentes grupos han continuado investigando alrededor de este parámetro buscando la relación entre la frecuencia a la que se aplican las compresiones y los resultados obtenidos. De este modo se llegó a la conclusión de que la frecuencia no estaba directamente relacionada con las probabilidades de supervivencia<sup>22</sup>, ya que a partir de las 125 compresiones por minuto, la probabilidad de supervivencia tendía a decrecer. Alrededor de esta incertidumbre acerca de la relación entre la frecuencia y la tasa de supervivencia también se llevaron a cabo otros estudios que, si bien no pudieron determinar esta relación, si corroboraron la teoría que ubica el valor óptimo del parámetro entre 100 y 120 compresiones por minuto<sup>23</sup>.

Tras este desarrollo, las guías de resucitación publicadas recientemente indican que, en base a los estudios publicados, la frecuencia más adecuada se sitúa entre las 100 y las 120 compresiones por minuto, siendo este el intervalo en el que la tasa de supervivencia es mayor.

### 5.2.3. Duty cycle

El último de los parámetros clásicos es el denominado duty cycle, el cual nos indica la proporción temporal durante la que se realiza la compresión/descompresión en relación al tiempo total del ciclo. A pesar de que aún no existen evidencias científicas, las investigaciones más recientes indican que el valor óptimo para este parámetro es de 50-50, aunque no siempre ha sido así. Los primeros trabajos realizados sobre cerdos indicaron que relaciones en las que el tiempo de compresión era más corto (30-70) generaban mejores respuestas hemodinámicas que el clásico 50-50<sup>24</sup>. Otros trabajos, sin embargo, sugerían que una relación de 70-30 provocaba una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> expirado<sup>25</sup>, lo cual influía directamente en la probabilidad de supervivencia del paciente.

Debido a la contrariedad de estos trabajos y teniendo en cuenta que no eran aplicables a humanos ya que habían sido llevados a cabo con animales, se aplicaron

nuevas técnicas a modelos válidos del sistema circulatorio humano en trabajos innovadores. Estos estudios determinaron que tanto la fase de compresión como la de descompresión era importante<sup>26</sup>, predominando ligeramente la relación 40-60; a pesar de ello las evidencias no resultaron concluyentes.

Recientemente se han llevado a cabo otros trabajos basados en modelos humanos sin llegar a conclusiones determinantes. Sin embargo si se han revelado relaciones entre ciclos de compresión más cortos y profundidades de compresión mayores<sup>27</sup>, abriéndose de este modo nuevas vías de investigación en relación a este parámetro<sup>28</sup>.

Hasta el año 2015 estos tres han sido los parámetros principalmente estudiados por su independencia en la caracterización de las compresiones. Como nueva vía de investigación, en este año se propuso un nuevo parámetro: la velocidad de descompresión o CCRV.

### 5.3. Estado de las investigaciones relativas al parámetro velocidad

En el año 2015, la compañía Zoll Medical Corporation en colaboración con la Universidad de Arizona, la Universidad de Osaka y diferentes clínicas, publicó un artículo en el que se sugería que la CCRV podía constituir un parámetro independiente a los ya existentes<sup>29</sup>. En este trabajo se analizaron diferentes situaciones de parada cardiorrespiratoria, llegando a la conclusión de que valores de CCRV cercanos a 400 mm/s desembocaban en mayores tasas de supervivencia frente a casos en los que la CCRV se situaba por debajo de los 300 mm/s. Para ello se analizaron datos provenientes de diferentes clínicas ubicadas en diferentes ubicaciones geográficas de sujetos de distintas características físicas con el fin de obtener un resultado homogéneo.

Este trabajo, sin embargo, no garantizaba la independencia de la CCRV frente a los parámetros clásicos de evaluación de la calidad del CPR, dejando la puerta abierta a futuras investigaciones alrededor de este parámetro para la verificación de esta teoría. Además, la teoría que indica que la mayor probabilidad de supervivencia se corresponde con valores de CCRV más altos queda en entredicho por los pocos valores disponibles.

Es aquí donde este trabajo recoge el testigo, realizando un análisis observacional que permita avanzar en el estudio de la CCRV y determinar su independencia del resto de variables involucradas en las compresiones torácicas. Para este fin se caracterizará un alto número de compresiones procedentes de diferentes actuaciones reales de resucitación y se extraerán parámetros estadísticos que ayuden a extraer conclusiones fiables sobre la teoría presentada.

## 6. Análisis de alternativas

---

Durante el desarrollo de este trabajo ha sido necesaria la elección entre varias alternativas en diferentes aspectos que, con mayor o menor importancia, definen el desarrollo del mismo. En este apartado se analizan las situaciones en las que se ha llevado a cabo este análisis y los motivos por los que se ha optado por una de las alternativas.

### 6.1. Lenguaje de programación

Tanto en la etapa experimental como en la observacional ha sido necesario el desarrollo de plataformas software. En el caso de la etapa experimental se desarrolla una interfaz a través de la cual se proporciona al usuario la capacidad de interactuar con un software para la modificación de una serie de parámetros. En el caso de la parte observacional se han representado gráficamente una serie de datos con el objetivo de extraer conclusiones en base a ellos, así como obtener una interpretación gráfica.

Teniendo en cuenta estos factores se proponen los siguientes lenguajes de programación como alternativas para el desarrollo de las tareas mencionadas: MATLAB, Octave y C#. A continuación se detallan las características de cada una de las alternativas, se establecen parámetros de evaluación y se puntúa cada uno de ellos.

#### 6.1.1. Alternativas

##### MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory) se define como una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). El hecho de ser un lenguaje interpretado conlleva una mayor facilidad de programación al usuario (principalmente al usuario menos formado) aunque esto conlleva un sacrificio de la velocidad de ejecución en comparación con los lenguajes compilados.

La característica principal de MATLAB es que se basa por completo en la operación de matrices.<sup>30</sup> Teniendo en cuenta esta característica y la estructura de la base de datos sobre la que vamos a trabajar sin duda debemos tener muy en cuenta esta alternativa, ya que se ajusta completamente a nuestras necesidades.

Además de sus características, MATLAB cuenta con una gran cantidad de complementos o toolboxes de gran ayuda para la realización de tareas en campos concretos, ya que cuentan con funciones y aplicaciones predefinidas específicas. Por otra parte la amplia documentación existente, así como la correspondiente guía de ayuda al usuario, facilita su uso dando solución a la gran mayoría de dudas o problemas que puedan surgir al usuario durante su uso. Además de esto, y lo que es más importante, existe una gran comunidad de usuarios de MATLAB a lo largo y ancho del mundo, lo cual supone un soporte ilimitado en foros oficiales y extraoficiales como apoyo además del proporcionado en los manuales<sup>31</sup>.

Finalmente cabe mencionar el hecho de que MATLAB proporciona herramientas muy útiles a la hora de desarrollar interfaces gráficas de usuario o GUI muy útiles para el desarrollo de nuestro trabajo, más aún teniendo en cuenta la experiencia previa de los implicados en este proyecto con dichas herramientas.

En el otro lado de la balanza podemos situar el aspecto económico, ya que la licencia estándar básica de MATLAB asciende a 2000€. Teniendo en cuenta que el precio

de cada toolbox es de unos 1000€ y que en cada proyecto pueden usarse más de un toolbox, el precio total de MATLAB puede acercarse a los 5000€, algo sin duda a tener en cuenta<sup>32</sup>.

### Octave

Octave se plantea como la alternativa natural a MATLAB gratuita y de código abierto<sup>33</sup>. Pese a tener un lenguaje propio (también interpretado) posee fundamentalmente las mismas características que el lenguaje M, sin embargo ofrece menos posibilidades a nivel técnico en comparación con MATLAB<sup>34</sup>.

La principal y más evidente diferencia es la ausencia de una interfaz gráfica que obliga a programar Octave a través de consola. Esta desventaja se encuentra en vías de solución gracias a la interfaz que GNU está desarrollando, sin embargo la situación embrionaria de la misma no garantiza una correcta experiencia. Esto, unido a la falta de herramientas para el desarrollo de GUI de Octave dificulta la realización de este trabajo.

Finalmente es importante mencionar la menor disponibilidad de toolboxes de Octave, así como su menor funcionalidad en comparación con las ofrecidas por MATLAB. Todo esto deriva en una menor tasa de utilización de esta plataforma a nivel mundial, lo que conlleva una menor comunidad de usuarios que pueda ofrecer soporte técnico.

### C#

Finalmente se plantea la posibilidad de utilizar el conocido lenguaje C de programación. Este es un lenguaje de programación orientado a la implementación de sistemas operativos y se considera uno de los más utilizados en software de sistemas y en desarrollo de aplicaciones. Este lenguaje, al ser un lenguaje compilado, es más eficiente que los utilizados en MATLAB u Octave, pero no ofrece la facilidad de los mismos a la hora de trabajar con matrices de datos y consecuentemente, es más complicado trabajar con bases de datos extensas.

La principal ventaja de este lenguaje reside en su flexibilidad, la cual permite programar en diferentes modos y plataformas. Además, el hecho de que no sea necesaria una plataforma software para ejecutar el código permite la opción de programar de forma gratuita. Sin embargo no es un lenguaje intuitivo por lo que su comprensión por parte de una persona no formada en el ámbito de la programación puede resultar complicada.

También es importante mencionar que a pesar de contener una gran variedad de librerías, éstas no ofrecen las funcionalidades ni opciones que sí ofrecen MATLAB y Octave, por lo que implica una mayor inversión temporal.

## 6.1.2. Criterio de selección

### Sencillez

Sencillez en la programación y en la navegación

**Peso:** 3/10

### Desarrollo de algoritmos

Facilidad y efectividad en el desarrollo y edición de algoritmos.

**Peso:** 2/10

### Organización y visualización de datos

Sencillez e intuitividad en la organización y visualización de datos en pantalla.

**Peso:** 3/10

Efectividad

Efectividad del software en la ejecución del código.

**Peso:** 2/10

Precio

Precio del conjunto de productos necesarios para el desarrollo del código.

**Peso:** 1/10

El criterio de selección y las puntuaciones asignadas se resumen en la siguiente tabla:

CRITERIO	PESO	MATLAB	Octave	C#
<b>Sencillez</b>	2/10	2/10	1/10	1/10
<b>Desarrollo de algoritmos</b>	2/10	2/10	1.5/10	0.5/10
<b>Organización y visualización de datos</b>	3/10	3/10	2.5/10	1.5/10
<b>Efectividad</b>	2/10	1.5/10	1.5/10	2/10
<b>Precio</b>	1/10	0.3/10	1/10	1/10
<b>TOTAL</b>	10/10	<b>8.8/10</b>	7.5/10	6/10

*Tabla 1: Criterios de selección de lenguaje de programación*

A pesar del elevado precio de MATLAB, las ventajas técnicas que supone su utilización en este proyecto lo colocan un escalón por encima de las otras opciones. Por lo tanto, y en base a los criterios de selección establecidos, se usará MATLAB como herramienta de programación.

## 6.2. Bases de registros disponibles: criterio básico, señales de aceleración y profundidad

En la realización de este trabajo ha sido necesaria la adquisición de una base de registros desde la que extraer los datos referentes a los parámetros de aceleración y profundidad. Debido a la confidencialidad y escasez de estos datos no se han estudiado alternativas sino que se ha optado por la selección de una base que cumpliera con los siguientes requisitos técnicos.

El primer requisito hace referencia a la cantidad de registros disponibles en la base. Teniendo en cuenta la magnitud del estudio y la experiencia previa se determinó un mínimo de 100 registros disponibles, ya que se consideró que éste es un número suficientemente elevado como para dotar al estudio de la fiabilidad y consistencia exigidas.

El segundo requisito determina el número mínimo de compresiones presentes en cada uno de los registros de la base. Se determina que el número mínimo de compresiones identificadas en cada uno de los registros debe ser de 1000, quedando todo registro que presente un número menor de compresiones automáticamente descartado. De este modo se garantiza no sólo un elevado número de compresiones totales disponibles para el análisis, sino también la consistencia y fiabilidad de los registros. Esta fiabilidad está asociada al hecho de que registros largos sin un número elevado de

compresiones pueden corresponderse con episodios de resucitación con datos irrelevantes o cuya grabación fue deficiente.

El tercer y último requisito se dirige al contenido de dichos registros. Teniendo en cuenta que las señales a analizar son profundidad, aceleración y velocidad, se exige que todos los registros cuenten con información referente a la profundidad y la aceleración, así como sus correspondientes frecuencias de muestreo. De este modo se obtiene la posibilidad de obtener la señal de velocidad tanto por medio de la derivación de la señal de profundidad como de la integración de la señal de aceleración. Adicionalmente se obtienen señales como la cantidad de CO<sub>2</sub> expirado o la fuerza ejercida por el rescatador que en este estudio se consideran irrelevantes.

Teniendo en cuenta los requisitos explicados, se opta por una base de registros grabada entre 2010 y 2016 por un equipo especializado de rescate denominado TVF&R en colaboración con la Universidad de Ciencias y Salud de Oregón. Los datos fueron captados a través de un monitor desfibrilador modelo HeartStart MRx de la marca Phillips Medical System, y recogen la información de 204 episodios de los cuales se han seleccionado 102 que contenían al menos 1000 compresiones y las señales de aceleración y profundidad.

### 6.3. Selección de tramos a eliminar

Finalmente será necesario establecer un sistema de identificación de compresiones. Esta elección definirá la metodología a seguir en los siguientes pasos del trabajo, ya que definirá las características de los datos obtenidos tras el primer filtrado manual. En este punto se presentan dos alternativas posibles.

#### 6.3.1. Alternativas

##### Identificación por tiempos

En primer lugar se presenta la alternativa de identificación por tiempos. Esta opción determina que los tramos útiles para el análisis se seleccionarán en función del instante de inicio y de fin de tramo. De este modo el usuario puede escoger exactamente en qué instante quiere ubicar el punto de inicio y de fin de tramo, lo cual sin duda es un gran aliciente.

Sin embargo esta es también su gran debilidad ya que implica un post-procesado con el objetivo de identificar las compresiones que se encuentran dentro de ese tramo, además de los conflictos que pueden generar ciertos instantes temporales. Estos inconvenientes derivan en un tiempo total de actuación mayor, restando eficacia al proceso y generando fuentes de error no asumibles.

##### Identificación por compresiones

En segundo lugar se presenta la alternativa de identificación por compresiones. Esta segunda alternativa consiste en procesar automáticamente el registro completo desde un inicio identificando todas las compresiones para después eliminar las no útiles. De este modo se atribuye a cada una de las compresiones identificadas una serie de parámetros que permitirán identificarlas unívocamente.

La gran ventaja de este método reside en que el procesado necesario para identificar las compresiones presentes en un registro se lleva a cabo una única vez, optimizando el proceso. Otra de las ventajas es que se elimina la posibilidad de que existan conflictos a la hora de indicar instantes temporales iniciales y/o finales, lo cual facilita el trabajo. Además resulta ser un método mediante el cual la futura utilización de

los datos obtenidos en este trabajo se facilita en gran medida, debido a la estructuración de los mismos.

En cuanto a los inconvenientes cabe destacar el hecho de que durante la identificación automática de las compresiones pueden surgir inconvenientes en función de la forma de onda, por lo que requiere un mayor esfuerzo en esa parte del trabajo; este inconveniente será analizado en profundidad más adelante. Por otra parte, requiere de una planificación exhaustiva de manera que los parámetros escogidos se adecuen a los objetivos perseguidos.

### 6.3.2. Criterio de selección

#### Preprocesado

Procesado para el cálculo de parámetros referentes a las compresiones.

**Peso:** 1/10

#### Precisión

Precisión en la selección de datos y en los parámetros complementarios.

**Peso:** 1/10

#### Robustez

Resistencia del proceso ante conflictos temporales y/o durante el procesado.

**Peso:** 2/10

#### Escalabilidad

Facilidad de uso de los datos extraídos en futuros trabajos o ampliaciones.

**Peso:** 4/10

#### Inversión temporal

Cantidad de tiempo requerido para una correcta estructuración del proceso.

**Peso:** 2/10

CRITERIO	PESO	Por tiempo	Por compresiones
<b>Preprocesado</b>	1/10	5/10	5/10
<b>Precisión</b>	1/10	9/10	7/10
<b>Robustez</b>	2/10	2/10	8/10
<b>Escalabilidad</b>	4/10	3/10	8/10
<b>Inversión temporal</b>	2/10	8/10	6/10
<b>TOTAL</b>	<b>10/10</b>	<b>4.6/10</b>	<b>7.2/10</b>

*Tabla 2: Criterios de selección de tramos a eliminar*

En función de los criterios de selección establecidos se determina que la alternativa adecuada es consistente en la selección de tramos por compresiones, ya que garantiza una facilidad de escalabilidad y una robustez, principalmente, que la identificación por tiempo no puede ofrecer.

## 7. Análisis de riesgos

---

En todo trabajo surgen imprevistos que afectan en mayor o menor medida al desarrollo natural del mismo. A continuación se detallan los posibles riesgos a tener en cuenta, resaltando los más relevantes tanto a nivel temporal como económico, y estableciendo un plan de contingencias para cada uno de ellos.

### 7.1. Retrasos

En todo proyecto los retrasos a la hora de realizar entregas parciales o totales sin duda afecta al desarrollo del mismo, ya que tanto a nivel anímico como a nivel económico puede llegar a suponer un gran contratiempo si no se mantiene bajo control. Por las características temporales de este trabajo, los retrasos no suponen un gran contratiempo ya que se parte con un margen suficiente para que estos sean amortiguados, a pesar de que las probabilidades de que esto ocurra son muy elevadas.

**Probabilidad:** 0.9

**Impacto:** 0.05

Plan de contingencia

Debido al poco impacto de este riesgo se asume que su relevancia en el desarrollo del trabajo no va a ser importante, por lo que se establece como plan de contingencia el control y seguimiento de los plazos garantizando el cumplimiento de los plazos incluso con leves desviaciones.

### 7.2. Elección de alternativa incorrecta

En segundo lugar es importante contar con errores en la toma de decisiones sobre las alternativas previamente propuestas. El hecho de cometer estos errores afectará única y exclusivamente en términos temporales, ya que debido a que la inversión económica en material no es elevada en este trabajo, no existe la posibilidad de que afecten en materia económica. Este factor de riesgo está estrechamente ligado al anterior en tanto en cuanto su repercusión afecta en la misma medida, por lo que el plan de contingencias contemplará los mismos aspectos.

En cuanto a probabilidad de ocurrencia e impacto, se considera que es factible la posibilidad de errar en alguna de las elecciones, sin embargo su impacto no deja de ser temporal, cuestión a la que este trabajo puede hacer frente sin mayor problema.

**Probabilidad:** 0.5

**Impacto:** 0.1

Plan de contingencia

Del mismo modo que en el caso anterior, y tratando siempre de escoger la alternativa adecuada, se plantea como plan de contingencia realizar un seguimiento de las elecciones realizadas con el objetivo de subsanar los posibles errores cometidos en un corto plazo de tiempo.

### 7.3. Costes imprevistos

En todo proyecto debe contemplarse como factor de riesgo la posibilidad de recibir influencias económicas que condicionen su desarrollo, y este no es una excepción. Sin embargo debemos tener en cuenta que la dependencia económica de este trabajo no es elevada, y que por tanto este factor de riesgo reduce su relevancia drásticamente. Dicho esto, el grupo de trabajo cuenta con una financiación estable que no garantiza pero asegura en gran medida el correcto desarrollo del trabajo, por lo que se establecen unos valores de probabilidad e impacto reducidos.

**Probabilidad:** 0.1

**Impacto:** 0.1

#### Plan de contingencia

En este caso, y teniendo en cuenta que pese a la probabilidad de ocurrencia el impacto no será elevado, se establece como plan de contingencia solicitar financiación externa al grupo de investigación para la finalización del proyecto, tanto de manera pública mediante subvenciones estatales, autonómicas o institucionales, como de manera privada a patrocinadores.

### 7.4. Indisposición de participantes en el proyecto

Otro de los factores de riesgo es la posible indisposición de alguno de los integrantes del equipo de trabajo por diferentes motivos. Debido a la extensión temporal del trabajo se considera probable que esto ocurra, por lo que será un riesgo a tener en cuenta. Sin embargo, al igual que en algunos de los factores de riesgo anteriormente presentados, ocurre que las consecuencias no son relevantes a menos que la ausencia de alguno de los participantes sea de muy larga duración. Incluso en este caso, el mero hecho de que el equipo esté compuesto por 3 personas amortiguaría su relevancia. En lo referente al aspecto económico nos encontramos en el mismo caso que en el apartado anterior, ya que el impacto económico no sería mayor.

**Probabilidad:** 0.7

**Impacto:** 0.2

#### Plan de contingencia

En caso de darse el caso de indisposición prolongada de uno de los integrantes del equipo, se plantea como plan de contingencia la asunción de responsabilidades por parte del resto de miembros.

### 7.5. Interferencias de otros proyectos

Por el mero hecho de tratarse de un trabajo desarrollado dentro de un grupo de investigación, es comprensible que el desarrollo del mismo sea paralelo a otros trabajos. Esto puede derivar en interferencias mutuas tales como presión por el cumplimiento de plazos de alguno de ellos, mayor relevancia, influencia directa por necesidades mutuas, etc. Como hemos dicho es probable que esto ocurra, y la influencia puede ser importante si no se gestiona adecuadamente.

**Probabilidad:** 0.5

**Impacto:** 0.4

### Plan de contingencia

Teniendo en cuenta las características de este factor de riesgo, se establece el siguiente plan de contingencia: se dará prioridad al trabajo cuyo plazo de entrega sea más exigente rebajando el nivel de exigencia del resto, aunque en ningún caso se apartará ninguno de los trabajos.

## 7.6. Resultados inesperados

En último lugar pero no menos importante contemplamos la posibilidad de que los resultados obtenidos en el trabajo no sean los esperados en un principio. En un trabajo como este la obtención de resultados inesperados puede constituir una ventaja en caso de que revele datos no contemplados previamente, pero también puede significar el fracaso del trabajo como medio para la obtención de conclusiones novedosas. En base a lo mencionado, establecemos una probabilidad de ocurrencia baja, pero suficiente como para ser tenida en cuenta, ya que su impacto es alto en comparación con el resto de factores de riesgo planteados.

**Probabilidad:** 0.3

**Impacto:** 0.8

### Plan de contingencia

En este caso no es posible establecer un plan de contingencia como tal ya que este es un factor de riesgo que afecta directamente a la conclusión del trabajo. Siendo este un trabajo de investigación, el riesgo de obtener resultados no planificados es intrínseco y va estrechamente ligado al éxito o fracaso del mismo, por tanto en caso de ocurrencia se asumirán las consecuencias.

## 7.7. Resumen de riesgos

En resumen, los factores de riesgo asumidos en el desarrollo del trabajo son los siguientes:

1. Retrasos
2. Elección de alternativas incorrecta
3. Costes imprevistos
4. Indisposición de participantes en el proyecto
5. Interferencias de otros proyectos
6. Resultados inesperados

<b>PROBABILIDAD</b>	Casi seguro (0,9)	<b>1</b>				
	Probable (0,7)			<b>4</b>		
	Posible (0,5)		<b>2</b>		<b>5</b>	
	Difícilmente (0,3)					<b>6</b>
	Raramente (0,1)		<b>3</b>			
		Muy bajo (0,05)	Bajo (0,1)	Moderado (0,2)	Alto (0,4)	Muy alto (0,8)
		<b>IMPACTO</b>				

Figura 3: Análisis de riesgos

## 8. Descripción de la solución

---

Después de contextualizar y ubicar el trabajo, se detalla la solución propuesta para llegar a los objetivos marcados. En los siguientes puntos se asciende desde los pilares básicos del trabajo (selección de alternativas, criterios de selección establecidos, definición de parámetros...) hasta la estructura fundamental utilizada para extraer las conclusiones (herramientas de selección y análisis).

### 8.1. Fundamentos generales

El objetivo principal del trabajo, como se ha explicado previamente, es determinar la relevancia del parámetro de velocidad en la tasa de supervivencia en episodios de parada cardiorrespiratoria, así como su independencia respecto al resto de parámetros tradicionales.

Para llegar a este objetivo se seguirán los pasos definidos a continuación. Primeramente se seleccionará la base de registros sobre la que trabajar, definiendo su origen, estructura y contenido. De esta manera se establece un punto de partida para el trabajo, por lo que es importante realizar una elección adecuada para no condicionar el futuro del mismo.

En segundo lugar se establecerán los criterios en base a los cuales se seleccionarán o descartarán compresiones. La importancia de este paso reside en que los criterios utilizados deben ser precisos para garantizar la posibilidad de reproducir el estudio fielmente. También se acuñarán nuevos conceptos que facilitarán la interpretación de los resultados, haciéndolos más acordes a la realidad.

Seguidamente se definirá la estructura y contenido de la base obtenida del proceso de selección de compresiones y que será utilizada en el proceso de análisis posterior. De igual manera se introducirán brevemente los posibles futuros usos de dicha estructura.

Ya en último lugar, se presentarán las herramientas software utilizadas en el proceso. En este punto se detalla el diseño, funcionalidad, utilización, etc. de cada una de ellas.

### 8.2. Selección de base de registros

Como en todo proyecto de investigación el punto de partida debe esencialmente ser fiable, sólido y debe aportar garantías de éxito al mismo. En este caso el punto de partida no es otro que la correcta elección de una base de registros que aporte los datos necesarios de un modo accesible y fiable.

TVF&R es un servicio de emergencias que, entre otros servicios, proporciona soporte vital avanzado (ALS, Advanced Life Support) a nueve ciudades en Oregon, EEUU. Todos los integrantes de esta unidad son técnicos certificados en emergencias médicas, y trabajan bajo la supervisión del director médico del distrito, el doctor Mohamud Daya.

Desde el año 2005 el TVF&R ha grabado y almacenado datos sobre episodios de RCP reales y proveyendo de feedback en tiempo real a los rescatadores durante estos episodios. También en 2005 alcanzaron un acuerdo con la división de investigación de productos cardíacos de la compañía Phillips Healthcare. De este modo Phillips obtuvo

acceso a los datos recogidos por el TVF&R para mejorar la seguridad y calidad de sus productos.

Para este trabajo el GSC ha accedido a 102 registros de la base de datos de iguales características. Cada uno de los registros contiene una variable *rec* en la que se almacena toda la información del registro. Esta variable tiene tres campos principales que a su vez se dividen en diferentes campos secundarios. La estructura de la variable *rec* se muestra en la tabla 3:

rec					
Info		Signals		Channels	
Variable	Tipo	Variable	Tipo	Variable	Tipo
Date	String	s_pads	double arr	pads	boolean
Name_mic_file	String	fs_pads	integer	comp	boolean
Name_device	String	s_comp	double arr	chestForce	boolean
Model	String	fs_comp	integer	chestAccel	boolean
		s_chestForce	double arr	vent	boolean
		fs_chestForce	integer	pci	boolean
		s_chestAccel	double arr	cO2	boolean
		fs_chestAccel	integer	leadI	boolean
		s_vent	double arr	leadII	boolean
		fs_vent	integer	leadIII	boolean
		s_pci	double arr		
		fs_pci	integer		
		s_cO2	double arr		
		fs_cO2	integer		

Tabla 3: Estructura de la variable *rec*

La variable *rec* consta de tres campos principales. El primero de ellos es el campo denominado *Info* el cual indica los datos identificativos del registro tales como la fecha y hora en la variable *Date*, el nombre del dispositivo utilizado en *Name\_device* o el modelo de dispositivo en *Model*, todos ellos siendo variables de tipo string.

En segundo lugar se encuentra el campo denominado *Signals*, el cual almacena la información referente a las señales adquiridas en arrays de variables tipo double y sus respectivas frecuencias de muestreo en variables tipo entero. Las señales almacenadas en esta variable son las siguientes: diferencia de tensión entre parches en la variable *pads*, profundidad de cada compresión en la variable *s\_comp*, fuerza ejercida en el pecho del paciente en la variable *s\_chestForce*, aceleración medida en el pecho del paciente en la variable *s\_chestAccel*, flujo de aire entrante y saliente por las vías respiratorias en la variable *s\_vent*, ejecución de PCI en la variable *s\_pci*, y la cantidad de CO<sub>2</sub> expirado en la variable *s\_cO2*. En todo caso, de todas estas variables solo serán relevantes para este trabajo las señales referentes a la profundidad de compresión, aceleración y sus respectivas frecuencias de muestreo.

Finalmente se presenta el campo denominado *Channels*, el cual mediante el que se indica los canales que han sido grabados mediante un 1, y los que no mediante un 0 en la variable booleana que los representa. En el caso concreto de estos registros todos los canales han sido grabados por lo que todos los campos presentan valor 1.

### 8.3. Criterios de selección de compresiones

De la base de registros anteriormente seleccionada se extraerán las señales mencionadas, entre las que se encuentra la señal de profundidad. En este punto es importante mencionar el origen de las señales incluidas en la base de registros.

Las señales útiles para este trabajo son las señales de profundidad, aceleración y velocidad, siendo esta última derivada de alguna de las otras dos. Por lo tanto las señales originarias presentes en la base de registros son las de profundidad y aceleración, sin embargo ocurre que en las grabaciones realizadas originalmente no había presencia de ningún sensor encargado de la grabación de la profundidad, con lo que dicha señal es un cálculo realizado por Phillips en base al resto de parámetros disponibles.

Por este motivo, en diferentes fases temporales dicha estimación no es fiable, bien por deficiencias en el mismo proceso de estimación o por movimientos no controlados durante el proceso de reanimación cardiopulmonar. Esto sin duda afecta en gran medida al proceso de identificación automática de compresiones realizado, por lo que se ha realizado una revisión manual con el objetivo de garantizar la calidad de los datos extraídos. Para ello se han seguido los siguientes pasos.

### 8.3.1. Establecimiento de criterios

Primeramente ha sido necesario el establecimiento de una serie de criterios de selección que permitan estandarizar las compresiones seleccionadas. En este sentido se atenderá a las especificaciones detalladas a continuación.

#### Número de compresiones

En primer lugar se determina que todo registro en el que se identifiquen menos de 1000 compresiones será automáticamente eliminado por no suponer una muestra suficientemente completa. Este criterio está sujeto a la condición de que todas y cada una de las 1000 compresiones deben ser válidas en cuanto a los siguientes criterios de selección. De este modo evitamos registros erróneos en los que se hayan grabado pruebas, rescates mal ejecutados o llevados a cabo por personal no adecuado.

#### Profundidad mínima

En segundo lugar se establece la profundidad mínima que debe alcanzar una compresión para ser considerada como tal. En este caso se ha determinado que la profundidad mínima se sitúa en 22mm partiendo de la posición de reposo. Esta distancia debe ser medida vertical y descendientemente desde el esternón del paciente en posición de reposo. El objetivo de este criterio es el de descartar todas las compresiones que no repercuten en la supervivencia del paciente desde el punto de vista físico, ya que las compresiones que no superan ese umbral de profundidad no tienen la influencia suficiente en la caja torácica para generar un flujo de sangre que pueda alcanzar los órganos vitales.

Por lo tanto todas las compresiones cuya profundidad máxima no supere los 22mm deberá quedar automáticamente descartada para no alterar los resultados obtenidos con el resto de compresiones.

#### Forma de onda

Cuando hablamos de la forma de onda nos referimos tanto a la señal de profundidad como a la de velocidad, ya que ambas están íntimamente ligadas. En este punto debemos diferenciar entre las compresiones correcta e incorrectamente realizadas. En la tabla 4 se muestran ambas.

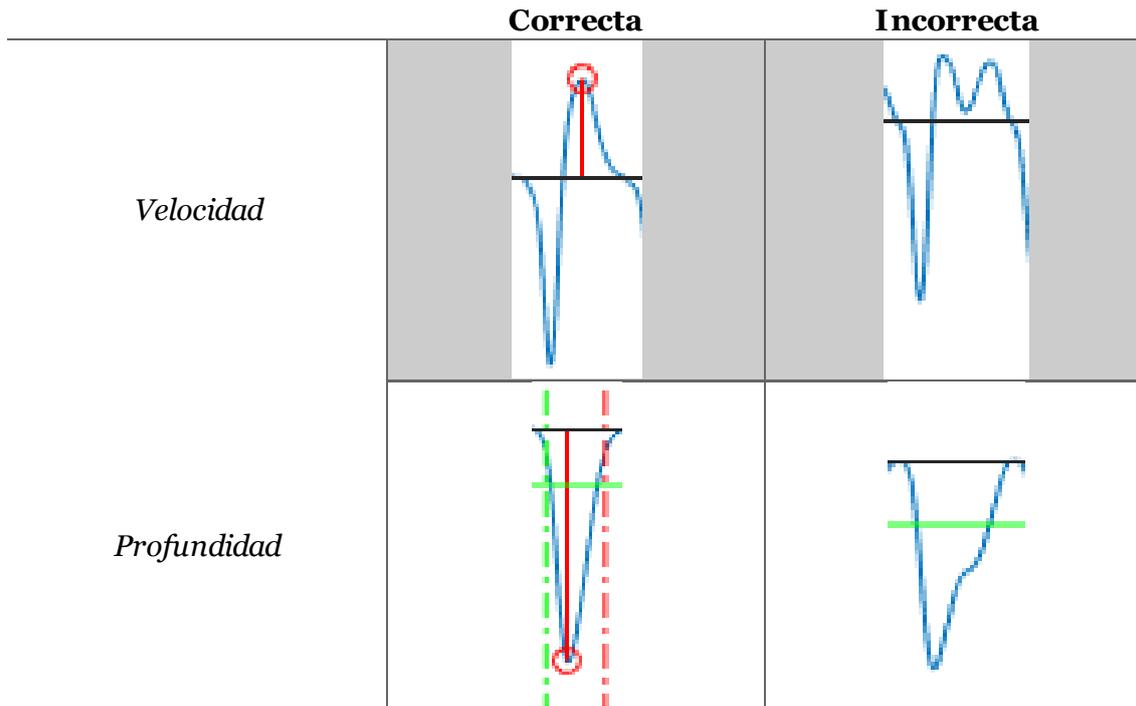


Tabla 4: Formas de onda correcta e incorrecta

Como puede verse ambas compresiones son estéticamente diferentes tanto desde el punto de vista de la velocidad como desde el de la profundidad. Para explicar este fenómeno partiremos desde el punto de vista de la profundidad.

Si observamos la imagen de la señal de profundidad durante una compresión correcta veremos que tanto el intervalo de subida como el de bajada son uniformes, otorgando a la forma de onda una estructura triangular. Del mismo modo la señal de velocidad concuerda con esta forma. Durante el intervalo de bajada de la señal de profundidad la señal de velocidad se divide en dos tramos. Primeramente la velocidad aumenta (negativamente) progresivamente hasta aproximadamente la mitad del intervalo de bajada de la señal de profundidad. En este punto la velocidad es máxima y comienza a decrecer hasta el punto en el que la profundidad alcanza su valor máximo negativo. En ese punto el pecho se encuentra en reposo en estado comprimido, por lo tanto la velocidad es nula. A partir de ahí se ejecuta el mismo proceso durante la descompresión del pecho, siendo en este caso los valores de signo contrario.

En cambio, en las señales correspondientes a una compresión incorrectamente ejecutada vemos que los tramos asociados a la descompresión pectoral presentan una forma de onda diferente. Como se puede apreciar en la señal de profundidad, durante la descompresión se produce una pequeña interrupción en el desarrollo lineal de la señal, el cual viene provocado por la actuación del rescatador. Esto se debe a que, en lugar de una descompresión constante se ha producido un pequeño aporte de fuerza compresora en algún momento intermedio. Este hecho deriva por una parte en dicha forma de onda, y consecuentemente en un mayor tiempo de descompresión.

Complementariamente, la forma de onda de la señal de velocidad también se ve afectada por este fenómeno. Igualmente el efecto es apreciable en la segunda mitad de la compresión, en la que observamos dos máximos positivos en lugar de uno. Esto ocurre porque en el intervalo que ocupa desde el inicio desde la descompresión hasta la interrupción la velocidad asciende progresivamente. En ese preciso instante desciende bruscamente por el efecto de la fuerza ejercida, generando el primero de los máximos

presentados. A continuación vuelve a ascender brevemente para, finalmente, decrecer progresivamente hasta el final de la descompresión.

A nivel hemodinámico esta interrupción de la descompresión conlleva una menor eficiencia en el traslado de sangre a órganos vitales y por tanto, una menor efectividad del masaje cardíaco. Es por esto que las compresiones que presenten esta característica forma quedarán eliminadas.

### Tiempo de compresión/descompresión

Seguidamente se establece un criterio mediante el cual se discriminarán compresiones cuyo intervalo de compresión o descompresión sea ampliamente superior al del resto de compresiones. Este criterio está estrechamente ligado al anterior por la similitud de sus efectos negativos, ya que un mayor tiempo de descompresión conlleva implícitamente una disminución del número de compresiones ejecutadas por unidad de tiempo, así como una circulación sanguínea menos fluida.

Cuando hablamos de tiempos de compresión y descompresión nos referimos al tiempo necesario para que el pecho recorra la distancia que separa su posición de reposo y su posición de máxima compresión. En este punto es necesario definir una serie de términos que ayuden a comprender la incidencia de estos tiempos, para lo cual se tomará como referencia la figura 4.

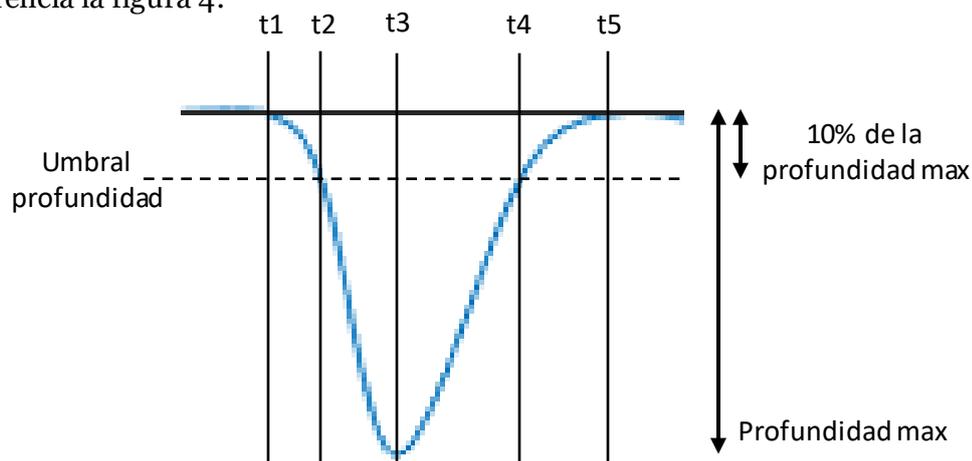


Figura 4: Definición de términos para definir cada compresión

Como se puede comprobar se han establecido 5 puntos temporales a lo largo del ciclo de compresión. Los puntos t1 y t5 indican el inicio y fin de la compresión física respectivamente, desde el momento en el que se comienza a ejercer fuerza por parte del rescatador sobre el pecho del paciente, hasta que las manos son retiradas. El punto t3 indica el punto donde la profundidad de compresión es máxima, es decir, el punto en el que el intervalo de compresión se da por finalizado y da comienzo el de descompresión.

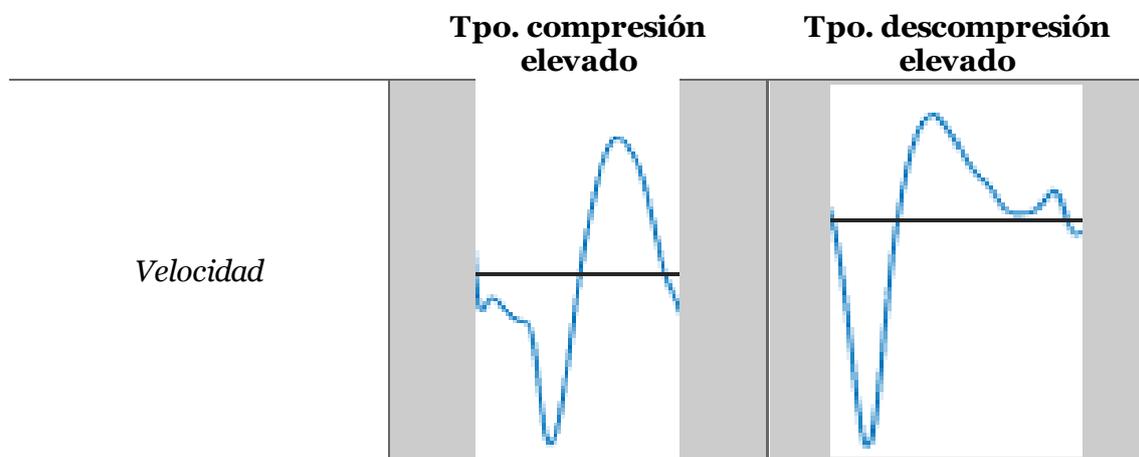
Finalmente se muestran los puntos t2 y t4. Estos puntos indican el punto en el que la profundidad supera un determinado umbral tanto en el intervalo de compresión como en el de descompresión. El objeto de la inclusión de estos puntos es el de identificar los instantes en los que la compresión es realmente efectiva, ya que debido a los tejidos cutáneos, vello, características grasas del paciente... existe un intervalo temporal en el que la fuerza ejercida no reviste en ningún efecto práctico en el paciente. Como hemos dicho, este intervalo está sujeto a las características físicas de cada paciente, por lo que

en este trabajo se ha estimado que este intervalo debe suponer un 10% de la profundidad total de la compresión.

Basándonos en esta figura definimos los siguientes conceptos:

- **Duración de ciclo:** Intervalo temporal comprendido entre  $t_1$  y  $t_5$ . Hace referencia al ciclo temporal completo que toma la compresión, desde que comienza a ejercerse fuerza sobre el mismo hasta que las manos son retiradas.
- **Duración efectiva:** Intervalo temporal comprendido entre  $t_2$  y  $t_4$ . Hace referencia al ciclo temporal en el que la fuerza ejercida tiene consecuencias hemodinámicas.
- **Tiempo de compresión:** Intervalo temporal comprendido entre  $t_1$  y  $t_3$ . Hace referencia al ciclo temporal en el que el pecho es comprimido, desde una profundidad nula hasta una profundidad máxima.
- **Tiempo de compresión efectivo:** Intervalo temporal comprendido entre  $t_2$  y  $t_3$ . Hace referencia al intervalo del tiempo de compresión durante el que la fuerza ejercida tiene consecuencias hemodinámicas
- **Tiempo de descompresión:** Intervalo temporal comprendido entre  $t_3$  y  $t_5$ . Hace referencia al ciclo temporal en el que el pecho es descomprimido, desde una profundidad máxima hasta una profundidad nula.
- **Tiempo de descompresión efectivo:** Intervalo temporal comprendido entre  $t_3$  y  $t_4$ . Hace referencia al intervalo del tiempo de descompresión durante el que la fuerza ejercida tiene consecuencias hemodinámicas.

Una vez definidos estos conceptos pasamos a establecer el siguiente criterio. En base al mismo, toda compresión cuyo tiempo de compresión o descompresión, tanto total como efectiva, que sea ampliamente superior a la media se discriminará por el hecho de que con seguridad constituirá una compresión mal ejecutada en cuanto a los parámetros clásicos de calidad. En la tabla 5 se muestra un ejemplo en el que el tiempo de compresión es excesivamente alto, y otro en el que lo es el tiempo de descompresión.



*Profundidad*

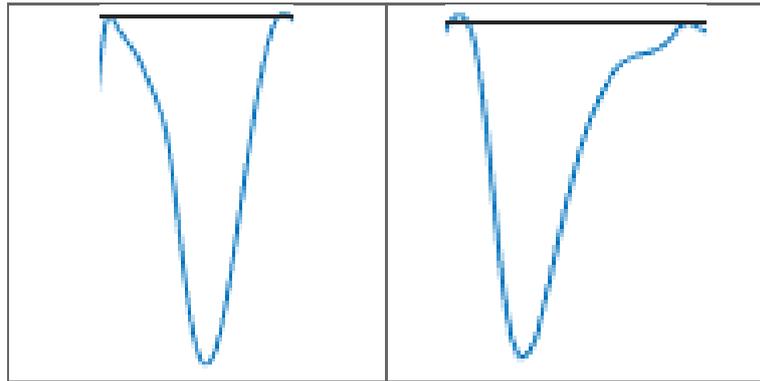


Tabla 5: Tiempos de compresión y descompresión elevados

### Chest release

El concepto *chest release* hace referencia al hecho de que el pecho llegue a situarse en posición de reposo total entre compresiones, lo que es equivalente a retirar las manos del pecho del paciente. Aunque durante los episodios de RCP no se llega al extremo de retirar las manos, sí se recomienda alcanzar el punto donde la profundidad es nula, ya que esto conlleva una mejor respuesta hemodinámica en el paciente.

En la práctica en porcentaje de compresiones en las que se cumple este requisito depende de la pericia y experiencia del rescatador, sin embargo sí podemos establecer un umbral que determine la profundidad mínima que debe alcanzar la descompresión para considerarla efectiva. En caso de no alcanzarla, se considera que la descompresión no es suficientemente efectiva para conseguir los objetivos dinámicos perseguidos. En este caso se ha establecido un umbral de 3 mm, de modo que en las figuras 5 y 6 se muestran, respectivamente, un caso en el que las compresiones son válidas y otro en el que no lo son. En caso de que no lo sean ambas compresiones quedan eliminadas, ya que la influencia del no alcance del chest release afecta directamente a ambas. Cabe mencionar que las líneas verticales verdes indican el instante de inicio de la compresión y las rojas, el instante de finalización de las mismas.

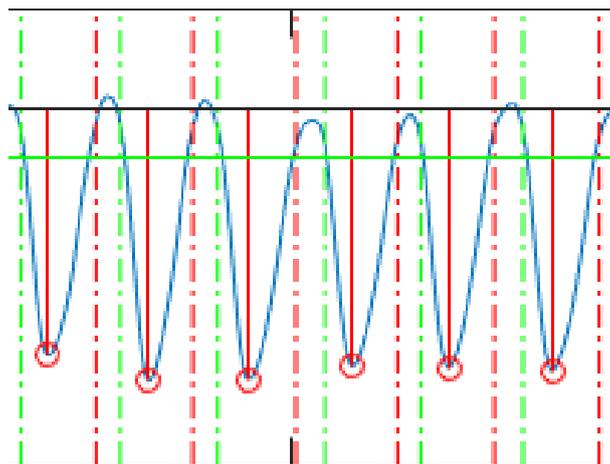


Figura 5: Ejemplo de compresiones válidas

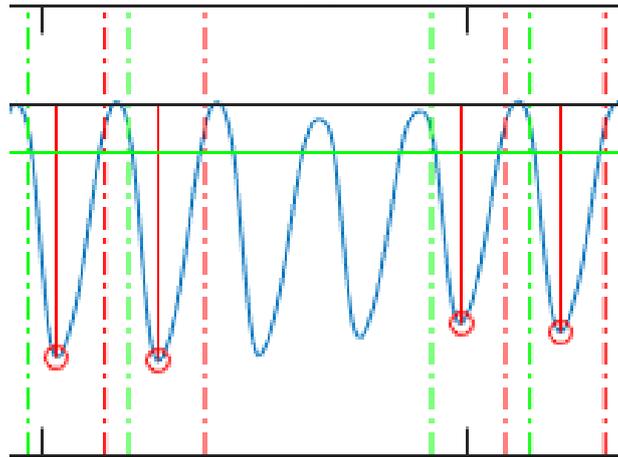


Figura 6: Ejemplo de compresiones inválidas

En ambas figuras se analizará el tránsito entre las compresiones centrales (tercera y cuarta), para poder apreciar con claridad la diferencia. En el primero de los casos se aprecia que entre la tercera y cuarta compresión la señal de profundidad no llega a alcanzar el valor nulo, pero a pesar de ello se consideran dos compresiones válidas porque, aun no llegando al valor nulo, sí se supera el valor de  $-3\text{mm}$ . En el segundo caso no se cumple esta premisa y por tanto, ambas compresiones quedan inmediatamente descartadas.

En caso de no descartarlas se produce el fenómeno mostrado en la figura 7, en la cual puede verse como se identifica una sola compresión a pesar de contar con dos compresiones reales. Esto deriva en un cálculo erróneo tanto de la velocidad asociada como de los tiempos característicos de la misma.

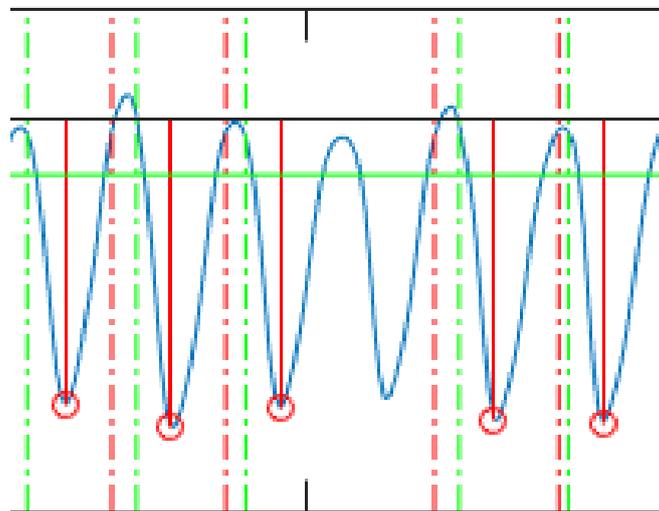


Figura 7: Ejemplo de compresión doble

Por tanto, y en base a las explicaciones expuestas en este apartado, toda compresión cuyo instante de inicio o finalización quede por debajo de los  $3\text{mm}$  quedará automáticamente descartada, así como su correspondiente adyacente.

#### Forma de onda de la señal de velocidad

Teniendo en cuenta los criterios expuestos hasta el momento muchas de las compresiones cuya forma de onda en la señal de velocidad no sea adecuada quedarán descartadas. Sin embargo, tal y como hemos podido comprobar anteriormente una

compresión correctamente realizada queda reflejada en la señal de velocidad como dos triángulos contiguos e invertidos, por lo tanto todo lo que se aleje de esa realidad constituirá probablemente una compresión mal realizada.

Puede observarse este fenómeno en las figuras 8 y 9, donde la forma de onda de la señal de velocidad no se asemeja a la buscada.

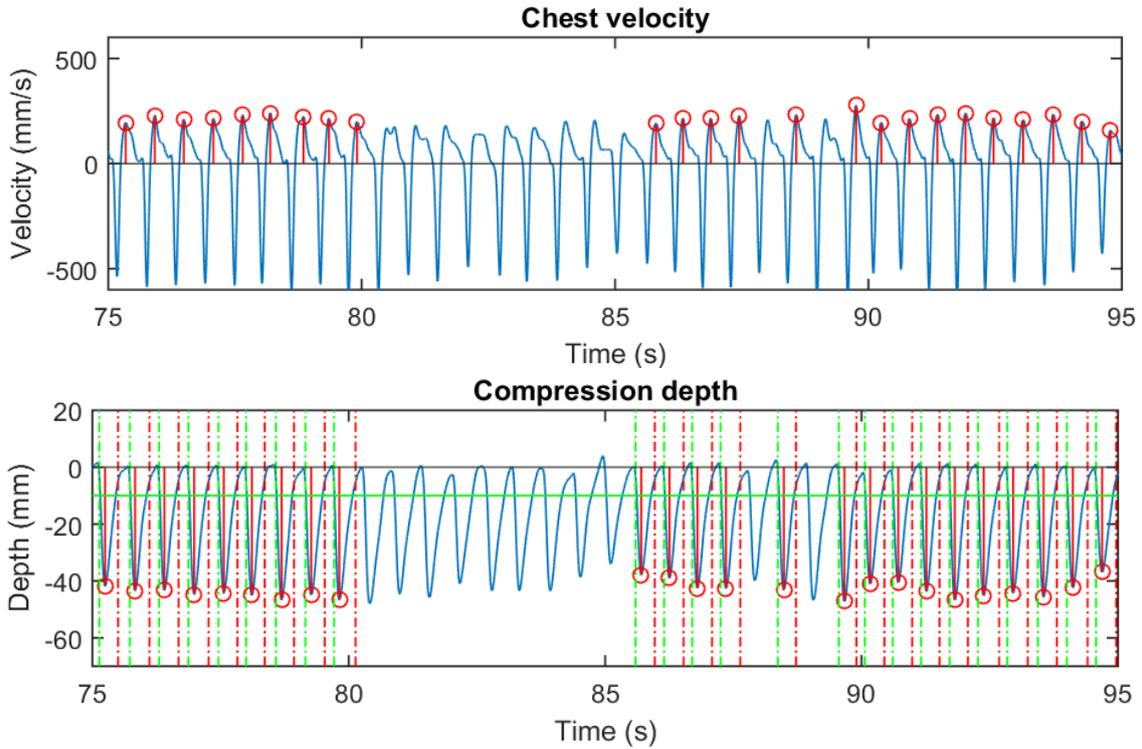


Figura 8: Ejemplo 1 de tramo inválido

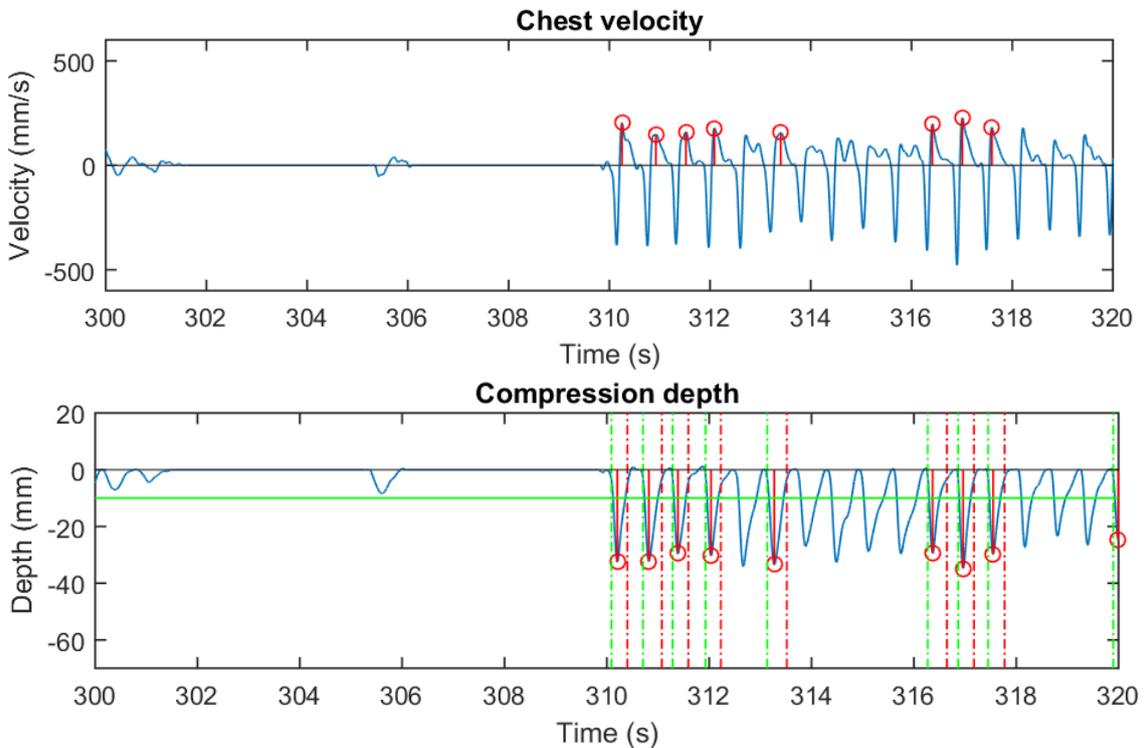


Figura 9: Ejemplo 2 de tramo inválido

En las muestras presentadas se observa cómo en determinados sectores la señal de profundidad no responde a compresiones correctamente ejecutadas, reflejándose este hecho en la señal de velocidad. Por lo tanto compresiones que no respondan con una forma de onda quedarán también descartadas.

### Tramos descartables

En último lugar se presentan ejemplos de intervalos en los que la señal es descartable por su nula calidad. Estos casos pueden tener su origen en muchos factores tanto físicos (malos contactos, malas ejecuciones de maniobra, etc.) como matemáticos (métodos de cálculo con fisuras, inconsistencias, etc.). El resultado es claramente no aprovechable pese a que el algoritmo utilizado para la detección de compresiones identifique información de valor. Es por esto que posteriormente será necesaria la aplicación de una revisión manual. En todo caso, como se muestra en las figuras 10 y 11 estos tramos no aportan información de ningún tipo y por tanto quedan automáticamente descartados.

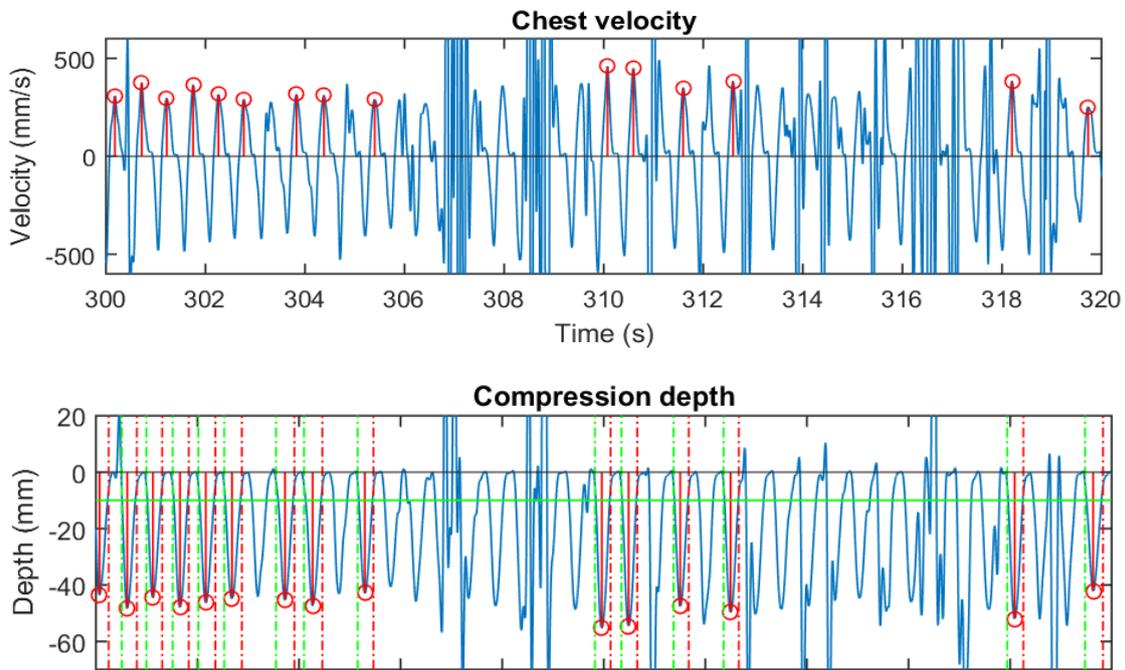
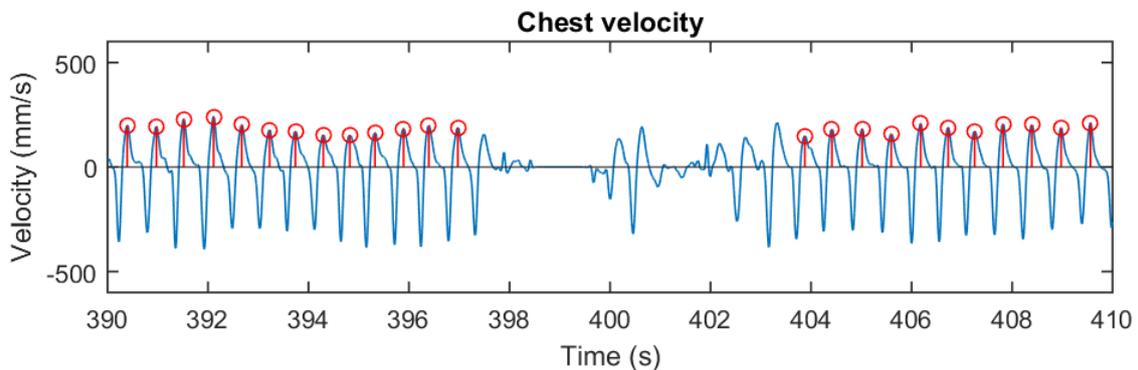


Figura 10: Ejemplo 1 de tramo sin información



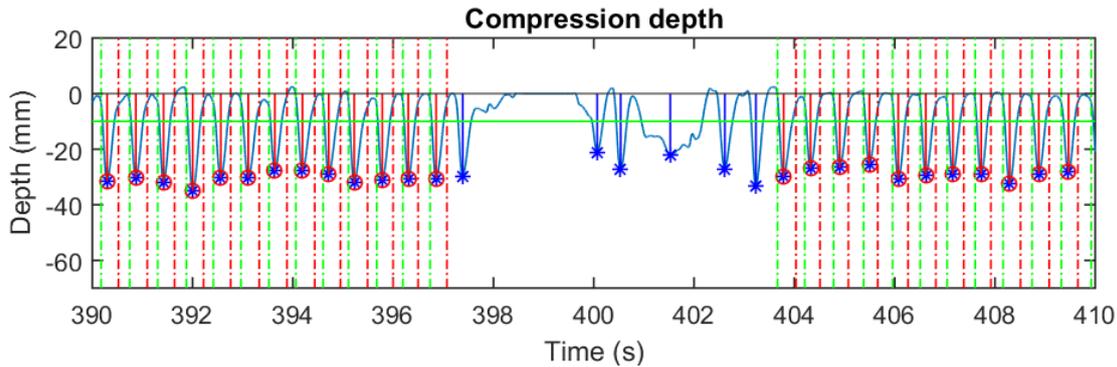


Figura 11: Ejemplo 2 de tramo sin información

En este último ejemplo se muestran mediante un asterisco las compresiones identificadas automáticamente. Como hemos dicho este tramo no aporta información de valor ya que no se corresponde con la ejecución de compresiones por lo que queda descartado. De este modo se establece el último criterio de selección de compresiones.

### 8.3.2. Identificación automática

La identificación automática de compresiones consiste en la ejecución de un algoritmo (más información en el anexo II) que de manera automática extraiga una serie de parámetros de valor partiendo de la señal de profundidad. Para el desarrollo de este trabajo se ha considerado importante extraer los siguientes parámetros para cada una de las compresiones identificadas:

- Instante en el que la compresión se da por comenzada.
- Instante en el que la compresión se da por finalizada.
- Valor mínimo entre el instante de inicio y de final.
- Instante en el que se sitúa el valor mínimo.
- Valor máximo de la señal de velocidad en ese intervalo.
- Instante en el que se sitúa el máximo de velocidad.

Siguiendo un algoritmo de identificación basado en los criterios establecidos se conforma una base de datos en la que se almacenan estos parámetros. Así queda establecido un sistema mediante el que identificar y almacenar cada una de las compresiones detectadas y sus características asociadas.

### 8.3.3. Identificación manual

Pese a que la identificación automática realiza un gran porcentaje de la labor de detección de compresiones existen factores que alteran los resultados. Por este motivo se ejecuta una revisión manual mediante la herramienta desgranada en el anexo II con el objetivo de eliminar las compresiones que pese a haber sido detectadas, no cumplan con los criterios establecidos.

Este proceso responde a una selección objetiva en base a los criterios establecidos cuya meta es corregir los posibles errores cometidos durante la identificación automática por casos concretos de compresiones erróneas. Esta revisión será ejecutada para cada uno de los registros sin importar los datos obtenidos en la revisión automática.

Los datos obtenidos durante las identificaciones automática y manual son almacenados en una variable denominada *base*, de manera que quedan estructurados tanto para el proceso de análisis como para diferentes futuros usos.

### 8.4. Definición de “base”

La variable *base* contiene la información referida a las compresiones identificadas para cada uno de los registros involucrados en el estudio. Es una variable tipo estructura que contiene los campos establecidos en el punto 8.3.2. Además se incluye un campo de nombre *elim* para cada uno de los registros, en el que se almacena un array de identificadores de las compresiones eliminadas. Todos los campos son de tipo array en los que se almacenan datos tipo double excepto el campo *nombre*, de tipo cadena de caracteres.

<b>BASE</b>								
<i>Reg 1</i>	pos_ini	pos_fin	pos_c	prof_c	pos_v	veloc_c	elim	nombre
<i>Reg 2</i>	pos_ini	pos_fin	pos_c	prof_c	pos_v	veloc_c	elim	nombre
<i>Reg 3</i>	pos_ini	pos_fin	pos_c	prof_c	pos_v	veloc_c	elim	nombre
...	...							

*Tabla 6: Definición de variable base*

El hecho de realizar la identificación en base a compresiones en lugar de tiempos permite caracterizar de manera más sencilla cada una de las compresiones. A cada una de las compresiones se le asigna un identificador numérico de manera que la primera compresión detectada recibe el identificador número uno, la segunda el número dos, etc. Dado que en el array de compresiones eliminadas se almacenan estos identificadores, una vez en la fase de análisis es sencillo procesar los datos sin perder información.

Teniendo en cuenta que esta variable almacena una gran cantidad de información acerca de los registros es factible su utilización en futuros proyectos que requieran de ella, ya que sus características permiten el análisis de las compresiones involucradas en los episodios de resucitación sin necesidad de analizar los registros al completo.

### 8.5. Herramienta de selección y cálculo

Para llevar a cabo el trabajo de detección e identificación de compresiones se ha desarrollado una interfaz gráfica de usuario. Esta interfaz consta de una sección de visualización y otra secundaria donde se ubican las herramientas de edición. A continuación se describen brevemente ambas secciones (información complementaria en el anexo II).

En la figura 12 se muestra una captura de la interfaz completa. En la parte izquierda se muestran las señales de aceleración, velocidad y profundidad. En la parte derecha encontramos las herramientas necesarias para manejar la interfaz. En orden descendente tenemos el selector de registro, ajustes de visualización, ajustes de edición y opciones de exportación.

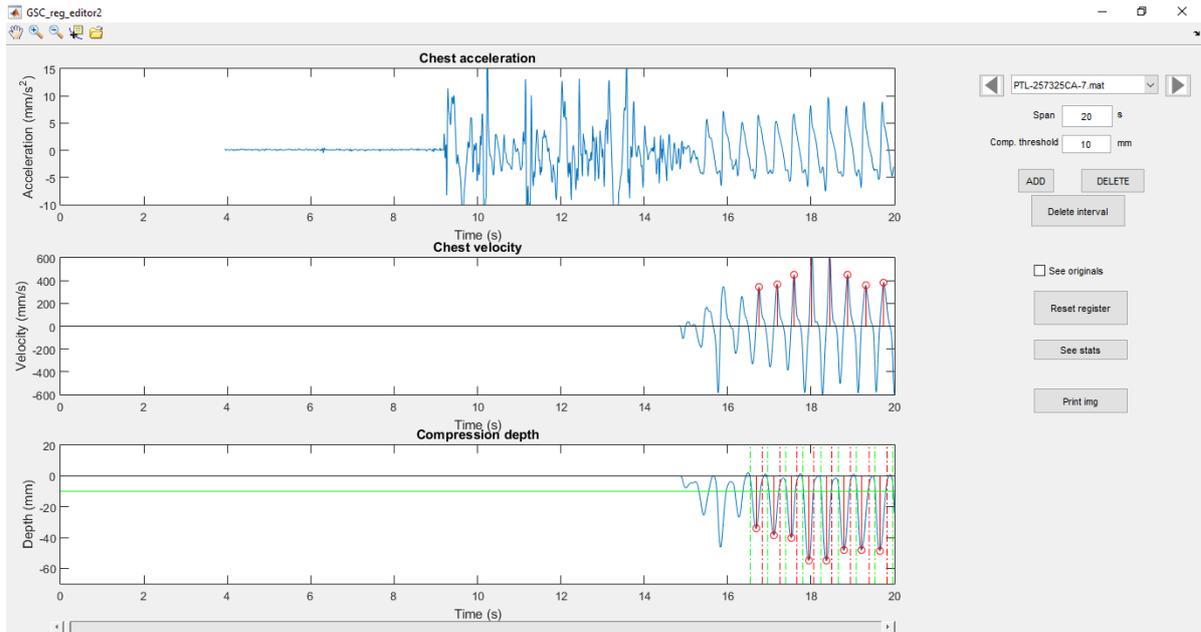


Figura 12: Interfaz de selección

El objetivo de esta herramienta es proporcionar al usuario la opción de editar los resultados obtenidos por el proceso de identificación automática, poniendo a su disposición herramientas gráficas e intuitivas.

## 8.6. Herramientas de análisis

En cuanto a las herramientas de análisis, su objetivo principal es obtener los datos extraídos mediante las herramientas previas y plasmarlos gráficamente de manera que el usuario pueda extraer información útil de ellos. Para este trabajo se han desarrollado las diferentes interfaces que se presentan a continuación.

En primer lugar se muestran los resultados obtenidos para los parámetros básicos de duty cycle, tiempo de compresión tiempo de descompresión, profundidad y velocidad. Los resultados se muestran para el total de compresiones analizadas mediante histogramas y boxplots. En el caso de las variables temporales como son el duty cycle, tiempo de compresión y tiempo de descompresión, el método escogido ha sido el mostrado en las figuras 13 y 14.

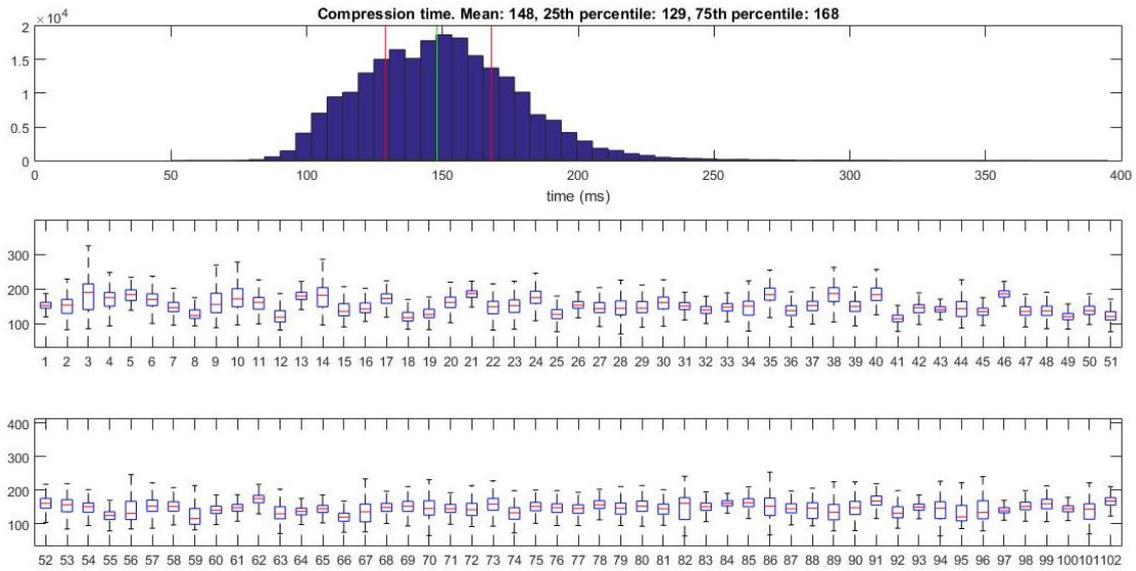


Figura 13: Distribución del parámetro duty cycle

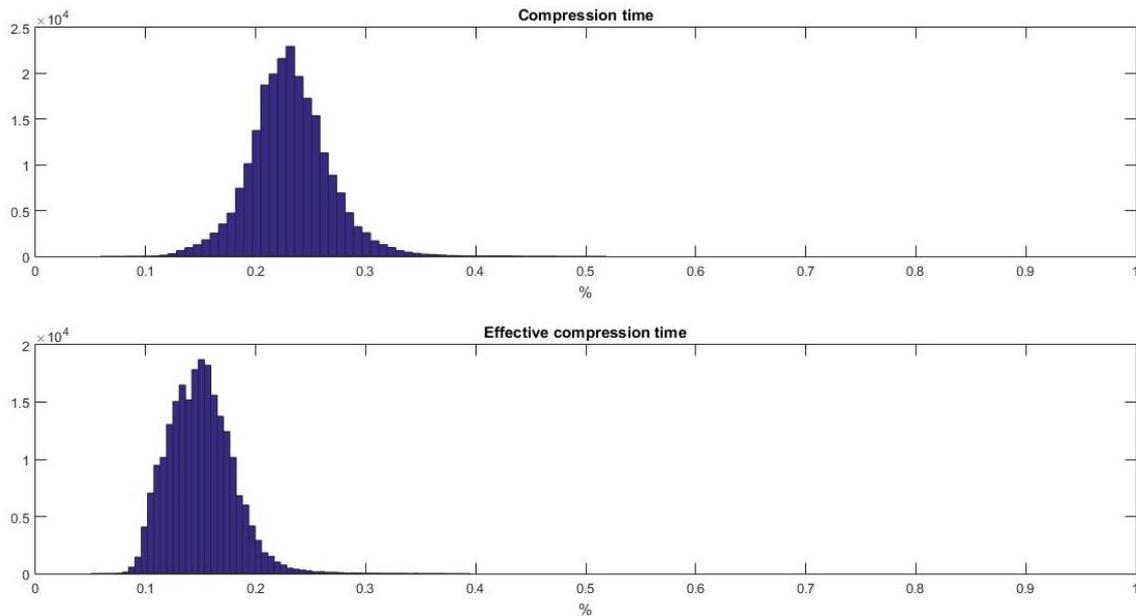
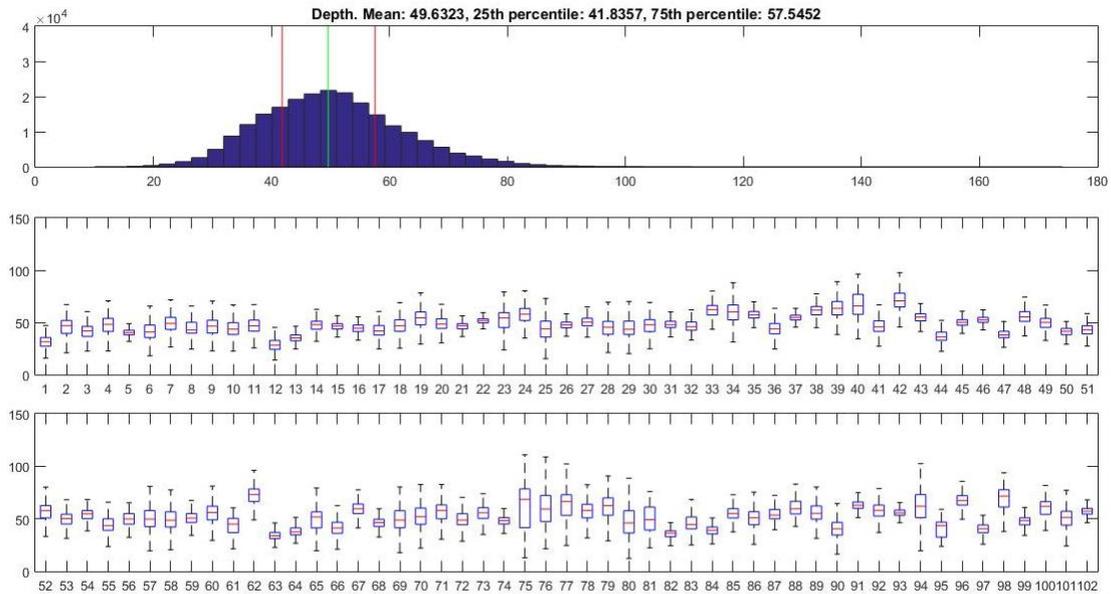


Figura 14: Distribución de los parámetros tiempo de compresión y tiempo de compresión efectivo

El objetivo es mostrar datos referentes a diferentes episodios en una única imagen, por eso se ha optado por una representación mediante un histograma para aglutinar todos los datos en un mismo gráfico, y un boxplot en el que se identifica cada uno de los episodios por separado. En ambos se muestra también los datos estadísticos correspondientes: media, y percentiles 25 y 75.

En la figura 14 se muestra mediante dos histogramas la diferencia existente entre la variable temporal ordinaria y el concepto de variable temporal efectivo descrito en el punto 8.3.1. Lógicamente los tiempos efectivos son más pequeños que los absolutos, ya que recordemos que hacen referencia al intervalo de tiempo en el que la compresión tiene consecuencias hemodinámicas en el paciente.

En cuanto a los parámetros de profundidad y velocidad sólo quedan representados por un histograma y su correspondiente boxplot, ya que el concepto efectivo no tiene cabida en este caso.



*Figura 15: Distribución del parámetro profundidad*

En la figura 16, se muestra la opción de analizar los datos de cada registro de manera individual. En este caso se muestran en la mitad superior el tiempo de ciclo efectivo y el tiempo de descompresión efectivo en forma de histograma. En la mitad inferior izquierda y también en forma de histograma se muestran el tiempo de compresión efectivo y los datos de profundidad de las compresiones. En la parte inferior derecha se presentan en primer lugar los datos de velocidad enfrentados a los datos de profundidad, además de la velocidad de cada una de las compresiones en el último histograma.

El objetivo de enfrentar los datos de velocidad y profundidad no es otro que comprobar si existe alguna correlación entre ellos. Este es el método más revelador de los que vamos a utilizar, ya que una gran dispersión de los puntos indica una baja correlación entre los datos y viceversa.

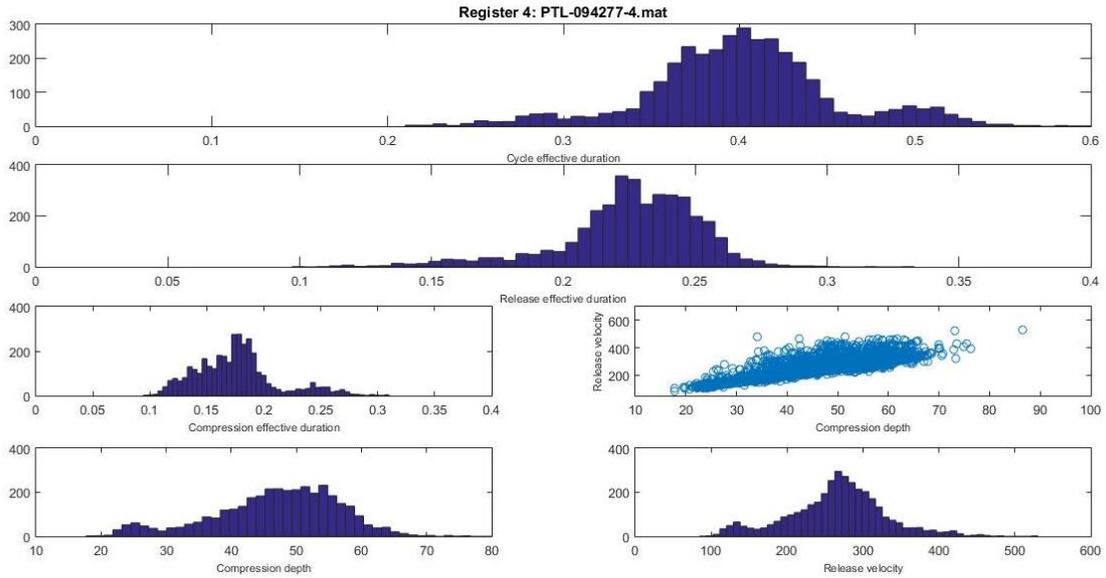


Figura 16: Duración de ciclo, duración efectiva de ciclo, duración efectiva de compresión, profundidad, CCRV y CCRV vs profundidad para el registro número 4

En último lugar se muestran los datos relativos a las compresiones que han sido eliminadas. En las figuras 17-19 podemos ver todas sus características (columna izquierda) en comparación con las de las compresiones correctas (columna derecha) para los parámetros de duración de ciclo, duración de ciclo efectiva, tiempo de compresión, tiempo de compresión efectivo, tiempo de descompresión, tiempo de descompresión efectivo, profundidad y velocidad.

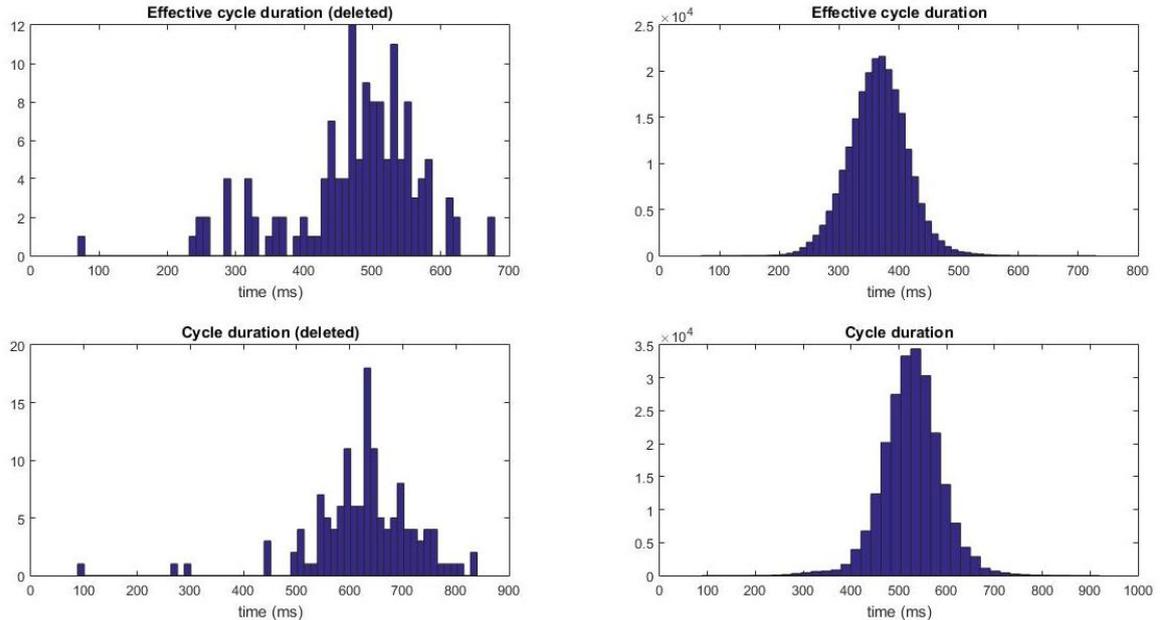


Figura 17: Duración de ciclo y duración de ciclo efectiva para compresiones válidas y eliminadas

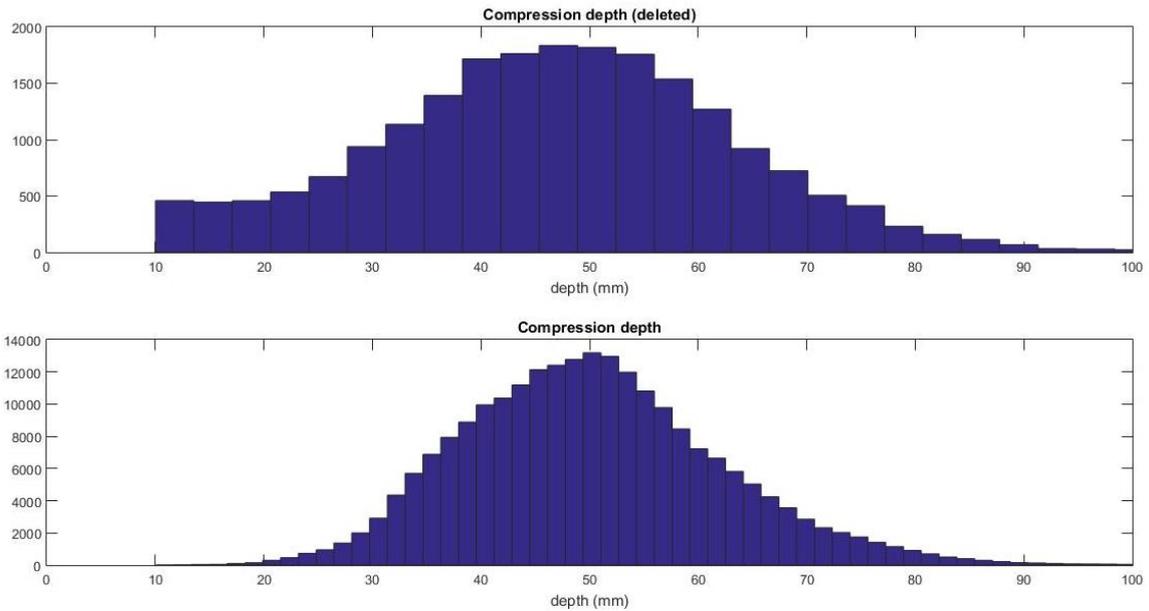


Figura 18: Distribución del parámetro profundidad para compresiones válidas y eliminadas

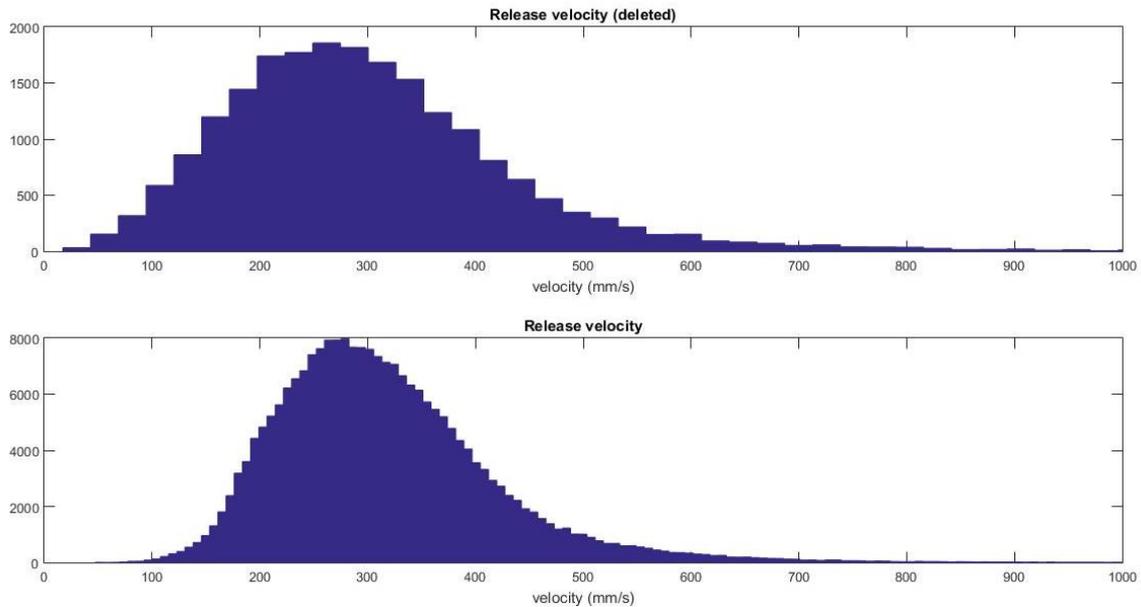


Figura 19: Distribución del parámetro CCRV para compresiones válidas y eliminadas

En las representaciones llevadas a cabo hasta el momento se ha hecho hincapié en la comparación entre compresiones seleccionadas y descartadas, así como en una representación a pequeña escala de las características extraídas de cada registro. Debido a la gran cantidad de datos disponibles y con el objetivo de obtener resultados más compactos, se desarrolla una alternativa en la que las características de todas las compresiones involucradas quedan representadas a gran escala.

En la figura 20 se muestran mediante un boxplot las características temporales de todas las compresiones seleccionadas. De izquierda a derecha, compression duration (CD) o duración de ciclo, effective compression duration (ECD) o duración efectiva de ciclo, compression time (CT) o tiempo de compresión, effective compression time (ECT) o tiempo efectivo de compresión, decompression time (DT) o tiempo de descompresión y effective decompression time (EDT) o tiempo de descompresión efectivo.

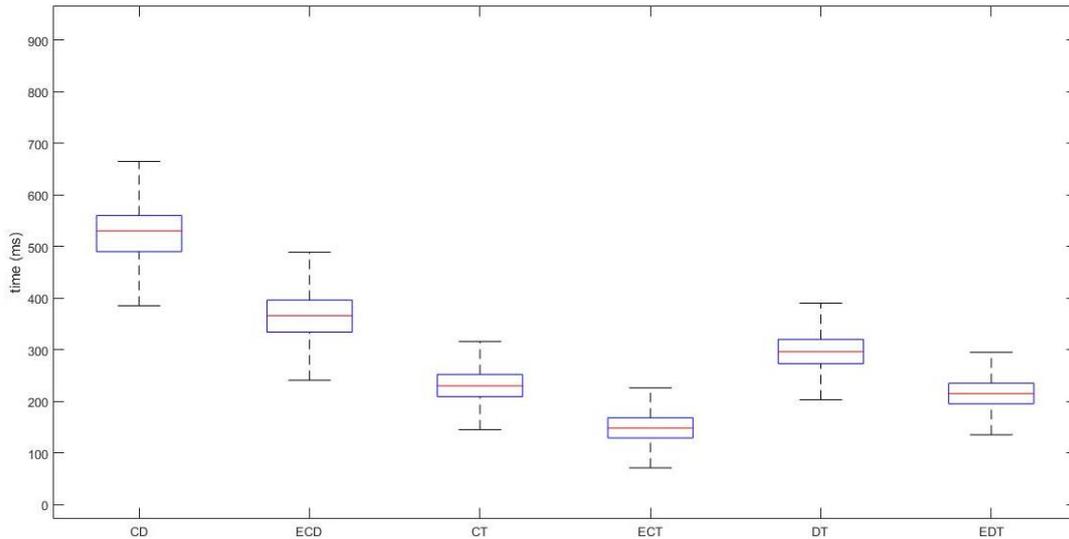


Figura 20: Representación de características temporales de las compresiones

En la forma de histograma es más fácilmente apreciable la distribución de las variables temporales. La figura 21 muestra en orden descendente y de izquierda a derecha la profundidad de las compresiones, la tasa de compresiones por minuto, duraciones de ciclo general y efectiva, y velocidad máxima alcanzada durante las descompresiones.

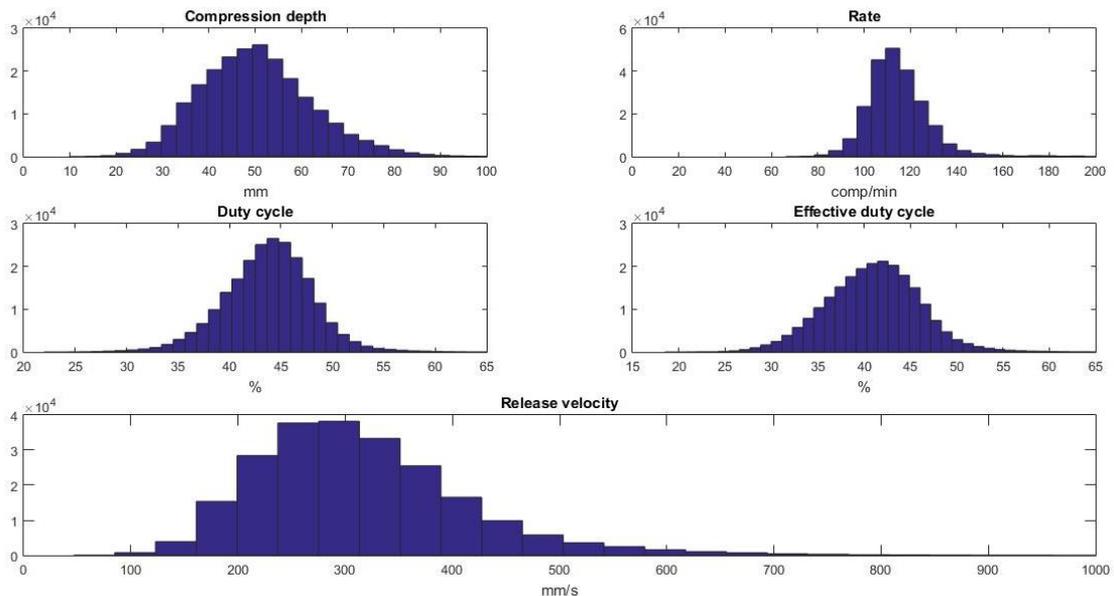


Figura 21: Distribución de los parámetros profundidad, rate, duty cycle, effective duty cycle y CCRV

Independientemente de los datos individuales de cada parámetro se ha mencionado la relevancia de enfrentar dos de los datos más significativos, la velocidad y la profundidad. En la figura 22 se representa esta característica para 4 registros seleccionados al azar para visualizar su naturaleza individual, y un último gráfico en el que puede verse el relativo a todas las compresiones analizadas.

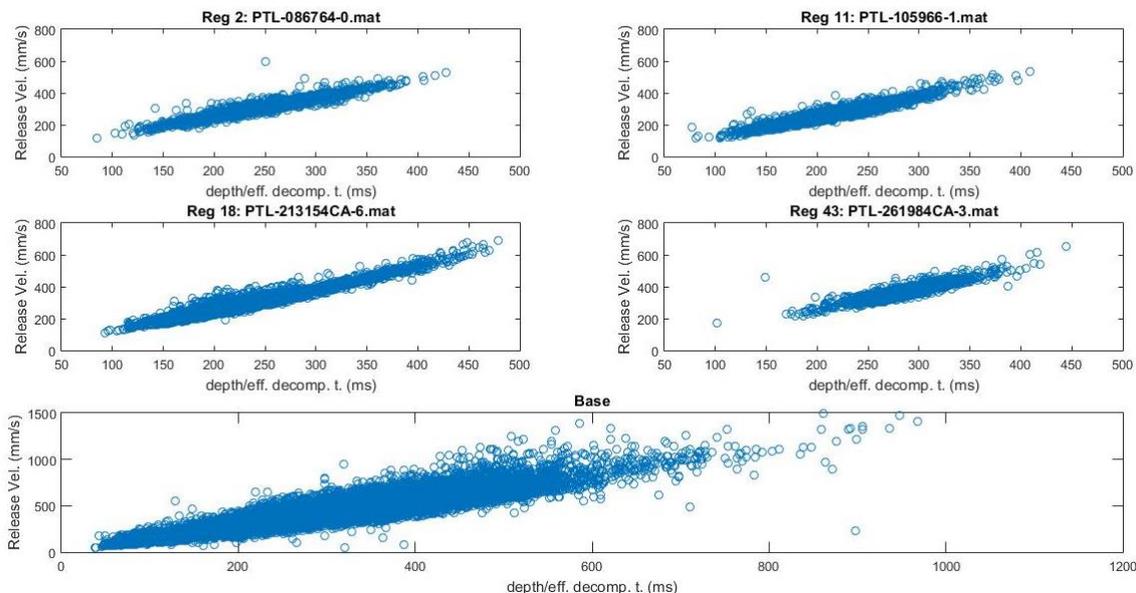


Figura 22: Representación de CCRV vs prof/tiempo de descompresión efectivo para varios registros

Por otra parte podría pensarse que la variabilidad en el tiempo de ciclo y la profundidad máxima de las compresiones se encuentran estrechamente correladas, sin embargo en la figura 23 vemos que esto no es así, ya que para cada valor de profundidad existe un gran abanico de valores de tiempo de ciclo, tanto para el tiempo de ciclo total como para el efectivo. Este fenómeno se repite para el caso en el que la variable a analizar es la tasa de compresiones por minuto en lugar de la profundidad.

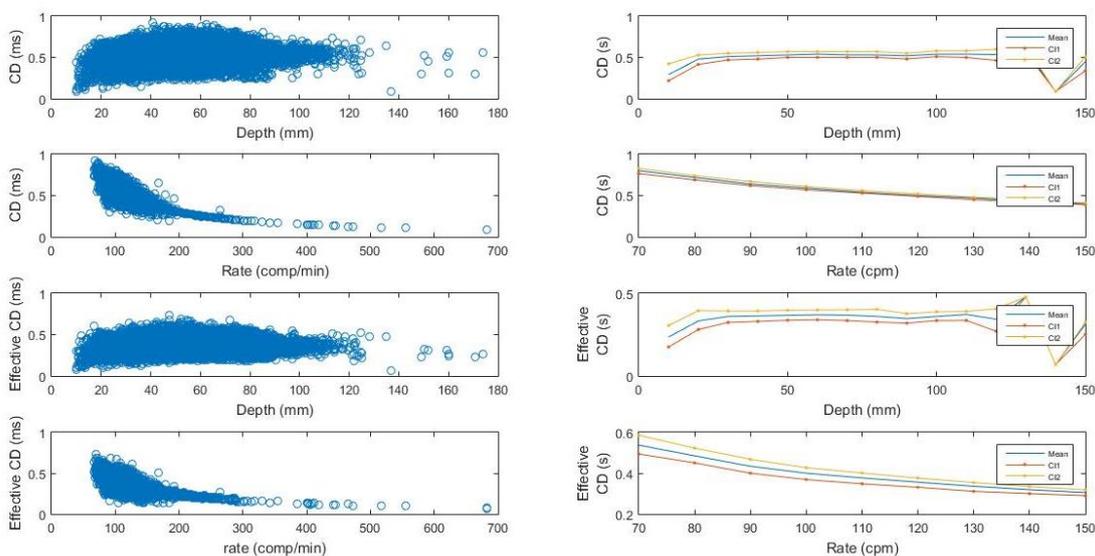


Figura 23: Duración de compresión absoluta y efectiva frente a profundidad y rate

Se ha mencionado también la teoría por la que es posible relacionar el valor de la velocidad de descompresión con un modelo poligonal sujeto al comportamiento de la señal de profundidad. Para verificar esta hipótesis se ejecutan 3 gráficos que representan el valor máximo medido de la señal de velocidad, con la aproximación geométrica correspondiente en base a la profundidad y el tiempo.

En la figura 24 se observa dicha relación para todas las compresiones a analizar, mientras que en la figura 25 se plantea la misma situación, resaltando en color rojo las

compresiones que cumplen los criterios establecidos para garantizar unas compresiones de calidad ( $5\text{cm} < \text{prof} < 6\text{cm}$  y  $100\text{comp}/\text{min} < \text{rate} < 120\text{comp}/\text{min}$ ).

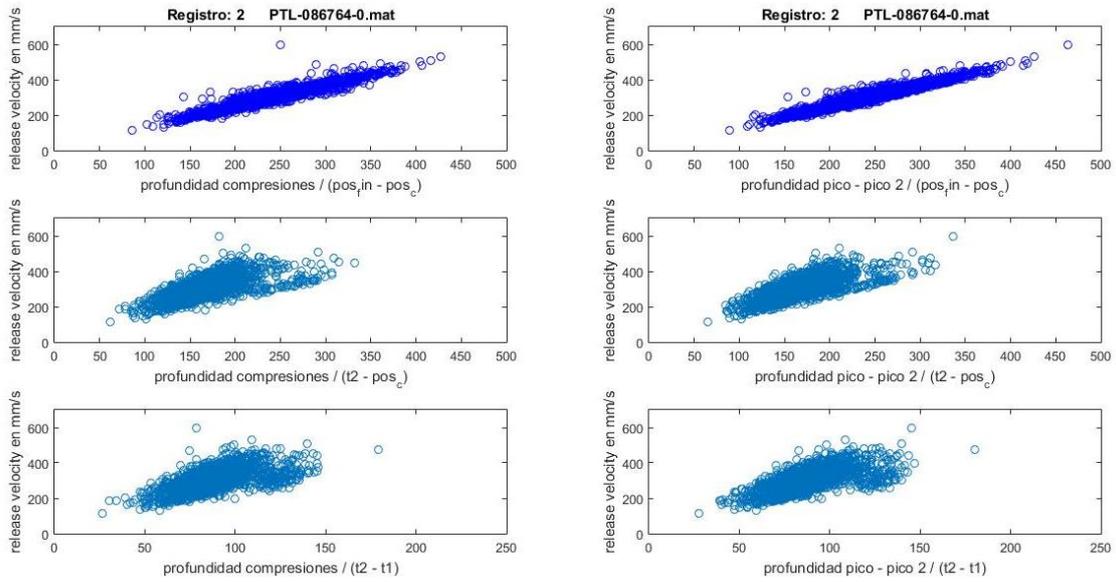


Figura 24: Ejemplo CCRV frente a profundidad de las compresiones entre tiempo de descompresión

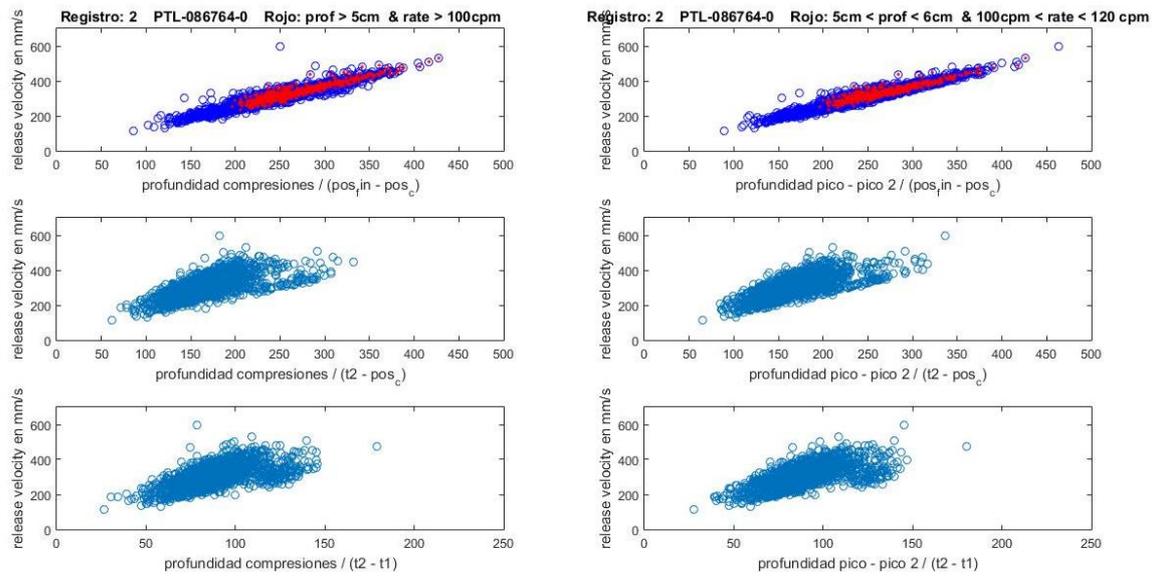


Figura 25: Ejemplo CCRV frente a profundidad de las compresiones entre tiempo de descompresión con compresiones de calidad en rojo

Para ver la influencia de las compresiones que pese a estar en un rango de velocidad adecuado no han sido ejecutadas correctamente en base a los criterios de profundidad y rate (figura 26).

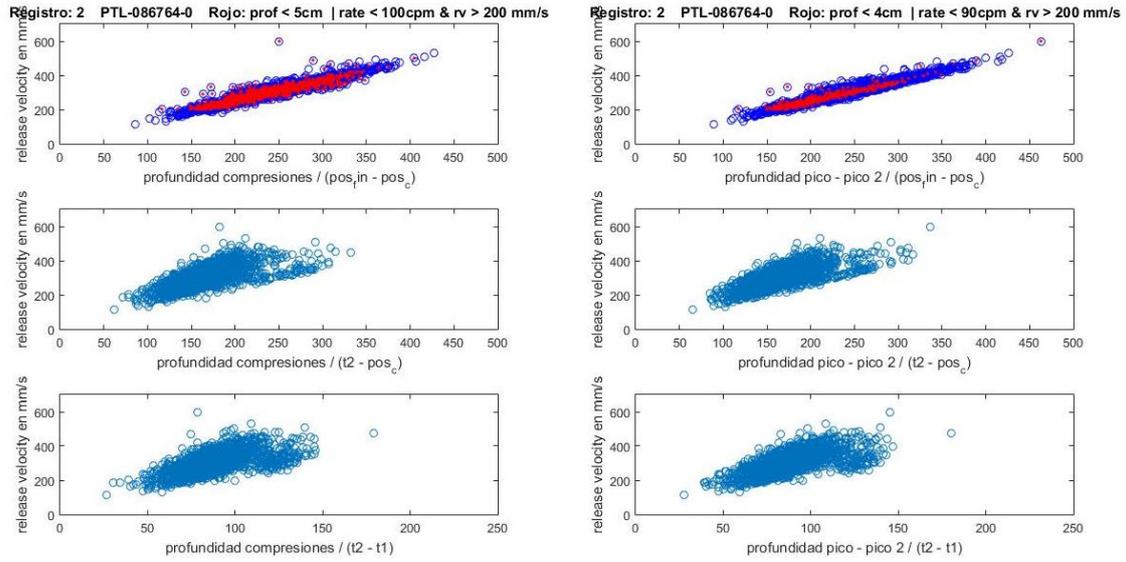


Figura 26: Ejemplo CCRV frente a profundidad de las compresiones entre tiempo de descompresión con compresiones de calidad en rojo y condición de velocidad

## 9. Metodología

### 9.1. Recursos utilizados

#### 9.1.1. Recursos materiales

Al tratarse de un trabajo puramente observacional los recursos materiales utilizados (tabla 7) han sido mínimos. Estos recursos se han limitado a herramientas informáticas y material de oficina, no siendo necesarios elementos externos para la realización de pruebas o ensayos. No ha sido necesaria la compra de ninguno de los elementos que figuran en la tabla ya que son recursos reutilizables de otros trabajos.

Recurso
Ordenador de sobremesa
Ordenador portátiles (x2)
Licencia Microsoft Office
Licencia Windows 10
Licencia MATLAB
Material de oficina

Tabla 7: Recursos materiales

#### 9.1.2. Recursos humanos

En cuanto a los recursos humanos el grupo de trabajo ha sido compuesto por 3 personas. En la tabla 8 se indica el puesto, responsabilidades y tareas de cada uno.

Cargo	Nombre	Tareas
Director de proyecto	Jesús María Ruiz Ojeda	Definición y coordinación del proyecto. Definición de procesos.
Codirectora de proyecto	Digna María González Otero	Diseño de procesos. Soporte técnico y académico. Gestión de recursos.
Proyectista	Mikel González Gómez de Segura	Desarrollo de procesos. Análisis y selección de alternativas. Documentación y defensa.

Tabla 8: Recursos humanos

### 9.2. Paquetes de trabajo

El trabajo ha estado dividido en 6 fases, a su vez divididas en tareas, detalladas en las siguientes tablas.

<p><b>Documentación y puesta en contexto</b> RRHH: Director, codirectora y proyectista  <b>1/09/2016-7/09/2016</b>  <b>Duración: 1 semana</b>  <b>Descripción:</b> Puesta en contexto del trabajo a través de documentación existente y desarrollo de propuesta a llevar a cabo.</p>	<p><b>RRTT:</b> Ordenador portátil.</p>
--	---

Tabla 9: PT1-Documentación y puesta en contexto

<p><b>Establecimiento de criterios de selección</b> RRHH: Director, codirectora y proyectista.  <b>8/09/2016-15/09/2016</b>  <b>Duración: 1 semana</b></p>	<p><b>RRTT:</b> Ordenador portátil.</p>
--	---

**Descripción:** Establecimiento de parámetros a seguir y sus valores a la hora de identificar compresiones válidas e inválidas.

Tabla 10: PT2-Establecimiento de criterios de selección

**Diseño de la herramienta de selección** RRHH: Codirectora y proyectista.  
**16/09/2016-23/09/2016**  
**Duración: 1 semana** RRTT: Ordenador portátil.  
**Descripción:** Elaboración del diseño gráfico y funcional de la herramienta de selección.

Tabla 11: PT3-Diseño de la herramienta de selección

**Desarrollo de la herramienta de selección** RRHH: Codirectora y proyectista.  
**24/09/2016-31/10/2016**  
**Duración: 5 semanas** RRTT: Ordenador portátil, MATLAB.  
**Descripción:** Programación de la herramienta software para la selección de compresiones.

Tabla 12: PT4-Desarrollo de la herramienta de selección

**Selección automática de compresiones** RRHH: Proyectista.  
**1/11/2016-30/11/2016**  
**Duración: 4 semanas** RRTT: Ordenador portátil, MATLAB.  
**Descripción:** Utilización de la herramienta desarrollada para la identificación de compresiones válidas.

Tabla 13: PT5-Selección automática de compresiones

**Selección manual de compresiones** RRHH: Proyectista.  
**8/11/2016-30/11/2016**  
**Duración: 3 semanas** RRTT: Ordenador portátil, MATLAB.  
**Descripción:** Revisión manual de las compresiones eliminadas para eliminar las inválidas y detectar las posibles compresiones válidas no identificadas.

Tabla 14: PT6-Selección manual de compresiones

**Revisión de datos obtenidos en la selección** RRHH: Director, codirectora y proyectista.  
**1/11/2016-7/12/2016**  
**Duración: 5 semanas** RRTT: Ordenador portátil, MATLAB.  
**Descripción:** Revisión y análisis de los datos objetivos para eliminar posibles errores e identificar imprevistos en caso de haberlos.

Tabla 15: PT7-Revisión de datos obtenidos en la selección

**Establecimiento de objetivos de cara al análisis** RRHH: Director, codirectora y proyectista.  
**8/12/2016-15/12/2016**  
**Duración: 5 semanas** RRTT: Ordenador portátil.  
**Descripción:** Establecimiento de objetivos en base a los resultados obtenidos de cara a la fase de análisis.

Tabla 16: PT8-Establecimiento de objetivos de cara al análisis

**Diseño y desarrollo de la herramienta de análisis** RRHH: Codirectora y proyectista.  
**16/12/2016-31/12/2016**  
**Duración: 2 semanas** RRTT: Ordenador portátil, MATLAB  
**Descripción:** Diseño de las herramientas software que se utilizarán en el análisis de datos, así como su desarrollo paralelo.

Tabla 17: PT9-Diseño y desarrollo de la herramienta de análisis

<p><b>Depuración de errores en el desarrollo</b>  <b>1/01/2017-15/01/2017</b>  <b>Duración: 2 semanas</b>  <b>Descripción:</b> Identificación y corrección de errores cometidos en el diseño y desarrollo de las herramientas de análisis de datos.</p>	<p><b>RRHH:</b> Codirectora y proyectista.  <b>RRTT:</b> Ordenador portátil, MATLAB</p>
---	---

Tabla 18: PT 10-Depuración de errores en el desarrollo

<p><b>Análisis de datos y extracción de conclusiones</b>  <b>16/01/2017-7/02/2017</b>  <b>Duración: 3 semanas</b>  <b>Descripción:</b> Análisis de los datos arrojados por las herramientas de análisis y estudio de los mismos para la obtención de conclusiones.</p>	<p><b>RRHH:</b> Director, codirectora y proyectista.  <b>RRTT:</b> Ordenador portátil, MATLAB</p>
--	---

Tabla 19: PT11-Análisis de datos y extracción de conclusiones

<p><b>Supervisión continua de procesos</b>  <b>01/09/2016-7/02/2017</b>  <b>Duración: 20 semanas</b>  <b>Descripción:</b> Continua supervisión sobre todas las acciones llevadas a cabo en el trabajo con el objetivo de evitar imprevistos y subsanar errores rápidamente.</p>	<p><b>RRHH:</b> Director, codirectora y proyectista.  <b>RRTT:</b></p>
---	--

Tabla 20: PT12-Supervisión continua de procesos

### 9.3. Diagrama de Gantt

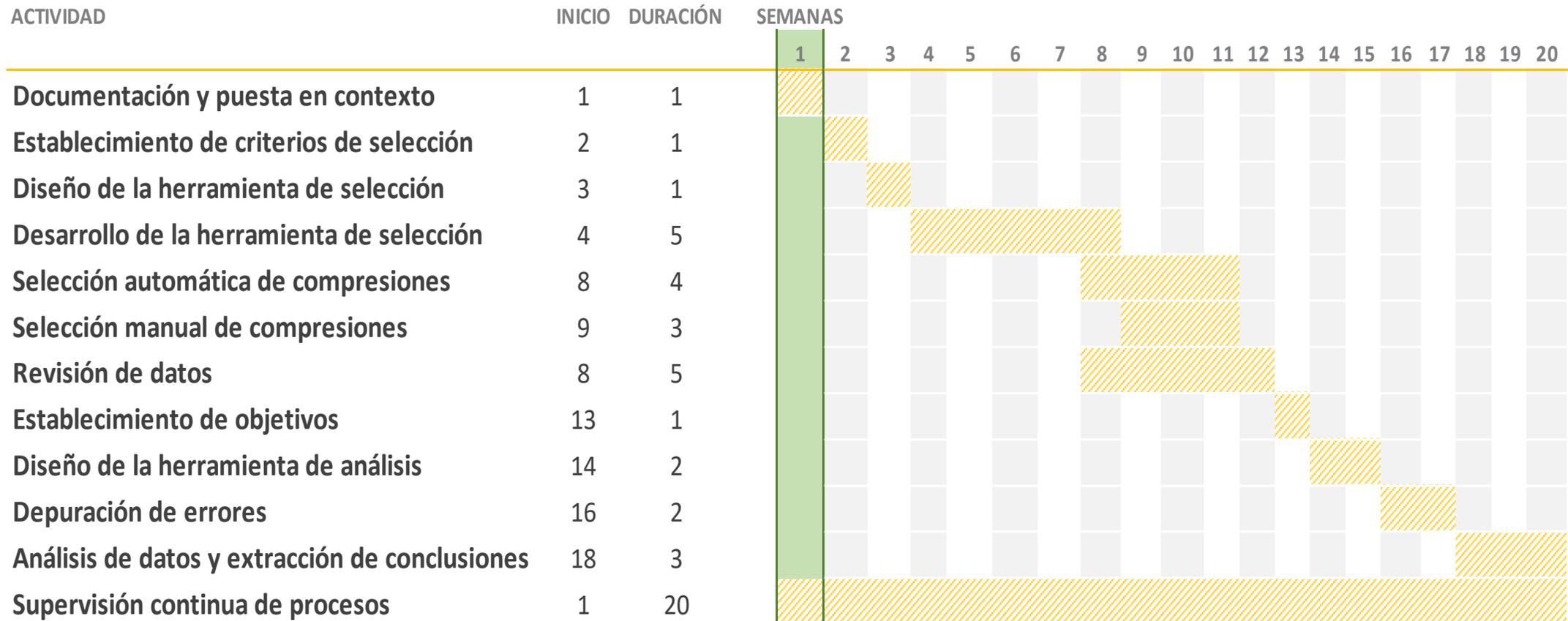


Figura 27: Diagrama de Gantt

## 10. Aspectos económicos

### 10.1. Recursos humanos

El grupo encargado de elaborar este trabajo de investigación está compuesto por 3 personas: el director del proyecto, la codirectora y el propio proyectista. Las tarifas horarias correspondientes a cada una de ellas quedan recogidas en la tabla 21, en base a los datos extraídos de la página oficial del Gobierno Vasco<sup>35</sup>.

Nombre	Cargo	Categoría	Tasa horaria (€)
Jesús María Ruiz Ojeda	Director de proyecto	Ingeniero Sénior	85.30
Digna María González Otero	Codirectora de proyecto	Ingeniera Sénior	61.79
Mikel González Gómez de Segura	Proyectista	Ingeniero Júnior	47.63

Tabla 21: Costes RRHH

### 10.2. Recursos materiales

En cuanto a los recursos materiales, por el hecho de ser un trabajo observacional los requerimientos son menores. El material amortizable utilizado se resume en la tabla 22 junto con el valor económico de cada uno.

Concepto	Precio de compra (€)
Ordenador sobremesa	1500
Ordenador portátil (codirectora)	1500
Licencia Microsoft Office	150
Licencia Windows 10	120
Ordenador portátil (proyectista)	800
Licencia MATLAB	2000

Tabla 22: Costes recursos materiales

La relación de gastos queda reflejada en la tabla 23, siendo estos los materiales cuyo uso ha sido destinado sólo a este proyecto.

Concepto
Material de oficina (tinta impresora, papel, etc.)
Conexión a internet
Luz
Limpieza

Tabla 23: Gastos

### 10.3. Presupuesto

En base a las referencias a recursos humanos y materiales realizadas la cuantía presupuestada para este trabajo se divide en varios apartados.

#### 10.3.1. Horas internas

El resumen del coste de las horas internas consumidas por el equipo de trabajo en este trabajo se resume en la tabla 24.

Cargo	Tasa horaria (€/h)	Horas	Total
Director de proyecto	85.30	100	8530
Codirectora de proyecto	61.79	200	12358
Proyectista	47.63	500	23815
<b>SUBTOTAL</b>			<b>44703</b>

Tabla 24: Horas internas

### 10.3.2. Amortizaciones/Inversiones

En la tabla 25 figuran los costes asociados a la utilización de equipos cuyo uso no es exclusivo de este trabajo, así como las posibles inversiones a realizar.

Concepto	Precio de compra (€)	Vida útil (horas)	Horas de uso	Coste total (€)
Ordenador sobremesa	1500	10000	100	15
Ordenador portátil (codirectora)	1500	4000	200	75
Licencia Microsoft Office	150	10000	100	1.5
Licencia Windows 10	120	10000	900	10.8
Ordenador portátil (proyectista)	800	4000	500	100
Licencia MATLAB	2000	10000	800	160
<b>SUBTOTAL</b>				<b>362.3</b>

Tabla 25: Amortizaciones/Inversiones

### 10.3.3. Subcontrataciones

En el desarrollo de este trabajo no ha sido necesaria la subcontratación de ningún tipo de producto o servicio por lo que el coste en este apartado es nulo.

### 10.3.4. Gastos

Los costes asociados a este trabajo en exclusiva se resumen en la tabla 26. Al ser un trabajo de investigación observacional los gastos se han debido principalmente al consumo de recursos de oficina.

Concepto	Coste (€)
Material de oficina (tinta impresora, papel...)	30
Conexión a internet	30
Luz	60
Limpieza	50
<b>SUBTOTAL</b>	<b>160</b>

Tabla 26: Gastos

### 10.3.5. Resumen de costes

En base a los apartados descritos hasta ahora el presente trabajo conlleva un coste económico de 45235.3 euros, de los cuales 44703 se destinarán a salarios, 362,3 a amortización de equipos e inversiones y 170 a gastos propios del desarrollo del mismo. Estos costes se resumen en la tabla 27.

Concepto	Coste (€)
Horas internas	44703
Amortizaciones/inversiones	362,3

<b>Subcontrataciones</b>	0
<b>Gastos</b>	170
<b>TOTAL</b>	<b>45235,3</b>

Tabla 27: Resumen de costes

## 11. Conclusiones

Las muertes por parada cardiorrespiratoria suponen un porcentaje muy alto de las registradas hoy en día, superando a factores más mediáticos. El desarrollo de la investigación en este campo está basado en el análisis de los parámetros involucrados en las compresiones torácicas efectuadas sobre los pacientes como son la profundidad y la frecuencia.

Recientemente se ha sugerido la posibilidad de que parámetros como el duty cycle o la velocidad de descompresión del pecho puedan afectar significativamente a la probabilidad de supervivencia de los pacientes, siendo estos parámetros independientes de los ya estudiados. Entre ellos la velocidad es el parámetro que más vías de investigación ha abierto debido a su reciente proposición, además de por las pocas publicaciones existentes al respecto.

En este contexto, el trabajo presentado en este documento realiza un trabajo observacional retrospectivo sobre una serie de episodios reales con el objetivo de profundizar en el análisis de la relevancia de este parámetro. Para llevar a cabo este estudio se han parametrizado una gran cantidad de compresiones extraídas de casos grabados sobre distintos pacientes y en diferentes situaciones para posteriormente observar su comportamiento.

Este proceso se ha realizado extrayendo manualmente las compresiones de la base de registros garantizando así que las seleccionadas cumplen una serie de requisitos para ser consideradas compresiones de calidad. Se eliminan así posibles fuentes de error como intervalos ruidosos, rescates mal ejecutados o simplemente intervalos de silencio.

Los resultados presentados en el anexo IV soportan las conclusiones extraídas de este trabajo. Los diferentes análisis gráficos revelan una cierta relación lineal (figura 28) entre la velocidad de descompresión y el cociente entre la profundidad y el tiempo efectivo de descompresión, a pesar de que no existe una correlación directa entre estas variables.

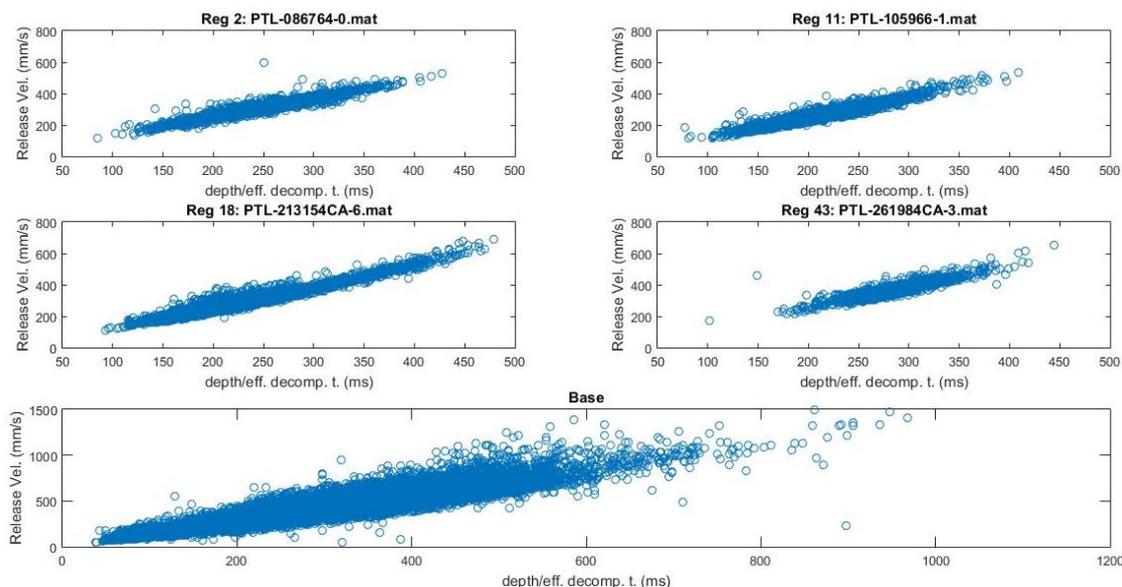


Figura 28: CCRV vs prof/tiempo de descompresión para varios casos concretos y para el total de las compresiones

Este trabajo abre una vía de investigación en relación a la variable de velocidad de descompresión y su posible relación con otros parámetros básicos. Además la base de registros generada y la parametrización realizada sobre ella constituyen un material apto para ser utilizado en otros trabajos del mismo ámbito como el análisis de otros parámetros relacionados o como medio para la realización de proyectos basados en maniqués de resucitación.

## 12. Fuentes de información

---

1. Guidelines 2000 for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care: International consensus on science. part 8: Advanced challenges in resuscitation. section 1. life-threatening electrolyte abnormalities. *circulation*. 2000;102:217-22.
2. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2005. section 1. Resuscitation 2005;67:S1-2.
3. Jerry P. Nolan,\*, Jasmeet Soar b, David A. Zide manc, Dominique Biarent d, Leo L. Bossaert e, Charles Deakin f, Rudolph W. Koster g, Jonathan Wyllie h, Bernd Böttiger i, on behalf of the ERC Guidelines Writing Group. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2010. *Resuscitation* 2010;81:1219-451.
4. Koenraad G. Monsieura,b,\*, Jerry P. Nolan c,d, Leo L. Bossaerte, Robert Greiff,g, Ian K. Maconochie h, Nikolaos I. Nikolaou i, Gavin D. Perkins j,p, Jasmeet Soar k, Anatolij Truhlář l,m, Jonathan Wyllie n, David A. Zide mano, on behalf of the ERC Guidelines 2015 Writing Group. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015. *Resuscitation* 2015;95:1-80.
5. ANGAS W. HAMER, MD, HRAYR S. KARAGUEUZIAN, PhD, KAORUSUOI, MD, CAROL A. ZAHER, MD, WILLIAM J. MANDEL, MD, FACC, THOMAS PETER, MD, FACC with the technical assistance of Avile McCullen. Factors related to the induction of ventricular fibrillation in the normal canine heart by programmed electrical stimulation. *Jacc* 1984;3(3):751-9.
6. Jun-Yuan Wu, MM, Chun-Sheng Li, MD, Zhao-Xia Liu, MM, Cai-Jun Wu, MM, Gui-Chen Zhang, MM. A comparison of 2 types of chest compressions in a porcine model of cardiac arrest. *The American Journal of Emergency Medicine* 2009;27(7):823-9.
7. Demetris Yannopoulos a, Scott McKnite a, Tom P. Aufderheide d, Gardar Sigurdsson a, Ronald G. Pirrallo d, David Benditt b, Keith G. Lurie a,. Effects of incomplete chest wall decompression during cardiopulmonary resuscitation on coronary and cerebral perfusion pressures in a porcine model of cardiac arrest . *Resuscitation* 2005;64(3):363-72.
8. Jo Kramer-Johansen a, Dana P. Edelson c, Heidrun Losert d, Klemens Köhler e, Benjamin S. Abella f,. **Uniform reporting of measured quality of cardiopulmonary resuscitation (CPR)** . *Resuscitation* 2007;74(3):406-17.
9. Olasveengen TM, Tomlinson AE, Wik L, Sunde K, Steen PA, Myklebust H, Kramer-Johansen J. A failed attempt to improve quality of out-of-hospital CPR through performance evaluation. *Prehosp Emerg Care* 2007;11:427-33.
10. Abella BS, Alvarado JP, Myklebust H, Edelson DP, Barry A, O’Hearn N, Vanden Hoek TL, Becker LB. Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *Jama* 2005;293:305-10.

11. Ian G. Stiell, Siobhan P. Brown, James Christenson, Sheldon Cheskes, Graham Nichol, Judy Powell, Blair Bigham, Laurie J. Morrison, Jonathan Larsen, Erik Hess, Christian Vaillancourt, Daniel P Davis, Clifton W. Callaway, and Resuscitation Outcomes Consortium (ROC) Investigators. What is the role of chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation? *Critical Care Medicine* 2012;40(4):1192-8.
12. Heidi Hellevuoa, Marko Sainiob, Riikka Nevalainenc, Heini Huhtalad, Klaus T. Olkkolae, Jyrki Tenhunenb, Sanna Hoppub. Deeper chest compression – more complications for cardiac arrest patients? *Resuscitation* 2013;84(6):760-5.
13. Ian G. Stiell, Siobhan P. Brown, Graham Nichol, Sheldon Cheskes, Christian Vaillancourt, Clifton W. Callaway, Laurie J. Morrison, James Christenson, Tom P. Aufderheide, Daniel P. Davis, Cliff Free, Dave Hostler, John A. Stouffer, Ahamed H. Idris and the Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. What is the optimal chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation of adult patients? *Circulation* 2014;130:1962-70.
14. Tyler Vadeboncoeur, Uwe Stolz, Ashish Panchali, Annemarie Silverc, Mark Venutid, John Tobine, Gary Smithe, Martha Nunezf, Madalyn Karamoozg, Daniel Spaiteb, Bentley Bobrowf,. Chest compression depth and survival in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2014;85(2):182-8.
15. Maier GW, Newton JR Jr, Wolfe JA, Tyson GS Jr, Olsen CO, Glower DD, Spratt JA, Davis JW, Feneley MP, Rankin JS. The influence of manual chest compression rate on hemodynamic support during cardiac arrest: High-impulse cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 1986;74(6):51-9.
16. MICHAEL P. FENELEY, M.D., GEORGE W. MAIER, M.D., KARL B. KERN, M.D., J. WILLIAM GAYNOR, M.D., STANLEY A. GALL, JR., M.D., ARTHUR B. SANDERS, M.D., KEN RAESSLER, M.D., LAWRENCE H. MUHLBAIER, PH.D., J. SCOTT RANKIN, M.D., AND GORDON A. EWY, M.D. Influence of compression rate on initial success of resuscitation and 24 hour survival after prolonged manual cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Circulation* 1988;77(1):240-50.
17. Standards and guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency care (ECC). *Jama* 1986;255:2905.
18. Moser DK CS. Recommendations for improving cardiopulmonary resuscitation skills retention. *Heart Lung* 1992;21(4):372-80.
19. Kern KB, Sanders AB, Raife J, Milander MM, Otto CW, Ewy GA. A study of chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation in humans. the importance of rate-directed chest compressions. *Arch Intern Med* 1992;152(1):145-9.
20. Jim Christenson, Douglas Andrusiek, Siobhan Everson-Stewart, Peter Kudenchuk, David Hostler, Judy Powell, Clifton W. Callaway, Dan Bishop, Christian Vaillancourt, Dan Davis, Tom P. Aufderheide, Ahamed Idris, John A. Stouffer, Ian Stiell, Robert Berg, the Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. Chest compression fraction determines survival in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation. *Circulation* 2009;120:1241-7.

21. Kramer-Johansen J, Myklebust H, Wik L, Fellows B, Svensson L, Sørebo H, Steen PA. Quality of out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with real time automated feedback: A prospective interventional study. *Resuscitation* 2006 12;71(3):283-92.
22. Ahamed H. Idris, Danielle Guffey, Tom P. Aufderheide, Siobhan Brown, Laurie J. Morrison, Patrick Nichols, Judy Powell, Mohamud Daya, Blair L. Bigham, Dianne L. Atkins, Robert Berg, Dan Davis, Ian Stiell, George Sopko, Graham Nichol and the Resuscitation Outcomes Consortium (ROC) Investigators. Relationship between chest compression rates and outcomes from cardiac arrest. *Circulation* 2012;125:3004-12.
23. Idris AHM, Guffey DM, Pepe PEM, Brown SPP, Brooks SCM, Callaway, Clifton W. MD, PhD, Christenson JM, Davis DPM, Daya MRM, Gray, Randal BS, MA Ed, NREMT-P, et al. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Critical Care Medicine* 2015;43(4):840-8.
24. Dean JM, Koehler RC, Schleien CL, Atchison D, Gervais H, Berkowitz I, Traystman RJ. Improved blood flow during prolonged cardiopulmonary resuscitation with 30% duty cycle in infant pigs. *Circulation* 1991 Lippincott Williams & Wilkins;84(2):896-904.
25. Sunde K, Wik L, Naess PA, Ilebekk A, Nicolaysen G, Steen PA. Effect of different compression–decompression cycles on haemodynamics during ACD–CPR in pigs. *Resuscitation* 1998 2;36(2):123-31.
26. Jung E, Babbs CF, Lenhart S, Protopopescu VA. Optimal strategy for cardiopulmonary resuscitation with continuous chest compression. *Acad Emerg Med* 2006;13(7):715-21.
27. Johnson BV, Coult J, Fahrenbruch C, Blackwood J, Sherman L, Kudenchuk P, Sayre M, Rea T. Cardiopulmonary resuscitation duty cycle in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2015 2;87:86-90.
28. Cheskes S. Resuscitation duty-cycle in out-of-hospital cardiac arrest: Is 40 the new 50? *Resuscitation* 2015:Editorial.
29. Kovacs A, Vadeboncoeur TF, Stolz U, Spaite DW, Irisawa T, Silver A, Bobrow BJ. Chest compression release velocity: Association with survival and favorable neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2015 7;92:107-14.
30. MATLAB. El lenguaje de cálculo técnico [Internet]; cConsultado el 31/01/2017. Available from: [https://es.mathworks.com/matlabcentral/?s\\_tid=gn\\_mlc](https://es.mathworks.com/matlabcentral/?s_tid=gn_mlc).
31. An open exchange for the MATLAB and Simulink user community [Internet]; cConsultado el 31/01/2017. Available from: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>.
32. Pricing and Licensing [Internet]; cConsultado el 31/01/2017. Available from: <https://es.mathworks.com/pricing-licensing.html>.
33. GNU Octave. Scientific Programming Language [Internet]; cConsultado el 31/01/2017. Available from: <https://www.gnu.org/software/octave/>.
34. Differences MATLAB vs Octave [Internet]; cConsultado el 31/01/2017. Available from: <https://lists.gnu.org/archive/html/octave-maintainers/2007-05/msg00028.html>.

35. Tarifas horarias investigación [Internet] Consultado el 14/02/2017]. Available from: <https://www.euskadi.eus/y22-bopv/es/bopv2/datos/2007/07/0704323a.shtml>.

## 13. Anexos

---

A continuación se detallan los anexos correspondientes a este trabajo. En primer lugar se presenta el anexo correspondiente a la normativa aplicable, en el cual se explican las bases de las guías de resucitación emitidas por distintos organismos. Después se muestran los detalles técnicos de la herramienta de selección y de análisis así como sus manuales de usuario correspondientes. Finalmente se muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo.

Anexo I: Normativa aplicable en casos de parada cardiorrespiratoria.

Anexo II: Herramienta de selección: diagramas de flujo, lógica de programación, estructura de la misma...

Anexo III: Herramientas de análisis: diagramas de flujo, lógica de programación, estructura de la misma...

Anexo IV: Resultados



# ANEXO I

## Normativa aplicable

---

## Introducción

El trabajo que se presenta en este documento no es un producto o servicio que vaya a comercializarse directa ni indirectamente, por lo que no se dispone de una normativa oficial a seguir. Este trabajo, al estar encuadrado en un proyecto de investigación, no dispone de normativa propia pero sí estará sujeto a las directrices de las guías oficiales de resucitación emitidas en 2010, por ser éstas las últimas en ser emitidas.

## Guías de resucitación

Las guías de resucitación son documentos emitidos por organismos regionales como el AHA y el ERC, y tratan de establecer protocolos de actuación en caso de parada cardiorrespiratoria. Estos consejos regionales están coordinados por el ILCOR, el cual se encarga de hacer que todos estos consejos regionales remen en la misma dirección. Las guías, por lo general, tienen la siguiente estructura:

1. Resumen
2. Utilización del soporte vital avanzado y de los DEA
3. Terapias eléctricas: DEA, desfibrilación, cardioversión y ritmo
4. Soporte vital avanzado para adultos
5. Gestión inicial de los síndromes coronarios agudos
6. Soporte vital pediátrico
7. Resucitación de bebés neonatos
8. Parada cardiorrespiratoria en circunstancias especiales: anomalías electrolíticas, envenenamientos, ahogamientos, hipotermias accidentales, hipertermias, asma, anafilaxis, cirugías cardíacas, traumas, embarazos o electrocuciones.

Como podemos apreciar, estas guías centran sus miradas en dos temas concretos. Por un lado tratan de facilitar la gestión y administración de situaciones de emergencia ocasionadas por paradas cardiorrespiratorias, buscando que el rescatador sepa qué debe hacer en todo momento. Por otra parte, se asegura de hacer una completa descripción del funcionamiento de los DEA, tanto para su utilización sobre personas adultas como sobre pacientes pediátricos.

En la primera de las partes, las guías de resucitación explican cuáles son los pasos a seguir por el rescatador en caso de parada cardiorrespiratoria. Estos pasos están basados en la llamada cadena de supervivencia, ilustrada en la figura 1, y determina los siguientes pasos.

- **Paso 1:** En primer lugar el rescatador debe cerciorarse de que realmente el diagnóstico del paciente es que sufre una parada cardiorrespiratoria y no una pérdida de consciencia, bajada de tensión o similares. Para ello, deberá asegurarse de que el paciente no respira por sí mismo y, sin mayor demora, pedir auxilio a personal médico especializado.
- **Paso 2:** El segundo eslabón de la cadena de supervivencia trata de que el rescatador ejerza el RCP sobre el paciente a la mayor celeridad posible. La inmediatez de la aplicación del RCP dobla o incluso triplica las

probabilidades de supervivencia del paciente, de ahí su importancia. Además, dichas probabilidades disminuyen entre un 8 y un 11 por ciento por cada minuto que pasa si no se aplica RCP. Esta maniobra debe ser realizada sólo en caso de no disponer de un equipo desfibrilador, ya que sólo nos permite ganar tiempo (en pocas ocasiones se recupera un ritmo normal aplicando sólo RCP).

- **Paso 3:** Como hemos dicho, el objetivo del paso 2 es el de ganar tiempo mientras acuden los servicios médicos. En presencia de estos, deberá aplicarse un shock eléctrico sobre el paciente para tratar de que el corazón recupere un ritmo normal. En caso de disponer de un DEA, deberá hacerse uso del mismo, ya que cuanto antes se aplique el shock eléctrico, mayores serán las probabilidades de supervivencia del paciente. Este shock se aplica a través de los parches desfibriladores colocados en el costado izquierdo del paciente bajo el pectoral, y sobre el pectoral derecho. En caso de utilizar un DEA, será el mismo aparato el que deberá decidir si es necesario aplicar un shock o no, para lo cual deberán interrumpirse las compresiones. En caso de disponer de un monitor desfibrilador, será necesaria la presencia de alguna persona que interprete los datos reflejados en pantalla.
- **Paso 4:** Finalmente el último de los eslabones define los cuidados post-resucitación que deben aplicarse. Estos cuidados están enfocados al mantenimiento del buen estado de órganos vitales, particularmente el corazón o el cerebro. Este paso ha adquirido vital importancia en los últimos años, en los cuales se han observado grandes diferencias entre pacientes dados de alta en hospitales en los que los cuidados post-resucitación eran más cuidadosos que en otros.

Como resumen tenemos la siguiente figura:

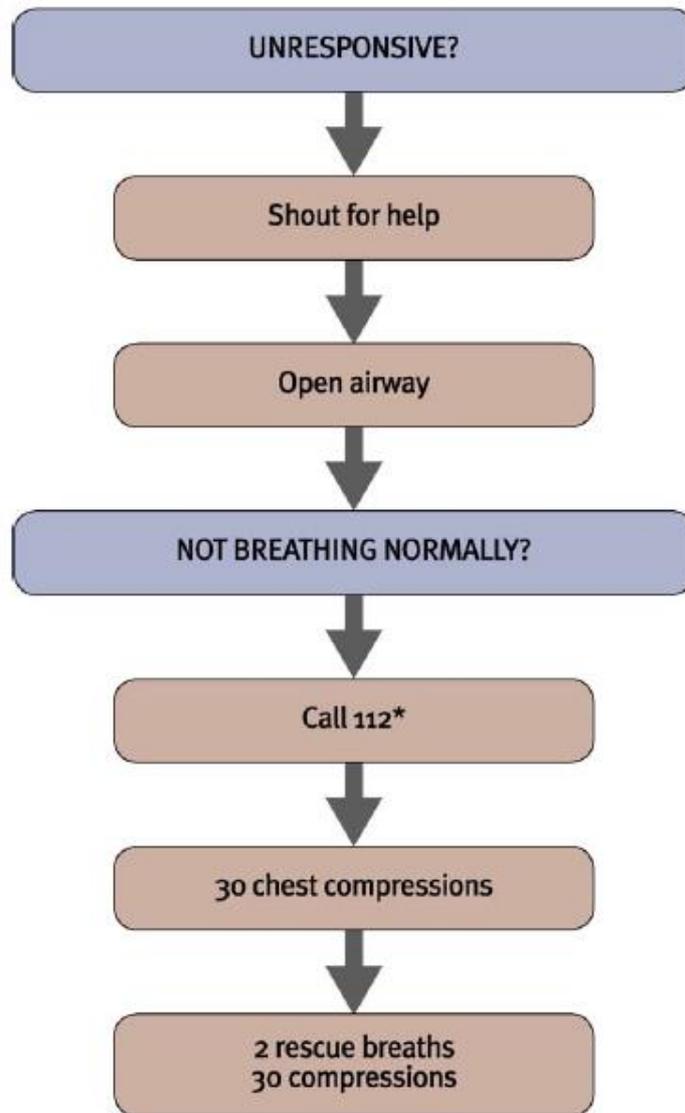


Figura 29: Protocolo de rescate en caso de parada cardiorrespiratoria

En estas guías también se determina el procedimiento para una correcta aplicación del soporte vital básico, el cual incluye las siguientes tareas.

- 1- Asegurarse que tanto la víctima, como el rescatador como cualquier persona relacionada estén fuera de otros peligros.
- 2- Buscar una respuesta por parte de la víctima, agitando sus hombros y preguntando en voz alta si se encuentra bien.
- 3- En caso de respuesta:
  - Dejarle en la posición en la que se encuentra, asegurándose de que no hay más peligros presentes.
  - Tratar de encontrar el motivo por el que el paciente se encuentra en esa situación y tratar de conseguir ayuda si es necesario.
  - Evaluar al paciente continuamente.

4- En caso de NO respuesta:

- Pedir auxilio
  - Tumbarse al paciente boca arriba y abrir su vía de aire; inclinar y estirar la barbilla.
  - Posar la mano sobre la frente y suavemente inclinarla hacia atrás.
  - Colocando los dedos en la barbilla, estirarla para abrir la vía de aire.

5- Manteniendo la vía de aire abierta, tratar de saber si existe respiración.

- Observar movimiento torácico.
- Escuchar posibles sonidos en la boca del paciente causados por la respiración.
- Tratar de sentir la respiración en la mejilla.
- Decidir si existe respiración o no, y en caso de existir si ésta es normal.

En los primeros minutos tras la parada cardiorrespiratoria el paciente puede respirar con dificultad y jadear, por lo que si existe cualquier duda de una correcta respiración, debe actuarse como si ésta no fuese normal.

6- Si se está respirando *normalmente*:

- Colocar al paciente en posición de recuperación.
- Pedir auxilio llamando al 112.
- Evaluar al paciente frecuentemente.

7- Si se está respirando *anormalmente* o no existe respiración:

- Avisar a alguien para que éste avise a los servicios de emergencia y conseguir un DEA si estuviese disponible. Si se encuentra solo, avisar a los servicios de emergencia tratando de dejar al paciente sólo el menor tiempo posible.
- Comenzar con las compresiones torácicas de la siguiente manera:
  - Arrodillarse al lado del paciente.
  - Colocar una de las manos sobre el centro del pecho del paciente (sobre el esternón).
  - Colocar la otra mano encima de la primera.
  - Entrelazar los dedos y asegurarse de que la presión no está siendo ejercida sobre las costillas del paciente. Mantener los brazos rectos. No aplicar presión sobre la

parte alta del abdomen ni sobre el extremo inferior del esternón.

- Posicionarse verticalmente sobre el pecho del paciente y aplicar presión hasta conseguir una profundidad de al menos 5 cm (sin exceder los 6 cm).
- Tras cada compresión eliminar toda presión sobre el pecho del paciente, sin llegar a perder el contacto con el mismo. Repetir este procedimiento a un ritmo de entre 100 y 120 compresiones por minuto.

#### 8- Combinar las compresiones torácicas con ventilaciones de rescate.

- Cada 30 compresiones abrir la vía de aire.
- Taponar la vía nasal con los dedos índice y pulgar.
- Mantener la boca del paciente abierta.
- Inspirar y colocar la boca alrededor de los labios del paciente.
- Soplar observando como el pecho del paciente va aumentando su tamaño.
- Manteniendo la vía de aire abierta, observar como el tamaño del pecho disminuye a la vez que el aire sale de los pulmones del paciente.
- Repetir el proceso e iniciar una nueva serie de 30 compresiones torácicas, siguiendo un ratio de 30 compresiones/2 ventilaciones.
- Parar sólo en caso de que el paciente empiece a moverse, respirar normalmente o abrir los ojos.

Si la ventilación de rescate no hace que el pecho se hinche, antes de continuar comprobar que no hay nada que obstruya la vía de aire, y nunca intentar más de dos ventilaciones antes de comenzar una nueva serie de 30 compresiones. En caso de haber presentes más personas capacitadas para aplicar RCP, turnarse cada 2 minutos. Si el rescatador no está entrenado para aplicar ventilaciones de rescate, aplicar sólo compresiones a un ritmo de 100 compresiones por minuto (nunca más de 120 compresiones por minuto). Este procedimiento no debe abandonarse hasta que llegue personal médico especializado, el paciente se recupere o el rescatador se encuentre exhausto.

Como vemos, es imprescindible el seguimiento de una serie de pasos para que el procedimiento sea eficaz. Sin embargo, el simple hecho de seguir los pasos anteriores no es suficiente si las compresiones no se realizan con un mínimo de calidad. Este mínimo sin duda incrementa las probabilidades de supervivencia, y está definido por unos valores concretos de profundidad de compresión, relajación del pecho y frecuencia de compresión. Los valores recomendados para cada uno de los parámetros son los siguientes.

- Profundidad de compresión: es imprescindible que la profundidad de cada una de las compresiones no supere los 6 cm y se encuentre siempre

alrededor de los 5 cm para garantizar la presión sobre el músculo cardíaco.

- Relajación del pecho: entre compresiones, es muy importante que el pecho del paciente quede completamente relajado. Esta relajación debe posibilitarse sin llegar a retirar las manos del pecho del paciente, evitando así brusquedades.
- Frecuencia de compresión: las compresiones deben realizarse a un ritmo de unas 100 compresiones por minuto, con un margen superior e inferior de 10 compresiones por minuto. Nunca deben superarse las 120 compresiones por minuto. Como consejo, puede seguirse el ritmo de la conocida canción de los “Bee Gees” *Stayin’ Alive*.

En las especificaciones anteriores es importante conocer los términos *profundidad de compresión* y *relajación del pecho*. Cuando hablamos de profundidad de compresión, hablamos de la distancia descendente que recorre el esternón del paciente durante cada compresión partiendo del estado de relajación, y cuando hablamos de relajación del pecho nos referimos a la vuelta del pecho del paciente a un estado de reposo total.

En base al procedimiento básico de reanimación analizado, y con el objetivo de ayudar al rescatador en lo posible, los llamados DEA identifican el ritmo cardíaco del paciente y aplican un shock eléctrico en caso de ser posible. Estos equipos trabajan con algoritmos de detección de ritmos previamente implementados, lo cual puede llegar a no ser lo suficientemente eficaz. De hecho hay multitud de ritmos sin explorar por falta de datos, con lo cual en caso de existir uno de estos ritmos no implementados en el DEA el diagnóstico puede ser inconcluso. Para la utilización de este equipo se definen los siguientes pasos:

1. Asegurarse de que tanto el rescatador, como la víctima como cualquier persona involucrada se encuentran fuera de otros peligros.
2. Seguir la secuencia del soporte vital básico.
  - Si la víctima no responde ni respira o respira anormalmente, enviar a alguien en busca de ayuda y buscar y acercarse un DEA.
  - Si el rescatador está solo, utilizar el teléfono móvil para avisar a la ambulancia, abandonando al enfermo sólo en caso de necesidad extrema.
3. Comenzar a aplicar RCP siguiendo la secuencia correspondiente al soporte vital básico. Si el rescatador está solo y tiene un DEA cerca, comenzar con su utilización.
4. Para utilizar el DEA:
  - Encender el DEA y colocar los parches de desfibrilación sobre el pecho del paciente como se indica en las figuras del DEA.
  - En caso de presencia de más de un rescatador, continuar aplicando RCP mientras se realiza la colocación de los parches de desfibrilación.
  - Seguir las directrices marcadas por el DEA visual o acústicamente.

- Asegurarse de que absolutamente nada ni nadie está en contacto con el paciente mientras el DEA analiza el ritmo cardíaco.
5. Si se indica SHOCK:
- Asegurarse de que nada ni nadie entra en contacto con el paciente.
  - Pulsar el botón de shock.
  - Inmediatamente comenzar con el RCP.
  - Continuar tal y como se indica en las señales visuales y acústicas.
6. Si se indica NO SHOCK:
- Continuar inmediatamente con el RCP.
  - Continuar tal y como se indica en las señales visuales y acústicas.
7. Seguir las instrucciones marcadas por el DEA hasta que:
- Los servicios de emergencia lleguen.
  - La víctima reaccione, se mueva, abra los ojos y respire normalmente.
  - El rescatador esté exhausto.

Como vemos, los pasos a seguir en caso de emergencia están claramente definidos por estas guías de resucitación. Cada 5 años los consejos las emiten, introduciendo novedades siempre basadas en evidencias científicas, tratando de facilitar la comprensión por parte de las administraciones, las cuales son las encargadas de transmitir estos conocimientos a la ciudadanía, aunque quizá con menos éxito del que se podría esperar.

# ANEXO II

## Herramienta de selección

---

## Introducción

El proceso de identificación y selección de compresiones es un trabajo largo y costoso debido a la gran cantidad de registros que deben ser analizados. Es por ello que se considera necesario elaborar una herramienta software capaz de realizar una representación gráfica de los registros y de diferentes datos complementarios, así como de llevar a cabo un análisis automático que aumente la efectividad en el desarrollo de este proceso. A continuación se detalla la estructura de la herramienta software y se adjunta un pequeño manual de usuario que facilite su uso.

## Estructura software

El software a utilizar en esta etapa del proyecto es la herramienta de ayuda a la identificación de compresiones en los registros extraídos de la base de registros. Esta herramienta recibe los datos necesarios para su ejecución de la base de registros y posteriormente vuelca la información relevante a una variable externa llamada *base* que la almacena para su posterior análisis. El esquema general es el mostrado en la siguiente figura.

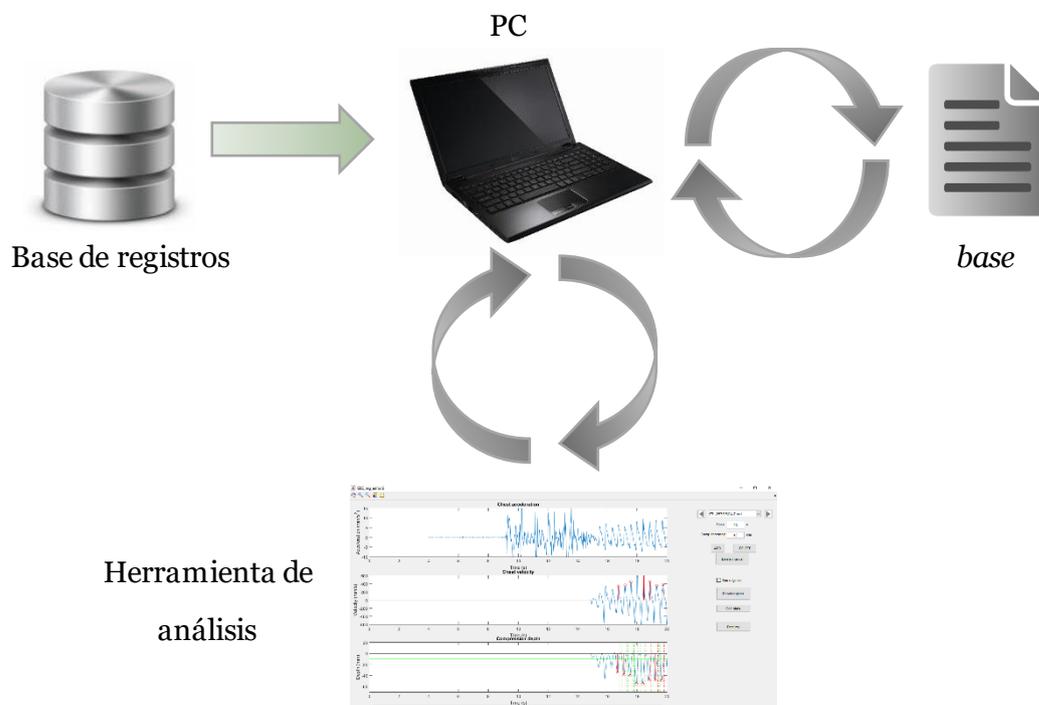


Figura 30: Estructura general de la herramienta de selección

La herramienta está basada en un software corriendo sobre PC. Este software basado en MATLAB obtiene la información necesaria desde una base de registros previamente instalada en el PC y vuelca a su vez los resultados en una variable llamada *base* también ubicada en el PC.

La base de registros contiene 102 registros de diferentes episodios reales de reanimación cardio-pulmonar, de los cuales se almacena la información relativa a la aceleración y a la profundidad de las compresiones, además de otra información no relevante para este trabajo. La variable *base* por otra parte es el fichero en el que se almacenará la información útil extraída de la base de registros y que posteriormente será analizada mediante la herramienta de análisis.

La herramienta software presenta un aspecto general como el de la siguiente figura.

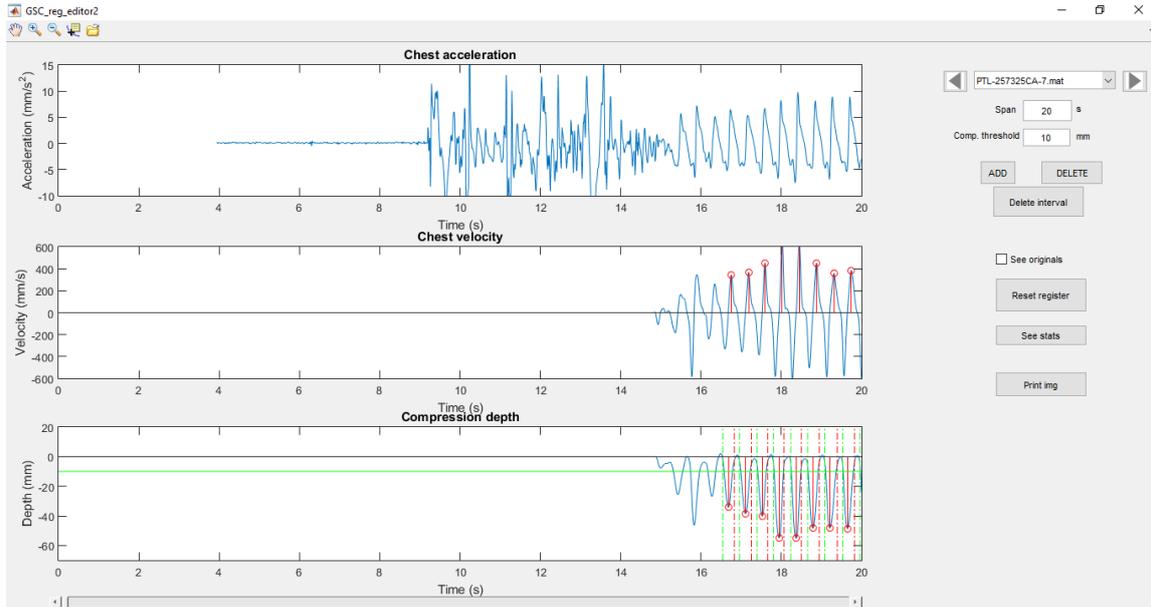


Figura 31: Interfaz gráfica de la herramienta de selección

La interfaz muestra dos paneles principales. En el panel de la izquierda se disponen los 3 ejes en los que quedan representadas las señales involucradas en el proceso, y en el panel de la derecha se ubican las herramientas a las que el usuario podrá acceder para la edición de los datos. A continuación se desglosa esta información en función de su utilidad.

### Panel de visualización

La mitad izquierda de la interfaz de usuario corresponde al panel de visualización de señales involucradas en el proceso. Este panel consta de 3 ejes de coordenadas en los que se representan, en orden descendente, los siguientes parámetros. En primer lugar se representa la señal de aceleración ( $\text{mm/s}^2$ ), seguida de la señal de velocidad ( $\text{mm/s}$ ) y por último, de la señal de profundidad ( $\text{mm}$ ).

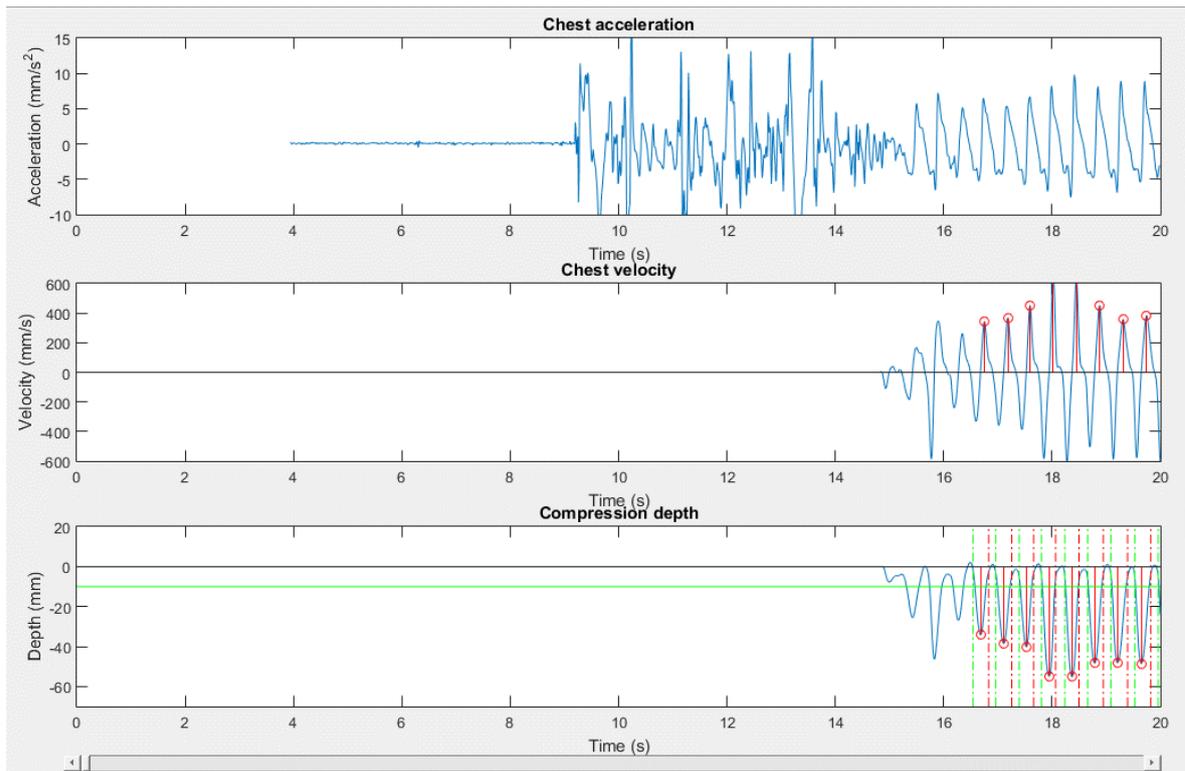


Figura 32: Panel de visualización

En la parte inferior se habilita un slider adaptable para permitir la navegación a lo largo de la señal. Este slider variará en función del span establecido por el usuario. En cuanto a los datos mostrados en la representación gráfica, las líneas verticales discontinuas de color verde indican el inicio de cada compresión y las rojas el final. Las líneas rojas verticales continuas coronadas por un círculo rojo relleno indican compresiones que se encuentran seleccionadas en ese instante. Del mismo modo, las líneas cuyo círculo rojo no está relleno indican compresiones identificadas como válidas. Por último la línea verde horizontal representada junto a la señal de profundidad indica el umbral mínimo de profundidad con el que trabajaremos. Todas las compresiones cuya profundidad máxima supere este umbral serán identificadas.

### Panel de edición

En el panel izquierdo de la interfaz se encuentran las herramientas necesarias para el control y modificación de los datos presentes en el anterior panel.

### Navegación

El panel de navegación permite el desplazamiento entre los distintos registros presentes en la base de registros. Para ello se dispone de un panel desplegable donde figuran los nombres de los registros, así como dos botones que posibilitan el desplazamiento hacia el registro siguiente o anterior.

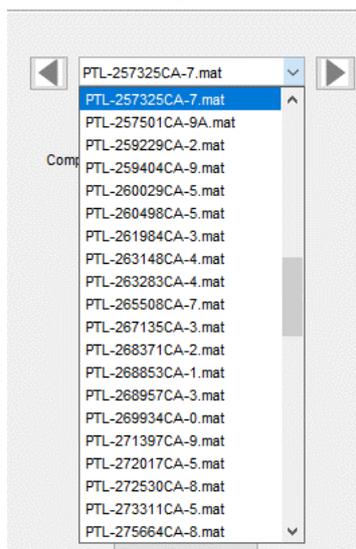


Figura 33: Panel de navegación

### **Ajustes**

En el panel de ajustes se habilitan dos opciones. La primera de ellas corresponde a la duración visible en los ejes de coordenadas, y permite al usuario establecer el valor deseado (entero). La segunda hace referencia al umbral que establece la profundidad mínima que deben alcanzar las compresiones para ser admitidas.



Figura 34: Panel de ajustes

### **Edición**

En el panel de edición se encuentran las herramientas destinadas a modificar los datos obtenidos por el análisis automático. Los botones ADD y DELETE permiten añadir y eliminar compresiones del conjunto de compresiones válidas, respectivamente. El botón DELETE INTERVAL ofrece la posibilidad de eliminar un intervalo de compresiones consecutivas evitando la eliminación una a una. El checkbox SEE ORIGINALS muestra, cuando está activo, las compresiones detectadas automáticamente, sin afectar en ningún caso a la selección en proceso y sólo a nivel informativo. Finalmente el botón RESET REGISTER permite al usuario restablecer las condiciones iniciales del registro en cuanto a compresiones detectadas y seleccionadas.

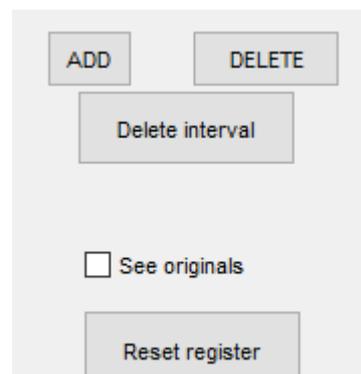


Figura 35: Panel de edición

### **Herramientas informativas**

En el panel de herramientas informativas se encuentran dos botones. El botón SEE STATS muestra las estadísticas correspondientes al registro tratado en ese instante. En el panel de estadísticas pueden verse las diferencias estadísticas en función de los valores asignados a diferentes parámetros (compresiones detectadas, compresiones eliminadas, diferencia de compresiones



Figura 36: Panel de herramientas informativas

detectadas con distintos umbrales). Por otra parte el botón PRINT IMG permite obtener un fichero de imagen con los datos mostrados en pantalla.

### Herramientas funcionales

El panel de herramientas funcionales es el más común ya que es utilizado en muchos ámbitos. En este panel encontramos, en orden de aparición de izquierda a derecha, los botones de navegación, zoom in, zoom out, marcador, y apertura de nueva base de registros.



Figura 37: Panel de herramientas funcionales

### Lógica de programación

La lógica de programación seguida en el software queda representada en la siguiente figura.

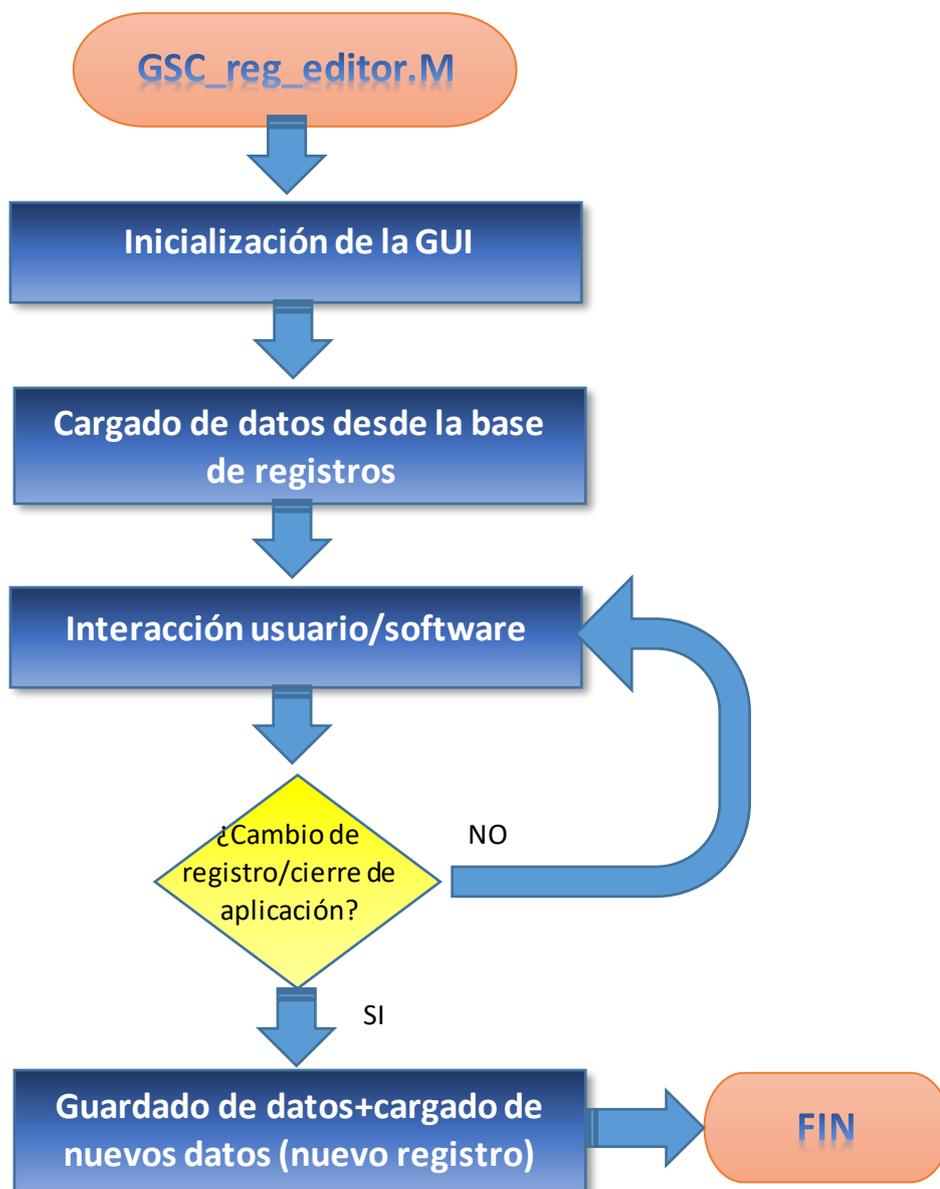
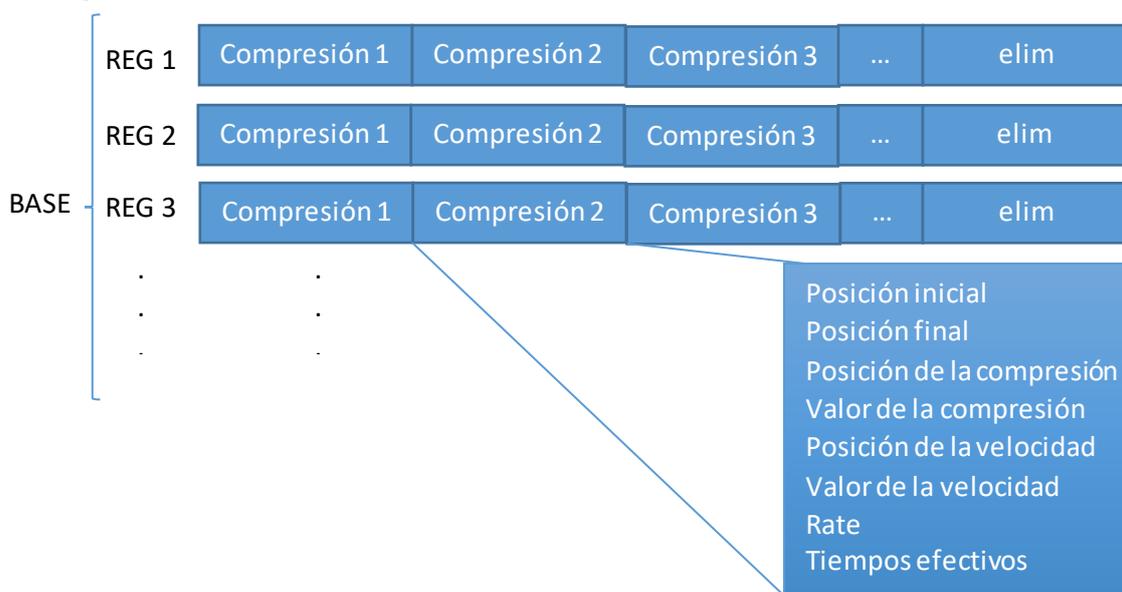


Figura 38: Lógica de programación

Durante la inicialización de la GUI se lleva a cabo el cargado de las imágenes, lista de registros disponibles, y datos disponibles del registro en cuestión. En caso de que la base de registros haya sido previamente modificada existirá la variable *base* desde la que se cargarán los datos correspondientes al último registro analizado. Una vez cargados los datos serán representados en los ejes de coordenadas, dejando en manos del usuario el control de la interfaz.

Los cambios ejecutados por el usuario en el registro activo serán almacenados en variables temporales que sólo serán volcados de manera definitiva a la variable *base* en el instante en el que el usuario decida cambiar el registro a analizar o cierre la aplicación.

La lógica seguida para la identificación de compresiones queda representada en la siguiente figura. La variable *base* es una estructura en la que cada campo corresponde a un registro.



*Figura 39: Descomposición de la variable base*

Para cada uno de los registros se almacena un campo referente a cada compresión identificada donde figuran los datos relativos a ésta. Además se almacena un campo llamado *elim*, en el que se guardan los identificadores de las compresiones que han sido eliminadas. En el caso del primer registro se añade otro campo en el que se almacena el nombre del último registro modificado como metadato para siguientes sesiones.

En caso de ser la primera vez que la base de registros es cargada, se lleva a cabo un preprocesado de los registros en los que se identifican los parámetros que luego se almacenarán en la variable *base*. Este preprocesado está basado en una serie de algoritmos que detectan las compresiones, sus mínimos, valores, etc. Para ello es necesario aplicar un remuestreado de la señal original para obtener una mayor precisión en los valores, ya que en caso contrario los márgenes de error son demasiado grandes para obtener conclusiones fiables. Los registros originales se encuentran muestreados a 250 muestras por segundo, y en este proceso se eleva a 1000 muestras por segundo, pasando así de disponer de 2 cifras decimales a 4 y aumentando la precisión.

En caso de no ser la primera vez que se accede a la base de registros los datos presentes en la variable *base* son cargados y representados en la interfaz gráfica.

## Manual de usuario

En el momento de ejecutar la aplicación se muestra al usuario la siguiente interfaz. Previamente la aplicación realiza una búsqueda de las bases de registros ubicadas en la carpeta donde la aplicación esté instalada y selecciona el primer registro disponible para mostrarlo, o el último modificado en caso de no ser la primera ejecución.

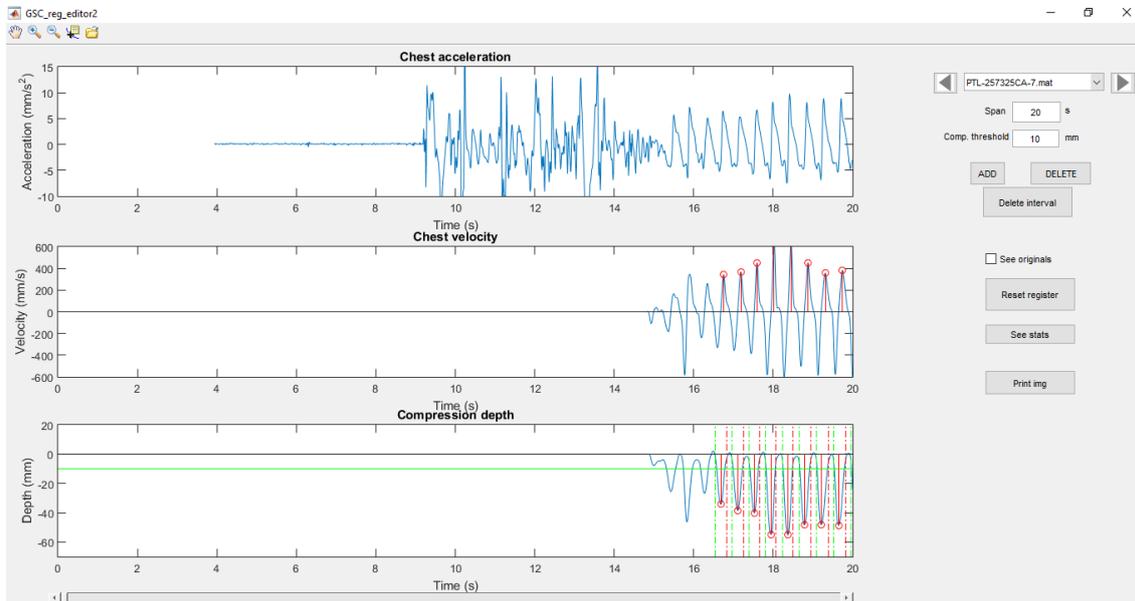


Figura 40: Interfaz original de la herramienta de selección

De manera automática el software analiza la base de registros e identifica las compresiones, marcadas gráficamente mediante una línea continua de color rojo coronada por un círculo de contorno rojo y relleno blanco. El inicio de las compresiones se indica mediante una línea verde discontinua, y el final mediante una línea roja discontinua. La línea horizontal continua de color verde indica el umbral seleccionado como valor mínimo que una compresión debe alcanzar para ser considerada como tal.

### Selección de registro

En la parte superior derecha de la interfaz se encuentra un menú desplegable con dos flechas en dirección derecha e izquierda a los lados. Pinchando sobre el desplegable el usuario puede elegir entre todos los registros presentes en la base de registros. Automáticamente el software realizará el análisis específico y mostrará los datos en la interfaz.



Figura 41: Herramienta de selección de registro

El botón representado por una flecha hacia la derecha permite al usuario desplazarse al registro siguiente (los registros están ordenados alfabéticamente) y el botón con la flecha hacia la izquierda, al registro anterior. En caso de ser el último o primer registro, respectivamente, no se lleva a cabo acción alguna.

## Edición de parámetros

Los campos reproducidos en la siguiente figura representan los parámetros editables por el usuario. El primero de ellos permite al usuario ajustar el tramo visible de la señal en los ejes de coordenadas, y el segundo editar el valor del umbral que determina la validez de las compresiones. Para modificarlos el usuario debe pinchar sobre el campo que desee editar, introducir el valor deseado y presionar la tecla Intro.

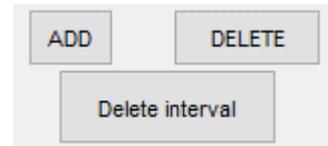


Span  s  
Comp. threshold  mm

Figura 42: Panel de edición de parámetros

## Edición de compresiones

Existen dos variantes para editar las compresiones identificadas automáticamente, y para ambas se utiliza el panel mostrado en la siguiente figura, constituido por 3 botones. El botón de nombre ADD permite añadir compresiones eliminadas, el botón DELETE permite eliminar compresiones seleccionadas y el botón DELETE INTERVAL permite eliminar compresiones consecutivas en un solo paso.



ADD DELETE  
Delete interval

Figura 43: Panel de edición de compresiones

Para añadir una compresión el usuario debe pinchar en el botón ADD. En ese instante aparecerá una línea continua vertical en el gráfico correspondiente a la profundidad que se desplazará con el movimiento del ratón. Si el usuario pincha sobre en cualquier punto del intervalo que comprende una compresión sin marcar, ésta quedará marcada con sus correspondientes marcas de profundidad máxima, inicio y fin de compresión.

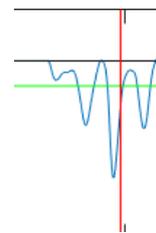


Figura 44: Ejemplo de adición de nueva compresión

Para eliminar una compresión el procedimiento es diferente. El usuario debe pinchar sobre las compresiones que desee eliminar y éstas quedarán marcadas de manera que el círculo que las corona quedará relleno de color rojo. Una vez que el usuario haya seleccionado todas las compresiones a eliminar debe pinchar en el botón DELETE.

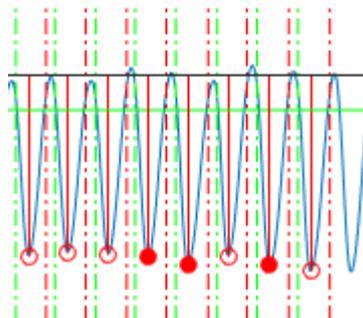
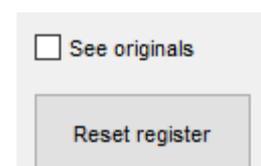


Figura 45: Ejemplo de eliminación de compresiones

En la figura anterior se muestran compresiones seleccionadas (círculo rojo relleno) y no seleccionadas. Para evitar tener que marcar una a una todas las compresiones que se deseen eliminar, y si estas son consecutivas, el usuario tiene la opción de pinchar sobre el botón DELETE INTERVAL. Una vez pinchado, se indica al usuario que seleccione la primera de las compresiones del tramo a eliminar, para después indicarle que pinche la última del tramo. En el momento en el que estos dos puntos estén seleccionados, el tramo quedará automáticamente descartado.



See originals  
Reset register

Figura 46: Panel de reseteo de registros

Además se permite al usuario mostrar junto a las compresiones el estado original del registro así como restablecer esos valores originales. Para ello se disponen los botones SEE ORIGINALS y RESET REGISTER, respectivamente. En cuanto al primero de ellos, consiste en un checkbox que permite la simultaneidad entre la visión de los originales y el estado actual.

## Herramientas

El usuario tiene a su disposición dos herramientas para mejorar la experiencia de usuario. La primera de ellas permite ver las estadísticas respecto a las condiciones impuestas para la detección automática de compresiones, así como las respectivas al número de compresiones eliminadas.



Figura 47: Herramientas informativas

En segundo lugar se ofrece la posibilidad de imprimir los ejes de coordenadas mostrados en el instante en el que se selecciona el botón. Las imágenes extraídas son almacenadas en formato jpg en la carpeta en la que se encuentra instalada la aplicación.

## Guardado de datos

Respecto al almacenamiento de los cambios llevados a cabo durante la edición de las compresiones, éste es llevado a cabo automáticamente en el momento en que el usuario cierra la aplicación o cambia de registro.

## Herramientas adicionales

En la barra de herramientas tradicionales ubicada en la parte superior izquierda de la interfaz el usuario puede hacer uso de las siguientes herramientas. La herramienta de navegación, representada por un icono de una mano posibilita desplazarse por los ejes de coordenadas, para lo cual el usuario debe pinchar y arrastrar hacia donde desee. Las herramientas de zoom, representadas por dos lupas con el icono + y el icono – permiten ampliar una zona concreta de los ejes de coordenadas respectivamente. El procedimiento de pinchar y arrastrar es el mismo que en el caso de la herramienta de navegación. Para seleccionar un punto y recibir información sobre él (coordenadas, valores, etc.) se dispone de otro icono representado por un signo + y un documento de texto sobreimpresionados sobre una línea azul. Para utilizarlo solo es necesario pinchar sobre el icono y luego seleccionar el punto del gráfico sobre el que queremos obtener información. Por último, el botón cuyo icono es una carpeta amarilla permite al usuario cambiar la base de registros sobre la que se trabaja.



Figura 48: Herramientas funcionales

# ANEXO III

## Herramientas de análisis

---

## Introducción

Se han desarrollado varias herramientas de análisis para esta trabajo, teniendo en cuenta los diferentes requisitos presentes y con el objetivo de satisfacer todas las necesidades. A continuación se detalla cada una de ellas.

### analisis\_duty\_cycle

Para observar el comportamiento del duty cycle respecto a otros parámetros se desarrolla esta herramienta. En el momento de ejecutarla el usuario puede ver la siguiente interfaz.

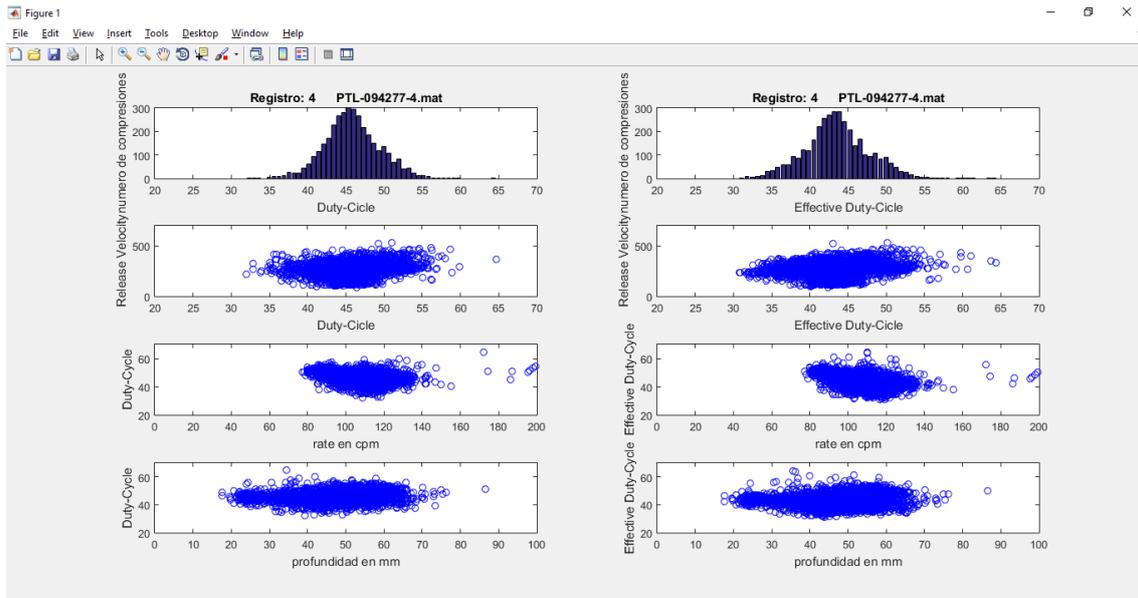


Figura 49: Interfaz de la herramienta analisis\_duty\_cycle

En el momento en que el usuario presione cualquier tecla la interfaz cambiará para mostrar los datos del siguiente registro de la base de registros. Esta acción se repetirá para cada uno de los registros de la base.

Los primeros dos gráficos de la parte superior de la interfaz muestran el número de compresiones presentes en el registro frente al duty cycle total y efectivo (%) mediante un histograma. En orden descendente, los dos siguientes enfrentan la velocidad de descompresión y el duty cycle total y efectivo (%). A continuación se muestra el duty cycle total y efectivo (%) frente al rate en compresiones por minuto. En último lugar pueden verse el duty cycle total y efectivo frente a la profundidad representada en milímetros.

### analisis\_profundidad\_frecuencia

Para analizar la relación entre la profundidad alcanzada por las compresiones y los diferentes tiempos que toman parte en el proceso se desarrolla esta herramienta. La interfaz mostrada es la siguiente.

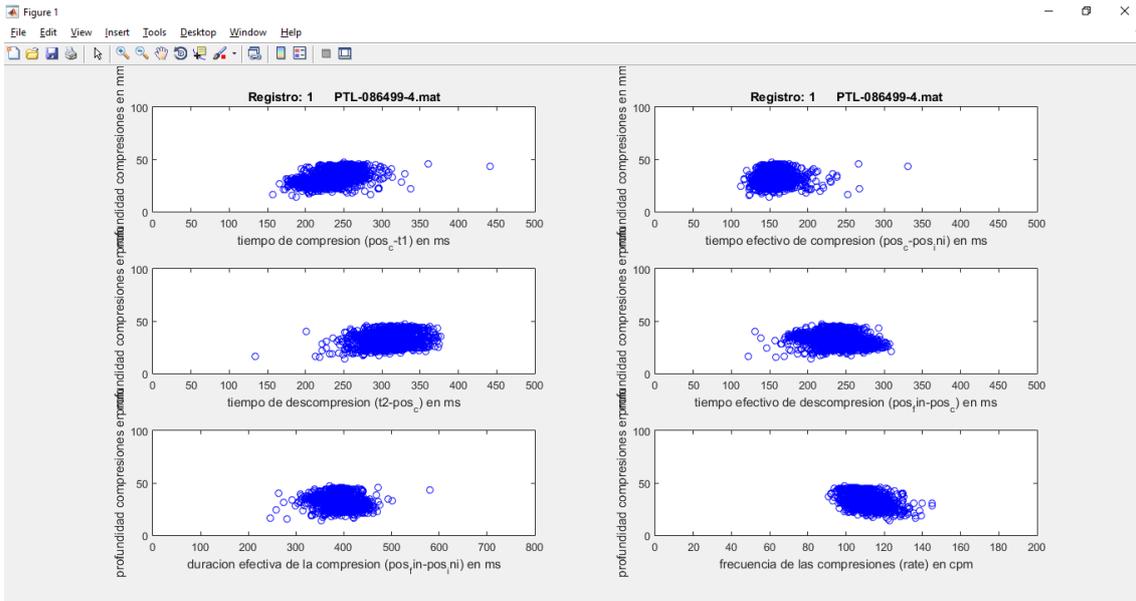


Figura 50: Interfaz de la herramienta analisis\_profundidad\_frecuencia

En la fila superior se muestran los gráficos correspondientes a la profundidad frente al tiempo de compresión (total a la izquierda, efectivo a la derecha). Los gráficos de la segunda fila indican los mismos datos, sustituyendo el tiempo de compresión por el tiempo de descompresión. En la fila inferior los ejes de ordenadas muestran la profundidad de las compresiones, mientras que los ejes de abscisas muestran la duración efectiva de las compresiones (derecha) y la frecuencia o rate de las compresiones (izquierda).

### analisis\_release\_velocity1/2/3

Se han desarrollado 3 herramientas similares (ya que se representan los mismos datos de base en las 3) sobre la que se van introduciendo pequeñas modificaciones. Los datos básicos representados en las 3 herramientas son los siguientes.

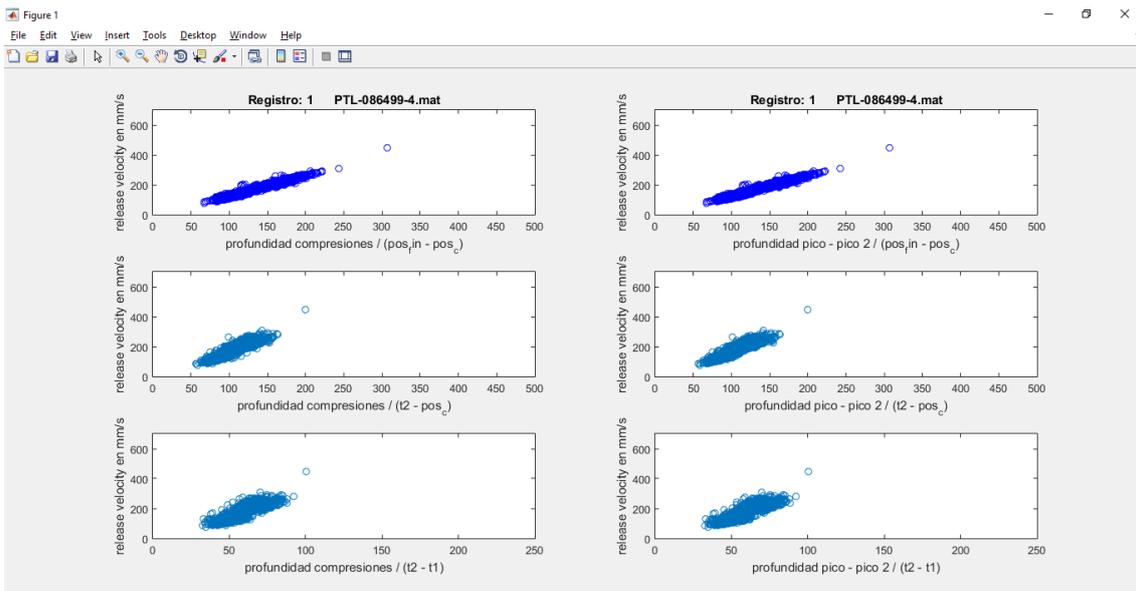


Figura 51: Interfaz de la herramienta analisis\_release\_velocity\_1

En la fila superior se representan la velocidad de descompresión frente a la profundidad de las compresiones entre el tiempo de descompresión. En la figura de la izquierda se toma la profundidad total, mientras que en la figura de la derecha se toma la profundidad efectiva. En la segunda fila los datos son los mismos, sustituyendo el tiempo de descompresión por el tiempo de descompresión efectivo, y en la fila inferior se sustituye por el tiempo de ciclo efectivo.

En la primera modificación de la herramienta, en la columna derecha se indican en color rojo los puntos correspondientes a compresiones que cumplen los requisitos indicados en las guías de resucitación mediante los que se acepta una compresión como válida ( $5\text{cm} < \text{prof} < 6\text{cm}$  y  $100 \text{ comp/min} < \text{rate} < 120 \text{ comp/min}$ ). En la izquierda se muestran las compresiones que cumplen las condiciones al menos en su límite inferior, es decir:  $\text{prof} > 5\text{cm}$  y  $\text{rate} > 100 \text{ comp/min}$ . En cuanto a los ejes de abscisas, estos se mantienen con respecto al caso anterior.

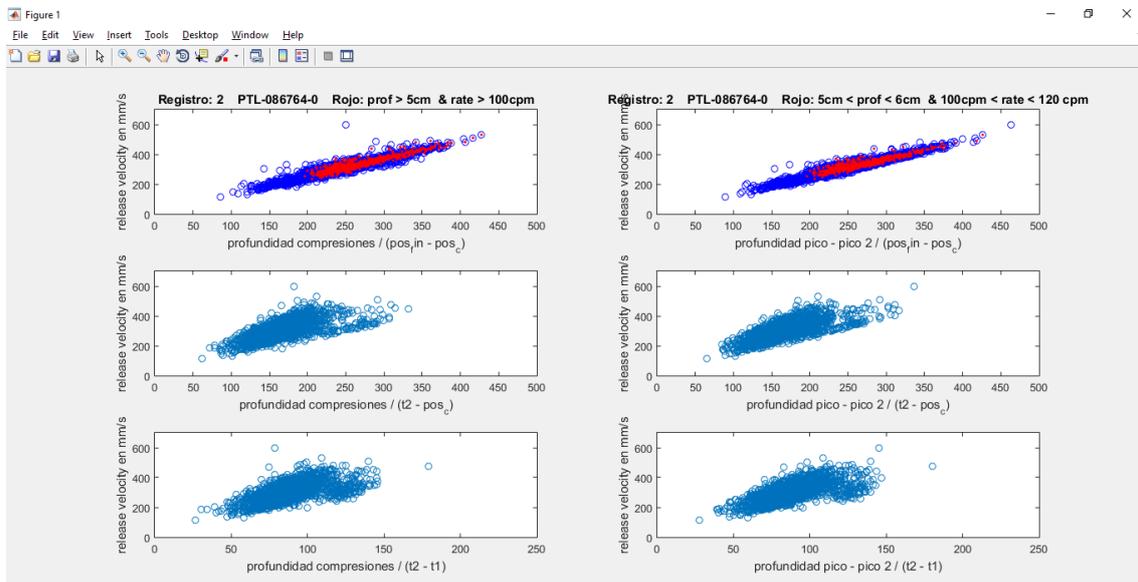


Figura 52: Interfaz de la herramienta analisis\_release\_velocity\_2

En la tercera modificación se identifican mediante un punto rojo las compresiones que cumplen el requisito de que la velocidad de descompresión es superior a  $200\text{mm/s}$ . Siendo los ejes los mismos que en los casos anteriores, en la columna izquierda se resaltan con un punto rojo los puntos que, pese a cumplir el requisito de velocidad, no cumplen los requisitos básicos de profundidad y frecuencia de las compresiones válidas ( $\text{prof} < 5\text{cm}$  y  $\text{rate} < 100\text{comp/min}$ ). En la columna derecha las compresiones resaltadas siguen el mismo guion, aunque en este caso se limita a las compresiones que no cumplen los requisitos con un margen más amplio ( $\text{prof} < 4\text{cm}$  y  $\text{rate} < 90\text{comp/min}$ ).

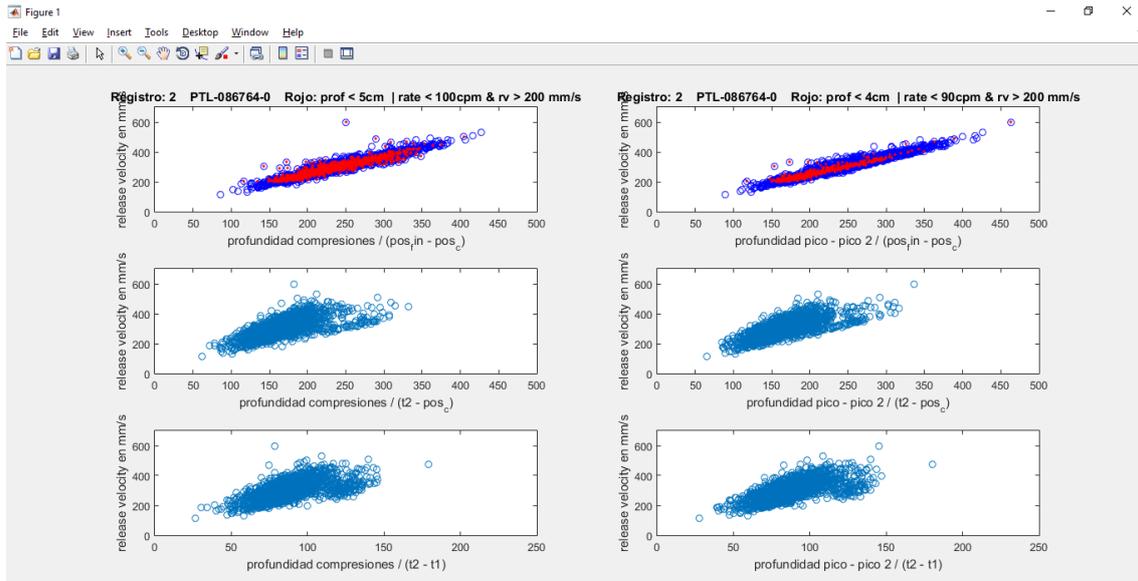


Figura 53: Interfaz de la herramienta analisis\_release\_velocity\_3

## graphs\_art

Como medio para concentrar la mayor parte de los resultados se desarrolla esta función en la que a través de distintos gráficos los resultados obtenidos quedan condensados en una sola función. Ejecutando esta función se contempla en primer lugar un boxplot que aglutina todas las variables temporales que toman parte en el trabajo.

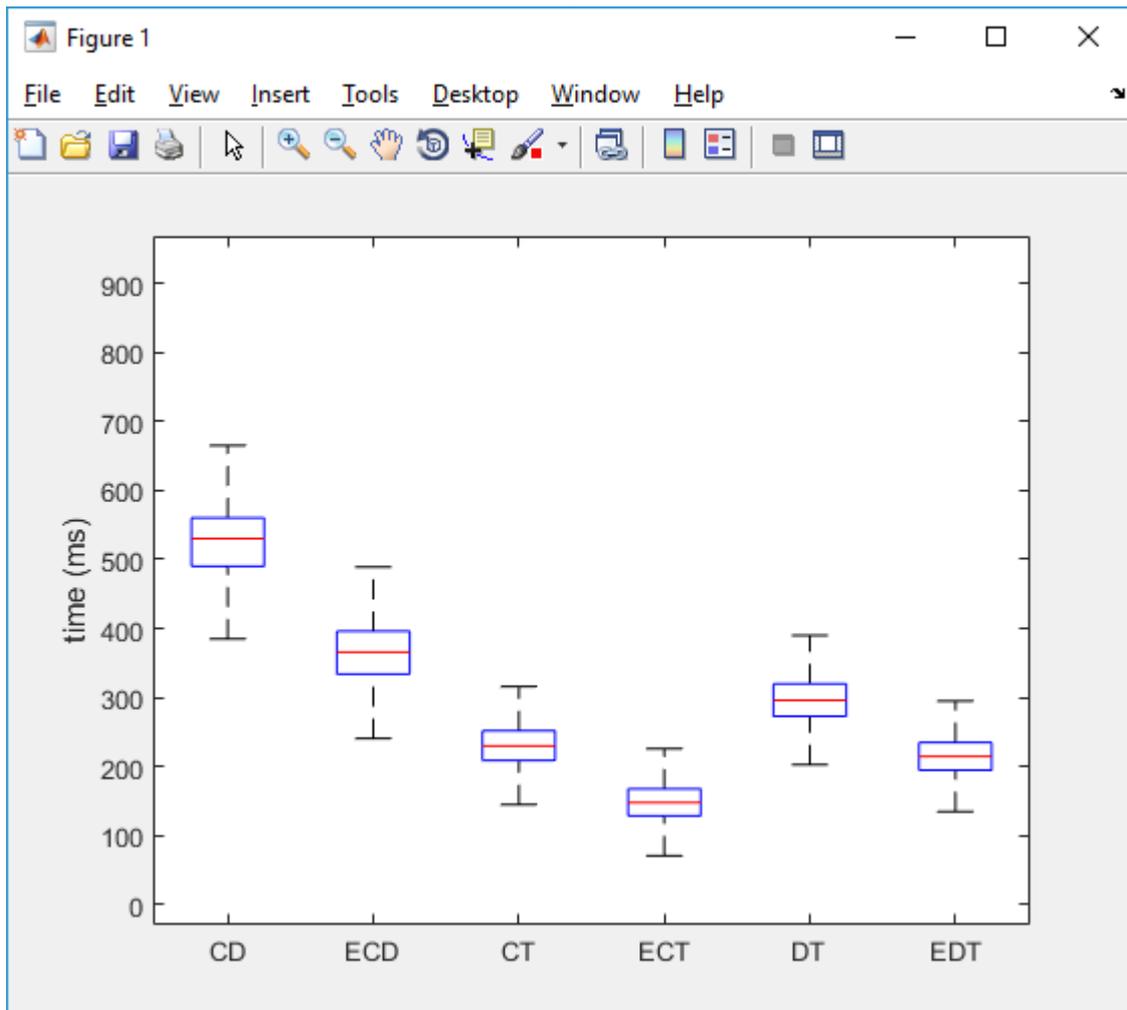


Figura 54: Interfaz de la herramienta graphs\_art 1

Mientras en el eje de ordenadas se ubica la variable temporal, en el eje de abscisas se muestran, de izquierda a derecha, el tiempo de ciclo, el tiempo de ciclo efectivo, el tiempo de compresión, el tiempo de compresión efectivo, el tiempo de descompresión y el tiempo de descompresión efectivo. Las líneas rojas horizontales indican el valor medio de las variables, mientras que las cajas azules representan los percentiles 25 y 75.

El siguiente gráfico representa las variables básicas involucradas en el trabajo en forma de histograma, mostrando así su comportamiento.

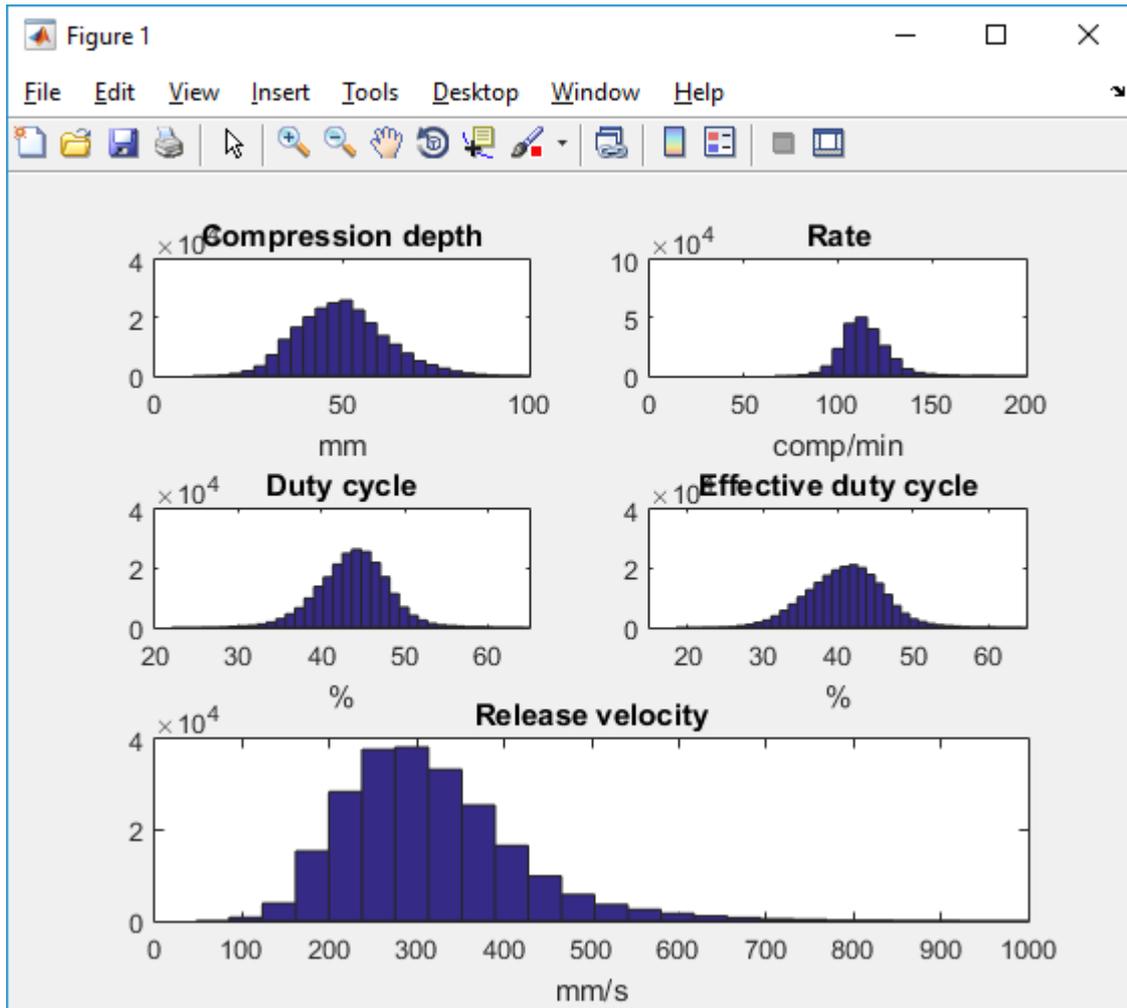


Figura 55: Interfaz de la herramienta graphs\_art 2

En la fila superior se muestran la profundidad alcanzada por las compresiones en el lado izquierdo y la frecuencia de las mismas en el derecho. En la fila central, en la parte izquierda se muestra el duty cycle, quedando el duty cycle efectivo en la zona derecha. En la parte inferior de la interfaz se muestra la distribución de valores de la variable de velocidad de descompresión.

La siguiente figura representa los mismos parámetros para diferentes registros, siendo los parámetros la velocidad de descompresión frente a la profundidad entre el tiempo efectivo de descompresión.

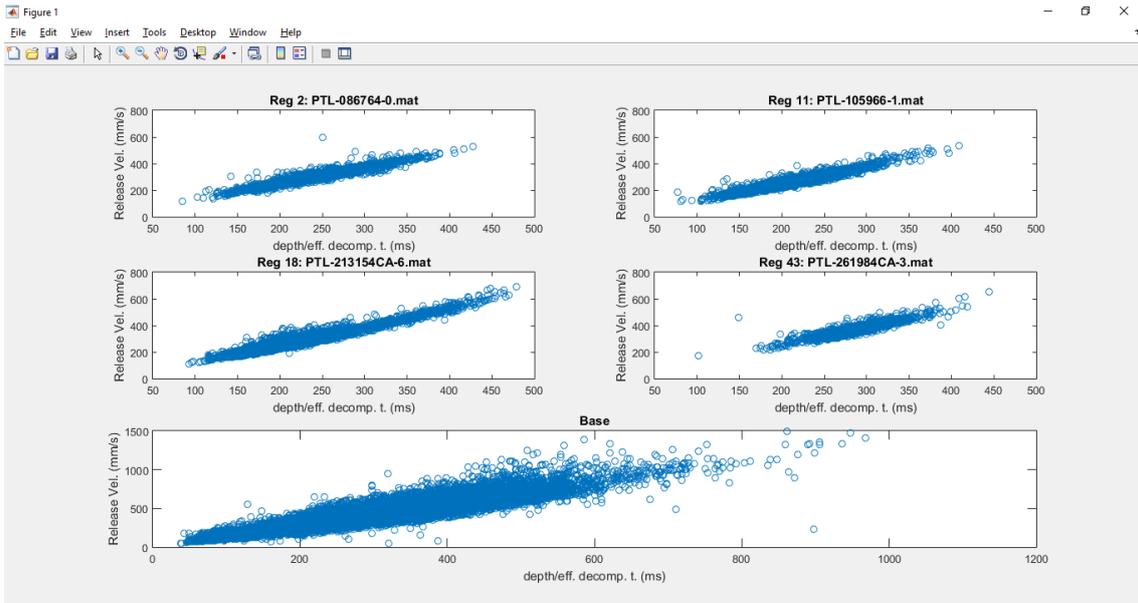


Figura 56: Interfaz de la herramienta graphs\_art 3

En la imagen inferior se muestran los datos relativos a todas las compresiones presentes en la base de registros.

En último lugar se presentan los datos relativos al tiempo de compresión (total y efectivo) frente a la profundidad de compresión y a la frecuencia a la que se ejecutan las compresiones. En la columna izquierda se muestran los datos en forma de nube de puntos, mientras que en la izquierda se indica mediante líneas (la azul hace referencia a valor medio en ese punto, la roja al percentil 25 y la amarilla al percentil 75).

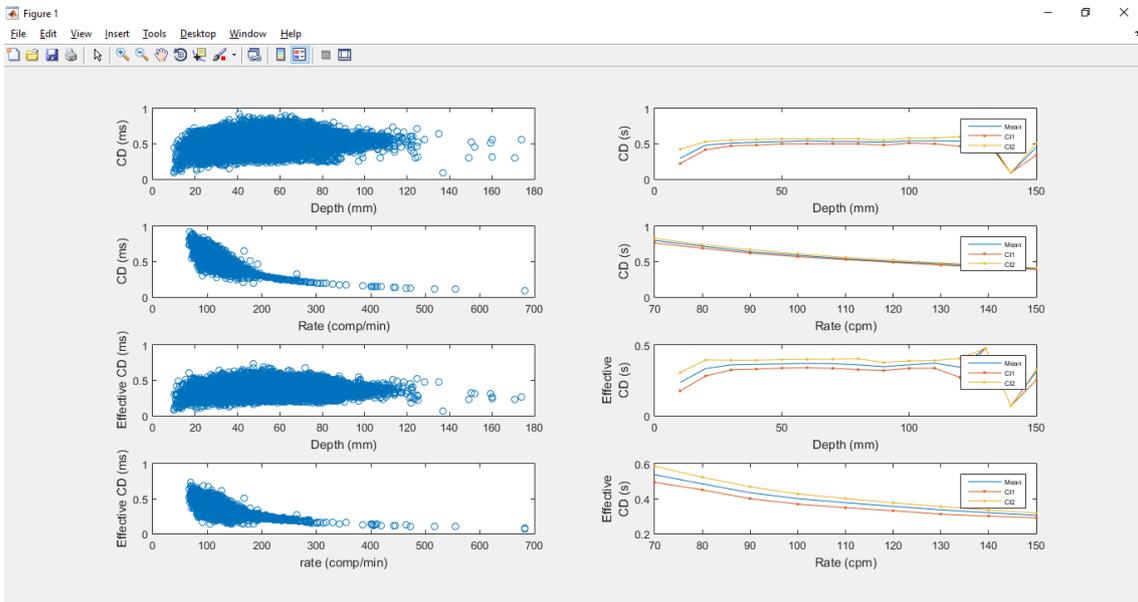


Figura 57: Interfaz de la herramienta graphs\_art 4

## resultados

Como medio para acceder a todos los resultados obtenidos en este trabajo se desarrolla esta herramienta, consistente en un menú en el que se disponen diferentes opciones. En orden descendente, el usuario puede acceder a los datos relevantes sobre el

duty cycle, tiempos de compresión, tiempos de descompresión, profundidad, velocidad, y finalmente un resumen de todos los parámetros registro a registro.

En las 3 variables temporales (duty cycle, tiempo de compresión y tiempo de descompresión) se despliega en primer lugar un histograma en el que se recoge el comportamiento de todas las compresiones de la base de registros, así como un boxplot en el que se detalla el comportamiento del parámetro en cada uno de los registros.

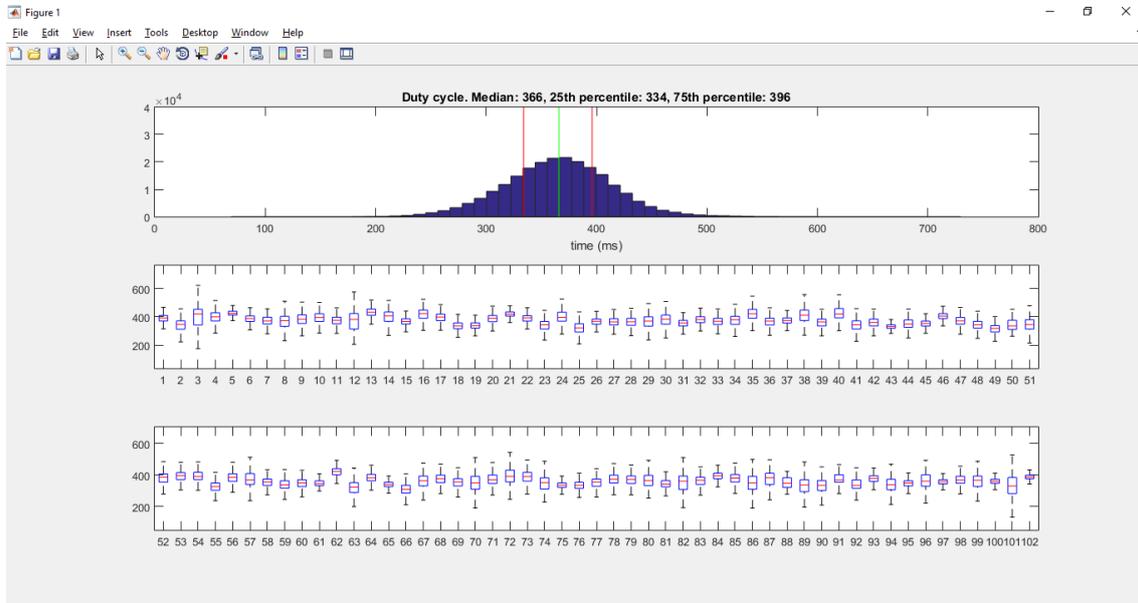


Figura 58: Interfaz de la herramienta resultados->Duty Cycle

Presionando cualquier tecla se accede al siguiente panel, en el que se muestra mediante dos histogramas la diferencia entre la variable temporal total (imagen superior) y la efectiva. En el caso de la profundidad y de la velocidad solo se muestra anterior ya que en estos casos el concepto de efectividad no tiene sentido.



Figura 59: Menu de la herramienta resultados

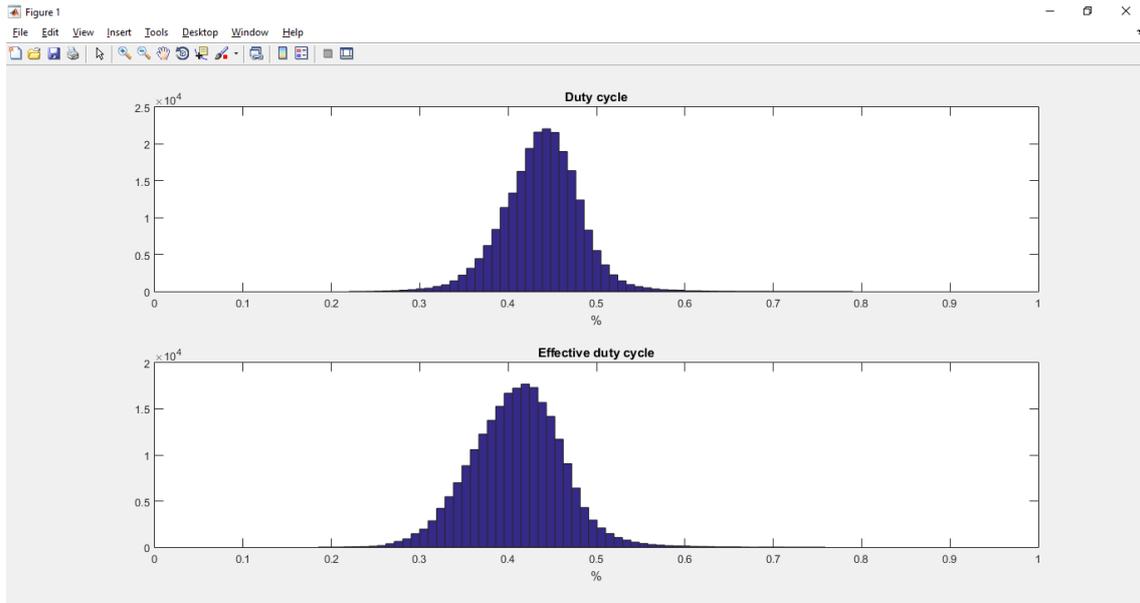


Figura 60: Segunda interfaz de la herramienta resultados->Duty Cycle

La siguiente opción permite al usuario ver para cada registro el comportamiento de los parámetros más relevantes. La siguiente figura indica la distribución de los gráficos presentes. El gráfico superior indica la distribución del parámetro duty cycle y el inmediatamente inferior el tiempo de descompresión efectivo. En cuanto a los gráficos de la mitad inferior de la figura, en la columna izquierda figuran el tiempo de compresión efectivo y la profundidad de compresión, y en la columna derecha la relación velocidad-profundidad y la velocidad de descompresión.

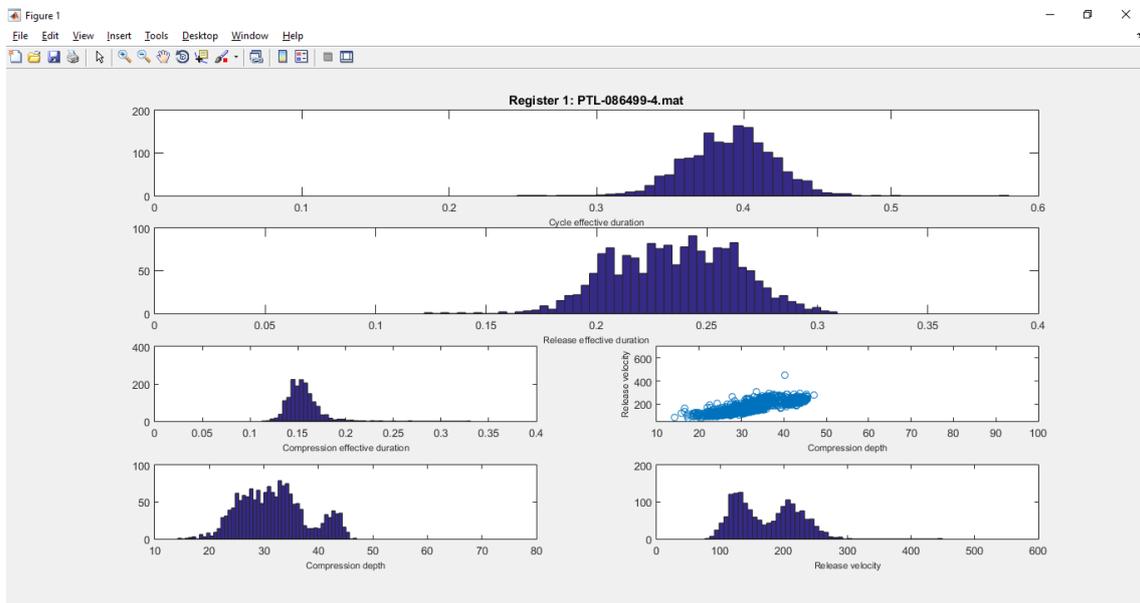


Figura 61: Interfaz de la herramienta resultados->1-by-1

Por último se ofrece la posibilidad de visualizar las características de las compresiones eliminadas, así como de compararlas con las seleccionadas. En las figuras mostradas se ofrecen histogramas para la variable duty cycle (total y efectiva), tiempo de compresión (total y efectivo), tiempo de descompresión (total y efectivo), profundidad y velocidad. En las siguientes dos figuras se muestra un ejemplo para las variables duty cycle y profundidad.

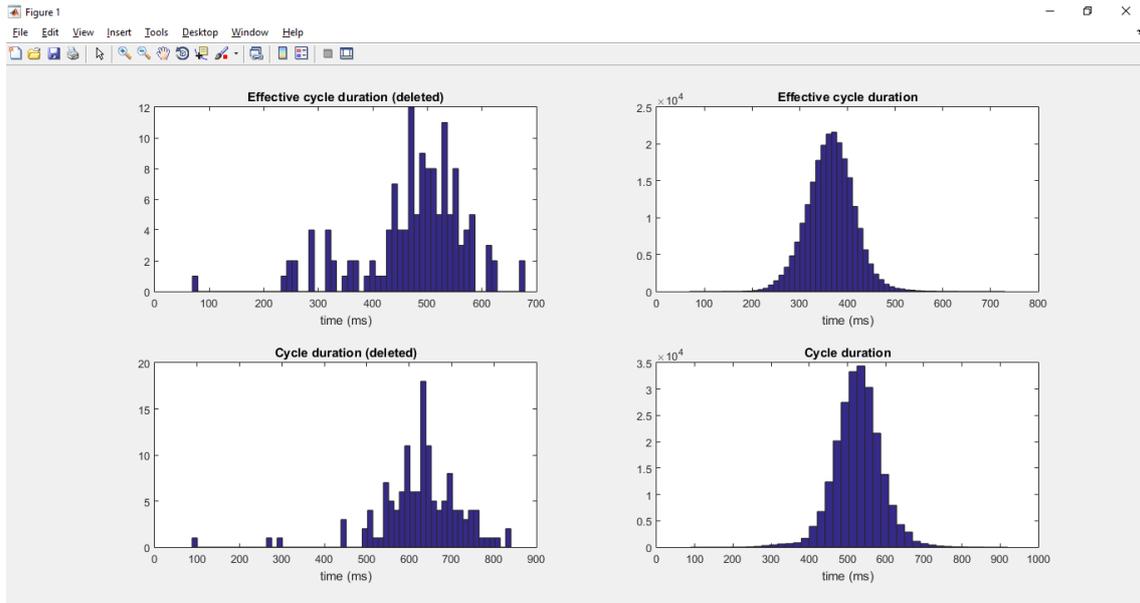


Figura 62: Interfaz de la herramienta resultados->Deleted

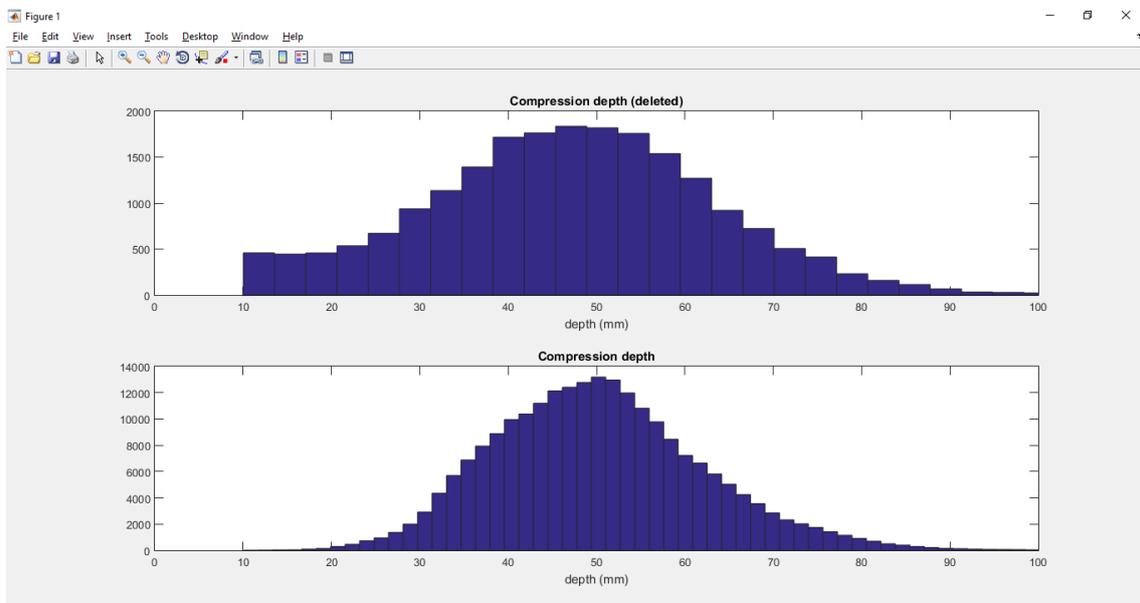


Figura 63: Segunda interfaz de la herramienta resultados->Deleted



# ANEXO IV

## Resultados

---

## Caracterización de parámetros

Las compresiones extraídas de la base de registros presentan un comportamiento disperso para todos los parámetros involucrados. La figura 64 indica la duración de las distintas fases de las compresiones.

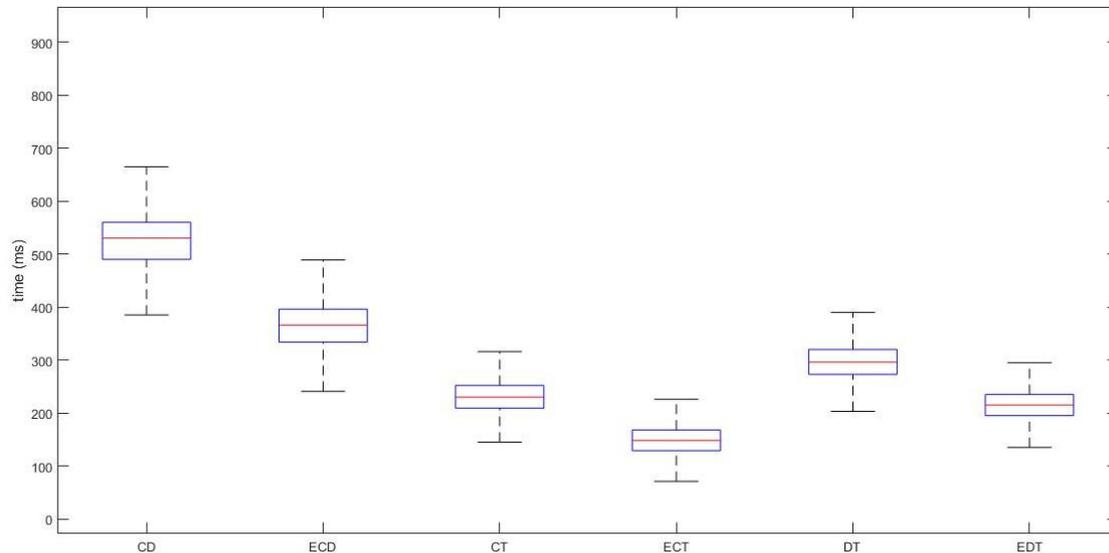


Figura 64: Duración de las distintas fases de las compresiones

De izquierda a derecha se muestran el tiempo de ciclo, tiempo efectivo de ciclo, tiempo de compresión, tiempo efectivo de compresión, tiempo de descompresión y tiempo efectivo de descompresión. Tanto para los tiempos totales como para los efectivos, el tiempo de ciclo corresponde a la suma del tiempo de compresión y el tiempo de descompresión.

Cuando hablamos de tiempos efectivos nos referimos a los instantes en los que la compresión realmente es efectiva, es decir cuando la presión ejercida supera las barreras cutáneas y realmente provoca un efecto hemodinámico. Es por ello que estos tiempos son más reducidos que los tiempos totales, que son aquellos relativos a los instantes en los que se ejerce algún tipo de presión sobre el pecho del paciente.

Los valores de los parámetros temporales se resumen en la tabla x teniendo en cuenta su valor medio y sus percentiles 25 y 75. Todos los valores se muestran en ms.

Parámetro	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
<b>Tiempo de ciclo</b>	490	530	560
<b>Tiempo de ciclo efectivo</b>	334	366	396
<b>Tiempo de compresion</b>	209	230	252
<b>Tiempo de compresion efectivo</b>	129	148	168
<b>Tiempo de descompresión</b>	273	296	320
<b>Tiempo de descompresión efectivo</b>	195	215	235

Tabla 28: Valores de parámetros de las diferentes fases temporales

La profundidad de las compresiones varía en función de muchos parámetros tales como la complejión física del rescatador y del paciente, edad del rescatador, situación de rescate etc. La distribución del parámetro de profundidad puede verse en la figura 65

donde la media se sitúa en 49,6323 cm, valor por debajo de la media de lo recomendado por las guías de resucitación.

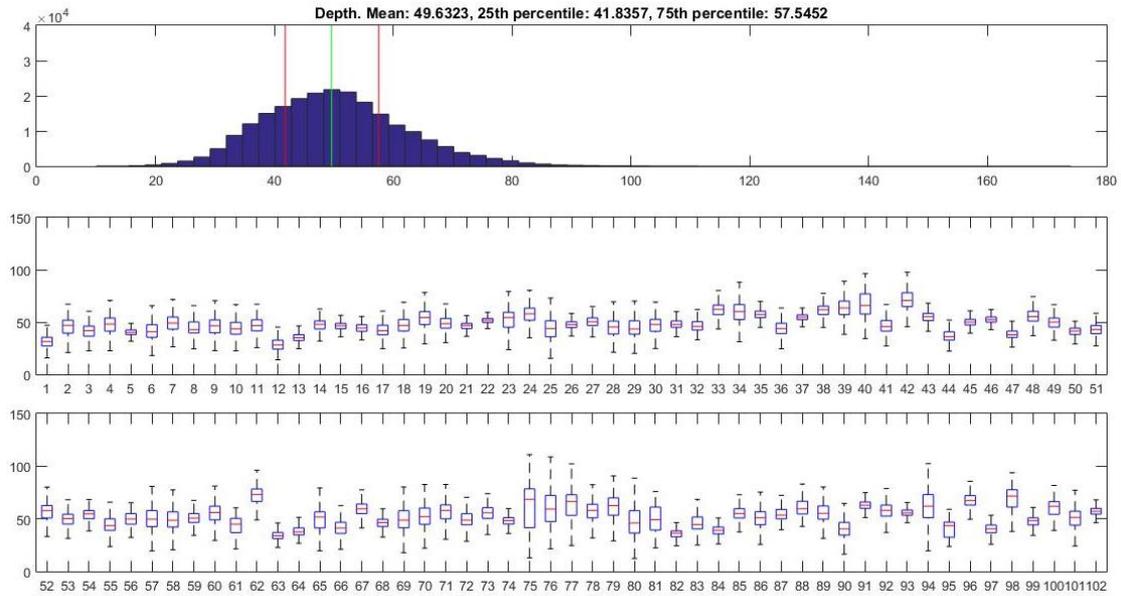


Figura 65: Distribución del parámetro de profundidad

La inestabilidad de este parámetro puede verse en los boxplot de la parte inferior de la figura donde se muestra la distribución del parámetro registro a registro. En él figuran registros en los que las compresiones se concentran en unos valores muy concretos mientras que en otros la dispersión es evidentemente más grande.

En cuanto a la velocidad, mostrada en la figura 66 ocurre algo similar. Siendo un parámetro dependiente en gran medida de factores externos su variación es muy amplia de registro a registro.

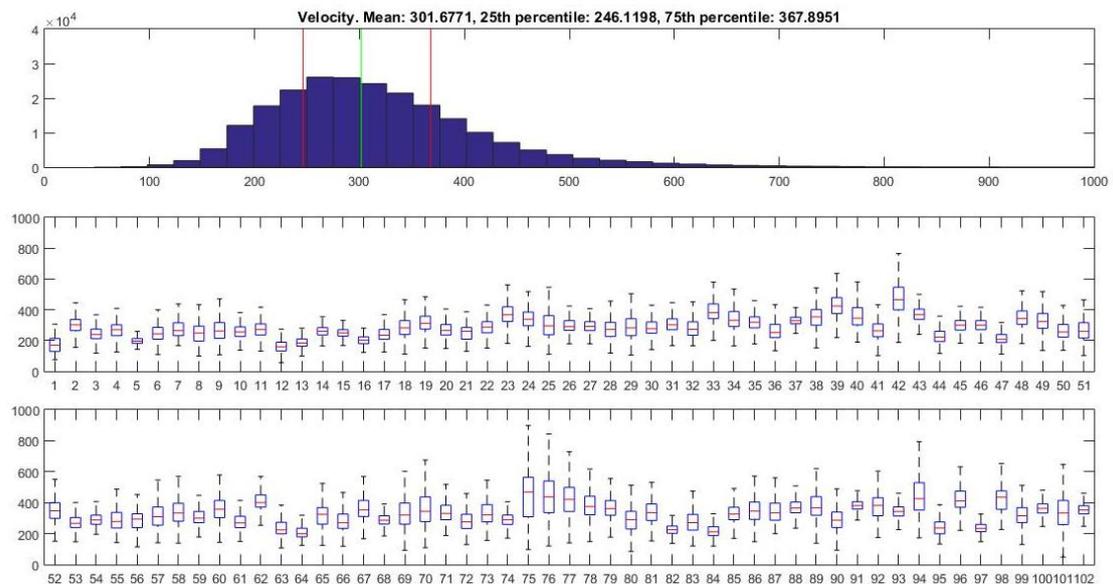


Figura 66: Distribución del parámetro CCRV

En este caso se obtiene una media de 301.6771 con percentiles 25 y 75 de 246.1198 y 367.8951.

Combinando estos parámetros se puede analizar la relación entre ellos. En la figura 67 se observa la tendencia a la relación lineal entre los parámetros de velocidad frente a la profundidad entre el tiempo efectivo de descompresión.

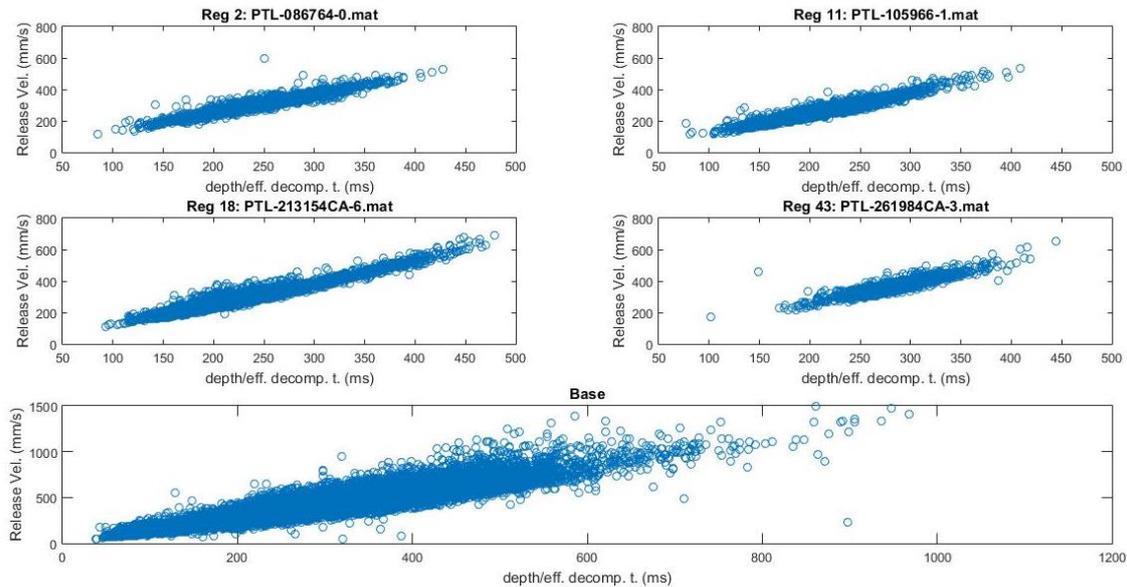


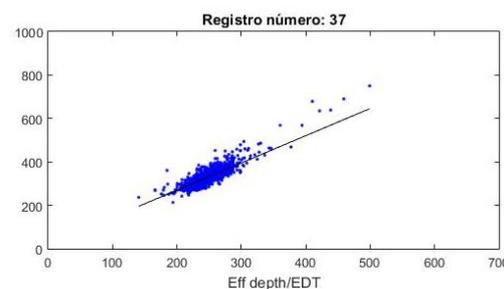
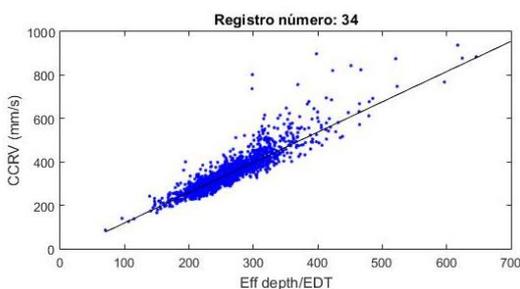
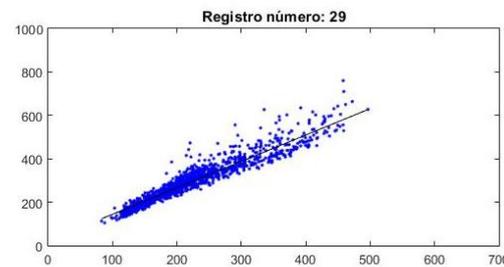
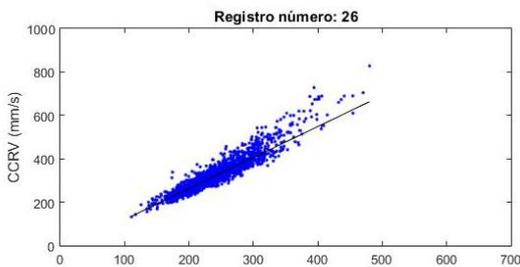
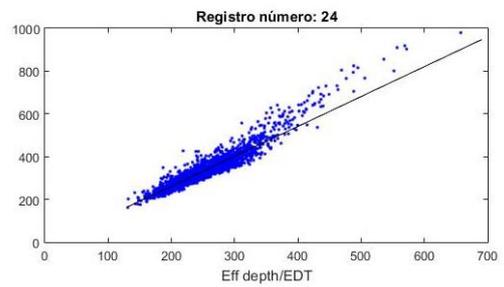
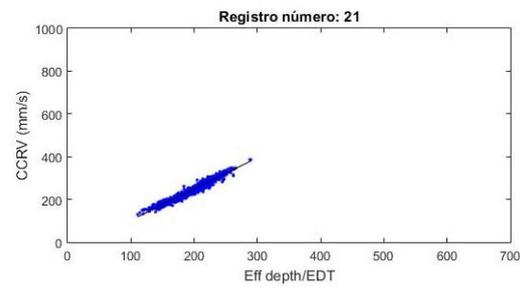
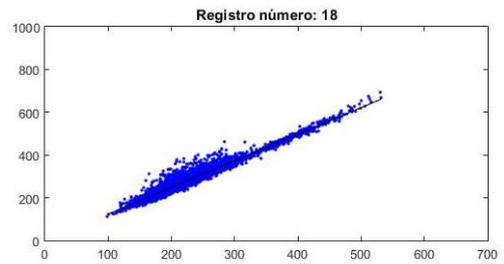
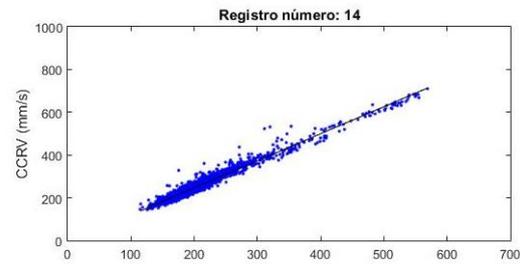
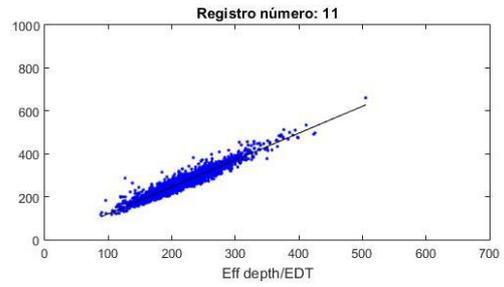
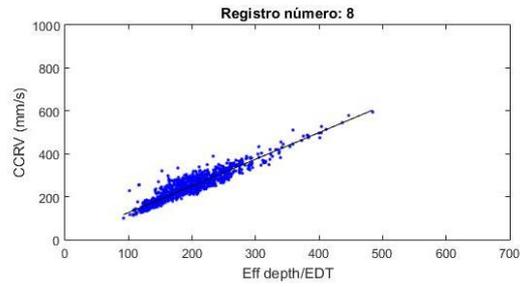
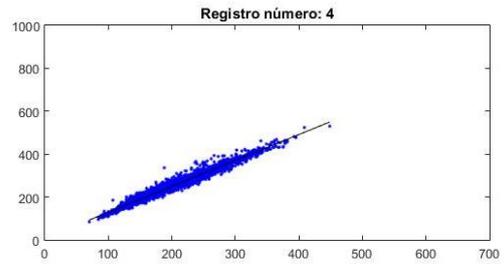
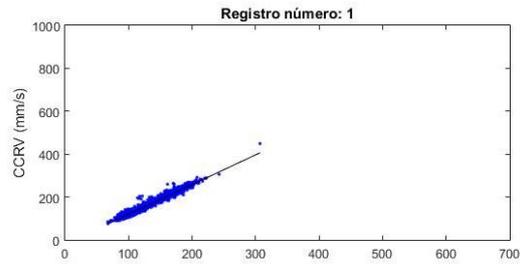
Figura 67: Relación entre los parámetros de CCRV y el cociente entre la profundidad y el tiempo efectivo de descompresión

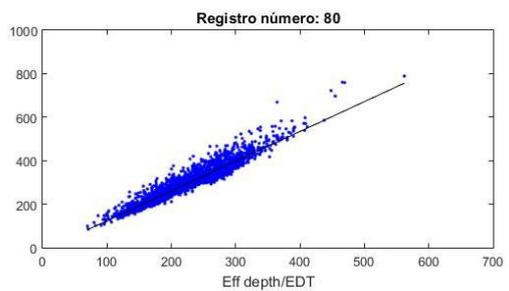
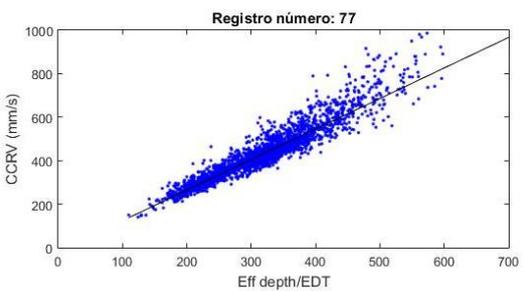
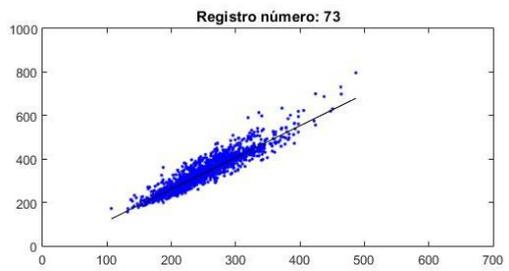
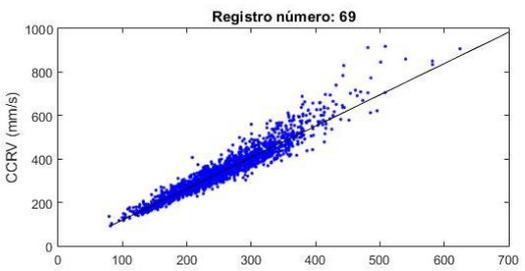
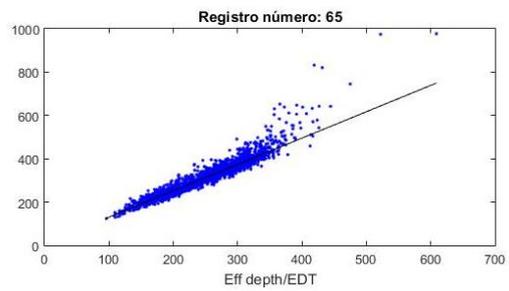
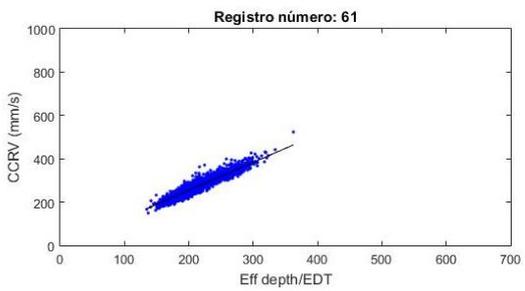
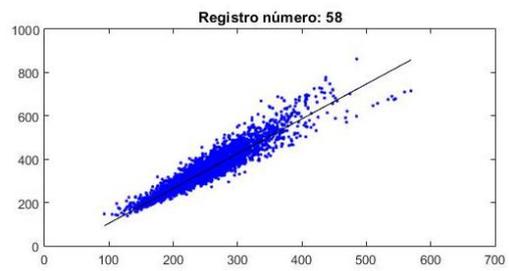
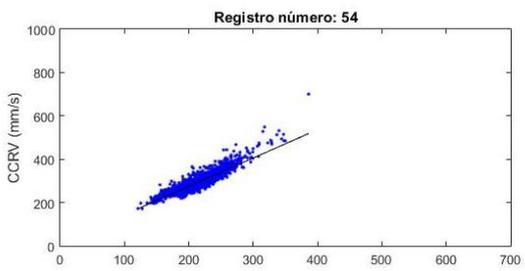
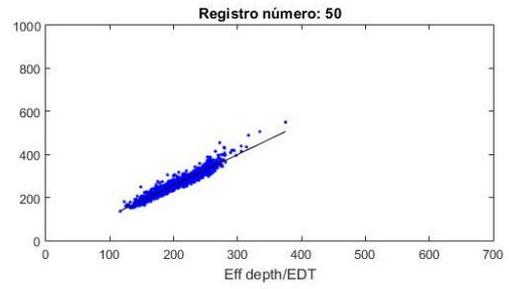
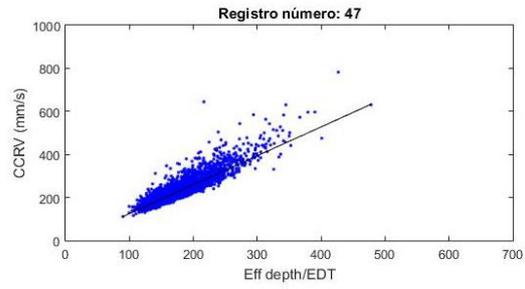
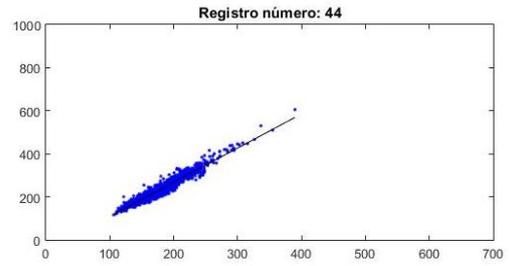
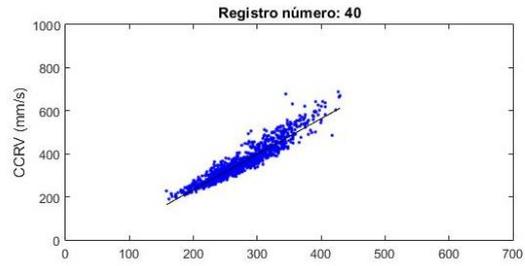
Pese a la tendencia a la relación lineal existe una dispersión de los puntos provocada por el factor  $1/K$  que afecta a la forma poligonal de la señal de velocidad. En la figura anterior se muestran 4 ejemplos de 4 registros diferentes en la parte superior, y la imagen relativa a todas las compresiones en la parte inferior.

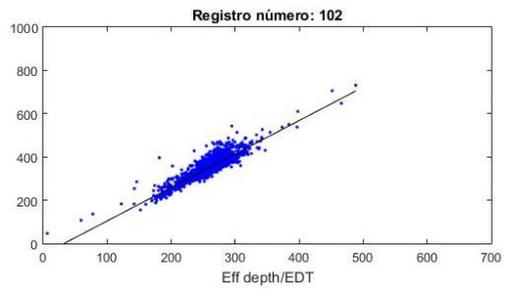
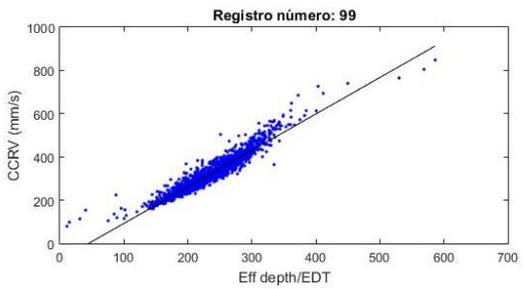
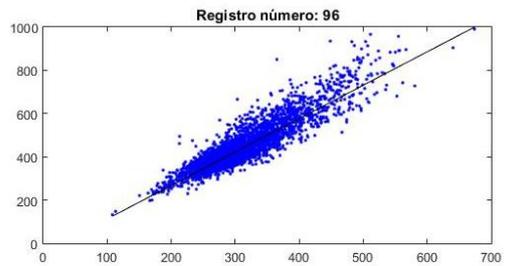
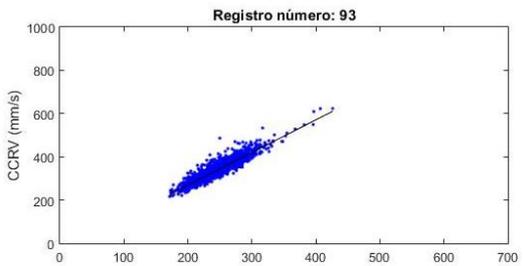
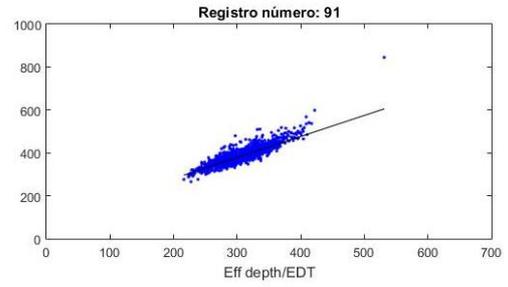
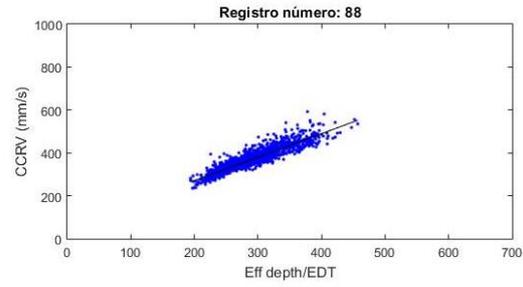
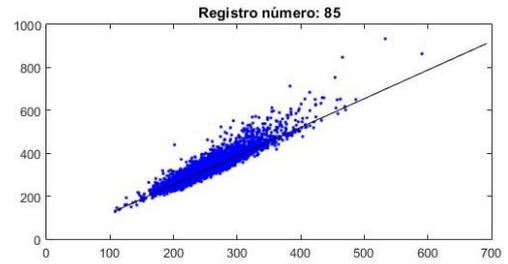
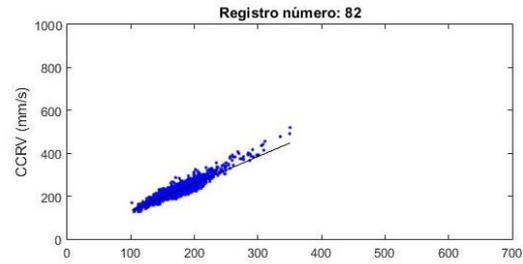
## CCRV frente a cociente profundidad/tiempo de descompresión

Esta tendencia lineal queda confirmada por el coeficiente de correlación. El parámetro CCRV muestra un alto coeficiente de correlación con el cociente entre la profundidad efectiva y el tiempo de descompresión efectivo con un valor medio de 0.94 y unos percentiles 25 y 75 de 0.92 y 0.96 respectivamente. En caso de usar la profundidad absoluta en lugar de la efectiva este valor el coeficiente de correlación es significativamente más bajo ( $P=0.04$ ) a pesar de que la correlación lineal sigue en unos valores altos, con media de 0.93 y percentiles de 0.91 y 0.95. El coeficiente de correlación se reduce aún más ( $P<0.001$ ) en caso de aplicar el tiempo total de descompresión en lugar del tiempo efectivo, rebajando también los valores del coeficiente de regresión (media de 0.82, percentiles 0.77 y 0.86). Durante el análisis conjunto de todas las compresiones se obtiene un coeficiente de regresión de 0.95.

En las siguientes figuras se muestra en primer lugar varios casos de episodios individuales junto con su correspondiente valor del coeficiente de regresión. En último lugar y en un mayor tamaño se muestra también el caso de todas las compresiones de todos los episodios de manera conjunta.







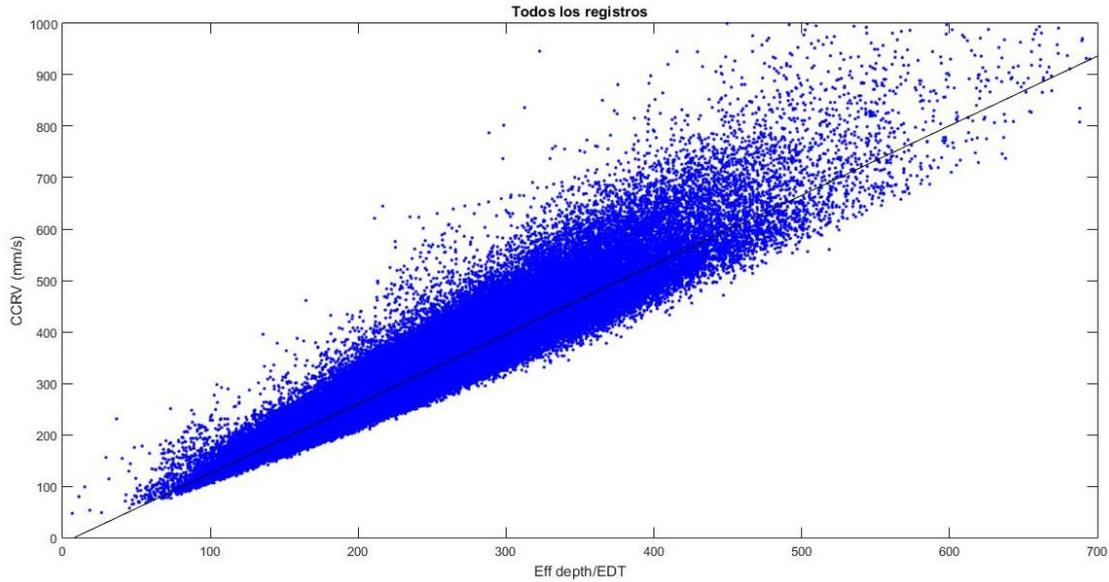
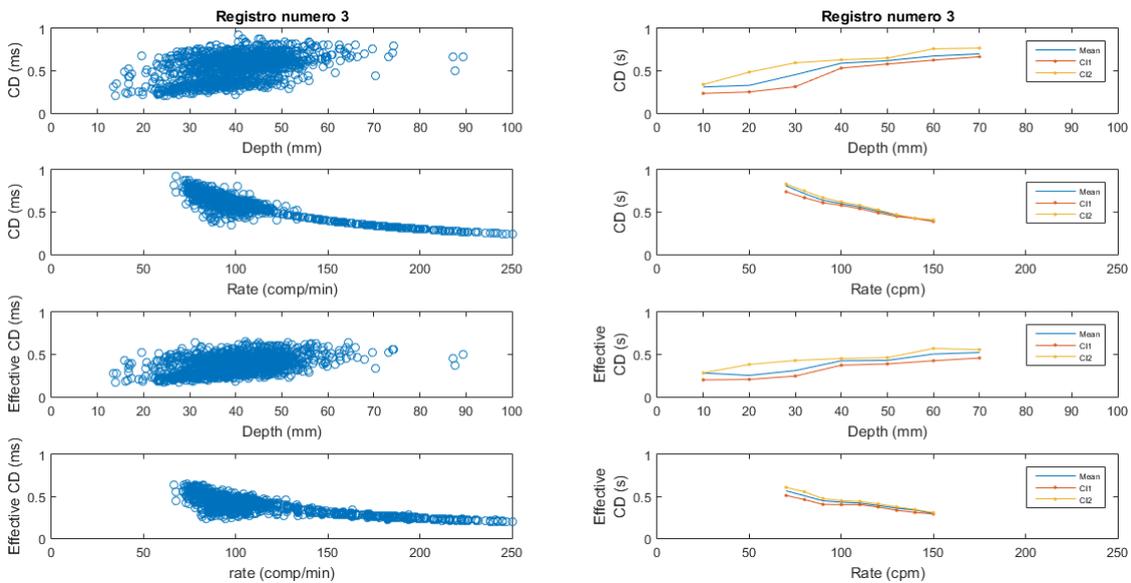


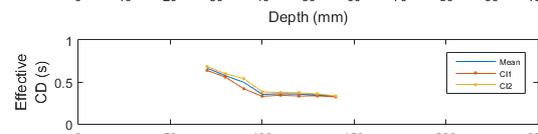
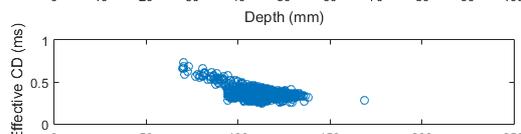
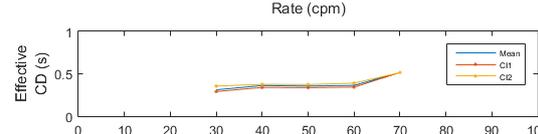
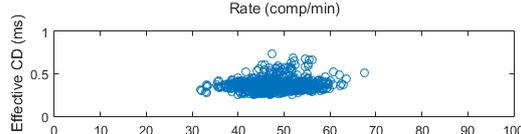
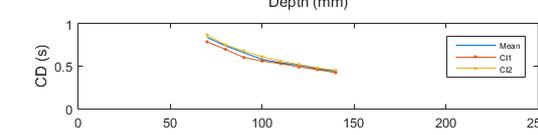
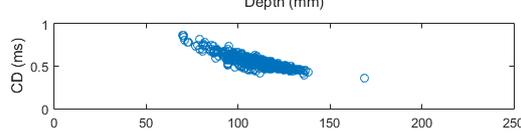
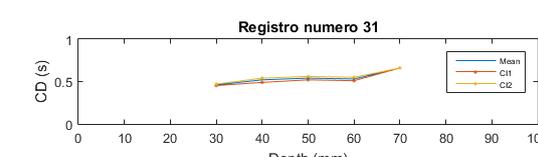
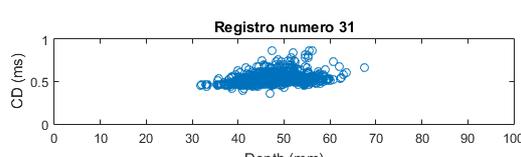
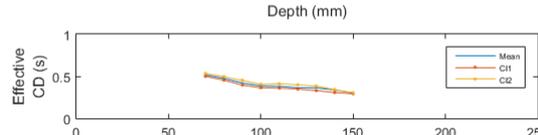
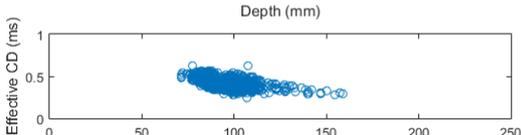
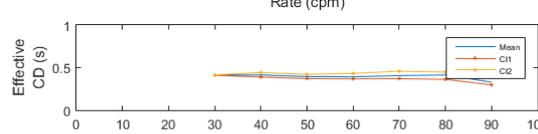
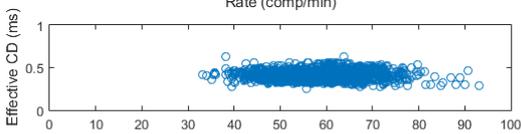
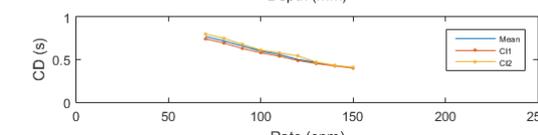
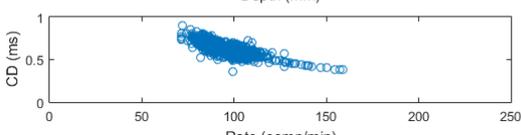
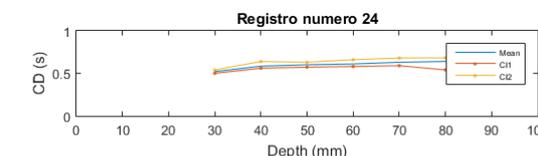
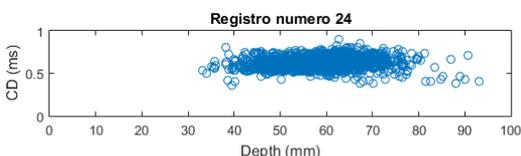
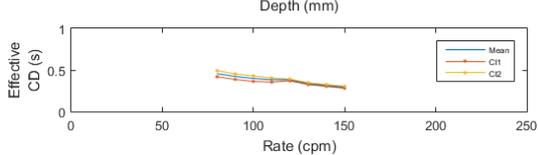
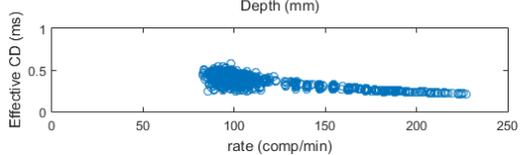
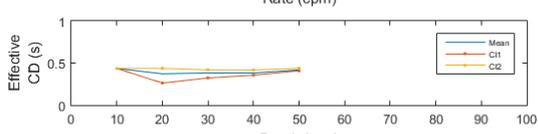
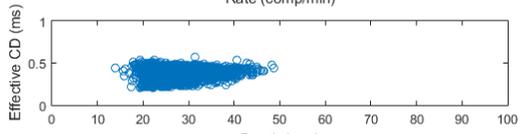
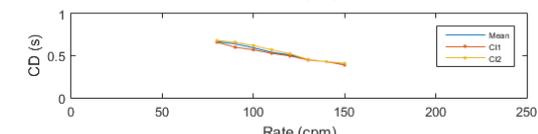
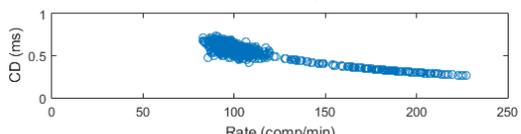
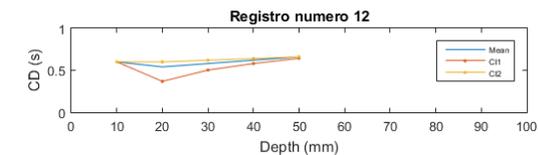
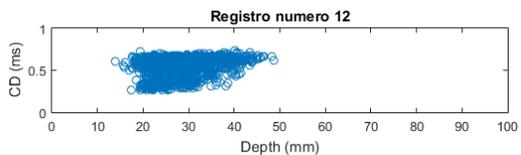
Figura 68: Diferentes episodios de CCRV frente a profundidad efectiva entre tiempo efectivo de descompresión

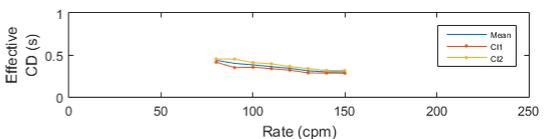
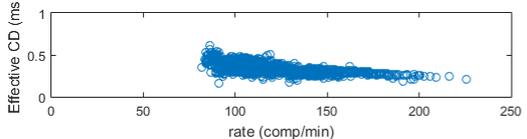
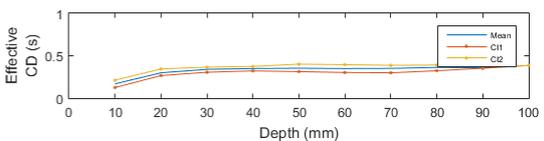
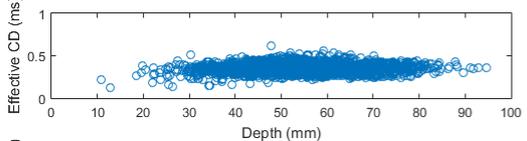
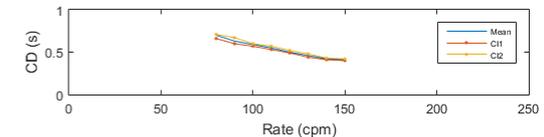
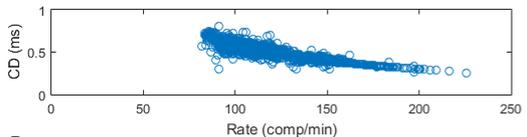
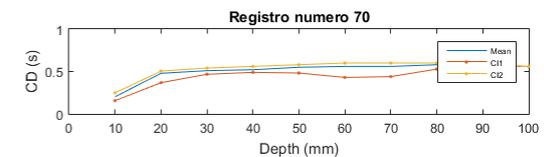
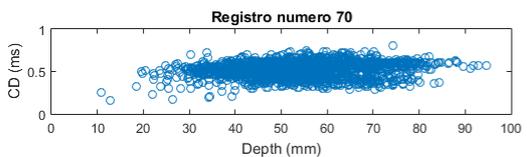
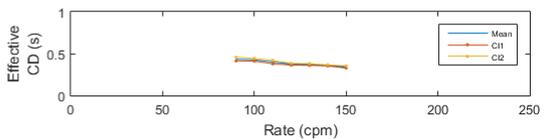
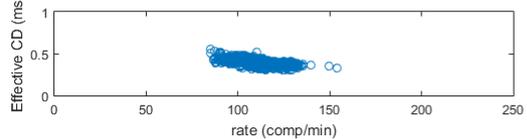
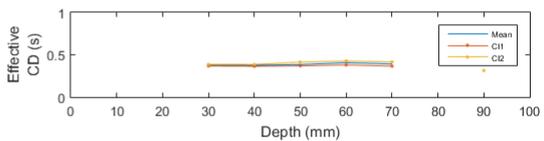
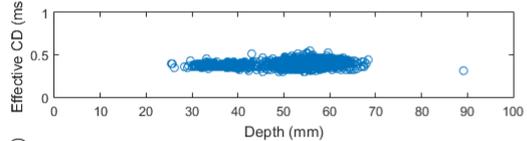
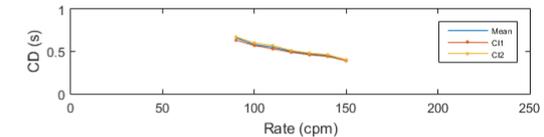
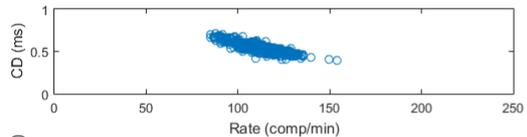
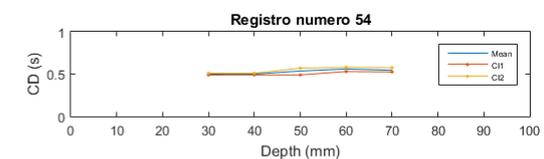
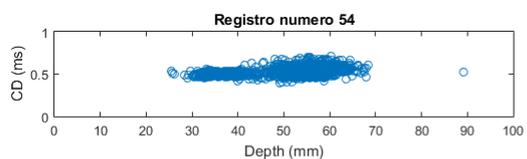
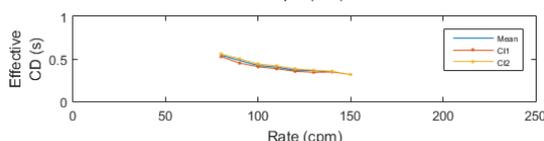
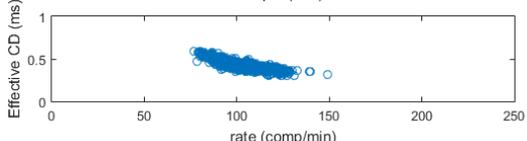
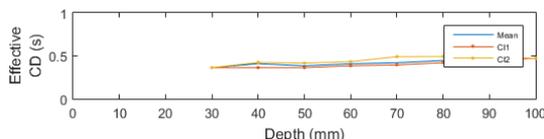
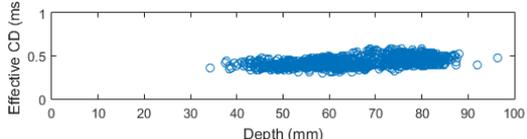
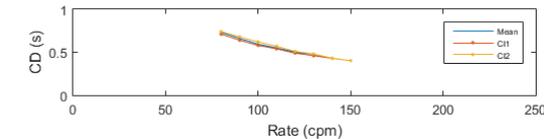
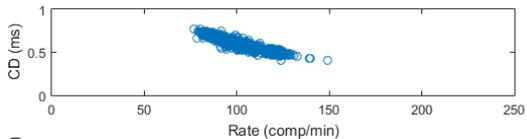
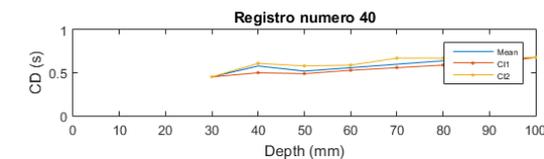
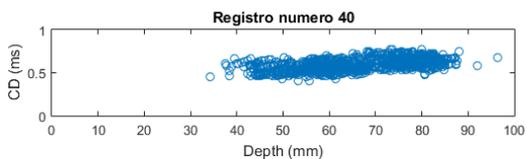
## Comportamiento del parámetro duty cycle

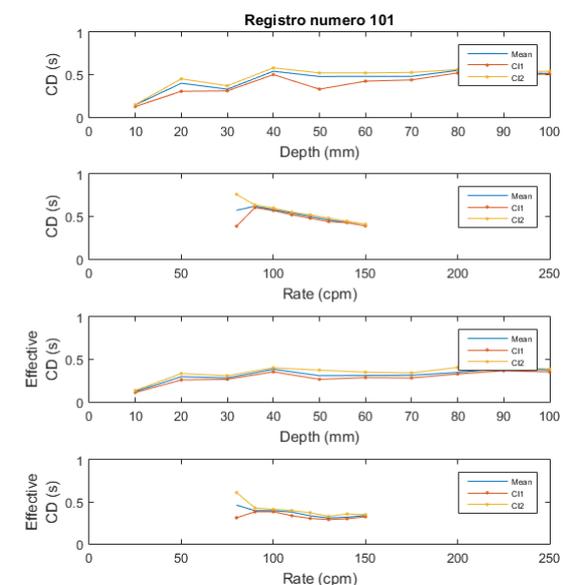
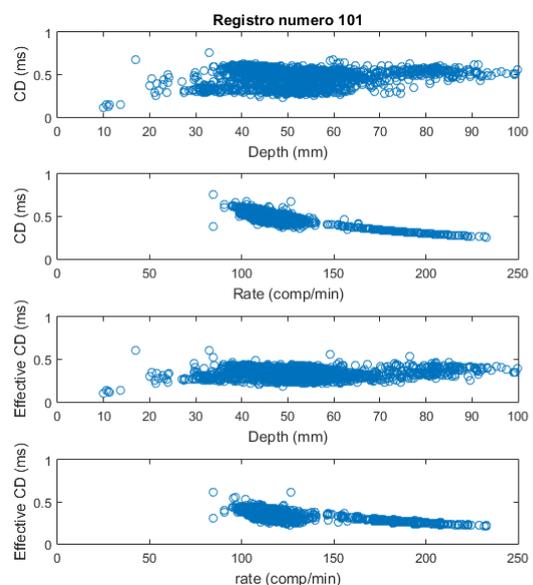
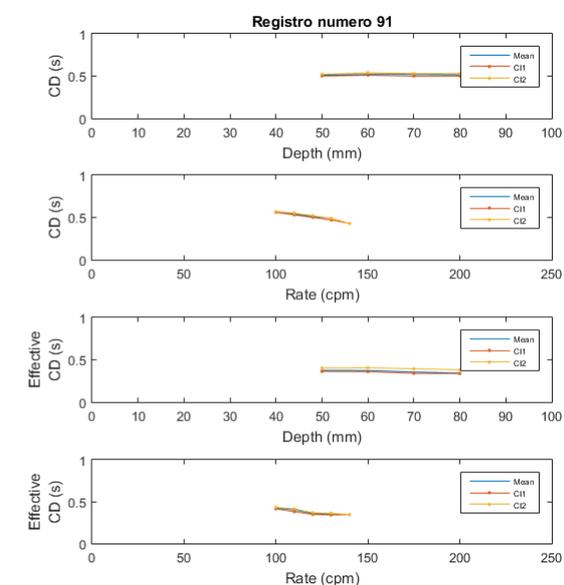
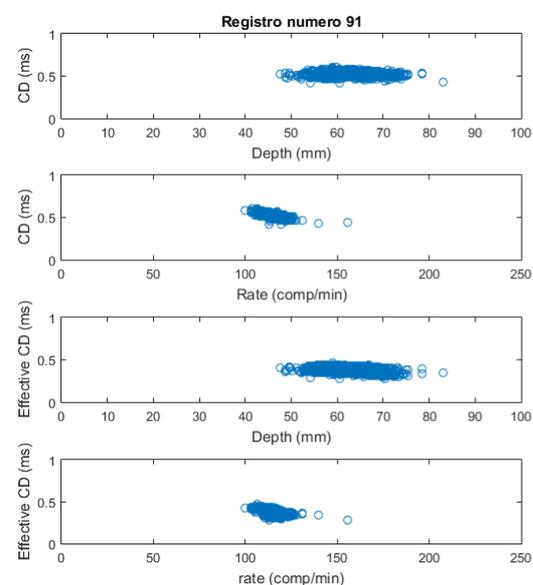
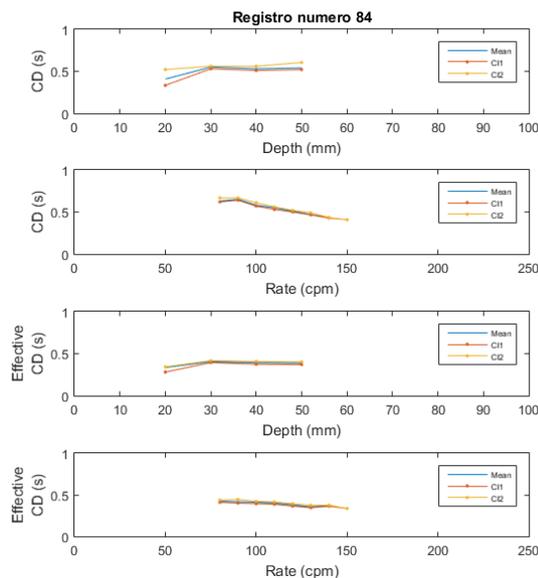
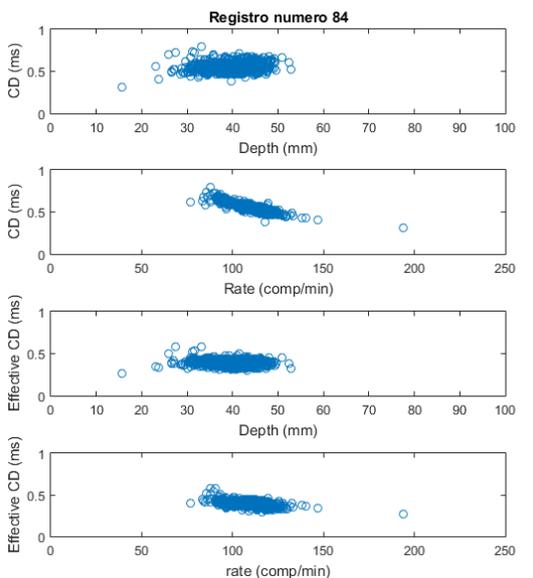
El parámetro duty cycle ha sido estudiado en multitud de ocasiones con el objetivo de certificar su relevancia durante el proceso de reanimación cardiopulmonar, sin embargo los resultados no han sido concluyentes. La falta de evidencias científicas lleva a los entes encargados de editar las guías de resucitación a establecer un valor del 50% para este parámetro. En cualquier caso en este trabajo se ha estudiado su relación con otros parámetros como pueden ser la profundidad de las compresiones así como el rate al que estas son ejecutadas.

En las siguientes figuras se presentan los datos relativos a la relación entre estas variables.









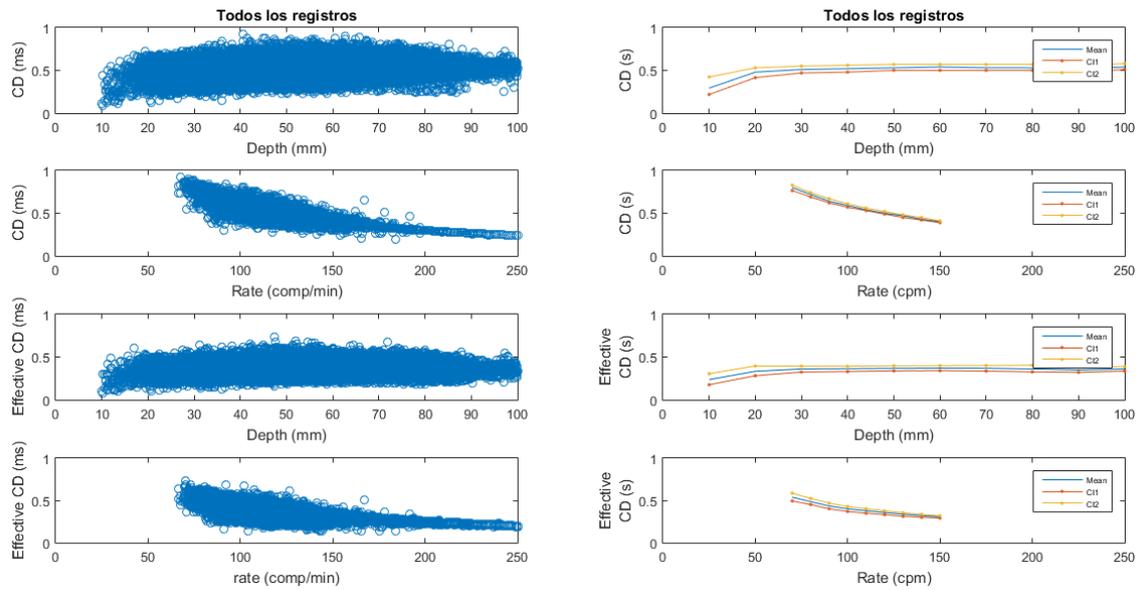


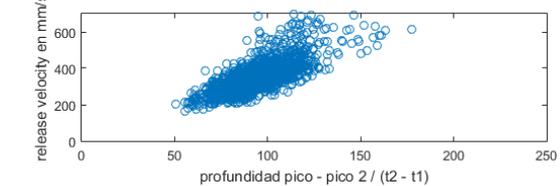
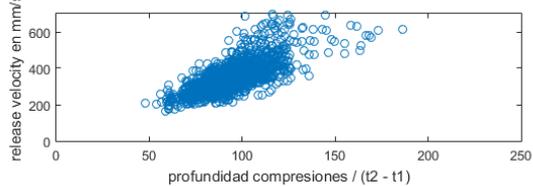
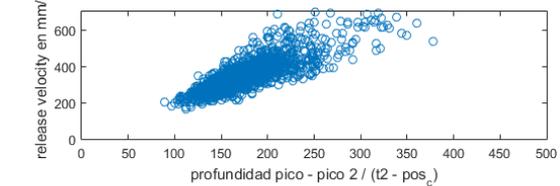
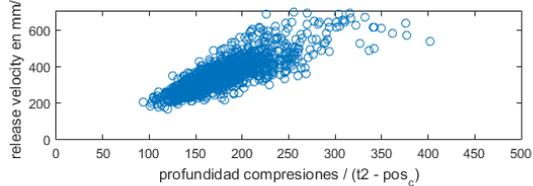
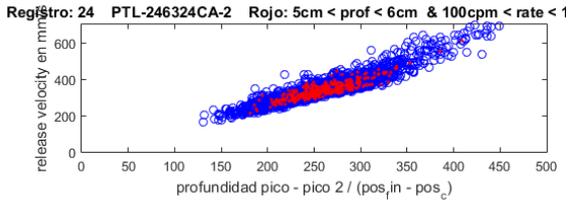
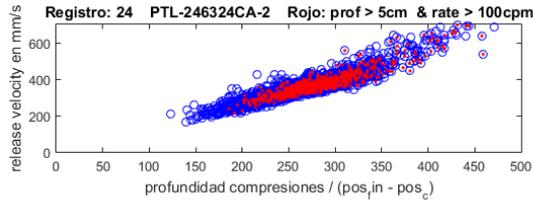
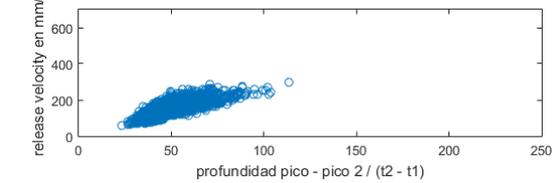
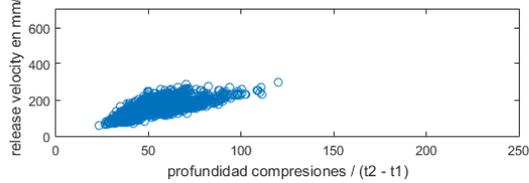
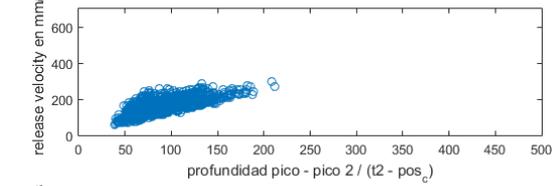
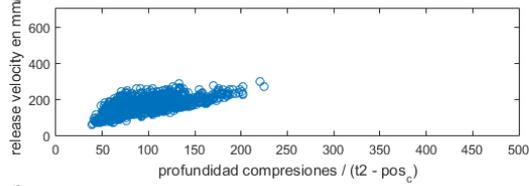
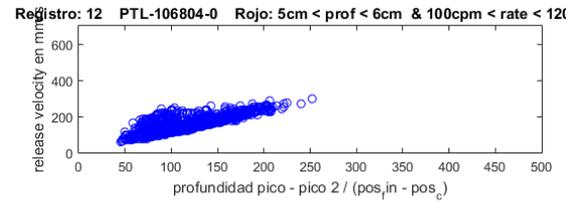
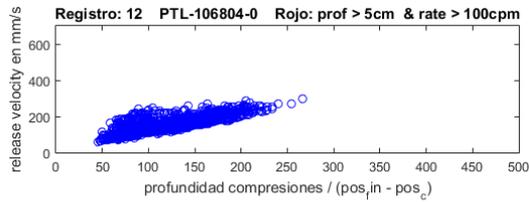
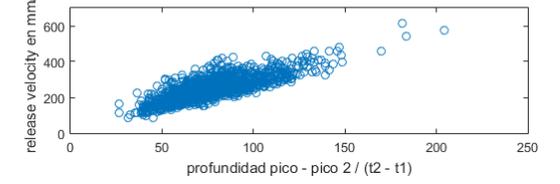
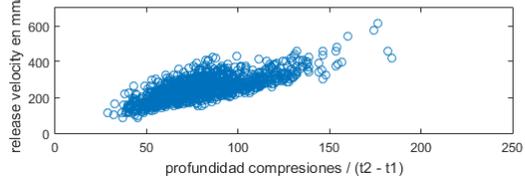
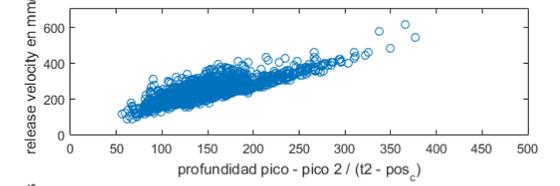
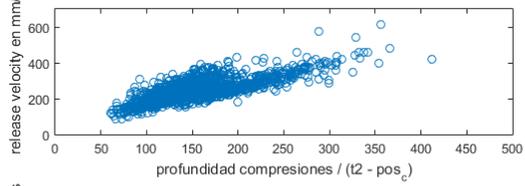
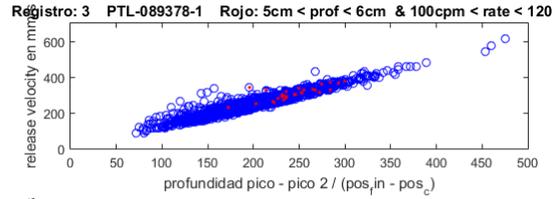
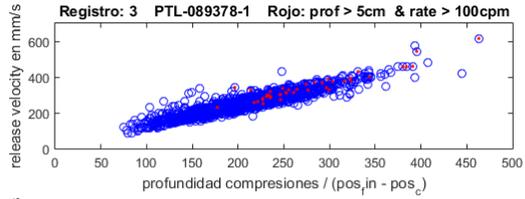
Figura 69: Diferentes episodios de tiempo de compresión absoluto y efectivo frente a profundidad y rate

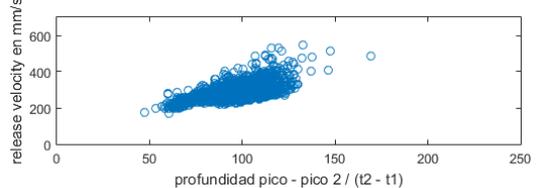
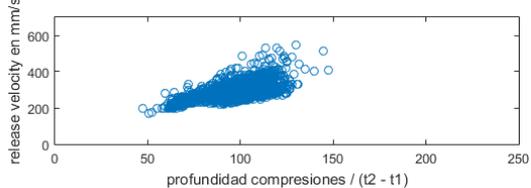
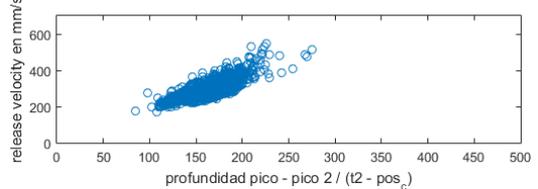
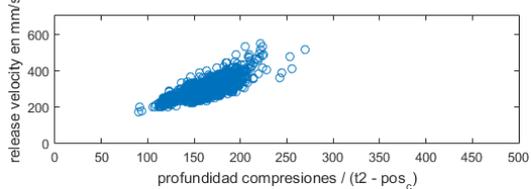
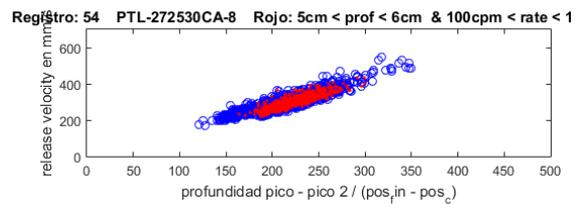
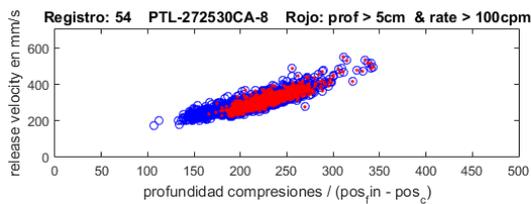
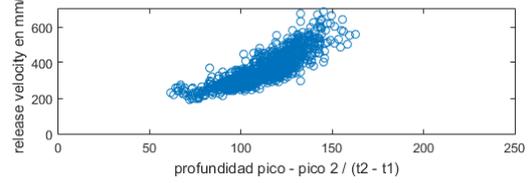
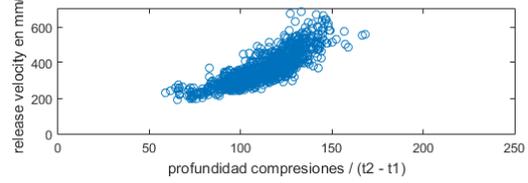
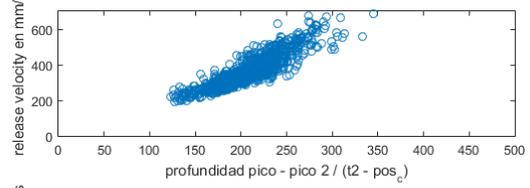
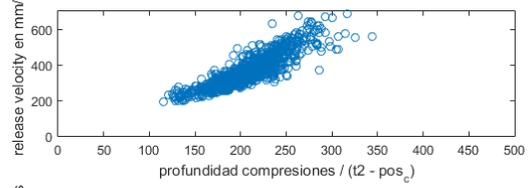
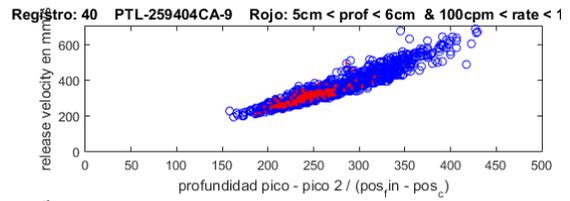
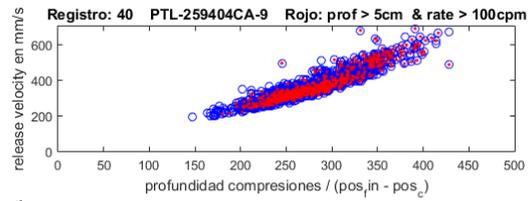
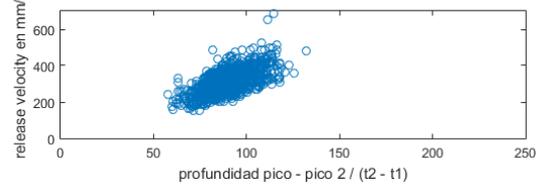
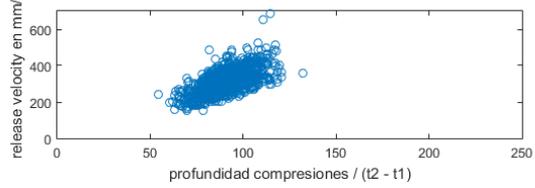
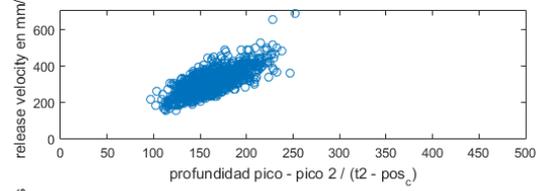
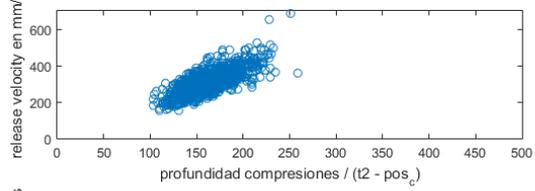
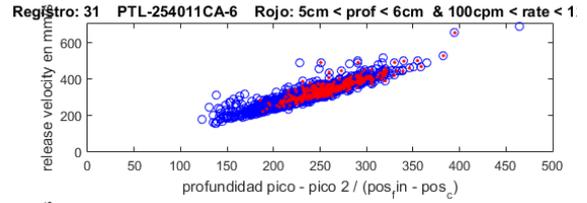
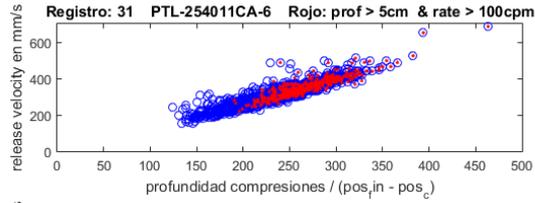
En la última figura se muestran los resultados obtenidos para el conjunto de todas las compresiones involucradas en el estudio.

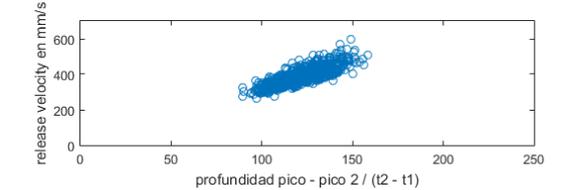
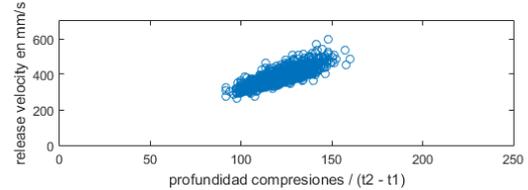
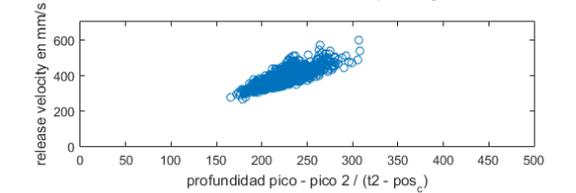
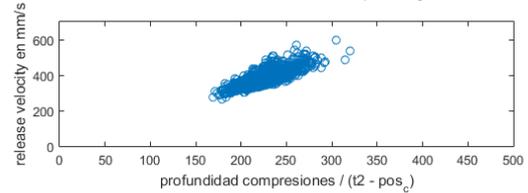
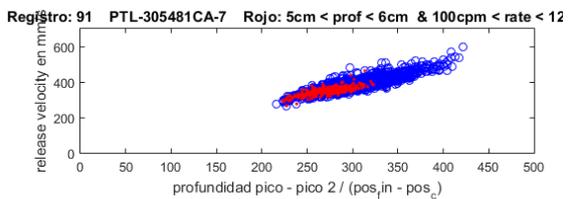
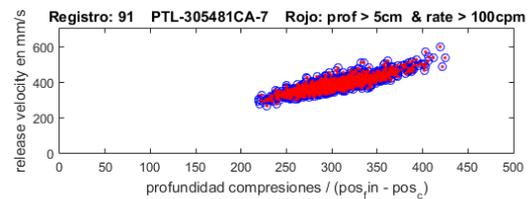
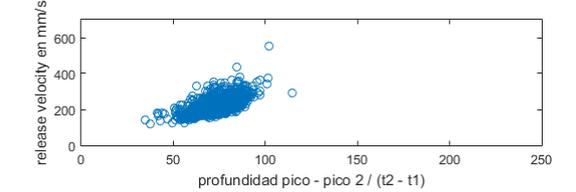
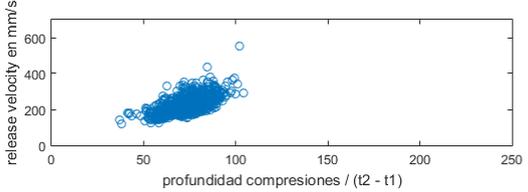
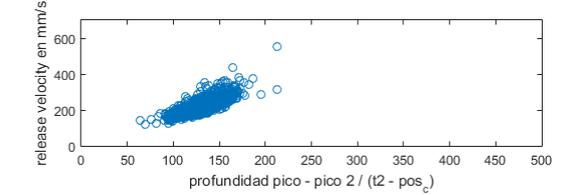
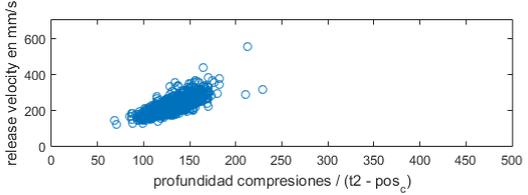
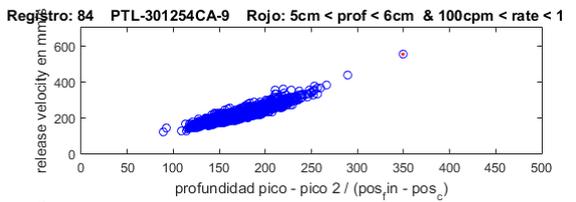
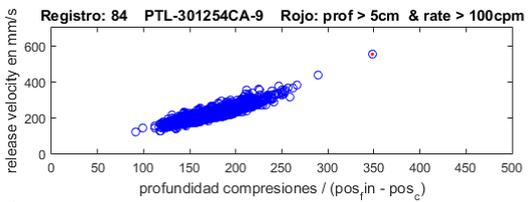
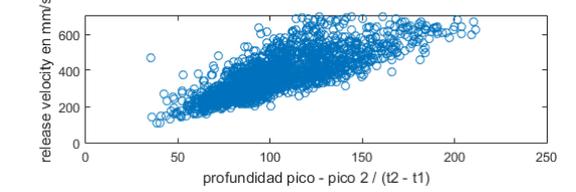
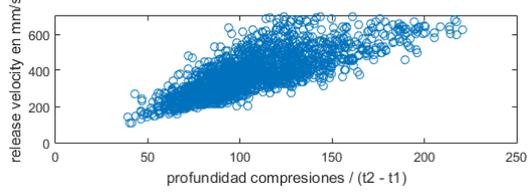
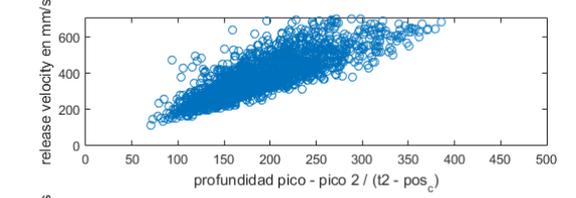
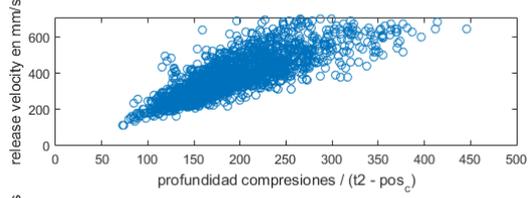
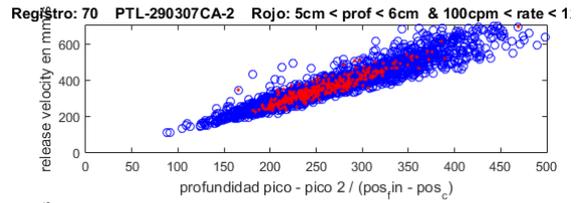
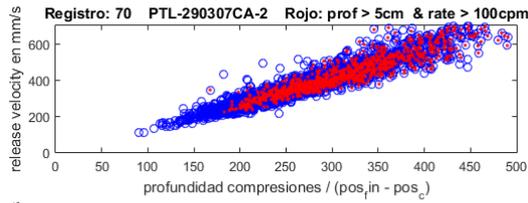
## Distribución de compresiones en función de su calidad

El conjunto de compresiones seleccionadas para el análisis realizado en este trabajo se caracteriza por cumplir una serie de requisitos, aunque no se garantiza que cumplan estrictamente con los criterios establecidos por las guías de resucitación. Las guías indican que para que una compresión sea considerada buena debe tener dos características principales: que su profundidad se sitúe entre los 5 y los 6 cm y que su rate esté entre las 100 y las 120 compresiones por minuto.

En las siguientes figuras se muestran los parámetros CCRV vs cociente entre profundidad y tiempo de descompresión. En la columna izquierda los datos son correspondientes al tiempo de descompresión absoluto, y las compresiones identificadas mediante un punto rojo cumplen con los requisitos mínimos para ser consideradas compresiones de calidad (profundidad > 5 cm y rate > 100 comp/min). En la columna derecha los datos corresponden al tiempo de descompresión efectivo, y en este caso las señaladas con un punto rojo cumplen estrictamente con los requisitos establecidos para las compresiones de calidad (5 cm < prof < 6 cm y 100 c/m < rate < 120 c/m).







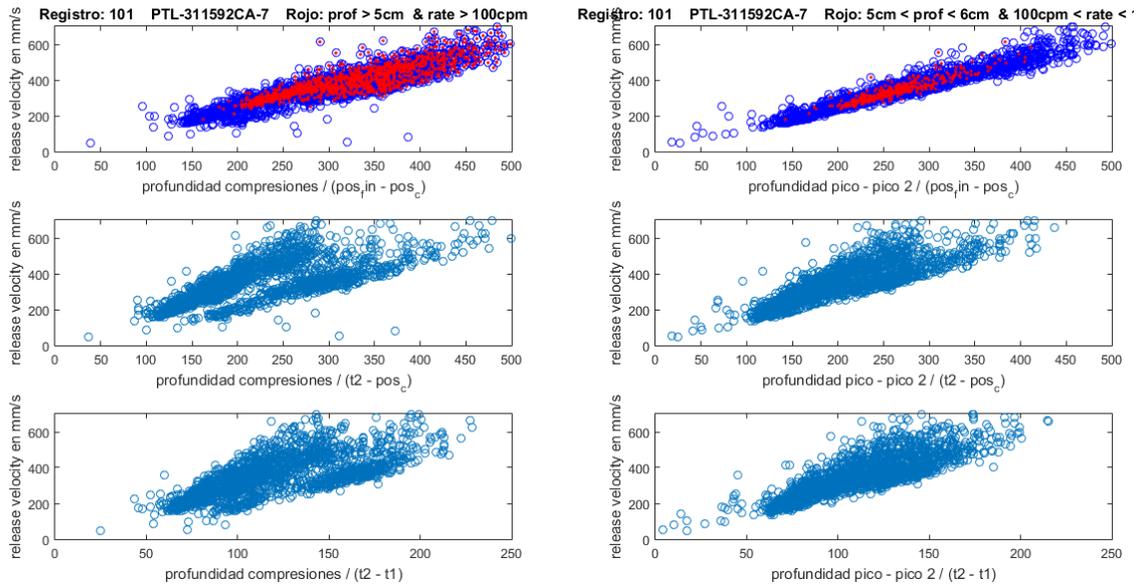


Figura 70: Diferentes episodios de CCRV frente a profundidad entre diferentes fases del ciclo de compresión/descompresión

Aunque a priori las características de ambos tipos de compresiones son similares, si analizamos su distribución (figura 71) vemos que es ligeramente diferente.

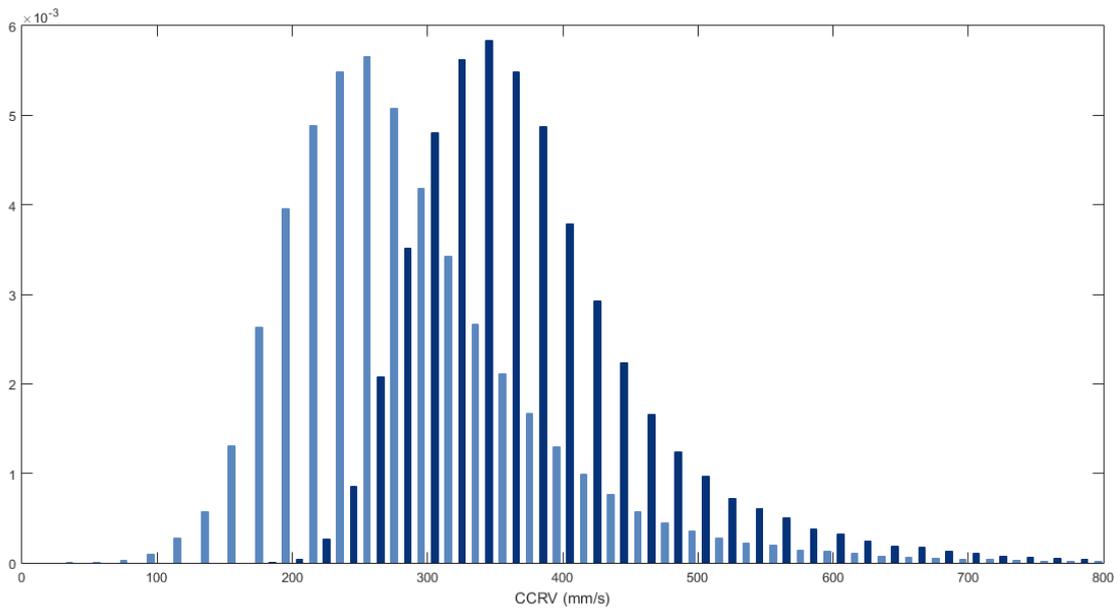


Figura 71: Distribución del parámetro CCRV para compresiones de alta calidad y de baja calidad

En azul se muestran las compresiones de alta calidad en azul oscuro y las de baja calidad en azul claro. Como puede apreciarse las compresiones de alta calidad se sitúan en valores de CCRV ligeramente superiores a las de baja calidad, aunque un gran porcentaje queda entre los 150 y los 450 mm/s. De esta figura podemos extraer la conclusión de que compresiones cuyo CCRV es similar pueden tener características de profundidad y de rate muy diferentes.