

---

# Análisis de métricas de calidad de las compresiones torácicas durante la reanimación cardiopulmonar: Estudio simulado sobre maniquí

---

Trabajo de Fin de Máster

---

Alumna: Pelayo Barcina, Sara

Directora: Ruiz de Gauna Gutiérrez, Sofía

Curso: 2016-2017

---



# Índice

<b>Índice</b> .....	<b>i</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>v</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vi</b>
<b>Laburpena</b> .....	<b>vii</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>viii</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>xi</b>
<b>Lista de acrónimos</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1.- Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2.- Contexto</b> .....	<b>3</b>
2.1.- PCR y calidad RCP .....	3
2.2.- Hipótesis de trabajo .....	6
<b>3.- Objetivos y Alcance</b> .....	<b>9</b>
3.1.- Objetivo principal .....	9
3.2.- Objetivos secundarios .....	9
3.2.1.- <i>Creación de una base de registros</i> .....	9
3.2.2.- <i>Marcado y generación de una base de resultados</i> .....	9
3.2.3.- <i>Análisis de los resultados</i> .....	10
<b>4.- Beneficios del proyecto</b> .....	<b>11</b>
4.1.- Beneficios técnicos .....	11
4.2.- Beneficios sociales .....	11
4.3.- Beneficios económicos .....	12
<b>5.- Estado del arte</b> .....	<b>13</b>

5.1.- Evolución de los parámetros de calidad .....	13
5.2.- Parámetro de velocidad .....	15
<b>6.- Análisis de alternativas .....</b>	<b>17</b>
6.1.- Maniquí de resucitación .....	17
6.1.1.- Alternativas .....	17
6.1.2.- Criterios de selección .....	18
6.2.- Sensor para medir la distancia .....	19
6.2.1.- Alternativas .....	20
6.2.2.- Criterios de selección .....	22
<b>7.- Descripción de la solución .....</b>	<b>23</b>
7.1.- Descripción del sistema de generación de registros .....	23
7.1.1.- Montaje .....	23
7.1.2.- Protocolo de medidas .....	27
7.1.3.- Generación de una base de registros a partir de las grabaciones .....	28
7.2.- Marcado de las compresiones .....	29
7.2.1.- Marcado de la señal de profundidad .....	29
7.2.2.- Marcado de la señal de velocidad .....	31
7.3.- Generación de una base de resultados .....	34
7.4.- Base de registros en humanos .....	35
7.5.- Análisis de los parámetros y métricas .....	36
<b>8.- Resultados .....</b>	<b>38</b>
8.1.- Resultados sobre maniquí .....	38
8.1.1.- Compresiones anotadas .....	38

8.1.2.- Dependencia de la velocidad con la profundidad y el tiempo.....	39
8.1.3.- Dependencia con la rigidez y frecuencia.....	40
8.1.4.- Capacidad de discriminación entre CT de alta y baja calidad de los parámetros.....	43
8.2.- Estudio sobre humanos en escenarios reales. Comparativa con escenarios simulados sobre maniquí.....	45
8.2.1.- Compresiones anotadas de la base de OHCA.....	45
8.2.2.- Dependencia de la velocidad con la profundidad y el tiempo.....	46
8.2.3.- Dependencia con la frecuencia.....	47
8.2.4.- Capacidad de discriminación entre CT de alta y baja calidad de los parámetros.....	49
8.2.5.- Comparativa de las métricas entre el estudio en maniquí y el estudio sobre humanos.....	51
<b>9.- Metodología .....</b>	<b>53</b>
9.1.- Recursos utilizados .....	53
9.1.1.- Recursos humanos .....	53
9.1.2.- Recursos materiales .....	53
9.2.- Descripción de las tareas. Gantt .....	54
9.2.1.- Plan de trabajo.....	54
9.2.2.- Descripción de paquetes de trabajo.....	55
9.2.3.- Diagrama Gantt.....	59
<b>10.- Aspectos económicos .....</b>	<b>60</b>
10.1.- Precios unitarios.....	60
10.1.1.- Precios unitarios por mano de obra .....	60

---

10.1.2.- Precios unitarios por recurso material.....	60
10.2.- Resumen económico de RR.HH.....	62
10.3.- Resumen económico final.....	62
<b>11.- Análisis de riesgos .....</b>	<b>64</b>
<b>12.- Conclusiones .....</b>	<b>67</b>
<b>13.- Referencias .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo I Normativa aplicable .....</b>	<b>71</b>
Introducción.....	72
Guías de resucitación.....	72
<b>Anexo II Abstract congreso CinC.....</b>	<b>80</b>
<b>Anexo III Consentimiento Informado .....</b>	<b>82</b>

## Resumen

*La parada cardiorrespiratoria (PCR) es una de las principales causas de muerte en los países desarrollados. La supervivencia de los pacientes que sufren una PCR está relacionada con diversos factores. El más importante es el comienzo temprano de la maniobra de resucitación cardiopulmonar (RCP,) que combina compresiones torácicas (CT) y ventilaciones para generar un mínimo flujo de sangre oxigenada en el corazón y el cerebro.*

*Las recomendaciones actuales de las guías de resucitación sobre la calidad de las CT se centran en la frecuencia, profundidad y la completa relajación del pecho entre compresiones. Sin embargo, recientemente se han propuesto nuevos parámetros de calidad de las CT, como la Release Velocity (RV), que se define como la máxima velocidad del pecho durante la fase de descompresión.*

*La capacidad de la RV como parámetro de calidad de RCP independiente de los parámetros clásicos no ha sido convenientemente demostrada. Sin embargo, la propuesta de métricas de la calidad nuevas abre una interesante vía de investigación.*

*El objetivo de este trabajo es diseñar herramientas automáticas para extraer parámetros y métricas de las CT administrados sobre un maniquí de resucitación y estudiar la relación que existe entre nuevos parámetros y los parámetros de calidad más clásicos, así como comparar los resultados obtenidos con los parámetros obtenidos al aplicar CT en escenarios reales.*

## Abstract

*Cardiac arrest is one of the primary causes of death in developed countries. The survival of the patients that suffers a cardiac arrest is related to different factors. The most important is the early start of the cardiopulmonary resuscitation maneuver (CPR), which combines chest compressions (CC) and ventilations to generate a minimal flux of oxygenated blood to the heart and brain.*

*The current recommendations of resuscitation guidelines about CC are focus on frequency, depth and chest release between compressions. However, recently have been proposed novel CC quality parameters, such as Release Velocity (RV), that is defined as the maximum velocity of the chest during the decompression phase.*

*The capacity of the RV as a quality parameter of the CPR independent of the classic parameters has not been conveniently demonstrated. However, the proposal of novel quality metrics opens an interesting avenue of investigation.*

*The aim of this work is to design automatic tools to extract parameters and metrics from CC administrated on a resuscitation mannequin, and to study the relation between the novel parameters and more classic quality parameters, as well as to compare the obtained results with the obtained parameters while applying CC in real scenarios.*



## Laburpena

*Herrialde garatuetan, hiltze-zergati nagusietakoa da bat-bateko bihotz-geldiketa. Horrelako geldiketa sufritzen duten pazienteen biziraupena zenbait faktoreekin erlazionatuta dago, bihotz-biriketako berpizte (BBB) goiztiarra garrantzitsuena izanik. BBBa bularreko sakada eta aireztapenetan oinarritzen da eta, horrek, bihotz eta garunean odol oxigenatuaren fluxu minimoa bermatzen du.*

*Bularreko sakaden inguruko nazioarteko berpizte-giden gomendioak maiztasunean, sakontasunean eta sakaden arteko bularraren lasaitze betean oinarritzen dira. Hala ere, oraindik orain kalitate parametro berriak proposatu dira, Release Velocity (RV) adibidez, deskonpresio faseko bularraren abiadura maximoa delarik.*

*RV-ren ahalmena BBB-ren kalitate-parametro gisa (beste parametrorekiko independentea izanik) ez da oraindik era egokian frogatu. Hala eta guztiz ere, kalitate-neurkera berriek ikerketa bide interesgarri bat zabaldu dute.*

*Lan honen helburua, berpizte-maniki bati emandako bularreko sakadetatik parametro eta neurketak lortzeko erraminta automatikoak diseinatzea, eta parametro berri hauen eta parametro klasikoen arteko erlazioa aztertzea da. Azkenik eta aurrekoarekin lotuta, lortutako emaitzak errealitatean emandako bularreko sakadetatik ateratako parametroekin konparatuko dira.*

## Agradecimientos

Antes de nada, me gustaría dedicar este apartado a agradecer a todas aquellas personas que me han apoyado y ayudado durante la elaboración de este trabajo.

En primer lugar, me gustaría agradecer la supervisión de Digna González Otero en este TFM. Tu colaboración ha sido imprescindible para llevarlo a cabo.

Además, me gustaría agradecer a mi directora Sofía Ruiz de Gauna, por su valiosa ayuda. Definitivamente me has brindado todas las herramientas necesarias para completar mi TFM.

También quiero agradecer a todas las personas que se han prestado voluntarias para realizar compresiones torácicas sobre el maniquí de resucitación.

Por último, me gustaría agradecer a mis padres sus consejos y comprensión. Siempre habéis estado ahí para mí.

¡Muchas gracias a todos!

## Lista de tablas

Tabla 6.1: Criterios de selección de la alternativa de maniquí de resucitación.....	19
Tabla 6.2: Características sensor resistivo SP1-4 TRANSDUCTOR .....	21
Tabla 6.3: Características sensor óptico BOD 6K (BALUFF) .....	21
Tabla 6.4: Criterios de selección del sensor encargado de medir el desplazamiento del pecho.....	22
Tabla 7.1: Equipos utilizados para realizar las grabaciones.....	25
Tabla 8.1: Percentiles 50 (25, 75) de la profundidad de compresión en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión.....	40
Tabla 8.2: Percentiles 50 (25, 75) del DC en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión.....	40
Tabla 8.3: Percentiles 50 (25, 75) de la CV en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión.....	41
Tabla 8.4: Percentiles 50 (25, 75) de la RV en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión.....	41
Tabla 8.5: Percentiles 50 (25, 75) de la RV en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión para CT entre 50 y 60 mm de profundidad .....	42
Tabla 8.6: : Percentiles 50 (25, 75) de la CV en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión para CT entre 50 y 60 mm de profundidad.....	42
Tabla 8.7: Percentiles 50 (25, 75)de la profundidad de CT en humanos y maniquí para frecuencias de CT menores que 100 cpm, entre 100 y 120 cm y mayores que 120 cpm ...	47
Tabla 8.8: Percentiles 50 (25, 75) del DC extraído de la base de datos en humanos y en maniquí para frecuencias de CT menores que 100 cpm, entre 100 y 120 cpm y mayores que 120 cpm.....	47

Tabla 8.9: Percentiles 50 (25, 75) de la RV extraído de la base de datos en humanos y en maniquí para frecuencias de CT menores que 100 cpm, entre 100 y 120 cpm y mayores que 120 cpm .....	47
Tabla 8.10: Percentiles 50 (25, 75) de la CV extraído de la base de datos en humanos y en maniquí para frecuencias de CT menores que 100 cpm, entre 100 y 120 cpm y mayores que 120 cpm .....	48
Tabla 9.1. Equipo de trabajo .....	53
Tabla 9.2: Recursos materiales .....	54
Tabla 9.3. Plan de trabajo .....	55
Tabla 9.4. Descripción de unidades de tiempo de trabajo .....	55
Tabla 9.5: PT.0 Gestión del proyecto .....	55
Tabla 9.6: PT.1 Estudio y definición del proyecto .....	56
Tabla 9.7: PT.2 Obtención de los registros de grabaciones sobre maniquí.....	56
Tabla 9.8: PT.3 Creación de una base de registros de grabaciones.....	57
Tabla 9.9: PT.4 Creación de una base de datos de parámetros .....	57
Tabla 9.10: PT.5 Análisis de los parámetros y métricas.....	58
Tabla 9.11: Diagrama de Gantt.....	59
Tabla 10.1. Precios unitarios por mano de obra .....	60
Tabla 10.2: Material amortizable .....	61
Tabla 10.3: Material fungible .....	61
Tabla 10.4. Coste de recursos humanos por paquete de trabajo.....	62
Tabla 10.5. Resumen económico de recursos humanos .....	62
Tabla 10.6. Resumen del Presupuesto .....	63
Tabla 11.1: Matriz probabilidad-impacto .....	66

## Lista de figuras

Figura 7.1: Acelerómetro ADXL330, ANALOG-DEVICES.....	24
Figura 7.2: Sensor SP1-4 TRANSDUCTOR, CELESCO colocado en el interior del maniquí.....	24
Figura 7.3: Materiales utilizados para la grabación de los registros. Ordenador portátil, tarjeta de adquisición de señales, tres muelles de diferente rigidez para colocar en el interior del maniquí, torso del maniquí de resucitación.....	24
Figura 7.4: Fuerza aplicada en el pecho de cada paciente de parada cardiaca (representados por las curvas de diferentes colores, cada color un paciente) frente a la profundidad ejercida para dicha fuerza. Los tres círculos de colores representan la rigidez escogida para cada muelle del maniquí de resucitación. [27] .....	26
Figura 7.5: Fuerza necesaria para comprimir cada muelle 50 mm .....	27
Figura 7.6: Compresión Torácica: Parámetros de marcado.....	30
Figura 7.7: Parámetros sobre la señal de profundidad de CT y sobre la señal de velocidad .....	32
Figura 7.8: En la parte superior se muestra la señal de velocidad en la que se marca el máximo de CV y el máximo de RV. Dicha señal de velocidad se corresponde con la señal de profundidad de CT que se muestra abajo en la que se marca el inicio y fin de compresión efectiva y el máximo de profundidad.....	33
Figura 8.1: Relación de la RV y la CV con el ratio $d_p/Tr_{ef}$ y el ratio $d_p/Tc_{ef}$ , respectivamente .....	39
Figura 8.2: Figura 8.1: CV. Compresiones de alta calidad (azul) y de baja calidad (rojo) ...	43
Figura 8.3: RV. Compresiones de alta calidad (azul) y compresiones de baja calidad (rojo) .....	44
Figura 8.4: Dependencia de la RV y la CV con el ratio $d_p/Td_{ef}$ y el ratio $d_p/Tc_{ef}$ , respectivamente. En la fila superior se muestran los resultados para la base de datos en	

---

escenarios reales en humanos y en la fila inferior se muestran los resultados para la base de datos sobre maniquí.....	46
Figura 8.5: Compresiones de alta calidad (azul) frente a compresiones de baja calidad (rojo) en escenarios reales sobre humanos.....	49
Figura 8.6: Compresiones de alta calidad (azul) frente a compresiones de baja calidad (rojo) en escenarios reales sobre humanos.....	50
Figura 8.7: RV. Compresiones de alta calidad en humanos (azul) y en maniquí (rojo).....	51
Figura 8.8: CV. Compresiones de alta calidad en humanos (azul) y en maniquí (rojo).....	52

## Lista de acrónimos

TFM	Trabajo de Fin de Máster
GSC	Grupo de Señal y Comunicaciones
PCR	Parada Cardiorrespiratoria
RCP	Resucitación Cardiopulmonar
CT	Compresiones Torácicas
RV	Velocidad de descompresión (Release Velocity)
CV	Velocidad de compresión (Compression Velocity)
OHCA	Parada cardíaca extra hospitalaria (Out of Hospital Cardiac Arrest)
cpm	Compresiones por minuto





# 1.- Introducción

El Trabajo Fin de Master (en adelante TFM) que se presenta en este documento ha sido desarrollado en el grupo de investigación Grupo de Señal y Comunicaciones (GSC) con sede en la Escuela de Ingeniería de Bilbao. El TFM está encuadrado en una de las áreas de investigación del grupo: el procesado de señal en la reanimación cardiaca. La reanimación cardiaca es el conjunto de medidas encaminadas a restaurar la circulación y la respiración de un paciente en parada cardiorrespiratoria (PCR).

La PCR se define como la detención repentina de la respiración y del pulso cardiaco. Implica la ausencia de circulación de sangre y, por lo tanto, la falta de suministro de oxígeno a los tejidos. Por tanto, puede desembocar en la muerte si no se trata con rapidez. Una técnica básica y fundamental en el tratamiento de la PCR es la RCP [1]. Esta técnica consiste en la realización de compresiones torácicas (CT) y ventilaciones con el objetivo de mantener un mínimo flujo de sangre oxigenada a los órganos vitales del paciente, es decir, al cerebro, al corazón y a los pulmones.

La probabilidad de supervivencia de un paciente en PCR está directamente relacionada con la calidad de las CT [2]. Los parámetros de calidad de las CT son la frecuencia y la profundidad de las compresiones. Sin embargo, recientes estudios han sugerido la posibilidad de que una nueva señal pueda tener relevancia en la medida de la calidad de las CT: la señal de velocidad del pecho del paciente durante las CT. En este TFM se desarrolla un análisis de los parámetros clásicos y novedosos de calidad de las CT con el objetivo de determinar la relación existente entre los mismos y de dotar de una mayor base científica a dicha afirmación.

Este análisis se realizará a partir de registros obtenidos en un escenario simulado sobre un maniquí sensorizado. Los registros contendrán la señal de

profundidad instantánea del pecho, a partir de la que se obtendrá la señal de velocidad de las compresiones. A partir de estas dos señales se podrán extraer los parámetros de interés para el estudio.

## 2.- Contexto

### 2.1.- PCR y calidad RCP

La PCR es una situación de emergencia médica de extrema gravedad. Si nos remitimos a las cifras de fallecidos, indican que, cada año, entre 275.000 y 700.000 personas en Europa y entre 155.000 y 400.000 personas en EEUU pierden la vida debido a PCRs [3]. Si un paciente entra en este estado y no recibe atención en los primeros diez minutos es muy improbable que sobreviva. La probabilidad de supervivencia varía dependiendo del lugar donde se produzca la PCR. Cuando las paradas se producen dentro del hospital, el tiempo transcurrido desde que se produce el evento hasta que se inician las maniobras de resucitación es menor que en el caso de paradas extrahospitalarias, por lo que el índice de supervivencia es más elevado [4]. No obstante, la mayoría de las PCR suceden en el medio extrahospitalario, siendo la probabilidad de supervivencia menor de un 10%.

En 1966, la Academia Nacional de las Ciencias y el Consejo Nacional de Investigación desarrollaron las primeras recomendaciones sobre la enseñanza y realización de las técnicas de RCP [5]. En 1992, se establecieron los consejos regionales de resucitación: el American Heart Association (AHA), para Estados Unidos, y el European Resuscitation Council (ERC), para Europa, como los responsables de establecer unas pautas de resucitación en sus respectivas áreas de influencia. Con el objetivo de conseguir una uniformidad del tratamiento a nivel mundial, se funda la organización International Liaison Committee On Resuscitation (ILCOR), encargada de la coordinación de las acciones de los consejos regionales para desarrollar directrices de RCP [5,6] basadas en las últimas evidencias científicas recopiladas. Estos consejos emiten cada 5 años unas guías de resucitación (las actuales están vigentes desde 2015) que recogen los procedimientos a seguir en caso de PCR. A principios de los años 90 se

propuso el concepto de cadena de supervivencia [7] representado en la Figura 2.1, para reflejar las acciones básicas a desarrollar en caso de PCR.



Figura 2.1: Cadena de supervivencia [7]

Este protocolo define cuatro procesos básicos que entran en juego a la hora de combatir una parada cardiorrespiratoria [7, 8]:

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

En esta coyuntura es importante destacar que el tiempo transcurrido entre la parada y el inicio de la RCP es determinante en la supervivencia del paciente. Además, se ha demostrado que la RCP inmediata incrementa la tasa de supervivencia, llegando a duplicarla o incluso triplicarla en algunas localizaciones [9,10]. Sin embargo, 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 esta

maniobra muchos han sido los estudios llevados a cabo con el objetivo de refinar el proceso. Estos han puesto de manifiesto la gran relevancia de tres parámetros principales de calidad de las CT:

- La profundidad: se define como la distancia recorrida por el pecho al realizar CT sobre el mismo.
- La frecuencia: se define como la cantidad de veces por unidad de tiempo que se comprime y descomprime el pecho.
- El Duty Cycle: se define como la relación entre el tiempo de compresión y la duración total del ciclo de compresión.

En base a estos parámetros, 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: debe ser del 50%.

Además, se establecen como criterios adicionales:

- 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.

En la actualidad se plantea la validez de un nuevo parámetro de calidad, la velocidad de descompresión del pecho (RV). La RV se define como el valor máximo de la velocidad del pecho en la fase de descompresión. El planteamiento de la RV como nuevo posible parámetro de calidad de las CT se debe a que afecta directamente al proceso mecánico que lleva a cabo el corazón, a través del cual la sangre es impulsada hasta los órganos para de esta manera oxigenarlos y nutrirlos. En este punto es donde se sugiere que, desde un punto de vista mecánico, es posible que una mayor velocidad de descompresión conlleve mayor circulación del flujo sanguíneo.

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 RV durante la RCP. Sin embargo, los resultados no fueron lo suficientemente clarificadores [11]. Posteriormente, se desarrollaron otros estudios que analizaron la relación de la RV con la generación de flujo sanguíneo y la probabilidad de supervivencia. Sin embargo, a pesar de que proporcionan nuevas evidencias, los resultados son poco concluyentes o contradictorios.

El GSC lleva trabajando muchos años en la medida automática de los parámetros de calidad de las CT. En relación a la RV como posible nuevo parámetro de calidad, el GSC es escéptico.

## 2.2.- Hipótesis de trabajo

Se plantea la posibilidad de que la RV no sea un nuevo parámetro de calidad independiente, sino que exista una correlación entre éste, la profundidad de compresión y el tiempo de compresión. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$d_p = K * Td * RV \quad (1)$$

Esta ecuación corresponde al cálculo natural del área encerrada por un polígono, y para demostrar esta hipótesis, se toma como referencia la Figura 2.2 en la que se muestra en la parte superior la señal de velocidad y en la parte inferior la señal de desplazamiento o profundidad de la compresión.

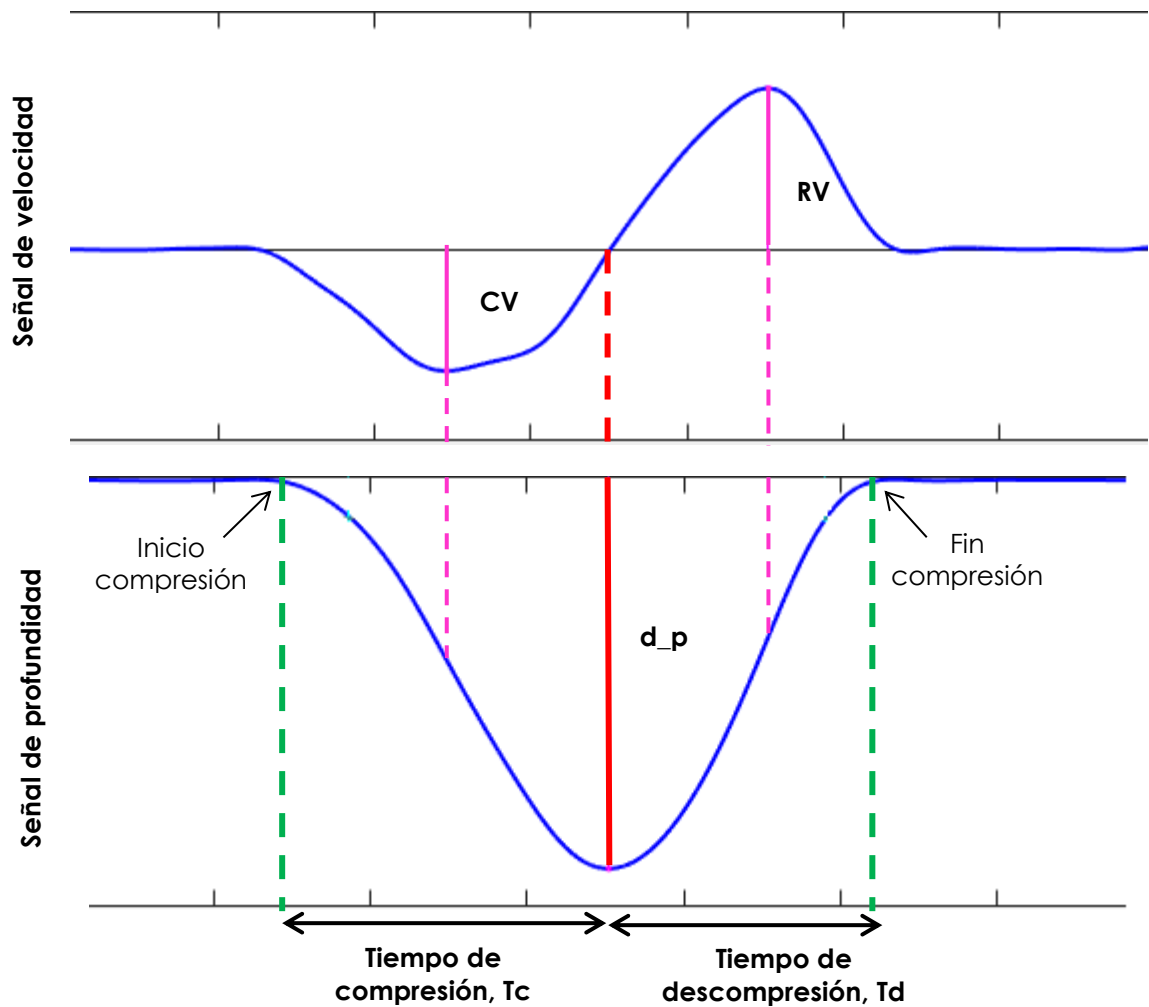


Figura 2.2: Señal de velocidad y señal de profundidad correspondiente es a una CT

Las líneas verticales de color verde indican el instante en el que se inicia la compresión y el instante en el que finaliza. Entre estas dos se sitúa, marcado por la línea vertical roja, el punto de máxima compresión (que se corresponde también con la velocidad nula). Las líneas verticales de color magenta indican los puntos en los que la velocidad toma su valor máximo, en el momento de compresión (CV) y en el momento de descompresión (RV).

La velocidad se obtiene como la derivada del desplazamiento. Por tanto, la integral de la velocidad en la descompresión coincide con la profundidad de la compresión (si se vuelve al punto de inicio). Lo mismo sucede si se integra la velocidad durante la fase de compresión (ver Figura 2.2).

El nuevo parámetro de calidad planteado en [11], RV, está directamente relacionado con la profundidad alcanzada en la compresión y con el tiempo de descompresión. Así, el área bajo la curva de la señal de velocidad podría aproximarse mediante la expresión (1).

Por lo que, despejando de (1) se obtiene la RV como:

$$RV = \frac{1}{K} * \frac{d_p}{Td} \quad (2)$$

Según ésta última ecuación la RV podría ser deducida del cociente entre la profundidad de la compresión y el tiempo de compresión.

Una vez planteada esta hipótesis, para explorar la validez de la misma y extenderla también a la CV, así como estudiar la relación entre las métricas de calidad clásicas y otras nuevas, se ha realizado un trabajo que permita caracterizar, mediante un alto número de parámetros, todas y cada una de las compresiones realizadas por voluntarios en un escenario controlado sobre un maniquí de resucitación.



## **3.- Objetivos y Alcance**

### **3.1.- Objetivo principal**

El objetivo principal de este trabajo es estudiar nuevos parámetros de calidad de las compresiones torácicas, durante la resucitación cardiopulmonar en un escenario simulado sobre maniquí, así como la relación que existe entre estos nuevos parámetros y los parámetros de calidad más clásicos, y comparar estos resultados con los obtenidos con escenarios reales.

### **3.2.- Objetivos secundarios**

Dentro de los objetivos secundarios se distinguen los siguientes.

#### ***3.2.1.- Creación de una base de registros***

En primer lugar, es necesario obtener una base de registros de señales de compresiones torácicas sobre las que realizar el estudio de los parámetros de calidad. Para ello será necesario que varios voluntarios participen realizando CT en un maniquí de resucitación bajo diferentes condiciones. Será necesario definir el equipo experimental y el protocolo para la realización de los diferentes experimentos, así como la formación de los voluntarios. Durante la grabación de los registros, se registrará la señal de profundidad del pecho de forma continua.

#### ***3.2.2.- Marcado y generación de una base de resultados***

Una vez obtenida la base de registros, se requiere marcar cada compresión indicando el inicio, fin, profundidad, etc. Este marcado se realizará de manera automatizada, requiriendo posteriormente una revisión visual de los resultados obtenidos con el marcado con el fin de optimizar dicha rutina automática. A continuación, se almacenará en una base de resultados la información para todas las compresiones analizadas. Esta base servirá para

realizar el análisis de los datos y también para su posterior uso en diferentes proyectos que requieran de una base de datos de estas características.

### **3.2.3.- Análisis de los resultados**

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 los parámetros de calidad de las compresiones.

Más concretamente, se analizarán los siguientes aspectos:

- La relación de la RV y la CV con el ratio profundidad/tiempo.
- La relación entre parámetros de calidad clásicos y las métricas de velocidad.
- Comparativa con parámetros obtenidos de registros reales de resucitación.

## **4.- Beneficios del proyecto**

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**

La realización de este trabajo da lugar a una serie de beneficios técnicos como son:

- Obtención de una plataforma experimental en base a un maniquí sensorizado y una herramienta de adquisición de señales para la grabación de señales sobre maniquí.
- Desarrollo de programas de cálculo y algoritmos para explorar nuevas métricas tanto nuestras como de otros autores.
- Obtención de una base de registros de señales de CT grabada en un entorno controlado en el cual se han recogido registros bajo diferentes condiciones de realización de las CT.
- Una base de datos que contiene información relativa a la caracterización de los registros de señales.

Estos recursos quedan disponibles para futuros trabajos en este ámbito. De este modo se podrá dar 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.

### **4.2.- Beneficios sociales**

La parada cardiorrespiratoria es hoy en día una de las mayores causas de mortalidad a nivel mundial. Lo que se busca con este estudio es llevar a cabo

una investigación con el objetivo de mejorar la calidad de la RCP como factor clave en la probabilidad de supervivencia. El conocimiento de las relaciones entre los diferentes parámetros de calidad contribuye a la mejora de la calidad RCP.

Pese a que este estudio no incide directamente en aplicaciones prácticas, sí 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 este caso al tratarse de un proyecto de investigación, no se contemplan beneficios económicos directos. Sin embargo, en base a los logros alcanzados con este trabajo, como pueden ser publicaciones en revistas, se contempla obtener financiación futura para otros proyectos.

## 5.- Estado del arte

En el año 2000, con el objetivo de estandarizar un proceso a ejecutar por rescatadores ante pacientes en situación de parada cardiorrespiratoria, en base a los trabajos llevadas a cabo por diferentes grupos de investigación [12], ILCOR consensúa “crear unas guías de resucitación internacionales válidas y ampliamente aceptadas basadas en evidencias científicas internacionales y producidas por expertos internacionales en resucitación”.

A lo largo de los siguientes años y tomando como referencia dichas guías, se desarrollaron muchos y diferentes caminos dentro del ámbito de la resucitación cardiopulmonar, dando lugar de esta manera a avances significativos. Muchos de los esfuerzos por realizar avances en la mejora de la probabilidad de supervivencia de los pacientes de PCR se centraron en mejorar la calidad de las compresiones de la maniobra de RCP. Estas mejoras no sólo incumben la definición y optimización de los parámetros que forman parte de las compresiones, sino también los protocolos de actuación de los rescatadores tanto in situ como a distancia. El estado actual de dichos avances se refleja en la última edición de las guías internacionales de resucitación publicadas por el ILCOR en 2015 [13]

### 5.1.- Evolución de los parámetros de calidad

Desde que 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 recomendados. Estos valores han ido variando a medida que diferentes proyectos de investigación fueron llevados a cabo y se

obtuvieron nuevas evidencias científicas sobre la relación entre las recomendaciones y la mejora de la calidad RCP.

El primer parámetro clásico es la **profundidad de compresión**, que se define como la distancia recorrida por el pecho durante la compresión del mismo, ha ido variando desde la década de los 80 hasta el momento. En 2007, tras los primeros estudios, nació la necesidad de establecer unos valores estándar para evaluar la calidad del proceso de reanimación cardiopulmonar. Mediante un trabajo conjunto a nivel internacional, se realizó un estudio en el que se llevó a cabo el establecimiento de tales valores [14]. En dicho estudio se sugería que para ejecutar una RCP de calidad en pacientes adultos, las compresiones debían situarse por debajo de los 38 mm. En 2010 la mínima profundidad de compresión, según las guías [15], ascendió a los 50 mm, en base a diferentes resultados [16, 17]. Por último, en las guías de resucitación publicadas en el año 2015 [13], se establece que las compresiones deben realizarse a una profundidad de entre 50 y 60 mm.

Paralelamente al desarrollo de las investigaciones respecto a la profundidad, diversos estudios avanzaron también en el establecimiento de un segundo parámetro de calidad, la **frecuencia** a la que se deben realizar las compresiones. Las primeras investigaciones realizadas en los años 80 [18, 19] tomaron como referencia las guías de resucitación publicadas por la AHA [20], en las que se especificaba que debía realizarse una frecuencia de entre 80 y 100 compresiones por minuto (cpm), aumentándose así este valor desde el intervalo 40-60 cpm establecido anteriormente. Estos estudios realizaron pruebas variando la frecuencia desde 60 cpm hasta 120 cpm, 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 cpm [21, 22]. Este límite superior está basado en la evidencia aportada por un estudio, en el que se demostraba que a partir de 125 cpm la probabilidad de supervivencia tendía a decrecer [23]. Las

guías de resucitación indican que, en base a los estudios publicados, la frecuencia más adecuada se sitúa entre las 100 y las 120 cpm siendo este el intervalo en el que la tasa de supervivencia es mayor [24].

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 en relación al tiempo total del ciclo de compresión (es decir, el tiempo de compresión más el tiempo de descompresión). A pesar de que aún no existen suficientes evidencias científicas, las investigaciones más recientes indican que el valor óptimo para este parámetro es de 50-50 (es decir, dedicar la misma proporción temporal, 50%, a comprimir el pecho y a descomprimirlo), y así se refleja en las guías de resucitación. A pesar de que no hacen hincapié en el cumplimiento del valor de este parámetro durante la RCP, al contrario que con la profundidad y la frecuencia de compresión.

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 RV.

## 5.2.- Parámetro de velocidad

En el año 2015, la compañía Zoll Medical Corporation en colaboración con la Universidad de Arizona, la Universidad de Osaka, publicó un artículo en el que se sugería que la RV podía constituir un parámetro independiente a los ya existentes [11], es decir, la RV por sí misma podría dar información sobre la calidad de las CT sin necesidad de ningún parámetro adicional. En este trabajo se analizaron diferentes situaciones de parada cardiorrespiratoria, llegando a la conclusión de que valores de RV cercanos a 400 mm/s desembocaban en mayores tasas de supervivencia frente a casos en los que la RV 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.

En este trabajo, sin embargo, no se estudiaba la posible dependencia de la RV con los parámetros clásicos de calidad. Es aquí donde se encuadra el estudio realizado en este TFM.

En este TFM, por tanto, se realiza un estudio experimental y un análisis posterior con el objetivo de avanzar en el estudio de la RV y determinar su independencia con el resto de parámetros involucrados en las CT durante la RCP. Adicionalmente, también se realiza un estudio sobre la velocidad de compresión (CV). Para este fin, se grabarán CT sobre un maniquí de resucitación, de las que luego se extraerán parámetros para su posterior análisis y comparación con parámetros de CT extraídos de grabaciones sobre escenarios reales en humanos.



## 6.- Análisis de alternativas

Para el desarrollo de este trabajo ha sido necesario seleccionar una entre varias alternativas en diferentes aspectos que han definido el desarrollo del mismo. En este apartado se analiza la elección de dichas alternativas y se exponen los motivos de su elección.

Los criterios de selección se valoran en función de la relevancia como bajo, medio o alto. Y a cada alternativa se le asigna un grado de adecuación a cada criterio: bajo, medio o alto.

### 6.1.- Maniquí de resucitación

En la etapa experimental es necesario poseer un maniquí de resucitación sobre el que realizar CT para grabar registros de las mismas. Para ello se proponen dos alternativas de maniquís.

#### **6.1.1.- Alternativas**

##### **Maniquí Resusci Anne**

El maniquí de resucitación Resusci Anne es un maniquí de entrenamiento de Laerdal llamado Resusci Anne, el cual está fabricado con marcas anatómicas realistas que proporcionan un entrenamiento RCP efectivo y basado en las situaciones reales. Presenta, entre otras, las siguientes características:

- Las marcas en la posición anatómica correcta y la muesca del esternón permiten practicar la identificación de los puntos anatómicos relevantes en la RCP de un adulto.
- La resistencia realista de la caja torácica permite a los estudiantes practicar la presión necesaria para realizar una correcta compresión del tórax en situaciones reales. Para simular dicha

resistencia utiliza un muelle unido a una plataforma que hace de esternón.

- Cuenta con 3 tipos de muelles a colocar en el interior del pecho del maniquí que modelan distintos tipos de pacientes en relación a la rigidez del pecho.
- Medidas: 63.5 cm - 3.9 kg

### **Ambu Man**

El Ambu Man es un maniquí de entrenamiento de Ambu de tamaño adulto que permite una representación excepcionalmente real de la anatomía humana, sobre todo de aquellas partes que son importantes para instruirse en las modernas técnicas de reanimación. Presenta, entre otras, las siguientes características:

- Para cambiar el tipo de entrenamiento se puede variar la rigidez del pecho.
- Está equipado con un instrumento motorizado mecánico que muestra la eficacia de la reanimación y puede indicar los resultados de la fuerza de compresión del pecho, la posición incorrecta de las manos o el volumen de ventilación, así como las indicaciones sobre la distensión del estómago.
- Dimensiones: 80 x 35 cm (torso) ,135 cm (cuerpo completo).
- Peso: 14 kg (torso) 17 kg (cuerpo completo)

### **6.1.2.- Criterios de selección**

1. **Variabilidad de la rigidez del pecho** que modela distintos tipos de pacientes.

**Peso:** alto.

2. **Espacio interior** para colocar un sensor capaz de medir la profundidad de las CT realizadas sobre el maniquí.

**Peso:** alto

### 3. **Portabilidad.**

**Peso:** bajo

Criterio	Peso	Alternativa	
		Resusci Anne	Ambu Man
Variabilidad de la rigidez del pecho	Alto	Alto	Media
Espacio interior	Alto	Alto	Media
Portabilidad	Bajo	Alto	Media

Tabla 6.1: Criterios de selección de la alternativa de maniquí de resucitación

En base a estos criterios la alternativa seccionada es el maniquí Resusci Anne de Laerdal. Por su portabilidad al contar únicamente con el torso del maniquí, la manejabilidad y flexibilidad para colocar un sensor en el interior y la sencillez de variabilidad de la rigidez del pecho para modelar distintos tipos de pacientes, ya que cuenta con 3 muelles distintos sencillos de cambiar en el interior del maniquí, las características de estos muelles se explican con más detalle en la sección 7.1.1.

## **6.2.- Sensor para medir la distancia**

Este dispositivo debe ser el encargado de enviar la señal eléctrica correspondiente a la profundidad ejercida sobre el pecho durante cada una de las compresiones torácicas. Las necesidades de medida que debe cubrir son las siguientes:

- El rango de medida debe estar, al menos, entre 0 y 10 cm, ya que la profundidad óptima de compresión es de 5 cm, pero es necesario trabajar con algo de margen.

- La salida en tensión correspondiente deberá estar entre  $\pm 10V$ , ya que irá conectada a la tarjeta de adquisición de datos NI USB – 6211.
- Para más facilidad y fiabilidad de las medidas, deberá ofrecer un comportamiento lineal.
- No es estrictamente necesario que ofrezca un comportamiento lineal, aunque sería de agradecer para más facilidad y fiabilidad de las medidas.
- Es posible su calibración mediante software.
- Es recomendable que su consumo sea bajo, pero no imprescindible.
- La alimentación necesaria para este dispositivo debería estar en el rango 0-5V por la posibilidad de alimentarlo mediante la tarjeta de adquisición de datos, aunque existe la posibilidad de alimentarlo mediante fuentes de alimentación, dada su complejidad. Puede ser alimentado mediante una pila.
- Es necesario que su tamaño no sea excesivamente grande ya que debe ser manejable para ser instalado en el interior del maniquí.

### 6.2.1.- Alternativas

#### Sensor Resistivo

El sensor resistivo SP1-4 TRANSDUCTOR, de la marca Celesco, es un dispositivo de reducido tamaño, con una salida eléctrica apta para su procesamiento tanto por magnitud como por la posibilidad de ser calibrado y presenta un comportamiento lineal. Sin embargo, se alimenta a través de una pila, lo cual requiere tener en cuenta el envejecimiento de la misma y anotar el valor de distancia de referencia por cada grabación de registro, el cual depende del valor de tensión que se le esté aplicando en ese momento. Pero el hecho de que la alimentación sea a través de una pila, suma manejabilidad al sistema.

En la Tabla 6.2 se muestra un resumen de sus características:

Parámetro	Valor	Unidades
Rango de trabajo	0 – 120.65	mm
Salida en tensión	94% $\pm$ 4% de la tensión de entrada	-
Linealidad	Sí	-
Calibración vía software	Sí	-
Alimentación	30 (AC/DC)	V
Tamaño	48x89	mm

Tabla 6.2: Características sensor resistivo SP1-4 TRANSDUCTOR

### Sensor óptico

Sensor óptico BOD 6K, de la marca BALLUFF. En la Tabla 6.3 se muestra un resumen de sus principales características.

Parámetro	Valor	Unidades
Rango de trabajo	20 - 80	mm
Salida en tensión	0 - 10	V
Linealidad	No	-
Calibración vía software	Sí	-
Longitud de onda/color	660/rojo	nm/ -
Alimentación	15 - 30 (AC/DC)	V
Tamaño	21x32x12	mm

Tabla 6.3: Características sensor óptico BOD 6K (BALUFF)

Al igual que en el caso anterior, se trata de un dispositivo de reducido tamaño el cual se alimenta a través de una fuente de alimentación. Sin embargo, no es lineal y el rango de trabajo es menor que en el caso del sensor resistivo.

### 6.2.2.- Criterios de selección

1. **Linealidad**.  
**Peso:** alto
2. **Rango de medida**.  
**Peso:** alto
3. **Tamaño**, ya que debe ser colocado en el interior del maniquí.  
**Peso:** alto
4. **Precisión** de medida.  
**Peso:** alto

Criterio	Peso	Alternativa	
		Resistivo	Óptico
Linealidad	Alto	Alto	Bajo
Rango de medida	Alto	Alto	Medio
Tamaño	Alto	Alto	Alto
Precisión	Alto	Alto	Alto

Tabla 6.4: Criterios de selección del sensor encargado de medir el desplazamiento del pecho

En base a estos criterios, el dispositivo seleccionado es el sensor resistivo SP1-4 TRANSDUCTOR, ya que a pesar de que los dos sensores tienen un tamaño apto para ser colocado en el interior del maniquí y buena precisión de medida, el sensor resistivo tiene un comportamiento lineal y un rango de medidas más amplio que el sensor óptico.

## **7.- Descripción de la solución**

Una vez colocado el proyecto en contexto, pasaremos a analizar la metodología llevada a cabo para la ejecución del trabajo.

### **7.1.- Descripción del sistema de generación de registros**

A continuación, se explicará la manera en que se han adquirido los registros de señales a través de una plataforma experimental y estableciendo un protocolo de medidas.

#### ***7.1.1.- Montaje***

En este punto se va a realizar una descripción del sistema de medida, para ello nos apoyaremos en la Figura 7.3, donde se puede observar un maniquí de entrenamiento en el interior del cual se ha colocado un sensor resistivo que mide la distancia, este sensor queda situado debajo del pecho del maniquí con el objetivo de medir la profundidad de las CT (ver Figura 7.2). Encima del pecho del maniquí se coloca un acelerómetro (ver Figura 7.1) con el objetivo de medir la señal de aceleración de las CT. Ambas señales, de profundidad y de aceleración, son adquiridas por el ordenador a través de una tarjeta de adquisición analógico/digital.

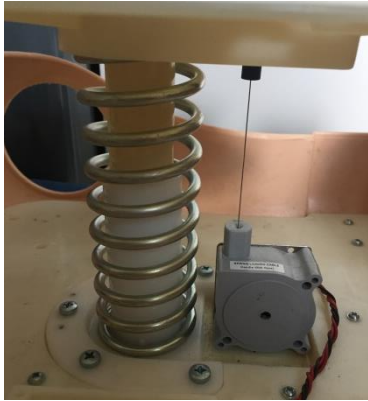


Figura 7.2: Sensor SP1-4 TRANSDUCTOR, CELESCO colocado en el interior del maniquí



Figura 7.1: Acelerómetro ADXL330, ANALOG-DEVICES

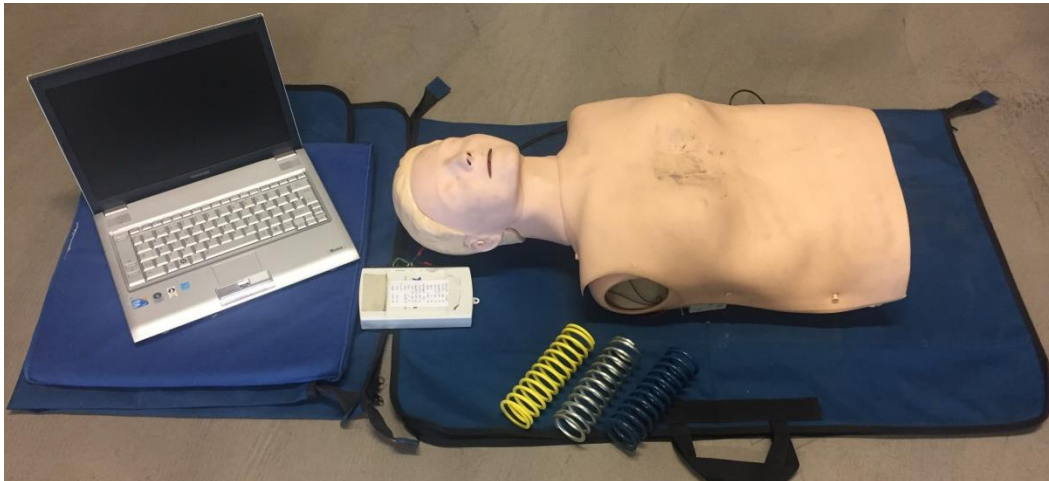


Figura 7.3: Materiales utilizados para la grabación de los registros. Ordenador portátil, tarjeta de adquisición de señales, tres muelles de diferente rigidez para colocar en el interior del maniquí, torso del maniquí de resucitación.



Los equipos utilizados para realizar las grabaciones han sido los siguientes:

<b>Equipo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Función</b>
<b>Maniquí</b>	Resusci Anne, Laerdal	Sobre el que se administrarán las CT
<b>Tarjeta de adquisición A/D</b>	NI USB – 6211	Encargada de la adaptación de señales de analógico a digital para que puedan ser procesadas por el ordenador
<b>Sensor de referencia</b>	SP1-4 TRANSDUCTOR, CELESCO	Medir la profundidad real de compresión del pecho
<b>Acelerómetro</b>	ADXL330, ANALOG-DEVICES	Medir las señales de aceleración del movimiento del pecho
<b>Software</b>	MATLAB	Adquisición de los datos, implementación del método de procesado y obtención de resultados

Tabla 7.1: Equipos utilizados para realizar las grabaciones

El maniquí cuenta con 3 tipos de muelles de diferente rigidez que modelan diferentes tipos de pacientes [25]. Se ha demostrado a través de investigaciones clínicas que hay una relación no lineal entre la fuerza aplicada en la compresión y el desplazamiento sufrido por el pecho durante las compresiones torácicas [26]. En la Figura 7.4 se representa la relación entre la fuerza ejercida sobre el pecho de ocho pacientes de parada cardiaca (cada paciente representado en un color diferente) y la profundidad de compresión alcanzada. Los tres círculos de colores representan la fuerza que hay que ejercer sobre cada muelle del maniquí de resucitación para alcanzar una profundidad de 50 mm.

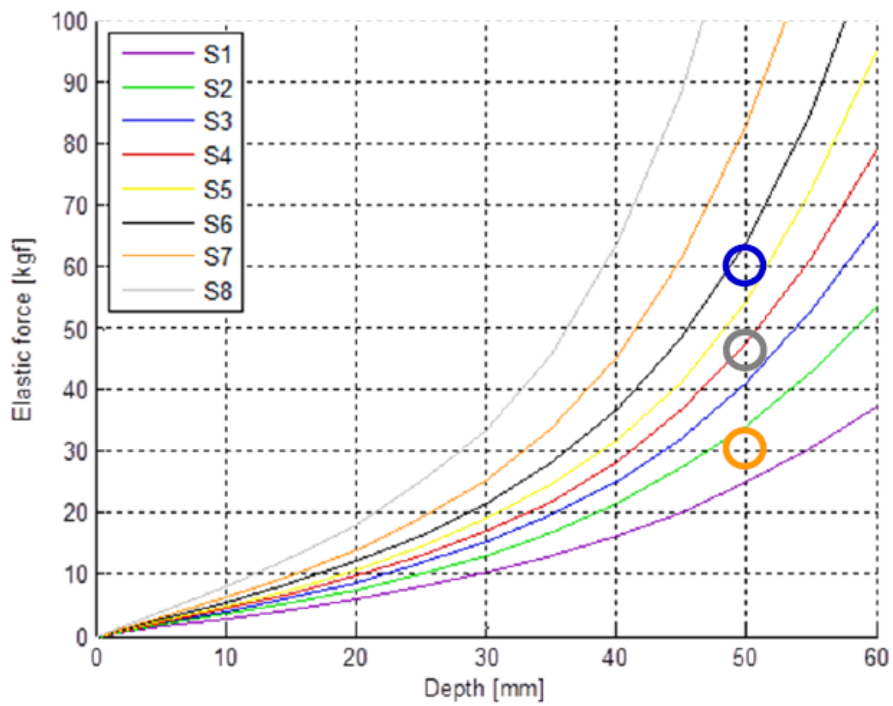


Figura 7.4: Fuerza aplicada en el pecho de cada paciente de parada cardíaca (representados por las curvas de diferentes colores, cada color un paciente) frente a la profundidad ejercida para dicha fuerza. Los tres círculos de colores representan la rigidez escogida para cada muelle del maniquí de resucitación. [27]

En la Figura 7.5 se muestra la fuerza necesaria que se debe ejercer sobre el pecho del maniquí, para cada muelle colocado en el interior del mismo, para realizar una profundidad de compresión de 50 mm.

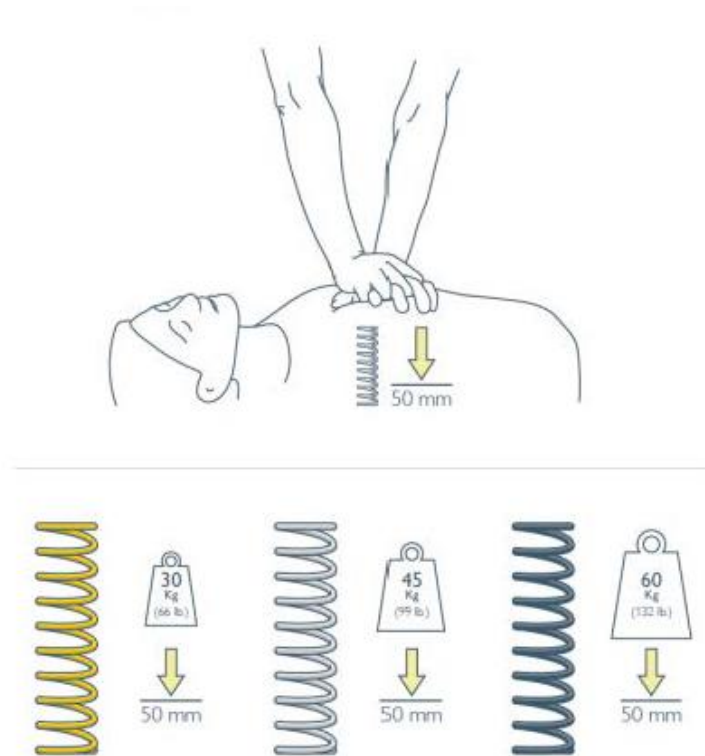


Figura 7.5: Fuerza necesaria para comprimir cada muelle 50 mm

### 7.1.2.- Protocolo de medidas

Se ha diseñado un protocolo de medidas para realizar las compresiones torácicas al maniquí con el objetivo de obtener las grabaciones del sensor de distancia y de aceleración. Este protocolo, el cual se detalla a continuación, ha sido aprobado por el comité de ética CEID de la UPV/EHU y los voluntarios que han participado en el mismo han tenido que firmar previamente un consentimiento informado el cual se detalla en el Anexo III.

- **Frecuencia de compresiones objetivo:**
  - 80, 100, 120 y 140 compresiones por minuto (cpm)
  - La frecuencia objetivo será guiada en todo momento por un metrónomo durante las grabaciones.
- **Profundidad objetivo:**
  - Mínimo 5 cm.
  - A los rescatadores no se les guiará en términos de profundidad.
- **Recuperación del pecho entre compresiones:**
  - Los rescatadores deben descomprimir el pecho completamente entre compresión y compresión. En caso de no hacerlo, se les avisará.
- **Muelles:**

- Muelle blando, medio y duro.
- Cada muelle simula un tipo de paciente, de manera que se realizarán grabaciones por todos los rescatadores a todas las frecuencias sobre todos los tipos de muelles.
- **Rescatadores:**
  - Se han escogido 11 voluntarios los cuales han sido entrenados durante 30 minutos para realizar la maniobra de RCP.
- **Duración de los registros:**
  - La duración de los registros es de 2 minutos, donde los rescatadores dan compresiones torácicas al maniquí de forma continua y sin pausas.

Para proceder con el registro de grabaciones, se cita a los voluntarios en dos grupos de 4 voluntarios y un grupo de 3 voluntarios. Para aleatorizar el proceso de grabación, se utilizan 3 tarjetas en las que se indica el tipo de muelle a utilizar y 4 tarjetas en las que se indica la frecuencia a la que deben realizarse las CT. De modo que al inicio de cada grabación, el voluntario escoge 'a ciegas' una tarjeta que le indica el muelle sobre el que hacer las CT y otra tarjeta que indica la frecuencia de compresión.

De esta manera, 11 rescatadores realizan CT durante 2 minutos a 4 frecuencias diferentes sobre 3 tipos de muelles y como resultado se obtienen 132 registros de grabaciones de 2 minutos cada uno.

### **7.1.3.- Generación de una base de registros a partir de las grabaciones**

Una vez obtenidos todos los registros, se han procesado de manera que se ha generado una estructura de datos en MATLAB por cada registro, que contienen los siguientes campos:

- **Signals**
  - **Accel:** señal de aceleración en mm/s.
  - **CompDepth:** señal de profundidad de las compresiones en mm.
  - **fs:** valor de la frecuencia de muestro a la que se han adquirido las señales
- **Info**

- **Rescuer:** número de voluntario que ha realizado las compresiones de ese registro
- **Spring:** Tipo de muelle que se ha utilizado en esa grabación
- **targetRate:** Frecuencia de CT objetivo. Los rescatadores han sido guiados en términos de frecuencia a 4 frecuencias diferentes. En este campo se indica dicha frecuencia objetivo.
- **CPRtype:** Tipo de CPR: manual o mecánica. El tipo de compresiones manual son las realizadas por voluntarios, mientras que las mecánicas son las realizadas por un brazo mecánico.
- **targetDepth:** Profundidad objetivo. En el caso de compresiones realizadas por voluntarios este campo queda puesto a 0 ya que no se les ha guiado en aspectos de profundidad de las CT.

## 7.2.- Marcado de las compresiones

Una vez recogidas las señales en una base de registros, para estudiar tanto los parámetros relacionados con la profundidad, como con la velocidad, en primer lugar es necesario filtrar la señal de profundidad con un filtro paso bajo para eliminar el ruido de alta frecuencia. La velocidad se obtiene a partir de la derivada de la señal de profundidad, después de que ésta haya sido filtrada. Y ambas señales se procesan para detectar inicialmente los puntos de referencia y posteriormente calcular las métricas derivadas de dichos puntos de referencia.

### **7.2.1.- Marcado de la señal de profundidad**

En primer lugar, se detecta cada CT de cada registro con un detector de picos con un umbral en profundidad de 1 cm, y por cada CT se obtienen los siguientes puntos de referencia:

- **Tiempo de inicio de compresión (ts)**
- **Tiempo de inicio de compresión efectivo (ts\_ef)**
- **Tiempo de fin de compresión (te)**
- **Tiempo de fin de compresión efectivo (te\_ef)**
- **Tiempo en el que se produce el máximo de compresión (t\_p)**
- **Profundidad de pico de compresión (d\_p)**

En la Figura 7.6 se muestra sobre una señal correspondiente a una compresión los puntos mencionados anteriormente.

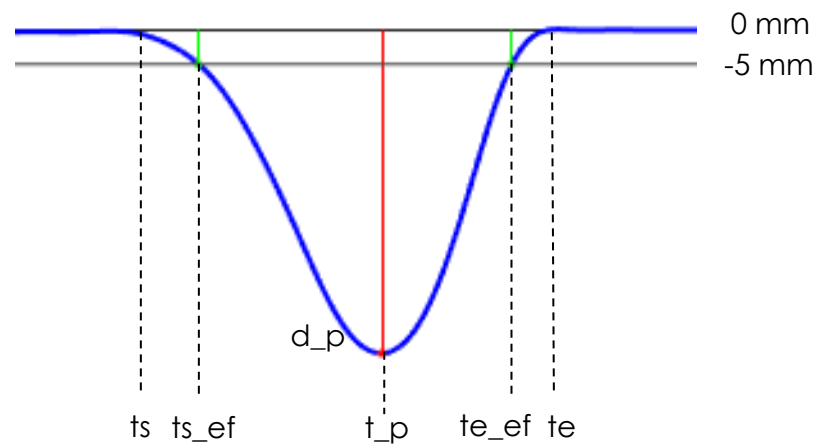


Figura 7.6: Compresión Torácica: Parámetros de marcado

Los tiempos efectivos de inicio y fin de compresión hacen referencia al momento en el que empieza a comprimirse o descomprimirse el pecho de manera efectiva. Cada ciclo de compresión consta de un periodo en que el pecho se comprime (el esternón se desplaza hacia abajo), otro en el que el pecho se descomprime (el esternón vuelve a su posición original) y un periodo en que el no hay desplazamiento. Esto se debe, por un lado, a que entre compresiones existen pequeñas pausas (periodo durante el que el pecho está relajado, no se le aplica ninguna fuerza) y, por otro lado, a que al iniciar la compresión primero se comprimen los tejidos blandos y luego se inicia el desplazamiento del pecho. Si se dividiera cada ciclo únicamente en un periodo de compresión y otro de descompresión no se estaría teniendo en cuenta este efecto y, por lo tanto, no se evaluarían los tiempos de forma adecuada. Para establecer los tiempos de inicio y fin de compresión efectivos se ha establecido un umbral de 5 mm. Cuando el pecho se comprime más allá de este límite se considera que no solo se comprimen los tejidos blandos sino que también hay desplazamiento.

Basándonos en esta Figura definimos las siguientes métricas:

- **Duración de ciclo (Tcc):** Intervalo temporal comprendido entre  $t_s$  y  $t_e$ . Hace referencia al ciclo temporal completo que toma la compresión, desde que comienza a ejercerse fuerza sobre el pecho hasta que las manos son retiradas.
- **Duración efectiva (Tcc\_ef):** Intervalo temporal comprendido entre  $t_{s\_ef}$  y  $t_{e\_ef}$ . Hace referencia al ciclo temporal en el que la fuerza ejercida comprime el pecho de manera efectiva.
- **Tiempo de compresión (Tc):** Intervalo temporal comprendido entre  $t_s$  y  $t_p$ . Hace referencia al ciclo temporal en el que el pecho es comprimido, desde una profundidad nula hasta una profundidad máxima.
- **Tiempo de compresión efectivo (Tc\_ef):** Intervalo temporal comprendido entre  $t_{s\_ef}$  y  $t_p$ . Hace referencia al intervalo del tiempo de compresión durante el que la fuerza ejercida comprime el pecho de manera efectiva.
- **Tiempo de descompresión (Td):** Intervalo temporal comprendido entre  $t_p$  y  $t_e$ . Hace referencia al ciclo temporal en el que el pecho es descomprimido, desde una profundidad máxima hasta una profundidad nula.
- **Tiempo de descompresión efectivo (Td\_ef):** Intervalo temporal comprendido entre  $t_p$  y  $t_{e\_ef}$ . Hace referencia al intervalo del tiempo de descompresión durante el que la fuerza ejercida comprime el pecho de manera efectiva.
- **Duty Cycle efectivo:** Proporción de tiempo que se dedica a la compresión con respecto al tiempo del ciclo de compresión y descompresión completo. Se calcula como el tiempo de compresión efectivo entre la duración efectiva.

### 7.2.2.- Marcado de la señal de velocidad

Los puntos de referencia marcados de la señal de velocidad son los siguientes:

- **Velocidad de compresión (CV, Compression Velocity)**
- **Tiempo en el que se produce el máximo de velocidad de compresión (pos\_cv)**
- **Velocidad de descompresión (RV, Release Velocity)**
- **Tiempo en el que se produce el máximo de velocidad de descompresión (pos\_rv)**

En la Figura 7.7 se muestran las señales de velocidad y profundidad con los puntos de referencia mencionados:

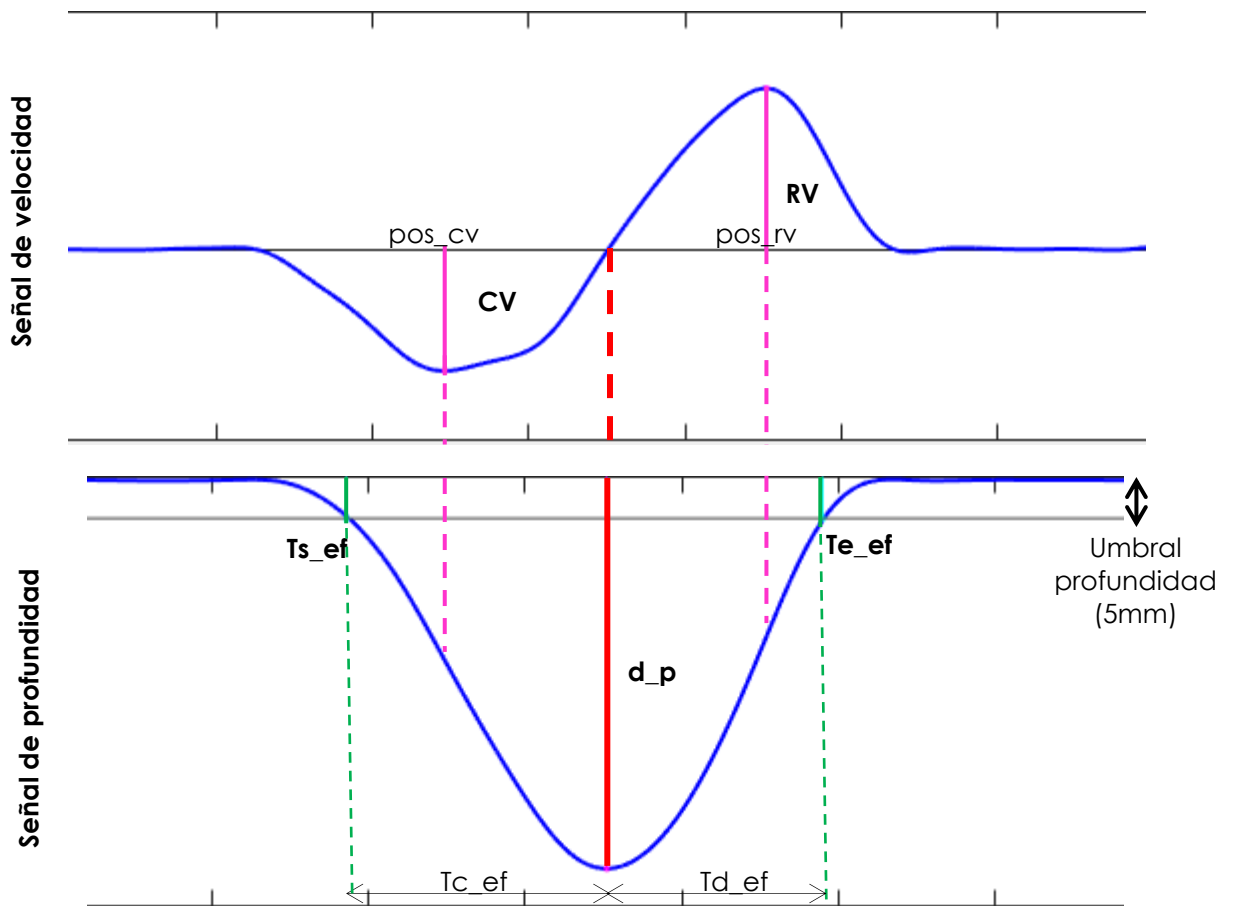


Figura 7.7: Parámetros sobre la señal de profundidad de CT y sobre la señal de velocidad

Como se puede observar, el máximo de CV se alcanza cuando la velocidad toma el valor más negativo que coincide con el valor de pendiente máxima en la señal de profundidad. Al igual que ocurre con el valor de RV que alcanza su máximo en el punto en el que la velocidad toma el valor positivo más alto y coincide con la pendiente máxima de la señal de desplazamiento en el momento de descompresión. Mientras que el máximo de profundidad coincide con el valor 0 de velocidad en el cual se deja de comprimir y se empieza a descomprimir el pecho.



Una vez establecidos los parámetros de marcado tanto para la señal de profundidad como para la señal de velocidad, se procede a programar una rutina de marcado capaz de detectar las compresiones y marcar todos los parámetros mencionados anteriormente de forma automática.

En la Figura 7.8 se ve un ejemplo de marcado de un ciclo de compresiones:

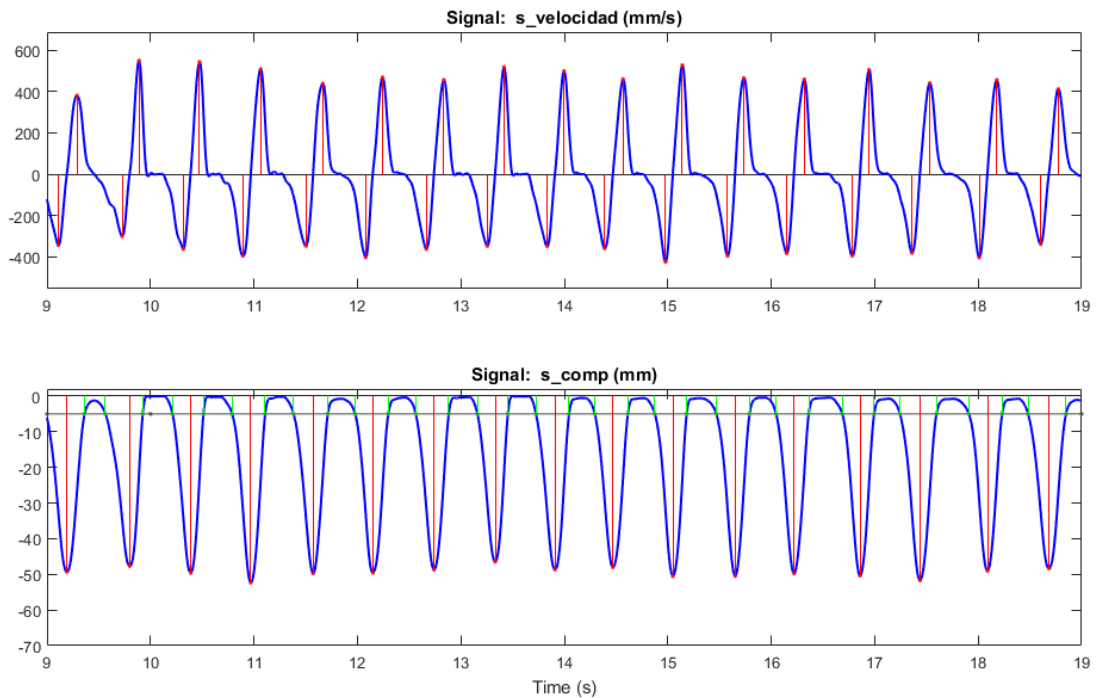


Figura 7.8: En la parte superior se muestra la señal de velocidad en la que se marca el máximo de CV y el máximo de RV. Dicha señal de velocidad se corresponde con la señal de profundidad de CT que se muestra abajo en la que se marca el inicio y fin de compresión efectiva y el máximo de profundidad

## 7.3.- Generación de una base de resultados

Con el objeto de analizar los resultados experimentales, todos los parámetros y métricas derivadas para cada compresión de cada registro, se guardan en una base de resultados, que consta de los siguientes campos:

- **Resultados**
  - **Name:** nombre del registro
  - **Info:** Información relativa al registro
    - **Rescuer:** número del voluntario
    - **Spring:** Tipo de muelle el cual se ha utilizado en ese registro, blando, medio o duro.
    - **TargetRate:** Frecuencia de compresiones objetivo.
    - **CPRtype:** Tipo de CPR realizada, manual o mecánica.
    - **TargetDepth:** Profundidad objetivo.
  - **Versión:** 2.0. Campo para realizar un seguimiento de las rutinas utilizadas para marcar métricas.
  - **Fiducials:** Parámetros extraídos directamente a través del marcado de las compresiones de la señal de velocidad y profundidad.
    - **d\_p:** Profundidad máxima de compresión
    - **t\_p:** Instante en el que se produce el máximo de profundidad
    - **ts:** Tiempo de inicio de compresión
    - **ts\_ef:** Tiempo de inicio de compresión efectivo
    - **te:** Tiempo de fin de compresión
    - **te\_ef:** Tiempo de fin de compresión efectivo
    - **CV:** Máximo de velocidad de compresión
    - **Pos\_cv:** Instante en el que se produce el máximo de velocidad de compresión
    - **RV:** Máximo de velocidad de descompresión

- **Pos\_rv:** Instante en el que se produce el máximo de velocidad de descompresión
- **Metrics:** Métricas extraídas a partir de los parámetros obtenidos a través marcado automático.
  - **Tc\_ef:** Tiempo de compresión efectivo
  - **Td\_ef:** Tiempo de descompresión efectivo
  - **Tcc\_ef:** Duración efectiva de la compresión
  - **DC\_ef:** Duty Cycle efectivo

## 7.4.- Base de registros en humanos

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos en escenarios simulados sobre maniquí con los obtenidos a partir de registros de grabaciones reales realizados en humanos, se ha obtenido una base de resultados de estos últimos. Estos datos han sido extraídos de un subconjunto de episodios de parada cardiorrespiratoria extra hospitalaria (OHCA) entre 2010 y 2016 por una agencia de soporte vital avanzado, Tualatin Valley Fire and Rescue (TVF&R), que da servicio en Oregón. Cabe mencionar que los episodios fueron adquiridos con el monitor desfibrilador HeartStart MRx de Philips, con tecnología Q-CPR, de Laerdal Medical, integrada para proporcionar feedback durante la RCP.

Se cuenta, para este trabajo, con 50 registro de OHCA, por cada registro se tiene la estructura de datos detallada a continuación en la que se indican los parámetros y métricas de cada compresión:

- **Name:** Nombre del registro
- **t\_p:** Instante en el que se produce la compresión máxima del pecho.
- **d\_p:** Compresión máxima del pecho.
- **ts\_ef:** Instante de comienzo efectivo de compresión

- **te\_ef**: Instante en el que se finaliza la compresión efectiva del pecho.
- **ts**: Instante de comienzo de compresión.
- **te**: Instante de fin de compresión.
- **Pos\_vc**: Instante en el que se produce la velocidad máxima de compresión del pecho.
- **CCCv**: Máximo de velocidad de compresión del pecho.
- **Pos\_vr**: Instante en el que se produce la RV máxima
- **CCRV**: RV máxima.
- **Rate**: Frecuencia de compresión.
- **Tc\_ef**: Tiempo efectivo dedicado a la compresión del pecho.
- **Td\_ef**: Tiempo efectivo dedicado a la descompresión del pecho.
- **Tcc\_ef**: Tiempo efectivo de CT.
- **DC\_ef**: Duty Cycle efectivo.

## 7.5.- Análisis de los parámetros y métricas

Una vez almacenados los resultados en una base de registros, se procede a realizar un análisis de los mismos. Para ello, a través de la herramienta MATLAB se generan visores para plasmarlos gráficamente y en tablas de manera que se pueda extraer información de manera sencilla.

En primer lugar, se tratan los resultados obtenidos únicamente del estudio realizado sobre maniquí. Para ello se hace uso de la base de resultados descrita anteriormente. En primer lugar, con la ayuda de la herramienta MATLAB, se evalúa la hipótesis inicial de que tanto la RV como la CV tienen una dependencia lineal con el tiempo de descompresión y la profundidad y con el tiempo de compresión y la profundidad, respectivamente.

En segundo lugar, se generan resultados estadísticos, como son la media y los percentiles, de cada parámetro, separando dichos resultados estadísticos por frecuencias y por tipo de muelle del maniquí utilizado en la generación de los registros, con el objetivo de ver la evolución de los parámetros en función de estas dos variables. Se distingue entre frecuencias menores de 100 cpm, frecuencias entre 100 y 120 cpm (frecuencia óptima según las guías de resucitación) y frecuencias por encima de 120 cpm.

En tercer lugar, se separan los resultados en función de la calidad de las compresiones. Las compresiones de alta calidad son aquellas que cuentan con una profundidad de compresión entre 50 y 60 mm y una frecuencia de compresión de entre 100 y 120 cpm. Mientras que las compresiones de baja calidad son las compresiones restantes que no cumplen estas características.

A continuación se comparan los resultados del análisis realizado sobre maniquí con los obtenidos a partir de registros de OHCA. Para realizar la comparativa, se ha evaluado, al igual que en el estudio sobre maniquí la relación de la RV y la CV respecto al tiempo y la profundidad de compresión. También, se ha considerado separar las compresiones por frecuencia de compresión. Y por último, se clasifican las compresiones en dos grupos, de alta calidad y baja calidad, en este caso los criterios utilizados para discriminar cada grupo son los mismos que en el estudio sobre maniquí.

## 8.- Resultados

En esta sección se detallan los resultados obtenidos tanto en los escenarios simulados sobre maniquí como en escenarios reales sobre humanos.

### 8.1.- Resultados sobre maniquí

#### *8.1.1.- Compresiones anotadas*

Número de compresiones para cada rango de frecuencias que hay en la base de datos:

- Frecuencias menores que 100 cpm: 5.736 compresiones
- Frecuencias de 100 a 120 cpm: 15.942 compresiones
- Frecuencias mayores de 120 cpm: 9.773 compresiones

Número de compresiones realizadas con cada muelle de un **total de 31.451 compresiones** son las siguientes:

- Rigidez blanda: 10.568 compresiones
- Rigidez media: 10.404 compresiones
- Rigidez dura: 10.479 compresiones

Número de **compresiones de alta calidad** con las que se cuenta: **6.474**

Número de **compresiones de baja** calidad con las que se cuenta: **24.977**

- De las cuales 1.359 compresiones son malas debido a que se han realizado con una profundidad mayor a 60 mm.
- 4.841 se han realizado con una profundidad menor de 40 mm.
- 5.736 se han realizado a una frecuencia menor de 100 cpm.
- 9.773 se han realizado a una frecuencia mayor de 120 cpm.

### 8.1.2.- Dependencia de la velocidad con la profundidad y el tiempo

Para estudiar en mayor profundidad la relación de la RV y la CV con el tiempo de descompresión y la profundidad y con el tiempo de compresión y la profundidad, respectivamente, se muestra en la Figura 8.1 la correlación de la RV frente al ratio  $d_p/Tr_{ef}$  y la correlación de la CV frente al ratio  $d_p/Tc_{ef}$ .

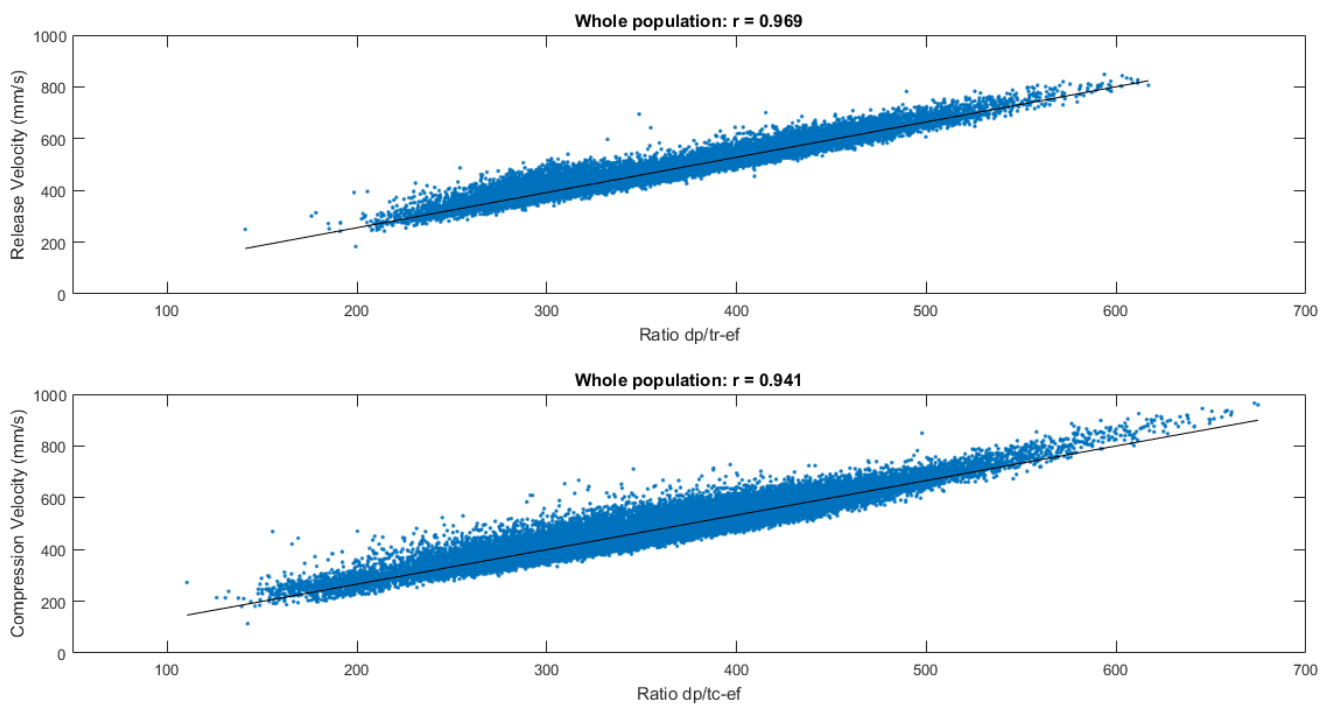


Figura 8.1: Relación de la RV y la CV con el ratio  $d_p/Tr_{ef}$  y el ratio  $d_p/Tc_{ef}$ , respectivamente

Como se puede observar, tanto la RV como la CV muestran una dependencia lineal con el ratio profundidad/tiempo. De manera que cuanto mayor es el ratio, mayor es la velocidad.

### 8.1.3.- Dependencia con la rigidez y frecuencia

En las siguientes tablas se muestra la dependencia de los parámetros de calidad en función de la frecuencia y la rigidez del muelle. Se distingue entre frecuencias menores de 100 cpm, frecuencias entre 100 y 120 cpm (frecuencia óptima según las guías de resucitación) y frecuencias por encima de 120 cpm.

CC rate (cpm)	Depth SOFT (mm)	Depth MEDIUM (mm)	Depth HARD (mm)
<b>Below 100</b>	55.90 (50.30, 59.67)	50.12 (46.49, 53.29)	45.54 (42.40, 48.81)
<b>100 - 120</b>	54.40 (49.14, 57.73)	48.46 (43.10, 52.19)	44.62 (40.13, 48.95)
<b>Above 120</b>	50.81 (46.97, 54.54)	48.00 (43.47, 52.39)	43.88 (38.31, 49.49)

Tabla 8.1: Percentiles 50 (25, 75) de la profundidad de compresión en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión

Como ya se ha demostrado en estudios anteriores, y se puede observar en la Tabla 8.1, a medida que se aumenta la frecuencia, cuesta más alcanzar la profundidad objetivo. Además cuanto más rígido es el muelle, más cuesta alcanzar la profundidad objetivo.

CC rate (cpm)	Duty Cycle (%) SOFT	Duty Cycle (%) MEDIUM	Duty Cycle (%) HARD
<b>Below 100</b>	50 (47.58, 47.58)	50.36 (48.10, 52.76)	49.47 (46.51, 52.19)
<b>100 - 120</b>	51.06 (49.28, 52.44)	51.53 (49.35, 53.42)	49.16 (46.90, 51.93)
<b>Above 120</b>	51.21 (50, 52.45)	52.08 (50.40, 53.65)	51 (48.97, 53.17)

Tabla 8.2: Percentiles 50 (25, 75) del DC en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión

Como se puede observar en la Tabla 8.2, al aumentar la frecuencia aumenta el DC, es decir, se dedica más tiempo en comprimir y menos en descomprimir. Uno de los motivos por el cual se puede producir esta variación es que el maniquí consta de un muelle y al comprimirlo más rápido, este "rebota" con mayor fuerza y ayuda al rescatador a descomprimir el pecho y retirar su peso del mismo.



CC rate (cpm)	Compression Velocity SOFT (mm/s)	Compression Velocity MEDIUM (mm/s)	Compression Velocity HARD (mm/s)
<b>Below 100</b>	431.24 (377.50, 520.12)	426.19 (358.45, 492.96)	452.02 (383.34, 563.11)
<b>100 - 120</b>	470.15 (407.95, 541.79)	436.26 (386.17, 500.87)	484.84 (413.08, 561.26)
<b>Above 120</b>	499.01 (459.95, 545.79)	475.63 (419.46, 532.18)	514.25 (437.66, 611.97)

Tabla 8.3: Percentiles 50 (25, 75) de la CV en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión

CC rate (cpm)	Release Velocity SOFT (mm/s)	Release Velocity MEDIUM (mm/s)	Release Velocity HARD (mm/s)
<b>Below 100</b>	441.55 (398.93, 493.54)	411.15 (369.77, 458.11)	415.18 (373.16, 474.57)
<b>100 - 120</b>	496.52 (452.04, 540.37)	453.47 (396.88, 504.98)	465.74 (413.24, 525.13)
<b>Above 120</b>	534.94 (499.39, 575.48)	524.33 (469.96, 572.56)	537.52 (478.56, 603.56)

Tabla 8.4: Percentiles 50 (25, 75) de la RV en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión

Como se demuestra en las Tablas 8.3 y 8.4 a mayor frecuencia de compresión mayor velocidad. Sin embargo, la profundidad realizada en cada compresión puede llegar a ser un factor de confusión, ya que la velocidad, tanto la RV como la CV, dependen de la profundidad de compresión del pecho, y queda demostrado en la Tabla 8.1 que la profundidad media de compresión difiere al realizar las CC sobre un muelle u otro. Se considera sacar las métricas de RV y CV únicamente para compresiones con una profundidad entre 50 y 60 mm, con el objetivo de eliminar el factor de confusión.

CC rate (cpm)	Release Velocity SOFT (mm/s)	Release Velocity MEDIUM (mm/s)	Release Velocity HARD (mm/s)
<b>Below 100</b>	474.17 (428.33, 526.65)	434.00 (382.64, 481.49)	410.6 (375.46, 460.21)
<b>100 - 120</b>	495.30 (453.20, 529.67)	487.72 (438.63, 536.07)	473.13 (405.21, 545.85)
<b>Above 120</b>	529.25 (486.46, 564.91)	537.81 (505.26, 576.01)	521.28 (448.08, 641.48)

Tabla 8.5: Percentiles 50 (25, 75) de la RV en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión para CT entre 50 y 60 mm de profundidad

Como se puede observar en la Tabla 8.5, cuanto más rígido es el muelle, la RV es más baja. Esto puede deberse a que cuanto más rígido es el muelle, el rescatador tiende a apoyar más su propio peso sobre el pecho del maniquí para tratar de realizar las CT más profundas, y por lo tanto tarda más en retirar el peso de su cuerpo del maniquí y descomprime el pecho más lentamente.

CC rate (cpm)	Compression Velocity SOFT (mm/s)	Compression Velocity MEDIUM (mm/s)	Compression Velocity HARD (mm/s)
<b>Below 100</b>	476.40 (361.45, 528.83)	448.4 (330.48, 497.15)	479.17 (405.22, 544.75)
<b>100 - 120</b>	502.72 (447.93, 549.31)	506.05 (438.64, 561.62)	515.85 (431.38, 611.22)
<b>Above 120</b>	496.23 (446.16, 532.43)	492.30 (447.21, 529.28)	515.46 (415.71, 723.00)

Tabla 8.6: : Percentiles 50 (25, 75) de la CV en función de la rigidez del muelle utilizado en el maniquí y la frecuencia de compresión para CT entre 50 y 60 mm de profundidad

En cuanto a la CV (ver Tabla 8.6), cabe destacar que para frecuencias de compresión por debajo de las 100 cpm, la CV es más lenta, es decir, las compresiones se realizan más lentamente. Sin embargo, para frecuencias mayores que 100 cpm, se tiende a regular la frecuencia de compresión con la pausa, es decir, no se comprime el pecho de manera más rápida a medida que se aumenta la frecuencia de compresión sino que se tiende a realizar una pausa más corta entre compresiones para adecuarse a la frecuencia de compresión.

### 8.1.4.- Capacidad de discriminación entre CT de alta y baja calidad de los parámetros

Para observar la capacidad de discriminación de los parámetros anteriores, se dividen los parámetros y métricas en dos tipos, los que se corresponden a compresiones de alta calidad, de acuerdo con las guías de resucitación son aquellas compresiones con una profundidad entre 50 y 60 mm y una frecuencia entre 100 y 120 cpm, y compresiones de baja calidad, que son el resto de compresiones que no cumplan con las características anteriores.

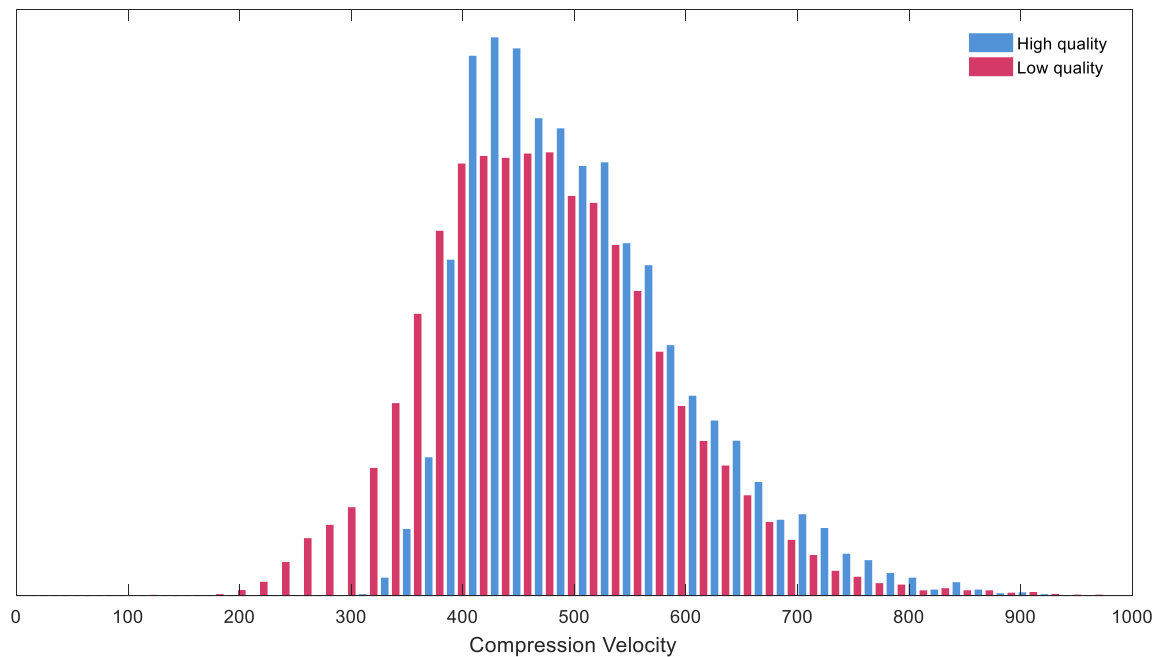


Figura 8.2: Figura 8.1: CV. Compresiones de alta calidad (azul) y de baja calidad (rojo)

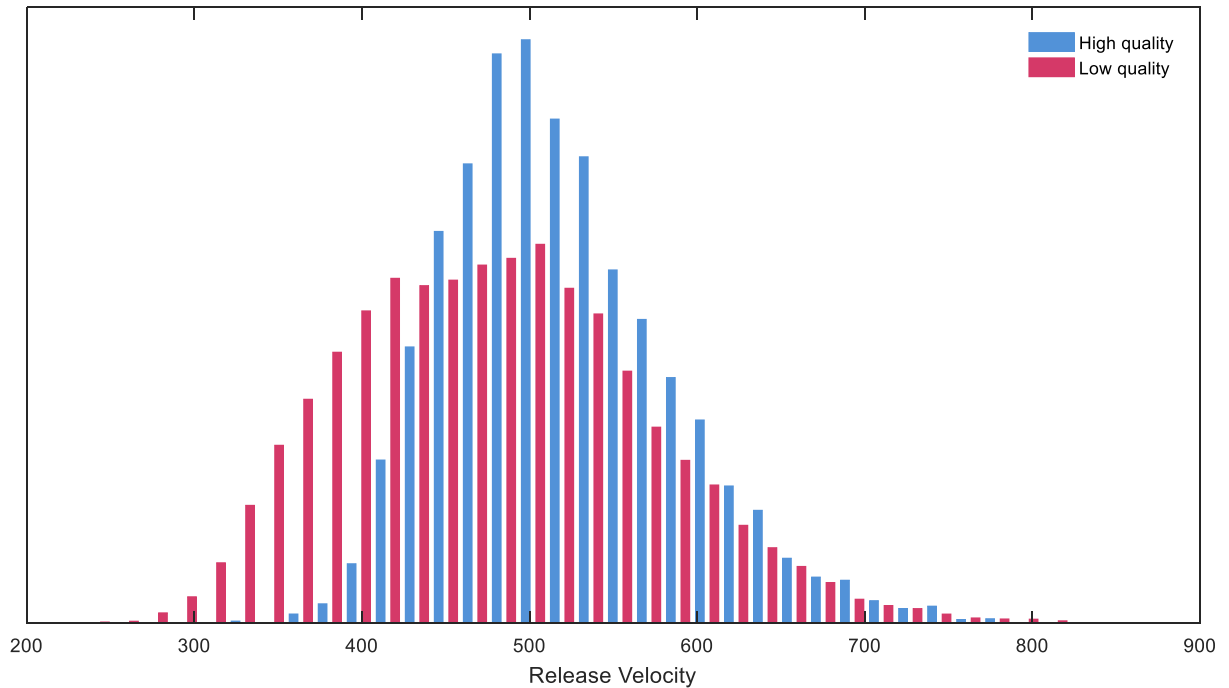


Figura 8.3: RV. Compresiones de alta calidad (azul) y compresiones de baja calidad (rojo)

En las Figuras 8.2 y 8.3 se muestra la distribución de densidad de probabilidad normalizada de la CV y la RV, respectivamente, para las compresiones de alta y baja calidad. Dado el gran solape que se produce entre las distribuciones tanto para el caso de la RV como para el de la CV, se deduce que no son buenos parámetros discriminadores de compresiones de calidad.

Cabe destacar que también se ha analizado la capacidad de discriminación de compresiones de alta y baja calidad del Duty Cycle,  $T_{c\_ef}$  y  $T_{d\_ef}$  y el resultado es similar al obtenido con la RV y CV, es decir, existe un gran solape entre las distribuciones de densidad de probabilidad de las compresiones de alta y baja calidad, por lo que únicamente con estos parámetros no es posible discriminar entre compresiones de calidad.

## 8.2.- Estudio sobre humanos en escenarios reales. Comparativa con escenarios simulados sobre maniquí

Con el fin de concluir si los estudios llevados a cabo sobre maniquí y los valores obtenidos de parámetros y métricas extraídos de los mismos se asemejan a los obtenidos a partir de escenarios reales con humanos, se realizan las comparativas que se detallan a continuación en las siguientes secciones.

### **8.2.1.- Compresiones anotadas de la base de OHCA**

Número de compresiones con los que se cuenta por cada rango de frecuencias en la base de OHCA compuesta por **108.166 compresiones**:

- Frecuencias menores de 100 cpm: 10.868 compresiones
- Frecuencias entre 100 y 120 cpm: 66.160 compresiones
- Frecuencias superiores a 120 cpm: 31.138 compresiones

Número de compresiones de OHCA de alta calidad: 21.475.

Número de compresiones de OHCA de baja calidad: 86.691.

- De las cuales 21.034 se clasifican en este grupo por realizarse a una profundidad superior a 60 mm.
- 20.567 compresiones cuentan con una profundidad menor de 40 mm.
- 1.829 compresiones tienen una frecuencia de compresión menor de 100 cpm.
- 10.576 compresiones tienen una frecuencia de compresión de más de 120 cpm.

### 8.2.2.- Dependencia de la velocidad con la profundidad y el tiempo

En la Figura 8.4 se muestra la relación de la RV y la CV, tanto para escenarios reales como para el estudio sobre maniquí, con el cociente de profundidad de compresión y el tiempo de descompresión y compresión, respectivamente.

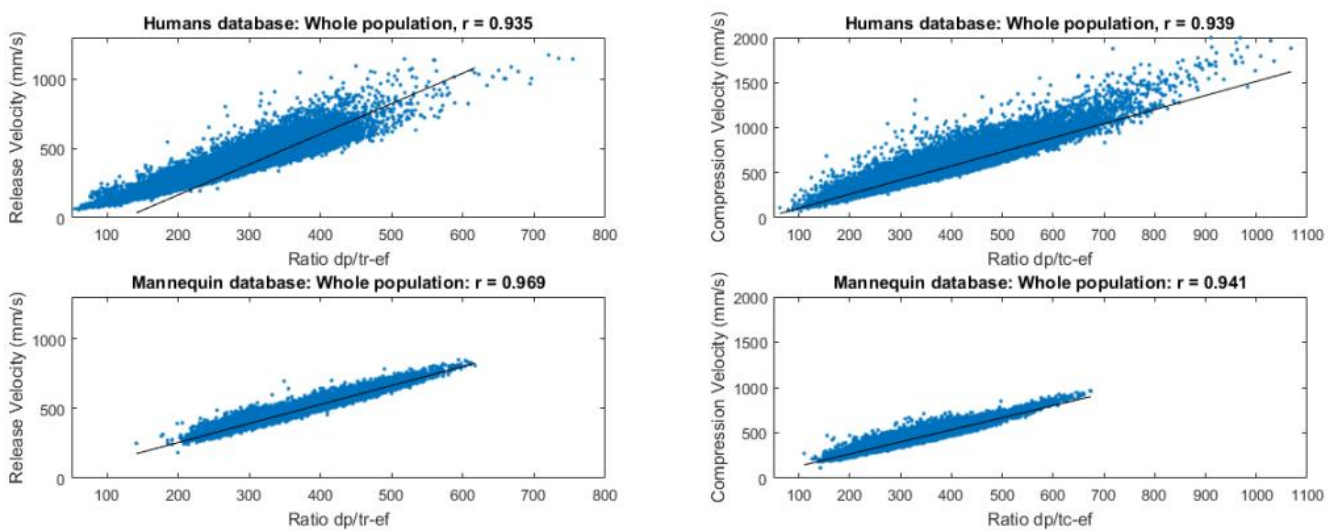


Figura 8.4: Dependencia de la RV y la CV con el ratio  $d_p/Td_{ef}$  y el ratio  $d_p/Tc_{ef}$ , respectivamente. En la parte superior se muestran los resultados para la base de datos en escenarios reales en humanos y en la parte inferior se muestran los resultados para la base de datos sobre maniquí.

Como se puede apreciar, tanto la RV como la CV presentan una fuerte dependencia lineal con la profundidad y el tiempo de descompresión y compresión, respectivamente.

### 8.2.3.- Dependencia con la frecuencia

En las siguientes tablas se muestran los percentiles de 50, 25 y 75 de los parámetros de calidad de profundidad, DC, RV y CV extraídos de la base de datos de CT sobre humanos y de la base de datos de CT sobre maniquí para frecuencias menores de 100 cpm, entre 100 y 120 cpm y para frecuencias mayores de 120 cpm.

CC rate (cpm)	Humans Depth(mm)	Mannequin Depth (mm)
<b>Below 100</b>	49.88 (42.35, 58.25)	49.74 (44.95, 55.15)
<b>100 - 120</b>	50.65 (43.58, 57.79)	48.76 (42.62, 53.93)
<b>Above 120</b>	47.28 (39.36, 56.16)	48.10 (42.46, 52.68)

Tabla 8.7: Percentiles 50 (25, 75) de la profundidad de CT en humanos y maniquí para frecuencias de CT menores que 100 cpm, entre 100 y 120 cm y mayores que 120 cpm

CC rate (cpm)	Humans Duty Cycle (%)	Mannequin Duty Cycle (%)
<b>Below 100</b>	40.95 (36.23, 44.97)	50 (47.50, 52.40)
<b>100 - 120</b>	40.29 (36.70, 43.69)	50.74 (48.42, 52.71)
<b>Above 120</b>	40.15 (37.04, 43.39)	51.48 (50, 53.09)

Tabla 8.8: Percentiles 50 (25, 75) del DC extraído de la base de datos en humanos y en maniquí para frecuencias de CT menores que 100 cpm, entre 100 y 120 cpm y mayores que 120 cpm

CC rate (cpm)	Humans Release Velocity (mm/s)	Mannequin Release Velocity (mm/s)
<b>Below 100</b>	269.51 (215.25, 327.85)	422.41 (379.81, 477.75)
<b>100 - 120</b>	299.40 (244.96, 364.58)	473.37 (420.25, 525.39)
<b>Above 120</b>	308.71 (253.99, 374.91)	531.77 (485.54, 582.13)

Tabla 8.9: Percentiles 50 (25, 75) de la RV extraído de la base de datos en humanos y en maniquí para frecuencias de CT menores que 100 cpm, entre 100 y 120 cpm y mayores que 120 cpm

CC rate (cpm)	Humans	Mannequin
	Compression Velocity (mm/s)	Compression Velocity (mm/s)
<b>Below 100</b>	439.81 (365.95, 520.31)	435.22 (373.71, 525.17)
<b>100 - 120</b>	493.63 (411.05, 595.84)	460.53 (401.93, 536.95)
<b>Above 120</b>	514.04 (409.92, 624.33)	495.27 (440.53, 557.66)

Tabla 8.10: Percentiles 50 (25, 75) de la CV extraído de la base de datos en humanos y en maniquí para frecuencias de CT menores que 100 cpm, entre 100 y 120 cpm y mayores que 120 cpm

Cabe destacar que la RV, que se muestra en la Tabla 8.9, es notablemente menor cuando las CT se realizan sobre humanos que cuando se realizan sobre maniquí. Esto podría explicarse debido al mecanismo de recuperación del pecho que se usa en maniquí, que es un muelle. Al comprimir el muelle y descomprimirlo, este tiende a volver a su forma natural más rápidamente que lo que tarda el pecho de una persona en volver a su estado natural después de haberlo comprimido.



### 8.2.4.- Capacidad de discriminación entre CT de alta y baja calidad de los parámetros

En este apartado se muestra la capacidad de discriminación de los parámetros de RV y CV para los registros en humanos recogidos de escenarios reales.

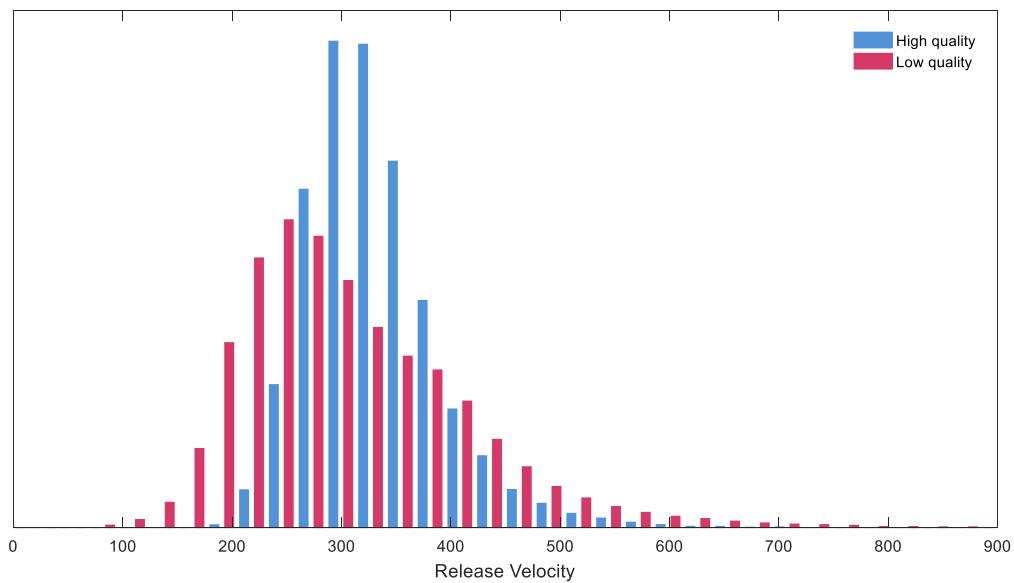


Figura 8.5: Compresiones de alta calidad (azul) frente a compresiones de baja calidad (rojo) en escenarios reales sobre humanos

En la Figura 8.5 se muestra la distribución de densidad de probabilidad normalizada de la RV para las compresiones de alta y baja calidad. Se observa que para las compresiones de alta calidad la distribución es menos dispersa de manera que quedan más muestras en valores centrales (entre 200 y 400 mm/s). Mientras que para compresiones de baja calidad la distribución es menos dispersa. Esto es lógico ya que se han elegido criterios muy restrictivos para seleccionar las compresiones de alta calidad mientras que las compresiones de baja calidad abarcan un espacio mucho más amplio en profundidad y frecuencia. Sin embargo, la RV no es un buen discriminador de compresiones de alta y baja calidad, ya que como se puede observar, las distribuciones para

ambos tipos de compresiones quedan solapadas. Al igual que ocurre con la CV, la cual se muestra en la Figura 8.6.

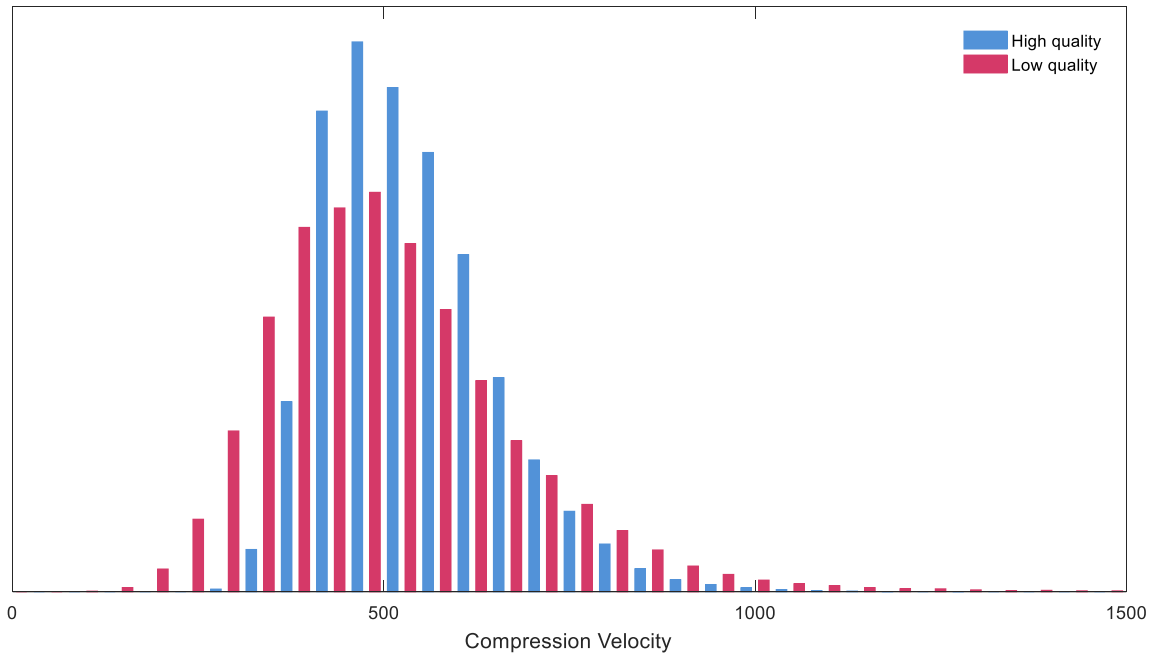


Figura 8.6: Compresiones de alta calidad (azul) frente a compresiones de baja calidad (rojo) en escenarios reales sobre humanos

### 8.2.5.- Comparativa de las métricas entre el estudio en maniquí y el estudio sobre humanos

En la Figura 8.7 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de la RV para compresiones de alta calidad en humanos y en maniquí. Como se ha comentado anteriormente, la RV toma valores más altos en escenarios simulados sobre maniquí debido al mecanismo de recuperación del pecho del maniquí, que es distinto al de una persona.

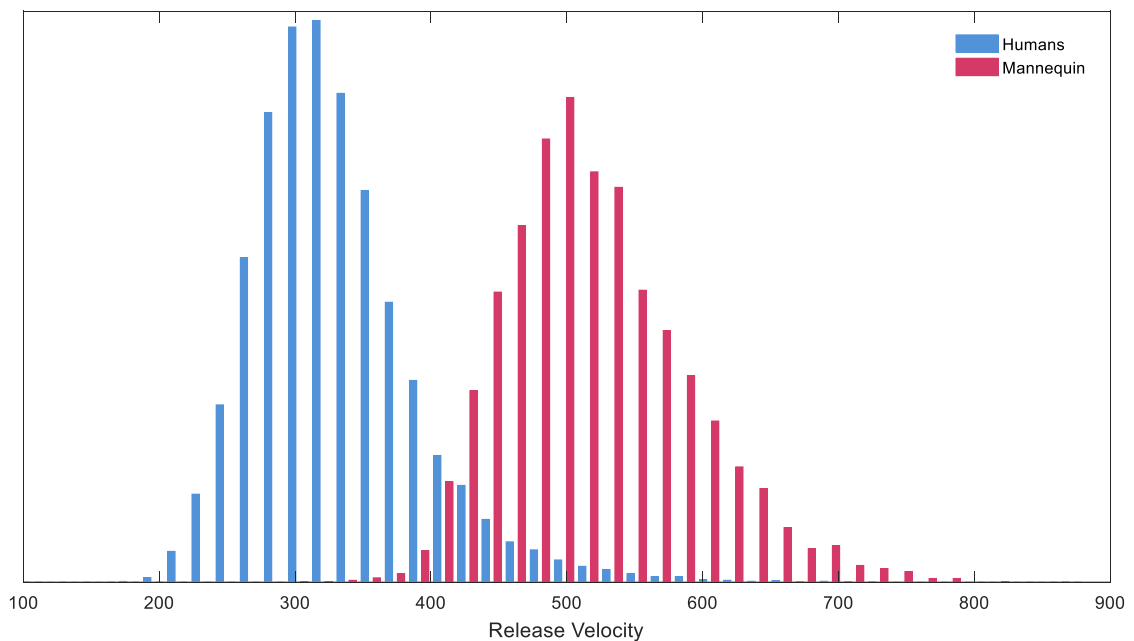


Figura 8.7: RV. Compresiones de alta calidad en humanos (azul) y en maniquí (rojo)

En la Figura 8.8 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de la CV para CT de alta calidad sobre humanos y sobre maniquí. Y como se puede observar, en ambos escenarios toma valores similares.

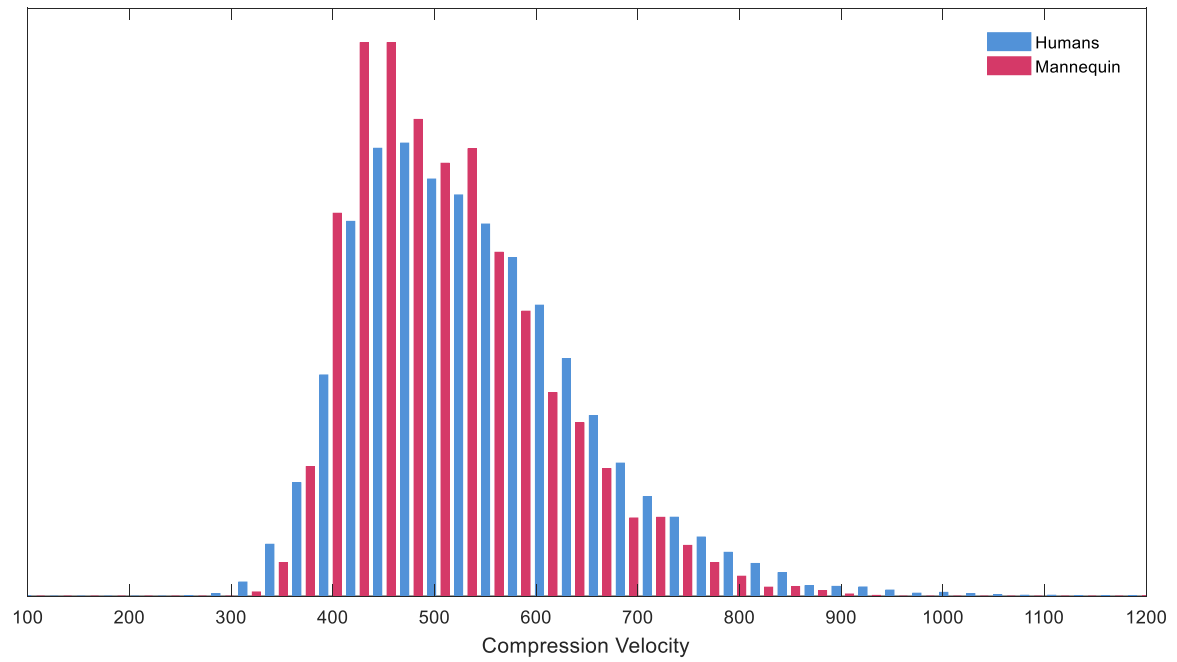


Figura 8.8: CV. Compresiones de alta calidad en humanos (azul) y en maniquí (rojo)

## 9.- Metodología

En este apartado se expondrán los recursos hardware, software y de documentación que se han utilizado durante la elaboración del proyecto. Del mismo modo se describe brevemente la planificación de tareas que se ha seguido a lo largo de la realización del proyecto.

### 9.1.- Recursos utilizados

#### *9.1.1.- Recursos humanos*

En cuanto a los recursos humanos el grupo de trabajo ha sido compuesto por 3 personas. En la Tabla 8.1 se indica el puesto y responsabilidades de cada uno.

<b>Id.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Responsabilidad</b>
<b>P1</b>	Sofía Ruiz de Gauna	Director del Proyecto
<b>P2</b>	Sara Pelayo	Ingeniero Junior

Tabla 9.1. Equipo de trabajo

#### *9.1.2.- Recursos materiales*

Los recursos materiales utilizados se corresponden tanto con los recursos utilizados para la grabación de registros sobre maniquí, como con las herramientas informáticas utilizadas para el procesado de los datos y la documentación, y el material de oficina.

Recursos
Ordenador portátil (x2)
Maniquí de resucitación (con complementos)
Sensor resistivo
Acelerómetro
Tarjeta de adquisición A/D
Licencia MicrosoftOffice
Licencia Windows 10
Licencia Matlab
Material oficina

Tabla 9.2: Recursos materiales

## 9.2.- Descripción de las tareas. Gantt

### 9.2.1.- Plan de trabajo

Paquete, Tarea o Hito	Duración (días)
<b>PT.0: Gestión del proyecto</b>	<b>170</b>
T.0.1: Gestión y seguimiento del proyecto	140
T.0.2: Elaboración de la documentación	60
H.0: Fin del proyecto	
<b>PT.1: Estudio y definición del proyecto</b>	<b>18</b>
T.1.1: Búsqueda de información sobre alternativas	15
T.1.2: Definición del proyecto	3
H.1: Proyecto definido	
<b>PT.2: Obtención de los registros de grabaciones sobre maniquí</b>	<b>30</b>
T.2.1: Elaboración de un consentimiento informado	1
T.2.2: Establecimiento de un protocolo de medidas	1
T.2.3: Acondicionamiento de la herramienta de adquisición de medidas	15
T.2.4: Grabación de registros	13
H.2: Grabaciones realizadas	
<b>PT.3: Creación de una base de registros de grabaciones</b>	<b>12</b>
T.3.1: Acondicionamiento de las señales	4
T.3.2: Creación de una base de registros en MATLAB	8
H.3: Base de registros realizada	

<b>PT.4: Creación de una base de datos de parámetros</b>	<b>35</b>
<b>T.4.1:</b> Marcado de las compresiones	20
<b>T.4.2:</b> Obtención de métricas derivadas de los parámetros obtenidos con el marcado	8
<b>T.4.3:</b> Generación de una base de datos con los parámetros y métricas	7
<b>H.4:</b> Base de datos paramétrica realizada	
<b>PT.5: Análisis de los parámetros y métricas</b>	<b>45</b>
<b>T.5.1:</b> Valoración de los resultados estadísticos más relevantes a obtener	13
<b>T.5.2:</b> Generación de visores para visualizar resultados estadísticos	22
<b>T.5.3:</b> Análisis de los resultados obtenidos	10
<b>H.5:</b> Resultados estadísticos y análisis documentados	

Tabla 9.3. Plan de trabajo

Unidad	Descripción
<b>Proyecto</b>	34 Semanas (24 ECTS)
<b>Semana</b>	5 Días
<b>Día</b>	5 Horas

Tabla 9.4. Descripción de unidades de tiempo de trabajo

### 9.2.2.- Descripción de paquetes de trabajo

<b>PT.0:</b> Gestión del proyecto	Inicio: 06-02-17	Fin: 25-09-17
<p>Para la correcta realización del proyecto es necesario realizar una gestión y un seguimiento del proyecto para posteriormente poder completar un informe del mismo.</p> <p><b>Recursos técnicos:</b> Ordenador portátil</p>		
<b>T.0.1:</b> Gestión y seguimiento del proyecto		
Tiempo estimado: 170 días	Responsable: P1	
	CT. Resp.: 40h	
<b>T.0.2:</b> Elaboración de la documentación		
Tiempo estimado: 30 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 150h	CT. Rev.: 10h

Tabla 9.5: PT.0 Gestión del proyecto

<b>PT.1:</b> Estudio y definición del proyecto	Inicio: 06-02-17	Fin: 01-03-17
Puesta en contexto del trabajo a través de documentación existente y desarrollo de propuesta a llevar a cabo		
<b>Recursos técnicos:</b> Ordenador portátil		
<b>T.1.1:</b> Búsqueda de información sobre alternativas		
Tiempo estimado: 15 días	Responsable: P2	
	CT. Resp.: 75h	
<b>T.1.2:</b> Definición del proyecto		
Tiempo estimado: 3 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 15h	CT. Rev.: 15h

Tabla 9.6: PT.1 Estudio y definición del proyecto

<b>PT.2:</b> Obtención de los registros de grabaciones sobre maniquí.	Inicio: 01-03-17	Fin: 11-04-17
Se obtienen registros de grabaciones de CT para a continuación poder trabajar con dichos registros.		
<b>Recursos técnicos:</b> Ordenador portátil, maniquí, acelerómetro, MATLAB, tarjeta A/D		
<b>T.2.1:</b> Elaboración de un consentimiento informado		
Tiempo estimado: 1 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 5h	CT. Rev.: 1h
<b>T.2.2:</b> Establecimiento de un protocolo de medidas		
Tiempo estimado: 1 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 5h	CT. Rev.: 1h
<b>T.2.3:</b> Acondicionamiento de la herramienta de adquisición de medidas		
Tiempo estimado: 15 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 75h	CT. Rev.: 5h
<b>T.2.4:</b> Grabación de registros		
Tiempo estimado: 13 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 65h	CT. Rev.: 15h

Tabla 9.7: PT.2 Obtención de los registros de grabaciones sobre maniquí



<b>PT.3:</b>	Creación de una base de registros de grabaciones	Inicio: 12-04-17	Fin: 01-05-17
<p>Para poder trabajar con los registros de señales grabados, se crea una base de registros por cada grabación realizada.</p> <p><b>Recursos técnicos:</b> Ordenador portátil, MATLAB</p>			
<b>T.3.1:</b>	Acondicionamiento de las señales		
	Tiempo estimado: 4 días	Responsable: P2	
		CT. Resp.: 20h	
<b>T.3.2:</b>	Creación de una base de registros en MATLAB		
	Tiempo estimado: 8 días	Responsable: P2	Revisión: P1
		CT. Resp.: 40h	CT. Rev.: 5h

Tabla 9.8: PT.3 Creación de una base de registros de grabaciones

<b>PT.4:</b>	Creación de una base de datos de parámetros	Inicio: 02-05-17	Fin: 19-06-17
<p>A partir de los registros de grabaciones, se realiza un marcado de las señales de CT y se extraen parámetros y métricas que son almacenados en una base de datos para su posterior análisis.</p> <p><b>Recursos técnicos:</b> Ordenador portátil, MATLAB</p>			
<b>T.4.1:</b>	Marcado de compresiones		
	Tiempo estimado: 20 días	Responsable: P2	Revisión: P1
		CT. Resp.: 100h	CT. Rev.: 75h
<b>T.4.2:</b>	Obtención de métricas derivadas de los parámetros obtenidos con el marcado		
	Tiempo estimado: 8 días	Responsable: P2	Revisión: P1
		CT. Resp.: 40h	CT. Rev.: 75h
<b>T.4.3:</b>	Generación de una base de datos con los parámetros y métricas		
	Tiempo estimado: 7 días	Responsable: P2	Revisión: P1
		CT. Resp.: 35h	CT. Rev.: 10h

Tabla 9.9: PT.4 Creación de una base de datos de parámetros

<b>PT.5:</b> Análisis de los parámetros y métricas	Inicio: 19-06-17	Fin: 21-08-17
<p>Una vez obtenidos los parámetros y métricas, se procede a hacer el análisis pertinente de los mismos, para ello se valoran inicialmente las diferentes alternativas de análisis y se generan visores a través de MATLAB para visualizar los parámetros y métricas y extraer conclusiones.</p> <p><b>Recursos técnicos:</b> Ordenador portátil, MATLAB</p>		
<b>T.5.1:</b> Valoración de los resultados estadísticos más relevantes a obtener		
Tiempo estimado: 13 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 65h	CT. Rev.:20h
<b>T.5.2:</b> Generación de visores para visualizar resultados estadísticos		
Tiempo estimado: 22 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 110h	CT. Rev.: 30h
<b>T.5.3:</b> Análisis de los resultados obtenidos		
Tiempo estimado: 10 días	Responsable: P2	Revisión: P1
	CT. Resp.: 50h	CT. Rev.: 10h

Tabla 9.10: PT.5 Análisis de los parámetros y métricas

### 9.2.3.- Diagrama Gantt

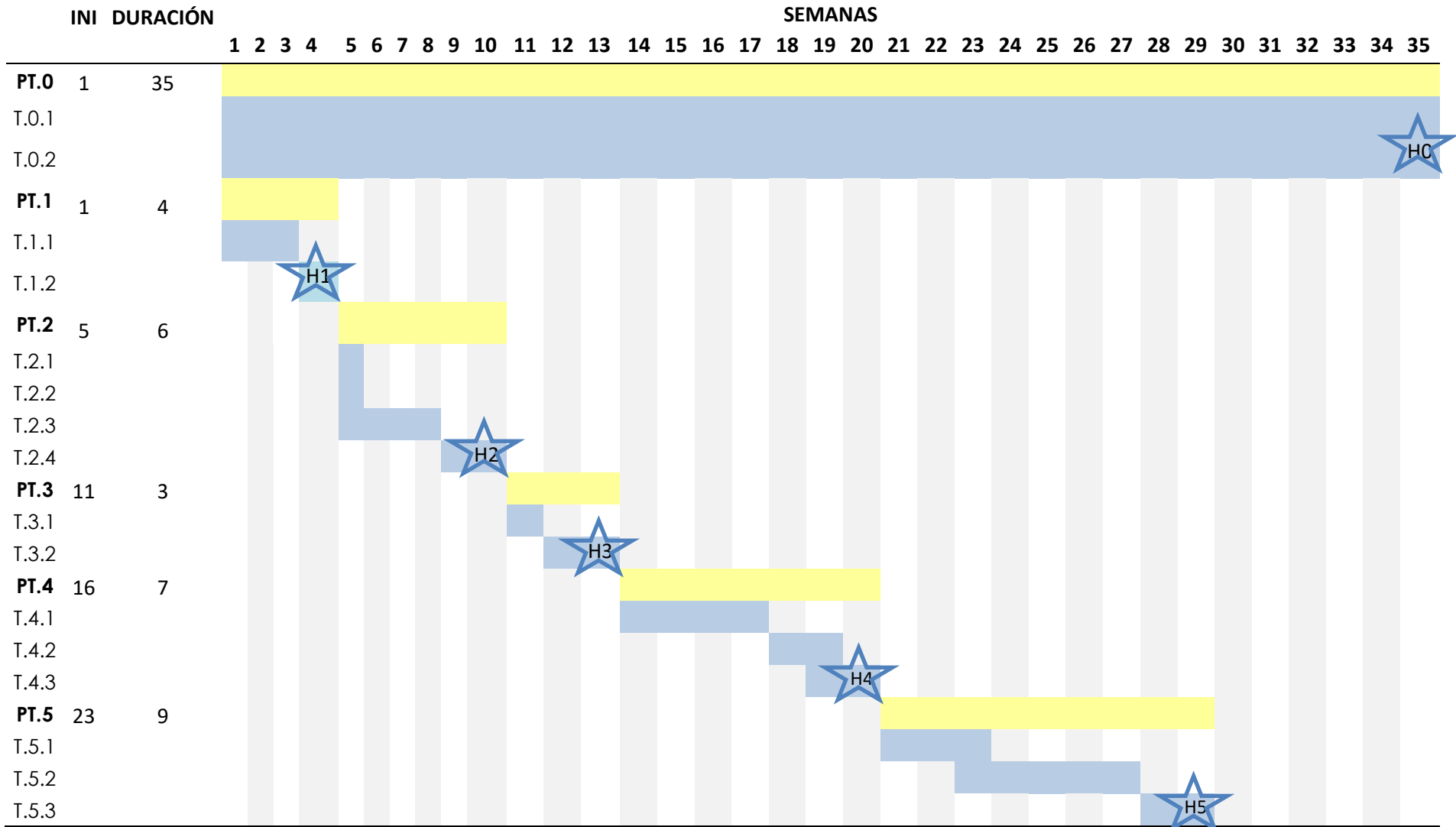


Tabla 9.11: Diagrama de Gantt

## 10.- Aspectos económicos

A continuación se presenta un presupuesto que detalla los costes de la realización y puesta en marcha del proyecto.

En primer lugar se muestran las tablas resumen de tarifas tanto para la mano de obra como para los recursos ofimáticos y material de oficina. Los precios mostrados no incluyen el IVA.

### 10.1.- Precios unitarios

#### *10.1.1.- Precios unitarios por mano de obra*

<b>Id.</b>	<b>Responsabilidad</b>	<b>Precio unitario</b>
<b>P1</b>	Director de Proyecto	35 €/h
<b>P2</b>	Ingeniero Junior	25 €/h

Tabla 10.1. Precios unitarios por mano de obra

#### *10.1.2.- Precios unitarios por recurso material*

El material utilizado se divide en material fungible y material amortizable, tal y como se describe a continuación.

## 10.1.2.1.- Material amortizable

Concepto	Precio de compra (€)	Vida útil (horas)	Horas de uso	Coste total (€)
Ordenador portátil Dell Latitude D620	600	6000	80	8
Ordenador portátil ASUS A53S	700	6000	800	93,33
Maniquí de resucitación (con complementos)	2857,8	1875	50	76,2
Sensor resistivo	464,78	480	50	48,41
Acelerómetro	14,61	375	50	1,95
Tarjeta de adquisición A/D	965	650	50	74,23
Licencia MicrosoftOffice	150	10000	100	1,5
Licencia Windows 10	120	10000	800	9,6
Licencia MATLAB	2000	10000	800	160

Tabla 10.2: Material amortizable

## 10.1.2.2.- Material fungible

Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Material de oficina	1	30€/ud	30

Tabla 10.3: Material fungible

## 10.2.- Resumen económico de RR.HH.

En la siguiente tabla se muestran los costes derivados de los recursos humanos para cada paquete de trabajo del proyecto.

Paquete de trabajo	Horas		Importe	
	P1	P2	P1	P2
<b>PT.0:</b> Gestión del proyecto	50	150	1750	3750
<b>PT.1:</b> Estudio y definición del proyecto	15	90	525	2250
<b>PT.2:</b> Obtención de los registros de grabaciones sobre maniquí	22	150	770	3750
<b>PT.3:</b> Creación de una base de registros de grabaciones	5	60	175	1500
<b>PT.4:</b> Creación de una base de datos de parámetros	160	175	5600	4375
<b>PT.5:</b> Análisis de los parámetros y métricas	60	225	2100	5625

Tabla 10.4. Coste de recursos humanos por paquete de trabajo

Id.	Nombre	Responsabilidad	Horas	Importe
<b>P1</b>	Sofía Ruíz de Gauna	Director de Proyecto	312	10.920 €
<b>P2</b>	Sara Pelayo Barcina	Ingeniero Junior	850	21.250 €
<b>TOTAL RECURSOS HUMANOS (sin I.V.A)</b>				<b>32.170 €</b>

Tabla 10.5. Resumen económico de recursos humanos

Los costes derivados de los recursos humanos, ascienden a **32.170 €**, impuestos no incluidos y costes tanto directos como indirectos contemplados.

## 10.3.- Resumen económico final

En la siguiente tabla se muestra el resumen económico final, teniendo en cuenta los costes derivados de los recursos materiales, los recursos humanos y los impuestos aplicables.

<b>Concepto</b>	<b>Total (€)</b>
Recursos humanos	32.170
Recursos materiales	333,62
<b>COSTE TOTAL (sin I.V.A)</b>	<b>32.503,62</b>

Tabla 10.6. Resumen del Presupuesto

## 11.- Análisis de riesgos

En todo proyecto pueden darse una serie de imprevistos que pueden afectar al desarrollo natural del mismo. Por ello, antes de poner en marcha el proyecto, es importante identificar los posibles riesgos que puedan surgir y establecer un plan de contingencia para cada uno de ellos. En esta sección se presentan los riesgos que fueron identificados antes de comenzar con el desarrollo del proyecto.

Se tuvieron en cuenta dos factores para clasificar los riesgos identificados:

- Probabilidad de ocurrencia: Hace referencia a la probabilidad de que ocurra el imprevisto. Se evalúa en base a tres niveles: baja, media y alta.
- Impacto: Hace referencia al efecto que causaría dicho imprevisto sobre los objetivos del proyecto en caso de que ocurriese. Se evalúa en base a tres niveles: bajo, medio y alto.

### **Retrasos**

Uno de los riesgos que está presente en todo proyecto es el incumplimiento de los plazos establecidos para el desarrollo de las distintas tareas. Esto supondría un retraso en la fecha de finalización del proyecto y un incremento en los costes.

- Probabilidad: Media
- Impacto: Medio

Antes de planificar el proyecto se previó que podrían ocurrir pequeños retrasos en el desarrollo del mismo, por lo que se decidió planificar con margen suficiente como para poder hacer frente a pequeñas demoras que pudiesen surgir sin causar un gran impacto en el desarrollo del mismo.



### **Bajas de participantes del proyecto**

Otro riesgo que está presente en cualquier proyecto es la posibilidad de que alguno de los componentes del equipo de trabajo tenga que ausentarse durante un tiempo a causa de una enfermedad u otros motivos. Si la duración de la baja es únicamente de unos días, apenas afectaría al desarrollo natural del proyecto. Sin embargo, el impacto podría ser mayor si la ausencia del participante se alargase más tiempo, por ejemplo, unas semanas.

- Probabilidad: Baja
- Impacto: Medio

Si la duración de la baja es corta, no tendría un gran impacto sobre el proyecto, puesto que únicamente retrasaría su finalización un poco más de lo previsto. Tal y como se ha comentado anteriormente, la planificación del proyecto se realizó con margen suficiente previendo que podrían ocurrir pequeñas demoras en ciertas tareas que provocasen el retraso en la finalización del proyecto. No obstante, ante una baja de larga duración, es necesario un plan de contingencia que permita tener la situación bajo control. Por lo tanto, ante un imprevisto de este tipo, se planteó la asunción de responsabilidades por parte del resto de miembros del equipo de trabajo.

### **Costes imprevistos**

Un riesgo muy común en la elaboración de cualquier proyecto son los gastos no presupuestados que producen un desajuste en el presupuesto previsto inicialmente. En este proyecto en concreto, no son necesarios muchos recursos materiales, por lo que la probabilidad de tener gastos no previstos es bastante baja. Además, su ejecución no supone un gran impacto económico, por lo tanto, las pequeñas desviaciones que pudiesen surgir debido a gastos imprevistos no serían de gran relevancia. El GSC cuenta con financiación para cubrir estos pequeños gastos, permitiendo el correcto desarrollo del proyecto.

- Probabilidad: Baja
- Impacto: Bajo

Ante una situación como esta, el plan de contingencia consiste en solicitar financiación externa que permita al GSC disponer de más recursos económicos, lo que permitiría destinar cierta parte a la finalización de este proyecto.

Después de analizar las distintas amenazas, se incluyeron todas ellas en una matriz (Tabla 11.1) donde es posible analizar de un modo simple y visual la magnitud probabilidad/impacto de cada uno de los riesgos identificados.

		IMPACTO		
		BAJA	MEDIA	ALTA
PROBABILIDAD	BAJA	<b>Costes imprevistos</b>	<b>Bajas de participantes del proyecto</b>	
	MEDIA		<b>Retrasos</b>	
	ALTA			

Tabla 11.1: Matriz probabilidad-impacto

## 12.- Conclusiones

Las muertes por PCR suponen un porcentaje muy elevado de las registradas hoy en día. El éxito de la RCP practicada tras una PCR continúa siendo todo un desafío. Las guías de resucitación publicadas en 2015 enfatizan en la necesidad de una RCP de calidad para aumentar la probabilidad de supervivencia del paciente y destacan la importancia de la calidad de las CT. El desarrollo de la investigación en este campo está basado en el análisis de los parámetros de profundidad y frecuencia.

Recientemente se ha sugerido la posibilidad de que parámetros como la RV puedan afectar significativamente a la probabilidad de supervivencia de los pacientes, siendo estos parámetros independientes de los ya estudiados.

Se presenta en este TFM un trabajo experimental en el que se han analizado las nuevas métricas de calidad propuestas y su relación con parámetros de calidad más clásicos. Este análisis se ha realizado a partir de registros obtenidos en un escenario simulado sobre un maniquí de resucitación sensorizado.

Los resultados derivados de este estudio demuestran que la RV no es una métrica de calidad independiente, sino que tiene una fuerte dependencia con la profundidad de compresión y el tiempo de descompresión. Además, demuestra no ser un buen parámetro discriminador de compresiones de calidad frente a compresiones de baja calidad, tanto en escenarios simulados sobre maniquí como en escenarios reales sobre humanos.

El trabajo realizado en este proyecto ha tenido como resultado la publicación de un artículo en un congreso internacional, *Computing in Cardiology (CinC)*, con el siguiente título: *Chest compression metrics during manual cardiopulmonary resuscitation: a manikin study*.

## 13.- Referencias

- [1] Gruber J, Stumpf D, Zapletal B, Neuhold S, and Fischer H, "Real-time feedback systems in CPR," *Trends in Anaesthesia and Critical Care*, vol. 2, no. 6, pp. 287–294, 2012.
- [2] Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL, Greif R, Maconochie IK, Nikolaou NI, Perkins GD, Soar J, Truhlář A, Wyllie J, Zideman DA, ERC Guidelines 2015 Writing Group. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. *Resuscitation* 2015;95:1-80
- [3] Shuvy M, Morrison L, Koh M, Qiu F, Buick J, Dorian P, Scales D, Tu J, Verbeek P, Wijeyesundera H and Ko D. (2017). Long-term clinical outcomes and predictors for survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*, 112, 59-64.
- [4] Codesido JC, & Lima MV. (2007). Reanimación cardiopulmonar extrahospitalaria: ¿dónde estamos?. *Emergencias: Revista de la Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias*, 19(6), 295-297.
- [5] Álvarez-Fernández JA, & de Viguri NPR. (2005). Recomendaciones internacionales en resucitación: del empirismo a la medicina basada en la evidencia. *Medicina intensiva*, 29(6), 342-348.
- [6] Ilcor.org. (2017). Ilcor - Home. [online] Available at: <http://www.ilcor.org/> [Accessed 29 Apr. 2017].
- [7] Zoll.com. (2017). AEDs and Cardiac Life Support - Chain of Survival - Emergency Defibrillation. [online] Available at: <http://www.zoll.com/resources/chain-of-survival/> [Accessed 29 Apr. 2017].
- [8] Plan nacional de RCP. La cadena de supervivencia. Semicyuc. Available at: [http://www.semicyuc.org/sites/default/files/la\\_cadena\\_de\\_supervivencia\\_de\\_la\\_semicyuc.pdf](http://www.semicyuc.org/sites/default/files/la_cadena_de_supervivencia_de_la_semicyuc.pdf) [Accessed 2 May 2017].
- [9] Herlitz J, Bang A, Gunnarsson J, et al. Factors associated with survival to hospital discharge among patients hospitalized alive after out of hospital cardiac arrest: change in outcome over 20 years in the community of Göteborg, Sweden. *Heart* 2003;89(1); 25-30.
- [10] Hollenberg J, Herlitz J, Lindqvist J, et al. Improved survival after out-of-hospital cardiac arrest is associated with an increase in proportion of emergency crew-witnessed cases and bystanding cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 2008;124(21 Supplement); A54
- [11] Kovacs A, Vadeboncoeur TF, Soltz U, Spaite DW, Irisawa T, Silver A, Borbow B. Chest compression release velocity: Association with survival and favorable neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2015;92;107-114.
- [12] 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

- [13] Monsieura KG, Nolan JP, Bossaerte LL, Greif R, Maconochie IK, Nikolaou NI, Perkins GD, Soar J, Truhlár A, Wyllie J, Zideman DA, on behalf of the ERC Guidelines 2015 Writing Group<sup>1</sup>. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015. *Resuscitation* 2015;95:1-80
- [14] Kramer-Johansen J, Edelson DP, Losert H, Köhler K, Abella BS. Uniform reporting of measured quality of cardiopulmonary resuscitation (CPR). *Resuscitation* 2007;74(3):406-17.
- [15] Nolana JP, Soar J, Zideman DA, Biarent D, Bossaerte LL, Deakin C, Koster RW, Wyllie J, Böttiger B, on behalf of the ERC Guidelines Writing Group<sup>1</sup>. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2010. *Resuscitation* 2010;81:1219-451.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Feneley MP, Maier GW, Kern KB, Gaynor JW, Gall SA Jr, Sanders AB, Raessler K, Muhlbaier LH, Rankin JS, Ewy GA. 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.
- [20] Standards and guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency care (ECC). *Jama* 1986;255:2905.
- [21] Moser DK CS. Recommendations for improving cardiopulmonary resuscitation skills retention. *Heart Lung* 1992;21(4):372-80.
- [22] 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.
- [23] Idris AH, Guffey D, Aufderheide TP, Brown S, Morrison LJ, Nichols P, Powell J, Daya M, Bigham BL, Atkins DL, Berg R, Davis D, Stiell I, Sopko G, Nichol G and the Resuscitation Outcomes Consortium (ROC) Investigators. Relationship between chest compression rates and outcomes from cardiac arrest. *Circulation* 2012;125:3004-12.
- [24] Idris AH, Guffey D, Pepe PE, Brown SP, Brooks SC, Callaway CW, Christenson J, Davis DP, Daya MR, Gray R, Kudenchuk PJ, Larsen J, Lin S, Menegazzi JJ, Sheehan K, Sopko G, Stiell I, Nichol G, Aufderheide TP; Resuscitation Outcomes Consortium Investigators, et al. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Critical Care*

- Medicine 2015;43(4):840-8.
- [25] Laerdal, Extra compression springs for Resusci Anne QCPR
  - [26] Tomlinson A.E. et.al. Compression force – depth relationship during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation Resuscitation 2007
  - [27] King County EMS, (Seattle), WA, USA. The King County data confirm the similar data reported by A. E. Tomlinson in Resuscitation 2007

# 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:

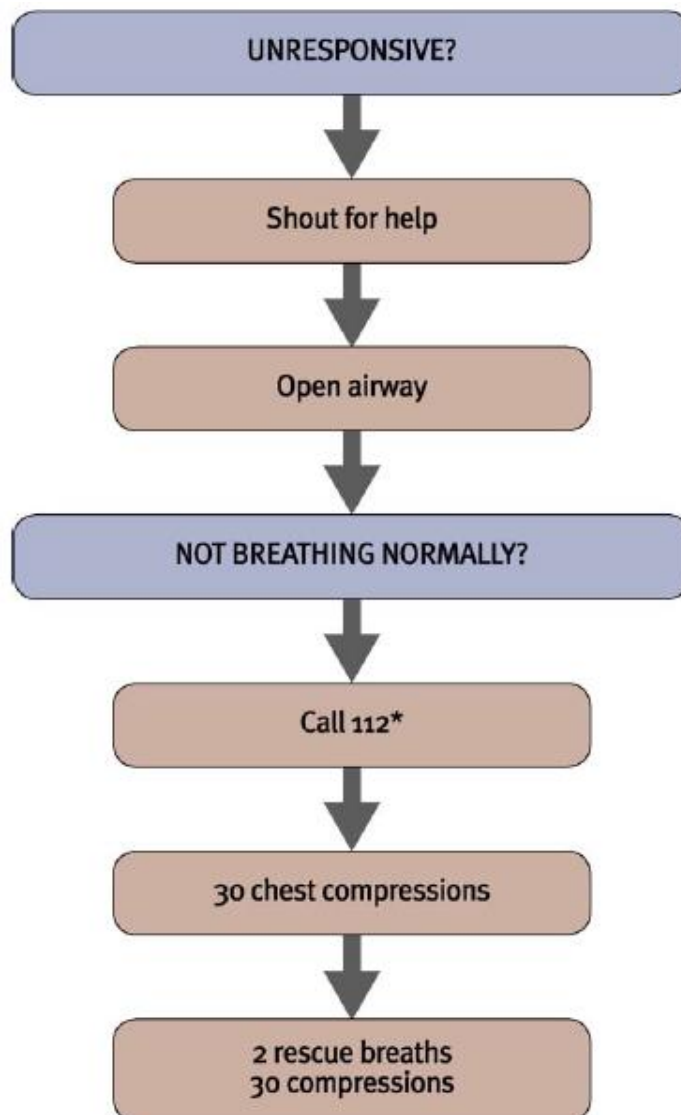


Figura I.1: Diagrama de pasos a seguir por el rescatador en caso de parada cardiorrespiratoria

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 acercar 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  
Abstract congreso  
CinC

---



Como resultado de este trabajo se ha enviado un abstract al congreso *Computing in Cardiology* (CinC), el cuál ha sido aceptado. Se trata de un congreso científico internacional que se lleva celebrando anualmente desde 1974. En el CinC participan científicos y profesionales de campos como la medicina, la física, ingeniería e informática con el objetivo de discutir sus actuales investigaciones en temas relacionados con la ciencia en la cardiología y la fisiología cardiovascular.

El abstract enviado al CinC se muestra a continuación.

### **Chest compression metrics during manual cardiopulmonary resuscitation: a manikin study**

Sofía Ruiz de Gauna, Digna M González-Otero, James K Russell, J Ruiz, Sara Pelayo, Puri Saiz

University of the Basque Country, UPV/EHU  
Bilbao, Spain

**Introduction:** Current recommendation for monitoring chest compression quality during CPR is focused on rate, depth, and complete release. Novel quality metrics have been also proposed, for example, release velocity and duty-cycle. The relationship between these metrics is not sufficiently understood, and makes the interpretation of study results more difficult.

**Aim:** To design tools for automated annotation of standard and novel CC metrics from CPR episodes and to test them in a simulated and controlled manikin setting. Also to quantify and compare current and newly proposed CC metrics.

**Materials and methods:** Eleven volunteers performed manual CPR on a resuscitation manikin, equipped with a distance sensor. We simulated three patient's chest stiffness with compression springs of different resistance. Four target compression rates were guided with a metronome, and volunteers were coached to complete release. CC depth was continuously recorded and stored with a sampling frequency of 500 Hz. A total of 132 episodes were available for analysis.

We developed tools for the automated annotation of several metrics for each CC instance in the recorded depth signal. We established a 5mm threshold for the identification of the effective start and end of each CC instance. Annotated parameters were: compression and decompression duration (Tc, Td), depth (dp), duty-cycle (DC), compression velocity (CV), and release velocity (RV).

**Results:** Median (25,50) dp was 48.7mm (43.1,53.7), DC was 50.9% (48.7,52.8), RV was 485mm/s (423,541), and CV was 470mm/s (407, 543). CV and RV showed a large correlation (>0.9) with respect to dp/Tc and dp/Td, respectively. Depth decreased with increasing rate and higher stiffness ( $p<0.01$ ). CV, RV and DC increased with increasing rate, and also presented differences depending on stiffness ( $p<0.01$ ). Conclusions: This manikin study provided a reliable framework for the characterization of CC during manual CPR, and could be used in the analysis of human CPR data.

Anexo II  
Consentimiento  
Informado

---

## MEDIDA DE LA SEÑAL DE PROFUNDIDAD DE LAS COMPRESIONES Y DE LA ACELERACIÓN DURANTE REANIMACIÓN CARDIOPULMONAR EN MANIQUÍ

### Objetivo del estudio

La reanimación cardiopulmonar (RCP) es una intervención clave para el tratamiento de víctimas de parada cardiorrespiratoria. Consiste en proporcionar compresiones torácicas y ventilaciones al paciente para mantener un mínimo flujo de sangre oxigenada a los órganos vitales. La calidad de las compresiones es crítica para maximizar las probabilidades de supervivencia a la parada cardiorrespiratoria. Los sistemas de *feedback* pueden ayudar a los rescatadores a mejorar la calidad de las compresiones. Procesando la profundidad del pecho durante la RCP, es posible calcular parámetros de las compresiones que sirvan para proporcionar *feedback* a los rescatadores. El grupo de investigación GSC trabaja en el desarrollo de nuevos métodos para estudiar la relación entre nuevos parámetros (como por ejemplo la velocidad de descompresión) con otros parámetros de calidad clásicos, como la frecuencia y la profundidad de las compresiones.

El objetivo de este estudio es registrar las señales de profundidad de la compresión y aceleración mientras se proporcionan compresiones torácicas a un maniquí de resucitación. Estos registros se usarán para diseñar y evaluar métodos para calcular parámetros de las compresiones a partir de la señal de aceleración y de la señal de profundidad. Necesitamos voluntarios que proporcionen compresiones torácicas al maniquí para introducir variabilidad en las formas de onda de las aceleraciones y profundidades registradas.

### Procedimiento

1. Participarás en una sesión de entrenamiento de aproximadamente 30 min. Durante esta sesión, un miembro de nuestro equipo describirá la técnica de RCP, y practicarás la realización de compresiones torácicas en un maniquí de resucitación. También recibirás una explicación detallada del procedimiento que se seguirá durante las sesiones de grabación.

2. Participarás en tres sesiones de grabación de aproximadamente 15 min cada una. Durante cada sesión se adquirirán varios registros. En cada registro proporcionarás compresiones torácicas al maniquí con una cierta frecuencia objetivo. Seguirás el procedimiento aprendido durante la sesión de entrenamiento. Un miembro de nuestro equipo te indicará la frecuencia objetivo en cada registro, que será guiada por metrónomo. Toda la información adquirida será anónima y confidencial.

### **Riesgos potenciales**

Los riesgos de este estudio son mínimos. Sin embargo, puedes sufrir una cierta incomodidad o molestias musculares. Para minimizar este efecto, se programarán descansos entre los registros. También puede que sientas cierta frustración si no consigues alcanzar la frecuencia o profundidad objetivo para las compresiones. Durante la sesión de entrenamiento aprenderás la técnica adecuada para realizar RCP de forma que te sea más fácil cumplir estos objetivos. En cualquier caso, los registros serán útiles para el estudio incluso si no logras alcanzar los objetivos de frecuencia y profundidad.

### **Beneficios y consideraciones económicas**

No recibirás compensación económica por tu participación en el estudio. Sin embargo, tendrás la oportunidad de aprender cómo realizar RCP y de mejorar tu técnica usando un maniquí de resucitación. Además, contribuirás al desarrollo de métodos para proporcionar *feedback* durante las compresiones torácicas, lo que podría, en última instancia, derivar en un aumento de la supervivencia a la parada cardiorrespiratoria.

### **Uso de los resultados**

Los resultados de este estudio pueden ser publicados en conferencias o revistas científicas. En ningún caso serás identificado como participante. Tras la finalización del estudio, puedes solicitar información acerca de los resultados si así lo deseas.

### Participación voluntaria

La participación en este estudio es totalmente voluntaria; puedes elegir libremente si participar o no. Si en cualquier momento deseas interrumpir tu participación, puedes retirarte del estudio sin consecuencias negativas.

Yo, ..... declaro que he entendido los objetivos y la finalidad de este estudio. Todas mis preguntas y dudas sobre el estudio han sido respondidas. Decido de forma voluntaria participar en este proyecto de investigación. Soy consciente de que me puedo retirar en cualquier momento sin consecuencias, y certifico que soy mayor de edad.

---

Nombre del participante

---

Firma del participante

---

Fecha