



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Fisiología del combate: Frecuencia cardiaca,  
respiración táctica y rendimiento

*Physiology of combat: Heart rate, tactical breathing  
and performance*

Autor

Guillermo López de Silanes Martínez

Directores

Directora académica: Dra. Dña. María Dolores Peláez Coca

Director militar: Cap. D. Cristian Hernández Aguilera

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2021





## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a los miembros de la BOEL XIX, en especial a los componentes del EO 94, por su apoyo en todo aquello que he necesitado durante las practicas y por haberme acogido como uno más desde el primer momento.

Dar las gracias a mis tutores, el Capitán D. Cristian Hernández Aguilera y la Doctora Dña. María Dolores Peláez, por su ayuda a la hora de realizar este trabajo.

A mis compañeros de promoción, con los que tanto he compartido, en los buenos y en los malos momentos.

Por último, agradecer a mi familia su apoyo incondicional durante todos estos años.



## RESUMEN

El combate pone a prueba la capacidad de respuesta del ser humano, induciendo un alto grado de estrés ante una situación de amenaza grave hacia su integridad física. De ahí la importancia de investigar la fisiología del combate, es decir, cómo la actividad cardiaca, el sistema nervioso y la respiración afectan al combatiente y a su rendimiento.

El estrés de combate es un área de estudio relativamente reciente en España. En muy contadas ocasiones se ha abordado este tema en el marco de unidades de operaciones especiales, que se caracterizan por acciones de combate muy intensas y de corta duración, ejecutadas por personal altamente adiestrado y especializado.

El presente trabajo aborda, precisamente, cómo afecta fisiológicamente a los miembros de operaciones especiales la inoculación de estrés psicológico, que no físico, la vinculación de la frecuencia cardiaca con el rendimiento y el uso de técnicas de respiración táctica como método de mejora del rendimiento bajo un elevado nivel de estrés.

Los resultados obtenidos han avalado el rendimiento superior de los miembros de operaciones especiales en situaciones de muy alta demanda psicológica, así como los beneficios de la respiración táctica sobre el rendimiento del combatiente. Además, los resultados también han confirmado la validez de la inoculación de estrés psicológico como método de estimulación cardiaca y nerviosa.

Las conclusiones del presente trabajo servirán para orientar nuevos estudios comparativos sobre la fisiología del combate en unidades regulares del Ejército y sobre la conveniencia de implementar técnicas de inoculación de estrés psicológico en el programa anual de adiestramiento de las unidades.

## PALABRAS CLAVE

Estrés de combate, Sistema nervioso simpático, Variabilidad Cardiaca, Respiración táctica.



## ABSTRACT

Combat tests the capacity of reaction of the human being, inducing a high degree of stress in a situation of acute threat to his physical integrity. Hence the importance of investigating the physiology of combat, that is, how cardiac activity, the nervous system and the breathing influence on the fighter's performance.

Combat stress is a relatively recent area of study in Spain. Rarely has this topic been addressed in the context of special operations units, which are characterized by very intense combat actions of short duration, executed by highly trained and specialized troops.

This paper addresses precisely how the inoculation of psychological, but not physical, stress affects to special operations members, the association of heart rate with performance, and the implementation of tactical breathing techniques as a method of performance enhancement under high stress.

The results obtained have supported the higher performance of special operations members in situations of very high psychological demand, as well as the benefits of tactical breathing on the fighter's performance. In addition, the results have also confirmed the validity of psychological stress inoculation as a method of cardiac and nervous stimulation.

The conclusions of the present work will help to guide further comparative studies on the physiology of combat in regular Army units and on the suitability of introducing psychological stress inoculation techniques in the units' training program.

## KEYWORDS

Combat stress, Sympathetic nervous system, Heart Rate Variability, Tactical breathing.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen .....	I
Palabras clave .....	I
Abstract .....	II
Keywords .....	II
Índice de Contenidos .....	III
Índice de Figuras.....	V
Índice de Tablas.....	VI
Abreviaturas, siglas y acrónimos .....	VII
1. Introducción .....	1
2. Objetivos y alcance .....	3
3. Antecedentes y marco teórico .....	5
3.1 Sistema nervioso autónomo .....	6
3.2 El estrés del combate .....	8
3.3 Vinculación entre el rendimiento y la frecuencia cardíaca .....	8
3.4 Respiración táctica .....	10
3.5 Variabilidad de la frecuencia cardíaca .....	11
4. Materiales .....	13
4.1 Sujetos de estudio .....	13
4.2 Dispositivos.....	13
4.3 Software.....	14
5. Metodología.....	15
5.1 Parámetros frecuenciales .....	16
5.2 Parámetros temporales .....	16
5.3 Otros parámetros .....	17
6. Desarrollo .....	19
6.1 Enfrentamiento con K9 .....	19
6.1.1 Introducción .....	19
6.1.2 Desarrollo del enfrentamiento con k9.....	20
6.1.3 Resultados.....	21
6.2 Combate en población con munición FX.....	22
6.2.1 Introducción .....	22
6.2.2 Desarrollo del ejercicio con munición fx .....	23
6.2.3 Resultados.....	24
6.3 Ejercicio de tiro con inoculación de estrés.....	29
6.3.1 Introducción .....	29



6.3.2 Desarrollo de los ejercicios con inoculación de estrés .....	31
6.3.3 Resultados.....	33
7. Discusión .....	37
8. Conclusiones .....	39
Referencias bibliográficas .....	41
Anexos .....	44
Anexo I Fichas de tiro .....	45
Anexo II Resultados ejercicio de tiro con inoculación de estrés .....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo unificado de frecuencia cardiaca y rendimiento. Fuente: Dave Grossman (2002)..	9
Figura 2 - FC de un piloto de MotoGP en la penúltima vuelta. Fuente: Dazn TV.....	10
Figura 3 - Representación grafica del concepto VFC e intervalo RR. Fuente: App Elite HRV .....	11
Figura 4 - Relación de FC y de VFC con la intensidad física. Fuente: Karvonen y Mustala (1997)...	12
Figura 5 - Banda torácica Polar H7. Elaboración propia .....	14
Figura 6 - Esquema de interconexión del software y material empleado. Elaboración propia .....	14
Figura 7 - Mordida durante el desarrollo del ejercicio “enfrentamiento con K9”. Elaboración propia .	20
Figura 8 - Herida producida por impacto de munición FX en zona abdominal. Elaboración propia...	23
Figura 9 - Operadores realizando limpieza de una edificación. Elaboración propia.....	24
Figura 10 - FC y nivel de alerta durante el ejercicio de combate en población. Elaboración propia..	28
Figura 11 - Fusil utilizado durante el ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia	29
Figura 12 - Parapeto "Nine Hole Barricade". Fuente: Web de Viking Tactics .....	30
Figura 13 - Dispositivo TASER creando un arco eléctrico entre los dos electrodos. ....	31
Figura 14 - Despiece del bolígrafo BIC. Elaboración propia.....	32



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Estructura temporal de las fases y tareas del presente TFG. Elaboración propia.....	4
Tabla 2 - Efectos del SNP y del SNS sobre los diferentes órganos. Elaboración propia .....	7
Tabla 3 - Datos de FC máxima durante enfrentamiento con K9. Elaboración propia.....	21
Tabla 4 - Datos del IS durante enfrentamiento con K9. Elaboración propia. ....	22
Tabla 5 - Datos del IS durante ejercicio de combate en población. Elaboración propia. ....	25
Tabla 6 - Datos del SI durante ejercicio de combate en población. Elaboración propia. ....	25
Tabla 7 - Datos de la FC media en combate en población. Elaboración propia. ....	26
Tabla 8 - Datos de la FC máxima en combate en población. Elaboración propia. ....	26
Tabla 9 - Datos la FC media previa y posterior al combate en población. Elaboración propia...26	
Tabla 10 – Relación entre el IS y el SI. Elaboración propia.....	27
Tabla 11 - Datos de PHF% en ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia.	33
Tabla 12 - Datos de PLFn el ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia. ...34	
Tabla 13 - Datos del SI y el rendimiento en ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia .....	34
Tabla 14 - Datos de activación del sistema nervioso simpático y parasimpático en ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia.....	35



## ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AGM	- Academia General Militar
b.p.m.	- Pulsaciones por minuto
BOEL	- Bandera de Operaciones Especiales de la Legión
ECG	- Electrocardiograma
FAS	- Fuerzas Armadas
FC	- Frecuencia Cardiaca
IP	- Índice parasimpático
IS	- Índice simpático
MADOC	- Mando de Adiestramiento y Doctrina
SI	- Índice de estrés
SNA	- Sistema Nervioso Autónomo
SNP	- Sistema Nervioso Parasimpático
SNS	- Sistema Nervioso Simpático
TEPT	- Trastorno de Estrés Postraumático
TFG	- Trabajo de Fin de Grado
TIM	- Tarjeta de Identificación Militar
VFC	- Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el Trabajo Fin de Grado (TFG) titulado “Fisiología del combate: frecuencia cardiaca, respiración táctica y rendimiento” del Grado en Ingeniería de Organización Industrial impartido por el Centro Universitario de la Defensa en la Academia General Militar (AGM) de Zaragoza. A continuación, se definen los antecedentes, ámbito de aplicación del estudio, las teorías existentes y los conceptos clave del tema en cuestión.

El interés del autor del presente TFG por conocer los efectos del estrés en el combatiente se despertó hace dos años con motivo de la lectura del libro “Sobre el combate, la psicología y fisiología del conflicto letal en la guerra y en la paz”, escrito por Teniente Coronel Dave Grossman. Esta lectura coincidió en el tiempo con un cúmulo de experiencias personales relacionadas con el proceso de adiestramiento militar que el propio autor recibía como alumno de la Academia General Militar. Resultaba fácil reconocer haber sufrido en carne propia muchos de los efectos del estrés sobre el combatiente (el “guerrero” en la terminología del libro de Grossman) que se describían en dicha obra. A la hora de proponer un tema para el TFG el razonamiento fue simple: ¿por qué no profundizar en un tema de interés personal, de aplicación profesional y de utilidad para el área de conocimiento vinculada a la instrucción del militar y su rendimiento táctico?

El estrés es una reacción inherente al combate y a la instrucción militar con simulación de condiciones reales. Constituye una de las reacciones esenciales del cuerpo humano cuando es sometido a condiciones en las que prima el uso de la fuerza para el cumplimiento de una misión, aun a costa de la propia supervivencia. Por tanto, es preciso conocer en profundidad la influencia del estrés en los combatientes para poder comprender su rendimiento en una situación real y adaptar las técnicas de adiestramiento para que nuestros soldados sepan identificar y prevenir los efectos adversos del estrés, de modo que afronten el combate en las mejores condiciones posibles. Este es, precisamente, el propósito inspirador del presente TFG.

El estrés en el combate es un ámbito de trabajo muy estudiado desde hace unos 15 años por los cuerpos policiales y militares de Estados Unidos, siendo su mayor exponente el Teniente Coronel Dave Grossman, licenciado en Psicología, junto a su obra: “Sobre el combate: La psicología y fisiología del conflicto letal en la guerra y en la paz. Sin embargo, en España se trata de un área de trabajo no tan frecuente, si bien está recibiendo mayor atención en los tiempos recientes. De hecho, son relativamente escasos los estudios en español sobre las respuestas fisiológicas del personal militar en situaciones de estrés y, mucho menos frecuentes todavía, sobre los miembros de las fuerzas de operaciones especiales.

Los cuerpos policiales americanos se dieron cuenta de que sus agentes durante los enfrentamientos armados experimentaban un aumento de la activación del Sistema Nervioso Simpático (SNS) y sus consiguientes reacciones fisiológicas, entre las que podemos destacar el aumento de la frecuencia cardiaca (FC), la perdida de la capacidad motriz fina, la exclusión auditiva, la visión de túnel, la apertura de esfínteres, la perdida de memoria o el tiempo ralentizado, entre otras distorsiones cognitivo-perceptuales. (Clemente Suárez, Palomera y Robles, 2018). Muchos de ellos cuando se enfrentaban a una situación de vida o muerte actuaban de manera refleja, a modo de “piloto automático”, y solo eran capaces de realizar aquellos movimientos que habían entrenado en el campo de tiro (Grossman y Christensen, 2007). De aquí procede el famoso lema en la instrucción: “train as you fight”, que hace referencia a la importancia de la instrucción realista, portando el equipo completo de combate y realizando todos los procedimientos, aunque pueda resultar incomodo y entorpecedor.

El sistema nervioso autónomo (SNA) tiene dos ramas el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP). Estos dos sistemas tienen funcionalidades opuestas, mientras que el SNS prepara el cuerpo para la acción acelerando el metabolismo el SNP se



encarga de los procesos recuperativos y de ahorro de energía (Navarro, 2002). En el punto 3.1 se profundiza en estos conceptos.

En 2007 se llevo a cabo uno de los primeros estudios para evaluar la relación entre el SNP y el rendimiento del personal militar expuesto a un alto nivel de estrés (Morgan et al., 2007). En este estudio se concluyó que la reducción de la activación parasimpática se asociaba a un mayor rendimiento. Este resultado se atribuyó a la capacidad de regular mejor las emociones y el funcionamiento cognitivo cuando se suprime la activación parasimpática.

Bruce K. Siddle, director del Human Factor Research Group, es considerado el pionero en el campo de la fisiología del combate y de la “ciencia del guerrero”. En su libro *Sharpening the Warrior's Edge* se estudia por primera vez los efectos del aumento de la frecuencia cardiaca por factores hormonales o como reacción al miedo, y enuncia la “Teoría de Fases” que establece una vinculación entre la frecuencia cardiaca y el nivel de rendimiento (Siddle, 2005). En el punto 3.3 del presente TFG se explica la Teoría de fases.

El objetivo general de este TFG es analizar los efectos del estrés del combate sobre el cuerpo humano monitorizando los niveles de activación del SNP y del SNS. Se pretende contrastar empíricamente si los postulados de la Teoría de Fases de Bruce K. Siddle se cumplen durante los ejercicios de instrucción de las fuerzas especiales españolas. Para ello, se estudiará la frecuencia cardiaca durante este tipo de ejercicios, así como los efectos del control respiratorio en este contexto como método inhibidor del estrés (efecto conocido como “respiración táctica” que se explica en el punto 3.4 del presente TFG), y la relación de todo ello con el rendimiento del combatiente. De ahí el título del presente TFG: “Fisiología del combate: frecuencia cardiaca, respiración táctica y rendimiento”.

El presente TFG ha sido desarrollado en el transcurso de la estancia realizada en la Bandera de Operaciones Especiales (BOEL) XIX de la Legión entre los días 05/09/2021 y 15/10/2021 en Alicante. Con la finalidad de conseguir una simulación de estrés en combate lo más parecida posible a la realidad, el autor del presente TFG ha tenido la oportunidad de intervenir durante diversos ejercicios tácticos de los miembros de la BOEL XIX, colocando a cada participante un pulsómetro de banda, que ha portado voluntariamente, de manera que ha sido posible registrar en el transcurso del ejercicio el intervalo entre latidos (intervalo RR) del que se ha extraído su Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca (VFC). En el punto 3.5 del presente TFG se define el concepto VFC y su relación con la Frecuencia Cardiaca (FC). Los datos de las señales registradas por el pulsómetro fueron objeto posteriormente de procesado por el software “Kubios”, que más adelante se describirá en el punto 4.3, a fin de relacionar la VFC con los diferentes niveles de activación del SNA.

Este estudio resulta de interés para todas aquellas personas que alguna vez se enfrenten a una situación de vida o muerte, en la que el cuerpo humano tome una decisión de “lucha o huye”. Especialmente, resulta indicado aplicar las conclusiones del presente TFG a efectivos militares en situación de combate real o en condiciones de instrucción simulada, independientemente de que el escenario sea terrestre, naval o aéreo. Secundariamente, también resulta de aplicación a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, y a los miembros de servicios de seguridad o emergencias (bomberos, servicios de rescate, etc.).

El presente TFG se ha estructurado en ocho bloques diferenciados, empezando con una breve introducción al proyecto, posteriormente la presentación de los objetivos y el alcance que se han marcado para el desarrollo del mismo. En el tercer capítulo se estudia el estado del arte y los términos teóricos que sustentan el trabajo. En el cuarto y quinto capítulo se presentan los materiales empleados y las variables analizadas respectivamente. En el sexto capítulo se explica el desarrollo y los resultados obtenidos en las pruebas de estrés realizadas. Posteriormente se discute acerca de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas. Finalmente, se incluyen las conclusiones del proyecto derivadas de los resultados del proyecto obtenidos hasta el momento.



## 2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de este TFG es analizar los efectos del estrés en condiciones simuladas de combate sobre el rendimiento del combatiente, contrastando empíricamente si se cumplen las siguientes hipótesis:

- Hipótesis 1: Los miembros de las unidades de operaciones especiales son capaces de desarrollar un rendimiento superior en la ejecución de la misión encomendada a pesar de superar la barrera fisiológica de 145 pulsaciones por minuto.
- Hipótesis 2: El estrés psicológico, en ausencia de ejercicio físico, produce un aumento de la frecuencia cardíaca y de la activación del SNS.
- Hipótesis 3: La instrucción de combate mediante inoculación psicológica de estrés constituye una metodología útil para simular los niveles de activación del SNS propios del combate.
- Hipótesis 4: La respiración táctica resulta una técnica efectiva para disminuir los niveles de estrés fisiológico y, por consiguiente, para mejorar el rendimiento del combatiente en situaciones de alta demanda psicológica.

Para lograr el anterior objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos secundarios:

- 1 Recopilar datos sobre la VFC, mediante una toma de medidas fiable a través de un pulsómetro aplicado a los participantes en diversos ejercicios tácticos.
- 2 Analizar el nivel de activación del SNS y del SNP de cada sujeto experimental durante el correspondiente ejercicio táctico, mediante el procesamiento del intervalo RR por el software “Kubios”.
- 3 Comprobar el tipo de relación existente entre FC, activación del SNS y estrés en combate.
- 5 Contrastar los postulados de la Teoría de Fases durante la instrucción de combate de los miembros de la BOEL XIX
- 6 Relacionar los patrones individuales de activación del SNS con el rendimiento da cada sujeto en el transcurso del ejercicio táctico realizado.
- 7 Verificar los beneficios de la respiración táctica como inhibidora del estrés durante el combate.

El desarrollo del presente TFG se estructura en tres fases que se ejecutaron de forma sucesiva a lo largo de un programa de trabajo, que se realizó en las fechas y lugares que se detallan en la tabla 1.



FASE	TAREA	PLANIFICACIÓN HORARIA	MATERIAL NECESARIO
Búsqueda de documentación y estructuración del trabajo.	Estructurar los objetivos	1ª Semana	No se contempla
	Buscar y leer las fuentes de conocimiento	1ª Semana	Bibliografía seleccionada
	Investigar acerca del estado del arte	2ª Semana	
Diseño de la metodología y su posterior ejecución	Estipular las teorías que se desean verificar	3ª Semana	No se contempla
	Establecer los datos que debemos obtener		3ª Semana
	Diseñar los ejercicios de simulación		4ª Semana
	Diseñar la toma de medidas y seleccionar los participantes		4ª Semana
	Ejecutar los ejercicios y recopilar los datos de VFC		5ª Semana
	Procesar los datos obtenidos		6ª Semana
Reflexionar acerca del alcance del trabajo y sus resultados.	Analizar la relación existente entre las variables		7ª Semana
	Establecer las conclusiones		8ª Semana
	Establecer las líneas de trabajo futuras		8ª Semana
	Analizar las limitaciones del estudio		8ª Semana

*Tabla 1 - Estructura temporal de las fases y tareas del presente TFG. Elaboración propia*

Para la realización del estudio se ha contado con los recursos y personal disponible de la BOEL XIX y se han utilizado tanto las instalaciones del cuartel del Mando de Operaciones Especiales en Rabasa (Alicante), como las de los campos de maniobras de Fontcalent y de Agost, situados en los alrededores de Alicante. Para llevar a cabo las mediciones se han empleado seis pulsómetros H7 de Polar cedidos por el Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza al autor del presente TFG. Durante todo el proceso de elaboración del estudio se han considerado las indicaciones y orientaciones dadas por el Director Académico, el Director Militar así como todo aquel personal destinado en el MOE que voluntariamente ha aportado su experiencia personal en el área de estudio. En la tabla 1 se han establecido los hitos horarios correspondientes la realización de cada una de las tareas que deben completarse.

Cabe citar que estaba diseñado y programado un ejercicio para analizar los efectos del estrés psicológico durante un salto paracaidista de combate, pero hubo que descartarlo a causa de que las condiciones meteorológicas obligaron a cancelar los saltos programados.



### 3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Los efectos de los enfrentamientos armados sobre el estado nervioso y mental de los combatientes han sido evidentes desde la antigüedad. Ya Heródoto en el año 440 a.C. refirió alteraciones mentales en los guerreros tras la batalla de Maratón. Más cerca de nuestros días, durante las guerras napoleónicas, se observó que los soldados podían entrar en un estado de estupor como resultado de la exposición próxima y directa a un riesgo mortal. (Bartone, 2006) De hecho, en referencia al estremecimiento que producían los disparos de la artillería enemiga, la lengua francesa acuñó el término de “*sentir le vent du boulet*” (escuchar el zumbido de la bala de cañón), para referirse al estado de parálisis de algunas personas ante situaciones de extremo peligro.

Pero fue en la Primera Guerra Mundial cuando despertó el interés del bando aliado por analizar metódicamente los síntomas de lo que comenzó a denominarse “shell shock” (colapso de bombardeo) y, más tarde se bautizó como “fatiga de combate” o, en los casos más graves, “neurosis de guerra”. Tantos fueron los afectados que el alto mando comenzó a preocuparse por esta alarmante epidemia que amenazaba la moral de las tropas que participaban directamente en las acciones bélicas. Como consecuencia, a partir de entonces el síndrome de “fatiga de combate” suscitó un gran interés por parte de la psiquiatría y la psicología. (Department of Defense, 2010)

Se observó que los soldados desplegados en el frente de batalla durante varios meses de forma ininterrumpida, terminaban viendo progresivamente afectada su capacidad para combatir e, incluso, para realizar tareas cotidianas sencillas. En este contexto, comenzaron a producirse numerosas bajas psicológicas causadas por la convivencia cercana con la muerte. El sentimiento constante de estar en peligro mortal y sufrir diariamente la muerte de algún compañero, cuyos cadáveres mutilados a menudo eran visibles desde las propias trincheras, generaban un nivel de estrés que terminaba induciendo desórdenes psicológicos, que, en el peor de los casos, incapacitaban a las tropas para el combate.

Durante la Segunda Guerra Mundial se integraron planes de tratamiento psicológico con el objetivo de disminuir el numero de bajas e intentar que los soldados afectados regresaran cuanto antes al combate. Sin embargo, la violencia extrema de la guerra impidió que disminuyese el numero de bajas psicológicas, siendo estas en mayor numero que las bajas mortales causadas por la acción directa del enemigo.

En los actuales conflictos la figura del psicólogo se ha integrado plenamente en el ejército y la literatura científica al respecto es muy abundante, reconociéndose el Trastorno de Estrés Posttraumático (TEPT) como una afección de salud mental derivada de la participación en el combate. Los ponentes mas influyentes en este campo del conocimiento son Bruce K. Siddle como pionero de la “*psicología del guerrero*” (Siddle, 2005) y el Teniente Coronel Dave Grossman como exponente de la aplicación directa y real de los conocimientos enunciados por Siddle (Grossman y Siddle, 2000), (Grossman y Christensen, 2007). En cuanto a los trabajos internacionales más recientes cabe destacar las obras de Gancitano y Baldassarre (2021) y la obra de Labros y Nikolaos (2020).

Así mismo, en los últimos años en España, el profesor Vicente Javier Clemente Suárez ha escrito numerosos artículos acerca de la respuesta psicofisiológica del estrés en situaciones que amenazan la integridad física del sujeto (Clemente Suárez y Robles Pérez, 2017), (Clemente Suárez y Palomera, 2018), (Montaña Diaz y Clemente Suárez, 2019).

Cabe destacar que, a pesar de ser un área de especial interés para nuestras Fuerzas Armadas (FAS), este fenómeno no ha suscitado en España un nivel de interés científico acorde



a la magnitud del fenómeno. Si bien se han producido multitud de estudios a nivel particular sobre el TEPT y los efectos del estrés sobre el combate, todo ello no ha desembocado en unas pautas de actuación a nivel oficial para abordar este problema en los programas de instrucción militar, en las intervenciones armadas o en la identificación posterior y primeros tratamientos de los combatientes afectados.

### 3.1 SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO

El sistema nervioso autónomo (SNA) es la parte del sistema nervioso que inerva todos los órganos del cuerpo controlando las acciones involuntarias, tales como los latidos cardíacos, la temperatura corporal o el ensanchamiento/estrechamiento de los vasos sanguíneos. El SNA está conformado por el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP). Estos dos sistemas tienen funcionalidades opuestas sobre un mismo órgano: el SNS activa determinadas respuestas fisiológicas y el SNP las inhibe. La acción combinada del SNS y del SNP proporciona un control rápido y preciso de la función de cada órgano o tejido. Mientras que el SNS prepara el cuerpo para la acción acelerando el metabolismo, el SNP se encarga de los procesos recuperativos y de ahorro de energía. El cuerpo humano trata de mantener una homeostasis entre los dos sistemas, es decir, un equilibrio entre los procesos simpáticos y parasimpáticos. Por lo tanto, el estado general del organismo en un momento concreto depende de la rama del SNA que predomine (Navarro, 2002).

El SNS está asociado con la respuesta al estrés y al reflejo de lucha o huida, preparando al cuerpo para la supervivencia e inhibiendo todos aquellos sistemas que no sean necesarios para una acción de máximo requerimiento. El SNS moviliza todos los recursos energéticos que dispone y determina la producción de hormonas que, a su vez, determinan la liberación de neurotransmisores como la dopamina, la noradrenalina y la epinefrina, que actúan generando ciertas reacciones fisiológicas (ver Tabla 2): inhibe la digestión, dilata los bronquios de los pulmones, dilata los vasos sanguíneos que irrigan el corazón, dilata las pupilas provocando perdida en la visión periférica, etc. (Nogareda, 1994). Cuando el cerebro identifica una amenaza, el hipotálamo (conjunto de núcleos de neuronas localizadas en la profundidad de los lóbulos temporales del cerebro), que se encarga de las reacciones primarias y primitivas, toma el mando en detrimento del hipocampo, encargado del control de las emociones y el raciocinio (Leal, Delgado y Gruart, 2013).

El SNP está asociado con la relajación y la recuperación, y es el encargado de controlar los procesos inconscientes e involuntarios que son imprescindibles para el mantenimiento de la vida. El SNP tiene su mayor activación por la noche para generar un estado de reposo que permita recuperar energía. La estimulación parasimpática produce las reacciones fisiológicas expuestas a continuación en la tabla 2 (Arnsten, 2009).



	Sistema Nervioso Parasimpático (SNP)	Sistema Nervioso Simpático (SNS)
Pupilas	Contrae	Dilata
Salivación	Estimula	Inhibe
Vías respiratorias	Contrae	Dilata
Frecuencia cardíaca (FC)	Disminuye	Aumenta
Variabilidad cardíaca (VFC)	Aumenta	Disminuye
Cadencia respiratoria	Reduce	Aumenta
Sistema digestivo	Estimula	Inhibe
Liberación de glucosa	Inhibe	Estimula
Vesícula biliar	Estimula	Inhibe
Actividad intestinal	Estimula	Inhibe
Vejiga	Contrae	Dilata
Esfínteres	Contrae	Dilata

Tabla 2 - Efectos del SNP y del SNS sobre los diferentes órganos. Elaboración propia

La dominancia del sistema simpático se mantendrá hasta que la amenaza sea neutralizada o la percepción de peligro haya desaparecido. Posteriormente se producirá un dominio del sistema parasimpático para restablecer la homeostasis. Sin embargo, si el sujeto se ha visto expuesto durante un largo periodo de tiempo a una amenaza de alta intensidad, como ocurre en los enfrentamientos armados que sufren nuestras tropas desplegadas en misiones internacionales, se producirá una grave reacción parasimpática que deteriora drásticamente el rendimiento. El nivel de estrés acumulado ha sido tan elevado, que el SNP se hace con el control del cuerpo para tratar de recuperarse lo antes posible, lo que produce un cansancio y somnolencia que impide a los soldados mantener el necesario nivel de alerta, por ejemplo, para prevenir un posible contraataque enemigo. (Bardera, García Silgo y Pastor, 2014)

Este fenómeno fue observado por Napoleón, que lo reflejó con la siguiente aseveración: "El momento de mayor vulnerabilidad es el instante posterior a la victoria". Para evitar este momento de debilidad, el ejército francés incluyó en su cuerpo doctrinal el precepto táctico de "consolidación y reorganización del objetivo" que consiste en una serie de cometidos que deben realizar los soldados una vez completada la misión (García Silgo, 2013). De este modo se logra preservar la operatividad de la unidad, gracias a que los combatientes se ven cominados a mantenerse alerta y en tensión.

En la actualidad este proceso ha sido adaptado por las fuerzas especiales americanas que inmediatamente después de una intervención deben chequear la munición disponible, atender a los heridos y preparar su equipo para la siguiente misión. De este modo aseguran que los "operadores" (como se denomina a los miembros de estas unidades) no se relajen, al mismo tiempo que se garantiza el nivel de operatividad de la unidad.

Conocer los efectos de la reacción violenta parasimpática es de vital importancia en el ámbito de los cuerpos policiales, de los cuerpos de emergencias/rescate y de las FAS, ya que los sujetos que la sufren tienen los niveles hormonales desestabilizados y se sienten fatigados, apáticos e inseguros. Este estado biológico transitorio resulta especialmente peligroso porque afecta a la toma de decisiones, que en el caso de los combatientes deben ser precisas y rápidas.



## 3.2 EL ESTRÉS DEL COMBATE

Siddle (2005) definió el estrés de combate como “Reacción fisiológica ante la percepción de una amenaza inminente de herida grave o muerte, o ante la responsabilidad de ser encargado de proteger a un tercero de lesiones graves o muerte inminente, bajo condiciones donde el tiempo de respuesta es mínimo”.

El Teniente Coronel psicólogo Dave Grossman, acuña el término “Fobia humana universal” para referirse a la agresión humana intrapersonal, es decir, aquella situación en la que una persona intencionadamente trata de herir gravemente o matar a un semejante (Grossman, 2007). Una fobia es un miedo irracional, insopportable e incontrolable sobre un acontecimiento u objeto concreto. A los miembros de nuestras FAS se les exige actuar en este marco violento, enfrentándose intencionadamente a aquellos que tratan de matarlos. Por ello, es de vital importancia para nuestros militares conocer todo lo que supone enfrentarse a la “fobia humana universal”, como uno de los grandes factores desencadenantes del estrés en el combate.

Además, debe considerarse la resistencia del ser humano a infiligr daño letal a otra persona. Superar esa barrera, intrínseca a la condición humana, implica un coste psicológico muy alto. De hecho, se ha demostrado que, independientemente del nivel de peligrosidad o de violencia, el estrés generado siempre es menor en aquellas situaciones en las que el sujeto no se ve en la tesitura de ser responsable de la muerte de un semejante. (Grossman, 2002)

Como se ha citado anteriormente en el punto 3.1, las situaciones de peligro mortal producen una activación del SNS y una liberación de hormonas en el organismo que genera un reflejo para garantizar la supervivencia: luchar o huir. Estas hormonas, liberadas como respuesta al miedo, a la incertidumbre y al consiguiente estrés, sitúan a la persona en un nivel de rendimiento superior, concentran todos los sentidos sobre el foco de la amenaza y reúnen todos los recursos disponibles para realizar un esfuerzo físico intenso. Sin embargo, si estas hormonas inundan el organismo descontroladamente se produce el colapso y el rendimiento disminuirá exponencialmente (Ministerio de Defensa, 2015) como se explica mas adelante en el apartado 3.3

Ante una misma situación cada sujeto tendrá un nivel de activación del SNS que depende de seis variables: el grado de intencionalidad maliciosa humana detrás de la amenaza, el nivel de percepción de riesgos físicos que puede originar la amenaza, el tiempo disponible para la respuesta, el nivel de confianza en las habilidades personales, el nivel de experiencia en el tratamiento de la amenaza específica y el grado de fatiga física actual. (Clemente Suárez y Robles Pérez, 2012)

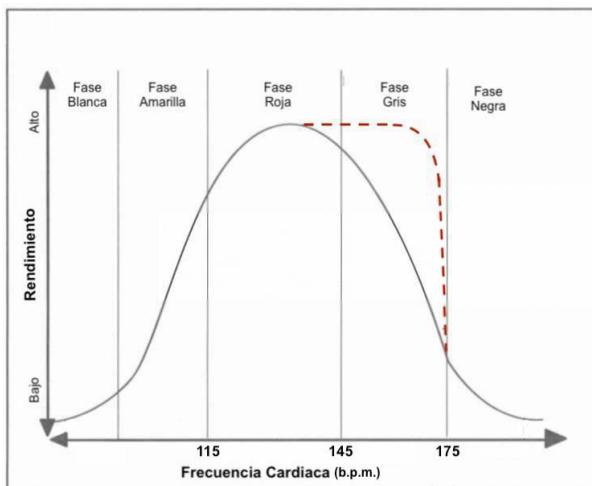
Por tanto, un entrenamiento realista generará confianza en nuestras habilidades, lo que reducirá el grado de estrés y ansiedad, contribuyendo a minimizar los efectos negativos de las reacciones fisiológicas y por consiguiente aumentando nuestra eficacia en el tiro de combate. (Clemente Suárez y Delgado, 2015b)

## 3.3 VINCULACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO Y LA FRECUENCIA CARDIACA

La Teoría de Fases, enunciada por Bruce K. Sidde en su obra *Sharpening the Warrior's Edge: The Psychology and Science of Training* (1995) y por Dave Grossman en su *Academic Press Encyclopedia of Violence, Peace and Conflict* (2004), establece la relación entre el rendimiento y el aumento de la frecuencia cardiaca inducido por miedo o causas hormonales,



como resultado de una estimulación del sistema nervioso simpático (ver Figura 1). El aumento de la FC por el ejercicio físico no tiene los mismos efectos fisiológicos. Se establecen cinco fases en función del nivel de alerta del sujeto:



*Figura 1 - Modelo unificado de frecuencia cardiaca y rendimiento. Fuente: Dave Grossman (2002)*

La fase blanca corresponde al nivel más bajo de reacción, cuando el sujeto se encuentra durmiendo y, por tanto, indefenso, vulnerable y confiado.

La fase amarilla corresponde a un nivel por encima de alerta, el sujeto se encuentra psicológicamente preparado para el combate. Los mamíferos depredadores se mantienen constantemente en esta fase. No existe una frecuencia cardíaca asociada a las fases blanca y amarilla, pues la diferencia es más psicológica que fisiológica. Sin embargo, los posteriores niveles se pueden asociar con un espectro concreto de frecuencia cardíaca.

La fase roja es nivel óptimo de rendimiento para el combate. El estrés de la supervivencia eleva las pulsaciones manteniéndolas en el intervalo entre las 115 y las 145 pulsaciones por minuto (b.p.m.). Las habilidades motoras finas (capacidad de hacer movimientos usando los músculos pequeños de nuestras manos, dedos y muñecas) comienzan a sufrir un deterioro, pero la motricidad gruesa (movimientos realizados por los grandes grupos musculares de las extremidades y el torso), la fuerza, el tiempo de reacción y la percepción cognitiva trabajan a su máximo nivel. (Labros y Nikolaos, 2020)

Algunos combatientes, como los pilotos o tiradores de precisión, deberán esforzarse por mantenerse en la fase amarilla para no interferir en sus habilidades motoras finas. Sin embargo, para el resto de combatientes es de mayor interés mantener un nivel elevado de fuerza, motricidad gruesa y un menor tiempo de reacción en detrimento de la motricidad fina. Por ello, a través del constante entrenamiento y la repetición deben convertir los movimientos finos en “memoria muscular”. Realizar cambios de cargador, manejar esposas y resolver interrupciones en el armamento son algunas de las habilidades que se deben practicar hasta que las puedan realizar correctamente de manera inconsciente a pesar de estar en fase roja de activación. Sin embargo, el combatiente tendrá dificultades si debe enfrentarse a una habilidad motora fina que no haya ensayado previamente. Cualquiera que sea la habilidad que se requiera bajo estrés, esta debe ser ensayada con antelación. (Clemente Suarez, Tornero Aguilera y Robles Pérez, 2017)



La fase negra se sitúa a partir de las 145 pulsaciones. Este es la barrera a partir de la cual el rendimiento disminuye exponencialmente y lleva al cuerpo a un estado de colapso mental y físico. Se produce la vasoconstricción por la cual no llega sangre a los capilares mas finos, provocando dificultad para pensar, congelación de la motricidad gruesa y afecta al músculo ciliar que resulta en perdida de la visión.

Sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo por el BAHR Training Group, apuntan a la existencia de una fase gris situada entre las 145 y 175 pulsaciones por minuto y que únicamente está al alcance de unos pocos (Grossman y Christensen, 2007). En esta fase es posible alcanzar un nivel de rendimiento extraordinario a pesar de haber superado la barrera de las 145 b.p.m. Este nivel de rendimiento solo es alcanzable con el adiestramiento realista y el tiempo suficiente para que se produzcan las adaptaciones generadas a través de la repetición de las habilidades requeridas. En esta fase se producirá el deterioro cognitivo, perdida de la visión periférica (visión de túnel) y la exclusión auditiva, pero el sujeto trabaja inconscientemente de manera precisa y eficaz aplicando las habilidades previamente interiorizadas. Estas adaptaciones únicamente se pueden desarrollar mediante la repetición en seco de los movimientos y el entrenamiento mediante la simulación realista del combate y sus efectos.(Montaña Díaz y Clemente Suárez, 2019)

Para desenvolverse correctamente en esta fase es necesario tener todos los movimientos en la “memoria muscular” y tener un elevado nivel de autoconfianza en el desempeño de la tarea que se quiere ejecutar. El más claro exponente de esta fase gris es la actuación de los pilotos de Formula 1 y Moto GP, que mantienen una FC aproximada de 175 b.p.m. durante toda la carrera (ver Figura 2). (Poncela, 2017)



Figura 2 - FC de un piloto de Moto GP luchando por mantener el podio en la penúltima vuelta. Fuente: Dazn TV

### 3.4 RESPIRACIÓN TÁCTICA

La respiración táctica es una técnica que consiste en utilizar la respiración para centrar la atención y mejorar el rendimiento en el momento previo de realizar una acción muy demandante para el sistema cognitivo. Mediante la respiración táctica se controlan los efectos fisiológicos del estrés y el sujeto puede descender desde la fase roja a la fase amarilla (Departamento de instrucción y adiestramiento de la Academia de Infantería, 2021).



En Estados Unidos, existe un programa específico de aprendizaje de las técnicas de respiración táctica, denominado *Calibre Press Street Survival Seminar*, en el que han participado cientos de miles de agentes de policía y que ha recibido un favorable feedback que confirma que la respiración táctica ha mejorado el desempeño y el rendimiento de los alumnos.

La respiración táctica es una técnica muy sencilla consistente en durante unos pocos segundos hacer énfasis en la respiración, y de manera voluntaria realizar dos o tres exhalaciones e inhalaciones rápidas y completas. Como consecuencia inmediata aumentara la concentración de oxígeno en el torrente sanguíneo, que ayudara a pensar mejor. Además, la respiración está conectada a través del cerebro con el SNP, que es el encargado del control autónomo del sistema respiratorio. Por tanto, al hacer un énfasis consciente en la respiración, se produce una activación del SNP que controla también el sistema endocrino (hormonal) y cardiovascular. Como consecuencia disminuye la FC y frena la liberación de hormonas del estrés como el cortisol y la norepinefrina. (Montaña Díaz y Clemente Suárez, 2019)

Es sencillo imaginar la multitud de pensamientos que rondan la cabeza de un militar cuando va patrullando una calle en territorio hostil y se le ordena entrar en un edificio desde donde le han estado disparando o recibe el cometido de disparar a un enemigo a larga distancia. En todas estas situaciones el militar necesita relajarse rápidamente y centrarse plenamente en la nueva tarea encomendada. Es en estos escenarios cuando la respiración táctica traslada rápidamente al sujeto desde la fase roja o gris hacia la fase amarilla.

### 3.5 VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA

La Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) se define como la variación de los intervalos RR, es decir la variación del tiempo transcurrido entre latido y latido. En una persona sana el intervalo RR, va variando unos pocos milisegundos entre latidos consecutivos (Rodas et al., 2008). La VFC es originada por las interacciones entre el sistema nervioso autónomo y el sistema cardiovascular (Kleiger, Stein y Thomas Bigger, 2005). El sistema nervioso autónomo genera efectos de tipo inotrópico, que cambian la fuerza de las contracciones del corazón, y de tipo crontrópico, que aceleran o desaceleran la frecuencia cardiaca. Ambos efectos son los responsables principales del aumento o disminución de la VFC. En general, se considera una VFC alta como un indicador de buena salud, de buena recuperación post enfermedad cardiovascular o de una correcta adaptación a las cargas de los entrenamientos, en el caso de los deportistas. En la Figura 3 se muestra la representación gráfica del concepto VFC y del intervalo RR sobre una señal electrocardiográfica

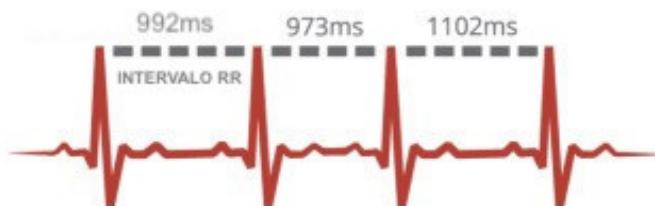
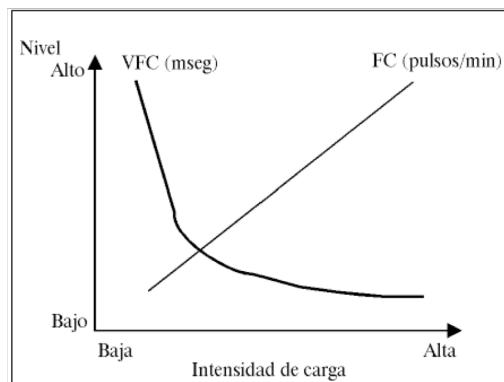


Figura 3 - Representación gráfica del concepto VFC e intervalo RR. Fuente: App Elite HRV



El análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca es una técnica cada vez más utilizada en el ámbito clínico y científico, ya que permite obtener de una forma no invasiva indicadores de la salud cardiovascular y de la actividad simpática y parasimpática (Task Force of the European Society of Cardiology, 1996). Sin embargo, el área de estudio de mayor interés para este trabajo es la relación de la VFC con el estrés físico y psíquico. (Sibolboro et al., 2001)

La relación entre la FC y la VFC respecto a la intensidad física de la carga de trabajo es inversamente proporcional; es decir, al aumentar la FC y la carga de trabajo, disminuye la VFC (ver Figura 4). Por tanto, el SNS aumenta la FC y disminuye la VFC, mientras que el SNP disminuye la FC y aumenta la VFC (Karvonen, Kentala y Mustala, 1997).



*Figura 4 - Relación de la FC y de la VFC con la intensidad física. Fuente: Karvonen, Kentala y Mustala (1997)*

En condiciones que requieren un alto grado de alerta, una respuesta rápida y un elevado nivel de estrés el hipotálamo regula el ritmo cardíaco haciéndolo más regular y el tiempo entre latidos se vuelve aproximadamente igual (Berntson et al., 1997)

Existen varios factores que influyen sobre la VFC y deben ser considerados, como pueden ser la edad que disminuye la FC máxima, el sexo, ya que la FC media es mayor en las mujeres, la posición del cuerpo durante la medición, la condición física del sujeto, la hora del día en relación a los ciclos circadianos, la temperatura ambiental, la ingesta de alcohol, de cafeína, de tabaco o de algunos medicamentos entre otros factores. (Pumpila et al., 2002)

Existen diversos métodos de medición de la VFC. El más común es el consabido electrocardiograma, que monitoriza los latidos del corazón de un sujeto. También existen mecanismos portátiles, que comenzaron a usarse en deportistas dado que permiten cuantificar los intervalos R-R mientras la persona practica ejercicio físico. Además, se han desarrollado programas de software clínico científicamente validados (Tavainen, 2014) para el análisis de la VFC como el programa Kubios®, que es el utilizado en el presente TFG.



## 4. MATERIALES

### 4.1 SUJETOS DE ESTUDIO

Es de vital importancia conocer el marco característico en el que se ha desarrollado el presente trabajo para su adecuada interpretación. La Bandera de Operaciones Especiales de la Legión (BOEL) XIX es uno de los tres Grupos de Operaciones Especiales que conforma el Mando de Operaciones Especiales (MOE). Se trata de la unidad de élite del Ejercito y son varias las características que confluyen en los miembros que conforman esta unidad, popularmente conocidos como "guerrilleros".

Los miembros del MOE están entrenados para ofrecer capacidades bélicas altamente especializadas que están más allá de los medios de las fuerzas militares estándar. Para ello, deben superar con éxito el curso de Operaciones Especiales, se trata de un programa de entrenamiento extremadamente intenso y de alto riesgo, de nueve meses de duración y con un ratio de superación del curso muy bajo. Este programa de entrenamiento militar tiene como objetivo desarrollar la resistencia mental y física de los candidatos, así como adiestrarlos en un amplio abanico de competencias que van desde la realización de maniobras evasivas, hasta el sabotaje, pasando por habilidades específicas como el buceo, el movimiento en montaña, el paracaidismo o las técnicas de supervivencia.

Las misiones encomendadas al MOE no pueden ser realizadas por unidades convencionales, debido a que se ejecutan mediante procedimientos especiales con la finalidad de obtener objetivos de un altísimo valor estratégico. Características intrínsecas a estas misiones son: rapidez, sorpresa, violencia y precisión. Por todo lo mencionado anteriormente los sujetos que participan en este estudio son militares muy experimentados, con una gran resiliencia y acostumbrados a superar situaciones adversas.

En este trabajo han participado de manera voluntaria 11 sujetos sanos con una edad media de  $29,49 \pm 2,87$  años, un peso medio de  $84,40 \text{ kg} \pm 16,32 \text{ Kg}$  y una altura media  $179 \pm 8 \text{ cm}$ . El autor del presente trabajo obtuvo un consentimiento informado para la participación en el estudio de cada uno de ellos. Por cuestiones de confidencialidad y de protección de datos personales, en el presente trabajo los sujetos son identificados exclusivamente como participantes en cada ejercicio mediante las indicaciones S1 (sujeto número 1), S2 (sujeto número 2), y así sucesivamente.

Ninguno de los sujetos participantes en el presente estudio ingirió cafeína, alcohol, tabaco, fármacos o cualquier otra sustancia estimulante en el intervalo de las cuatro horas previas a la toma de datos programada durante los ejercicios en los que participaron.

### 4.2 DISPOSITIVOS

Tradicionalmente, el análisis de la VFC se realizaba sobre sujetos en reposo por medio de electrocardiogramas fijos en laboratorios, pero con la aparición y perfeccionamiento de los dispositivos inalámbricos nació la posibilidad de realizar estos registros de manera valida y fiable en situaciones de campo mientras el sujeto realiza cualquier actividad. (Tulppo et al., 1996)

En el presente estudio se ha utilizado la banda torácica Polar H7 (ver Figura 5), denominada vulgarmente "pulsómetro", que ha sido fabricada por la firma Polar®, cumpliendo con las Directivas 2014/53/ UE y 2011/65/UE, y ha sido validada recientemente para el análisis de la variabilidad de frecuencia cardiaca durante el ejercicio (Hernández Vicente et al., 2021).



*Figura 5 - Banda torácica Polar H7. Elaboración propia*

La banda torácica Polar H7 ha sido aplicada a los sujetos experimentales siguiendo de manera rigurosa las indicaciones proporcionadas por el fabricante en el Manual de Uso, que se puede consultar en:

[https://support.polar.com/e\\_manuals/H7\\_Heart\\_Rate\\_Sensor/Polar\\_H7\\_Heart\\_Rate\\_Sensor\\_and\\_accessory\\_manual\\_Espanol.pdf](https://support.polar.com/e_manuals/H7_Heart_Rate_Sensor/Polar_H7_Heart_Rate_Sensor_and_accessory_manual_Espanol.pdf)

#### 4.3 SOFTWARE

La banda Polar H7 es compatible con los Smartphone mediante Bluetooth® pero se requiere una aplicación separada para extraer los datos tomados por la banda Polar H7. En el presente estudio, el almacenamiento de la señal “intervalo RR” (tiempo transcurrido entre latido y latido) obtenida por el pulsómetro y posterior volcado informático de los datos se ha realizado a través de la aplicación Elite HRV®, que permite conectar el pulsómetro al Smartphone mediante tecnología Bluetooth. La aplicación Elite HRV® ha sido desarrollada por instituciones tan prestigiosas como Harvard Medical School, US Department of Veterans Affairs, Columbia University o Icahn Scholl of Medicine al Mount Sinai, entre otras muchas.

Esta aplicación registra en tiempo real las mediciones del pulsómetro y una vez almacenada la información electrocardiográfica, se exportan los datos al software Kubios®. Este software realiza automáticamente una selección de los intervalos RR normales, detectando y eliminando los errores de registro. A partir de estas mediciones Kubios calcula los diferentes parámetros de la VFC, en función del tiempo o de la frecuencia, tal como se explicará posteriormente en el punto 5. En la Figura 6 se puede ver gráficamente el software utilizado y su interconexión.



*Figura 6 - Esquema de interconexión del software y material empleado. Elaboración propia*



## 5. METODOLOGÍA

Una vez formuladas las cuatro hipótesis sometidas a contraste empírico en el presente TFG (ver punto 2) y definido el marco teórico del que se deducen dichas hipótesis (ver punto 3), es preciso definir la metodología a seguir para comprobar el cumplimiento de las hipótesis planteadas.

El presente TFG utiliza una metodología cuantitativa, siguiendo un enfoque objetivo basado en la toma de medidas desde el pulsómetro que porta cada sujeto hasta el software de procesamiento y análisis Kubios, pasando por el necesario volcado de datos a la aplicación Elite HRV.

Por su parte, los datos de los sujetos se toman durante una serie de ejercicios que han sido diseñados y preparados para simular condiciones de estrés de combate. La descripción exacta del diseño de cada ejercicio se trata en el punto 6.

Las hipótesis sometidas a contraste se traducen a situaciones de estrés de combate simulado, que se logran mediante la ejecución de ejercicios de instrucción militar, que constituyen un diseño descriptivo transversal, cuya unidad de análisis es una muestra no aleatoria elegida entre los miembros de la Bandera de Operaciones Especiales de la Legión (BOEL) XIX.

Por tanto, una etapa esencial en el desarrollo metodológico del presente TFG ha sido el diseño y preparación de los ejercicios, para lo cual ha habido que conjugar la disponibilidad de los sujetos participantes, de los dispositivos técnicos y de los recursos e instalaciones disponibles. En este contexto, la fase de preparación de los ejercicios ha resultado crítica para informar y sensibilizar a los participantes sobre las condiciones requeridas para el desarrollo de los ejercicios, desde su consentimiento expreso, hasta la abstinencia de consumir cualquier tipo de estimulante en las horas previas a los ejercicios, pasando por la instalación de la aplicación Elite HRV en el teléfono móvil de cada participante.

La ejecución de los ejercicios planteados ha servido para tomar los datos de campo, que, una vez procesados y analizados, han servido para someter a contraste empírico las cuatro hipótesis asumidas en el punto 2, que aluden, respectivamente, al rendimiento superior de las unidades de operaciones especiales en la fase gris (por encima de las 145 b.p.m.), a la activación del SNS a causa de estrés psicológico inducido, a la utilidad de la instrucción militar mediante inoculación psicológica de estrés y a la utilidad de la respiración táctica para mejorar el rendimiento en situaciones de estrés de combate.

A continuación, se presentan los diferentes parámetros utilizados en la interpretación de los datos obtenidos a lo largo del presente TFG. Todos ellos dimanan de la medida de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca y de su análisis y transformación matemática. Hay que recordar que la frecuencia cardíaca varía a lo largo del tiempo, pero también varía latido a latido con pequeñas variaciones alrededor de la media. Estas variaciones a muy corto plazo de la frecuencia cardíaca se conocen como VFC, y su análisis es el método no invasivo más apropiado para la evaluación de la respuesta del SNA.

Los enfoques más extendidos para el análisis e interpretación de los datos de VFC son los basados en los dominios del tiempo y la frecuencia. Todos ellos tienen sus propias particularidades, y resultan más apropiados para determinados escenarios. A continuación, se ofrece una breve descripción de estos parámetros, que son los proporcionados por el software Kubios.



## 5.1 PARÁMETROS FRECUENCIALES

La medida del espectro de frecuencias de la VFC se obtiene a partir de una transformación matemática ideada por el matemático francés Joseph Fourier (1768-1830), que es ampliamente utilizada en ingeniería, medicina o telecomunicaciones (Gasquet y Witomski, 1999). La Transformada de Fourier es una transformación matemática ampliamente utilizada a la hora de convertir señales entre el dominio tiempo (o espacio) y el dominio frecuencia, y viceversa. Por tanto, permite transformar una función determinada con unos valores originales en el vector tiempo (por ejemplo, la potencia de una señal), en otra función matemática diferente (transformada), que informa de cómo se distribuye la función original en función de su frecuencia. Tal como estableció Fourier: “*Toda señal periódica, sin importar cuan complicada parezca, puede ser reconstruida a partir de sinusoides cuyas frecuencias son múltiplos enteros de una frecuencia fundamental. Eligiendo las amplitudes y fases adecuadas*”.

La mencionada aplicación matemática permite descomponer la energía (potencia expresada en ms<sup>2</sup>) de la señal RR en diferentes componentes frecuenciales. Como consecuencia, se analizan dos bandas principales de frecuencia: la banda de baja frecuencia (LF) que abarca de 0,04 a 0,15 Hz, y la banda de alta frecuencia (HF) que se extiende de 0,15 a 0,4 Hz. (Malliani, 1999)

La interpretación fisiológica de los parámetros del análisis frecuencial es distinta para cada banda. La señal de variabilidad cardíaca procesada a altas frecuencias (HF) se relaciona con la actividad parasimpática, mientras que con el procesado a bajas frecuencias (LF) obtenemos datos tanto de la actividad simpática como parasimpática. (Task force of the European society of cardiology, 1996)

Para este trabajo se ha seleccionado la potencia relativa en alta frecuencia (PHF%, véase ecuación 1), expresada en %, como indicador de la activación parasimpática y la potencia normalizada a baja frecuencia (PLFn, véase ecuación 2), expresada en unidades normalizadas (n.u.), como indicador fiable de la actividad simpática. Ambos indicadores están respaldados por una amplia literatura científica (Pagani et al., 1997), (Furlan et al., 2000).

$$PHF\% = \frac{PHF}{PHF + PLF} \times 100$$

*Ecuación 1 - Formula para el cálculo de la potencia relativa en alta frecuencia*

$$PLFn = \frac{PLF}{PHF + PLF}$$

*Ecuación 2 - Formula para el calculo de la potencia normalizada a baja frecuencia*

## 5.2 PARÁMETROS TEMPORALES

Las variables del dominio del tiempo son los parámetros estadísticos extraídos de la medición de tiempo entre latido y latido, es decir, de la medición del intervalo RR. Entre estos parámetros los más utilizados y los que más información nos pueden aportar, y por tanto los que se han seleccionado para este estudio, son los tres siguientes: (Quigley y Yamamoto, 2004)



- La media de la frecuencia cardíaca medida en latidos por minuto (b.p.m.).
- La desviación estándar de todos los intervalos RR medida en milisegundos (SDNN).

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (RR_n - \bar{RR})^2}$$

- La raíz cuadrada de la media de las diferencias sucesivas entre intervalos RR adyacentes medida en segundos (RMSSD).

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} (RR_{n+1} - RR_n)^2}$$

En cuanto a la interpretación fisiológica de cada uno de los parámetros temporales, tenemos que: (Rodas et al., 2008)

- Una FC media elevada está relacionada con la actividad del SNS.
- El SDNN está relacionado con la actividad global de la VFC, es decir, se compone de partes del sistema nervioso simpático y parasimpático.
- El RMSSD está asociado a la rama parasimpática.

Sin embargo, los parámetros obtenidos en el dominio del tiempo se ven influenciados de manera directa por la bradicardia (frecuencia cardíaca inferior a la normal por afectación del nodo sinusal o del nodo auricoventricular del corazón), la acción de algunas hormonas y por el efecto de la respiración, entre otros factores. Todo ello hace que estas medidas no sean específicamente válidas para calcular de manera concreta el equilibrio entre el SNP y el SNS. Los parámetros temporales son útiles para detectar anomalías de la actividad del SNA, pero no se pueden utilizar para cuantificar cambios específicos de la actividad del SNS y SNP. (Kleiger, Bosner y Rottmans, 1998). A tenor de lo anterior, en este trabajo los parámetros temporales no serán empleados para el análisis de las prácticas desarrolladas.

### 5.3 OTROS PARÁMETROS

El índice de estrés (SI) utilizado en este trabajo corresponde a la raíz cuadrada del Índice de estrés de Baevsky. Se toma la raíz cuadrada para transformar los valores hacia una distribución normal. Este índice de estrés se mide en  $s^{-2}$  y refleja el grado de control involuntario sobre la frecuencia cardíaca. En condiciones que requieren un alto grado de alerta, una respuesta rápida y un elevado nivel de estrés el hipotálamo regula el ritmo cardíaco haciéndolo más regular y el tiempo entre latidos se vuelve aproximadamente igual. Por tanto, cuanto más alto es este indicador, más fuerte es el nivel de estrés, mayor es la actividad simpática y menor la VFC. (Nersisson, 2019)

El índice de estrés se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$SI = \sqrt{\frac{AMo \times 100}{2Mo \times (Mx - Mn)}}$$



Donde:

- Mo (modo) se calcula como la media de todos los intervalos RR, se expresa en segundos.
- AMo (amplitud del modo) se expresa en porcentaje, se calcula como el número de intervalos RR en el periodo de 50 ms que contiene el Mo, expresado como porcentaje del número total de intervalos medidos.
- Mx - Mn (variabilidad) se calcula como la diferencia entre los valores del intervalo RR más largo (Mx) y el más corto (Mn), expresada en segundos. (Tolvainen et al., 2021)

Otro parámetro es el índice parasimpático (IP) que se obtiene de comparar los valores RMSSD del sujeto con el valor medio de este mismo parámetro según la revisión sistemática de Nunan et al. en 2010, que incluye datos de 21.438 adultos sanos en reposo. Un valor del IP de cero significa que los parámetros que reflejan la actividad parasimpática son, en promedio, iguales a la media de la población normal. En consecuencia, un valor positivo del IP indica cuántas desviaciones estándar están por encima de la media de la población normal, mientras que un valor negativo indica cuántas desviaciones estándar están por debajo de la media de la población normal. Durante el estrés o durante el ejercicio de alta intensidad se pueden esperar valores del índice parasimpático mucho más bajos. (Tolvainen et al., 2021)

La interpretación del índice simpático (IS) es similar a la del IP. Un valor del IS de cero significa que los parámetros que reflejan la actividad simpática son en promedio iguales a la media de la población normal. En consecuencia, un valor positivo del IS indica cuántas desviaciones estándar están por encima de la media de la población normal y un valor negativo indica cuántas desviaciones estándar están por debajo de la media de la población normal. Durante el estrés o el ejercicio de alta intensidad, el IS aumenta. (Tolvainen et al., 2021)



## 6. DESARROLLO

### 6.1 ENFRENTAMIENTO CON K9

#### 6.1.1 INTRODUCCIÓN

El MOE dispone de una unidad denominada “K9” compuesta de cuatro instructores y catorce perros. El objetivo de esta unidad canina es utilizar los perros como herramienta de ataque sorpresivo. Los perros son instruidos para diferenciar y atacar al sospechoso. Para ello, cuando el guía da la orden de atacar, el perro se lanza a morder incesantemente hasta que el guía de la orden de soltar la presa.

Estos perros son seleccionados fundamentalmente por su carga genética. Mediante un estudio del pedigrí, en lo que respecta esencialmente al carácter y temperamento de sus progenitores, se selecciona a aquellos perros con predisposición agresiva y con una fisiología mandibular correcta. Actualmente, la totalidad de los perros son de la raza pastor belga malinois, que es una variedad de la raza canina de pastor belga, que se caracteriza por sus aptitudes como perro guardián y de defensa, gracias a su carácter marcadamente tenaz y protector y a su elevado instinto de presa. El pastor belga malinois es, ante todo, una raza de trabajo, cuya selección y crianza está más orientada a la utilidad de sus servicios, que a la apariencia física o a los estándares de belleza canina.

Para entrenar a los perros se utilizan figurantes que, portando trajes de protección, simulan el papel de enemigo para que los perros los identifiquen y ataquen. Estos trajes se clasifican en función de la protección que otorgan, y por tanto de la sensación de dolor que sufre el figurante. De mayor a menor protección se utilizan los siguientes trajes: entrenamiento (de alta protección), semi-entrenamiento (protección media) y decondicionamiento (protección ligera).

Al objeto de favorecer al máximo el realismo del ejercicio, se optó por dotar a los figurantes de trajes de tipo decondicionamiento, puesto que son los que menor protección proporcionan y, por tanto, mayor sensación de ataque real transmiten. El realismo se hace patente tanto en el figurante, que padece el dolor en propia carne de la mordida, como en el propio perro, que nota como hace presa real en la estructura ósea y muscular del figurante.

Entre las muchas formas posibles de inocular estrés, la experiencia de estar sometido a la furia irracional de un perro K9 es una de las más eficaces (Grossman, 2007). No en vano, cuando el estrés es inoculado por un entrenador o instructor, el alumno parte del convencimiento de que el ejercicio siempre se va a interrumpir ante cualquier riesgo serio para su integridad. Sin embargo, un perro K9 no dispone de ese mecanismo de “contención” y aplicará su máxima potencia en reducir al figurante desde el primer instante, sin importarle las consecuencias que se deriven para él o para el figurante.

Gavin de Becker and Associates es una empresa estadounidense fundada en 1978 y especialista en proporcionar seguridad y escolta a figuras públicas, autoridades gubernamentales, grandes corporaciones y clientes privados. Entre sus principales clientes se cuentan varias de las más importantes agencias y entes gubernamentales de los Estados Unidos, como la Central Intelligence Agency (CIA) o el Department of Justice. Esta compañía se encuentra entre las pioneras en adoptar para sus guardaespaldas el método de entrenamiento con inoculación de estrés mediante enfrentamientos con perros K9. Se trata de un ejercicio obligatorio para todo el personal operativo, que recibe la denominación de “inoculación contra el miedo”. (de Becker, 2021)



En lo que se refiere al ámbito estricto del presente TFG, se decidió diseñar y aplicar este ejercicio de enfrentamiento con K9 con el objetivo de demostrar que la activación del SNS provoca un aumento de la FC, sin inferencia del esfuerzo físico, ya que el figurante representa un papel “pasivo” con una exigencia física mínima.

### 6.1.2 DESARROLLO DEL ENFRENTAMIENTO CON K9

Para esta práctica se seleccionó a cuatro operadores muy experimentados del equipo de “manualistas” (equipo especializado en la infiltración nocturna mediante paracaidismo de alta cota) de la Bandera de Operaciones Especiales de la Legión. Se les colocó un pulsómetro H7 Polar a cada uno de los cuatro participantes con una edad media de  $31,24 \pm 2,9$  años, peso medio de  $88 \pm 9,27$  Kg y una altura media de  $184 \pm 9$  cm. Los pulsómetros fueron conectados mediante Bluetooth a un smartphone con la aplicación Elite HRV, que registró una grabación continua del intervalo RR de cada sujeto durante la totalidad de la práctica realizada. Como se ha mencionado anteriormente, a los participantes se les dotó de un traje decondicionante que proporciona el menor grado de protección de todos los modelos de trajes disponibles (ver Figura 7).



*Figura 7 - Instante de mordida durante desarrollo del ejercicio “enfrentamiento con K9”. Elaboración propia*

El ejercicio se desarrolló en una zona apartada y muy poco transitada dentro del acuartelamiento del MOE, de forma que se evitaran cualquier tipo de distracciones a los animales y a los figurantes, y que favoreciera que el perro focalizara su atención en la persona que había de ser objeto de ataque.

Tal como se diseñó el ejercicio, el figurante esperaba equipado con el traje decondicionante detrás de una esquina formada por dos paredes. Desde allí podía escuchar la agitación y los ladridos del perro, pero no podía ver al animal ni a su instructor, aunque intuía que se aproximaban ocultos al otro lado de la esquina, puesto que los ladridos se podían escuchar cada vez más cercanos. Justo al doblar la esquina, a poco más de 7 metros de distancia del figurante, de repente se hacían visibles el perro y su instructor que mantenía al animal sujeto por el arnés reglamentario. Así se simulaba un momento de incertidumbre y de repentina sorpresa.

Nada más ver al figurante, el animal está entrenado para ponerse en actitud de vigilancia y esperar atento a las órdenes de su instructor. Tal como dicta el protocolo, primeramente el instructor se dirige verbalmente al figurante dándole instrucciones tajantes de echarse al suelo y



permanecer inmóvil. En este momento el animal muestra una extraordinaria excitación y claros signos de su instinto de ataque y presa, mostrando claramente sus dientes para amedrentar a su rival. No obstante, el animal permanece quieto y solo se abalanza sobre su presa cuando el instructor le da la orden, tras comprobar que el figurante no acata sus instrucciones.

Tal y como explicó el instructor jefe de la unidad K9 al autor de este TFG, los perros K9 están entrenados para hacer presa en el tronco superior del figurante, preferentemente en el torso y extremidades superiores. Estos perros se caracterizan por poseer una mandíbula muy robusta y una potente mordida, que puede alcanzar los 150 kilos de presión por centímetro cuadrado. La forma de morder es hacer primero presa sobre la estructura ósea y muscular del figurante, y después agitar su potente cuello a uno y otro lado para intentar desgarrar la zona de mordida. Si el perro siente que solo ha alcanzado una parte hueca del traje o que la zona mordida es superficial, intenta profundizar la mordida hasta que siente dentro de su boca una parte sólida del figurante en la que hacen mella la mayoría de sus dientes. Solo cuando el animal siente que la presa es sólida, comienza a intentar desgarrar la zona mordida. Este proceso se repite una y otra vez hasta que uno de los dos muere (perro o figurante), o hasta que el instructor le da la orden al perro de cesar en el ataque.

### 6.1.3 RESULTADOS

Los registros del intervalo RR de los cuatro sujetos (S1, S2, S3, S4) que participaron en el ejercicio fueron exportados a un ordenador con el software Kubios para su procesamiento y obtener los datos sobre los siguientes parámetros: índice simpático (IS) y frecuencia cardíaca máxima de cada sujeto.

- En la tabla 3 se muestra, para cada sujeto, la máxima FC alcanzada en 4 etapas: inicialmente el estado basal en reposo absoluto, posteriormente momento de espera previo a la aparición del perro, a continuación el perro y figurante establecen contacto visual directo mientras el perro se encuentra preparado para recibir la orden de ataque y finalmente el perro ataca al sujeto. Todos los datos son expresados en b.p.m.:

FC	BASAL	ESPERA INICIAL	VISIÓN DIRECTA	ATAQUE
S1	42	95	108	127
S2	49	76	105	124
S3	47	87	114	136
S4	51	83	111	125

Tabla 3 - Datos de FC máxima durante enfrentamiento con K9. Elaboración propia.

- En la tabla 4 se muestra, para cada sujeto, la activación del sistema nervioso simpático mediante el parámetro (ver punto 5.3) “Índice simpático” durante 4 etapas: inicialmente el estado basal en reposo absoluto, posteriormente momento de espera previo a la aparición del perro, a continuación, el perro y figurante establecen contacto visual directo mientras el perro se encuentra preparado para recibir la orden de ataque y finalmente el perro ataca. Recordemos que la unidad de medida del IS es el numero de desviaciones estándar que el sujeto difiere de la población normal en reposo. Significando que esta por encima de la media si el valor es positivo y por debajo si el valor es negativo.



IS	BASAL	ESPERA INICIAL	VISIÓN DIRECTA	ATAQUE
S1	-1,07	4,9	6,6	8,5
S2	-0,89	5,3	7,3	9,6
S3	-1,13	6,2	8,1	8,7
S4	-0,7	5,7	6,9	7,9

Tabla 4 - Datos del IS durante enfrentamiento con K9. Elaboración propia.

A tenor de los anteriores resultados se evidencia lo siguiente:

1. Analizando la tabla 3, donde se muestran las máximas FC en cada una de las etapas para cada sujeto. Observamos que en todos ellos se produce un aumento progresivo de la FC conforme el nivel de amenaza percibido es mayor.
2. Analizando la tabla 4, donde se muestran los datos relativos al IS en cada una de las etapas para cada sujeto, se observa un aumento progresivo de la activación del SNS conforme el nivel de amenaza percibido es mayor.

A tenor de todo lo anterior, podemos dar por demostrada la validez de la segunda hipótesis de este TFG: “El estrés psicológico, en ausencia de ejercicio físico, produce un aumento de la frecuencia cardíaca y de la activación del SNS”.

## 6.2 COMBATE EN POBLACIÓN CON MUNICIÓN FX

### 6.2.1 INTRODUCCIÓN

El combate en población es el escenario de guerra más extendido actualmente para las unidades de operaciones especiales. Se trata de un entorno extremadamente complejo, donde el enemigo posee la ventaja estratégica de conocer en detalle el entorno y la infinitud de recovecos donde esconderse para hacer una emboscada. Por otro lado, las fuerzas deben progresar por un ambiente desconocido y repleto de focos de amenaza desde los 360°.

El objetivo en combate en población es “limpiar” todas las construcciones y edificios, es decir, entrar en cada habitáculo y abatir todos los enemigos que haya en el interior. Por todo ello se trata de una las prácticas más complejas de realizar, donde cada miembro del equipo debe conocer exactamente su cometido en cada momento y el equipo en conjunto debe trabajar en perfecta sincronía. Los tres pilares fundamentales que garantizan el éxito en una misión de combate en población son: sorpresa, velocidad y violencia.

La munición FX, creada por la empresa General Dynamics – Ordnance and Tactical Systems, es un sistema de entrenamiento no letal que utiliza armas reales, dando solución a la necesidad de un entrenamiento que simule al máximo un entorno realista. Los cartuchos FX permiten, mediante la instalación de un kit en el arma, disparar proyectiles plásticos llenos de un compuesto colorante marcador, que deja un rastro visual en la zona de impacto. La finalidad de este tipo de municiones es dar el máximo realismo a los entrenamientos, dado que el impacto de los proyectiles plásticos en el cuerpo humano produce un golpe doloroso, además de la consiguiente marca visual en la zona impactada (Figura 8), permitiendo evaluar la precisión y la letalidad de los impactos al finalizar el entrenamiento militar.



*Figura 8 - Herida producida por impacto de munición FX en zona abdominal. Elaboración propia.*

Los estudios realizados por el BAHR Training Group, utilizando munición FX en escenarios urbanos de fuerza contra fuerza parecen indicar que cuando un policía medio experimenta un aumento de la FC inducido por la adrenalina hasta situarse por encima de la barrera de las 145 b.p.m. (directamente en la fase negra, según la Teoría de Fases), se produce un colapso de su rendimiento. Sin embargo, aquellos policías muy experimentados pertenecientes a los cuerpos de intervención especial, conocidos como “SWAT”, eran capaces de superar la barrera de la fase roja y desarrollar un nivel superior de rendimiento cercano a las 175 b.p.m. situándose en la fase gris. (Grossman y Christensen, 2007)

Con el objetivo de mejorar los actuales métodos de entrenamiento de combate en población, Clemente-Suárez (2015a) analizó los cambios fisiológicos en un combate urbano. Se centraron en los cambios en la excitación cortical, el lactato en sangre, la fuerza muscular y la activación del SNA. Sus resultados le llevaron a la conclusión de que el combate urbano produce una alta estimulación del sistema nervioso simpático.

#### 6.2.2 DESARROLLO DEL EJERCICIO CON MUNICIÓN FX

Para la realización de este ejercicio se recreó un escenario de confrontación fuerza contra fuerza, es decir, con presencia de personal haciendo el papel de enemigo que portaban igualmente armamento con munición de FX. Este personal enemigo se situó distribuido por las diferentes habitaciones y pasillos del edificio. El ejercicio se desarrolló en un edificio de tres plantas y un sótano situado dentro del polígono de entrenamiento de combate en población existente en el acuartelamiento del MOE. Además, se introdujo la presencia de varios “Sierra” (nombre con el que se conoce al personal no combatiente y desarmado que se encuentran en un escenario enemigo, que suelen ser mujeres, niños, ancianos y personal civil) lo que obligaba a identificar positivamente al enemigo antes de poder realizar fuego y, de este modo, evitar disparar a un “Sierra”.

El objetivo del equipo operativo que realiza la “limpieza” de todo el edificio es abatir a todos los enemigos presentes y liberar a el/los “Sierra” sin sufrir ninguna baja propia. Para dotar a la práctica del mayorrealismo posible, los sujetos portan el equipo de combate completo: fusil, pistola, cinturón porta equipo, chaleco balístico, casco y medios de visión nocturna (ver Figura 9). Además, si el equipo sufre alguna baja propia, en función del lugar del impacto del proyectil deberán emplear los diferentes procedimientos de Tactical Combat Casualty Care (tratamiento táctico de heridos en combate) para salvarle la vida y trasladarle a un lugar seguro.



*Figura 9 - Operadores realizando limpieza de una edificación. Elaboración propia.*

Para este ejercicio se seleccionó a los dieciocho operadores del equipo de “movilidad” (equipo muy experimentado, especializado en la infiltración con vehículos) de la Bandera de Operaciones Especiales de la Legión. De los dieciocho participantes, se colocó un pulsómetro H7 Polar a los seis operadores más expertos, con una edad media de  $28,9 \pm 3,2$  años, peso medio de  $83,5 \pm 15,1$  Kg y una altura media de  $179 \pm 8$  cm.

El autor del presente TFG se integró en el desarrollo del ejercicio con el objetivo de observar y anotar las características de la evolución del ejercicio. Esto le permitió establecer los límites temporales de los episodios de progresión y de enfrentamiento de cada sujeto mediante una grabación de video, que, para preservar la identidad de los sujetos y los métodos utilizados, posee carácter confidencial.

### 6.2.3 RESULTADOS

Los seis sujetos que participaron en el ejercicio de combate en población (S1, S2, S3, etc.) portaron la correspondiente banda Polar H7, cuyos registros fueron transmitidos mediante Bluetooth a la aplicación Elite HRV del Smartphone de cada sujeto. Posteriormente se exportaron los datos de cada Smartphone a un ordenador con el software Kubios para su procesamiento y obtener los datos sobre los siguientes parámetros: índice parasimpático (IP), índice simpático (IS), índice de estrés (SI), frecuencia cardíaca media y frecuencia cardíaca máxima de cada sujeto.

Para el análisis de los resultados se diferenció entre las medidas tomadas durante los episodios de enfrentamiento y los episodios de progresión durante el ejercicio de combate en población. Se consideró “episodio de enfrentamiento” (E1, E2, etc.) todo aquel lance que entrañaban presencia enemiga y, por tanto, la exposición real a los efectos de la munición FX por parte del enemigo (limpieza de habitáculos con presencia enemiga y tratamiento táctico de heridos bajo fuego enemigo). La duración media de todos los episodios de enfrentamiento fue de  $36'' \pm 9''$ . Por el contrario, se consideró “episodio de progresión” (P1, P2, etc.) todo el tiempo que mediaba entre episodios de enfrentamiento y que consistía en la exploración de espacios y en la progresión táctica a través del edificio. La duración media de todos los episodios de progresión fue  $227'' \pm 28''$ . Dado que hubo sujetos que participaron en más de cinco episodios de enfrentamiento, se contabilizaron únicamente sus cinco primeros enfrentamientos a fin de



contabilizar un número igual de enfrentamientos y progresiones para cada uno de los seis participantes. Así mismo, también se realizó una medición del estado basal de cada sujeto, medido en condiciones de reposo completo (relajado y tumbado en posición supina durante un periodo de cinco minutos) a primera hora de la mañana. Dicho nivel basal sirve como factor de comparación y contraste frente a los valores obtenidos posteriormente en condiciones de estrés.

A excepción de la FC, no se aportan los parámetros temporales y frecuenciales proporcionados por el software Kubios para cada sujeto y cada episodio del ejercicio, dado que no son relevantes para demostrar las dos hipótesis de partida de este ejercicio: que los miembros de las unidades de operaciones especiales son capaces de desarrollar un rendimiento superior a pesar de superar la barrera fisiológica de 145 b.p.m., y que la instrucción de combate mediante munición FX constituye una metodología útil para simular los niveles de activación del SNS propios del combate.

Los resultados arrojados en base a los datos generados por cada sujeto son los siguientes:

- En la tabla 5 se muestra la activación del sistema nervioso simpático de cada sujeto, tanto en estado basal, como en cada episodio de enfrentamiento, medida mediante el parámetro (ver punto 5.3) “Índice simpático”. Recordemos que la unidad de medida del IS es el numero de desviaciones estándar que el sujeto difiere de la población normal en reposo. Significando que esta por encima de la media si el valor es positivo y por debajo si el valor es negativo.

ÍNDICE SIMPÁTICO	BASAL	E1	E2	E3	E4	E5
S1	-1,52	8,14	8,56	11,13	12,35	10,05
S2	-1,15	15,08	15,95	10,19	14,50	13,93
S3	-0,96	15,17	18,15	20,58	9,72	15,07
S4	-1,04	10,58	11,74	11,49	11,39	13,77
S5	-0,93	6,91	8,23	11,52	13,39	9,71
S6	-1,07	8,44	8,71	10,14	20,53	10,84
MEDIA IS	-1,11	10,72	11,89	12,51	13,65	12,23
D.EST IS	0,21	3,61	4,25	4,00	3,75	2,30

Tabla 5 - Datos del IS durante ejercicio de combate en población. Elaboración propia.

- En la tabla 6 se muestra el estrés de cada sujeto, tanto en estado basal, como en cada episodio de enfrentamiento, medida mediante el parámetro (ver punto 5.3) “índice de estrés”:

ÍNDICE DE ESTRÉS	BASAL	E1	E2	E3	E4	E5
S1	9,10	30,60	34,40	39,80	40,20	36,20
S2	7,20	61,60	56,90	44,00	55,10	54,40
S3	6,50	56,20	66,60	81,80	34,10	54,20
S4	8,70	37,20	44,70	37,60	42,50	50,50
S5	6,80	28,70	32,30	38,70	52,30	44,30
S6	11,80	33,10	31,80	40,80	80,80	42,60
MEDIA SI	8,35	41,23	44,45	47,12	50,83	47,03
D.EST SI	1,99	14,08	14,52	17,13	16,62	7,24

Tabla 6 - Datos del SI durante ejercicio de combate en población. Elaboración propia.



- En la tabla 7 se recoge la frecuencia cardíaca media de cada sujeto durante cada episodio de progresión, expresada en b.p.m.:

FC MEDIA	P1	P2	P3	P4	P5
S1	<b>126</b>	<b>123</b>	<b>138</b>	<b>150</b>	<b>134</b>
S2	<b>138</b>	<b>154</b>	<b>123</b>	<b>143</b>	<b>140</b>
S3	<b>148</b>	<b>158</b>	<b>153</b>	<b>135</b>	<b>151</b>
S4	<b>138</b>	<b>136</b>	<b>146</b>	<b>136</b>	<b>145</b>
S5	<b>117</b>	<b>124</b>	<b>144</b>	<b>138</b>	<b>119</b>
S6	<b>124</b>	<b>129</b>	<b>128</b>	<b>155</b>	<b>131</b>
MEDIA FC MEDIA	<b>131,83</b>	<b>137,33</b>	<b>138,67</b>	<b>142,83</b>	<b>136,53</b>
D.EST FC MEDIA	<b>11,43</b>	<b>15,23</b>	<b>11,38</b>	<b>8,13</b>	<b>11,20</b>

Tabla 7 - Datos de la FC media en combate en población. Elaboración propia.

- En la tabla 8 se recoge la frecuencia cardíaca máxima de cada sujeto en cada episodio de enfrentamiento, expresada en b.p.m.:

FC MÁXIMA	E1	E2	E3	E4	E5
S1	<b>158</b>	<b>156</b>	<b>164</b>	<b>174</b>	<b>164</b>
S2	<b>166</b>	<b>173</b>	<b>159</b>	<b>165</b>	<b>166</b>
S3	<b>176</b>	<b>181</b>	<b>174</b>	<b>168</b>	<b>178</b>
S4	<b>173</b>	<b>160</b>	<b>171</b>	<b>168</b>	<b>174</b>
S5	<b>157</b>	<b>162</b>	<b>174</b>	<b>172</b>	<b>156</b>
S6	<b>169</b>	<b>174</b>	<b>164</b>	<b>182</b>	<b>165</b>
MEDIA FC MÁXIMA	<b>166,50</b>	<b>167,67</b>	<b>167,67</b>	<b>171,50</b>	<b>167,17</b>
D.EST FC MÁXIMA	<b>7,77</b>	<b>9,73</b>	<b>6,22</b>	<b>6,06</b>	<b>7,81</b>

Tabla 8 - Datos de la FC máxima en combate en población. Elaboración propia.

- En la tabla 9 se recoge, para cada sujeto, la frecuencia cardíaca media correspondiente al momento previo al inicio del ejercicio, al momento de entrada en la edificación y al momento justo posterior a la finalización del ejercicio, expresada en b.p.m.:

FC MEDIA	INICIO	ENTRADA	FINAL
S1	96	132	<b>107</b>
S2	102	121	<b>104</b>
S3	94	127	<b>98</b>
S4	107	134	<b>112</b>
S5	89	118	<b>93</b>
S6	111	126	<b>105</b>
MEDIA	99,83	126,33	103,17
D.EST	8,33	6,15	6,74

Tabla 9 - Datos la FC media previa y posterior al combate en población. Elaboración propia.

A tenor de los anteriores resultados se evidencia lo siguiente:

1. Analizando las tablas 5 y 6, donde se muestran, respectivamente, los datos relativos al índice simpático (IS) e índice de estrés de cada sujeto en cada episodio de enfrentamiento, puede calcularse la relación existente entre los treinta pares de datos de ambas variables mediante el índice de correlación de Pearson. Este cálculo arroja un coeficiente de correlación de 0,971, lo que viene a mostrar una fuerte relación de proporcionalidad directa entre ambas variables. A continuación, en la tabla 10 se



muestra el gráfico de dispersión obtenido con la correspondiente recta de regresión lineal.

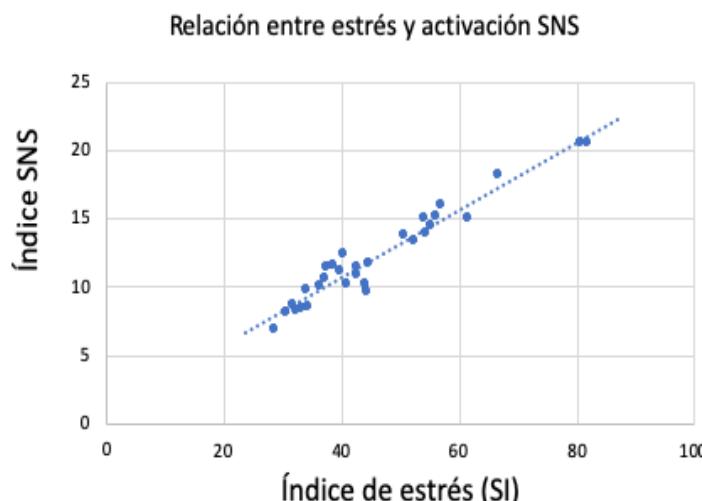


Tabla 10 – Relación entre el IS y el SI. Elaboración propia.

Así mismo, los valores del índice de Baevski entre 50 y 150 son considerados normales. Por tanto, dado que el SI es la raíz cuadrada del índice de Baevski, los valores del SI superiores a 12,24 indican presencia de estrés en el sujeto. (Johnstone, Reina y Lill, 2012). Ello evidencia que el uso de la munición FX ha conseguido inocular estrés “psicológico” en los participantes y, por tanto, simular con bastante grado de realismo una experiencia real de combate. Este fenómeno observado viene a confirmar la validez de la tercera hipótesis planteada en los objetivos de este TFG: “La instrucción de combate mediante inoculación psicológica de estrés constituye una metodología útil para simular los niveles de activación del SNS propios del combate”.

Resulta muy importante diferenciar claramente aquí el estrés inducido por el esfuerzo físico del estrés inducido psicológicamente. El ejercicio planteado de combate en población entraña un esfuerzo físico despreciable, dado que el ritmo de progresión era lento, ya que se primaba la meticulosidad en el cumplimiento de la misión, que, por otra parte, no tenía fijado un límite de tiempo para su ejecución. Por tanto, cualquier conclusión que se extraiga de este ejercicio debe referirse exclusivamente a los efectos del estrés inducido psicológicamente.

2. Analizando el espectro de FC de cada uno de los seis sujetos durante los episodios de progresión y enfrentamiento (Tabla 7 y 8), se han identificado tres niveles de alerta, que se corresponden con la Teoría de Fases enunciada en el punto 3.3 de este trabajo. En la figura 10 se muestra el perfil completo de FC, obtenido mediante el software Kubios, de uno de los sujetos a título de ejemplo.

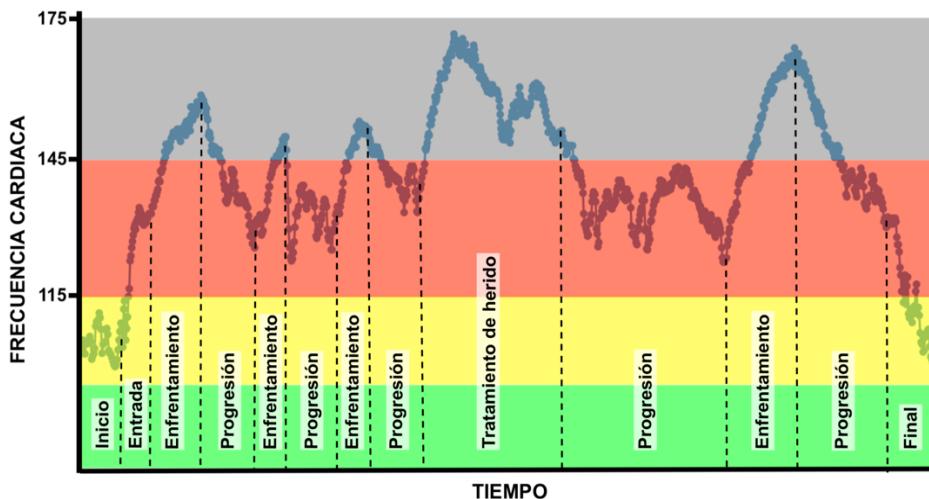


Figura 10 - Espectro de FC y nivel de alerta durante el ejercicio de combate en población. Elaboración propia.

3. Analizando el espectro de FC de cada uno de los seis sujetos durante el desarrollo completo del ejercicio (Tabla 7, 8 y 9) y relacionando su fluctuación con el cometido realizado durante el ejercicio, se ha constatado que el comportamiento de los sujetos se corresponde con lo vaticinado por la Teoría de Fases enunciada en el punto 3.3 de este trabajo, pudiendo extraer las siguientes conclusiones:
  - Fase amarilla (<115 b.p.m.): Efectivamente los seis sujetos se encontraban en esta fase en los momentos previos y posteriores a la realización de la práctica (Tabla 9). Los sujetos se encontraban en un ambiente distendido junto al resto de compañeros.
  - Fase roja (115-145 b.p.m.): Los seis sujetos alcanzaron esta fase en el instante de entrar al edificio (Tabla 9). A partir de este momento los sujetos se mantienen en este nivel de alerta, controlando su entorno y todos los posibles focos de amenaza. Se encuentran preparados para disparar en cualquier momento a la vez de que son conscientes del riesgo de que les disparen. En general, los seis sujetos se mantienen en esta fase roja durante los episodios de progresión (Tabla 7), si bien se constata que en algún caso determinado algún sujeto llega a superar ligeramente las 145 b.p.m. No obstante, si se analizan las medias aritméticas de las FC de los sujetos con motivo de cada episodio de progresión, todas ellas se encuentran dentro de la franja de pulsaciones delimitada por la fase roja
  - Fase gris (145-175 b.p.m.): Los seis sujetos entran en esta fase cada vez que se produce un enfrentamiento contra el enemigo, alcanzando los picos máximos de FC que se muestran en la tabla 8. A pesar de romper la barrera fisiológica de las 145 b.p.m. los seis sujetos son capaces de rendir a su máximo nivel, sin experimentar limitaciones en la motricidad o la capacidad de reacción. También los sujetos alcanzaban esta fase cuando sufrían la baja de un compañero y debían aplicar los procedimientos de Tactical Combat Casualty Care, mientras efectuaban fuego de supresión para proteger al herido. Cabe destacar, que se observan algunas excepciones de sujetos que superan ligeramente las 175 b.p.m., sin



embargo, las medias aritméticas se encuentran todas ellas dentro de la franja de pulsaciones delimitada por la fase gris.

A tenor de todo lo anterior, en virtud de los resultados obtenidos podemos dar por demostrada la validez de la primera hipótesis de este TFG: “Los miembros de las unidades de operaciones especiales son capaces de desarrollar un rendimiento superior en la ejecución de la misión encomendada a pesar de superar la barrera fisiológica de 145 pulsaciones por minuto”.

## 6.3 EJERCICIO DE TIRO CON INOCULACIÓN DE ESTRÉS

### 6.3.1 INTRODUCCIÓN

A los efectos del presente estudio, el autor del presente TFG contó con la colaboración del Suboficial responsable de la instrucción de tiro para el diseño de la práctica. Se ha realizado una batería de cinco ejercicios con arma larga con inoculación de estrés, que se realizan secuencialmente. En cada uno de ellos el instructor trata de aumentar el nivel de estrés del tirador utilizando diferentes factores externos que son explicados a continuación. Todos los ejercicios son realizados portando el equipo completo de combate, incluyendo chaleco con placas balísticas y cinturón primera línea con pistola. El armamento utilizado es el fusil de asalto HK G36-C (ver figura 11), utilizando como elementos de puntería un magnificador, un visor aimpoint, un designador laser IR y una linterna IR.



Figura 11 - Fusil HK G36-C utilizado durante el ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia

El primer ejercicio trata de inocular el estrés mediante el empleo de posiciones forzadas e incomodas durante el tiro. Para forzar las posiciones de tiro se ha empleado un parapeto “Nine Hole Barricade” (ver figura 12) que consiste en una pantalla o barricada con nueve agujeros por donde apuntar y disparar patentado por la marca Viking Tactics®. Dicho parapeto obliga al tirador a tener que cambiar de posición de tiro en cada disparo desde cada uno de los nueve agujeros.



Figura 12 – Parapeto “Nine Hole Barricade”. Fuente: Web de Viking Tactics

La disposición de los orificios de tiro ha sido diseñada para que el tirador se emplee a fondo en la toma de miras, los agujeros diagonales estrechos obligan a cantear el arma para poder mantener la unión entre la línea de visión y la trayectoria del proyectil. La baja altura de los agujeros inferiores no deja espacio para el cargador y el tirador debe rotar su arma 90°. Los agujeros situados en el lateral obligan a cambiar la cantonera de hombro para que el cuerpo del tirador permanezca detrás del parapeto. Los orificios practicados cerca de los límites superiores obligan a “reducir silueta” (disminuir al máximo las partes del cuerpo que quedan expuestas al fuego enemigo) para que la totalidad del cuerpo permanezca cubierto detrás de la barricada. Además, el pequeño tamaño de estos agujeros y la distancia existente entre el paralelo de la línea de visión y la trayectoria del fusil, obligan a cerciorarse constantemente de que tanto los elementos de puntería como el ánima del cañón se encuentran dentro del orificio de disparo. En alguno de estos agujeros convergen algunas de estas características y es necesario que el tirador aplique varias de estas técnicas de manera simultánea.

El segundo ejercicio se desarrolla también empleando el parapeto “Nine Hole Barricade” y añadiendo el tiempo como factor estresante. El tirador debe realizar el ejercicio en el menor tiempo posible manteniendo la eficacia de los disparos. Este condicionante genera estrés al intentar buscar la perfección en cada movimiento para realizarlo eficazmente, tratando de batir el tiempo personal a la vez que se compite contra el resto de tiradores.

En el tercer ejercicio de tiro se sigue utilizando el parapeto “Nine Hole Barricade” y se introduce como factor estresante adicional el uso de un dispositivo TASER (ver Figura 13) cuya corriente de 7500 Voltios genera un arco voltaico entre dos bornes metálicos. Estos dispositivos son utilizados en defensa personal por sus dos efectos amenazantes: el voltaje del arco eléctrico genera un intenso ruido que advierte al adversario y en caso de contacto directo la descarga produce dolor agudo. Este dolor se puede asemejar al dolor puntual de recibir un disparo enemigo en una extremidad. En el ejercicio se introduce un factor de presión sobre el tirador cuando el instructor provoca una descarga eléctrica en caso de cometer el error de dejar sin cubrir una parte de su cuerpo tras el parapeto.



*Figura 13 - Dispositivo TASER creando un arco eléctrico entre los dos electrodos.*

En el cuarto ejercicio el factor estresante es el aislamiento sensorial mediante el empleo de una capucha opaca que cubre la totalidad de la cabeza e impide completamente la vista hacia el exterior. El sujeto es trasladado en condiciones de desorientación y aislamiento visual a un campo de tiro contiguo, obligándole a esforzarse a fondo por analizar el resto de estímulos sensoriales que le llegan, así como realizar un seguimiento de su posición a lo largo del recorrido a pie. La incertidumbre de lo que ocurrirá o a donde se dirige obliga al sujeto a mantenerse en alerta. Adicionalmente, en cuanto llega al campo de tiro contiguo se le somete a una situación de sorpresa. Cuando se le retira la capucha repentinamente el tirador percibe la presencia de un “Red Man” (terminología empleada para un enemigo desarmado que ejerce la violencia mediante el contacto físico). El tirador debe recurrir al combate cuerpo a cuerpo y a la defensa personal para garantizar su integridad física y reducir la amenaza.

El siguiente factor estresante es la presencia de personal civil en un enfrentamiento mediante el empleo de diferentes siluetas. El tirador debe reconocer inmediatamente la presencia de enemigos y diferenciarla del personal civil que se encuentra próximo. La presencia combatientes y civiles en un mismo habitáculo obliga al tirador a realizar un tiro preciso y buscar la trayectoria del proyectil correcta en un escenario de tres dimensiones.

### 6.3.2 DESARROLLO DE LOS EJERCICIOS CON INOCULACIÓN DE ESTRÉS

A continuación, se detalla la ejecución de la secuencia de ejercicios realizada para el análisis de los niveles de estrés. Para esta práctica se seleccionó a cinco operadores muy experimentados del equipo de “manualistas” (equipo especializado en la infiltración nocturna mediante paracaidismo de alta cota) de la Bandera de Operaciones Especiales de la Legión. Se ha colocado un pulsómetro H7 Polar a un total de cinco participantes con una edad media de  $28,8 \pm 2,9$  años, peso medio de  $82,6 \pm 14,27$  Kg y una altura media de  $175 \pm 7$  cm. Los pulsómetros fueron conectados mediante Bluetooth a un smartphone con la aplicación Elite HRV, que registró una grabación continua del intervalo RR de cada sujeto durante la totalidad de la práctica realizada.

Para la realización del primer ejercicio (E1) el tirador debe adoptar la posición high-ready y al escuchar la señal sonora producida por el timer (aparato electrónico que registra el tiempo total empleado en completar los nueve disparos y el tiempo entre disparo y disparo) deberá realizar, sin límite de tiempo, un disparo desde cada uno de los agujeros de la Nine Hole Barricade. Se emplea como blanco una chapa de acero de 25x25cm situada a 33 metros que, a través del sonido del impacto, permite conocer instantáneamente si el disparo ha sido certero. El ejercicio finaliza cuando se han realizado los nueve disparos.

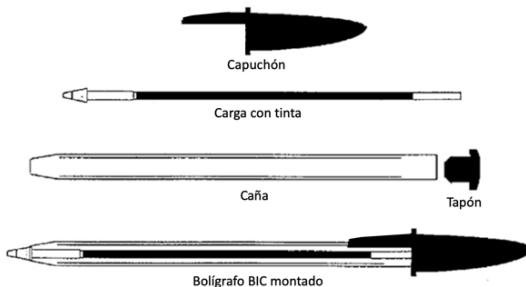


La ejecución del segundo ejercicio (E2) es idéntica al primer ejercicio, pero el tirador debe ejecutar el ejercicio en el menor tiempo posible correctamente. Lo que exigió a los sujetos una concentración absoluta, que se vio reflejado en un tiempo medio de ejecución del ejercicio de 47", que resulta 17" inferior al tiempo medio empleado en el ejercicio anterior.

En el tercer ejercicio (E3) el tirador debe tratar igualar el mismo tiempo que el realizado en el anterior ejercicio. Durante su ejecución el instructor de tiro utilizará el dispositivo láser, acercando al oído del tirador el aparato a modo de advertencia para que perciba el ruido intenso que produce, y dando descargas eléctricas en la parte del cuerpo que el tirador deje sin cubrir detrás del parapeto.

Al finalizar el tercer ejercicio, se coloca la capucha opaca sobre la cabeza del tirador que es conducido a pie a un campo de tiro contiguo distante 50 metros aproximadamente, donde hay colocados un blanco metálico y cuatro cartulinas de colores colocadas sobre diferentes siluetas. Allí comienza el cuarto ejercicio (E4), el tirador se sitúa a 35m de espaldas a la línea de tiro y al quitarle la capucha identifica la presencia de un "red man" que se aproxima rápidamente, la sorpresa de entablar un combate cuerpo a cuerpo genera una descarga de adrenalina que hace aumentar su FC. Tras siete segundos de enfrentamiento el "red man" se rinde y el tirador debe darse la vuelta para hacer fuego continuo sobre un blanco metálico. Mientras efectúa los disparos, el tirador escucha una secuencia de colores que le es transmitida a viva voz, para proceder, a continuación, a abatir las siluetas colocadas bajo las cartulinas de colores siguiendo el orden indicado.

Al finalizar el cuarto ejercicio, se vuelve a colocar la capucha sobre la cabeza del tirador que es conducido a pie a otro campo de tiro contiguo, donde da comienzo el quinto y último ejercicio (E5), distante unos 40 metros del anterior, donde hay colocados varias siluetas representando a personajes civiles y una silueta de un personaje enemigo. Las citadas siluetas conforman un escenario en tres dimensiones. El tirador se sitúa de espaldas a las siluetas y cuando se le despoja de la capucha el tirador debe realizar un sprint de veinte metros hacia una mesa donde se encuentra un bolígrafo de la conocida marca BIC® desmontado en sus piezas separadas (ver Figura 14).



*Figura 14 - Despiece del bolígrafo BIC. Elaboración propia*

El tirador debe utilizar su capacidad de motricidad fina para encajar la carga con tinta en el interior de la caña, colocar el tapón de la caña y, por último, el capuchón sobre el tapón para lograr montar el bolígrafo BIC en condiciones de escritura. Posteriormente se le ordena al tirador que escriba los números de su Tarjeta de Identificación Militar (TIM) y los sume entre ellos, anotando el resultado obtenido. Mientras realiza la operación de suma, el instructor ejerce presión psicológica indicándole que debe neutralizar lo más rápido posible al enemigo que se esconde tras los rehenes civiles. Por tanto, al finalizar la operación matemática, el tirador debe darse la vuelta para ponerse frente a las siluetas e identificar inmediatamente al enemigo. Dado que se trata de un escenario en tres dimensiones, el tirador debe desplazarse lateralmente para



tener una visual clara sobre la silueta enemiga y disparar sobre ella de modo que la trayectoria del proyectil no alcanza a ninguna otra de las siluetas que simulan a los rehenes civiles.

Al objeto de analizar el efecto de la respiración táctica sobre el rendimiento del combatiente, a dos de los cinco sujetos (S2 y S3) se les dio la instrucción de, antes de proceder a efectuar la secuencia de disparos en cada ejercicio, realizar tres exhalaciones e inhalaciones rápidas y completas, lo que les iba a ocupar unos cuatro segundos como máximo. De este modo, se pretendía comprobar si la respiración táctica resulta una técnica efectiva para disminuir los niveles de estrés fisiológico y, por consiguiente, lograba mejorar el rendimiento del combatiente, entendiendo como “rendimiento” el porcentaje de disparos que alcanzan su objetivo sobre el total de disparos efectuados.

En el Anexo A “Fichas de tiro” se puede consultar en detalle las condiciones de realización de los ejercicios de tiro, recogidas en las correspondientes fichas elaboradas conforme al formato normalizado en el Mando de Operaciones Especiales. Dada la complejidad de las situaciones planteadas, el objetivo de estas fichas, elaboradas por el autor del presente TFG, es aportar al lector interesado detalles suplementarios sobre los diferentes ejercicios que se realizaron y los objetivos a alcanzar en cada uno de ellos.

### 6.3.3 RESULTADOS

Recordando que en este ejercicio de tiro con inoculación de estrés participaron cinco sujetos (S1, S2, S3, S4 y S5) y que, a su vez, el ejercicio constaba de una batería de cinco ejercicios secuenciales (E1, E2, E3, E4 y E5), los resultados arrojados por el software Kubios en base a los datos generados por cada sujeto en cada ejercicio son los siguientes:

- En la tabla 11 se muestra la activación del sistema nervioso parasimpático de cada sujeto en cada enfrentamiento, medida mediante el parámetro (ver punto 5.1) Potencia Relativa en Alta Frecuencia (PHF%), expresado en tanto por ciento:

PHF%	Basal	E1	E2	E3	E4	E5
S1	34,2	16,5	13,3	6,5	11,9	4,6
S2	40,2	25,2	21,8	22,8	17,9	11,1
S3	35,7	33,8	32,0	22,0	4,0	7,2
S4	31,2	14,9	8,3	7,0	5,2	2,5
S5	37,2	20,8	17,4	14,2	7,1	6,5
MEDIA	35,7	22,2	18,6	14,5	9,2	6,4
D.EST	3,4	7,6	9,0	7,9	5,7	3,2

Tabla 11 - Datos de PHF% en el ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia.

- La tabla 12 recoge los datos de activación del sistema nervioso simpático de cada sujeto en cada enfrentamiento, medida mediante el parámetro (ver punto 5.1) Potencia Normalizada a Baja Frecuencia (PLFn), expresado en unidades normalizadas:



PLFn	Basal	E1	E2	E3	E4	E5
S1	63,6	71,0	79,3	81,6	83,5	94,3
S2	52,1	62,7	67,7	69,9	70,6	81,4
S3	53,3	71,5	74,2	76,5	77,4	89,5
S4	57,1	64,9	74,6	77,9	81,6	93,4
S5	61,2	64,5	80,1	76,8	80,2	88,5
MEDIA	57,5	66,9	75,2	76,5	78,7	89,4
D.EST	5,0	4,0	5,0	4,3	5,0	5,1

Tabla 12 - Datos de PLFn en el ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia.

En la primera columna de cada una de las tablas anteriores se ha incluido el nivel “basal” de cada sujeto, medido en condiciones de reposo completo (relajado y tumbado en posición supina durante un periodo de cinco minutos) a primera hora de la mañana. Dicho nivel basal sirve como factor de comparación y contraste frente a los valores obtenidos posteriormente en condiciones de estrés y esfuerzo físico.

- La tabla 13 muestra el estrés de cada sujeto en cada ejercicio, medido mediante el parámetro (ver punto 5.3) índice de estrés (SI) y, adicionalmente, rendimiento de cada sujeto en cada ejercicio, entendiendo como tal el porcentaje de disparos que alcanzan su objetivo sobre el total de disparos efectuados.

		S1	S2	S3	S4	S5
E1	SI	56,0	21,8	25,2	37,1	78,7
	Rendimiento	77,7	100,0	88,8	88,8	77,7
E2	SI	37,5	38,7	32,8	34,7	88,1
	Rendimiento	77,7	77,7	88,8	88,8	66,6
E3	SI	39,2	37,1	24,8	57,1	97,4
	Rendimiento	77,7	77,7	77,7	77,7	88,8
E4	SI	36,5	45,5	46,1	51,8	51,2
	Rendimiento	50,0	50,0	50,0	25,0	37,5
E5	SI	35,3	37,9	29,7	51,6	54,7
	Rendimiento	70,0	90,0	100,0	70,0	60,0
		Media SI	40,9	36,2	31,7	46,5
		Media Rdto	70,6	79,1	81,1	74,0
					70,1	66,1

Tabla 13 - Datos del SI y del rendimiento en el ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia.

En el anexo B se muestran los datos completos de todos los parámetros descritos en los puntos 5.1, 5.2 y 5.3 proporcionados por el software Kubios para cada sujeto y cada uno de los cinco ejercicios que componen el diseño del “ejercicio de tiro con inoculación de estrés”.

A tenor de los anteriores resultados se evidencia lo siguiente:

1. Los resultados de este estudio muestran una evolución del balance de las dos ramas del SNA (ver tabla 14), a través de los parámetros de PHF% y PLFn, acorde al marco teórico asumido en el presente TFG, es decir, en estado de estrés aumenta el antagonismo o diferencia de activación entre el SNS y el SNP. Este hecho es importante para constatar la fiabilidad de los datos obtenidos, pues reflejan fielmente el



funcionamiento esperado de las dos ramas del SNA, teniendo en cuenta que ambos sistemas trabajan en oposición para mantener la homeostasis en el cuerpo.

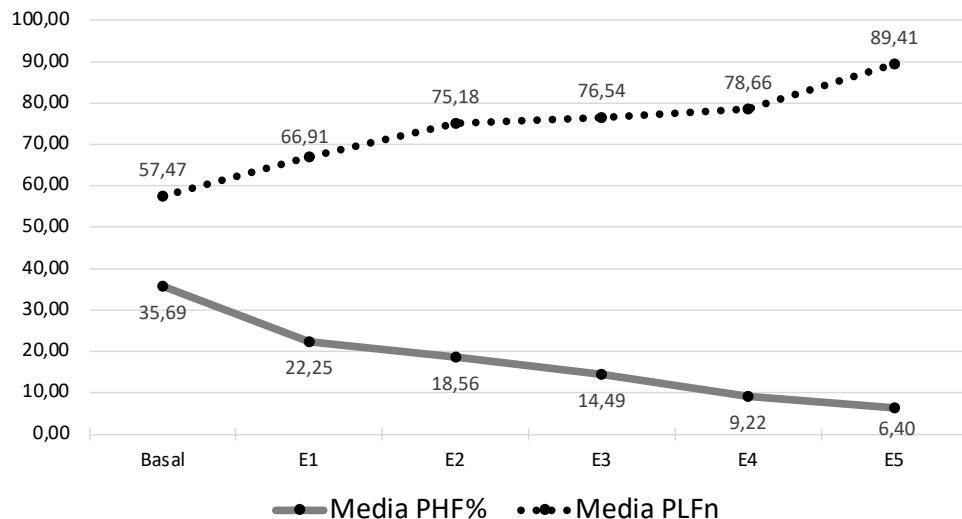


Tabla 14 - Datos de activación del sistema nervioso simpático y parasimpático en ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Elaboración propia.

2. Analizando la tabla 12 donde se muestran los datos del parámetro PLFn asociado a la activación del SNS, se puede observar que en los cinco sujetos la evolución del PLFn sigue una tendencia creciente a lo largo de los cinco ejercicios sucesivos en que se descomponía el ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Ello sugiere que las condiciones para inocular estrés han conseguido simular la experiencia real de combate, induciendo una activación creciente del SNS. Por tanto, puede considerarse como efectivamente contrastada la tercera hipótesis planteada en los objetivos de este TFG: “La instrucción de combate mediante inoculación psicológica de estrés constituye una metodología útil para simular los niveles de activación del SNS propios del combate”. Este postulado resulta de una importancia capital a la hora de diseñar cualquier programa de instrucción militar, puesto que establece como condición de simulación del combate real la inoculación de “estrés psicológico” y no la utilización del esfuerzo físico como mecanismo habitual de incremento del nivel de estrés. Estos interesantes aspectos de aplicación a los programas de instrucción militar serán analizados con mayor detalle en el punto 7 del presente TFG.
3. Analizando los datos del índice de estrés de cada sujeto, que se muestran en la tabla 13, hay que hacer notar que los sujetos S1, S4 y S5 realizaron la batería de cinco ejercicios que componían el “ejercicio de tiro con inoculación de estrés” sin realizar prácticas de respiración táctica, mientras que a los sujetos S2 y S3 se les dio la instrucción de, antes de proceder a efectuar la secuencia de disparos en cada ejercicio, realizar tres exhalaciones e inhalaciones rápidas y completas, lo que les iba a ocupar unos cuatro segundos como máximo. Por tanto, existen dos variables a relacionar con el rendimiento: el índice de estrés y la realización o no de técnicas de respiración táctica. Por tanto, de la tabla 13 podemos extraer las dos conclusiones que se exponen a continuación.



4. Si nos ceñimos a los efectos de la respiración táctica sobre el rendimiento de los combatientes sometidos a un ejercicio de tiro con inoculación de estrés, observamos en la tabla 13 que los sujetos S2 y S3 poseen un índice de estrés considerablemente inferior al de sus compañeros que no realizaron ejercicios de respiración táctica antes de comenzar a disparar. Además, el rendimiento de los sujetos S2 y S3 también ha sido superior al de sus otros compañeros (ver tabla 13). Por tanto, parece cumplirse la cuarta hipótesis que el presente trabajo ha pretendido someter a comprobación empírica: "La respiración táctica resulta una técnica efectiva para disminuir los niveles de estrés fisiológico y, por consiguiente, para mejorar el rendimiento del combatiente en situaciones de alta demanda psicológica". Este postulado resulta de aplicación directa para el adiestramiento militar, puesto que pone de manifiesto los beneficios de incluir sistemáticamente ejercicios de respiración táctica a partir de cierto nivel de estrés del combatiente. Este aspecto será analizado con mayor detalle en el punto 7 del presente TFG.
5. Si nos ceñimos a los efectos del índice de estrés (SI) sobre el rendimiento de los combatientes, observamos que existen dos escenarios de análisis: por un lado, los sujetos S1, S4 y S5, que no realizaron respiración táctica, y, por otro lado, los sujetos S2 y S3, que sí lo hicieron. En los tres sujetos del primer escenario se cumple que, a mayor índice de estrés, menor rendimiento, es decir, menor porcentaje de disparos acertados. Si se observa exclusivamente lo que ocurre con los otros dos sujetos que realizaron respiración táctica, se cumple también que, aun cuando ambos sujetos mostraron menor SI que sus compañeros, comparando los sujetos S2 y S3 entre sí, también se cumple que, a mayor índice de estrés, menor rendimiento, es decir, menor porcentaje de disparos acertados. En conclusión, este estudio viene a evidenciar que la hipótesis de que el estrés influye en el rendimiento del combatiente vuelve a cumplirse también en esta ocasión. No obstante, hay que reseñar que el contraste de esta hipótesis, por consabida, no está recogida en el alcance de los objetivos del presente TFG.



## 7. DISCUSIÓN

Son varias las limitaciones que han afectado al desarrollo del trabajo y que a continuación se detallan. Así mismo, identificar estas limitaciones nos permite definir las líneas de trabajo futuras y sentar las bases para la realización de próximos estudios en la misma línea.

Este trabajo se ha realizado en el marco de unidades de Operaciones Especiales y por tanto sus resultados no pueden aplicarse directamente a las unidades regulares del resto del Ejército de Tierra. Sería necesario realizar este mismo estudio sobre fuerzas regulares para obtener datos que puedan ser comparados con los ya recopilados y analizar si la instrucción de operaciones especiales es cualitativamente superior a la del resto de unidades. Además, los factores causantes del estrés durante una misión de operaciones especiales difieren ampliamente de los de las fuerzas regulares desplegadas en misiones internacionales (Gancitano y Baldassarre, 2021). Las acciones que típicamente lleva a cabo el MOE son de una intensidad muy elevada pero de corta duración, sin embargo el resto de unidades están expuestas a un nivel de amenaza menor pero prolongada en el tiempo. Así fue el caso del Regimiento de Infantería Aerotransportada americano durante la defensa de la Base "Korengal" en Afganistán, que recibieron durante quince meses un total aproximado de tres hostigamientos ligeros diarios por parte de los talibanes.

Así mismo, el grupo de estudio sobre el que se han realizado las mediciones de este trabajo es muy reducido, compuesto por un total de 11 sujetos. Sin embargo, los resultados obtenidos son relevantes y responden a las hipótesis inicialmente planteadas. Por otro lado, el grupo de estudio se compone únicamente de personal masculino. Actualmente se está dando mucha importancia a la clara diferencia que existe entre hombres y mujeres en la respuesta ante el estrés. Las mujeres ante una situación muy estresante segregan una mayor concentración de oxitocina que los hombres (Kubzansky et al., 2009) y se cree que el cerebro de las mujeres se activa en mayor medida en su hemisferio izquierdo a la hora de tomar una decisión mientras que el de los hombres se activa en mayor medida en su hemisferio derecho. Esto implica que los hombres realizan un estudio de los factores globales de la situación mientras que las mujeres utilizan información detallada para decidir (Van Den Bos, Homberg, y De Visser, 2013).

Por otro lado, la simulación del combate, aunque pueda asemejarse con los medios descritos anteriormente, nunca puede alcanzar las características de un enfrentamiento real. Ningún sistema de simulación actual puede inocular el estrés psicológico real que produce ver morir a un compañero, matar a un enemigo o sentir el riesgo de muerte.

También debe ser considerado que el intervalo de medición durante el ejercicio de tiro con inoculación de estrés ha sido breve, variando desde los 45" segundos hasta los 4 minutos en función del ejercicio realizado y de la destreza del tirador. Este periodo de medición no alcanza los cinco minutos mínimos que recomienda el software Kubios para extraer las variables. Además, los parámetros temporales obtenidos en las mediciones de los diferentes ejercicios de tiro con inoculación de estrés, (Ver anexo B), no han sido valorados en el análisis de los resultados por verse influenciados de manera directa por multitud de factores externos (ver punto 5.2) y, además, no pueden cuantificarse cambios específicos de la actividad del SNS y SNP. A tenor de lo anterior, en este trabajo los parámetros temporales no serán empleados para el análisis de las prácticas desarrolladas.

Son varias las características propias de los miembros de las unidades de Operaciones Especiales, entre las que cabe destacar su resiliencia ante cambios inesperados en el desarrollo de sus operaciones, el realismo de sus entrenamientos, la experiencia en combate real de alta intensidad, el entrenamiento en multitud de escenarios, la repetición exhaustiva de cada movimiento hasta llegar al automatismo en la respuesta, la implementación de la inoculación



psicológica de estrés en la instrucción diaria, el sobre-entrenamiento por encima de las circunstancias más desfavorables, el duro proceso de selección y preparación específica de todos sus miembros y la investigación y aplicación continua de las ultimas tendencias y novedades internacionales. Todo ello a constituido el escenario idóneo para someter a prueba las cuatro hipótesis planteadas en el presente TFG habiendo resultado que los diferentes ejercicios prácticos han confirmado las mencionadas hipótesis. Todo ello pone de manifiesto la conveniencia de comparar el rendimiento de las unidades regulares del Ejercito de Tierra bajo las mismas condiciones experimentales.



## 8. CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo han venido a confirmar el rendimiento superior de los miembros de las unidades de operaciones especiales en situaciones de muy alta demanda psicológica, con altos niveles de estrés inducido, frecuencia cardíaca y activación del SNS. De hecho, los miembros de la BOEL XIX, se han comportado en las situaciones experimentales de combate simulado siguiendo el mismo patrón que estableció Grossman en su Teoría de Fases enunciada en el punto 3.3. Es decir, han demostrado ser capaces de desarrollar un rendimiento superior en la ejecución de la misión encomendada a pesar de mantener una frecuencia cardíaca entre 145 y 175 pulsaciones por minuto, que para la población general entrañaría un grave riesgo de colapso psicológico, de incapacidad técnica o de descenso brusco del rendimiento en la ejecución de una tarea. Así ha quedado demostrado en el presente TFG, en virtud de los resultados recogidos a lo largo del ejercicio de combate en población.

A partir de estos resultados, que hacen referencia exclusivamente a miembros de operaciones especiales, se abre el reto de contrastarlos mediante otros estudios en el marco de unidades regulares del Ejército, que poseen un nivel de especialización y adiestramiento diferente al del personal operativo del MOE. Las diferencias y similitudes que se encuentren podrán explicar los patrones previsibles de rendimiento de unas u otras unidades en situaciones de combate.

El presente TFG viene a confirmar también los beneficios de la respiración táctica sobre el rendimiento en el combate. En concreto, la respiración táctica ha demostrado ser una técnica efectiva para disminuir los niveles de estrés fisiológico y, por consiguiente, para mejorar el rendimiento del combatiente, medido como el porcentaje de aciertos de sus disparos, tras atravesar por episodios de elevada carga de estrés. Todo ello queda avalado por los resultados del ejercicio de tiro con inoculación de estrés desarrollado en el marco del presente TFG.

Realmente, la respiración táctica es una herramienta fácil y sencilla de usar, cuya utilidad en diversos contextos de la instrucción militar sería conveniente demostrar, al objeto de incluir este tipo de ejercicios en los procedimientos habituales de actuación de diferentes unidades. Por ejemplo, en la manipulación de explosivos, en las tareas de precisión que requiere el manejo de armas colectivas o en el pilotaje de aeronaves, por citar solo algunos casos. Cuando los combatientes superan niveles altos de estrés, pueden verse negativamente afectadas algunas de sus capacidades, desde la psicomotricidad fina, hasta su capacidad de escucha o su percepción visual. Todas ellas son consecuencias negativas del estrés que la respiración táctica podría contribuir a paliar significativamente. Este es un campo muy prometedor para posteriores investigaciones.

Además, este TFG también viene a confirmar la validez de la inoculación de estrés psicológico como método de activación cardiaca y nerviosa propias del combate. En los tres ejercicios planteados en este TFG ha quedado patente que el estrés inoculado mediante factores sorpresivos y amenazantes en el contexto de ejercicios de adiestramiento militar, sitúan a los sujetos en estados de activación cardiaca y nerviosa propios del combate. Estos resultados hacen referencia a un matiz importante en los programas de instrucción: el estrés provocado por el esfuerzo y el cansancio físico actúa de manera diferente al estrés inoculado psicológicamente.

Sería deseable que los manuales y programas de instrucción militar explicaran como utilizar técnicas de inoculación de estrés psicológico en la instrucción diaria de las unidades. En este sentido, podría abrirse una profunda reflexión sobre el enriquecimiento de la metodología de la instrucción militar mediante pruebas de situación que constituyeran factores desencadenantes del estrés psicológico, ya sea a través de la incertidumbre que generen o de la simulación de sensaciones de riesgo de vida similares a las que se viven en combate. Es hora de abandonar



esquemas rígidos de la instrucción militar basada en procedimientos de actuación inamovibles, en busca del automatismo “sin errores”, para dar paso a una metodología más creativa, capaz de inocular estrés psicológico en el combatiente mediante técnicas y estímulos adversos, nuevos y cambiantes. Así se lograría instruir al combatiente para reaccionar adecuadamente y sin merma de su rendimiento, no solo ante lo esperable, sino también ante cualquier tipo de circunstancia inesperada.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnsten. A. (2009). "Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function." *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6).
- Bardera, P., García-Silgo, M. y Pastor, A. (2014). "Gestión del estrés de las Fuerzas Armadas". *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*, (4).
- Bartone, P. T. (2006). *Resilience Under Military Operational Stress: Can Leaders Influence Hardiness?* Military Phycology.
- Berntson, G., Bigger, J., Eckberg, D., Kaufmann, P., Malik, M. (1997). *Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats*. Psychophysiol.
- Clemente Suarez , V. J., Palomera, P. R. y Robles Pérez, J. (2018). "Respuesta psicofisiológica a situaciones de elevado estrés de combate en soldados profesionales.". *Stress and health Journal*. 34(2)
- Clemente Suárez V. J. (2015a). "Respuesta psicofisiológica de soldados en combate urbano." *Revista Sanidad Militar*, 29 (2).
- Clemente Suárez V. J. y Delgado Moreno, R. (2015b). *Respuesta psicofisiológica en un salto táctico de paracaídas HAHO*. Sanidad Militar
- Clemente Suárez V. J. y Robles Pérez, J. (2012). *Respuesta psicofisiológica en diferentes situaciones de combate*. Editorial Académica Española
- Clemente Suárez V. J., Tornero Aguilera, J., y Robles Pérez J. (2017) "Effect of combat stress in the psychophysiological response of elite and non-elite soldiers". *Journal of Medical Systems*. 41(6).
- Departamento de instrucción y adiestramiento de la Academia de Infantería. (2021). *A-001 Instrucción de tiro de combate*. Toledo: Ejército de Tierra
- Department of Defense. (2010). *Marine Corps Reference Publication (MCRP) 6-11C COMBAT STRESS*.
- Furlan, R., Porta, A., Costa, F. y Malliani, A. (2000). "Oscillatory patterns in sympathetic neural discharge and cardiovascular variables during orthostatic stimulus." *Circulation Journal*.
- Gancitano, G. y Baldassarre, A. (2021). *HRV in Active-Duty Special Forces and Public Order Military Personnel*. Sustainability.
- García Silgo, M. (2013). "Revisión de programas de resiliencia basados en la evidencia en los ejércitos." *Revista de Sanidad Militar*, 69(3)
- Gasquet, C. y Witomski, P. (1999). *Fourier Analysis and Applications. Filtering, Numerical Computation, Wavelets*. Texts in Applied Mathematics
- Gavin de Becker and Associates. (2021). Gavin de Becker & Associates. Disponible en: <https://gdba.com>
- Grossman, D. (2002). *Matar: El coste psicológico de aprender a matar en la guerra y en la sociedad*. Melusina
- Grossman, D. y Christensen, L. W. (2007). Sobre el combate: La psicología y la fisiología del conflicto letal en la guerra y en la paz. (2<sup>a</sup> ed) Melusina.
- Grossman, D. y Siddle, B. K. (2000). *Efectos psicológicos del combate*. Academic Press.



- Hernández Vicente, D., Hernando, J., Marín Puyalto, G., Vicente Rodríguez, N., Garatachea, N., Pueyo, E. y Bailón, R. (2021). *Validity of the Polar H7 Heart Rate Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Exercise in Different Age, Body Composition and Fitness Level Groups*. Sensors, 21, 902.
- Jiménez, J. F. (2002). *Estudio descriptivo y valoración del gasto energético en actividades militares de combate simulado*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.
- Johnstone, C., Reina, R. y Lill, A. (2012). *Interpreting indices of physiological stress in free-living vertebrates*. Journal of Comparative Physiology, 182(7).
- Karvonen, M. J., Kentala, E. y Mustala, O. (1997). *The effects of training on heart rate: a longitudinal study*. Annales medicinae experimentalis et biologiae Fenniae, 35(3), 307-315.
- Kleiger, R., Bosner, M. y Rottmans, J. (1998) *Time domain measurements of heart rate variability*. Cardiology Clinics.
- Kleiger, R., Stein, P. y Thomas Bigger, J. (2005). "Heart rate variability: Measurement and clinical utility." *Journal of Annals of noninvasive electrocardiology*, 10(1).
- Kubzansky, L., Mendes, W., Appleton, A., Block, J. y Adler, G. (2009). *Protocol for an experimental investigation of the roles of oxytocin and social support in neuroendocrine, cardiovascular, and subjective responses to stress across age and gender*. BMC public health,
- Labros, S. y Nikolaos, G. (2020). *Resilience of the Navy Navy Special Operations Command by Heart Rate Variability During Cognitive Tasks*. Medical School of University of Athens.
- Leal, R., Delgado, J. M. y Gruart, A. (2013). "The Rostral Medial Prefrontal Cortex Regulates the Expression of Conditioned Eyelid Responses in Behaving Rabbits." *The Journal of Neuroscience*, 33(10)
- Malliani, A. (1999). *The pattern of sympathovagal balance explored in the frequency domain*. International Union of Physiological Sciences.
- Ministerio de Defensa. (2015). *Entrenamiento para ambientes extremos 2*. Madrid: MINISDEF
- Montaña Diaz, M. y Clemente Suárez, V. J. (2019). Psicofisiología de combate, aplicaciones para la mejora de los procedimientos operativos de los actuales teatros de operaciones. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla la Mancha
- Morgan, C. A., Aikins, D. E., Coric, V. y Southwick, S. (2007) "Relation between cardiac vagal tone and performance in male military personnel exposed to high stress: Three prospective studies." *Psychophysiology Journal*, 44(1).
- Navarro, X. (2002). "Fisiología del Sistema Nervioso Autónomo", *Revista Neurol*, vol. 35 (6)
- Nersisson, R. (2019). *Stress index calculation and analysis based on Heart Rate Variability*. Innovations in Power and Advanced Computing Technologies.
- Nogareda, S. (1994). *NTP-355: Fisiología del estrés*. Centro Nacional de condiciones de trabajo.
- Pagani, M., Montano, N., Porta, A. y Malliani, A. (1997). "Relationship between spectral components of cardiovascular variabilities and direct measures of muscle sympathetic nerve activity in humans". *Circulation Journal*
- Poncela, A. (2017). *Requerimiento de frecuencia cardíaca en motociclismo*. Trabajo de Fin de Master. Universidad de León.



- Pumpirla, J., Howorka, K., Groves, D., Chester, M. y Nolan, J. (2002) "Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications." *International Journal of Cardiology*.
- Quigley, K. S. y Yamamoto, Y. (2004). *Use of time-frequency analysis to investigate temporal patterns of cardiac autonomic response*. Autonomic Neuroscience.
- Rodas, G., Pedret, C., Ramos ,J. y Capdevila, L. (2008). *Variabilidad de la frecuencia cardíaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos*. Archivos de Medicina del Deporte.
- Sibolboro, E., Kelsey, R., Katkin, E. y Sloan, R. (2001) *Vagal rebound and recovery from psychological stress*. Psychosomatic medicine.
- Siddle, B. K. (2005). *Sharpening the warriors edge: The Psychology & Science of Training*. Belleville: Human Factor Research Group.
- Tarvainen, M. P. (2014). "Kubios HRV – Heart rate variability analysis software." *Journal of Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1).
- Tarvainen, M. P., Jukka Lipponen, D., Juha-Pekka N. y Perttu, O. (2021) *Kubios HRV User's Guide versión 3.5*
- Task Force of the European Society of Cardiology. (1996). "Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use". *European Heart Journal*, 93 (5).
- Tulpo, M., Makikallio, T., Takala, T., Seppänen, T. y Huikuri, H. (1996) "Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise." *American Journal of Physiology*.
- Van den Bos, R., Homberg, J. y de Visser, L. (2013). "A critical review of sex differences in decision-making tasks." *Journal of Behavioural brain research*.



## ANEXOS



## ANEXO I

### FICHAS DE TIRO

Este anexo contiene las fichas de los ejercicios de tiro elaboradas conforme al formato normalizado en el mando de operaciones especiales. Estas fichas han sido diseñadas para explicar de manera estructurada y gráfica el ejercicio que se va a realizar y los objetivos que se deben alcanzar. Estos documentos son de interés para controlar el nivel de instrucción de un Equipo Operativo en las diferentes destrezas de tiro mediante el registro de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los ejercicios realizados a lo largo de un periodo largo de instrucción.

#### Ejercicio 1:

POSICIONES FORZADAS					
FICHA Nº 1	NIVEL: Básico	APOYO: SERVICIO VITAL AVANZADO	TIPO: Práctico – múltiples objetivos	LUGAR DE TRABAJO: Campo de tiro.	
MATERIAL:					
FUSIL HK G36 KV 1 CARGADOR		BARRICADE NINE HOLE TIMER			
DESARROLLO PRACTICO DEL EJERCICIO:	DISTANCIA: 33m	BLANCOS: BLANCO METÁLICO 25X25CM.	PUNTUACIONES: 9 impactos en BLANCO METÁLICO	TIEMPO: Tomar el tiempo empleado.	
		MUNICIÓN: 9 cartuchos 5'56	POSICIÓN DE PARTIDA: High-ready en pie detrás de parapeto		
OBJETIVOS A ALCANZAR/ DESTREZAS A MEJORAR	El tiro desde posiciones forzadas Emplearse a fondo en la toma de miras y la adquisición del blanco. Aprovechamiento de la superficie de protección que simula el parapeto. Referencia de puntería para los disparos con el arma canteada.				
EJECUCIÓN	Partiendo en pie con la bocacha pegada en el parapeto ("High Ready"), a la vozde fuego debe hacer un disparo desde cada agujero al blanco metálico.				

33m.

#### Ejercicio 2:

POSICIONES FORZADAS Y FACTOR TIEMPO					
FICHA Nº 2	NIVEL: Básico	APOYO: SERVICIO VITAL AVANZADO	TIPO: Práctico – múltiples objetivos	LUGAR DE TRABAJO: Campo de tiro.	
MATERIAL:					
FUSIL HK G36 KV 1 CARGADOR.		BARRICADE NINE HOLE TIMER			
DESARROLLO PRACTICO DEL EJERCICIO:	DISTANCIA: 33m	BLANCOS: BLANCO METÁLICO 25X25CM.	PUNTUACIONES: 9 impactos en BLANCO METÁLICO	TIEMPO: el menor tiempo posible	
		MUNICIÓN: 9 cartuchos 5'56	POSICIÓN DE PARTIDA: High-ready en pie detrás de parapeto		
OBJETIVOS A ALCANZAR/ DESTREZAS A MEJORAR	El tiro desde posiciones forzadas Emplearse a fondo en la toma de miras y la adquisición del blanco. Aprovechamiento de la superficie de protección que simula el parapeto. Referencia de puntería para los disparos con el arma canteada. Que el tirador tire con el incremento de estrés provocado por el factor tiempo				
EJECUCIÓN	Partiendo en pie con la bocacha pegada en el parapeto ("High Ready"), a la vozde fuego debe hacer un disparo desde cada agujero al blanco metálico.				

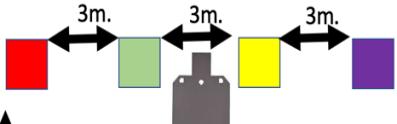
33m.



## Ejercicio 3:

POSICIONES FORZADAS, FACTOR TIEMPO Y TÁSER					
FICHA Nº 3	NIVEL: Básico	APOYO: SERVICIO VITAL AVANZADO	TIPO: Práctico – múltiples objetivos	LAGER DE TRABAJO: Campo de tiro.	BLANCO METÁLICO
MATERIAL:					
FUSIL HK G36 KV 1 CARGADOR.		BARRICADE NINE HOLETIMER TÁSER			
DESARROLLO PRACTICO DEL EJERCICIO:	<b>DISTANCIA:</b> 33m <b>BLANCOS:</b> BLANCO METÁLICO 25X25CM. <b>MUNICIÓN:</b> 9 cartuchos 5'56	<b>PUNTUACIONES:</b> 9 impactos en BLANCO METÁLICO  <b>TIEMPO:</b> El mismo tiempo empleado en el anterior ejercicio.  <b>POSICIÓN DE PARTIDA:</b> High-ready en pie detrás de parapeto			  33m.
OBJETIVOS A ALCANZAR/ DESTREZAS A MEJORAR					
EJECUCIÓN	Partiendo en pie con la bocacha pegada en el parapeto ("High Ready"), a la voz de fuego debe hacer un disparo en cada agujero mientras recibe estímulos eléctricos con el taser.				

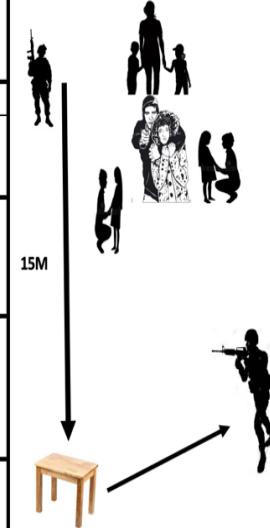
## Ejercicio 4:

AISLAMIENTO SENSORIAL, TÁSER Y RED MAN									
FICHA Nº 4	NIVEL: Básico	APOYO: Servicio vital avanzado	TIPO: Práctico – múltiples objetivos	LAGER DE TRABAJO: Campo de tiro.	BLANCO METÁLICO				
MATERIAL:									
FUSIL HK G36 KV 1 CARGADOR. CARTULINAS DE COLORES		BLANCO METÁLICO 25X25CM TIMER CAPUCHA		REDMAN					
DESARROLLO PRACTICO DEL EJERCICIO:	<b>DISTANCIA:</b> 33m <b>BLANCOS:</b> BLANCO METÁLICO 25X25CM. <b>MUNICIÓN:</b> 12 cartuchos 5'56	<b>PUNTUACIONES:</b> 4 impactos en BLANCO METÁLICO y 2 POR CARTULINA.  <b>TIEMPO:</b> TOMAR EL TIEMPO.  <b>POSICIÓN DE PARTIDA:</b> Low ready en CONDICIÓN 4			3m. 3m. 3m.  33m.				
OBJETIVOS A ALCANZAR/ DESTREZAS A MEJORAR	Que el tirador tire con el incremento de estrés provocado por el factor de desorientación por aislamiento sensorial, el taser eléctrico y el enfrentamiento con el redman								
EJECUCIÓN	Partiendo en pie con la capucha colocada, de espaldas a la línea de blancos y condición 4 de fusil. Al quitarle la capucha el REDMAN le tirara al suelo y forcejeara durante 10 segundos, el tirador deberá ponerse de pie y poner el arma en servicio, hacer 4 disparos al blanco metálico, mientras dispara se le dirá el orden de las cartulinas por colores a las que tiene que disparar y se le acercara el taser a la oreja mientras le dispara a las cartulinas.								



## Ejercicio 5:

AISLAMIENTO SENSORIAL, TÁSER, HABILIDAD MOTORA FINA, OPERACIÓN MATEMÁTICA Y DISCRIMINACIÓN DE OBJETIVOS								
FICHA Nº 5	NIVEL: Básico	APOYO: Servicio vital avanzado	TIPO: Práctico – múltiples objetivos	LUGAR DE TRABAJO: Campo de tiro.				
MATERIAL:								
FUSIL HK G36 KV 1 CARGADOR.	CAPUCHA TIMER TÁSER	MESA SILUETAS CIVILES Y ENEMIGAS BOLÍGRAFO						
DESARROLLO PRACTICO DEL EJERCICIO:	DISTANCIA: 10m BLANCO: VTAC Y PERIODISTA MUNICIÓN: 10 cartuchos 5'56	<b>PUNTUACIONES:</b> 10 IMPACTOS EN ZONA CABEZA BLANCO VTAC <b>TIEMPO:</b> TOMAR EL TIEMPO. <b>POSICIÓN DE PARTIDA:</b> High ready						
OBJETIVOS A ALCANZAR/ DESTREZAS AMEJORAR	Que el tirador tire con el incremento de estrés provocado por el factor de desorientación por aislamiento sensorial, el taser eléctrico, la operación matemática y la presencia de siluetas civiles. Que el tirador sea capaz de realizar una habilidad motora fina (montaje de las piezas de un bolígrafo BIC) y de realizar cálculos matemáticos simples bajo un nivel de estrés elevado. Que el tirador realice un control del entorno detectando la presencia de siluetas no enemigas y solo dispare sobre el enemigo.							
EJECUCIÓN	Partiendo en pie con la capucha colocada, sobre la línea de blancos. Al quitarle la capucha el tirador debe correr hasta la mesa situada a 15m, montar las piezas del bolígrafo y resolver la operación matemática planteada posteriormente deberá abatir a la silueta enemiga con 10 disparos en la cabeza sin impactar sobre la siluetas civiles. Se le acercara el taser mientras realiza la operación matemática.							





## ANEXO II

### RESULTADOS EJERCICIO DE TIRO CON INOCULACIÓN DE ESTRÉS

Este anexo contiene los parámetros frecuenciales y temporales, así como el SI, el IS, el IP y el rendimiento para todos los sujetos en el ejercicio de tiro con inoculación de estrés. Estos parámetros, a excepción del rendimiento en la ejecución del ejercicio, han sido obtenidos mediante el procesamiento de la señal del intervalo RR con el software Kubios.

	SUJETO 1						
	BASAL	E1	E2	E3	E4	E5	MEDIA
ÍNDICE PARASIMPÁTICO (IP)	1,24	-3,79	-3,69	-3,83	-4,11	-3,77	-2,99
ÍNDICE SIMPÁTICO (IS)	-1,13	13,84	10,18	9,99	11,3	9,82	9,00
ÍNDICE DE ESTRÉS (SI)	8,3	56,0	37,5	39,2	36,5	35,3	35,47
FC MEDIA	48	146	144	148	166	144	133
FC MÁXIMA	52	151	155	157	171	155	140
RENDIMIENTO %	-	77,7	77,7	77,7	50,0	70,0	70,62
SDNN	38,3	7,9	10,9	17,8	11,5	11	16,23
RMSSD	33,2	4,1	5	4,9	4,5	3,4	9,18
POWER HF RELATIVA (PHF%)	34,2	16,5	13,3	6,5	11,9	4,6	14,49
POWER LF NORMALIZADA (PLFn)	63,64	70,98	79,28	81,63	83,49	94,29	78,89

	SUJETO 2						
	BAS	E1	E2	E3	E4	E5	MEDIA
ÍNDICE PARASIMPÁTICO (IP)	0,87	-3,38	-3,68	-3,9	-4	-3,63	-2,95
ÍNDICE SIMPÁTICO (IS)	-1,51	6,77	11,45	11,56	13,64	10,11	8,67
ÍNDICE DE ESTRÉS (SI)	9,1	21,8	38,7	37,1	45,5	37,9	31,68
FC MEDIA	46	138	149	150	164	160	135
FC MÁXIMA	51	145	158	158	172	164	141
RENDIMIENTO %	-	100,0	77,7	77,7	50,0	90,0	79,08
SDNN	51,2	17,6	10	10	9,4	11,9	18,35
RMSSD	42,5	9,5	7,3	7	9	5,7	13,50
POWER HF RELATIVA (PHF%)	40,2	25,2	21,8	22,8	17,9	11,1	23,16
POWER LF NORMALIZADA (PLFn)	52,1	62,72	67,68	69,85	70,61	81,4	67,39

	SUJETO 3						
	BAS	E1	E2	E3	E4	E5	MEDIA
ÍNDICE PARASIMPÁTICO (IP)	1,30	-2,96	-3,39	-3,43	-4,03	-3,49	-2,67
ÍNDICE SIMPÁTICO (IS)	-1,13	6,38	8,77	7,47	13,18	8,49	7,19
ÍNDICE DE ESTRÉS (SI)	10,6	25,2	32,8	24,8	46,1	29,7	28,20
FC MEDIA	52	135	138	141	162	142	128
FC MÁXIMA	54	138	141	149	166	147	133
RENDIMIENTO %	-	88,8	88,8	77,7	50,0	100,0	81,06
SDNN	40,5	15,8	17,2	17,1	8,9	17,7	19,53
RMSSD	21,8	12	9,5	9,4	4,6	8,9	11,03
POWER HF RELATIVA (PHF%)	35,7	33,8	32,0	22,0	4,0	7,2	22,47
POWER LF NORMALIZADA (PLFn)	53,3	71,48	74,23	76,49	77,36	89,52	73,73



	SUJETO 4						
	BAS	E1	E2	E3	E4	E5	MEDIA
ÍNDICE PARASIMPÁTICO (IP)	0,97	-3,39	-3,71	-4,12	-4,34	-3,92	-3,09
ÍNDICE SIMPÁTICO (IS)	-0,97	9,20	9,96	15,47	15,67	13,38	10,45
ÍNDICE DE ESTRÉS (SI)	9,5	37,1	34,7	57,1	51,8	51,6	40,30
FC MEDIA	49	141	152	159	167	162	138
FC MÁXIMA	52	147	158	166	175	165	144
RENDIMIENTO %	-	88,8	88,8	77,7	25,0	70,0	70,06
SDNN	34,6	14,5	13,3	6,9	6,5	9	14,13
RMSSD	35,2	6,7	6,8	3,4	3,5	2,9	9,75
POWER HF RELATIVA (PHF%)	31,2	14,9	8,3	7,0	5,2	2,5	11,52
POWER LF NORMALIZADA (PLFn)	57,1	64,91	74,64	77,92	81,64	93,35	74,93

	SUJETO 5						
	BAS	E1	E2	E3	E4	E5	MEDIA
ÍNDICE PARASIMPÁTICO (IP)	1,41	-4,16	-3,92	-4,42	-4,15	-4,31	-3,26
ÍNDICE SIMPÁTICO (IS)	-1,02	19,70	20,41	24,81	15,61	16,41	15,99
ÍNDICE DE ESTRÉS (SI)	11,2	78,7	88,1	97,4	51,2	54,7	63,55
FC MEDIA	47	151	152	165	163	168	141
FC MÁXIMA	51	154	160	171	173	174	147
RENDIMIENTO %	-	77,7	66,6	88,8	37,5	60,0	66,12
SDNN	46,2	4,9	3,2	2,8	9,3	6,4	12,13
RMSSD	37,8	3	3,3	2,8	9,3	5,1	10,22
POWER HF RELATIVA (PHF%)	37,2	20,8	17,4	14,2	7,1	6,5	17,22
POWER LF NORMALIZADA (PLFn)	61,2	64,45	80,07	76,82	80,21	88,47	75,20