

“EFECTO DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL SOBRE LA FUNCIÓN  
RESPIRATORIA EN VOLUNTARIOS DEL CUERPO DE BOMBEROS DE  
VIÑA DEL MAR”

AUTORES:

PAULINA BEATRIZ CUETO VICENCIO  
JAVIERA ANTONIA GILABERT BARRIOS  
NICOLÁS LUIS ALBERTO ROJAS LIZANA

PROFESOR GUÍA: DANIEL PONCE CORREA  
Escuela de Kinesiología  
Facultad de Medicina  
Universidad de Valparaíso

Valparaíso - Chile

2024

## **1. CONTENIDOS Y SECCIONES**

### **1.1. Agradecimientos:**

La realización de esta tesis ha sido un proceso lleno de desafíos y aprendizajes. Este proyecto no habría sido posible sin el apoyo, la orientación y la motivación de diversas personas e instituciones. Quisiéramos comenzar agradeciendo a los bomberos del Cuerpo de Bomberos de Viña del Mar por su disposición y participación en este estudio. A la Universidad de Valparaíso por darnos la oportunidad de aprendizaje profesional, a los profesores que a lo largo de la carrera nos transmitieron sus conocimientos, con una mención especial al profesor Daniel Ponce, quien nos guió de manera clave con su experiencia, compromiso y valiosos consejos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo exitoso del proyecto. Asimismo, es importante reconocer a Gonzalo Bravo, quien desempeñó el rol de tutor en este proyecto. Su vasta experiencia y su disposición fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. De igual manera, queremos destacar al profesor Marvin Querales, quien generosamente compartió sus conocimientos en estadística, contribuyendo de manera significativa a nuestro proyecto. Y por último pero no menos importante, a mis compañeros de proyecto, quienes compartimos ideas, compañía y varias horas de trabajo.

#### **PAULINA BEATRIZ CUETO VICENCIO**

Quiero dedicar un agradecimiento lleno de cariño a mi familia, por su constante confianza en mí y por brindarme su apoyo, comprensión, paciencia y amor en todo momento. A mis amigas, les agradezco profundamente su afecto, su respaldo incondicional, las risas compartidas y las palabras de aliento que me impulsaron a seguir adelante. Todo esto lo llevaré siempre conmigo, en lo más profundo de mi corazón y mente. Además, un agradecimiento especial a aquellos que ya no están físicamente a mi lado, pero cuyo recuerdo y enseñanzas siguen siendo una guía en mi vida. A todos ustedes, gracias.

#### **JAVIERA ANTONIA GILABERT BARRIOS**

Quiero agradecer a mi familia; a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional y confianza en mí, en especial a mi papá por sus consejos y ayuda en el desarrollo de esta tesis, a mi pareja por su apoyo y motivación, a mis amigas por alentarme siempre, sin todos ustedes no hubiese sido lo mismo, les agradezco eternamente.

#### **NICOLÁS LUIS ALBERTO ROJAS LIZANA**

Redacto este párrafo en forma de agradecimiento a mi familia que me ha apoyado hasta el día de hoy sobretodo, a mi madre y hermana; de igual forma a mis amigos y compañeros que sin ellos no podría haber llegado hasta este momento.

## 1.2. Tabla de contenidos

1. CONTENIDOS Y SECCIONES.....	2
1.1. Agradecimientos:.....	2
1.2. Tabla de contenidos.....	3
1.3. Abstract:.....	5
1.4. Resumen:.....	5
1.5. Palabras claves:.....	5
1.6. Abreviaciones:.....	6
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
2.1. Pregunta de investigación.....	8
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
3.1. Bomberos de Chile:.....	9
3.1.1. Objetivo Bomberos de Chile:.....	9
3.1.2. Riesgos:.....	9
3.2. Equipo de Protección Personal (EPP):.....	9
3.2.1. Definición:.....	9
3.2.2. Elementos que componen el EPP:.....	9
3.2.3. EPP en el desempeño y función pulmonar del bombero:.....	9
3.3. Función respiratoria.....	10
3.3.1. Anatomía, órganos y su función del sistema respiratorio:.....	10
3.4. Sistema Respiratorio.....	11
3.4.1. Vías aéreas.....	11
3.5. Mecánica Ventilatoria.....	11
3.5.1. Músculos.....	11
3.6. Propiedades elásticas del pulmón.....	11
3.6.1. Compliance o distensibilidad:.....	11
3.6.2. Resistencia vía aérea:.....	11
3.7. Trabajo respiratorio:.....	12
3.8. Función pulmonar.....	12
3.8.1. Intercambio gaseoso:.....	12
3.9. Fisiología respiratoria:.....	12
3.9.1. Ventilación:.....	12
3.9.2. Volumen corriente:.....	12
3.9.3. Volumen de reserva espiratorio:.....	12
3.9.4. Volumen de reserva inspiratorio:.....	12
3.9.5. Volumen residual:.....	12
3.9.6. Ventilación voluntaria máxima:.....	13

3.9.7. Capacidad vital:.....	13
3.9.8. Volumen espiratorio forzado en el primer segundo:.....	13
3.9.9. Relación VEF1/CVF:.....	13
3.9.10. Volumen máximo minuto:.....	13
3.10. Consumo de oxígeno:.....	13
3.10.3. Umbrales ventilatorios:.....	14
3.11. Regulación del intercambio gaseoso.....	14
3.11.1. Adaptaciones fisiológicas al ejercicio:.....	14
3.11.2. Respuesta ventilatoria al ejercicio:.....	15
3.11.3. Respuesta cardiovascular al ejercicio:.....	16
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
4.1. Objetivos.....	17
4.1.1. Objetivo general.....	17
4.1.2. Objetivos específicos.....	17
4.1.3. Estudio y diseño.....	17
4.1.4. Hipótesis de investigación.....	17
4.1.5. Población y Muestra.....	17
4.1.6. Tabla criterios de inclusión.....	18
4.1.7. Tabla criterios de exclusión.....	18
4.1.8. Tabla motivos de detención de las pruebas.....	19
4.2. Definición de variables.....	19
4.3. Co-variables de caracterización de la muestra:.....	25
4.4. Instrumentos y Materiales.....	25
4.5. Procedimiento.....	25
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
5.1. Pimometría.....	29
5.2. Espirometría.....	30
5.3. Ergoespirometría.....	30
5.3.1 Resultados en VT1:.....	33
5.3.2 Resultados en VT2:.....	34
5.3.3 Resultados en VO <sub>2</sub> peak:.....	36
5.3.4 Resultados en V'E(V'CO <sub>2</sub> ) slope.....	37
<b>6. DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>7. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>47</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>50</b>
9.1. Anexo 1:.....	50
9.2. Anexo 2:.....	51

### **1.3. Abstract:**

The work carried out by firefighters is of utmost importance, fires are increasingly recurrent both globally and nationally and the risks to which they are exposed are numerous, from; asphyxiation, collapses, high temperatures, extreme physical exertion, etc. For this reason, it is vitally important to study and contribute to improving the physical performance of volunteers, in this case, through the study of lung function, which has a direct impact on the physical tolerance of the firefighter in the face of great effort such as this. firefighting, any improvement that can be generated in this area is a benefit both for the health and well-being of the firefighter and also for the community.

The objective of this research project is to study how the respiratory function of firefighters behaves in relation to the use of personal protective equipment (PPE) through laboratory tests, these being spirometry, pimometry and ergospirometry.

### **1.4. Resumen:**

La labor que realizan los bomberos es de suma importancia, los incendios son cada vez más recurrentes tanto nivel mundial como nacional y son numerosos los riesgos a los que están expuestos, desde; asfixia, colapsos, altas temperaturas, esfuerzos físicos extremos, etc. Es por ello, que es de vital importancia estudiar y contribuir a mejorar el desempeño físico de los voluntarios, en este caso, a través del estudio de la función pulmonar, la cual repercute directamente en la tolerancia física del bombero ante un gran esfuerzo como lo es la extinción de incendios, cualquier mejora que se pueda generar en este ámbito es un beneficio tanto para la salud y bienestar del bombero como también para la comunidad.

El objetivo de este proyecto de investigación es estudiar cómo se comporta la función respiratoria de bomberos en relación al uso del equipo de protección personal (EPP) mediante pruebas de laboratorio, siendo estas espirometría, pimometría y ergoespirometría.

### **1.5. Palabras claves:**

Bomberos, tests de función respiratoria, equipo de protección personal.

## **1.6. Abreviaciones:**

CPET: Test Cardiopulmonar de ejercicio.

CVF: Capacidad vital forzada.

EPP: Equipos de protección personal.

FCmax: Frecuencia cardiaca máxima.

FCr: Frecuencia cardiaca de reserva.

FR: Frecuencia respiratoria.

PA: Presión arterial

PIMax: Presión inspiratoria máxima.

RER: Cociente respiratorio.

SCBA: Equipo de respiración autónomo.

VEF1: Volumen espiratorio forzado al primer segundo.

VEF1/CVF: Relación vef1 / cvf.

VE/CO<sub>2</sub>: Equivalente ventilatorio de CO<sub>2</sub>.

VE/VO<sub>2</sub>: Equivalente ventilatorio de O<sub>2</sub>.

VO<sub>2</sub>max: Consumo máximo de oxígeno.

VO<sub>2</sub> peak: Consumo de oxígeno peak.

VT1: Umbral ventilatorio 1.

VT2: Umbral ventilatorio 2.

W: Trabajo

## 2. INTRODUCCIÓN

La labor del bombero cobra cada vez más relevancia. El cambio climático, sumado al descuido del ser humano, genera una mayor incidencia de incendios. Además, la deforestación de los bosques, combinada con el uso insostenible de la tierra y las elevadas emisiones de carbono, propicia y potencia que se desarrollen incendios forestales, que cada vez son más recurrentes.

Según (*United Nations, 2023*), a escala mundial, más de dos tercios de los incendios descontrolados entre 2001 y 2018 se produjeron en África. Las áreas quemadas más extensas (más de 500 millones de hectáreas) se encontraban en África Oriental y Meridional, África Occidental y Central, Oceanía (principalmente Australia), Norte de África y Sudamérica.

A lo largo de Chile, en el periodo 2022 - 2023, según datos recopilados en los medios oficiales de la CONAF, ocurrieron un total de 6.982 incendios, afectando una superficie total de 429.103 hectáreas. El último mega incendio en Chile ocurrió en el verano del año 2024, en la región de Valparaíso, con un estimado de que 9.215,9 hectáreas fueron quemadas, abarcando sectores urbanos, agrícolas y forestales de diferentes comunas de la región, como Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Limache, luego de una extenuante labor se logró extinguir el fuego gracias al sacrificado esfuerzo de bomberos de Chile. (CONAF, *Incendios* (2024)).

La labor del bombero lo expone a diversos riesgos, tales como asfixia, lesiones traumáticas, quemaduras y condiciones de actividad física extrema, con una alta demanda metabólica muscular y cardiorrespiratoria. Para disminuir los riesgos asociados a la labor, los voluntarios utilizan el equipo de protección personal (EPP) y el equipo de respiración autónomo (SCBA) lo que supone un incremento de peso cercano a 20 kilogramos (kg). Este aumento de peso podría generar un incremento en las demandas metabólicas y cardiorrespiratorias del organismo, además de provocar un cambio en la biomecánica del movimiento y la respiración. Comprender respecto al impacto que puede tener el uso del EPP y el SCBA en los voluntarios puede abrir las puertas a diversas propuestas de entrenamiento más específicas, con el objetivo de mejorar el rendimiento del bombero y disminuir el riesgo de la labor bomberil. En la presente investigación se evaluará el efecto del uso de EPP y el SCBA en la función pulmonar, tanto en reposo como durante el ejercicio maximal. Este último punto es el tema a investigar, el cómo repercute el uso del equipo de protección personal (EPP) y del equipo de respiración autónomo SCBA en la tolerancia al esfuerzo físico del individuo, el metabolismo aeróbico y anaeróbico, y función pulmonar. Si bien dicho equipamiento proporciona una barrera efectiva de protección, también son un factor influyente y fundamental en el desempeño físico del bombero, afectando factores como movilidad, comodidad y resistencia durante su trabajo.

Por lo tanto, es importante realizar estudios mediante pruebas de laboratorio, como espirometría, pimometría y ergoespirometría, para comprender cómo su organismo funciona y se adapta fisiológicamente al esfuerzo físico máximo y, de esta manera, disminuir riesgos y mejorar el rendimiento en sus labores.

## **2.1. Pregunta de investigación.**

- ¿Cuál es el efecto del uso de EPP en la función respiratoria en bomberos activos del cuerpo de bomberos de Viña del Mar?

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Bomberos de Chile:**

##### **3.1.1. Objetivo Bomberos de Chile:**

El objetivo de Bomberos de Chile, junto a los Cuerpos, es desarrollar un servicio voluntario bomberil eficiente, que garantice la seguridad de la vida y bienes de la ciudadanía. Ellos como institución son los encargados de actuar en situaciones de emergencia, tales como; rescate, asistencia médica básica en caso de ser necesario, y su función principal que es la extinción de incendios. (Cuerpo de Bomberos de Viña del Mar).

##### **3.1.2. Riesgos:**

Los bomberos se exponen a diferentes riesgos tales como sustancias peligrosas, el riesgo de sufrir alguna lesión o traumatismo, exposición a humo de incendios, desastres de la naturaleza, accidentes vehiculares, emergencias con sustancias, y riesgos propios de su competencia. (Cuerpo de Bomberos de Viña del Mar).

#### **3.2. Equipo de Protección Personal (EPP):**

##### **3.2.1. Definición:**

Son equipos, aparatos o dispositivos especiales para proteger al cuerpo –en parte o en su totalidad– de riesgos específicos, actuando en consecuencia como un medio de prevención hacia distintas enfermedades profesionales, previniendo accidentes o disminuyendo los efectos de éstos. (Instituto de Salud Pública de Chile.)

##### **3.2.2. Elementos que componen el EPP:**

En este caso el EPP está compuesto de diferentes partes: uniforme, botas estructurales, guantes estructurales, casco, esclavina, linterna, radio y equipo de respiración autónoma (SCBA). (Cuerpo de Bomberos de Viña del Mar).

##### **3.2.3. EPP en el desempeño y función pulmonar del bombero:**

En cuanto al uso de EPP en bomberos, un estudio denominado “Effect of Protective Equipment on Firefighters' External and Internal Workloads During a Simulated Rescue Intervention” por Marcel-Millet afirma que el equipo de protección personal de los bomberos aumenta la demanda psicofisiológica durante una intervención de rescate y que la carga de trabajo es la que define la cantidad de estrés.

Complementando lo anterior otros autores también se refieren al tema, como Lesniak, A. (2020) diciendo que el peso del EPP y el uso de SCBA afectan el desempeño de los bomberos durante la extinción de incendios y que tanto la carga de trabajo como el SCBA aumentan el tiempo para completar tareas. Además, se plantea en este estudio

que las disminuciones de rendimiento se relacionan al peso del equipo. Por otro lado, con el uso de SCBA se observó un aumento en la percepción del esfuerzo y la sensación térmica, por lo tanto a un aumento en la demanda metabólica lo que puede disminuir la tolerancia al ejercicio.

Respecto al uso del aparato de respiración autónoma (SCBA) el siguiente estudio de *Hostler, D., & Pendergast, D. R. (2018)*, propone que el uso de SCBA modifica la mecánica ventilatoria de los bomberos induciendo una respuesta de hipoventilación voluntaria para conservar el gas durante un esfuerzo maximal, produciendo en consecuencia una elevación en el CO<sub>2</sub> al final de la espiración (ETCO<sub>2</sub>) lo que se traduce en un aumento de la presión arterial de CO<sub>2</sub> ante una mayor demanda del sistema respiratorio, a raíz de esto, los investigadores proponen que los bomberos tienen una alteración en la sensibilidad al CO<sub>2</sub> producto de la hipoventilación voluntaria generando mayor tolerancia a mayores concentraciones de CO<sub>2</sub>, esta adaptación se manifiesta independiente del equipo de respiración (SCBA o mascarilla sola) durante el entrenamiento. Este aumento de la presión arterial de CO<sub>2</sub> de manera crónica puede aumentar el riesgo de enfermedades.

Además, un meta análisis realizado en 2023, en donde se comparaba el uso de SCBA en la respuesta fisiológica comparado con un grupo control. En esta investigación se midieron diferentes variables como la temperatura rectal, temperatura de la piel, frecuencia cardiaca (FC) y frecuencia cardiaca máxima (FC máx), consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx), tasa de sudoración total (TSR) y respuesta psicológica, todo esto dio como resultado que el consumo máximo de O<sub>2</sub> y la tasa de sudoración total sí se ven afectadas por el peso del SCBA porque difirieron significativamente en comparación con el grupo control. La conclusión del estudio fue que el SCBA provoca estrés termorregulador, metabólico y psicológico pero no se explica por el peso del SCBA. (Li, 2023).

### **3.3. Función respiratoria.**

#### **3.3.1. Anatomía, órganos y su función del sistema respiratorio:**

El sistema respiratorio inicia en las vías respiratorias superiores con la nariz que posee las cavidades nasales donde las funciones más importantes son las de calentamiento, humidificación y el filtrado de aire inspirado. Luego se continúa con la faringe, que participa en la defensa inmunológica y permite el paso del aire hacia la laringe. Se continúa con las vías respiratorias inferiores, comenzando por la laringe que contiene las cuerdas vocales y regula el paso del aire hacia la tráquea. La tráquea que también conduce el aire, además protege con su revestimiento interno contra partículas y microorganismos, terminando con la división de los dos bronquios principales que conectan con los pulmones, dentro de los pulmones la división continúa con bronquios

secundarios que dividen el aire hacia los lóbulos pulmonares y los bronquios terciarios distribuyen el aire a los bronquiolos terminales que transportan el aire a las zonas de intercambio. Con los bronquiolos respiratorios se inicia el área respiratoria con los conductos alveolares que llevan el aire a los sacos alveolares rodeados de alvéolos que son estructuras que permiten el intercambio gaseoso. (Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (1996)).

### **3.4. Sistema Respiratorio.**

#### **3.4.1. Vías aéreas**

**3.4.1.1.** Superiores: Cavidad nasal, cavidad oral, faringe, laringe y tráquea. (West, J. B. (2005).

**3.4.1.2.** Inferiores: bronquios principales y pulmón. Dentro del pulmón se encuentran bronquios lobulares, bronquios segmentarios, bronquiolos terminales y acino que está conformado por bronquiolos respiratorios, conductos alveolares, sacos alveolares y alvéolos. Además hay que considerar que la vía aérea de conducción son las primeras 16 generaciones de división y la zona respiratoria de las últimas 7 divisiones. (West, J. B. (2005)

### **3.5. Mecánica Ventilatoria.**

#### **3.5.1. Músculos**

**3.5.1.1.** Músculos inspiratorios: Diafragma, intercostales externos, esternocleidomastoideo, escalenos, elevadores de costillas, pectoral mayor, pectoral menor, dorsal ancho, serrato anterior (fascículo superior e inferior ) y serrato posterior. (Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (1996)).

**3.5.1.2.** Músculos espiratorios: recto abdominal, intercostales íntimos y fascículo medio del serrato anterior. (Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (1996)).

### **3.6. Propiedades elásticas del pulmón.**

#### **3.6.1. Compliance o distensibilidad:**

Se define como el cambio de volumen por unidad de cambio de presión a través del pulmón. (West, J. B. (2005)

#### **3.6.2. Resistencia vía aérea:**

La resistencia de las vías respiratorias es la diferencia de presión entre los alvéolos y la boca por unidad de flujo de aire. Puede medirse en un pletismógrafo corporal. (West, J. B. (2005)

### **3.7. Trabajo respiratorio:**

Trabajo respiratorio: es el trabajo necesario para superar la resistencia de la vía respiratoria y tisular de los pulmones y la pared torácica que se puede medir calculando la presión intrapleurales por volumen corriente. Otra manera de calcular indirectamente es a través de volumen corriente por frecuencia respiratoria. (West, J. B. (2005).

### **3.8. Función pulmonar.**

#### **3.8.1. Intercambio gaseoso:**

La respiración abarca todos los procesos involucrados en el transporte del oxígeno de la atmósfera a los tejidos corporales y la liberación y transporte del dióxido de carbono que los tejidos producen hacia la atmósfera. En el sistema respiratorio, existen dos vías: las vías respiratorias altas que se encuentran fuera de la cavidad torácica como las cavidades nasal y oral, faringe, laringe y tráquea y las vías respiratorias bajas, que se encuentran dentro de la cavidad torácica como los bronquios principales y bronquiolos. En los alvéolos ocurre el intercambio gaseoso dentro del pulmón. (Lawrence, H. (2020)).

### **3.9. Fisiología respiratoria:**

#### **3.9.1. Ventilación:**

Corresponde al volumen exhalado con cada respiración, esto se conoce como ventilación total o ventilación por minuto. (West, J. B. (2005).

#### **3.9.2. Volumen corriente:**

Es el volumen de gas que entra y sale de los pulmones en una respiración basal. (Francisco García, M. G. (2011).

#### **3.9.3. Volumen de reserva espiratorio:**

Es el volumen de gas adicional que se puede exhalar del pulmón tras espirar a volumen corriente. (Francisco García, M. G. (2011).

#### **3.9.4. Volumen de reserva inspiratorio:**

Representa el volumen adicional de gas que puede introducirse en los pulmones al realizar una inspiración máxima desde el volumen corriente. (Francisco García, M. G. (2011).

#### **3.9.5. Volumen residual:**

Corresponde al volumen de gas que permanece dentro del pulmón tras una espiración forzada máxima. (Francisco García, M. G. (2011).

#### **3.9.6. Ventilación voluntaria máxima:**

La ventilación voluntaria máxima (MVV) proporciona una estimación de las reservas ventilatorias disponibles para satisfacer las demandas fisiológicas del ejercicio.

### **3.9.7. Capacidad vital:**

Máximo volumen de gas pulmonar movilizable. Es la suma del volumen corriente y los volúmenes de reserva tanto inspiratoria como espiratoria. (Francisco García, M. G. (2011).

### **3.9.8. Volumen espiratorio forzado en el primer segundo:**

Volumen de aire expulsado durante el primer segundo por una espiración brusca, después de una inspiración forzada. (Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (1996)).

### **3.9.9. Relación VEF1/CVF:**

Es el cociente entre el volumen espiratorio forzado en el primer segundo y la capacidad vital. Indica si la persona tiene obstrucción al flujo de aire. (West, J. B. (2005).

### **3.9.10. Volumen máximo minuto:**

Volumen de aire movilizado durante un minuto de inspiración y espiración profunda. (Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (1996)).

## **3.10. Consumo de oxígeno:**

### **3.10.1. VO2 max:**

En relación al VO2max variable de importancia al momento de evaluar la tolerancia al esfuerzo de un sujeto, (Lee JY, et al. 2015 *The impact of firefighter personal protective equipment and treadmill protocol on maximal oxygen uptake*) declara que; generalmente se reconoce que un consumo máximo de oxígeno (VO2max) caracteriza los límites funcionales del sistema cardiovascular para transportar oxígeno del aire a los tejidos para satisfacer las necesidades aeróbicas del cuerpo. Es el mejor indicador fisiológico de la capacidad muscular para un trabajo sostenido; de este modo en dicho artículo se ejecuta un estudio de comparación del VO2max en bomberos según 3 formas de vestimenta bomberil distintas siendo estas ropa ligera, botas EPI con botas de goma y zapatos EPI con zapatillas para correr, donde son sometidos a 2 protocolos de entrenamiento físico distintos de ergoespirometría; PSP Y PIP (velocidad e inclinación progresiva). El cual concluye finalmente que con el uso de botas EPI, con botas de goma y zapatos EPI con zapatillas para correr presentaron reducciones en el tiempo de rendimiento de 7 a 6 min para el protocolo PIP y 11 a 9 min para el protocolo PSP. Además de la disminución del tiempo de rendimiento aproximadamente en 20%, también disminuyó el tiempo de rendimiento máximo en 35%; la tasa de crecimiento para alcanzar el VO2 max fue más alta lo que significa que además de durar menos tiempo durante el esfuerzo físico se alcanzó más rápido el máximo metabolismo aeróbico llevando a menor duración del trabajo por fatiga muscular prematura.

Otros autores en otras investigación han buscado comparar cómo se comporta el consumo de oxígeno en bomberos hombres versus bomberas mujeres donde se concluyó según protocolos de entrenamiento físico que no hay diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en sus parámetros fisiológicos para describir que las mujeres poseen una menor capacidad aeróbica y tolerancia al esfuerzo físico versus los hombres, en conclusión ambos sexos se ve mermado su rendimiento producto del uso de EPP y SCBA. 15% para ambos en los 2 protocolos de entrenamiento físico que se les aplicó. GTX ppe GXTpt. Dreger R. W. (2023). *Impact of fire protective equipment and the self-contained breathing apparatus on peak exercise in males and females.*

### **3.10.2. VO2 peak:**

El consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>máx), un concepto propuesto por primera vez por Hill et al. En 1923, se define como la máxima tasa de absorción y utilización de oxígeno por el cuerpo durante un ejercicio intenso y máximo, donde un aumento adicional en la intensidad del trabajo no genera un incremento adicional en el VO<sub>2</sub> (es decir, se alcanza una meseta). El pico de VO<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub> peak), que refleja directamente el VO<sub>2</sub>máx, es el valor más alto de VO<sub>2</sub> alcanzado durante una prueba de ejercicio incremental u otro ejercicio de alta intensidad, diseñada para llevar al sujeto al límite de su tolerancia. (Cade et al. (2018).

### **3.10.3. Umbrales ventilatorios:**

**3.10.3.1.** VT1: Umbral aeróbico o umbral ventilatorio 1. Es el primer momento en que la ventilación pierde la linealidad en su incremento respecto al VO<sub>2</sub> o carga de trabajo. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.10.3.2.** VT2: Umbral anaeróbico o umbral ventilatorio 2. Es la carga de trabajo o consumo de oxígeno del cual se comienza a instaurar un estado de acidosis metabólica y ocurren cambios asociados en el intercambio gaseoso. (Chicharro, J. L., 2013).

## **3.11. Regulación del intercambio gaseoso**

### **3.11.1. Adaptaciones fisiológicas al ejercicio:**

#### **3.11.1.1. Adaptaciones musculares agudas:**

Ocurre un aumento del reclutamiento de fibras musculares, priorizando las fibras rápidas (tipo II) en ejercicios de alta intensidad y además ocurre un incremento en la temperatura muscular y el metabolismo anaeróbico en esfuerzos intensos. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.11.1.2. Adaptaciones musculares crónicas:**

Se presenta una hipertrofia de las fibras musculares, especialmente en ejercicios de fuerza. También se incrementa la densidad mitocondrial y enzimática en fibras musculares tipo I (resistencia). Por último se presenta una mayor capacidad de almacenamiento de glucógeno y fosfocreatina. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.11.1.3. Adaptaciones metabólicas agudas:**

Se produce un incremento de la utilización de glucosa y ácidos grasos como fuente de energía. Además existe una mayor producción de lactato durante esfuerzos intensos. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.11.1.4. Adaptaciones metabólicas crónicas:**

Ocurre un incremento en la eficiencia del metabolismo aeróbico, con mayor oxidación de grasas durante el ejercicio. También una mejor tolerancia a la acidosis metabólica por mayor capacidad amortiguadora. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.11.1.5. Adaptaciones hormonales agudas:**

Se presenta un incremento de hormonas como la adrenalina, cortisol y glucagón para movilizar energía. Además se reduce la insulina en respuesta al ejercicio. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.11.1.6. Adaptaciones hormonales crónicas:**

Se produce una mejor sensibilidad a la insulina, favoreciendo la regulación glucémica y una regulación más eficiente de hormonas relacionadas con el estrés. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.11.2. Respuesta ventilatoria al ejercicio:**

**3.11.2.1. Adaptaciones respiratorias agudas:**

Ocurre un incremento de la ventilación pulmonar mediante un mayor volumen corriente y frecuencia respiratoria. También mejora el intercambio gaseoso en los alvéolos debido a la mayor demanda de oxígeno. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.11.2.2. Adaptaciones respiratorias crónicas:**

Se presenta el incremento de la capacidad vital y eficiencia ventilatoria. Se mejora la difusión de gases en la membrana alveolocapilar y sucede una mayor capacidad de tolerancia a acumulaciones de dióxido de carbono. (Chicharro, J. L., 2013).

**3.11.3. Respuesta cardiovascular al ejercicio:**

**3.11.3.1. Agudas:**

Durante el ejercicio, se observa un incremento del gasto cardíaco, que se debe al aumento tanto de la frecuencia cardíaca como del volumen sistólico. Además, el flujo sanguíneo se redistribuye hacia los músculos activos, mientras que disminuye en órganos como los riñones y el tracto digestivo. Este fenómeno también se acompaña de un incremento de la presión arterial sistólica. La respuesta cardiovascular varía dependiendo del tipo de ejercicio: en el ejercicio aeróbico, el aumento del flujo sanguíneo y el gasto cardíaco se mantiene durante más tiempo, mientras que en los ejercicios anaeróbicos, como el levantamiento de pesas, la respuesta es más transitoria, aunque puede ser más intensa en cuanto a la presión arterial. Tras finalizar el ejercicio, la recuperación cardiovascular implica una disminución progresiva de la frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco. La velocidad de esta recuperación depende del nivel de entrenamiento del individuo y de la intensidad del ejercicio realizado, siendo más rápida y eficiente en aquellos sujetos entrenados. (Chicharro, J. L., 2013).

#### **3.11.3.2. Crónicas:**

En primer lugar la hipertrofia del miocardio, especialmente en el ventrículo izquierdo (en deportistas de resistencia). Además el aumento del volumen sanguíneo total y de la densidad capilar en los músculos. De igual manera mejora de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y reducción de la frecuencia cardíaca en reposo. (Chicharro, J. L., 2013).

## **4. METODOLOGÍA.**

### **4.1. Objetivos.**

#### **4.1.1. Objetivo general.**

Explorar el efecto del uso de EPP en la función respiratoria en reposo y ante el esfuerzo maximal en voluntarios activos del cuerpo de bomberos de Viña del Mar.

#### **4.1.2. Objetivos específicos.**

- Evaluar capacidad de la musculatura inspiratoria mediante pimometría (PIM) en voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar con y sin uso de EPP.
- Evaluar la función pulmonar (VEF1, CVF, VEF1/CVF) mediante espirometría en voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar con y sin uso de EPP.
- Evaluar la respuesta respiratoria ante un ejercicio maximal en ergoespirometría en voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar con y sin uso de EPP.
- Comparar los resultados de uso y no uso de EPP, en cada una de las pruebas a voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar.

#### **4.1.3. Estudio y diseño.**

Esta investigación se realizará bajo un diseño de carácter experimental ya que se intervendrá en la función respiratoria de los bomberos a través del uso y no uso de EPP durante un esfuerzo físico maximal durante una prueba de ergoespirometría, con la finalidad de analizar los datos obtenidos y así, a través de un alcance correlacional generar conclusiones sobre lo anteriormente expuesto.

#### **4.1.4. Hipótesis de investigación.**

El uso de EPP genera un efecto de disminución en la función pulmonar en reposo (espirometría y pimometría), en bomberos activos del cuerpo de bomberos de Viña del Mar.

El uso de EPP genera un efecto de disminución en la función pulmonar en ejercicio maximal (ergoespirometría), en bomberos activos del cuerpo de bomberos de Viña del Mar.

#### **4.1.5. Población y Muestra.**

La población seleccionada son el cuerpo de bomberos de Viña del Mar, que consiste en nueve compañías, con un total de 488 bomberos, por lo tanto al calcular el tamaño muestral considerando un 5% de error y un nivel de confianza al 95%, se obtiene que el tamaño muestral corresponde 216 voluntarios según la plataforma de cálculo muestral "STATS".

En cuanto a los criterios de inclusión para la muestra son; ser bombero activo de la compañía, que tengan entre 20 y 50 años y se aceptan tanto hombres como mujeres. Por otro lado, los criterios de exclusión, son en un primer lugar, una alteración en los parámetros normales de signos vitales, patologías crónicas no controladas (HTA, HTP, DMI), cirugía de tórax reciente, angina inestable, IAM, miocarditis, neumotórax reciente, fractura reciente de costillas, lesión ocular reciente, microembolias pulmonares, tinnitus entre otras detalladas a continuación.

**4.1.6.** Tabla criterios de inclusión.

<b>Criterios de inclusión.</b>	
Ser bombero activo	
Edad entre 20 a 30 años	
Firma del consentimiento informado.	
Bombero capaz de costear el traslado a la universidad para realizar las pruebas necesarias.	
Sin comorbilidad conocida.	

**4.1.7.** Tabla criterios de exclusión.

<b>Criterios de exclusión.</b>	
Alteración parámetros normales de signos vitales	Fractura costal reciente
Hipertensión arterial no controlada	Lesión ocular reciente
Diabetes mellitus no controlada	Microembolias pulmonares
Hipertensión pulmonar	Tinnitus
Cirugía de torax reciente	Neumotórax reciente
Angina inestable	Miocarditis
Infarto agudo al miocardio	Asma no controlada
Arritmias no controladas	Insuficiencia renal

Epilepsia	Falta de comprensión o colaboración con la realización del examen
<p><i>Los rangos de seguridad para los signos vitales en reposo son: PA 139/89 máximo, FC 100 lpm máximo Saturación mayor a 94%</i></p>	

#### 4.1.8. Tabla motivos de detención de las pruebas.

<b>Motivos de detención de las pruebas.</b>	
Disnea central y/o fatiga MMII	Visión borrosa
Claudicación	Síncope
Mareos y náuseas	Descompensación excesiva de los signos vitales
Angina de pecho	Palidez
Cianosis	Petición del participante
<p><i>Signos vitales: Presión arterial &gt; 250/120 mmHg, Saturación &lt; 80%,</i></p>	

#### 4.2. Definición de variables.

**Uso de equipo de protección personal:** Variable independiente, el cual consta de máscara, cilindro, tuerca de conexión al cilindro, arnés, dispositivo URC, abrazadera de cilindro, Módulo Control (Dispositivo pass), botas de armado rápido, pantalón, jardinera, esclavina, chaqueta, casco, guantes estructurales, linterna y radio. Los participantes asistirán con su equipo de protección personal en la segunda sesión para determinar de qué manera afecta a los resultados de las pruebas de laboratorio. (© 2015, Academia Nacional de Bomberos de Chile Avda. Bustamante 086, Providencia, Santiago, Chile.)

**Presión inspiratoria máxima (PIMax):** Variable dependiente, corresponde a la fuerza máxima que es capaz de realizar la musculatura inspiratoria siendo principalmente el diafragma, objetivada a través de la ejecución de pimometrías. (Schoser, B. et al., 2017). (Carla, A. et al., 2017)

**Volumen espiratorio forzado al 1er segundo (Vef-1):** Variable dependiente, corresponde al volumen de aire espirado abruptamente en el primer segundo después de haber llegado a capacidad pulmonar total; objetivada a través de la ejecución de espirometría. (West, J. B. 2005). (Daniela, R., 2019).

**Capacidad vital forzada (Cvf):** Variable dependiente, corresponde al volumen de aire movilizado durante una espiración abrupta desde de una inspiración máxima hasta la espiración completa (CR), dicha capacidad corresponde a la suma de los volúmenes VRI, VRE y Vt; objetivada a través de la ejecución de espirometría. (West, J. B. 2005). (Daniela, R., 2019).

**Relación entre volumen espiratorio forzado al 1er segundo y la capacidad vital forzada (Vef1/Cvf):** Variable dependiente, corresponde al volumen exhalado en un determinado momento en relación a cuánto volumen pulmonar permanece aún dentro de los pulmones; objetivada a través de espirometría. (Daniela, R., 2019).

**Consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx):** Variable dependiente, corresponde a la cantidad máxima de oxígeno que el organismo utiliza por unidad de tiempo y refleja el nivel metabólico aeróbico del individuo frente a un esfuerzo físico maximal; objetivado a través de ergoespirometría. (Mónica, Z. et al., 2020). (Chambers DJ. et al., 2019).

**Cociente respiratorio (RER):** Variable dependiente, corresponde a la relación entre el volumen de dióxido de carbono producido y el volumen de oxígeno consumido en los tejidos corporales lo cual entrega información acerca de cuál es el principal sustrato metabólico usado durante un esfuerzo físico en un determinado momento; objetivado a través de ergoespirometría. (Mónica, Z. et al., 2020).

**Slope o equivalente ventilatorio de CO<sub>2</sub> (VE/VCO<sub>2</sub>):** Variable dependiente, corresponde a la relación entre la ventilación por minuto (VE) y la eliminación de CO<sub>2</sub> en un determinado momento; objetivado a través de ergoespirometría. (Mónica, Z. et al., 2020).

**Slope o equivalente ventilatorio de O<sub>2</sub> (Ve/vo<sub>2</sub>):** Variable dependiente, corresponde a la relación entre la ventilación minuto (VE) y el consumo de O<sub>2</sub> en un determinado momento; objetivado a través de ergoespirometría. (Mónica, Z. et al., 2020).

**Frecuencia cardiaca máxima (FCmax):** Variable dependiente, la FCmax es un límite teórico que corresponde al máximo de pulsaciones que el paciente alcanza en una prueba ergométrica de esfuerzo (PEG). Esta FCmax varía con la edad y el género y se han propuesto diversas ecuaciones. (Miragaya y magri<sup>2</sup>, 2016)

**Frecuencia cardiaca de reserva (FCr):** Variable dependiente, se define como la diferencia entre la capacidad en reposo o de referencia y la capacidad máxima. (DeMott et al., 2024)

**Frecuencia cardiaca (Fc):** Variable dependiente, corresponde al número de latidos cardiacos en un minuto.

**Frecuencia respiratoria (Fr):** Variable dependiente, corresponde al número de ciclos respiratorios en un minuto.

**Trabajo (W):** Corresponde a la carga de trabajo a la cual se encuentra sometido el participante durante un determinado momento, lo que se traduce en cuan intensa está siendo la prueba de esfuerzo cardiopulmonar; objetivado a través de ergoespirometría. (Mónica, Z. et al., 2020).

**Ventilación (VE):** Variable dependiente, corresponde al volumen de aire movilizado en un determinado momento siendo el producto de la frecuencia respiratoria y el volumen corriente; Objetivado a través de ergoespirometría.

**Volumen tidal o corriente (Vt):** Variable dependiente, corresponde al volumen de aire movilizado a través de un ciclo respiratorio de manera no forzada; Objetivado a través de ergoespirometría.

**Consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>):** Cantidad de oxígeno utilizado para el metabolismo celular aeróbico en conjunto a sustratos energéticos , en un determinado momento; objetivado a través de ergoespirometría.

**Producción de dióxido de carbono (VCO<sub>2</sub>):** Variable dependiente, corresponde a la cantidad de dióxido de carbono producida como consecuencia del metabolismo celular, en un determinado momento; objetivada a través de ergoespirometría.

A continuación se presenta una tabla con la definición y la operacionalización de las variables consideradas en este estudio.

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición</b>	<b>Operacionalización</b>
<b>E.P.P</b>	-	Máscara, cilindro, tuerca de conexión al cilindro, arnés, dispositivo URC, abrazadera de cilindro, Módulo Control (Dispositivo pass), botas de armado rápido, pantalón, jardinera, esclavina, chaqueta, casco, guantes estructurales, linterna y radio.	Los participantes asistirán con su equipo de protección personal en la segunda sesión para determinar de qué manera afecta a los resultados de las pruebas de laboratorio.
<b>PIMax</b>	CmH <sub>2</sub> O	Fuerza máxima que es capaz de realizar la musculatura inspiratoria siendo principalmente el diafragma.	Pimometría, donde el participante en sedente, con una pinza nasal y el dispositivo en su boca deberá tomar aire fuerte y rápido.
<b>VEF-1</b>	L	Volumen de aire exhalado en un determinado momento en relación a cuánto volumen pulmonar permanece aún dentro de los pulmones.	Espirometría, donde el participante en sedente, con una pinza nasal y el dispositivo en su boca deberá en distintos momentos tomar aire grande y rápido, mantener y botar fuerte y rápido y sostenido.
<b>CVF</b>	L	Volumen de aire movilizado durante una espiración abrupta desde de una inspiración máxima hasta la espiración completa.	Espirometría, donde el participante en sedente, con una pinza nasal y el dispositivo en su boca deberá en distintos momentos tomar aire grande y rápido, mantener y botar fuerte y rápido y sostenido.
<b>VEF1/CVF</b>	%	Volumen de aire exhalado en un determinado momento en relación a cuánto volumen pulmonar permanece aún dentro de los pulmones.	Espirometría, donde el participante en sedente, con una pinza nasal y el dispositivo en su boca deberá en distintos momentos tomar aire grande y rápido, mantener y botar fuerte y rápido y sostenido.

<b>VO<sub>2</sub>máx</b>	L/min	Cantidad máxima de oxígeno que el organismo utiliza por unidad de tiempo y refleja el nivel metabólico aeróbico del individuo frente a un esfuerzo físico maximal.	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>RER</b>	-	Relación entre el volumen de dióxido de carbono producido y el volumen de oxígeno consumido en los tejidos corporales lo cual entrega información acerca de cuál es el principal sustrato metabólico usado durante un esfuerzo físico en un determinado momento.	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>Trabajo</b>	W	Carga de trabajo a la cual se encuentra sometido el participante durante un determinado momento	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>Ve/Vco<sub>2</sub></b>	-	Relación entre la ventilación por minuto (VE) y la eliminación de CO <sub>2</sub> en un determinado momento..	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>Ve/Vo<sub>2</sub></b>	-	Relación entre la ventilación minuto (VE) y el consumo de O <sub>2</sub> en un determinado momento.	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).

<b>VE</b>	L/min	Volumen de aire movilizado en un determinado momento siendo el producto de la frecuencia respiratoria y el volumen corriente.	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>Vt</b>	ml	Volumen de aire movilizado a través de un ciclo respiratorio de manera no forzada.	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>VO<sub>2</sub></b>	L/min	Cantidad de oxígeno utilizado para el metabolismo celular aeróbico en conjunto a sustratos energéticos , en un determinado momento.	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>VCO<sub>2</sub></b>	L/min	Cantidad de dióxido de carbono producida como consecuencia del metabolismo celular, en un determinado momento.	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>FC</b>	Lpm	Número de latidos cardiacos en un minuto	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx. 20 min).
<b>FR</b>	Rpm	Número de ciclos respiratorios en un minuto.	Ergoespirometría, donde el participante deberá subir a la cinta sin fin con una mascarilla en su boca y deberá caminar a medida que aumenta la inclinación cada minuto (máx.

			20 min).
<b>FCr</b>	Lpm	Diferencia entre la capacidad en reposo o de referencia y la capacidad máxima.	Resta entre la Fcmax y FCr.
<b>FCmax</b>	Lpm	Frecuencia cardiaca máxima alcanzada en el test maximal.	Ergoespirometría.

#### 4.3. Co-variables de caracterización de la muestra:

Edad, hábito tabáquico, peso, talla.

#### 4.4. Instrumentos y Materiales.

##### Instrumentos (equipos) a utilizar:

Para obtener los valores antropométricos que corresponden a; altura, peso y circunferencia de cintura, se utilizará el tallímetro telescópico SECA, balanza mecánica SECA 700 y una cinta métrica respectivamente.

En cuanto a la recolección de signos vitales, se obtuvo la presión arterial mediante un esfigmomanómetro Aneroid Adc 760, la saturación de oxígeno con el oxímetro de pulso adulto Choicemmed MD330c2. En cuanto a las pruebas de función pulmonar; para obtener la presión inspiratoria máxima se utilizó el pimómetro electrónico KH2 POWERbreathe, y para obtener el valor del volumen espiratorio máximo en el primer segundo se utilizó el espirómetro digital, por último, se hizo uso de un ergoespirómetro para evaluar la tolerancia del sujeto ante un esfuerzo máximo.

El equipamiento de protección personal (EPP) de bomberos consta de una máscara, cilindro, tuerca de conexión al cilindro, arnés, dispositivo URC, abrazadera de cilindro, módulo de control (dispositivo pass) botas de arado rápido, pantalón, jardinera, esclavina, chaqueta, botas estructurales, guantes estructurales, casco, linterna y radio.

#### 4.5. Procedimiento.

Las pruebas de campo de este proyecto se llevaron a cabo en la Facultad de Medicina de la Universidad de Valparaíso, en el laboratorio 7.15, que corresponde al laboratorio de ergoespirometría. En primer lugar, se firmó el consentimiento informado, posterior a esto se recopilaron los datos personales de la persona a través del dialogo con el participante, como el nombre completo, fecha de nacimiento, edad, sexo, peso, talla, y

si es fumador o no. Además, estos datos son necesarios para el ingreso de la persona en los software de las pruebas de función pulmonar. Seguido de esto y previo al comienzo de las pruebas se miden los signos vitales de cada participante, que incluye; frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, presión arterial y saturación de oxígeno, esto para saber si sus parámetros fisiológicos en reposo se encuentran dentro del rango de normalidad y poder comenzar con las pruebas de manera segura. Por último, se miden los valores antropométricos, que son la talla, peso, perímetro de cintura y perímetro de cadera del bombero.

En la primera vez que son citados, todas las pruebas se realizaron sin el uso del equipo de protección personal y el valor obtenido es el basal para cada una de las tres pruebas. La primera prueba a realizar es la pimometría, seguido de esto, se realiza la segunda prueba que es la espirometría y por último la tercera prueba, que es la ergoespirometría.

#### **Primera citación:**

- **Se inicia con las indicaciones previas al bombero para realizar las pruebas de pimometría y espirometría.**
  - Para realizar estas pruebas, se le pide a la persona que se siente sin apoyarse en el respaldo de la silla, que mantenga sus caderas, rodillas y tobillos en 90°. Se le solicita que se retiren las cadenas, anillos, aros y piercings, y que se tome el cabello. Además, se debe posicionar la mano del terapeuta en el hombro para coordinarse con el movimiento de la respiración y para evitar la flexión de tronco de la persona.

Luego de tomar los signos vitales y valores antropométricos se procede a empezar las pruebas.

#### **1. Pimometría:**

- **Indicaciones para la realización de la prueba.**
  - En primer lugar, se educó al participante respecto al objetivo de la prueba, que es medir la fuerza con la que puede usted tomar aire y se realiza utilizando pinza nasal, entonces se le pide primero 2 ciclos respiratorios profundos y al tercero se le pide que bote todo el aire que tiene en los pulmones, luego de esto, que posicione el dispositivo en la boca, con la lengua bajo la boquilla y sellando bien con los labios, para realizar una inspiración lo más fuerte y rápido que pueda, a su esfuerzo máximo, y que lo mantenga por 3 segundos. Esta prueba se realiza un mínimo de 3 veces para que sea confiable y válida. Se le comenta a la persona que el dispositivo ofrece un poco de resistencia y que durante la prueba el

terapeuta va a elevar su tono de voz para entregar las indicaciones durante la prueba.

## **2. Espirometría:**

### **● Indicaciones para la realización de la prueba**

- Se le explica al participante que la espirometría se utiliza para conocer su función respiratoria con respecto a flujos, volúmenes y capacidades pulmonares. Al empezar la prueba, en primera instancia se debe posicionar la pinza nasal en la nariz de la persona y luego se coloca la boquilla del dispositivo en la boca del bombero, con la lengua por debajo, los dientes rodeando y sellando con los labios para que no se escape el aire, desde esta posición se le solicita al voluntario que realice 3 ciclos respiratorios a su ritmo, luego exhale todo el aire de sus pulmones para a continuación realizar una inspiración honda, seguida de una espiración fuerte, rápida y mantenida durante 6 segundos, una vez pasado este tiempo, se vuelve a solicitar una inspiración honda.

## **3. Ergoespirometría:**

### **● Indicaciones previas al bombero para realizar la prueba de ergoespirometría.**

- Para realizar esta prueba, se le comunica al bombero que utilizará una máscara, y se le indica que debe retirarse las cadenas, anillos, aros y piercings, además de tomarse el cabello.

### **● Indicaciones para la realización de la prueba**

- Esta prueba aplica el protocolo de Balke en una treadmill, es una prueba incremental que consiste en el mantenimiento de una velocidad constante (5.3 km/h) y la programación de incrementos de pendiente (entre el 1% por minuto) hasta alcanzar la presencia de síntomas limitantes que detengan la prueba (tabla 2) generando un descenso del tapiz a 0% de inclinación, promoviendo 3 minutos de caminata y así promover una recuperación estable al sujeto, previniendo posibles descompensaciones por el esfuerzo realizado.

## **Preparación del paciente**

- Instruir al paciente para que no tome café, alcohol o fume desde tres horas antes de la realización de la prueba.
- No debe hablar con la máscara puesta para poder realizar la prueba
- Debe informar con una señal indicada previamente por el kinesiólogo a cargo, para cuando sienta que no puede seguir, para así detener la prueba.

- Se recomienda evitar la actividad física intensa o el ejercicio inusual en las doce horas anteriores
- Llevar ropa confortable y el calzado cómodo
- Firmar el consentimiento informado

### **Realización de la prueba:**

Durante la prueba se monitorizaron Fr, Ve, Vt, Vt1, Vt2, VO<sub>2</sub>peak, Trabajo (W) y Tiempo (T).

Inmediatamente al término de la prueba se procede a tomar signos vitales (Frecuencia cardiaca, pulso, oximetría de pulso), luego se volverá a realizar al primer minuto, al segundo minuto y al tercer minutos, para así poder calcular el índice de recuperación cardiaca del sujeto.

### **Segunda citación**

- **Indicaciones**

Se realiza el mismo procedimiento pero en esta ocasión con el uso de EPP, partiendo por la toma de datos, signos vitales y valores antropométricos, se le solicita al voluntario que se vista con su uniforme completo y equipo de protección personal con todos sus implementos. Además se le vuelve a recordar al voluntario las indicaciones para realizar las pruebas de pimometría y espirometría y ergoespirometría, Para finalizar se toman los signos vitales nuevamente una vez finalizadas las pruebas y se solicita el correo electrónico del sujeto para el envío de los resultados con el análisis e interpretación del kinesiólogo Daniel Ponce, una vez finalizada esta etapa la persona puede retirarse.

## 5. RESULTADOS

La muestra final utilizada en este estudio corresponde a 8 bomberos, 7 de ellos son hombres y 1 es mujer, ya que se realizó una limpieza de la muestra, descartando a un sujeto de la muestra inicial (9 bomberos), con el objetivo de eliminar los datos atípicos o extremos entregados por el sujeto en cuestión.

**Tabla 1. Descripción de la muestra total del estudio.**

<b>Variable</b>	<b>Promedio y DE</b>
Edad	26 ± 5,6
Altura (cm)	176,7 ± 6,6
Peso (kg)	80,2 ± 13,8
IMC	26 ± 4,2

En cuanto al análisis estadístico, se determinó mediante el test de normalidad de Shapiro-wilk que el comportamiento de las variables es no normal, por ende, se utiliza la prueba no paramétrica de los signos de wilcoxon para realizar la comparación de medias entre variables.

### 5.1. Pimometría.

Para realizar el análisis estadístico de la prueba de pimometria se eliminó al sujeto femenino de la muestra, quedando la muestra conformada por los 7 sujetos masculinos restantes, esto porque el sexo es una variable de relevancia al momento de establecer los valores de referencia en pimometria.

A continuación se presentan la media, la desviación estándar obtenidos en la prueba de pimometría en hombres junto con el p- valor correspondiente, el cual indica que la diferencia de la prueba realizada sin EPP y con uso de este, no es estadísticamente significativa. En cuanto a los valores promedios, estos se encuentran dentro de la normalidad según la ecuación de Black y Hyatt que establece valores de referencia para pimometria según edad y sexo.

Tabla 2: Resultados de la prueba de pimometría según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
Pimometría	151 ± 30,4 cmH2O	145 ± 25,1 cmH2O	0,1071

## 5.2. Espirometría.

En cuanto a la espirometría, en la siguiente tabla se visualiza la media y desviación estándar junto con el el p-valor correspondiente, según este, se concluye que no hay diferencias estadísticamente significativas en ni una de las variables.

Tabla 3: Resultados de la prueba de espirometría según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-Valor
CVF	6 ± 1	6 ± 0,8	0,5754
VEF1	4,7 ± 0,7	4,6 ± 0,6	0,5754
VEF1/CVF	78 ± 4,4	77,8 ± 5	0,774

## 5.3. Ergoespirometría.

Es importante realizar la prueba de ergoespirometría, ya que, aplicando un ejercicio maximal, mide la tolerancia al esfuerzo y se obtienen los datos de reposo, umbrales y consumo máximo de oxígeno, que son las diferentes fases de las variables aplicadas en el estudio de función pulmonar de los bomberos, tanto con EPP como sin EPP, permitiendo comparar los datos obtenidos.

Los resultados de la prueba de Ergoespirometría se presentan divididos según el umbral a analizar. En la siguiente tabla se visualiza la media, la desviación estándar obtenidos en la prueba de ergoespirometría en reposo, sin uso de EPP y con el uso de este, y el p-valor correspondiente.

Tabla 4: Resultados de la prueba de Ergoespirometría en reposo según el uso y no uso de EPP en bomberos.

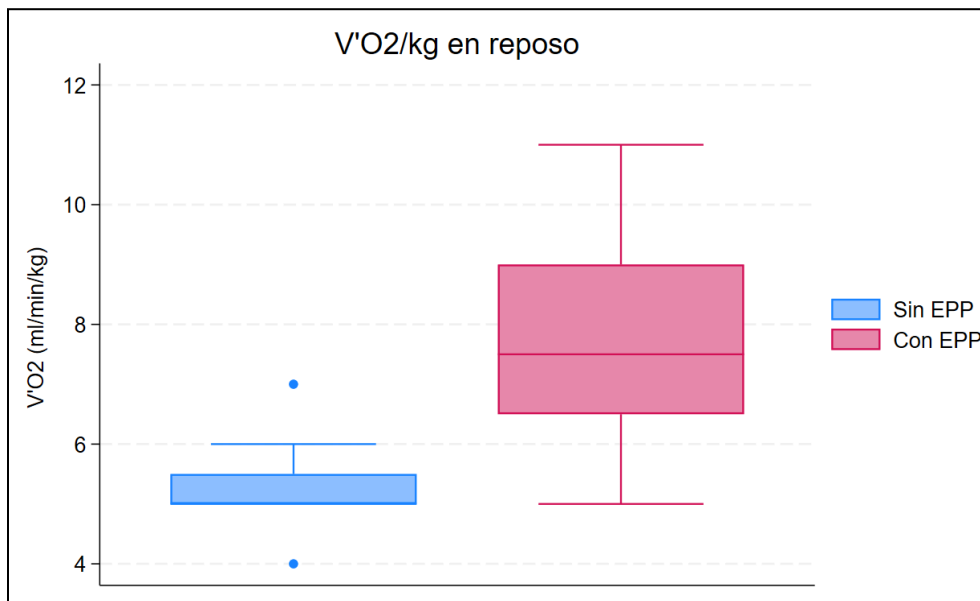
Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
V'O2/kg	5,3 ± 0,9	7,8 ± 1,9	0,0134*
V'E	12,1 ± 1,4	18,8 ± 5,4	0,0173*

VT	1 ± 0,3	1 ± 0,2	0,8332
FR	13 ± 2,3	19,5 ± 6,2	0,0391*

\*P-valor<0,05

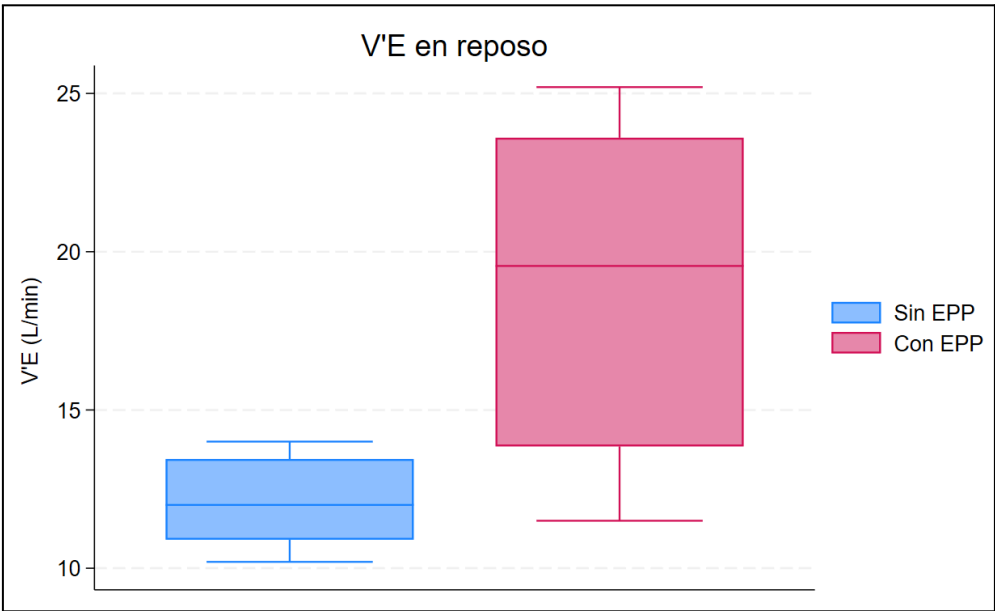
En las variables de  $V'O_2/kg$ ,  $V'E$  y  $Fr$ , existen diferencias estadísticamente significativas en la comparación del uso y no uso de EPP en estado de reposo, las variables son graficadas a continuación.

Gráfico 1:  $V'O_2/kg$  en reposo.



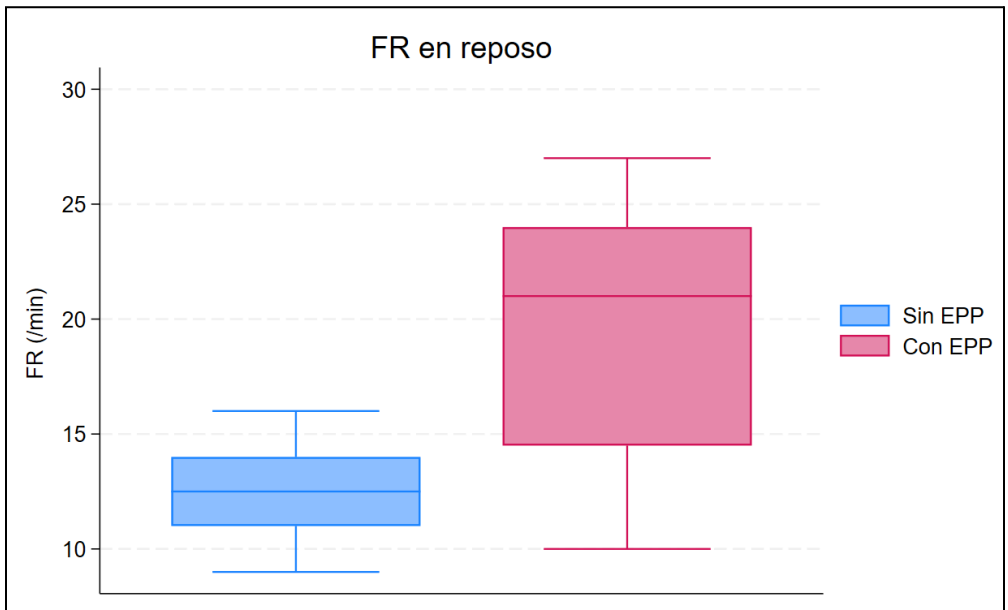
Se puede ver que se presentan diferencias estadísticamente significativas en  $V'O_2/kg$  en reposo sin EPP y con EPP.

Gráfico 2: V' E en reposo.



Se puede ver que se presentan diferencias estadísticamente significativas en V' E en reposo sin EPP y con EPP.

Gráfico 3: FR en reposo.



Se puede ver que se presentan diferencias estadísticamente significativas en FR en reposo sin EPP y con EPP.

### 5.3.1 Resultados en VT1:

En el caso del umbral VT1, a continuación se presentan los datos obtenidos.

Tabla 5: Resultados de la prueba de ergoespirometría en umbral VT1 según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
V'O <sub>2</sub> /Kg	26 ± 3,8	27,5 ± 3,6	0,066
V'E	48,4 ± 9,3	52,8 ± 5	0,1235
VT	2,5 ± 0,5	2,4 ± 0,4	0,5754
FR	20,3 ± 4,7	22,4 ± 2,7	0,1552

Al realizar un análisis de la media y desviación estándar, sin y con EPP y considerando el p-valor se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas.

En cuanto a la carga relativa en la cual ocurre el umbral VT1 sin EPP y con EPP, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6: Resultados de la carga relativa en VT1 según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
W relativa	1,9 ± 0,3	1,7 ± 0,2	0,1065

Si bien VT1 ocurre antes con el uso de EPP la diferencia no es estadísticamente significativa.

### 5.3.2 Resultados en VT2:

En el caso del umbral VT2, a continuación se presentan los datos obtenidos.

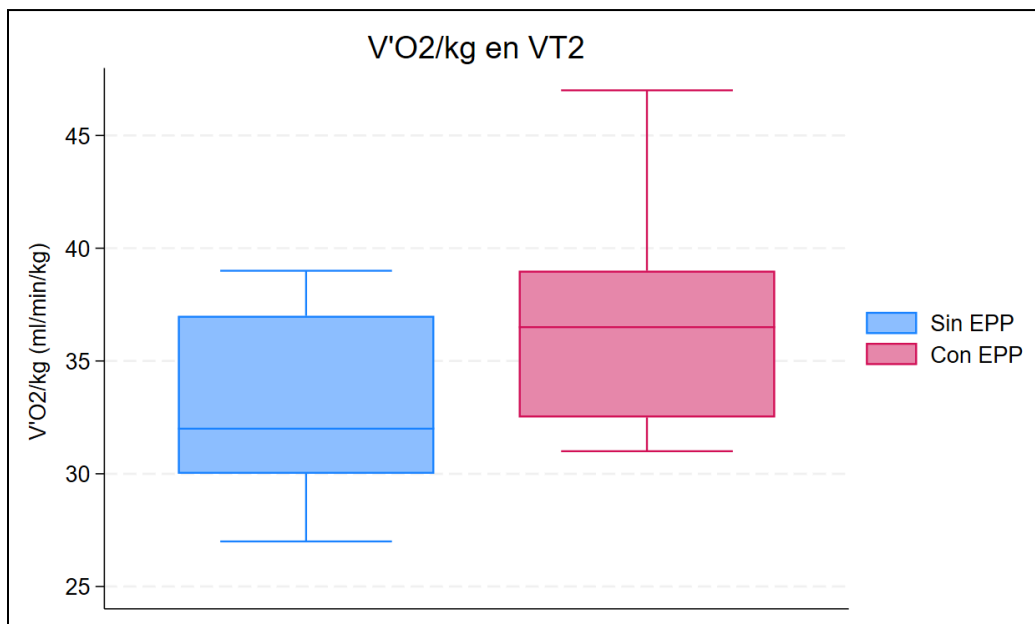
Tabla 7: Resultados de la prueba de ergoespirometría en umbral VT2 según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
V'O <sub>2</sub> /Kg	33 ± 4,5	36,8 ± 5,2	0,0244*
V'E	78,7 ± 16,5	99,5 ± 19,3	0,073
VT	2,7 ± 0,4	2,6 ± 0,4	0,327
FR	28,9 ± 3,8	38,6 ± 8,4	0,0234*

\*P-valor<0,05

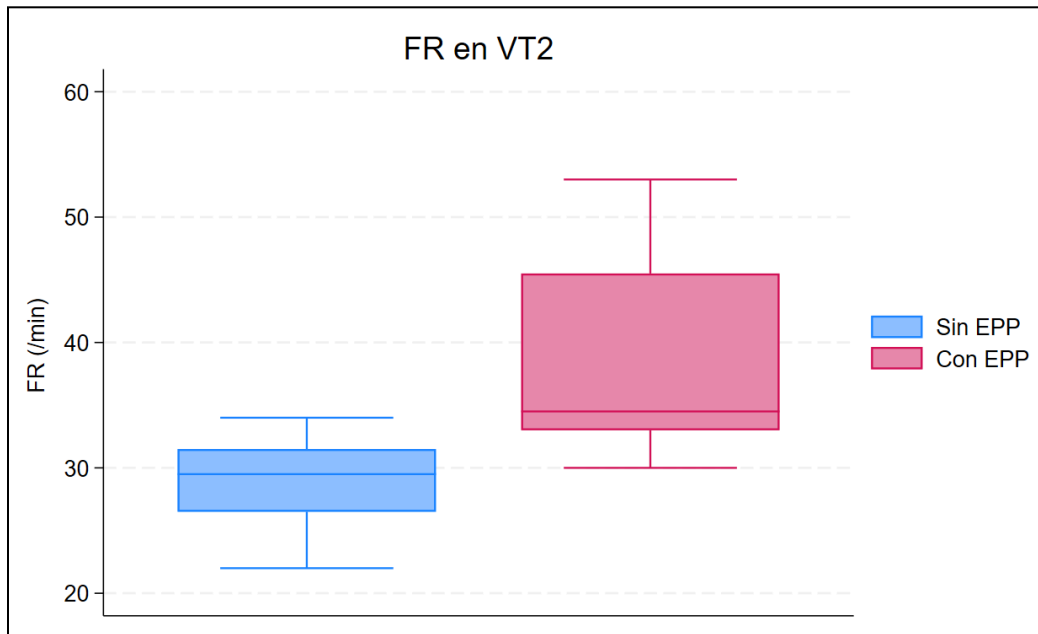
Al realizar un análisis de la media y desviación estándar, considerando el p-valor, se concluye que encontramos diferencias estadísticamente significativas en las variables de V'O<sub>2</sub>/kg y FR. Cabe destacar que la ventilación se ve aumentada en VT2, pero esto sin ser una diferencia estadísticamente significativa.

Gráfico 4: V'O<sub>2</sub>/kg (ml/min/kg) en umbral VT2.



Se puede ver que se presentan diferencias estadísticamente significativas en V'O<sub>2</sub>/kg (ml/min/kg) en umbral VT2 sin EPP y con EPP.

Gráfico 5: FR en umbral VT2.



Se puede ver que se presentan diferencias estadísticamente significativas en FR en umbral VT2 sin EPP y con EPP.

La carga relativa a la cual ocurre VT2 sin uso y con uso de EPP son visualizadas en la siguiente tabla.

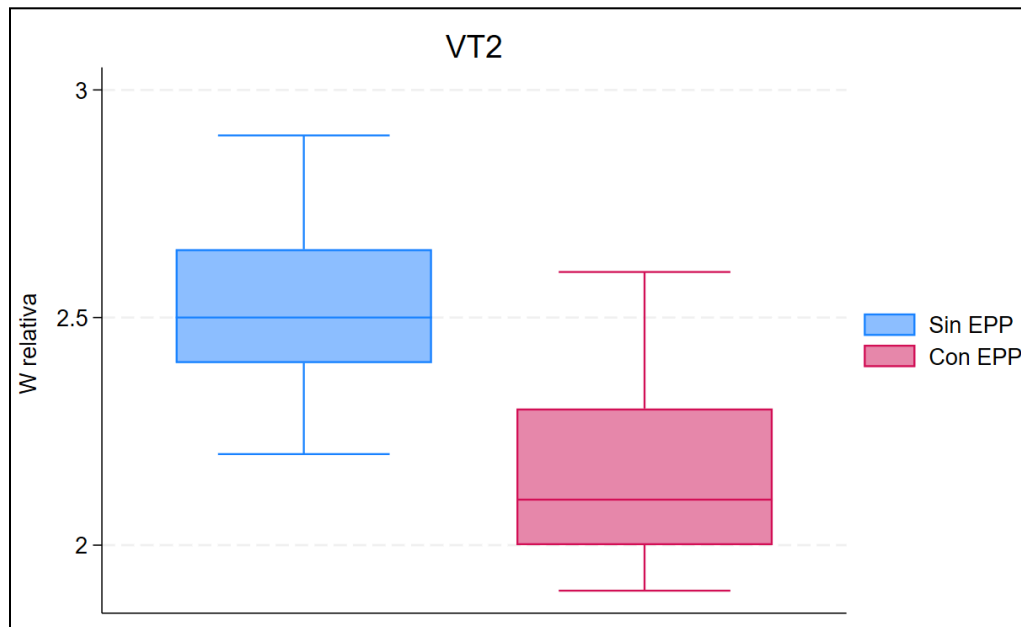
Tabla 8: Resultados de la carga (W) relativa en VT2 según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
W relativa	2,5 ± 0,2	2,2 ± 0,2	0,0206*

\*P-valor<0,05

Existe una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la carga correlacionada con el momento de aparición del umbral VT2 con el uso de EPP, ya que la persona alcanza el umbral de VT2 a una menor carga, comparando con el no uso de EPP.

Gráfico 6: Carga relativa (W) en umbral VT2.



Se puede ver que se presentan diferencias estadísticamente significativas en carga relativa (W) en umbral VT2 sin EPP y con EPP.

### 5.3.3 Resultados en VO<sub>2</sub>peak:

En el caso del VO<sub>2</sub>peak, al realizar un análisis de la media y desviación estándar, y considerando el p-valor, se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 9: Resultados de la prueba de ergoespirometría en umbral VO<sub>2</sub>peak según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
Vo <sub>2</sub> /Kg	39.5 ± 7,3	39,3 ± 7.3	0,725
VE	111,7 ± 22,6	118,8 ± 19,1	0,4008
VT	2,8 ± 0,4	2,7 ± 0,4	0,2812
FR	39,5 ± 5,9	44,4 ± 3,9	0,068

Los datos obtenidos de la carga relativa en VO<sub>2</sub>peak se presentan en la tabla a continuación.

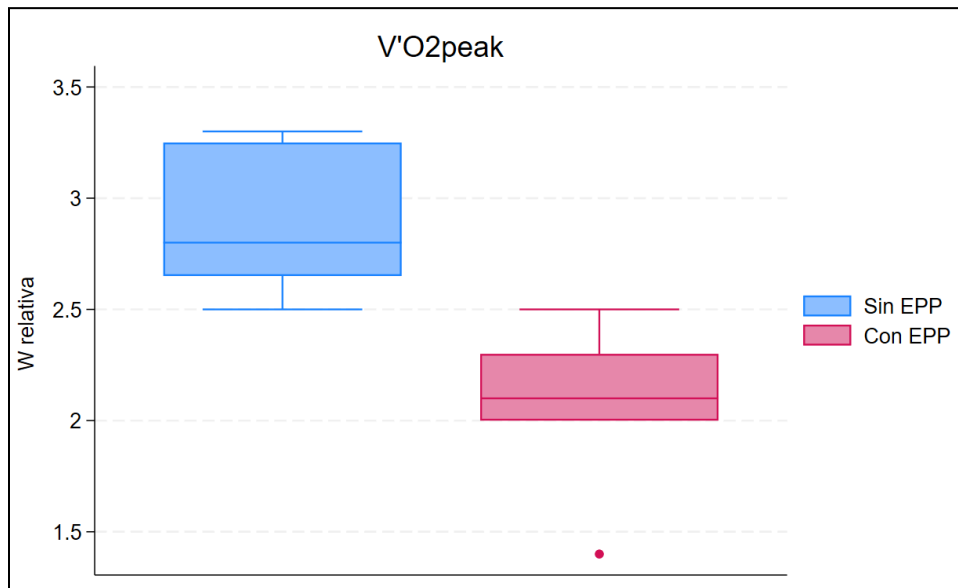
Tabla 10: Resultados de la carga (W) relativa en VO<sub>2</sub>peak según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
W relativa	2,9 ± 0,3	2,1 ± 0,3	0,0116*

\*P-valor<0,05

Se puede decir entonces, que existe una diferencia estadísticamente significativa respecto a la carga relativa en VO<sub>2</sub>peak, con el uso de EPP y sin el uso de EPP. Sin el uso de EPP se alcanzaron cargas relativas más altas en comparación con el uso de EPP en el cual se alcanzan cargas más bajas.

Gráfico 7: Carga relativa (W) en umbral VO<sub>2</sub>peak



Se puede ver que se presentan diferencias estadísticamente significativas en carga relativa (W) en umbral VO<sub>2</sub>peak sin EPP y con EPP.

#### 5.3.4 Resultados en V'E(V'CO<sub>2</sub>) slope.

En la siguiente tabla se visualiza la media, la desviación estándar y el p-valor de V'E(V'CO<sub>2</sub>) slope obtenidos.

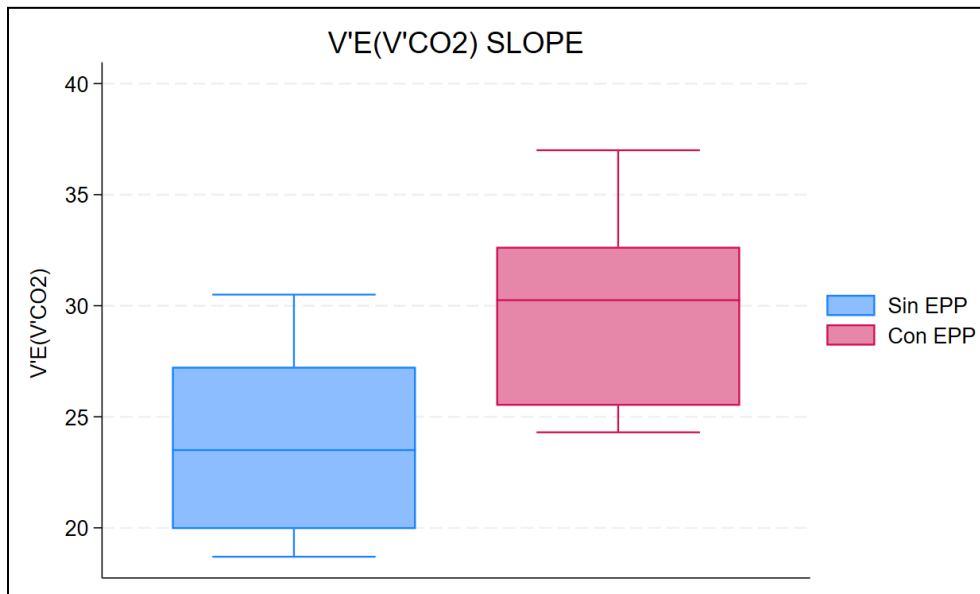
Tabla 11: Resultados de V'E(V'CO<sub>2</sub>) Slope según el uso y no uso de EPP en bomberos.

Variable	Promedio y DE Sin EPP	Promedio y DE Con EPP	P-valor
V'E(V'CO <sub>2</sub> )	23,8 ± 4,3	29,8 ± 4,4	0,0117*

\*P-valor<0,05

El V'E(V'CO<sub>2</sub>) Slope en sujetos sin EPP y con este, muestra diferencias estadísticamente significativas, esto quiere decir que la ventilación en relación a la producción de CO<sub>2</sub> es significativamente mayor en sujetos con EPP, por lo que requiere aumentar más la ventilación ya que esta es menos eficiente

Gráfico 8: V'E(V'CO<sub>2</sub>) Slope en VO<sub>2</sub>peak.



Se puede ver que se presentan diferencias estadísticamente significativas en V'E(V'CO<sub>2</sub>) Slope en VO<sub>2</sub>peak sin EPP y con EPP.

## 6. DISCUSIÓN

**Reflexión:** Si bien hay estudios y evidencia acerca del efecto del uso de EPP sobre el rendimiento físico de bomberos alrededor del mundo, la gran mayoría de ellos solamente se limitan a estudiar y mencionar que efectivamente la capacidad de ejercicio físico de los bomberos se encuentra disminuida en variables más globales o generales como por ejemplo tiempo, fuerza o trabajo, distancias, entre otras al momento de ser evaluados mediante protocolos y pruebas de rendimiento físico, pero es muy reducida o casi nula la evidencia acerca del impacto del uso de EPP específicamente evidenciado en la función pulmonar ni mucho menos con un análisis fisiológico cardiovascular, respiratorio y metabólico a su vez biomecánico postural.

### **Pimometría y Espirometría:**

Respecto a los objetivos específicos de esta investigación correspondientes a:

- Evaluar capacidad de la musculatura inspiratoria mediante pimometría (PIM) en voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar con y sin uso de EPP.
- Evaluar la función pulmonar (VEF1, CVF, VEF1/CVF) mediante espirometría en voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar con y sin uso de EPP.
- Comparar los resultados de uso y no uso de EPP, en cada una de las pruebas a voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar.

Podemos evidenciar lo siguiente; en las pruebas de función pulmonar, espirometría y pimometría con y sin EPP no existen diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables Pimax por parte de la pimometría, Vef-1, CVF y Vef-1/CVF por parte de la espirometría, esto nos indica que la función pulmonar de manera basal, es decir, en reposo no se ve alterada; lo anteriormente mencionado se podría deber al hecho de que estas pruebas son más pasivas en comparación a la ergoespirometría donde no se solicita la activación de musculatura postural, solo el diafragma en el caso de la pimometría; y para justificar la espirometría al no presentar alteraciones con el uso de EPP esto nos indica que el uso del EPP no interviene de manera obstructiva en las vías respiratorias de los participantes como por ejemplo lo hace las patologías de Asma o EPOC. En cambio en las variables de la prueba de tolerancia al esfuerzo (ergoespirometría) si se evidencian cambios significativos que serán tratados a continuación, esto se podría deber a que al ser sometidos a una mayor exigencia física, hay un mayor requerimiento de musculatura, central y periférica por ende, de oxígeno, siendo este requerimiento mayor cuando hay uso del EPP.

Otro factor a tener en consideración es la exposición a humo a la que están sometidos los voluntarios, ya que la exposición prolongada y sistemática a humo podría alterar la función pulmonar normal. Un estudio realizado por Musk, A. W., (1979) estudió los efectos agudos de la exposición al humo en la función pulmonar de 39 bomberos con una edad media de 37.9 años, la función pulmonar de los bomberos fue evaluada mediante espirometría después de cada incendio, en donde observaron una disminución significativa de 0,05 litros promedio en VEF1 después de la exposición a humo y en el 30% de las observaciones se registró una disminución en VEF1 superior a 0.10 litros. Los autores también sugieren que estos episodios repetidos de irritación de las vías respiratorias por exposición continua a humo podrían contribuir al desarrollo de daño pulmonar acumulativo, manifestándose en un deterioro progresivo de la función respiratoria a largo plazo.

### **Ergoespirometría:**

Respecto a los objetivos específicos de esta investigación correspondientes a:

- Evaluar la respuesta respiratoria ante un ejercicio maximal en ergoespirometría en voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar con y sin uso de EPP.
- Comparar los resultados de uso y no uso de EPP, en cada una de las pruebas a voluntarios del cuerpo de bomberos de Viña del Mar.

**Ergoespirometría en Reposo:** En cuanto a la prueba de ergoespirometría, durante el reposo previo a la ejecución de la prueba existieron diferencias estadísticamente significativas en casi todas las variables siendo estas en primer lugar; consumo de oxígeno por kg ( $V_{O2}/Kg$ ) con un p-valor 0,0134\* lo que implica ser un 47,1% superior con uso de EPP lo que se traduce en consumo de oxígeno por kg de 2,5 ml/min/kg adicionales. En segundo lugar, ventilación ( $V'E$ ) con un p-valor 0,0173\* lo que implica que aumentó en un 55,3% con el uso de EPP que se traduce en 6,7 L/min adicionales y por ultimo frecuencia respiratoria ( $Fr$ ) con un p-valor 0,0391\* lo que implica un aumento del 50% con uso de EPP lo que se traduce 6,5 ciclos respiratorios adicionales. Considerando que las 3 variables con el uso de EPP poseen una desviación estándar mayor respecto del no uso de EPP la brecha entre dichas variables con y sin uso de EPP puede ser aún mayor en determinados participantes. La variable de volumen corriente ( $V_t$ ) no posee cambios significativos en reposo. Si bien, estos cambios no interfieren en el reposo y la labor bomberil de los participantes, el solo hecho de tener el traje puesto en reposo ya genera cambios en la función pulmonar de los participantes.

Como se mencionaba anteriormente en reposo no hay un aumento estadísticamente significativo en  $V_t$  pero si lo hay en  $F_r$ , esto quiere decir que al no poder aumentar en  $V_t$  el organismo compensa con un aumento significativo en la  $F_r$  para mantener una ventilación normal basal, esto se podría deber a una alteración en la mecánica ventilatoria producto del uso de EPP que no permite una expansión torácica normal por la presencia de las correas de sujeción y el equipo de respiración autónomo rodeando el tronco, perjudicando la eficiencia ventilatoria, más específicamente a una alteración de tipo Restrictiva respiratoria ya que estaría siendo comprometida la distensibilidad de la caja torácica. También se puede sumar la respuesta anticipatoria al ejercicio por parte de los participantes. Aunque lo anteriormente mencionado son hipótesis de esta investigación ya que no hay evidencia respecto a los efectos del uso de EPP en reposo por parte de bomberos, las investigaciones tienden a enfocarse más en el esfuerzo físico y esfuerzo físico maximal.

**Ergoespirometría en VT1:** En base a los resultados obtenidos en esta investigación, al momento del umbral ventilatorio aeróbico (VT1) no hubo diferencias estadísticamente significativas en ninguna variable de estudio ( $Vo_2/Kg$ ) (VE) ( $V_t$ ) ( $F_r$ ) (W) al menos en valores pero en tiempo de aparición de VT1 si nos basamos en la carga relativa de trabajo, si ocurrió ligeramente antes con el uso de EPP además de que el consumo de oxígeno de igual manera estuvo cerca según su p-valor de presentar diferencias significativas. Fuera de lo anteriormente mencionado podemos concluir que la función pulmonar de los participantes hasta este punto se comporta de manera similar con y sin EPP.

**Ergoespirometría en VT2:** En base a los resultados obtenidos en esta investigación, se describe que las principales diferencias estadísticamente significativas asociadas al uso del EPP se encuentran al momento de la aparición del umbral ventilatorio anaeróbico (VT2) reflejado a través de un aumento del consumo de oxígeno ( $Vo_2/Kg$ ) con un (p-valor 0,0244\*) es decir un 11% adicional con uso de EPP, lo que se traduce en casi 4 ml/min/kg de consumo de oxígeno adicional y del trabajo respiratorio mediante la frecuencia respiratoria (FR) con (p-valor 0,0234\*significando un aumento del 34% aproximadamente con uso de EPP, lo que se traduce en algunos casos en más de 10 ciclos respiratorios por minuto adicionales aproximadamente respecto del no uso de EPP, a una carga relativa (W) de trabajo menor. Analizado ahora la carga relativa de trabajo al momento de VT2, los participantes se encontraban sometidos a 0,3 watts por Kg de peso total menos con EPP, sin contar la desviación estándar, lo que

da a entender que VT2 según la carga relativa de trabajo ocurrió de manera precoz y se complementa con que la CPET terminó antes. Sin embargo cabe resaltar el hecho de que la ventilación (VE) si bien no muestra diferencias significativas entre el uso y no uso de EPP según los resultados, su p-valor muestra una tendencia debido a que existe un aumento promedio del 26% de la ventilación con la utilización de EPP en VT2, pero no se alcanza una significancia estadística, probablemente por el bajo tamaño muestral y la alta desviación estándar que alcanza cerca del 21% (sin epp) y 19% (con epp), basándonos en los valores netos de ventilación junto a su desviación estándar con el uso de EPP se describen en 20.8 L/min adicionales de ventilación lo cual no es menor mencionar. Para poder entender lo que sucede durante VT2 hay que entender que al momento de llegar a esta etapa la cual es la que muestra la mayor diferencia y la que más limita el esfuerzo físico en los participantes, hubo una elevada cantidad de tiempo durante la ergoespirometría donde los participantes estuvieron sometidos a 20 a 30 kg de peso adicionales, posiciones de desventaja biomecánica de la musculatura respiratoria reflejadas en una postura en flexión de tronco sostenida y restricción de la excursión torácica producto de las correas de sujeción del traje de bomberos, todo esto generando al final una mayor demanda fisiológica a diversos sistemas como el muscular periférico, respiratorio, cardiovascular y metabólico, donde es esperable encontrar que frente a las mayores exigencias físicas a los participantes, estos vean elevados tanto su trabajo respiratorio (FR) como cardiovascular (FC), en relación a aumentar el transporte de oxígeno a los tejidos musculares periféricos que están siendo requeridos durante la prueba, lo que se condice con el incremento significativo del consumo de oxígeno en VT2 para ser utilizado en la oxidación de grasas como sustrato metabólico, en parte, ya que evidentemente el metabolismo preponderante en esta etapa de la prueba es el anaeróbico, producto de que en VT2 la prueba en términos de percepción de esfuerzo y demandas fisiológicas para los participantes es de alta intensidad, por lo que el uso de glucosa como principal sustrato energético para el metabolismo preponderantemente anaeróbico comienza a producir un aumento en la producción de lactato y CO<sub>2</sub>, características propias de VT2. Este aumento de CO<sub>2</sub> debe ser eliminado del torrente sanguíneo, lo que justifica el incremento tanto en la FR, FC y V'E(V'CO<sub>2</sub>), para poder mantener un equilibrio ácido-base dentro de valores normales. La acumulación de lactato sumado al prolongado tiempo de ejercicio físico en altas intensidades conlleva a una fatiga de la musculatura periférica y respiratoria, lo que responde al porqué el protocolo en general se detenga antes con uso de EPP versus el no uso de EPP y conectando todo lo anterior con musculatura en desventaja mecánica postural y restricción en la excursión torácica justifica aún más el hecho de que los participantes toleren menos el metabolismo anaeróbico tanto en tiempo como en carga relativa de trabajo (W).

**Qué dice la evidencia acerca de VT2:** Contrastando con lo que indica la evidencia al respecto según un estudio realizado por **Z. Papadakis (2024)** "*Personal protective equipment impacts firefighters' anaerobic fitness*" el cual consistió en evaluar el comportamiento del fitness anaeróbico en bomberos mediante la ejecución de 4 pruebas físicas siendo estas dinamometría, salto vertical, Margarita Kalemén y Carrera de 300 yardas; donde se concluye según sus resultados que el EPP afecta considerablemente el rendimiento anaeróbico de los bomberos durante las pruebas específicas de la ocupación. Esto pone en relieve la necesidad de contar con programas de entrenamiento de AF personalizados para apoyar el sistema anaeróbico y el rendimiento relacionado mientras se usa el EPP.

Otra investigación realizada por **Shitan Wang (2023)** "*A biomechanical evaluation of firefighters' musculoskeletal loads when carrying self-contained breathing apparatus in walking and running*" buscaba describir los efectos del uso de EPP en bomberos durante la marcha y la carrera mediante electromiografía donde como resultados se obtuvieron que dos músculos que son muy solicitados y por ende fatigables durante la labor bomberil son el Recto Femoral y Recto abdominal. Lo que si lo complementamos con nuestra investigación hace sentido en que musculatura periférica como el cuádriceps sea rápidamente fatigada en VT2 lo que conducirá a un aumento de productos asociados al ejercicio físico como el anteriormente mencionado CO<sub>2</sub> y Lactato produciendo inevitablemente un aumento de la ventilación y trabajo respiratorio. Acerca del Recto abdominal nos confirma la postura de flexión de tronco asociada al uso de EPP situación la cual deja en desventaja mecánica a la musculatura respiratoria.

**Segun Huimin Hu (2024)** "*The impact of positive-pressure breathing apparatus on muscle fatigue of volunteer firefighter*" a través de otro estudio realizado con electromiografía a bomberos durante la carrera en treadmill en relación al EPP (específicamente el equipo de respiración autónomo o SCBA) se suman a la afirmación de que músculos como el Recto femoral, Tibial anterior y Gastrocnemios tienden a una fatiga prematura en comparación a otra musculatura de MMII lo que se condice con un metabolismo anaeróbico poco eficaz producto del uso de EPP lo que al final repercutirá en la función respiratoria a modo de compensación para el equilibrio ácido-base.

**Ergoespirometría en V'O<sub>2</sub>peak:** En base a los datos obtenidos en esta investigación, al momento del consumo máximo de oxígeno (V'O<sub>2</sub>peak) alcanzado por los participantes, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables de estudio (Vo<sub>2</sub>/Kg) (VE) (Vt) (Fr) lo que sirve para confirmar que para ambos grupos tanto con y sin EPP la prueba de ergoespirometría fue maximal donde los participantes mostraron su máxima capacidad de esfuerzo físico. Además de que

reafirma el hecho de que los cambios que sí fueron significativos en las variables durante los otros umbrales de la prueba (Reposo /  $V_{t1}$  /  $V_{t2}$  ) son realmente asociados a las características fisiológicas de los participantes con el uso del EPP y no por razones actitudinales de no querer rendir el 100% durante su ejecución. Otra conclusión que se puede efectuar en este momento de la prueba respecto a la carga relativa de trabajo ( $W$ ) es que si hubo diferencias significativas ( $p$ -valor 0,0116\*) en dicha variable, donde los participantes con el uso de EPP al momento de alcanzar su máximo consumo de oxígeno fue a una carga considerablemente menor de 0,8 watts por Kg de peso total respecto del no uso de EPP, lo que nos da a entender el que las pruebas hayan finalizado antes.

**Qué dice la evidencia acerca de  $V'O_2$ peak:** Según *Prueba de Esfuerzo en Cinta Rodante: Taylor et al. (2011) en "A fractionation of the physiological burden of the personal protective equipment worn by firefighters". European Journal Of Applied Physiology* encontraron que el EPP reducía la tolerancia al ejercicio en un 56% durante una prueba de esfuerzo progresiva en cinta rodante hasta el agotamiento. Además, se observó una disminución del 31% en la reserva de consumo de oxígeno ambulatorio (pico menos estado estable caminando). Significando de igual modo una disminución en el tiempo de duración de la prueba a una carga relativa de trabajo menor.

Prueba de Mochila (PT): El estudio de *Carballo-Leyenda et al. (2021) en Influence of Personal Protective Equipment on Wildland Firefighters' Physiological Response and Performance during the Pack Test* demostró una reducción significativa del 12% en el rendimiento de la PT (tiempo de finalización de la prueba) al utilizar el EPP completo en comparación con la ropa deportiva. Este hallazgo se alinea con la conclusión de *Phillips et al. (2018)* que, aunque reportó una disminución menor (~3%), también evidenció un impacto negativo del EPP en la PT. La discrepancia en la magnitud del impacto se atribuye a las diferencias en la configuración del EPP utilizado en cada estudio.

**Variable adicional al momento de  $V'O_2$ peak:** De manera adicional en esta etapa de la prueba se debe considerar el comportamiento de la variable  $V'E(V'CO_2)$  Slope, la cual sí tuvo diferencias estadísticamente significativas ( $p$ -valor 0,0117\*) lo que se traduce en un aumento de 6 puntos con el uso de EPP, significando que al momento de finalizar la prueba la ventilación estaba siendo considerablemente mayor para barrer  $CO_2$  en los participantes al momento de usar el EPP. Esto nos habla de un sistema respiratorio y ventilación menos eficiente debido a que para generar una alta ventilación para barrer  $CO_2$  pero a expensas de una frecuencia respiratoria mayor (mayor trabajo ventilatorio).

**Limitaciones:**

El tamaño de la muestra es muy pequeño y no resulta representativa de la población total de bomberos. Además, la muestra incluye solo una mujer, lo que limita su representatividad en cuanto al sexo femenino. Finalmente, se presenta un posible efecto Hawthorne, ya que los bomberos sabían que estaban siendo evaluados y esto pudo haber influido en su comportamiento durante las pruebas.

En futuras investigaciones se podrían realizar estudios comparativos con diferentes tipos de EPP para determinar si existen diseños que minimicen la carga fisiológica sin comprometer la seguridad y salud de los bomberos. Además, se podrían realizar estudios que incluyan variables como hábito tabáquico, años de servicio y cantidad habitual de actividad física semanal de los bomberos.

Y por otro lado, sería relevante investigar el impacto de métodos de entrenamiento físico específicos en bomberos para la lucha contra incendios, mejorar la tolerancia al esfuerzo con EPP.

## 7. CONCLUSIÓN

La hipótesis de investigación “El uso de EPP genera un efecto de disminución en la función pulmonar en reposo (espirometría y pimometría), en bomberos activos del cuerpo de bomberos de Viña del Mar” es rechazada ya que en las pruebas de función pulmonar, las variables como la capacidad vital forzada (CVF), el volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF1), la relación VEF1/CVF y la P<sub>lmax</sub>, no mostraron diferencias significativas entre usar o no el equipo de protección personal (EPP). Esto sugiere que el uso del EPP en reposo no genera un impacto negativo perceptible en la función pulmonar estática.

La segunda hipótesis de investigación planteada “El uso de EPP genera un efecto de disminución en la función pulmonar en ejercicio maximal (ergoespirometría), en bomberos activos del cuerpo de bomberos de Viña del Mar” es aceptada, ya que los resultados de la ergoespirometría muestran un impacto negativo significativo del EPP en la función pulmonar durante un esfuerzo máximo. Específicamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el consumo de oxígeno ( $\dot{V}O_2/kg$ ) y en la frecuencia respiratoria (Fr) en el umbral ventilatorio anaeróbico (VT<sub>2</sub>) . Esto indica que el uso del EPP incrementa el trabajo respiratorio necesario para mantener un determinado nivel de esfuerzo, lo cual se traduce en una mayor frecuencia respiratoria (Fr) y un consumo de oxígeno ( $\dot{V}O_2/kg$ ) más elevado.

La tolerancia al esfuerzo también se ve alterada ya que se encontró que los umbrales VT<sub>2</sub> y  $\dot{V}O_{2peak}$  se alcanzaron a una carga relativa de trabajo menor con el uso de EPP, lo que sugiere una disminución en la tolerancia al esfuerzo en los bomberos.

En cuanto a la eficiencia ventilatoria el análisis de  $\dot{V}E(\dot{V}CO_2)$  slope reveló una diferencia estadísticamente significativa entre el uso y no uso de EPP, con un valor mayor en los sujetos que utilizaban el equipo. esto indica una mejor eficiencia ventilatoria con EPP, lo cual significa que los bombeos necesitan aumentar su ventilación en mayor medida para eliminar el CO<sub>2</sub> producido durante el ejercicio, este aumento en la ventilación es dada principalmente por un aumento en la Fr demandando un mayor esfuerzo a la musculatura respiratoria.

Para finalizar es importante destacar que estos resultados son preliminares, y se necesita una muestra más amplia para confirmar las conclusiones y poder generalizar los hallazgos, además sería interesante realizar un seguimiento más prolongado para evaluar el impacto del EPP en la salud y el rendimiento a largo plazo.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

2015, Academia Nacional de Bomberos de Chile, [https://www.anb.cl/documentos\\_sitio/80338\\_6\\_Guia\\_ERA.pdf](https://www.anb.cl/documentos_sitio/80338_6_Guia_ERA.pdf)

Bomberos de Chile. (n.d.). *Cuerpos de Bomberos*. Bomberos. Retrieved September, 2023, from <https://www.bomberos.cl/cuerpos-de-bomberos>.

Cade, W. T., Bohnert, K. L., Reeds, D. N., Peterson, L. R., Bittel, A. J., Bashir, A., Byrne, B. J., & Taylor, C. L. (2018). Peak oxygen uptake (VO<sub>2</sub>peak) across childhood, adolescence and young adulthood in Barth syndrome: Data from cross-sectional and longitudinal studies. *PloS One*, 13(5), e0197776. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197776>.

Carla Adaos L., Angela Gonzalez B., Daniela Slater M., Paul Medina GRodrigo Muñoz C. y Máximo Escobar C. Rev. chil. enferm. respir. vol.33 no.1 Santiago mar. 2017 Análisis de presión inspiratoria máxima según tres protocolos en estudiantes voluntarios asintomáticos de la Universidad Católica del Maule, Chile <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482017000100004>

Chambers DJ, Wisely NA. Cardiopulmonary exercise testing-a beginner's guide to the nine-panel plot. *BJA Educ*. 2019 May;19(5):158-164. doi: 10.1016/j.bjae.2019.01.009. Epub 2019 Mar 20. PMID: 33456885; PMCID: PMC7807922. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7807922/>

Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2013). *Fisiología del ejercicio*. Ed. Médica Panamericana.

CONAF. (n.d.). *CONAF. Incendios forestales en Chile*. Retrieved September, 2023, <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>

*Cuerpo de Bomberos de Viña del Mar – Bomberos Viña del Mar*. (s/f). Bomberosvinadelmar.cl. Enero de 2024, de <https://www.bomberosvinadelmar.cl/>

DeMott, W., Manning, J., & Yentes, J. M. (s. f.). *Heart Rate Reserve is Associated with Quality of Life*. TopSCHOLAR®. <https://digitalcommons.wku.edu/ijesab/vol2/iss16/191/>

Diario Oficial. (1982, Octubre 20). Decreto Supremo N° 173 [Artículo 1°]. In *Diario Oficial*. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=10470>.

Dillard, T. A., Hnatiuk, O. W., & McCumber, T. R. (1993). Maximum voluntary ventilation: Spirometric determinants in chronic obstructive pulmonary disease patients and normal subjects. *The American Review of Respiratory Disease*, 147(4), 870–875. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/147.4.870>

Francisco García, M. G. (2011). *Exploración Funcional Respiratoria*. Volumen XVIII.

*Historia - Bomberos*. Bomberos.cl. de enero de 2024, <https://www.bomberos.cl/historia>.

Hostler, D., & Pendergast, D. R. (2018). Respiratory Responses during Exercise in Self-contained Breathing Apparatus among Firefighters and Nonfirefighters. *Safety and health at work*, 9(4), 468–472. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.02.002>

*Incendios*. (2024, enero 4). CONAF. <https://www.conaf.cl/incendios>.

*Instituto de Salud Pública de Chile*. (s/f). Gob.cl. Recuperado el 3 de enero de 2024, de <https://www.ispch.gob.cl/salud-de-los-trabajadores/subdepartamento-seguridad-y-tecnologia-del-trabajo/elementos-de-proteccion-personal/>

Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (1996). *Anatomía humana - volumen 2*. Editorial Médica Panamericana. (4ta Edición, 2014)

Lawrence, H. (2020). *Lo Esencial En Neumología: Curso Crash* (5a ed.). Elsevier.

Lesniak, A. Y., Bergstrom, H. C., Clasey, J. L., Stromberg, A. J., & Abel, M. G. (2020). The Effect of Personal Protective Equipment on Firefighter Occupational Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 34(8), 2165–2172. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003384>

María Agustina M., Osvaldo Federico M. Insuf. card. vol.11 no.2 Ciudad Autónoma de Buenos Aires jun. 2016 Ecuación más conveniente para predecir frecuencia cardíaca máxima esperada en esfuerzo [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-38622016000200002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-38622016000200002&script=sci_arttext)

McArdle, W., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2007). *Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

Mónica Zagolin, Luz María Trujillo, Sergio Villanueva, Mauricio Ruiz, Astrid Von Oetinger. Rev. méd. Chile vol.148 no.4 Santiago abr. 2020 Test cardiopulmonar: una herramienta de utilidad diagnóstica y pronóstica <https://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872020000400506>

Musk, A. W., Smith, T. J., Peters, J. M., & McLaughlin, E. (1979). Pulmonary function in firefighters: Acute changes in ventilatory capacity and their correlates. *British Journal of Industrial Medicine*, 36(1), 29-34.

Schoser, B., Fong, E., Geberhiwot, T., Hughes, D., Kissel, J. T., Madathil, S. C., Orlikowski, D., Polkey, M. I., Roberts, M., Tiddens, H. A., & Young, P. (2017). Maximum inspiratory pressure as a clinically meaningful trial endpoint for neuromuscular diseases:

a comprehensive review of the literature. *Orphanet journal of rare diseases*, 12(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s13023-017-0598-0>

Li, J., Wang, Y., Jiang, R., & Li, J. (2023). Quantifying self-contained breathing apparatus on physiology and psychological responses during firefighting: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 29(1), 77–89. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.2024020>.

Souto-Miranda, S., Jácome, C., Machado, A., Paixao, C., Oliveira, A., & Marques, A. (2021). Predictive equations of maximum respiratory mouth pressures: A systematic review. *Pulmonology*, 27(3), 219 - 239. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.03.003>.

United Nations. (s/f). *El aumento de los incendios descontrolados hace que la adopción de estrategias integradas para los bosques, el clima y la sostenibilidad sea más urgente que nunca* | Naciones Unidas. Recuperado el 28 de mayo de 2024, de <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/el-aumento-de-los-incendios-descontrolados-hace-que-la-adopci%C3%B3n-de-estrategias>

V. Barbosa, J., Farraia, M., & Branco, P. T. B. S. (2022, Diciembre 14). *The Effect of Fire Smoke Exposure on Firefighters' Lung Function: A Meta-Analysis*. MDPI. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/24/16799>.

West, J. B. (2005). *Fisiología respiratoria* (7a ed.). Editorial Médica Panamericana.

## 9. ANEXOS.

### 9.1. Anexo 1:

Permiso para uso de laboratorio 7.15 de la Universidad de Valparaíso, Chile.

 <b>Universidad de Valparaíso</b> CHILE	Escuela de Kinesiología – Facultad de Medicina
15/03/2023	
Comité de ética Facultad de Medicina presente:	
<p>Estimadas y estimados miembros del comité de ética de la Facultad de Medicina, yo Carolyn Howard Gavilán en mi calidad de Directora(S) de la Escuela de Kinesiología autorizo la utilización del laboratorio de la Facultad de Medicina 7.15, " Fisiología Clínica del Ejercicio" y de los equipos allí presentes durante el año 2023 para la realización de las evaluaciones inmersas en la tesis titulada "Efecto del uso del equipamiento de protección personal (EPP) sobre el rendimiento físico en personal del cuerpo de bomberos de Viña del Mar" a cargo del Docente auxiliar Daniel Ponce Correa, RUN 17.119.618-3.</p>	
Les Saluda atte.	<p>Firmado digitalmente por Carolyn Howard Gavilan Nombre de reconocimiento (DN): cn=Carolyn Howard Gavilan, o=Universidad de Valparaiso, ou=Escuela de Kinesiologia, email=carolyn.howard@uv.cl, c=CK Fecha: 2023.03.15 14:22:26 -03'00'</p>
 	
<hr/> <p><b>Carolyn Howard Gavilán</b> <b>Directora (s)</b> <b>Escuela de Kinesiología,</b> <b>Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso</b></p>	

9.2. Anexo 2:

Permiso de la Superintendencia de bomberos para realizar la tesis.



Cuartel General, Viña del Mar, 12 de diciembre de 2022

SG /772

Señor

**Pablo Soria Galvarro G.**

Director Octava Compañía

Cuerpo de Bomberos de Viña del Mar


Presente

De nuestra consideración:

Junto con saludar, por intermedio de la presente y de acuerdo con lo solicitado en correo, damos respuesta a vuestro requerimiento y nos permitimos comunicar a usted que esta Superintendencia autoriza a la Escuela de Kinesiología de la Universidad de Valparaíso a realizar la tesis titulada "como Impacto del uso del equipamiento de protección personal (EPP)", donde participará el cuerpo de Bomberos de Viña del Mar, con respecto al esfuerzo físico.

Además, se informa que esta Superintendencia autoriza a la publicación de los resultados obtenidos.

Sin otro particular, se despiden atentamente de usted,

  
  
**LEONARDO MUÑOZ CARRASCO**  
Secretario General

  
  
**RICARDO BARCKHAHN RUBIO**  
Superintendente