



**ESCUELA  
DE ENFERMERÍA  
Y FISIOTERAPIA**



**SAN JUAN DE DIOS**

**Grado en Fisioterapia**

**Trabajo Fin de Máster**

**Título:**

**“Cambios biomecánicos tras la introducción en el  
entrenamiento de restricción de flujo en jugadores  
de balonmano.”**

Alumno: Mariano González González

Tutor: Néstor Pérez Mallada

**Madrid, 23 de Junio de 2022**

## **Agradecimientos**

*En primer lugar, a mi tutor, y muestra viviente de que Aragón tiene talento, Néstor. Gracias por tu inagotable paciencia e incontables consejos. Por animarme a no tirar la toalla con este proyecto e ir adaptándolo a los tiempos que tenía. Has sido el sherpa que me ha ayudado a llegar a esta cima. GRACIAS.*

*A mis padres, por su inquebrantable fe. Sin ellos, hoy, no estaría aquí.*

*A Mer, por tu inagotable alegría y confianza. Por ser el remanso de paz al que acudo cuando siento que no puedo más. Todos mis triunfos son los tuyos.*

## Índice

1.	Introducción .....	- 1 -
2.	Dispositivo .....	- 7 -
3.	Objetivos.....	- 10 -
4.	Hipótesis .....	- 11 -
5.	Metodología .....	- 12 -
6.	Resultados .....	- 23 -
7.	Discusión .....	- 54 -
8.	Limitaciones.....	- 56 -
9.	Conclusiones .....	- 57 -
10.	Bibliografía .....	- 58 -
11.	Anexos.....	- 64 -

## **Glosario de términos**

- BFR: Blood Flow Restriction (restricción de flujo sanguíneo)
- Ca<sup>2+</sup>: Calcio
- CK: Creatina quinasa
- CMJ: Counter movement jump
- H<sup>+</sup>: Hidrógeno
- HG: Mercurio
- K<sup>+</sup>: Potasio
- Na<sup>+</sup>: Sodio
- RM: Repetición Máxima
- VO<sub>2</sub>: Volumen de oxígeno

## **Resumen**

**Introducción:** La restricción de flujo sanguíneo se originó en Japón de la mano del Dr. Sato. Consiste en la aplicación de un tubo neumático alrededor de una extremidad con la finalidad de generar una oclusión parcial de la arteria para limitar, de este modo, la cantidad de riego sanguíneo. Así obtenemos un mayor estrés metabólico generando los mismos resultados de hipertrofia que obtendríamos entrenando con altas cargas.

**Objetivos:** El objetivo del estudio es comparar variaciones en la potencia pico y la altura en el salto vertical y la fatiga tras la aplicación de restricción de flujo sanguíneo.

**Metodología:** El grupo A realizó el entrenamiento convencional con las cargas y tiempos que usan en su preparación habitual, frente al grupo B que realizó un entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo. Los sujetos fueron jugadores de balonmano que juegan en la posición de central, lateral o extremo. El entrenamiento consistió en ejercicios de tren inferior y pliometría. Se les midió la potencia, altura en el salto vertical y fatiga tras 20 minutos de descanso post-intervención, a las 24 horas y a las 72 horas. La asignación al grupo A o B se realizó de manera aleatorizada con la misma cantidad de integrantes en ambos grupos. Para la restricción de flujo se usó el dispositivo “Airbands miembro inferior”, para la medición de potencia el encoder lineal “vitruve” y para la altura en salto vertical se utilizó la app móvil “My jump” por Carlos Balsalobre. La fatiga se midió utilizando la escala de Borg.

**Resultados:** La potencia y salto en el grupo y entre grupos no obtuvo cambios significativos entre los grupos excepto a las mediciones post-entrenamiento y a las 24 horas. La fatiga no sufrió cambios significativos entre grupos excepto en las mediciones post-entrenamiento y a las 24 horas.

**Conclusiones:** No se obtuvieron mejoras significativas en ninguna de las variables biomecánicas medidas. Confirmando que un solo entrenamiento con restricción de flujo no es suficiente para generar mejoras en deportistas.

**Palabras clave:** Restricción de flujo sanguíneo, hipertrofia, pliometría, ejercicio

## **Abstract**

**Introduction:** Blood flow restriction was originated in Japan by Dr. Sato. It consists of the application of a pneumatic tube around a limb in order to generate a partial occlusion of the artery to limit, in this way, the amount of blood flow. In this way we obtain a greater metabolic stress generating the same hypertrophy results that we would obtain by training with high loads.

**Objectives:** The aim of the study was to compare variations in peak power and height in the vertical jump and fatigue after the application of blood flow restriction.

**Methodology:** Group A underwent conventional training with the loads and times used in their usual preparation, compared to group B, which underwent training with blood flow restriction. The subjects were handball players who play in the position of center, wing or winger. The training consisted of lower body exercises and plyometrics. Power, vertical jump height and fatigue were measured after 20 minutes of rest post-intervention, at 24 hours and at 72 hours. Assignment to group A or B was randomized with the same number of participants in both groups. For flow restriction the "Airbands lower limb" device was used, for power measurement the "vitruve" linear encoder was used and for vertical jump height the mobile app "My jump" by Carlos Balsalobre was used. Fatigue was measured using the Borg scale.

**Results:** Power and jumping in the group and between groups had no significant changes between groups except at post-training and 24-hour measurements. Fatigue did not undergo significant changes between groups except at post-training and 24-hour measurements.

**Conclusions:** No significant improvements were obtained in any of the biomechanical variables measured. Confirming that a single training with flow restriction is not enough to generate improvements in athletes.

**Keywords:** blood flow restriction, hypertrophy, plyometry, exerci

## 1. Introducción

### 1.1 Origen

La restricción de flujo sanguíneo (Blood Flow Restriction, BFR por sus siglas en inglés) consiste en la aplicación de un tubo neumático, alrededor de una extremidad, con la finalidad de ocluir un porcentaje del flujo sanguíneo según los objetivos que se quieran obtener. Suele ir dirigido al trabajo de fuerza, pero se puede aplicar, también, en trabajo aeróbico. Se basa en la aplicación de bajas cargas que, gracias a la oclusión del flujo sanguíneo, generan mayor estrés metabólico obteniendo notables resultados en ganancia de fuerza e hipertrofia. En su nacimiento conocido como "Kaatsu", la restricción de flujo sanguíneo se origina en 1966 en Japón, el doctor Sato experimentó la oclusión por primera vez con la postura Za Rei (*Fig.1*) y la relacionó con la fuerza en los músculos gastrocnemios<sup>1</sup>.



*Figura 1. Posición Za Rei, utilizada en el deporte del judo a manera de saludo.*

*Imagen obtenida de: <http://www.rincondeldo.com/reishiki-ii/>*

Durante los siguientes 7 años estuvo experimentando con él mismo basándose en el ensayo y error para obtener protocolos y porcentajes de restricción adecuados. Desde 1973 a 1982 el doctor Sato realizó protocolos de BFR en todo tipo de pacientes para buscar la seguridad y eficacia en todo tipo de pacientes. 12 años después recibió la patente en Japón y otros países europeos, pero no fue hasta 1994 cuando se empezaron a publicar estudios científicos con resultados favorables y que avalaban la eficacia del BFR. En 2004 obtuvieron el seguro de responsabilidad civil y se iniciaron investigaciones para compararlo con otras técnicas de rehabilitación y para determinar los posibles efectos adversos que tendría en poblaciones de riesgo. A partir de entonces, se expandió alrededor del planeta y con la adaptación del nombre por parte de los practicantes de esta técnica en Estados Unidos fue conocida como "*Blood Flow Restriction*" (BFR).<sup>1</sup>

## 1.2 Fundamentos fisiológicos

La restricción de flujo sanguíneo no busca generar una isquemia total en el músculo, sino que tiene el objetivo de acumular sangre en los capilares musculares. Mientras que en los entrenamientos con altas cargas se busca un mayor estrés mecánico (para desarrollar hipertrofia tenemos que entrenar con un 65% del 1 RM), el BFR utiliza bajas cargas (20% - 25% del 1 RM) que gracias a la restricción de flujo generan mayor estrés metabólico obteniendo, de esta forma, la misma hipertrofia<sup>2</sup>.

Estos efectos hipertróficos son consecuencia del aumento del estrés metabólico. Debido a esto se aprecia un aumento de los metabolitos como resultado del ambiente hipóxico del músculo; esto genera un aumento de las síntesis de proteínas debido a la activación de las vías de señalización y el aumento de las células satélites aumentando el crecimiento muscular. Al igual que el entrenamiento con altas cargas, la aplicación de restricción de flujo sanguíneo al entrenamiento genera, un mayor reclutamiento de fibras rápidas, una producción de ROS (especies ricas en oxígeno), un hinchazón celular, daño muscular y generación de hormona sistémica. Con la diferencia de generar menor tensión mecánica a cambio de mayor estrés metabólico.<sup>3</sup>

Esta sobrecarga metabólica inducida por la restricción de flujo agota los niveles de fosfocreatina y reduce el PH del músculo<sup>4</sup>. Debido a esta acumulación de metabolitos se ha mostrado igual de importante que la tensión mecánica para el crecimiento muscular. Los altos niveles de metabolitos se ven incrementados bajo un ambiente isquémico o hipóxico<sup>2</sup>.

En un estudio realizado por Kon M et al, varios sujetos realizan el ejercicio de prensa de pecho y prensa de pierna, a un 50% de su 1RM, en un ambiente normóxico y otros en un ambiente hipóxico. Tras analizar su sangre se descubrió que el grupo entrenado bajo hipoxia había generado unos niveles significativamente mayores de la hormona de crecimiento muscular y de la generación de lactato<sup>5</sup>.

También se encuentra un mayor incremento de la sección transversal del músculo frente a la realización del mismo ejercicio, pero sin la aplicación de la restricción de flujo<sup>6</sup>.

## 1.3 Reclutamiento fibrilar

El reclutamiento de las fibras se realiza de manera jerárquica según el tamaño de la motoneurona. Las fibras tipo I son las primeras en activarse y cuando la exigencia de fuerza o velocidad es mayor se reclutan las fibras tipo II. Con la aplicación de Restricción de flujo sanguíneo y generando una isquemia mantenida entre 20 a 45 minutos se aprecia una

disminución de la actividad de las fibras tipo I frente a un mantenimiento de las fibras tipo II<sup>7,9</sup>.

Varios autores sugieren una alteración del orden normal de la activación de las fibras musculares con la aplicación de restricción de flujo haciendo, de esta forma, que las fibras tipo II tengan preferencia en la activación frente a las fibras tipo I<sup>7,8</sup>.

En el estudio de Wernborn et al realizado en 2020, realizó ejercicios de resistencia con la aplicación de restricción de flujo y llevando a los sujetos al fallo muscular. En este estudio se apreció que el número de repeticiones disminuía especialmente en la primera y segunda serie. Por otro lado, entre la tercera y quinta serie se apreció un aplanamiento en el número de repeticiones. Al fatigarse las fibras tipo I durante la primera y segunda serie es necesario el reclutamiento de las fibras II, generando que éstas sufran un alto componente de fatiga<sup>9</sup>.

#### 1.4 Cambios locales fisiológicos

A nivel local se aprecia un aumento de la presión intravascular arterial y sanguínea, un aumento de la producción de lactato y debido a la acidosis metabólica se produce un aumento de los iones de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, electrolitos fundamentales en la contracción muscular<sup>10</sup>.

Se genera una mayor demanda a nivel venoso sumado a un aumento de la presión venosa periférica, además del incremento de la presión sanguínea sistólica<sup>4,10</sup>. La aplicación de restricción de flujo genera un aumento en la acumulación de potasio durante el ejercicio físico, este aumento es debido a la alteración generada por la acidosis metabólica provocado por la oclusión del riego sanguíneo; esta acidosis genera un aumento en la producción de lactato y un aumento de los iones de H<sup>+</sup><sup>4,10</sup>.

Todos estos cambios tienden a la normalización con la aplicación repetida de la restricción de flujo y, del mismo modo, se reduce la segregación de los electrolitos<sup>10</sup>.

#### 1.4 Presión sanguínea y capilaridad

El estudio de Mitchel et al comprobó los cambios a nivel de capilaridad en sujetos entrenados. Consistía en 6 semanas de ejercicio físico aeróbico (bicicleta) con una presión de 180mm HG en una de las piernas de los sujetos para poder comparar con la pierna sin restricción de flujo.

Los resultados post aplicación mostraron que la pierna a la que se había aplicado la restricción de flujo presentaba un aumento de VO<sub>2</sub> máximo. Un aumento de las demandas de oxígeno, así como su saturación, un aumento, en descanso, del diámetro de la arteria femoral y una disminución de la segregación de lactato<sup>11</sup>.

Apreciaron la aparición del metaboreflejo muscular, un reflejo cardiovascular similar al de la isquemia cerebral. Se activa ante la falta de riego sanguíneo a nivel muscular en individuos tanto sanos como patológicos elevando la presión arterial. Ante la aplicación de restricción de flujo los receptores musculares envían señales de acumulación de metabolitos, destacando el ácido láctico ya que es un estimulador de este reflejo. Estas señales son utilizadas para realizar ajustes hemodinámicos<sup>12</sup>.

La aplicación de restricción de flujo sanguíneo activa el reflejo barorreceptor; estos receptores, sensibles a la distensión de los vasos sanguíneos y localizados principalmente en la arteria carótida común y la arteria aorta, detectan las variaciones en la presión arterial. Ante este estímulo alteran la velocidad y la fuerza de las contracciones de corazón. De la misma forma se realizan ajustes a largo plazo en la presión arterial por medio del sistema renina-angiotensina-aldosterona, al activar la angiotensina II (un vasoconstrictor endógeno) permiten al riñón compensar las caídas en la presión arterial o la falta de volumen de la sangre<sup>12,13</sup>.

Para seguir aportando a la modulación de la presión sanguínea, se produce la liberación de la aldosterona, esta hormona esteroidea estimula los riñones para la retención de sodio y expulsión del potasio. El sodio que, por medio de la ósmosis, determina la cantidad de fluido en los vasos sanguíneos combinado con la aldosterona aumentara la retención de líquido, aumentando la presión arterial de manera indirecta<sup>12,13</sup>.

Por otro lado, una biopsia muscular realizada a 6 sujetos después de la realización del ejercicio “*leg extensión*” con restricción de flujo mostro un incremento de la angiogénesis (capilares por unidad de superficie) y de la creación de nuevos vasos. También mostro un aumento de la expresión de los genes PEGF-1 y VEGF-1, íntimamente relacionados con dicha angiogénesis<sup>13</sup>.

### 1.5 Adaptaciones neuromusculares

Según “*The American College of Sport Medicine*” las cargas de iguales o superiores al 60% del 1 RM son las mínimas para estimular la fuerza, mientras que utilizaremos cargas iguales o superiores al 70% del 1RM para ganar fuerza y generar hipertrofia. Gracias al incremento de hormonas anabólicas, la hinchazón celular y el reclutamiento de fibras tipo II por parte de la restricción de flujo es posible generar hipertrofia con cargas más bajas<sup>14</sup>.

A nivel neuromuscular el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo genera una disminución de la contracción máxima voluntaria seguidamente después de entrenar en comparación con el entrenamiento de alta intensidad. Por otra parte, el entrenamiento de alta

intensidad convencional presenta mayor activación electromiografía, ya que presenta mayor tensión mecánica, y mayor fatiga a nivel neuromuscular post-entrenamiento. Las adaptaciones a nivel de fuerza e hipertrofia son similares en ambos entrenamientos debido a la alta tasa de estrés metabólico por parte del entrenamiento con restricción de flujo<sup>10,13</sup>.

### 1.6 Restricción de flujo y fatiga

En un el estudio realizado por Bunevicius et al, se pretendía analizar el efecto de la restricción de flujo en la fatiga a corto plazo entre dos series de flexión plantar con una intensidad del 75% del 1RM. Para ello, las variables examinadas fueron el volumen de flujo arterial, la contracción máxima voluntaria y la saturación de oxígeno. Se observó que el uso de restricción de flujo sanguíneo acelera la aparición de fatiga debido a una disminución en la capacidad de trabajo de los participantes, así como un descenso de la saturación de oxígeno<sup>15</sup>. Otro factor a tener en cuenta es el rendimiento neuromuscular y su relación con la fatiga percibida. Con esta teoría Husmann et al en 2018 realizó un estudio control en el que el grupo de restricción de flujo tuvo una oclusión sanguínea del 60% de manera individualizada. Tanto el grupo control como el de restricción de flujo tenían el mismo número de series y repeticiones, el mismo tiempo de descanso entre series y el mismo ritmo en la realización del ejercicio (40 bpm). Para medir la fatiga percibida se utilizó la escala de Borg y el cuestionario CR-10.<sup>16</sup>

Para medir el nivel de fatiga neuromuscular utilizaron un dispositivo de electromiografía que conectaron a la pierna de los pacientes a nivel de vasto lateral, vasto interno y recto femoral, una vez realizaron el ejercicio se obtuvo el promedio de las primeras tres repeticiones con las tres últimas de cada serie. Los resultados mostraron que la aplicación de restricción de flujo va acompañada de una disminución de la capacidad contráctil post-ejercicio y con un incremento en la fatiga percibida. A pesar de estos resultados, una vez pasaron 2 minutos después de la finalización de ejercicio se observó como ambos valores tendían a la normalización, concluyendo que la aplicación de restricción de flujo sanguíneo tiene un gran efecto sobre la fatiga neuromuscular, pero de breve duración<sup>16</sup>.

Otra aspecto muy importante es el de la fatiga y su relación con la oclusión de flujo sanguíneo es como afecta a la aparición de dolor muscular de aparición tardía o *delayed onset muscle soreness* (DOMS). Los estudios muestran unos niveles más altos de DOMS para los entrenamientos con restricción de flujo, que duraron hasta 72 horas después de la intervención, comparado con entrenamientos con altas cargas y los entrenamientos con bajas

cargas. A las 96 horas, el nivel de DOMS vuelve a la normalidad para todos los grupos de entrenamiento<sup>17</sup>.

Además, los grupos que realizaron entrenamiento con restricción de flujo manifestaron una sensación de esfuerzo percibido (*rate of perceived exertion*) alto, sin diferencias significativas con el entrenamiento de altas cargas, donde también el esfuerzo percibido era elevado. Mostrando solo diferencias significativas con el entrenamiento con bajas cargas<sup>18</sup>.

## 2. Dispositivo

### 2.1 Aparatología

Los dispositivos de restricción de flujo sanguíneo son diversos; pudiendo ser manuales, en los que el cálculo de la presión se realizara de manera manual, o automáticos, en los que el propio dispositivo se encarga del cálculo de la presión según el criterio del usuario. A la hora de realizar la presión de oclusión hay que tener en cuenta diversos factores que afectarán a la misma dentro del propio dispositivo<sup>19</sup>.

Le afectan de forma directa la anchura del manguito y la forma que tiene, siendo necesaria mayor presión para realizar la oclusión de flujo cuanto menor sea la anchura del manguito, y si su forma es recta. De la misma forma cuanto mayor sea la anchura del manguito o si la forma es cónica menor será la presión necesaria para la oclusión de flujo. También, cuanto mayor sea el diámetro del miembro al que se quiere restringir el flujo, mayor será la presión necesaria para hacerlo<sup>19,21</sup>.(Fig.2)

En el estudio realizado por Loenneke et al, se realizaron mediciones del músculo de la parte anterior de la pierna en su posición media y de la grasa en el área transversal, además se tomaron medidas de la circunferencia de la pierna, el índice tobillo-brazo (*ankle brachial index*) y la presión sanguínea del brazo. Se realizo en 116 sujetos. Con este estudio se demostró que los beneficios de la restricción de flujo no dependían de la amplitud que abarca el manguito, sino que están condicionados por la presión que ejerce<sup>20</sup>.



Figura 2. Dispositivo de restricción de flujo. Este dispositivo de la marca Airband es el utilizado en el estudio.

Imagen extraída de: <https://eu.airbandsbfr.com/products/bfr-bands>

## 1.7 Riesgos

A la hora de evaluar variables cardiovasculares, como la frecuencia cardiaca, la presión arterial y la saturación en sangre, durante y después de la aplicación de restricción de flujo, una amplia mayoría de estudios no encontró diferencias significativas en los sujetos con restricción de flujo y los que no<sup>22,23</sup>.

Numerosos estudios hablan de una hipotensión inmediatamente después de la aplicación de restricción de flujo a un ejercicio. Estos estudios avalan la restricción de flujo sanguíneo como una herramienta segura y eficaz a nivel cardiovascular<sup>24</sup>.

En relación con la posibilidad de la aparición de coágulos de sangre a consecuencia de la restricción de flujo, los estudios señalan que siempre que no haya una oclusión completa de la arteria la restricción de flujo sanguíneo no aumenta la concentración de los marcadores de coágulos<sup>25</sup>.

Por otra parte, estudios como el de Laswati et al, comprobaron que la aplicación de restricción de flujo en ejercicio aumentó la fuerza muscular pero no afectó a la proteína C reactiva o al fibrinógeno, ambos utilizados como factores de riesgo en patología cardiovascular<sup>26</sup>.

A nivel muscular, la literatura existente se ha centrado en analizar el daño muscular, tanto agudo como de aparición tardía. En un reciente estudio de Neto et al, se comparó los efectos de la restricción de flujo de manera intermitente (se libera la oclusión arterial en los descansos) o de manera continua (se mantiene la oclusión arterial en los descansos) sobre algunos biomarcadores de inflamación. Se encontró que, a pesar de que la aplicación de manera continua aumentó la creatinquinasa a nivel muscular, ninguna de las dos aplicaciones incentiva el daño muscular<sup>27</sup>.

Respecto al daño muscular a largo plazo, se observó aumentos en la fuerza máxima, pero sin ninguna modificación significativa en los marcadores de coagulación e inflamación<sup>25</sup>.

Del mismo modo que marcadores miocelulares como el estrés oxidativo o los niveles de CK, relacionados con el daño muscular, no se vieron afectados significativamente por la aplicación de restricción de flujo sanguíneo. Demostrando que aplicaciones en un periodo largo de tiempo, 3-4 semanas, no es dañina a nivel muscular<sup>28</sup>.

Por otra parte, en el reciente estudio de Werbom et al, analizaron diferentes estudios con el objetivo de encontrar el porcentaje real de sufrir rhabdomiólisis tras la aplicación de la restricción de flujo sanguíneo. Llegaron a la conclusión que había entre un 22% a un 67% de padecer rhabdomiólisis, pero únicamente en el caso en el que se realizarán series al fallo muscular y durante un tiempo prolongado. Aclarando que, como cualquier herramienta, un

mal uso puede generar problemas al paciente<sup>29</sup>.

Otro de los campos que ha preocupado en el ámbito científico es el riesgo que la restricción de flujo podría tener a nivel nervioso. El estudio de Clark et al es el único que ha estudiado la conducción nerviosa después de la aplicación de restricción de flujo durante 4 semanas. Los investigadores no apreciaron ningún descenso significativo de la conducción en la vía espinal, confirmando que de tratarse de duraciones de aplicación cortas no habría daño en el sistema nervioso<sup>25</sup>.

A pesar de este estudio, siempre se debe realizar la restricción de flujo de manera individualizada y manteniéndose siempre en conversación con el paciente ya que una restricción de flujo excesiva o de larga duración podría disminuir la velocidad de conducción nerviosa<sup>30</sup>.

### 1.8 Seguridad

Anteriormente se ha comentado la necesidad de realizar la oclusión de flujo de manera individualizada y en constante comunicación con el paciente para evitar riesgos. A la hora de utilizar la restricción de flujo en pacientes hay más técnicas para disminuir todavía más las posibles lesiones por isquemia y disminuir la intensidad de las DOMS.

En primer lugar, realizar un acondicionamiento isquémico. Consiste en realizar varios periodos de oclusión arterial y, seguidamente, una reperfusión del flujo sanguíneo. Esta técnica es utilizada para disminuir posibles lesiones a nivel celular. Esta respuesta está relacionada con un aumento de la hiperemia de manera local, lo que genera un aumento de la oxigenación en la zona; la mejora en la función mitocondrial y un aumento del VO<sub>2</sub> máximo<sup>31</sup>.

Otra técnica importante al finalizar la restricción de flujo es la reperfusión progresiva, de este modo al restaurar el flujo sanguíneo de una manera paulatina evitaremos daño muscular o posibles lesiones por reperfusión<sup>32</sup>.

### **3. Objetivos**

Objetivo general: Comparar si tras el entrenamiento con aplicación de flujo sanguíneo se generan cambios en las variables biomecánicas de potencia en el miembro inferior y altura del salto vertical respecto al entrenamiento convencional.

Objetivos específicos:

- Comparar si tras un entrenamiento con la aplicación de restricción de flujo sanguíneo se generan cambios en la potencia en el ejercicio respecto al entrenamiento convencional.
- Comparar si tras un entrenamiento con la aplicación de flujo sanguíneo se generan cambios en la altura del salto vertical respecto al entrenamiento convencional.
- Comparar si tras un entrenamiento con la aplicación de flujo sanguíneo se generan cambios en los niveles de fatiga subjetiva respecto al entrenamiento convencional.

#### 4. Hipótesis

Hipótesis operativa: Comparar si existen mejoras en las variables biomecánicas de potencia y altura en el salto vertical tras un entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo.

H1: Tras un entrenamiento con restricción de flujo al 50% mejora la capacidad biomecánica de potencia en el ejercicio de sentadillas medido con un encoder lineal frente al entrenamiento convencional.

H0: Tras un entrenamiento con restricción de flujo al 50% no mejora la capacidad biomecánica de potencia en el ejercicio de sentadillas medido con un encoder lineal frente al entrenamiento convencional.

H1: Tras un entrenamiento con restricción de flujo al 50% mejora la capacidad biomecánica de altura en el salto vertical medido con el test CMJ por medio de la aplicación “ *My jump Lab* ” frente al entrenamiento convencional.

H0: Tras un entrenamiento con restricción de flujo al 50% no mejora la capacidad biomecánica de altura en el salto vertical medido con el test CMJ por medio de la aplicación “ *My jump Lab* ” frente al entrenamiento convencional.

H1: Tras un entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo al 50% aumenta la sensación subjetiva de fatiga medida con la escala Borg frente al entrenamiento convencional.

H0: Tras un entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo al 50% no aumenta la sensación subjetiva de fatiga medida con la escala Borg frente al entrenamiento convencional.

## **5. Metodología**

### **5.1 Ética**

El estudio consta de un solo investigador y se realiza en Zaragoza (Zaragoza, Aragón). El estudio superó de forma favorable el comité de ética e investigación de Aragón (CEICA) (*Anexo 1*) El investigador asegura que no hay ningún tipo de compensación de ningún tipo por parte de las marcas de los dispositivos que usó durante la investigación.

El investigador principal se compromete a cumplir los principios de la Declaración de Helsinki, al cumplimiento de la Ley Orgánica 3/2018 del 5 de diciembre de la Protección de Datos de Carácter Persona, el Reglamento 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos. Garantizando la aplicación de los derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, olvido, limitación del tratamiento y portabilidad de datos. No aparecerá en el estudio ningún dato de carácter personal.

### **5.2 Diseño de estudio**

Se va a realizar un estudio piloto cuantitativo cuasiexperimental longitudinal en el que habrá un grupo al que se le realizará entrenamiento convencional y otro grupo al que se le realizará entrenamientos con la aplicación de restricción de flujo sanguíneo.

Los participantes o sujetos de estudio son jugadores varones de balonmano amateur de entre 16-18 años de edad que es la población a la que se tiene acceso desde un inicio. La población diana son jugadores de balonmano de la categoría “juvenil masculino”, la población accesible son los jugadores del club Balonmano Dominicos (Zaragoza, Zaragoza) de la categoría “juvenil masculino”. La junta directiva del club dio permiso para realizar el estudio en sus jugadores mientras no les impidiese la realización de sus actividades normales con el club como asistencia a los entrenamientos, preparación física o charlas técnicas. (*Anexo 2*)

Son sujetos sanos, de entre 16-18 años de edad y que juegan a balonmano desde hace más de 3 años. La captación de los sujetos se realizó en el propio club “Balonmano Dominicos”, se realizó la propuesta de participación del estudio la semana de 21 de abril de 2022 de manera totalmente voluntaria. A los que aceptaron participar en el estudio se les entregó, la semana del 21 de abril de 2022, a todos los participantes una hoja de información sobre el estudio, en el que se informaba de la metodología del estudio, de los riesgos que suponía y del tiempo que invertirían en cada uno de los momentos de medición; y un consentimiento informado

para la obtención de los datos que era obligatorio que firmasen los padres o tutores, al ser menores de edad, para poder participar. (Anexo 3)

El tamaño muestral real se calculó a partir de este estudio dando un resultado en la calculadora Granmo de 29 sujetos, al tratarse de un estudio piloto realizaremos la investigación con una muestra de 12 pacientes (6 por grupo).

Se realizó un muestreo aleatorio simple para asignar los grupos. El muestreo consistió en una bolsa opaca negra que contenía 12 bolas de ping-pong del mismo tamaño y peso con la única diferencia de color. En la bolsa se introdujeron 6 pelotas naranjas y 6 pelotas rojas, las pelotas naranjas representaban el grupo control, que realizaría el entrenamiento convencional, y las pelotas rojas el grupo experimental, que realizaría el entrenamiento con restricción de flujo.

Como criterios de inclusión para poder participar en el estudio se utilizaron:

- Ser jugador de balonmano federado de la categoría “juvenil masculino.”
- Ser paciente sano.
- Llevar un mínimo de 3 años jugando al balonmano.
- Jugar en la posición de “lateral”, “extremo” o “central”.

Se utilizaron tres niveles de criterios de exclusión. En el primero si se confirma una de las siguientes condiciones se le eliminaría inmediatamente del estudio por alto riesgo de producir daño al sujeto:

- Linfedema
- Cáncer
- Heridas abiertas
- Infección en alguna extremidad
- Uso de anticoagulantes
- Tratamiento en activo con Warfarina
- Diabetes
- Neuropatía periférica
- Patología trombótica

En segundo lugar, en el supuesto de confirmar alguna de las siguientes condiciones se pedirían la aprobación de un médico para utilizar la restricción de flujo por posible riesgo de generar daño en el sujeto:

- Paraplejia
- Enfermedad metabólica
- Enfermedad cardiaca

- Cursar con una enfermedad infecciosa

Por último, en el supuesto de confirmar tres de las siguientes condiciones se pediría la aprobación de un médico para utilizar la restricción de flujo por riesgo de causar daño al sujeto:

- Obesidad
- Fumador
- Mala circulación
- Varices
- Deshidratación
- Presión alta (140/90 mmHG)
- Reciente inmovilización (por un viaje de larga distancia realizado recientemente)

### 5.3 Variables

Las variables a estudiar fueron:

- Potencia máxima: Variable cuantitativa continua dependiente. Se medirá con un encoder lineal de la marca Vitruve<sup>37</sup>. Este encoder lineal portátil, se conectó directamente con el dispositivo móvil del investigador para tener datos a tiempo real de las potencias mientras se realizaba la intervención, garantizando el seguimiento en todo momento.
- Altura del salto vertical: Variable cuantitativa continua dependiente. Se medirá con el test “*Counter Movement Jump*” (CMJ). Para medir la altura del salto en centímetros se utilizó la aplicación, actualmente validada y eficaz, “My Jump Lab”.<sup>38</sup>
- Sensación subjetiva de cansancio: Variable cuantitativa discreta dependiente. Se medirá por medio de la “Escala de Borg”<sup>16</sup>.

### 5.4 Diseño de intervención

El entrenamiento convencional consistió en la realización de una de las tablas que les envía semanalmente el preparador físico del club (*figura 3*), siguiendo las mismas directrices, pesos y velocidades que usan en un entrenamiento normal. La realizaron el mismo día que se realizó la intervención a los sujetos del grupo experimental. Llegando a la misma hora que ellos, pero utilizando un espacio deferente. Del mismo modo que el grupo experimental fueron realizando el entrenamiento uno por uno de manera independiente. Realizaron los ejercicios de sentadilla búlgara, sentadilla con salto, peso muerto y carreras con lastres.



Fig. 3. Propuesta de ejercicio de potencia que se envió a los jugadores el día de la intervención y se realizó como ejercicio convencional para el grupo control.

Para el grupo experimental se realizó un único entrenamiento con restricción de flujo que consistió en la realización del ejercicio de “sentadilla” y series de salto a la comba. Antes de la prueba se les midió a todos su potencia pico por medio de un encoder lineal (figura 4) para establecer el peso ideal para realizar la sentadilla. La carga utilizada se correspondía con el peso utilizado justo antes de que la potencia de cada jugador descendiese; este peso, además de ser el óptimo para la mejora de potencia, ha sido avalado por varios estudios demostrando su eficacia y compatibilidad con la restricción de flujo<sup>33,34</sup>.



Fig. 4, Encoder lineal marca vitruve utilizado en el estudio para las mediciones de potencia.

Imagen extraída de: <https://shop.eu.vitruve.fit/collections/tracker/products/vitruve-encoder>

Una vez se colocase el peso, se les colocó la aparatología de restricción de flujo en miembro inferior con un 40% de oclusión. Está porcentaje de oclusión se decidió teniendo en cuenta que, aunque programemos una restricción al 50% no quiere decir que el flujo se haya reducido exactamente al 50%. Con un 40% de oclusión el flujo real es del 55%, en el caso de utilizar el 80% de oclusión el flujo real es del 49.3% Esto nos indicaría que no hay ventajas adicionales a utilizar oclusiones superiores al 40% pero si mayores riesgos<sup>35</sup>.

Para la aplicación de restricción de flujo se utilizó el dispositivo Airbands de miembro inferior. Este dispositivo tiene una calibración de la oclusión de manera automática y individualizada a cada paciente, con un rango de amplitud de piernas de entre 45 -65 centímetros y superó positivamente el criterio FDA de Estados Unidos. El control del manguito en todo momento se encuentra en el dispositivo móvil del investigador por medio de una aplicación móvil. Además de contar con estudios que acreditan su funcionamiento<sup>39,40</sup> (figura 5).



*Fig. 5. Colocación de los manguitos de restricción de flujo. Generando oclusión en la arteria femoral*

Se les pidió que realizasen las repeticiones a la máxima velocidad que pudiesen, una vez el encoder lineal mostrase al investigador una pérdida del 20% de la potencia se les paró y se les dio de descanso el doble del tiempo que tardaron en realizar la serie. Este proceso se repetiría hasta la realización de una sola repetición. (figura 6)



*Fig.6. Ejercicio de sentadillas a máxima velocidad y con el peso adecuado para cada sujeto. Abajo a la derecha de la primera imagen se aprecia el encoder lineal, iba enganchado a la barra olímpica para la medición de potencia constante.*

Después de dos minutos de descanso realizarían entrenamiento pliométrico con comba basándonos en el entrenamiento propuesto por Ciacci et al. El entrenamiento consistiría en 1 serie de 20 saltos a dos pies, 1 serie de 10 saltos con el pie izquierdo y 1 serie de 10 saltos con el pie derecho. Estas series las realizarían con el ritmo en el que cada jugador estuviese cómodo, con un descanso entre series del doble de tiempo que tardaron en realizarlo<sup>36</sup>. (figura 7)



*Fig.7. Series de comba en orden de realización. Primero de manera bipodal, después con la pierna dominante y por último con la pierna contraria.*

Como medida de seguridad y de prevención para los sujetos previamente a todo este entrenamiento se había realizado un pre-acondicionamiento isquémico a cada jugador y después de terminarlo se les realizó una reperfusión progresiva durante 8 minutos reduciendo un 5% de oclusión cada minuto mientras caminaban alrededor del campo.

Respecto a la medición de la potencia máxima se les midió después de 20 minutos de descanso tras haber terminado el primer entrenamiento. Se les volvió a medir a las 24 horas y una última vez a las 72 horas. El lugar, las horas de mediciones y el orden fueron el mismo que al realizar la intervención.

### 5.5 Fases del estudio

Todas las mediciones, así como la intervención se realizó en el periodo de tiempo de una semana.

Fase 1: Se realizaron las entrevistas para descartar a los sujetos que no cumplían las condiciones mencionadas anteriormente. Este mismo día se les explicó en que consiste el estudio y como se les asignó a los grupos. También se les entregaron los consentimientos informados.

El segundo día de la misma semana se procedió a la medición de las variables potencia máxima en miembros inferiores mediante el ejercicio de sentadilla, por medio de un encoder lineal, y altura en salto vertical, con el test CMJ (*figura 7*). Por medio de la aplicación “My jump lab” (*figura 8*)



*Fig. 8. Medición de la altura en salto vertical con CMJ. La primera imagen corresponde con la posición inicial, la segunda con la triple flexión para almacenar energía para el salto posterior. La tercera imagen corresponde con el primer momento en el que la app se para, coincidiendo con el despegue y la cuarta es el primer momento en el que toca el suelo.*

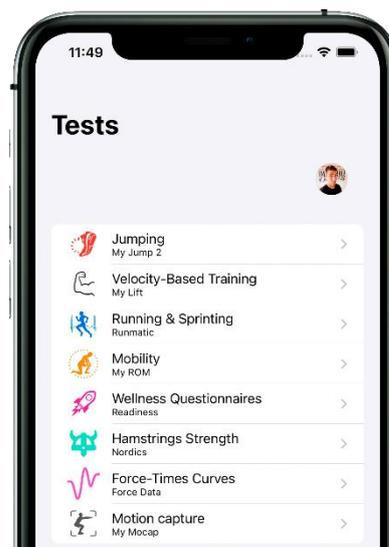


Fig. 8. Aplicación móvil diseñada por Carlos Balsalobre que se utilizó para la medición del CMJ.

Imagen extraída de: [https://www.carlos-balsalobre.com/index\\_sp.html#apps](https://www.carlos-balsalobre.com/index_sp.html#apps)

Se realizó la intervención (ejercicio en ambos grupos) con el previo acondicionamiento isquémico en el caso del grupo experimental y se cuantificó la sensación de cansancio subjetiva por medio de la escala de Borg al terminar la intervención. Después de la reperusión progresiva post-entrenamiento se le concedió 20 minutos de descanso. Se volvió a medir la potencia en miembros inferiores y la altura del salto vertical.

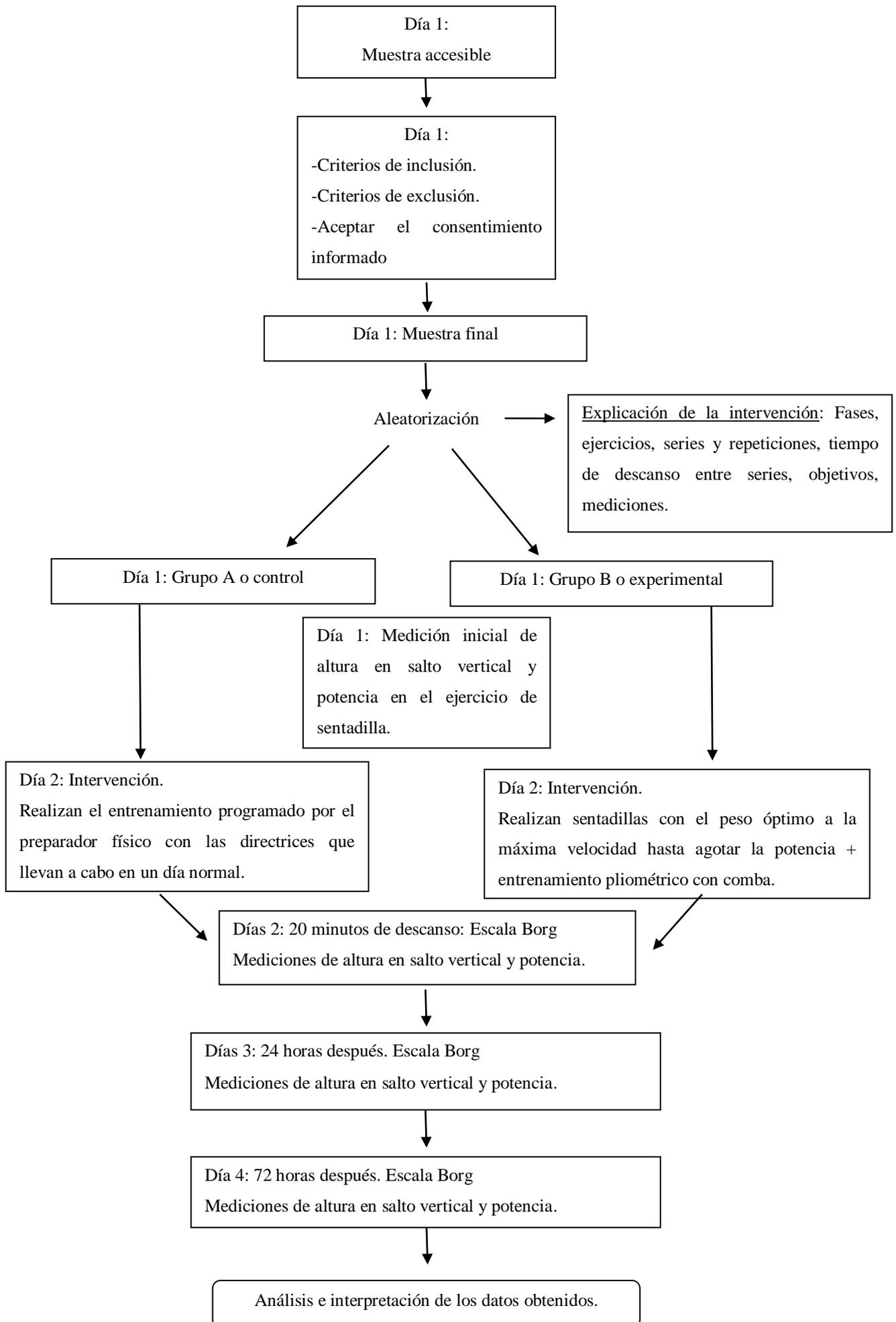
Fase 2: 24 horas post-mediciones. Lo primero que se realizó fue la escala Borg para la sensación subjetiva del cansancio. Después se volvieron a medir las variables biomecánicas de potencia en miembros inferiores, con el encoder lineal, y la altura del salto vertical, con el CMJ.

Fase 3: 72 horas post-mediciones. Se preguntó, en primer lugar, la sensación de fatiga por medio de la escala de Borg. Se repitieron las mediciones de variables biomecánicas de potencia en miembro inferior y la altura de salto vertical

Fase 4: Análisis: El investigador principal realizó el análisis estadístico de las medidas recogidas para su posterior interpretación.

El proyecto, recogida de variables iniciales y datos, intervención y mediciones finales se realizaron en las instalaciones del club Balonmano Dominicos (Zaragoza, Zaragoza). En el caso de que un sujeto no acudiese los días asignados por cualquier razón o sufriese alguna lesión relacionada o no con el estudio, no se tuvo en cuenta en las mediciones ni en el posterior análisis y se clasificó como pérdida. (figura 9)

## 5.5 Cronograma



<b>PRIMER GRUPO</b>	<u>Grupo control (convencional)</u>	<u>Grupo experimental (BFR)</u>
Día 1. (04/04/2022) 17:00	Consentimiento informado y explicación del estudio. Mediciones iniciales de potencia y altura en salto (3 sujetos).	Consentimiento informado y explicación del estudio. Mediciones iniciales de potencia y altura en salto (3 sujetos).
Día 2 (05/04/2022) 17:00	Intervención. Escala Borg y 20 minutos de descanso. Se vuelven a medir la altura en salto vertical y la potencia (3 sujetos)	Intervención. Escala Borg y 20 minutos de descanso. Se vuelven a medir la altura en salto vertical y la potencia (3 sujetos)
Día 3 (06/04/2022) 17:00	Escala Borg. Mediciones de altura en salto y potencia en miembros inferiores (3 sujetos)	Escala Borg. Mediciones de altura en salto y potencia en miembros inferiores (3 sujetos)
Día 4 (08/04/2022)	Escala Borg. Mediciones de altura en salto y potencia en miembros inferiores (3 sujetos)	Escala Borg. Mediciones de altura en salto y potencia en miembros inferiores (3 sujetos)

<b>SEGUNDO GRUPO</b>	<u>Grupo control (convencional)</u>	<u>Grupo experimental (BFR)</u>
Día 1.1 (18/04/2022) 17:00	Mediciones iniciales de potencia y altura en salto (3 sujetos restantes).	Mediciones iniciales de potencia y altura en salto (3 sujetos restantes).
Día 2.1 (19/04/2022) 17:00	Intervención. Escala Borg y 20 minutos de descanso. Se vuelven a medir la altura en salto vertical y la potencia (3 sujetos restantes)	Intervención. Escala Borg y 20 minutos de descanso. Se vuelven a medir la altura en salto vertical y la potencia (3 sujetos restantes)
Día 3.1 (20/04/2022) 17:00	Escala Borg. Mediciones de altura en salto y potencia en miembros inferiores (3	Escala Borg. Mediciones de altura en salto y potencia en miembros inferiores (3

	sujetos restantes)	sujetos restantes)
Día 4.1 (22/04/2022) 17:00	Escala Borg. Mediciones de altura en salto y potencia en miembros inferiores (3 sujetos restantes)	Escala Borg. Mediciones de altura en salto y potencia en miembros inferiores (3 sujetos restantes)

*Fig. 9. Tabla representativa de los días y horas en las que se llevó a cabo todo el estudio. Se dividieron las mediciones en dos tandas, una previa a la Semana Santa y la otra justo después. En cada momento se midió a tres de cada grupo. La asignación a estos grupos la decidieron los mismos sujetos en función de la disponibilidad.*

### 5.6 Análisis estadístico

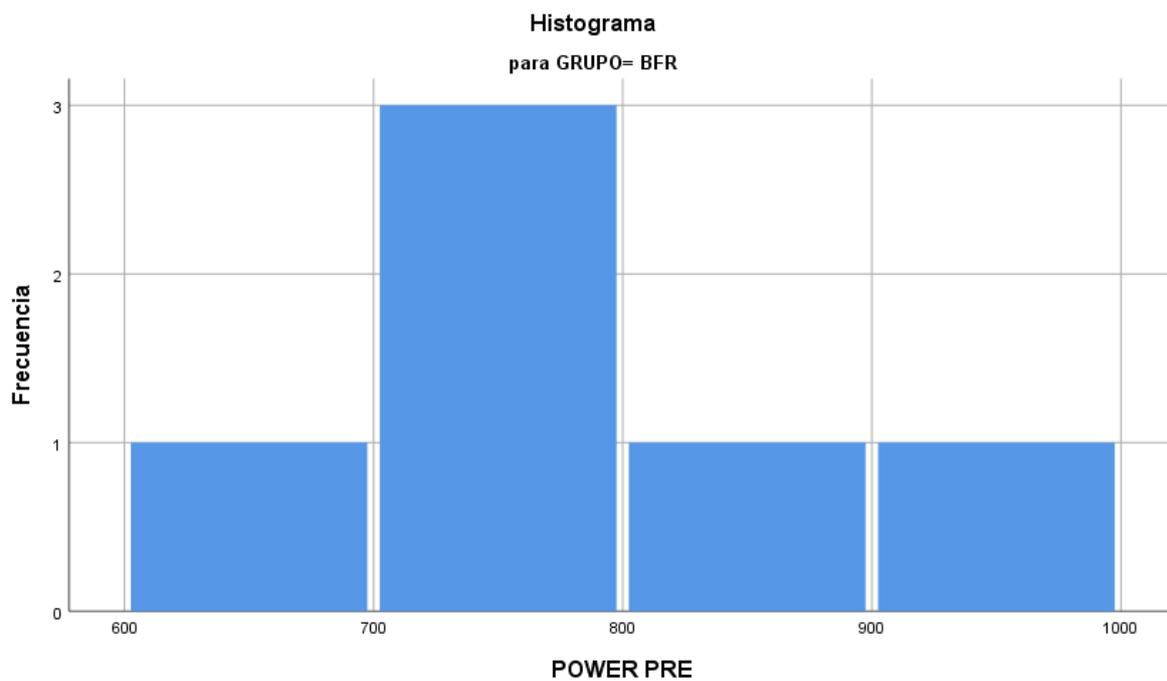
Para la recogida de datos se utilizó el software Excel. Para su posterior análisis e interpretación se utilizó el software estadístico IBM SPSS statistics versión 26. Se analizó en primer lugar la existencia de algún incremento en la potencia máxima y altura en el salto vertical en el grupo de entrenamiento convencional y en el de entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo de manera independiente. Se analizó si existió alguna diferencia en estas variables entre los grupos. Del mismo modo se analizó la sensación de fatiga en los grupos de manera independiente y posteriormente se relacionó entre los grupos.

## 6. Resultados

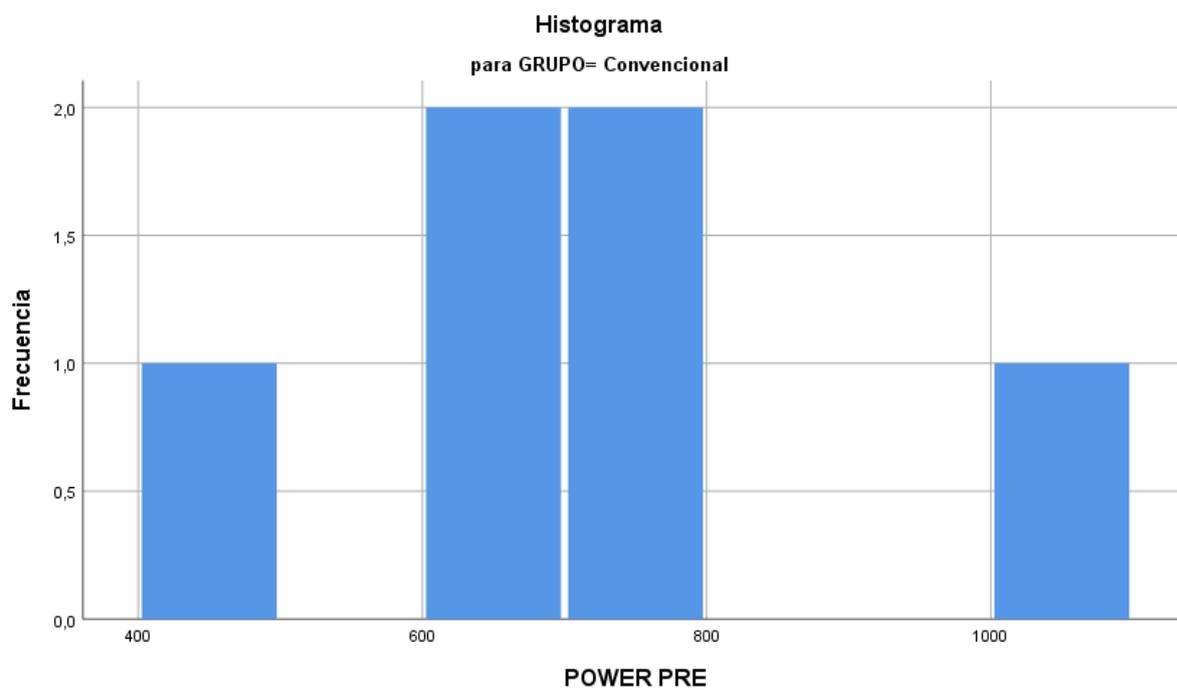
### 6.1 Análisis descriptivo

		Descriptivos		
	GRUPOS		Estadístico	Error estándar
POWER PRE	BFR	Media	761,50	49,707
		Varianza	14824,700	
		Desviación estándar	121,757	
		Asimetría	,904	,845
		Curtosis	1,742	1,741
	Convencional	Media	714,33	79,518
		Varianza	37939,067	
		Desviación estándar	194,780	
		Asimetría	,400	,845
		Curtosis	1,484	1,741
POWER POST	BFR	Media	473,17	28,566
		Varianza	4896,167	
		Desviación estándar	69,973	
		Asimetría	-,132	,845
		Curtosis	-,588	1,741
	Convencional	Media	664,00	77,284
		Varianza	35837,200	
		Desviación estándar	189,307	
		Asimetría	,445	,845
		Curtosis	1,417	1,741

Como podemos observar en la figura 1. La potencia media en las mediciones pre-intervención es de 761.5 para el grupo de BFR frente a 714.33 para el grupo de entrenamiento convencional. Ambos grupos presentan una asimetría positiva, para el grupo BFR con una asimetría de 0.904 y el grupo convencional con una asimetría de 0.4. Se pueden apreciar una varianza y desviación estándar muy elevadas, mostrando que hay mucha dispersión de los datos sobre la media. (figuras 10, 11 y 12)



*Fig.10. Frecuencias de potencia pre entrenamiento del grupo de BFR en intervalos.*



*Fig.11. Frecuencias de potencia pre entrenamiento del grupo convencional en intervalos.*

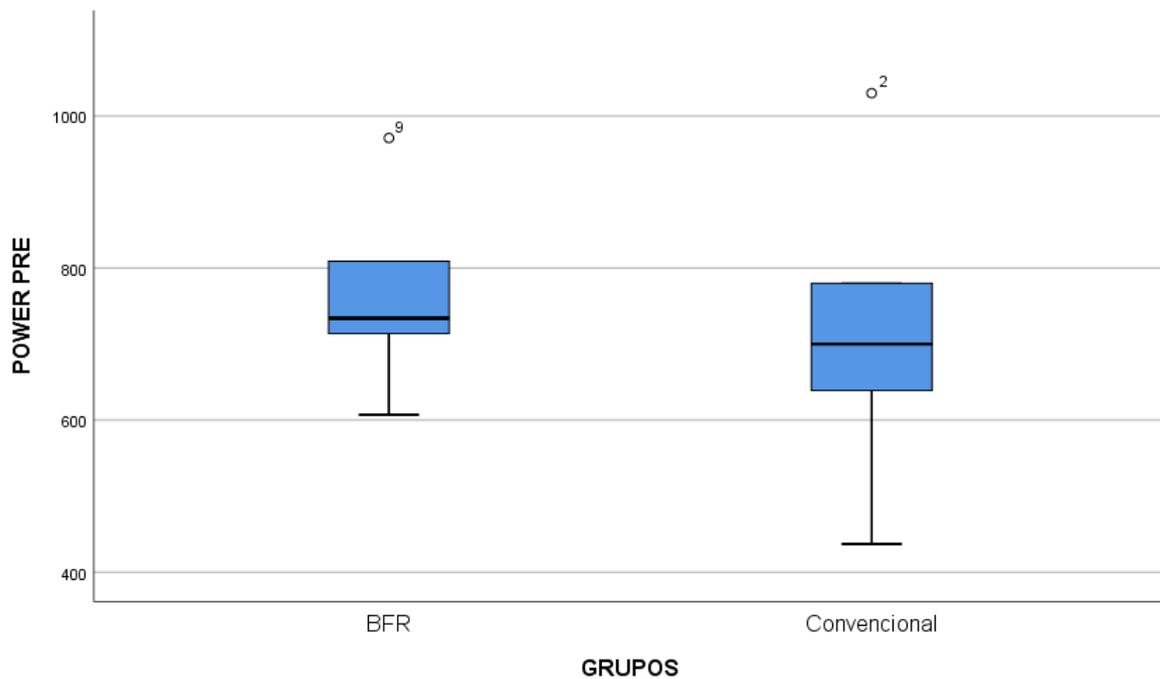


Fig. 12. Diagrama de cajas comparativo entre la potencia pre entrenamiento de los grupos convencional y BFR

En las mediciones post-intervención apreciamos una media de 473.17 para el grupo BFR y una media de 664 para el grupo convencional, el grupo BFR presenta una asimetría negativa por su valor de -0.132 en el índice de asimetría y el grupo convencional una simetría positiva (0.445). Del mismo modo se aprecian una varianza y desviación estándar muy elevadas dada la dispersión de los valores. (figuras 12, 13 y 14).

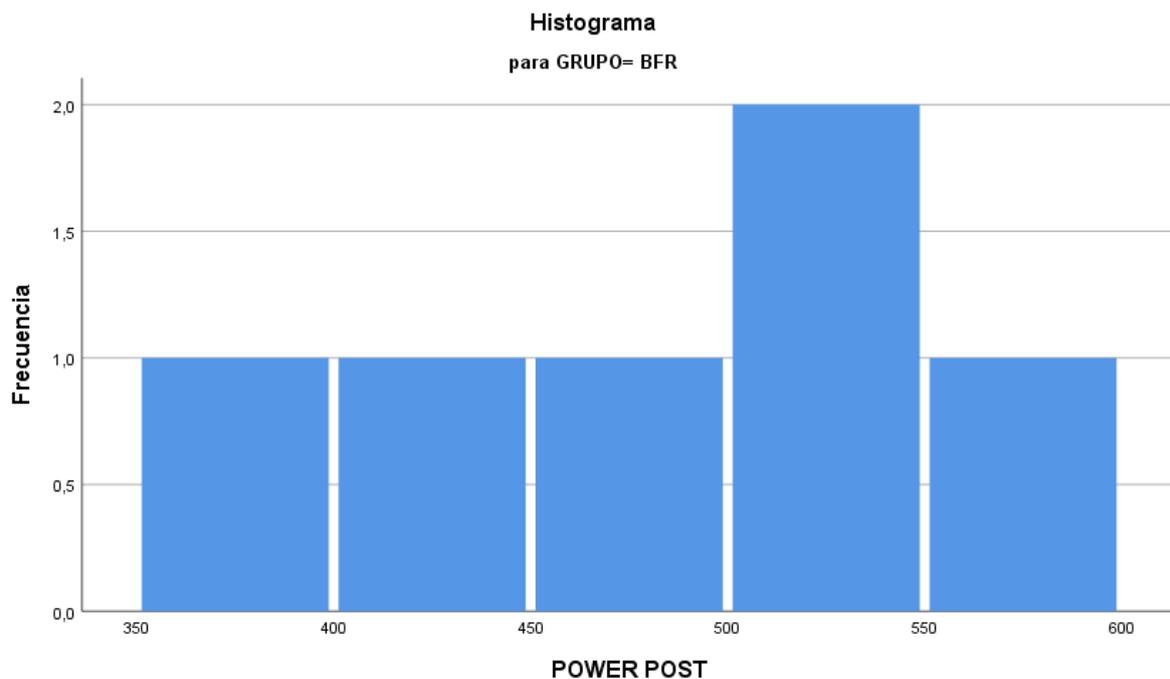


Fig.12. Frecuencias post intervención del grupo BFR.

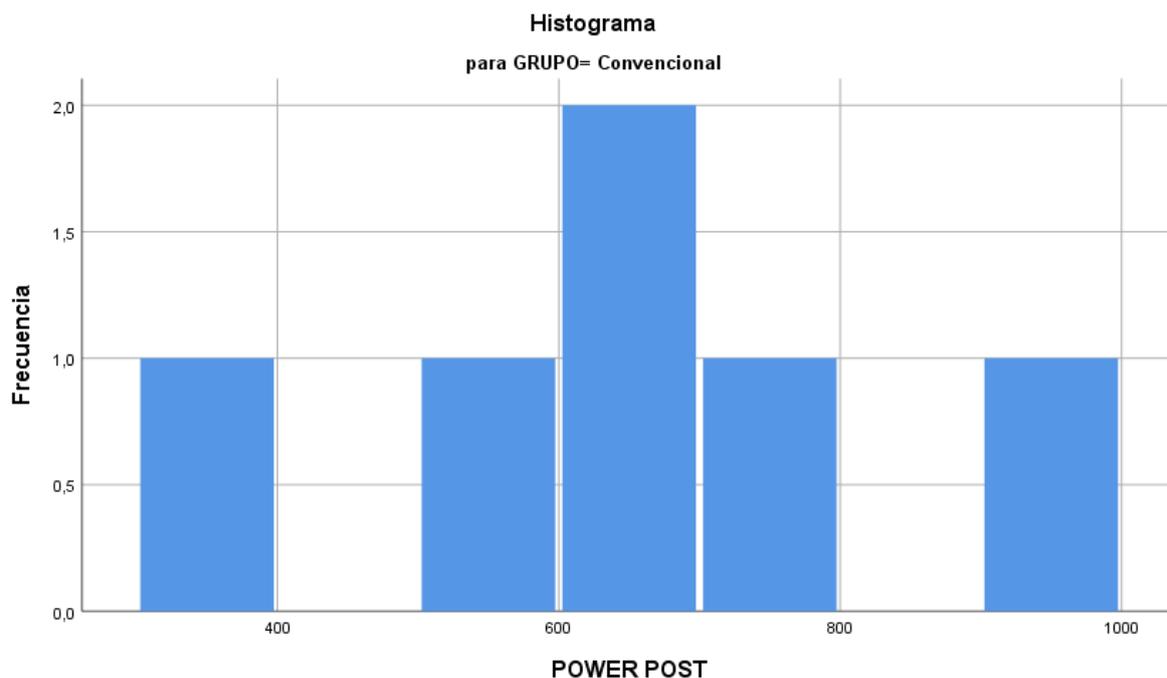


Fig.13. Frecuencia de la potencia post intervención del grupo convencional

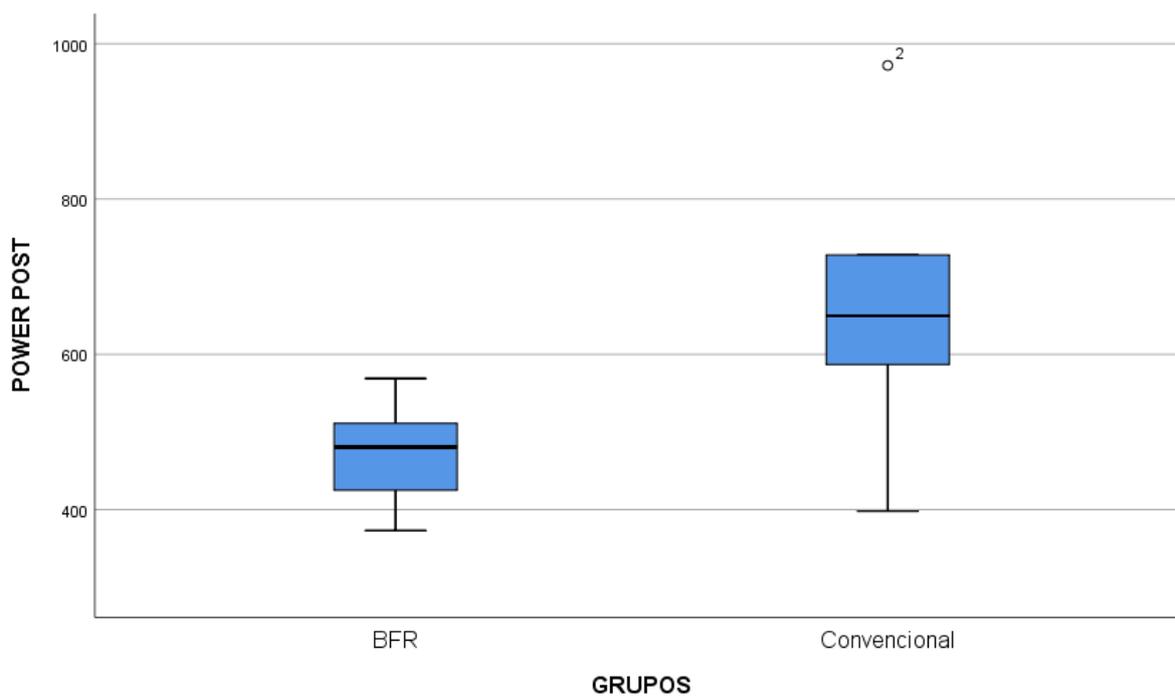


Fig. 14. Diagrama de caja comparativo entre los grupos de BFR y convencional en la potencia pos intervención

**Descriptivos**

GRUPOS		Estadístico	Error estándar	
POWER 24H	BFR	Media	393,17	32,465
		Varianza	6323,767	
		Desviación estándar	79,522	
		Asimetría	-,251	,845

	Curtosis	-,924	1,741
Convencional	Media	647,33	81,323
	Varianza	39680,667	
	Desviación estándar	199,200	
	Asimetría	,707	,845
	Curtosis	2,159	1,741

En la tabla se muestra el análisis descriptivo de potencia en las mediciones tras 24 horas. En este momento de medición se puede observar una media de 393.17 para el grupo de BFR y 647.33 para el grupo convencional. La asimetría vuelve a ser negativa para el grupo BFR con un valor de -0.251 y una asimetría positiva para el grupo convencional con un valor de 0.707. (figuras 15, 16 y 17)

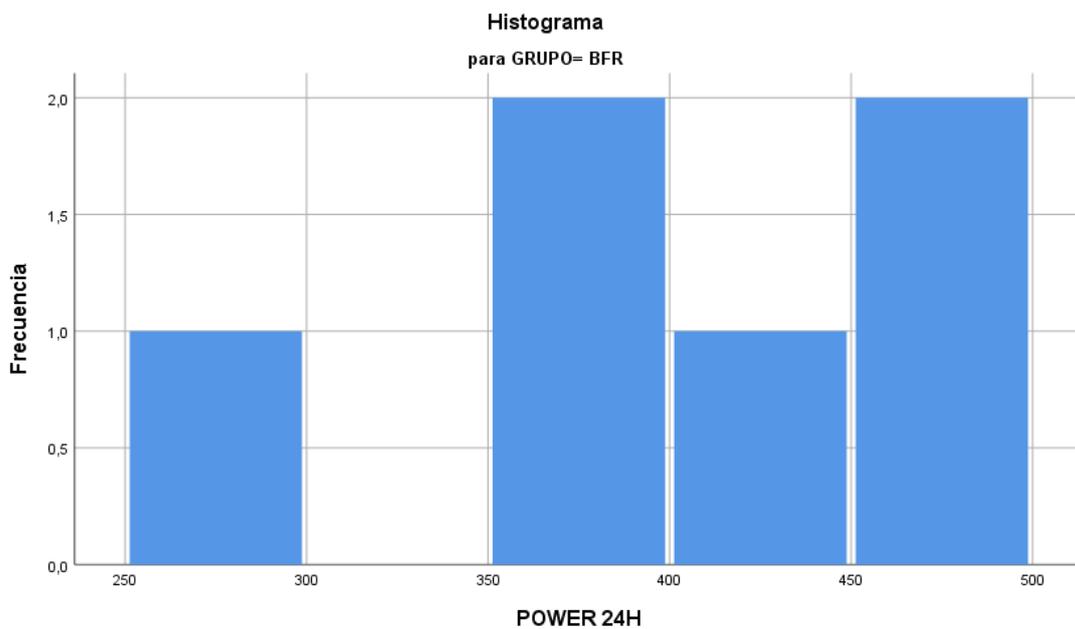


Fig. 15. Frecuencias de la potencia a las 24 horas de la intervención en el grupo de BFR

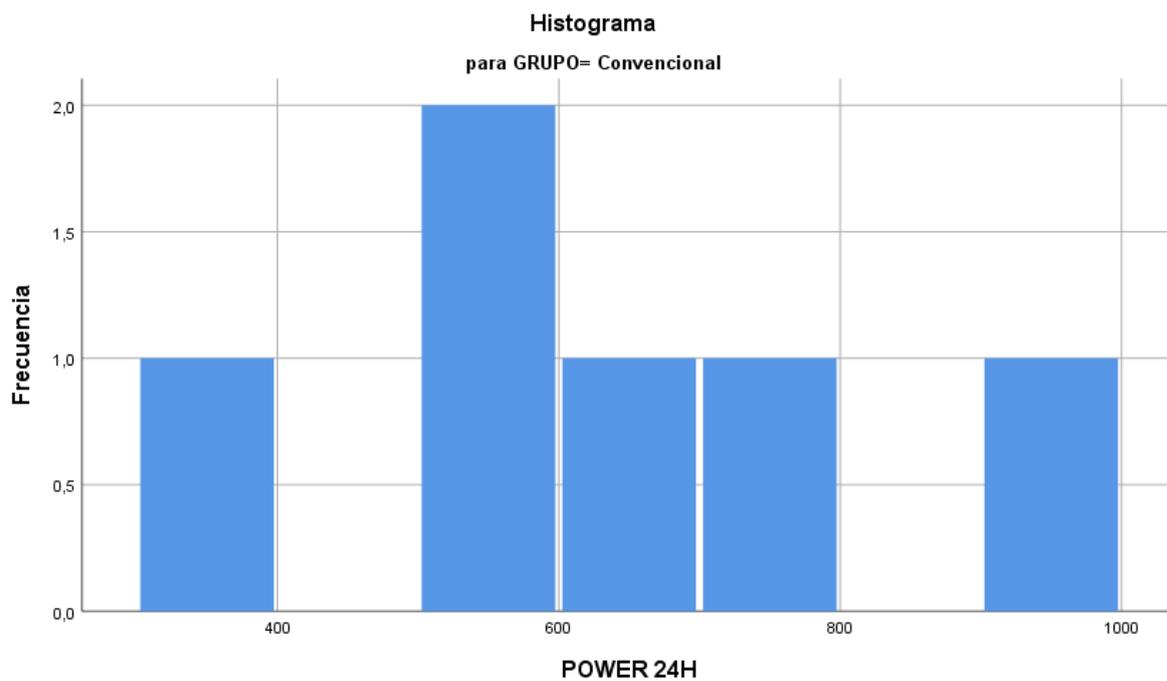


Fig.16. Frecuencia de la potencia a las 24 horas para el grupo convencional

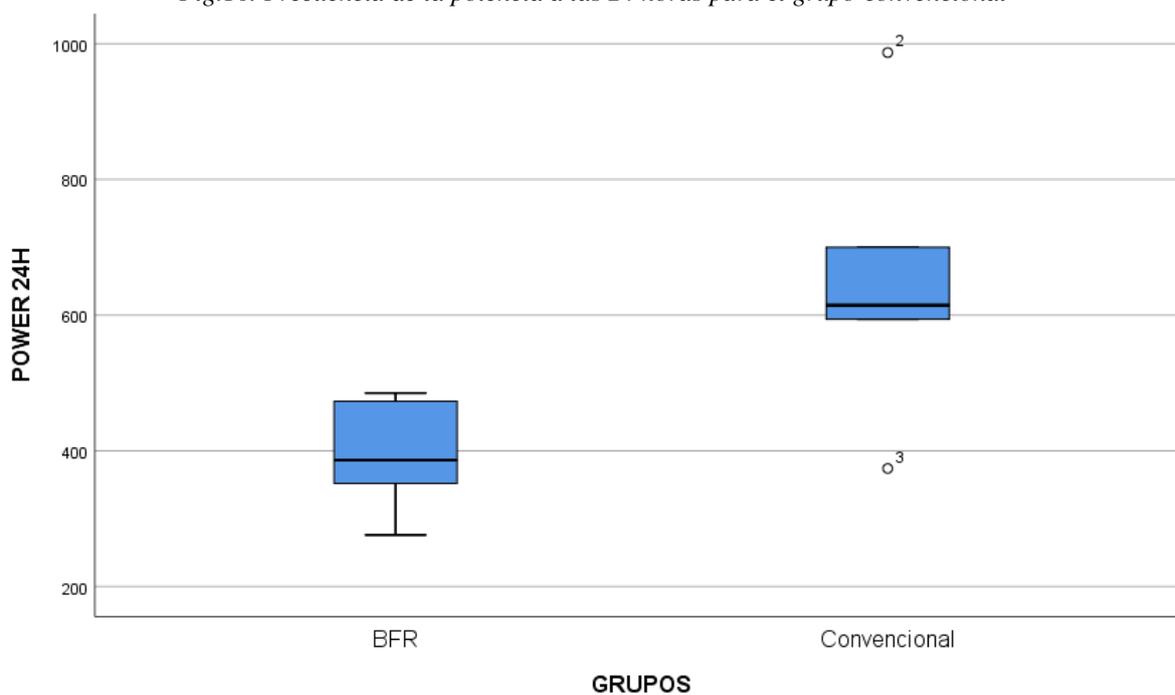


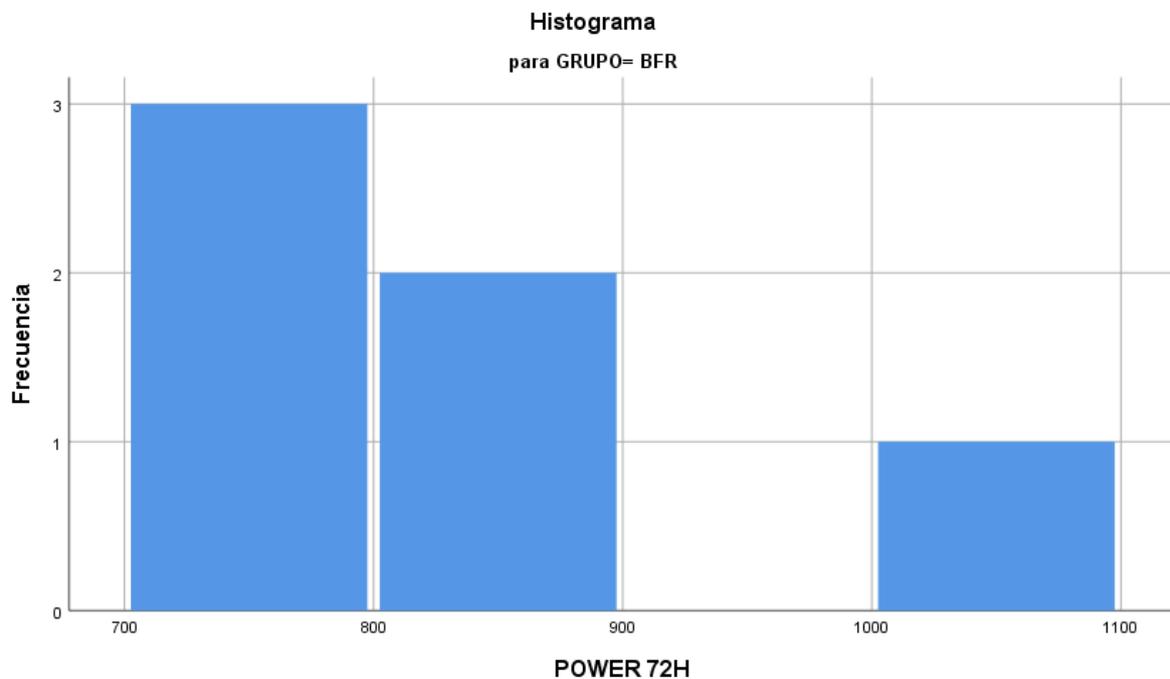
Fig. 17. Diagrama de cajas comparativo con los grupos de BFR y convencional para la potencia a las 24 horas

**Descriptivos**

GRUPOS		Estadístico	Error estándar	
POWER 72H	BFR	Media	835,67	41,956
		Varianza	10561,867	
		Desviación estándar	102,771	
		Asimetría	,739	,845
		Curtosis	,467	1,741

Convencional	Media	703,20	94,700
	Varianza	44840,200	
	Desviación estándar	211,755	
	Asimetría	,799	,913
	Curtosis	1,383	2,000

La muestra los valores las 72 horas, el grupo de BFR presenta una media de 835.67 frente al grupo convencional que tiene una media de 703.2. Ambos grupos presentan una asimetría positiva con valores de 0.739 y 0.799 respectivamente. Tanto en la medición a las 24 horas como a las 72 horas se presentan, en los dos grupos, unas varianzas y unas desviaciones estándares elevadas. (figuras 18, 19 y 20)



*Fig.18. Potencia del grupo BFR a las 72 horas de medición*

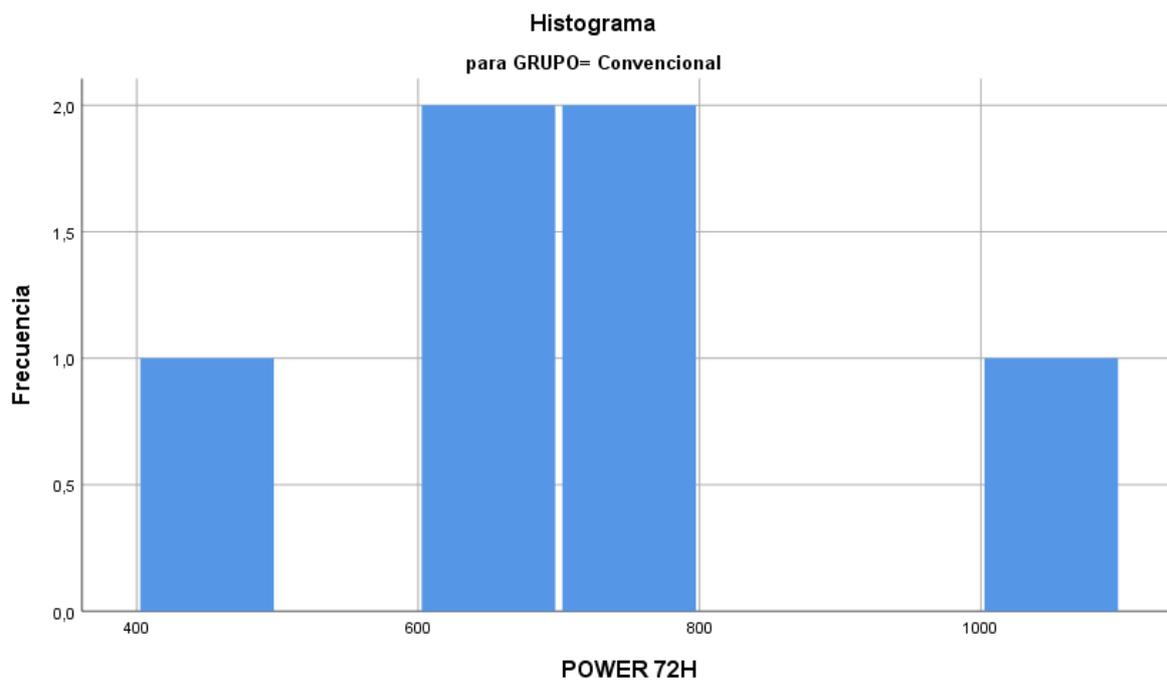


Fig. 19. Potencia del grupo convencional a las 72 horas de medición

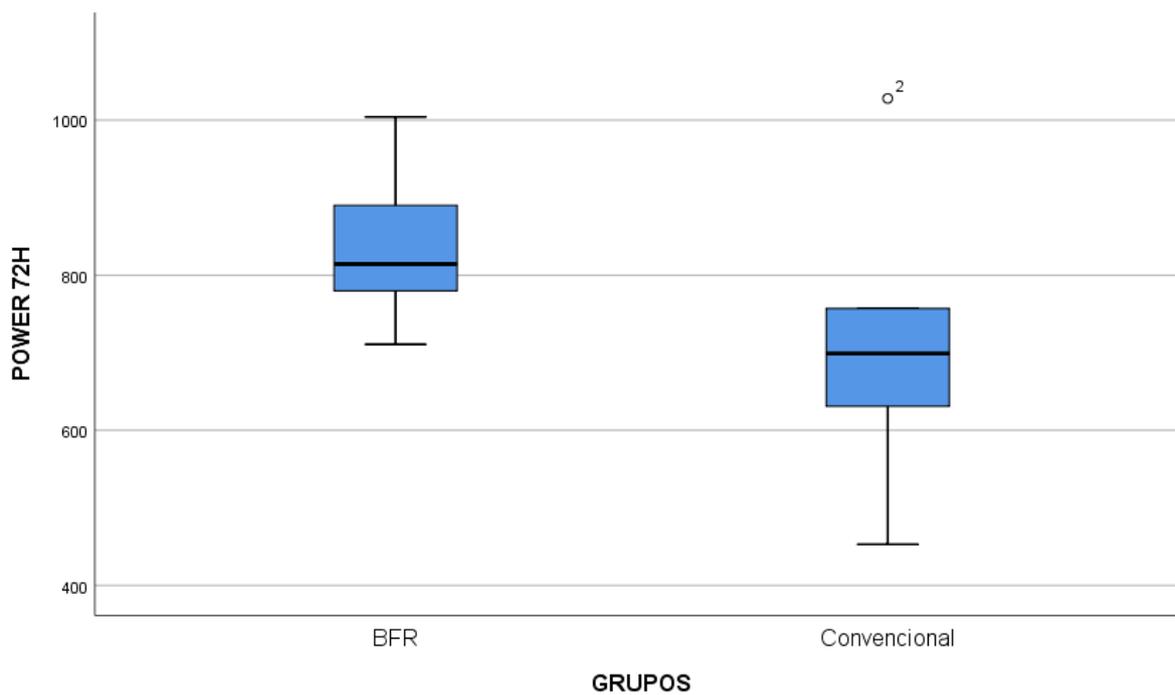


Fig. 20. Diagrama de cajas comparativo entre el grupo convencional y el grupo BFR a las 72 horas de medición

### Descriptivos

GRUPOS		Estadístico	Error estándar	
SALTO PRE	BFR	Media	33.967	1.6643
		Varianza	16,619	
		Desviación estándar	4.0766	

		Asimetría	-,289	,845
		Curtosis	-1,347	1,741
	Convencional	Media	33.683	4.3373
		Varianza	112,874	
		Desviación estándar	10.6242	
		Asimetría	1,498	,845
		Curtosis	2,726	1,741
SALTO POST	BFR	Media	26.483	1.6902
		Varianza	17,142	
		Desviación estándar	4.1402	
		Asimetría	-,852	,845
		Curtosis	-1,230	1,741
	Convencional	Media	32.517	4.0293
		Varianza	97,414	
		Desviación estándar	9.8698	
		Asimetría	1,548	,845
		Curtosis	3,016	1,741

Se pueden observar las mediciones para la altura en salto vertical pre y post intervención. Observamos que la altura en salto vertical inicial para el grupo BFR presenta una media de 33.967 con una asimetría negativa con un valor de 0.289. EL grupo convencional presenta una media de 33.683 con una asimetría positiva de 1.498. Los valores después de la intervención para el grupo BFR son de 26.483 para la media, con una asimetría negativa de -0.852. Para el grupo convencional apreciamos una media de 32.517 y una simetría positiva de 1.548. En ambos momentos de mediciones se aprecia una varianza alta pero una considerable disminución de la desviación estándar debido a la mayor agrupación de los valores respecto a la media (*figuras 21 y 22*)

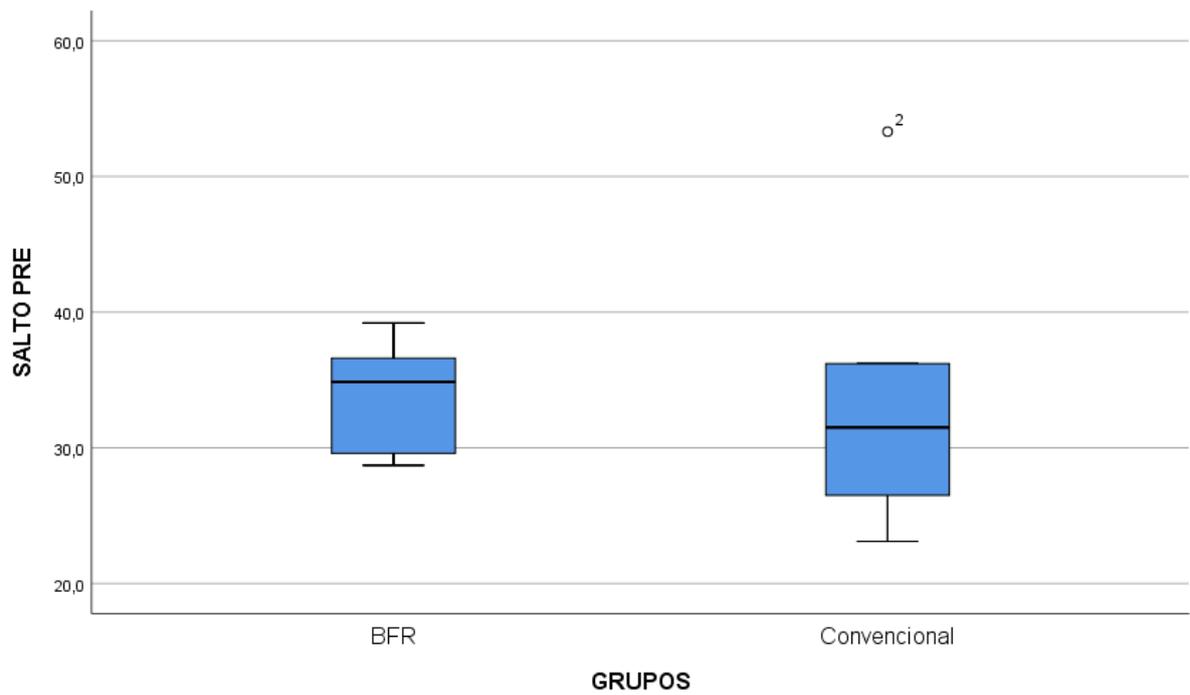


Fig. 21. Diagrama de cajas comparativo en la altura en el salto vertical pre intervención en para los grupos de BFR y convencional

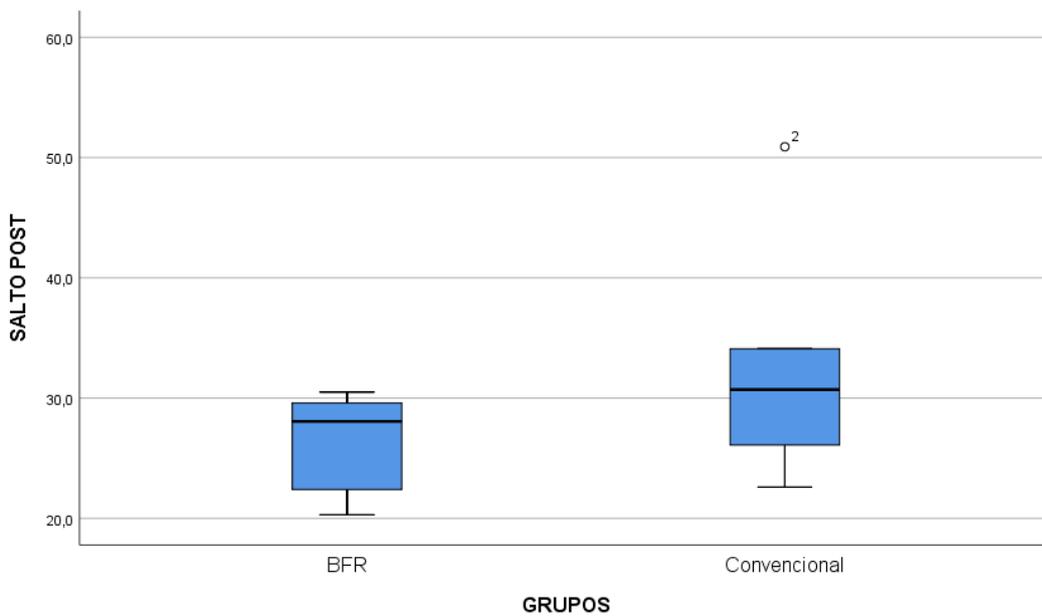


Fig. 22. Diagrama de cajas comparativo en la altura de salto vertical post intervención para los grupos de BFR y convencional

### Descriptivos

GRUPOS		Estadístico	Error estándar
SALTO 24H	BFR	Media	25.900
		Varianza	18,376
		Desviación estándar	4.2867
		Asimetría	-1,264

	Curtosis	,407	1,741
Convencional	Media	32.233	3.5930
	Varianza	77,459	
	Desviación estándar	8.8011	
	Asimetría	1,691	,845
	Curtosis	3,445	1,741

En la tabla se muestran los resultados de las mediciones de altura en salto vertical a las 24 horas de la intervención. En la tabla apreciamos que el grupo BFR presenta una media de 25.9 con una asimetría negativa de -1.264. El grupo convencional tiene una media de 32.233 con una asimetría positiva con un valor de 1.691. Una vez más se puede apreciar varianzas y desviaciones típicas que a pesar de ser elevadas tienden a disminuir acercando más los valores a la media. (figura 23)

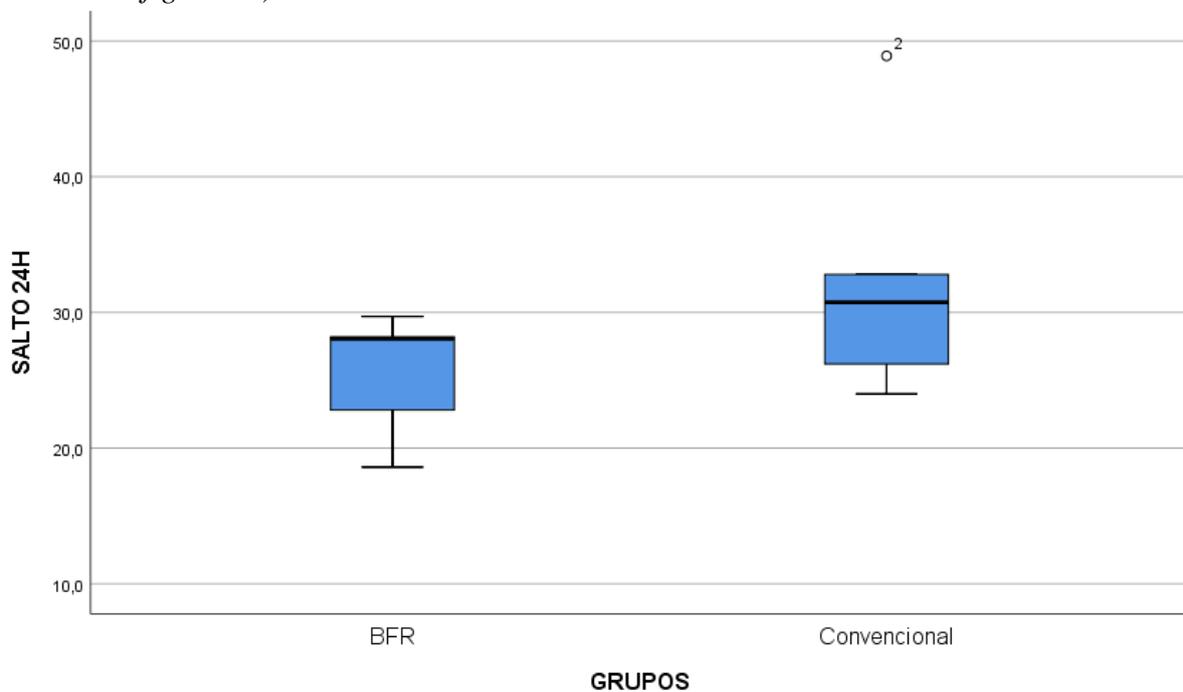


Fig. 23. Diagrama de cajas que muestra la comparación para la altura del salto vertical a las 24 horas para los grupos BFR y convencional

### Descriptivos

GRUPOS			Estadístico	Error estándar
SALTO 72H	BFR	Media	34.283	1.6774
		Varianza	16,882	
		Desviación estándar	4.1087	
		Asimetría	-,378	,845
		Curtosis	-1,195	1,741

Convencional	Media	35.240	4.5621
	Varianza	104,063	
	Desviación estándar	10.2011	
	Asimetría	1,761	,913
	Curtosis	3,521	2,000

Como apreciamos en la figura 6 a las 72 hora el grupo BFR presenta una media de 34.283 con una asimetría negativa de -0.378. Por otra parte, el grupo convencional presenta una media de 35.240 con una asimetría positiva de 1.761. Se apreció un nuevo aumento de la varianza y desviación típica señalando la dispersión de los datos respecto a la media. (figura 24)

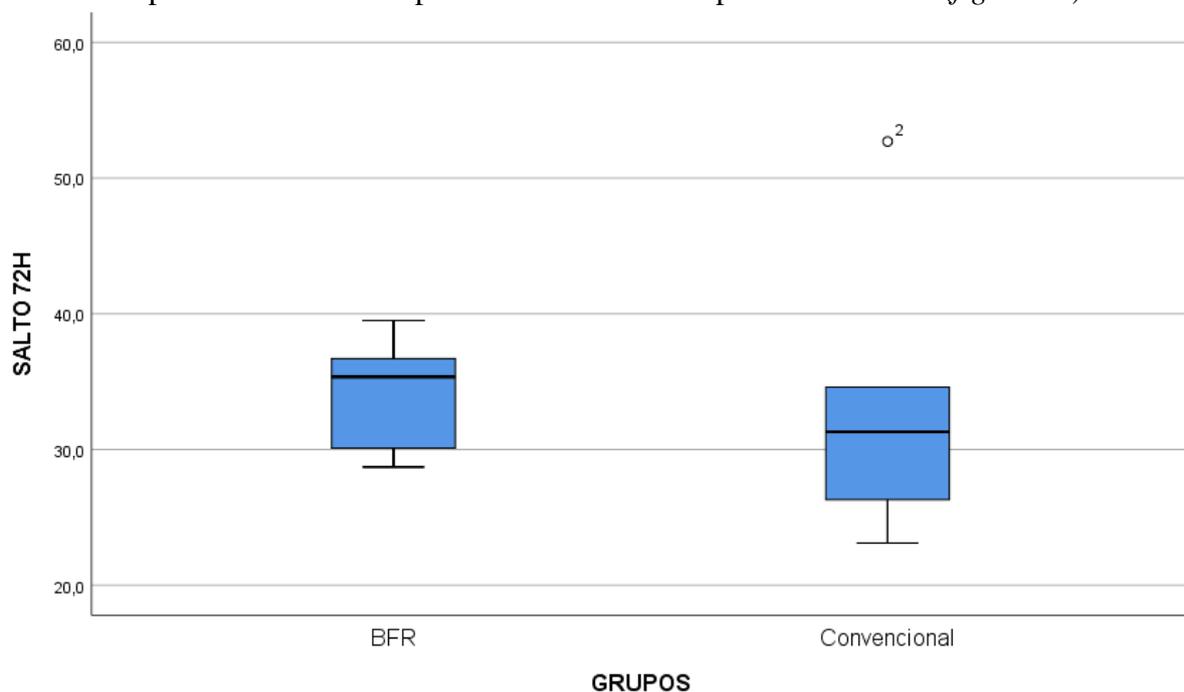


Fig. 25. Diagrama de cajas que muestra la comparación entre los grupos convencional y BFR en la altura del salto vertical tras 72 horas.

Cabe destacar que, en todas las mediciones realizadas a las 72 horas, tanto potencia como altura de salto vertical y escala Borg, el grupo convencional sufrió la pérdida de uno de los sujetos por lesión, no relacionada con el estudio que llevaba a cabo. Por lo que ha sido descartado de todas las mediciones a las 72 horas y se considera un *drop out*.

### 1.9 Análisis cuantitativo

En primer lugar, se realizó la prueba de Kolmogorov Smirnof para contrastar la distribución de la muestra.

**Pruebas de normalidad**

		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
POWER PRE	BFR	,214	6	,200 <sup>*</sup>	,933	6	,605
	Convencional	,201	6	,200 <sup>*</sup>	,963	6	,842
POWER POST	BFR	,186	6	,200 <sup>*</sup>	,979	6	,948
	Convencional	,201	6	,200 <sup>*</sup>	,964	6	,850
POWER 24H	BFR	,176	6	,200 <sup>*</sup>	,945	6	,699
	Convencional	,229	6	,200 <sup>*</sup>	,918	6	,492
POWER 72H	BFR	,196	6	,200 <sup>*</sup>	,957	6	,798
	Convencional	,219	6	,200 <sup>*</sup>	,945	6	,702

Como se aprecia en la figura 7 para la potencia en ambos grupos hay una distribución normal ya que el valor p, (0.2), en todos ellos es mayor o igual a 0.05.

**Pruebas de normalidad**

GRUPOS		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
SALTO PRE	BFR	,209	6	,200 <sup>*</sup>	,931	6	,588
	Convencional	,241	6	,200 <sup>*</sup>	,871	6	,232
SALTO POST	BFR	,301	6	,097	,864	6	,204
	Convencional	,270	6	,197	,865	6	,208
SALTO 24H	BFR	,355	6	,018	,817	6	,082
	Convencional	,308	6	,079	,833	6	,114
SALTO 72H	BFR	,226	6	,200 <sup>*</sup>	,933	6	,607
	Convencional	,262	6	,200 <sup>*</sup>	,905	6	,402

Respecto al salto la p también es mayor o igual a 0.05 en la prueba de Kolmogorov Smirnov en todos los valores menos en el grupo de BFR a las 24 horas (0.018) por lo que asumiremos una distribución normal.

**Pruebas de normalidad**

		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
BORG POST	BFR	,254	6	,200 <sup>*</sup>	,866	6	,212
	Convencional	,302	6	,094	,775	6	,035
BORG 24H	BFR	,303	6	,090	,832	6	,111
	Convencional	,302	6	,094	,775	6	,035
BORG 72H	BFR	,392	6	,004	,701	6	,006
	Convencional	,492	6	,000	,496	6	,000

En la escala Borg la p sigue siendo mayor a 0.05 excepto para los valores tras 72 horas de medición por lo que también asumiremos una distribución normal.

Una vez confirmada su distribución normal, se realizó una prueba ANOVA de medidas repetidas. En primer lugar, en cada uno de los propios grupos para observar si había diferencias significativas dentro del mismo grupo.

### Prueba de esfericidad de Mauchly<sup>a</sup>

Medida: POTENCIA

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
BFR	,101	8,542	5	,140	,622	,977	,333

En primer lugar, se realizó la prueba de Mauchly para comprobar la esfericidad de la muestra en el grupo de BFR. Al tener un valor de p (0.14) mayor a 0.001 se asume una esfericidad en la muestra.

### Pruebas de efectos intra-sujetos

Medida: POTENCIA

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Parámetro sin centralidad	Potencia observada
BFR	Esfericidad asumida	836878,12 5	3	278959,37 5	142,36 0	,000	427,079	1,000
	Greenhouse-Geisser	836878,12 5	1,865	448640,55 0	142,36 0	,000	265,552	1,000
	Huynh-Feldt	836878,12 5	2,932	285384,53 9	142,36 0	,000	417,463	1,000
	Límite inferior	836878,12 5	1,000	836878,12 5	142,36 0	,000	142,360	1,000
Error(BFR)	Esfericidad asumida	29393,125	15	1959,542				
	Greenhouse-Geisser	29393,125	9,327	3151,462				
	Huynh-Feldt	29393,125	14,662	2004,675				
	Límite inferior	29393,125	5,000	5878,625				

En las pruebas de efecto intra-sujetos obtenemos una significancia asumiendo una esfericidad. Obteniendo un valor de 0.00 por lo que al ser la p menor a 0.05 se confirma que hay cambios

significativos respecto a la potencia en el grupo de BFR.

### Comparaciones por parejas

Medida: POTENCIA

(I) BFR	(J) BFR	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	288,333*	28,827	,001	166,705	409,962
	3	368,333*	33,194	,001	228,277	508,389
	4	-74,167	28,187	,279	-193,095	44,762
2	1	-288,333*	28,827	,001	-409,962	-166,705
	3	80,000*	9,151	,002	41,391	118,609
	4	-362,500*	24,742	,000	-466,896	-258,104
3	1	-368,333*	33,194	,001	-508,389	-228,277
	2	-80,000*	9,151	,002	-118,609	-41,391
	4	-442,500*	22,268	,000	-536,454	-348,546
4	1	74,167	28,187	,279	-44,762	193,095
	2	362,500*	24,742	,000	258,104	466,896
	3	442,500*	22,268	,000	348,546	536,454

Como se observa en la tabla se confirma que hay diferencias significativas entre el momento 1 (potencia pre) y el momento 2 (potencia post). También el momento 1 presenta diferencias significativas con el momento 3 (potencia tras 24 horas). Los momentos 2 y 3 presentan diferencias significativas con todos los momentos de medición y en el momento 4 (potencia tras 72 horas) no hay diferencias significativas con el momento 1 (potencia pre). (figura 26)

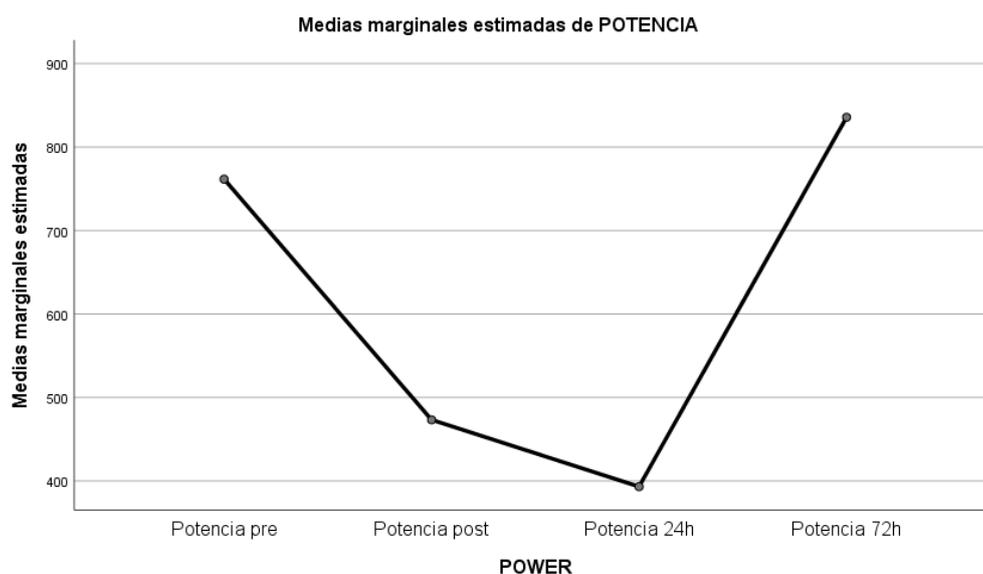


Fig. 26. Gráfico lineal que muestra la potencia del grupo BFR durante los 4 momentos de medición

Tras analizar los datos obtenidos de los grupos de manera independiente se obtuvo la siguiente información. En primer lugar, para el grupo de BFR o experimental se aprecia una caída importante, y significativa como se menciona en el apartado de resultados, de la potencia tras realizar la intervención. La causa más probable es el agotamiento del grupo muscular trabajado durante la intervención. A esta primera caída le sigue una más leve las siguientes 24 horas después de la intervención, momento en el que el músculo sigue fatigado y está generando las adaptaciones propias al entrenamiento. Transcurridas 72 horas tras la intervención el grupo muscular se ha recuperado generando un ascenso en la potencia sobrepasando el valor de medición inicial, aunque de manera no significativa.

### Prueba de esfericidad de Mauchly<sup>a</sup>

Medida: MEASURE\_1

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
SALTO	,007	18,668	5	,003	,385	,427	,333

Para el análisis en el grupo BFR del salto se realizó la misma prueba, ANOVA de medidas repetidas. En la prueba de Mauchly se obtuvo una p de 0.003, al ser mayor a 0.001 se asume una esfericidad de la muestra.

### Pruebas de efectos intra-sujetos

Medida: MEASURE\_1

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Parámetro o sin centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
SALTO	Esfericidad asumida	378,948	3	126,316	112,637	,000	337,911	1,000
	Greenhouse-Geisser	378,948	1,154	328,380	112,637	,000	129,982	1,000
	Huynh-Feldt	378,948	1,280	295,989	112,637	,000	144,207	1,000
	Límite inferior	378,948	1,000	378,948	112,637	,000	112,637	1,000
Error(SALTO)	Esfericidad asumida	16,822	15	1,121				

Greenhouse-Geisser	16,822	5,770	2,915				
Huynh-Feldt	16,822	6,401	2,628				
Límite inferior	16,822	5,000	3,364				

Con la esfericidad asumida se obtiene un valor de p de 0.000, al ser menor a 0.05 se confirma que hay diferencias significativas en la altura del salto vertical en el grupo de BFR.

### Comparaciones por parejas

Medida: MEASURE\_1

(I) SALTO	(J) SALTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	7,483*	,610	,000	4,909	10,058
	3	8,067*	,810	,001	4,648	11,485
	4	-,317	,091	,106	-,701	,067
2	1	-7,483*	,610	,000	-10,058	-4,909
	3	,583	,351	,942	-,896	2,063
	4	-7,800*	,616	,000	-10,399	-5,201
3	1	-8,067*	,810	,001	-11,485	-4,648
	2	-,583	,351	,942	-2,063	,896
	4	-8,383*	,839	,001	-11,923	-4,844
4	1	,317	,091	,106	-,067	,701
	2	7,800*	,616	,000	5,201	10,399
	3	8,383*	,839	,001	4,844	11,923

Como se aprecia en la tabla, se puede afirmar que hay diferencias significativas entre el momento 1 (salto pre) y el momento 2 (salto post). También el momento 1 presenta diferencias significativas con el momento 3 (salto tras 24 horas). El momento 2 presenta diferencias significativas con todos los momentos de medición excepto con el 3 (salto tras 24 horas), el momento 3 presenta diferencias significativas con todos los momentos excepto con el 2 (salto post) y en el momento 4 (salto tras 72 horas) no hay diferencias significativas con el momento 1 (salto pre). (figura 27)

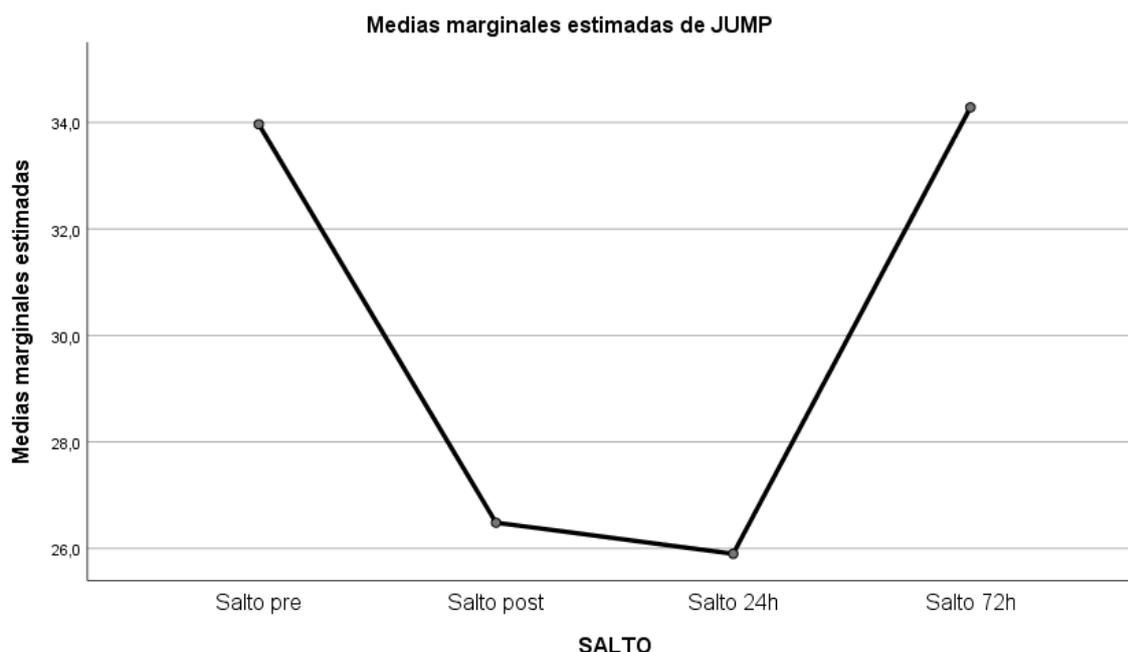


Fig. 27. Gráfico lineal de la evolución de la altura en el salto vertical del grupo BFR en los diferentes momentos de medición

Respecto a la altura en el salto vertical sucede algo similar a la potencia, hay un gran descenso después de la intervención, seguido de uno más leve tras 24 horas. Seguidamente, pasadas las 72 horas, hay un repunte de la altura en el salto vertical llegando a igualar los valores iniciales.

#### Prueba de esfericidad de Mauchly<sup>a</sup>

Medida: Escala

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
BORG	,466	3,054	2	,217	,652	,788	,500

Para la escala de Borg se siguió el mismo esquema. Primero se calculó la esfericidad de la muestra, obteniendo un valor p de 0.217 y siendo este mayor a 0.001 se asume una esfericidad de la muestra.

#### Pruebas de efectos intra-sujetos

Medida: Escala

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Parámetro sin centralidad	Potencia observada

BORG	Esfericidad asumida	161,778	2	80,889	70,000	,000	140,000	1,000
	Greenhouse-Geisser	161,778	1,304	124,085	70,000	,000	91,263	1,000
	Huynh-Feldt	161,778	1,575	102,699	70,000	,000	110,269	1,000
	Límite inferior	161,778	1,000	161,778	70,000	,000	70,000	1,000
Error(BORG)	Esfericidad asumida	11,556	10	1,156				
	Greenhouse-Geisser	11,556	6,519	1,773				
	Huynh-Feldt	11,556	7,876	1,467				
	Límite inferior	11,556	5,000	2,311				

Con la esfericidad asumida obtenemos un valor p de 0.000, este valor, al ser menos a 0.05, confirma que hay diferencias significativas en el grupo BFR en la escala de Borg.

### Comparaciones por parejas

Medida: Escala

(I) BORG	(J) BORG	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	,667	,760	1,000	-2,020	3,353
	3	6,667*	,333	,000	5,489	7,845
2	1	-,667	,760	1,000	-3,353	2,020
	3	6,000*	,683	,001	3,586	8,414
3	1	-6,667*	,333	,000	-7,845	-5,489
	2	-6,000*	,683	,001	-8,414	-3,586

En la tabla se puede observar cómo el momento 1 (Borg post intervención) presenta diferencias significativas con el momento 3 (Borg tras 72 horas). Por otra parte, el momento 2 (Borg tras 24 horas) presenta diferencias significativas respecto al momento 3. (figura 28)

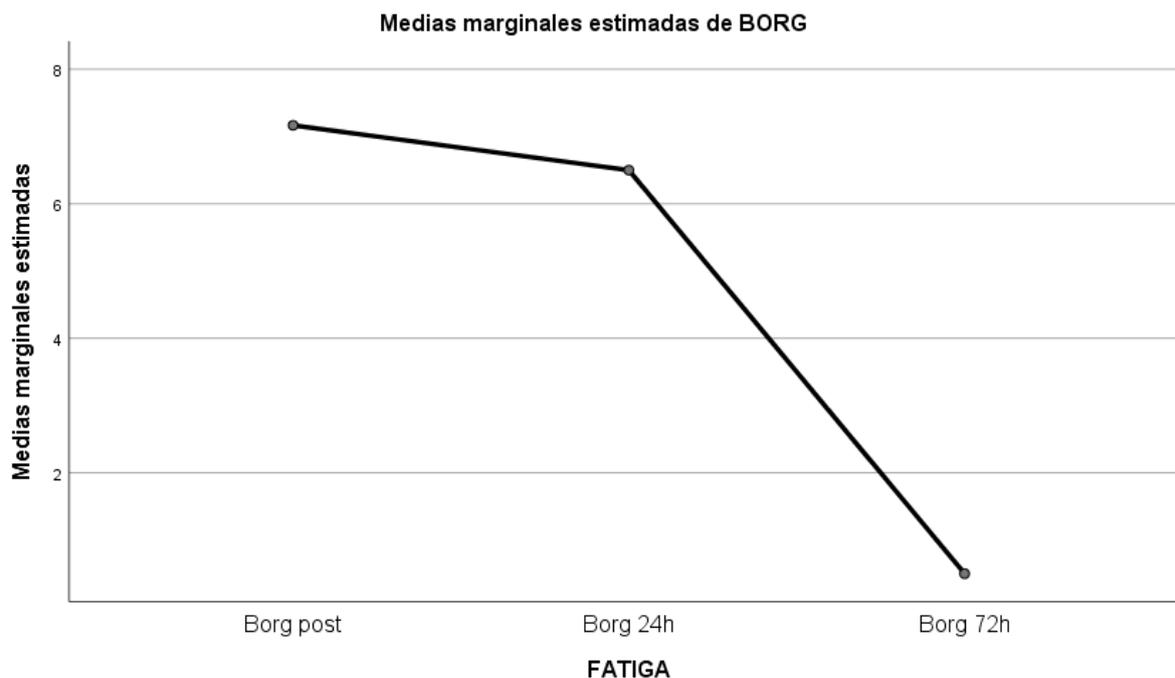


Fig. 28. Gráfico lineal que muestra la evolución de la sensación de fatiga en los tres momentos de medición para el grupo BFR.

Es interesante el análisis de la escala Borg presentado unos valores muy elevados tras la intervención debido a la fatiga que genera la restricción de flujo sanguíneo a nivel muscular. A las 24 horas descienden mínimamente los valores, pero siguen estando altos, en esta ocasión más relacionados con las DOMS. Por último, después de 72 horas, el músculo ha generado las adaptaciones necesarias y se normalizan los valores de la escala de Borg.

Respecto al grupo convencional se siguió el mismo procedimiento teniendo en cuenta la distribución normal de la muestra que obtuvimos anteriormente.

#### Prueba de esfericidad de Mauchly<sup>a</sup>

Medida: POWER

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Greenhouse-Geisser	Épsilon <sup>b</sup> Huynh-Feldt	Límite inferior
POTENCIA	,027	13,412	5	,024	,438	,532	,333

Una vez se supo la distribución normal de la muestra se aplicó la prueba ANOVA de medidas repetidas. Para ello lo primero que se hizo fue comprobar la esfericidad de la muestra. Al obtener una prueba de Mauchly una significación de 0.024 se confirma una esfericidad en la muestra al ser p mayor de 0.001.

#### Pruebas de efectos intra-sujetos

Medida: POWER

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Parámetro sin centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
POTENCIA	Esfericidad asumida	20414,458	3	6804,819	14,809	,000	44,426	,999
	Greenhouse-Geisser	20414,458	1,314	15534,360	14,809	,005	19,461	,936
	Huynh-Feldt	20414,458	1,597	12786,074	14,809	,003	23,644	,969
	Límite inferior	20414,458	1,000	20414,458	14,809	,012	14,809	,864
Error(POTENCIA)	Esfericidad asumida	6892,792	15	459,519				
	Greenhouse-Geisser	6892,792	6,571	1049,012				
	Huynh-Feldt	6892,792	7,983	863,425				
	Límite inferior	6892,792	5,000	1378,558				

Una vez se obtuvo la esfericidad, se confirmó la significación con la prueba de efectos intra-sujetos. Al obtener un valor de p de 0.000 y ser este menor a 0.05 se afirmó una diferencia significativa en el grupo de entrenamiento convencional para la variable de potencia.

### Comparaciones por parejas

Medida: POWER

(I) POTENCIA	(J) POTENCIA	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	50,333*	2,616	,000	39,295	61,372
	3	67,000	17,220	,069	-5,657	139,657
	4	3,167	9,181	1,000	-35,572	41,905
2	1	-50,333*	2,616	,000	-61,372	-39,295
	3	16,667	17,360	1,000	-56,582	89,915
	4	-47,167*	8,179	,013	-81,676	-12,657
3	1	-67,000	17,220	,069	-139,657	5,657
	2	-16,667	17,360	1,000	-89,915	56,582
	4	-63,833*	12,771	,025	-117,717	-9,949
4	1	-3,167	9,181	1,000	-41,905	35,572
	2	47,167*	8,179	,013	12,657	81,676
	3	63,833*	12,771	,025	9,949	117,717

Como muestra la tabla hay diferencias significativas entre el momento 1 (potencia pre) y el momento 2 (potencia post). En el momento 2 hay diferencias significativas con el momento 1

y el momento 4 (potencia tras 72 horas). El momento 3 (potencia tras 24 horas) tiene diferencias significativas con el momento 4. (figura 29)

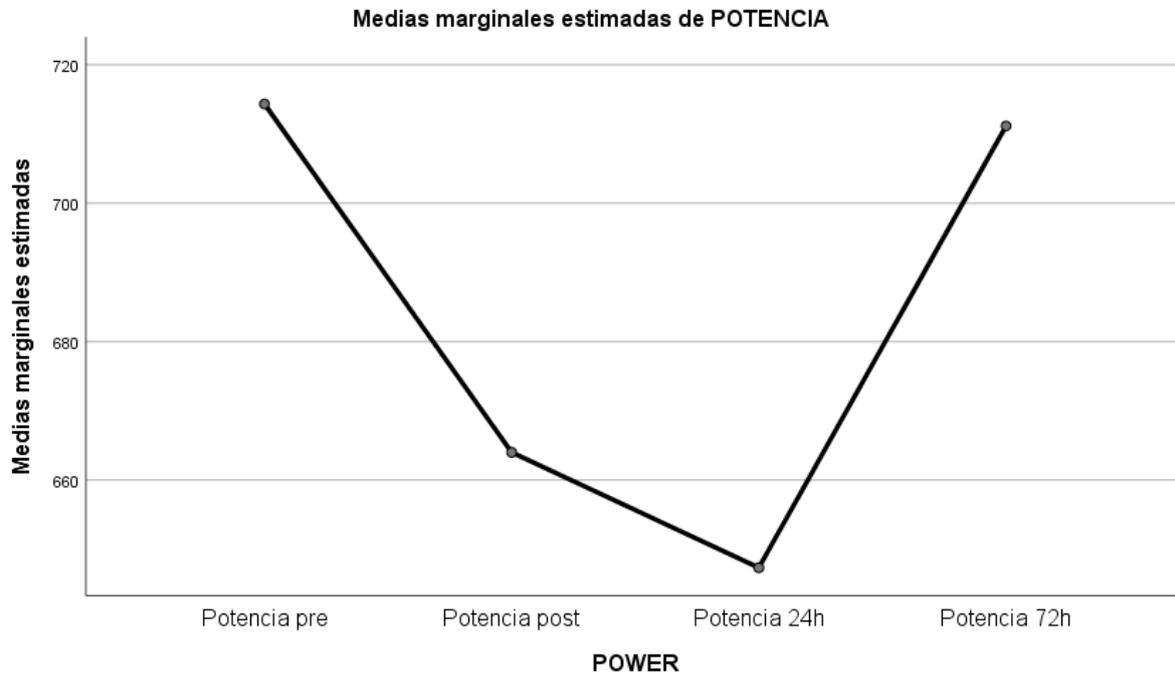


Fig.29. Gráfico de lineal que muestra la evolución de la potencia en el grupo convencional en los diferentes momentos de medición

En el grupo de entrenamiento convencional o control se aprecia un descenso en la gráfica de potencia, no tan severo como el grupo experimental. Siguiendo el mismo patrón que el grupo de restricción de flujo hay un nuevo descenso a las 24 horas, ambos provocados por una relativa fatiga muscular, seguido de una rampa de ascenso que iguala la potencia inicial.

### Prueba de esfericidad de Mauchly<sup>a</sup>

Medida: SALTO

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
JUMP	,025	13,684	5	,022	,380	,418	,333

Respecto a la altura del salto vertical para el grupo convencional se realizó, en primer lugar, la prueba de esfericidad de Mauchly. Se obtuvo un valor de p de 0.022. Al ser superior a 0.001 se asume una esfericidad de la muestra.

### Pruebas de efectos intra-sujetos

Medida: SALTO

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Parámetro sin centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
JUMP	Esfericidad asumida	7,828	3	2,609	3,081	,060	9,242	,599
	Greenhouse-Geisser	7,828	1,141	6,862	3,081	,131	3,515	,324
	Huynh-Feldt	7,828	1,255	6,235	3,081	,125	3,868	,344
	Límite inferior	7,828	1,000	7,828	3,081	,140	3,081	,298
Error(JUMP)	Esfericidad asumida	12,705	15	,847				
	Greenhouse-Geisser	12,705	5,704	2,227				
	Huynh-Feldt	12,705	6,277	2,024				
	Límite inferior	12,705	5,000	2,541				

Con la esfericidad asumida se observó un valor de p de 0.06, al ser superior a 0.05 se confirma que no hay diferencias significativas en la altura del salto vertical en ninguno de los momentos de medición en el grupo convencional. (figura 30)

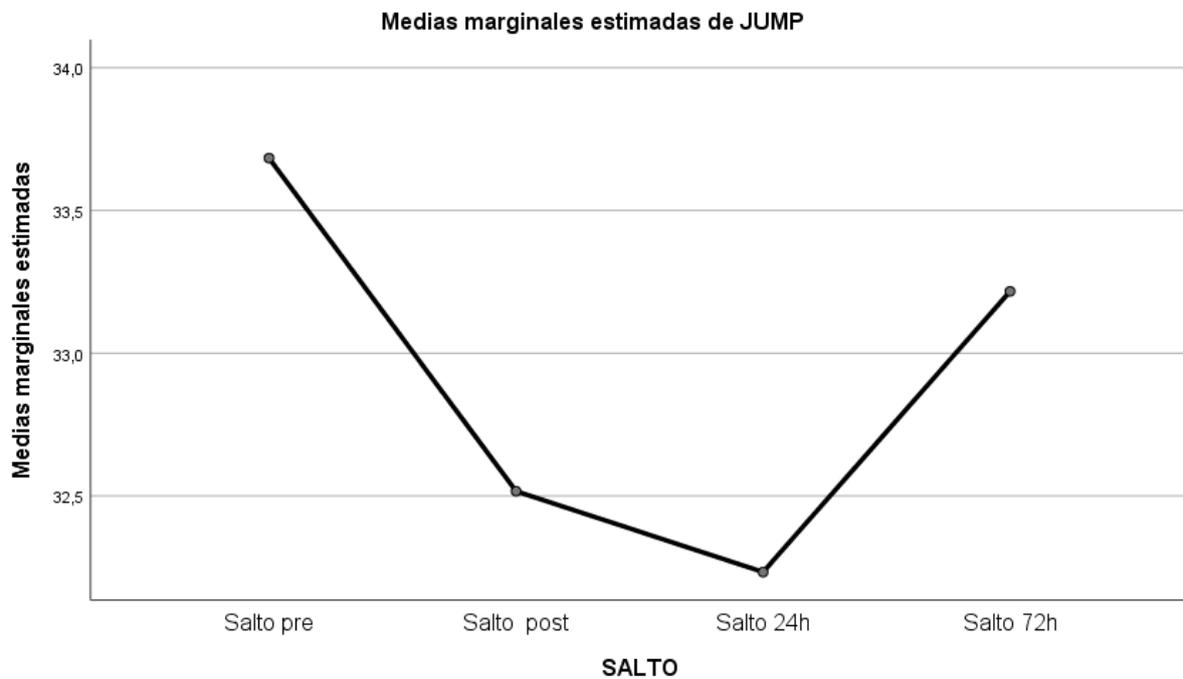


Fig. 30. Gráfico lineal que muestra la evolución de la altura en el salto vertical para el grupo convencional en los 4 momentos de medición

Respecto al salto se sigue el mismo patrón. Un descenso una vez se realizó la intervención, de nuevo no tan severo como con el grupo de restricción de flujo, seguido de una disminución de los valores tras 24 horas y un repunte que no alcanza los valores iniciales transcurridas las 72 horas tras la intervención.

### Prueba de esfericidad de Mauchly<sup>a</sup>

Medida: BORG

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Greenhouse-Geisser	Épsilon <sup>b</sup> Huynh-Feldt	Límite inferior
FATIGA	,823	,781	2	,677	,849	1,000	,500

Para la escala de Borg en el grupo convencional se realizó el mismo procedimiento, obteniendo una significancia de 0.677 en la prueba de Mauchly, al ser este valor superior a 0.001 se confirmó una esfericidad en la muestra.

### Pruebas de efectos intra-sujetos

Medida: BORG

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Parámetro sin centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
FATIGA	Esfericidad asumida	8,444	2	4,222	10,000	,004	20,000	,936
	Greenhouse-Geisser	8,444	1,699	4,971	10,000	,007	16,988	,897
	Huynh-Feldt	8,444	2,000	4,222	10,000	,004	20,000	,936
	Límite inferior	8,444	1,000	8,444	10,000	,025	10,000	,716
Error(FATIGA)	Esfericidad asumida	4,222	10	,422				
	Greenhouse-Geisser	4,222	8,494	,497				
	Huynh-Feldt	4,222	10,000	,422				
	Límite inferior	4,222	5,000	,844				

Con la esfericidad asumida se obtuvo un valor de p de 0.004, al ser inferior a 0.05 se confirmó que hay diferencia significativa en la escala de Borg para el grupo convencional.

### Comparaciones por parejas

Medida: BORG

(I) FATIGA	(J) FATIGA	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	1,000	,447	,227	-,581	2,581
	3	1,667*	,333	,012	,489	2,845
2	1	-1,000	,447	,227	-2,581	,581
	3	,667	,333	,306	-,511	1,845
3	1	-1,667*	,333	,012	-2,845	-,489
	2	-,667	,333	,306	-1,845	,511

Como se observa en la tabla la única diferencia significativa se aprecia entre el momento 1 (escala de Borg post intervención) y el momento 3 (escala de Borg tras 72 horas). (figura 31)

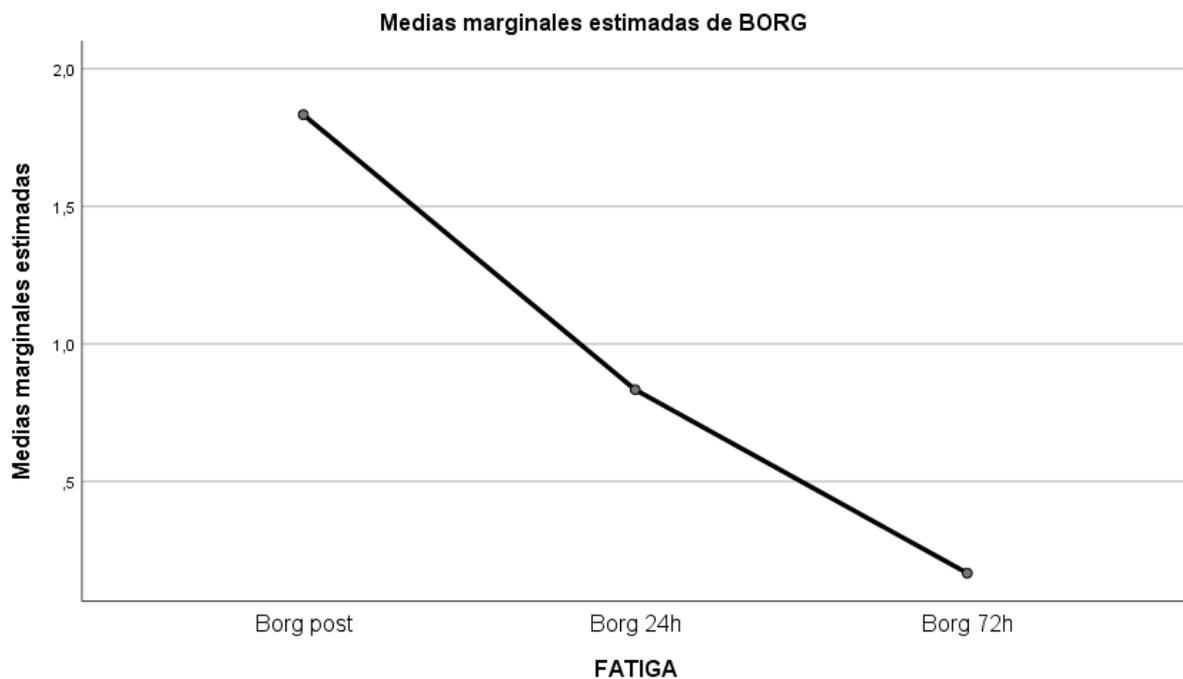


Fig. 31. Gráfica lineal que muestra la evolución de la sensación de fatiga en el grupo convencional en los diferentes momentos de medición

En el análisis de la fatiga se aprecian valores iniciales, en la escala de Borg, mucho más bajos que el grupo de restricción de flujo que van descendiendo paulatinamente llegando a 0 tras las 72 horas.

Se consideró importante la comparación entre el grupo de entrenamiento convencional y el grupo al que se le aplicó la restricción de flujo sanguíneo. Para ello se realizó una prueba ANOVA de medidas repetidas.

### Pruebas multivariante

	Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Parámetro sin centralidad	Potencia observada <sup>b</sup>
Traza de Pillai	,975	105,501 <sup>a</sup>	3,000	8,000	,000	316,504	1,000
Lambda de Wilks	,025	105,501 <sup>a</sup>	3,000	8,000	,000	316,504	1,000
Traza de Hotelling	39,563	105,501 <sup>a</sup>	3,000	8,000	,000	316,504	1,000
Raíz mayor de Roy	39,563	105,501 <sup>a</sup>	3,000	8,000	,000	316,504	1,000

Observamos una significancia  $p$  de 0.000, al ser menor a 0.05 se considera estadísticamente significativa por lo que la terapia utilizada está afectando a la variable de la potencia.

### Comparaciones por parejas

Medida: POTENCIA

BFR	Convencional	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	169,333*	14,473	,000	121,909	216,758
	3	217,667*	18,697	,000	156,398	278,935
	4	-35,500	14,822	,226	-84,070	13,070
2	1	-169,333*	14,473	,000	-216,758	-121,909
	3	48,333*	9,812	,004	16,181	80,486
	4	-204,833*	13,030	,000	-247,529	-162,138
3	1	-217,667*	18,697	,000	-278,935	-156,398
	2	-48,333*	9,812	,004	-80,486	-16,181
	4	-253,167*	12,835	,000	-295,225	-211,109
4	1	35,500	14,822	,226	-13,070	84,070
	2	204,833*	13,030	,000	162,138	247,529
	3	253,167*	12,835	,000	211,109	295,225

Como se puede observar el grupo BFR tiene diferencias significativas en el momento 1 (potencia pre) respecto al momento 2 (potencia post) y 3 (potencia tras 24 horas) del grupo convencional. El momento 2 muestra diferencias significativas con los momentos 3 y 4 (potencias tras 72 horas) del grupo convencional. Por último, el momento 3 muestra diferencias significativas con todos los momentos de medición. (figura 32)

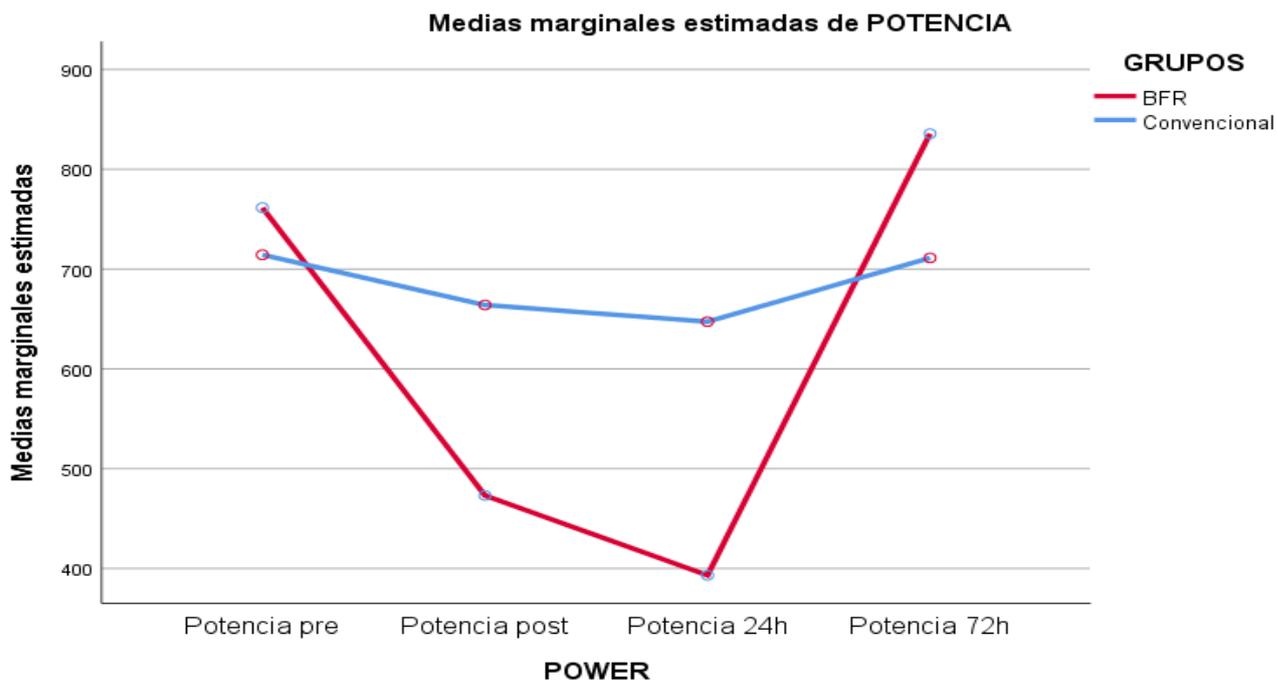


Fig. 32. Gráfico de líneas que compara la evolución del grupo convencional frente al grupo de BFR en los 4 momentos de medición

Comparando entre ambos grupos obtenemos que ambos presentan un descenso en la potencia tras la intervención y 24 horas después, siendo mucho más severo, y significativo, el descenso del grupo de restricción de flujo. Tras 72 horas el grupo de restricción de flujo muestra una mayor potencia media respecto al grupo de entrenamiento convencional siendo esta no estadísticamente significativa.

### ANOVA

POWER 72H

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	46500,750	1	46500,750	1,987	,189
Dentro de grupos	234074,167	10	23407,417		
Total	280574,917	11			

Se realizó también una prueba ANOVA de un factor para los momentos 4 (medición tras 72 horas) entre ambos grupos. Obteniendo un valor de p de 0.189 que al ser superior a 0.05 nos indica que no hay diferencias significativas entre el grupo con BFR y el grupo de entrenamiento convencional.

### Pruebas multivariante

	Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Parámetro sin centralidad	Potencia observada
Traza de Pillai	,950	50,883 <sup>a</sup>	3,000	8,000	,000	152,650	1,000
Lambda de Wilks	,050	50,883 <sup>a</sup>	3,000	8,000	,000	152,650	1,000
Traza de Hotelling	19,081	50,883 <sup>a</sup>	3,000	8,000	,000	152,650	1,000
Raíz mayor de Roy	19,081	50,883 <sup>a</sup>	3,000	8,000	,000	152,650	1,000

Respecto a la altura en el salto vertical también se comparó entre grupos, obteniendo una significancia de p de 0.000, que, al ser menor de 0.05 se considera significativa, confirmando que la terapia usada afecta a la altura en el salto vertical.

### Comparaciones por parejas

Medida: Salto

BFR	Conven	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	4,325*	,363	,000	3,134	5,516
	3	4,758*	,586	,000	2,839	6,677
	4	,075	,134	1,000	-,365	,515
2	1	-4,325*	,363	,000	-5,516	-3,134
	3	,433	,301	1,000	-,553	1,420
	4	-4,250*	,332	,000	-5,339	-3,161
3	1	-4,758*	,586	,000	-6,677	-2,839
	2	-,433	,301	1,000	-1,420	,553
	4	-4,683*	,539	,000	-6,448	-2,918
4	1	-,075	,134	1,000	-,515	,365
	2	4,250*	,332	,000	3,161	5,339
	3	4,683*	,539	,000	2,918	6,448

En la tabla nos muestra que el grupo BFR muestra diferencias significativas para el momento 1 (salto pre) con los momentos 2 (salto post) y 3 (salto 24h) del grupo convencional. El momento 2 presenta diferencias significativas con el momento 4 (salto tras 24 horas) del grupo convencional. El momento 3 presenta diferencias significativas con el momento 4. (figura 33)

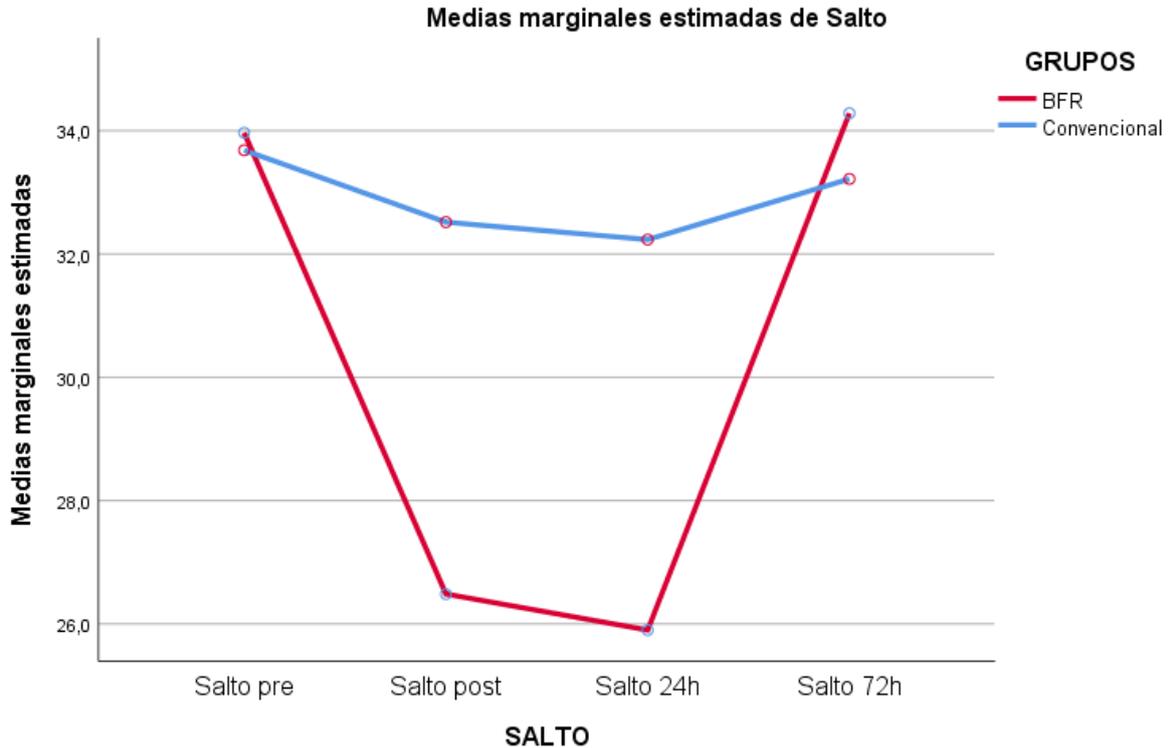


Fig. 33. Gráfico de líneas que compara la altura en el salto vertical entre el grupo convencional y el de BFR en los 4 momentos de medición

Respecto a la altura en salto vertical podemos apreciar el mismo esquema, un descenso significativo tras la intervención y pasadas las 24 horas con un repunte una vez se superaron las 72 horas. En el caso de altura en salto vertical ambos grupos alcanzaron, prácticamente, los valores iniciales siendo algo mayores las del grupo de restricción de flujo, pero sin una diferencia estadísticamente significativa.

### ANOVA

SALTO 72H

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,413	1	3,413	,055	,820
Dentro de grupos	623,477	10	62,348		
Total	626,890	11			

Se realizó la prueba ANOVA de un factor para el momento 4 en la altura de salto vertical. Se obtuvo un valor de p de 0.82 que, al ser mayor a 0.05, no es significativo

Para terminar, se realizó la comparación entre grupos de la escala de Borg. Para ello se siguió el mismo procedimiento que con las variables anteriores.

### Pruebas multivariante

	Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Parámetro sin centralidad	Potencia observada <sup>b</sup>
Traza de Pillai	,974	171,078 <sup>a</sup>	2,000	9,000	,000	342,156	1,000
Lambda de Wilks	,026	171,078 <sup>a</sup>	2,000	9,000	,000	342,156	1,000
Traza de Hotelling	38,017	171,078 <sup>a</sup>	2,000	9,000	,000	342,156	1,000
Raíz mayor de Roy	38,017	171,078 <sup>a</sup>	2,000	9,000	,000	342,156	1,000

Se obtuvo un valor de p de 0.000, que al ser menor de 0.05 confirma que existe diferencias significativas, por lo que el tipo de terapia utilizada afecta a la escala de Borg.

### Comparaciones por parejas

Medida: Borg

BFR	Conven	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	,833	,441	,264	-,432	2,099
	3	4,167*	,236	,000	3,490	4,843
2	1	-,833	,441	,264	-2,099	,432
	3	3,333*	,380	,000	2,243	4,424
3	1	-4,167*	,236	,000	-4,843	-3,490
	2	-3,333*	,380	,000	-4,424	-2,243

Como podemos apreciar en la tabla para el grupo BFR el momento 1 (escala Borg post) muestra diferencias significativas con el momento 3 (escala Borg tras 72 horas). El momento 2 (escala Borg tras 24 horas) presenta diferencias significativas con el momento 3. (figura 34)

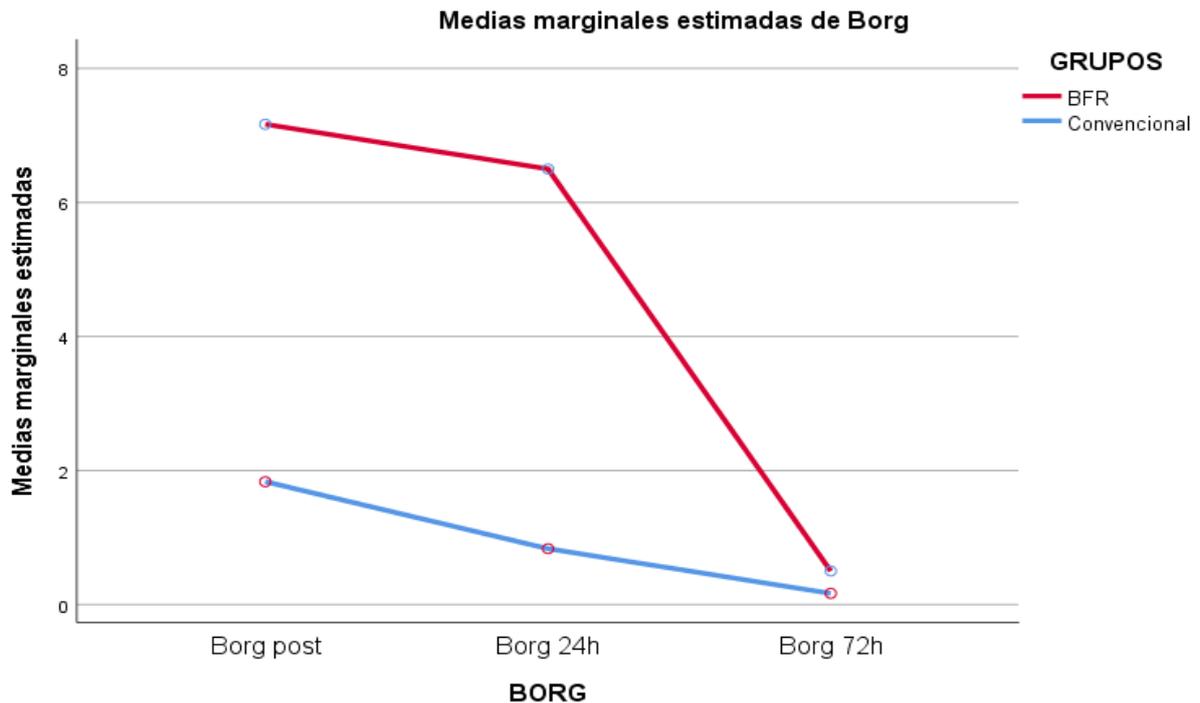


Fig. 34. Gráfica de líneas comparando en los 3 momentos de medición a los grupos de BFR y al convencional

En el análisis la fatiga percibida entre ambos grupos, se aprecia una diferencia significativa en el valor pos intervención, siendo mucho más elevado el del grupo de restricción de flujo. Asociado directamente al ya mencionado estrés metabólico que genera dicha técnica. No obstante se aprecia un descenso drástico pasadas las 24 horas y llegando casi al valor 0.

Posteriormente se realizó una prueba ANOVA de un factor para comparar el momento 1 entre ambos grupos.

#### ANOVA

BORG POST

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	85,333	1	85,333	111,304	,000
Dentro de grupos	7,667	10	,767		
Total	93,000	11			

Al obtener un valor de 0.000 y ser inferior al valor de p de 0.05 se considera que estadísticamente significativo. Por lo que hay diferencias significativas entre ambos grupos en el mismo momento de medición.

## 7. Discusión

Con estos datos se puede confirmar que tras una sesión de restricción de flujo sanguíneo las variables de potencia y altura en salto vertical no mejoran significativamente respecto al entrenamiento convencional. A pesar de que los resultados en las variables de potencia y salto nos son estadísticamente significativos, son ya varios los estudios, como los mencionados en este trabajo<sup>10,13</sup>, que demuestran las mejoras que genera el entrenamiento oclusivo en estas variables. Podemos afirmar que un solo entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo no es suficiente para mejorar las variables de potencia y altura en salto vertical frente al entrenamiento convencional. Uno de los factores por los que los resultados no son los esperados es el tiempo. Si bien hemos podido comprobar que la aplicación de restricción de flujo agota más el grupo muscular trabajado, se puede hipotetizar que las mejoras a largo plazo serán mayores en el caso de seguir aplicando la restricción. La revisión sistemática realizada por Lixandrao et al en 2018 confirma estas mejoras en estudios realizados con un periodo de tiempo de aplicación de restricción de flujo sanguíneo de entre 6 a 12 semanas. Por lo que una sola sesión no es suficiente para conseguir mejoras significativas<sup>41</sup>.

Una reciente revisión sistemática con meta análisis muestra un conjunto de estudios que avalan la aplicación de restricción de flujo sanguíneo en la población más envejecida, mejorando significativamente la ganancia de fuerza e hipertrofia, siempre que sea en uso más continuado y con un seguimiento de un profesional formado<sup>42</sup>.

En el estudio de 2021 de Telfer et al, se compara a 40 individuos que sufrieron rotura de ligamento cruzado anterior. A ambos grupos se les realizó el mismo protocolo de ejercicios con la única diferencia de la aplicación de oclusión de flujo a 20 de estos individuos. Se les midió la cinemática y cinética del miembro inferior, afirmando que desde el punto de vista biomecánico es una herramienta segura al no incrementar el torque más allá del normal en la rodilla<sup>43</sup>.

Avalados por estos estudios podemos afirmar que la aplicación de BFR es segura en los pacientes, y que su uso repetido genera ganancias en la potencia a largo plazo y de manera supervisada.

Por otro lado, con la altura de salto vertical sucede algo similar. Una sola sesión no sería suficiente para alcanzar diferencias significativas, en el estudio de Hosseini Kakhak et al, realizó restricción de flujo a jóvenes jugadores de fútbol durante 6 semanas en pretemporada, obteniendo mejoras significativas en la altura del salto vertical, medido con el test CMJ, con respecto a los valores iniciales<sup>44</sup>.

En contrapartida el estudio de Horiuchi et al de 2018 nos confirma lo contrario. En este estudio tanto el grupo control como experimental, al que se le aplicó restricción de flujo sanguíneo, realizaron 5 series de 10 repeticiones de saltos verticales. Llevaban las manos en la cintura durante el salto y partían de una posición de media sentadilla. Los resultados no muestran mejora en la altura del salto vertical en los individuos con restricción de flujo, desaconsejando su uso en deportistas que quieran mejorar su altura de salto vertical<sup>45</sup>.

Esto nos lleva a pensar que la restricción de flujo sanguíneo sí que mejora la potencia muscular, siempre que se aplique durante más de una sesión, y que hay controversia con su uso para mejorar la altura en el salto vertical.

Debido a todo esto pensar que es una herramienta útil para la ganancia de fuerza en las primeras fases de una lesión o en deportistas que no puedan soportar un alto estrés mecánico inicial o quieran mejorar su potencia. Por otro lado, podemos confirmar que la sensación de fatiga tras su utilización y las posteriores DOMS son motivo suficiente a tener en cuenta a la hora de planificar su uso. Utilizarlo previo a un entrenamiento podría generar un riesgo de lesión para el deportista.

Por último, es importante aclarar que es simplemente una herramienta más, los entrenamientos convencionales son necesarios por ese estrés mecánico que necesitan soportar los músculos y articulaciones en la competición.

## **8. Limitaciones.**

Respecto a las limitaciones que tiene el estudio podemos hablar de limitaciones en la validez interna, ya que no se utilizó el gold estándar en las mediciones de potencia, que sería un dispositivo isoinercial frente al encoder lineal que se utilizó. En la medición de altura en el salto vertical tampoco se utilizó el gold estándar ya que se realizaron las mediciones con una app móvil validada. Por otra parte, no hay un segundo investigador que este cegado a la hora de realizar las mediciones.

Respecto a los sujetos de estudio hay que decir son deportistas jóvenes amateur, por lo que al carecer de la exigencia de la élite las condiciones a las que acudieron a alguna de las mediciones no fue siempre la adecuada y algunos de los sujetos ignoraron las recomendaciones del investigador, generando, de este modo, que algunos de los datos no sean 100% representativos.

Por otro lado, hubiese sido más óptimo haber estandarizado el protocolo, realizando ambos grupos los mismos ejercicios.

## **9. Conclusiones**

Como conclusión se ha comprobado que la aplicación de restricción de flujo no tiene ganancias significativas en las variables de potencia y altura en el salto vertical. Si bien es cierto que se intuye una mejora, sobre todo en la potencia, un solo entrenamiento no es suficiente para generar mejoras. Por otra parte, un solo entrenamiento sí es suficiente para generar una sensación de fatiga alta en el paciente, por lo que es importante realizar el entrenamiento de forma supervisada y ajustar el momento en el que queremos utilizarlo para no generar malestar o posibles lesiones en el jugador. Este estudio muestra la eficacia de la restricción de flujo como alternativa al modelo tradicional de ganancia de fuerza.

También es necesario seguir con la investigación en este campo. A pesar de la cantidad de evidencia que hay en deportistas y en lesiones es necesario probar la herramienta en poblaciones de riesgo (neurológicos, diabéticos...) como método alternativo al entrenamiento.

## **10. Bibliografia**

- 1- Sato, Y. 2005. "The History and Future of KAATSU Training." *International Journal of KAATSU Training Research* 1(1): 1–5. <http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/ijkr/1.1?from=CrossRef> (November 29, 2020)
- 2- Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, Takada S, Omokawa M, Kinugawa S, Tsutsui H. Dose effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol* (1985). 2010 Jun;108(6):1563-7. doi: 10.1152/jappphysiol.00504.2009. Epub 2010 Apr 1. PMID: 20360434.
- 3- Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med.* 2015 Feb;45(2):187-200. doi: 10.1007/s40279-014-0264-9. PMID: 25249278
- 4- Franz A, Berndt F, Raabe J, Harmsen JF, Zilkens C, Behringer M. Invasive Assessment of Hemodynamic, Metabolic and Ionic Consequences During Blood Flow Restriction Training. *Front Physiol.* 2020 Dec 16;11:617668. doi: 10.3389/fphys.2020.617668. PMID: 33391036; PMCID: PMC7772195.
- 5- Kon M, Ikeda T, Homma T, Suzuki Y. Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. *J Strength Cond Res.* 2012 Mar;26(3):611-7. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182281c69. PMID: 22310510.
- 6- Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med.* 2015 Mar;45(3):313-25. doi: 10.1007/s40279-014-0288-1. PMID: 25430600.
- 7- Hwang PS, Willoughby DS. Mechanisms Behind Blood Flow-Restricted Training and its Effect Toward Muscle Growth. *J Strength Cond Res.* 2019 Jul;33 Suppl 1:S167-S179. doi: 10.1519/JSC.0000000000002384. PMID: 30011262.
- 8- Wernbom M, Aagaard P. Muscle fibre activation and fatigue with low-load blood flow restricted resistance exercise-An integrative physiology review. *Acta Physiol (Oxf).* 2020 Jan;228(1):e13302. doi: 10.1111/apha.13302. Epub 2019 Jun 18. PMID: 31108025.
- 9- Dankel SJ, Mattocks KT, Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, Loenneke JP. Do metabolites that are produced during resistance exercise enhance muscle hypertrophy? *Eur J Appl Physiol.* 2017 Nov;117(11):2125-2135. doi: 10.1007/s00421-017-3690-1.

Epub 2017 Aug 3. PMID: 28776271.

- 10- Fatela P, Reis JF, Mendonca GV, Freitas T, Valamatos MJ, Avela J, Mil-Homens P. Acute Neuromuscular Adaptations in Response to Low-Intensity Blood-Flow Restricted Exercise and High-Intensity Resistance Exercise: Are There Any Differences? *J Strength Cond Res.* 2018 Apr;32(4):902-910. doi: 10.1519/JSC.0000000000002022. Erratum in: *J Strength Cond Res.* 2018 Jun;32(6):e8. PMID: 29570594.
- 11- Mitchell EA, Martin NRW, Turner MC, Taylor CW, Ferguson RA. The combined effect of sprint interval training and postexercise blood flow restriction on critical power, capillary growth, and mitochondrial proteins in trained cyclists. *J Appl Physiol* (1985). 2019 Jan 1;126(1):51-59. doi: 10.1152/jappphysiol.01082.2017. Epub 2018 Oct 18. PMID: 30335575.
- 12- Spranger MD, Krishnan AC, Levy PD, O'Leary DS, Smith SA. Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: a call for concern. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2015 Nov;309(9):H1440-52. doi: 10.1152/ajpheart.00208.2015. Epub 2015 Sep 4. PMID: 26342064; PMCID: PMC7002872.
- 13- Franz A, Berndt F, Raabe J, Harmsen JF, Zilkens C, Behringer M. Invasive Assessment of Hemodynamic, Metabolic and Ionic Consequences During Blood Flow Restriction Training. *Front Physiol.* 2020 Dec 16;11:617668. doi: 10.3389/fphys.2020.617668. PMID: 33391036; PMCID: PMC7772195.
- 14- Gundermann DM, Walker DK, Reidy PT, Borack MS, Dickinson JM, Volpi E, Rasmussen BB. Activation of mTORC1 signaling and protein synthesis in human muscle following blood flow restriction exercise is inhibited by rapamycin. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2014 May 15;306(10):E1198-204. doi: 10.1152/ajpendo.00600.2013. Epub 2014 Apr 1. PMID: 24691032; PMCID: PMC4116405.
- 15- Bunevicius K, Grunovas A, Venckunas T, Poderiene K, Trinkunas E, Poderys J. Blood flow restriction late in recovery after heavy resistance exercise hampers muscle recuperation. *Eur J Appl Physiol.* 2018 Feb;118(2):313-320. doi: 10.1007/s00421-017-3771-1. Epub 2017 Dec 6. PMID: 29214460.
- 16- Husmann F, Mittlmeier T, Bruhn S, Zschorlich V, Behrens M. Impact of Blood Flow Restriction Exercise on Muscle Fatigue Development and Recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 2018 Mar;50(3):436-446. doi: 10.1249/MSS.0000000000001475. PMID:

29112627

- 17- Brandner CR, Warmington SA. Delayed Onset Muscle Soreness and Perceived Exertion After Blood Flow Restriction Exercise. *J Strength Cond Res.* 2017 Nov;31(11):3101-3108. doi: 10.1519/JSC.0000000000001779. PMID: 28118308.
- 18- Wernbom M, Järrebring R, Andreasson MA, Augustsson J. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *J Strength Cond Res.* 2009 Nov;23(8):2389-95. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181bc1c2a. PMID: 19826283.
- 19- Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, Watanabe DM, Limpisvasti O. Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow Restriction Training on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health.* 2019 Mar/Apr;11(2):149-156. doi: 10.1177/1941738118821929. Epub 2019 Jan 14. PMID: 30638439; PMCID: PMC6391554.
- 20- Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, Bembem DA, Bembem MG. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Aug;112(8):2903-12. doi: 10.1007/s00421-011-2266-8. Epub 2011 Dec 6. PMID: 22143843; PMCID: PMC4133131.
- 21- Laurentino GC, Loenneke JP, Teixeira EL, Nakajima E, Iared W, Tricoli V. The Effect of Cuff Width on Muscle Adaptations after Blood Flow Restriction Training. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 May;48(5):920-5. doi: 10.1249/MSS.0000000000000833. PMID: 26656773.
- 22- Fahs CA, Rossow LM, Seo DI, Loenneke JP, Sherk VD, Kim E, Bembem DA, Bembem MG. Effect of different types of resistance exercise on arterial compliance and calf blood flow. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Dec;111(12):2969-75. doi: 10.1007/s00421-011-1927-y. Epub 2011 Mar 29. PMID: 21445603.
- 23- Neto GR, Sousa MS, Costa e Silva GV, Gil AL, Salles BF, Novaes JS. Acute resistance exercise with blood flow restriction effects on heart rate, double product, oxygen saturation and perceived exertion. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016 Jan;36(1):53-9. doi: 10.1111/cpf.12193. Epub 2014 Sep 26. PMID: 25257752.
- 24- Figueroa A, Vicil F. Post-exercise aortic hemodynamic responses to low-intensity resistance exercise with and without vascular occlusion. *Scand J Med Sci Sports.* 2011 Jun;21(3):431-6. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01061.x. Epub 2010 Jan 31. PMID:

20136757.

- 25- Clark BC, Manini TM, Hoffman RL, Williams PS, Guiler MK, Knutson MJ, McGlynn ML, Kushnick MR. Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports*. 2011 Oct;21(5):653-62. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01100.x. Epub 2010 Mar 11. PMID: 21917016; PMCID: PMC6152804.
- 26- Laswati H, Sugiarto D, Poerwandari D, Pangkahila JA, Kimura H. Low-Intensity Exercise with Blood Flow Restriction Increases Muscle Strength without Altering hsCRP and Fibrinogen Levels in Healthy Subjects. *Chin J Physiol*. 2018 Jun;61(3):188-195. doi: 10.4077/CJP.2018.BAG567. PMID: 29962179.
- 27- Neto GR, Novaes JS, Salerno VP, Gonçalves MM, Batista GR, Cirilo-Sousa MS. Does a resistance exercise session with continuous or intermittent blood flow restriction promote muscle damage and increase oxidative stress? *J Sports Sci*. 2018 Jan;36(1):104-110. doi: 10.1080/02640414.2017.1283430. Epub 2017 Jan 31. PMID: 28143367.
- 28- Nielsen JL, Aagaard P, Prokhorova TA, Nygaard T, Bech RD, Suetta C, Frandsen U. Blood flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat shock proteins, but no apparent muscle damage. *J Physiol*. 2017 Jul 15;595(14):4857-4873. doi: 10.1113/JP273907. Epub 2017 Jun 23. PMID: 28481416; PMCID: PMC5509865.
- 29- Wernbom M, Schoenfeld BJ, Paulsen G, Bjørnsen T, Cumming KT, Aagaard P, Clark BC, Raastad T. Commentary: Can Blood Flow Restricted Exercise Cause Muscle Damage? Commentary on Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol*. 2020 Mar 20;11:243. doi: 10.3389/fphys.2020.00243. PMID: 32265737; PMCID: PMC7098946.
- 30- Mittal P, Shenoy S, Sandhu JS. Effect of different cuff widths on the motor nerve conduction of the median nerve: an experimental study. *J Orthop Surg Res*. 2008 Jan 9;3:1. doi: 10.1186/1749-799X-3-1. PMID: 18182119; PMCID: PMC2235835.
- 31- Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc*. 2000 Dec;32(12):2035-9. doi: 10.1097/00005768-200012000-00011. PMID: 11128848.
- 32- Yow LPS, Ho HY, Lum IYW, Hanif IM. Exercise-Induced Rhabdomyolysis: A Case Series of Spin-Related Rhabdomyolysis. *Cureus*. 2021 Jul 13;13(7):e16352. doi:

10.7759/cureus.16352. PMID: 34277311; PMCID: PMC8276198

- 33- T. Nakajima, M. Kurano, F. Sakagami, H. Iida, K. Fukumura, T. Fukuda, H. Takano, H. Madarame, T. Yasuda, T. Nagata, Y. Sato, T. Yamasoba, T. Morita, Effects of low-intensity KAATSU resistance training on skeletal muscle size/strength and endurance capacity in patients with ischemic heart disease, *International Journal of KAATSU Training Research*, 2010, Volume 6, Issue 1, Pages 1-7, Released on J-STAGE June 01, 2011, Online ISSN 1882-6628, Print ISSN 1349-4562, <https://doi.org/10.3806/ijktr.6.1>
- 34- Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y, Abe T. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2010 Sep;30(5):338-343. doi: 10.1111/j.1475-097X.2010.00949.x. Epub 2010 Jul 4. PMID: 20618358.
- 35- Mouser JG, Ade CJ, Black CD, Bemben DA, Bemben MG. Brachial blood flow under relative levels of blood flow restriction is decreased in a nonlinear fashion. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2018 May;38(3):425-430. doi: 10.1111/cpf.12432. Epub 2017 Apr 12. PMID: 28402045.
- 36- Ciacci S, Bartolomei S. The effects of two different explosive strength training programs on vertical jump performance in basketball. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018 Oct;58(10):1375-1382. doi: 10.23736/S0022-4707.17.07316-9. Epub 2017 Jun 8. PMID: 28597614.
- 37- Pérez-Castilla A, Piepoli A, Delgado-García G, Garrido-Blanca G, García-Ramos A. Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press. *J Strength Cond Res*. 2019 May;33(5):1258-1265. doi: 10.1519/JSC.0000000000003118. PMID: 31034462.
- 38- Balsalobre-Fernández C, Glaister M, Lockett RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *J Sports Sci*. 2015;33(15):1574-9. doi: 10.1080/02640414.2014.996184. Epub 2015 Jan 2. PMID: 25555023.
- 39- Kacin A, Strazar K. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. *Scand J Med Sci Sports*. 2011 Dec;21(6):e231-41. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01260.x. Epub 2011 Mar 8. PMID: 21385216
- 40- May AK, Russell AP, Warmington SA. Lower body blood flow restriction training

may induce remote muscle strength adaptations in an active unrestricted arm. *Eur J Appl Physiol.* 2018 Mar;118(3):617-627. doi: 10.1007/s00421-018-3806-2. Epub 2018 Jan 19. PMID: 29350278.

- 41- Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, Libardi CA, Roschel H. Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2018 Feb;48(2):361-378. doi: 10.1007/s40279-017-0795-y. PMID: 29043659.
- 42- Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2019 Jan;49(1):95-108. doi: 10.1007/s40279-018-0994-1. Erratum in: *Sports Med.* 2018 Nov 9;: PMID: 30306467; PMCID: PMC6349784.
- 43- Telfer S, Calhoun J, Bigham JJ, Mand S, Gellert JM, Hagen MS, Kweon CY, Gee AO. Biomechanical Effects of Blood Flow Restriction Training after ACL Reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.* 2021 Jan;53(1):115-123. doi: 10.1249/MSS.0000000000002437. PMID: 32694365; PMCID: PMC8191295
- 44- Hosseini Kakhak SA, Kianigul M, Haghighi AH, Nooghabi MJ, Scott BR. Performing Soccer-Specific Training With Blood Flow Restriction Enhances Physical Capacities in Youth Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2022 Jul 1;36(7):1972-1977. doi: 10.1519/JSC.0000000000003737. Epub 2020 Jul 23. PMID: 32732777
- 45- Horiuchi M, Endo J, Sato T, Okita K. Jump training with blood flow restriction has no effect on jump performance. *Biol Sport.* 2018 Dec;35(4):343-348. doi: 10.5114/biol sport.2018.78053. Epub 2018 Aug 31. PMID: 30765919; PMCID: PMC6358527

## 11. Anexos.

Anexo 1: Dictamen favorable por parte del comité de ética de Aragón.



### Informe Dictamen Favorable Trabajos académicos

C.P. - C.I. PI22/086

23 de marzo de 2022

Dña. María González Hinjos, Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)

#### CERTIFICA

**1º.** Que el CEIC Aragón (CEICA) en su reunión del día 23/03/2022, Acta N° 06/2022 ha evaluado la propuesta del Trabajo:

**Título: Variaciones en las capacidades biomecánicas de potencia en miembros inferiores y altura de salto vertical después de un entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo versus entrenamiento convencional en jugadores de balonmano amateur.**

**Alumno: Mariano González González**

**Tutor: Néstor Pérez Mallada**

**Versión protocolo: Versión 3, de fecha 18/03/2022**

**Versión documento de información y consentimiento: Versión 3, de fecha 18/03/2022**

**2º.** Considera que

- El proyecto se plantea siguiendo los requisitos de la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica y los principios éticos aplicables.
- El Tutor/Director garantiza la confidencialidad de la información, la obtención de los consentimientos informados, el adecuado tratamiento de los datos en cumplimiento de la legislación vigente y la correcta utilización de los recursos materiales necesarios para su realización.

**3º.** Por lo que este CEIC emite **DICTAMEN FAVORABLE a la realización del trabajo.**

Lo que firmo en Zaragoza

GONZALEZ

HINJOS MARIA

DNI 03857456B

Firmado digitalmente  
por GONZALEZ HINJOS  
MARIA - DNI 03857456B  
Fecha: 2022.03.28  
15:31:26 +02'00'

María González Hinjos  
Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)

## Anexo 2: Autorización del club

Yo, D. CARLOS LANGARITA CERRADA con DNI: 25210477Q, en función de: DIRECTOR GENERAL del club "Balonmano Dominicanos", he sido informado de la realización del proyecto de investigación "**Variaciones en las capacidades biomecánicas de potencia en miembros inferiores y altura de salto vertical después de un entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo versus entrenamiento convencional en jugadores de balonmano amateur**" por parte de **Mariano González** con DNI: **73133148W**.

Así mismo, he sido informado de las mediciones requeridas, de la intervención a realizar y de los riesgos y de los beneficios que supone, del tiempo de duración de la investigación, de la información e instalaciones solicitadas, así como de la gestión y privacidad de estos datos. He sido informado del número de jugadores necesarios para el proyecto y de la categoría deportiva de los mismos.

De esta forma y siendo consciente de todo lo anteriormente escrito **autorizo** el desarrollo del proyecto "**Variaciones en las capacidades biomecánicas de potencia en miembros inferiores y altura de salto vertical después de un entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo versus entrenamiento convencional en jugadores de balonmano amateur**" aceptando que se tomen las mediciones necesarias para su realización en los jugadores del club "Balonmano Dominicanos" de la categoría "Juvenil" y cediendo nuestras instalaciones para tal propósito.

Firma: **LANGARITA CERRADA, CARLOS (AUTENTICACIÓN)**

Firmado digitalmente por LANGARITA CERRADA, CARLOS (AUTENTICACIÓN)  
Fecha: 2022.02.09 08:04:00 +01'00'

Anexo 3: Consentimiento informado.

**DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

**Título del PROYECTO:** "Variaciones en las capacidades biomecánicas de potencia en miembro inferior y altura del salto después de entrenamientos con restricción de flujo sanguíneo versus entrenamientos convencional en jugadores de balonmano amateur."

Por lo tanto, con toda la información anterior por escrito, así como verbalmente suministrada por el profesional que me ha atendido y firma el presente documento:

Yo, ..... con DNI....., en calidad de (padre, madre, tutor legal) de mi hijo..... con DNI.....

**Declaro que he sido informado por MARIANO GONZÁLEZ GONZALEZ de los riesgos y beneficios de la evaluación biomecánica arriba detallados, he podido hacer preguntas sobre el estudio y he recibido suficiente información sobre el mismo y sé que, en cualquier momento, puedo revocar mi consentimiento**

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

- 1) cuando quiera
- 2) sin tener que dar explicaciones
- 3) sin que esto repercuta en mis cuidados médicos

En consecuencia, presto libremente mi consentimiento para participar en este estudio y doy mi consentimiento para el acceso y utilización de mis datos conforme se estipula en la hoja de información que se me ha entregado.

Deseo ser informado sobre los resultados del estudio: sí no (marque lo que proceda)

He recibido una copia firmada de este Consentimiento Informado.

Firma del participante:

Fecha:

He explicado la naturaleza y el propósito del estudio al sujeto mencionado

Firma del Investigador:

Fecha:

**Nº de colegiado:**

## Anexo 4: Hoja de información a los padres y sujetos

### PLANTILLA PARA ELABORAR EL DOCUMENTO DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO

#### DOCUMENTO DE INFORMACIÓN PARA EL PARTICIPANTE

**Título de la investigación:** “Variaciones en las capacidades biomecánicas de potencia y altura del salto vertical después de un entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo versus convencional en jugadores de balonmano amateur”

**Investigador Principal:** Mariano González González      **Tfno:**605735327      **mail:** glez6glezmarioahoo.es

**Centro:** Universidad pontifica de Comillas

#### 1. Introducción:

Nos dirigimos a usted para solicitar su participación en un proyecto de investigación que estamos realizando en la Universidad Pontifica de Comillas (Madrid) Su participación es **absolutamente voluntaria, en ningún caso debe sentirse obligado a participar**, pero es importante para obtener el conocimiento que necesitamos. Este proyecto ha sido aprobado por el Comité de Ética. Antes de tomar una decisión es necesario que:

- lea este documento entero
- entienda la información que contiene el documento
- haga todas las preguntas que considere necesarias
- tome una decisión meditada
- firme el consentimiento informado, si finalmente desea participar.

Si decide participar se le entregará una copia de esta hoja y del documento de consentimiento firmado. Por favor, consérvelo por si lo necesitara en un futuro.

#### 2. ¿Por qué se le pide participar?

Se le solicita su colaboración porque es un **varón**, de entre 16 a 18 años, jugador de balonmano de la categoría “juvenil masculino” y ha jugado más de 3 años a balonmano.

En total en el estudio participarán 12 participantes (estudio piloto) de estas características.

#### 3. ¿Cuál es el objeto de este estudio?

El objetivo del estudio es comprobar si hay cambios significativa de potencia y capacidad de salto vertical tras la realización de ejercicios con los aparatos de restricción de flujo sanguíneo.

**Para esta finalidad se utilizará un dispositivo de restricción de flujo (dispositivo Airbands) para obtener la oclusión parcial deseada (70%). Está formado por dos tubos neumáticos que se inflan aplicando una presión determinada hasta alcanzar la oclusión necesaria. Permiten el cálculo de la presión de manera individualizada para cada sujeto y el permanente control por parte del investigador principal que verá en su**

Versión 3, de fecha 18/03/2022

1

dispositivo móvil. Tiene un rango de amplitud desde los 45 cm a los 65 cm de diámetro y cuenta con un sistema.



Imagen obtenida de: <https://airbandsbfr.com/>

#### 4. ¿Qué tengo que hacer si decido participar?

Si decide participar en el estudio, **parte del Trabajo de Fin de Máster de investigador principal**, se le va a pedir que aporte una serie de datos personales, con la única finalidad de utilizarlos como criterios de posible exclusión del estudio. Estos datos se aportarán a través de una entrevista entre el investigador y usted.

La investigación se realizará durante 3 días, durante su sesión normal de entrenamiento, en el tiempo dedicado a la preparación física se le realizará un entrenamiento específico (ejercicios de fuerza y pliometría) con la aplicación de la restricción de flujo, si pertenece al grupo A, o con entrenamiento convencional si pertenece al grupo B.

La duración de este entrenamiento tendrá una duración aproximada de 20 minutos. El estudio durará 3 días.

Se realizarán mediciones a los 20 minutos post entrenamiento, a las 24 horas y a las 72 horas.

En este estudio se le asignará un grupo, el grupo A o experimental, que recibirá la restricción de flujo sanguíneo; el grupo B o control, que realizará los ejercicios convencionales propios de sus entrenamientos.

La decisión de a qué grupo pertenece usted se decide al azar. Es la única forma de poder valorar la utilidad real de la intervención. Se realizarán mediciones a los 20 minutos post entrenamiento, a las 24 horas y a las 72 horas.

**Por otro parte el estudio a realizar consta de unos criterios de exclusión que si el sujeto cumple no podrá ser partícipe del mismo. En primer lugar no querer participar en el estudio. En segundo lugar cualquier patología, que por su propia naturaleza, pueda ser agravada o generar problemas médicos graves por la restricción de flujo(se adjunta un listado de los mismos):**

**Linfedema**

- Cáncer

-Heridas abiertas

- Infección en alguna extremidad

- Uso de anticoagulantes

- Tratamiento en activo con Warfarina

- Diabetes

Versión 3, de fecha 18/03/2022

2

- Neuropatía periférica
- Patología trombótica.

También, cumplir una serie de factores que aisladamente no se consideran un riesgo para la aplicación de restricción de flujo pero un conjunto de varios de ellos sí. Por lo que en el caso de cumplir tres de los siguientes criterios, :

- Obesidad
- Fumador
- Mala circulación
- Varices
- Deshidratación
- Presión alta (140/90 mmHG)

##### 5. ¿Qué riesgos o molestias supone?

Los riesgos derivados de la realización de las pruebas son aquellos presentes en la ejecución de una actividad física dentro de las capacidades de cada sujeto. Únicamente se recogerán datos biomecánicos de potencia y altura en salto vertical, en ningún momento se solicitará más allá de lo que el organismo pueda realizar.

Al tratarse de pruebas que incluyen ejercicio, pueden producirse molestias similares a las realizadas durante cualquier actividad física; agujetas, cansancio, fatiga, pero siendo que tras las pruebas siempre se mantiene un período de reposo es muy poco habitual que esto suceda. La herramienta de oclusión no generará un aumento de dolor post-ejercicio (agujetas) o una sensación diferente de las mismas a la ya conocida por el sujeto.

En caso de que pertenezca al grupo A o experimental se le aplicará la restricción de flujo sanguíneo (**nunca superior al 70% de oclusión**). Debido a esto puede experimentar sensación de incomodidad leve durante la realización de los ejercicios **debido a la presión ejercida por el manguito**. También puede tener sensación de fatiga **leve o moderada** en los miembros inferiores nada más terminar los ejercicios y **puede tener sensación de agujetas moderadas** en las horas siguientes **o el día después del ejercicio**. Para minimizar dicha sensación se realizará **un aumento progresivo de la oclusión antes de la realización del ejercicio (conocido como pre-acondicionamiento isquémico)** y una reperusión de la sangre progresiva durante un mínimo de 5 minutos **después de la realización del ejercicio**.

Al pertenecer al estudio se le realizarán dos pruebas de medición. Un test para medir la altura del salto vertical y un test para medir la potencia en el ejercicio de sentadilla, necesario para realizar la programación de los ejercicios. Estas mediciones se realizarán al principio del estudio, después de la intervención tras un descanso de 20 min, a las 24 horas, y a las 72 horas.

**Se le pedirá desplazarse a las instalaciones del club "Balonmano Dominicos" 3 días para realizar las mediciones. El primer día, el conjunto de medición inicial, un pre-acondicionamiento isquémico, realización de la intervención, período de descanso y medición final llevará un tiempo total estimado de 70 minutos por**

**sujeto. Los 2 días restantes que habrá que realizar las mediciones llevará un tiempo total de 20 minutos por sujeto.**

#### **6. ¿Obtendré algún beneficio por mi participación?**

Al tratarse de un estudio de investigación orientado a generar conocimiento no es probable que obtenga ningún beneficio por su participación si bien usted contribuirá al avance científico y al beneficio social.

**El investigador principal tampoco recibirá ningún beneficio más allá de aumentar el conocimiento en el campo de la investigación,**

**Ni usted ni el investigador** recibirán compensación económica por su participación.

#### **7. ¿Cómo se van a tratar mis datos personales?**

Información básica sobre protección de datos.

Responsable del tratamiento: Mariano González González

Finalidad: Sus datos personales serán tratados exclusivamente para el trabajo de investigación a los que hace referencia este documento.

Legitimación: El tratamiento de los datos de este estudio queda legitimado por su consentimiento a participar.

Destinatarios: No se cederán datos a terceros salvo obligación legal.

Derechos: Podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, supresión y portabilidad de sus datos, de limitación y oposición a su tratamiento, de conformidad con lo dispuesto en **la LO 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales** y el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD 2016/679) ante el investigador principal del proyecto, pudiendo obtener información al respecto dirigiendo un correo electrónico a la dirección.

Así mismo, en cumplimiento de lo dispuesto en el RGPD, se informa que, si así lo desea, podrá acudir a la Agencia de Protección de Datos (<https://www.aepd.es>) para presentar una reclamación cuando considere que no se hayan atendido debidamente sus derechos.

El tratamiento de sus datos personales se realizará utilizando técnicas para mantener su anonimato mediante el uso de códigos aleatorios, con el fin de que su identidad personal quede completamente oculta durante el proceso de investigación.

A partir de los resultados del trabajo de investigación, se podrán elaborar comunicaciones científicas para ser presentadas en congresos o revistas científicas, pero se harán siempre con datos agrupados y nunca se divulgará nada que le pueda identificar.

#### **8. ¿Quién financia el estudio?**

Versión 3, de fecha 18/03/2022

4

Este proyecto no tiene financiación externa de ningún tipo. Su único fin es ampliar el conocimiento en el campo del "Blood Flow Restriccion" en la aplicación deportiva

#### **9. ¿Se me informará de los resultados del estudio?**

Usted tiene derecho a conocer los resultados del presente estudio, tanto los resultados generales como los derivados de sus datos específicos. También tiene derecho a no conocer dichos resultados si así lo desea. Por este motivo en el documento de consentimiento informado le preguntaremos qué opción prefiere. En caso de que desee conocer los resultados, el investigador le hará llegar los resultados.

En el supuesto de que se encuentren hallazgos inesperados durante la realización del estudio, o posteriormente en los resultados del mismo se le informará para que se pueda poner en contacto con su médico habitual.

#### **¿Puedo cambiar de opinión?**

Su participación es totalmente voluntaria, puede decidir no participar o retirarse del estudio en cualquier momento sin tener que dar explicaciones. Basta con que le manifieste su intención al investigador principal del estudio. **En caso de que decida retirarse del estudio puede solicitar la destrucción de los datos u otra información recogida sobre usted.**

#### **¿Qué pasa si me surge alguna duda durante mi participación?**

En la primera página de este documento está recogido el nombre y el teléfono de contacto del investigador responsable del estudio. Puede dirigirse a él en caso de que le surja cualquier duda sobre su participaci

Muchas gracias por su atención, si finalmente desea participar le rogamos que firme el documento de consentimiento que se adjunta **y le reiteramos nuestro agradecimiento por contribuir a generar conocimiento científico.**