

**Comparación de la recuperación  
tras 4 protocolos de sentadilla con  
el mismo volumen de  
entrenamiento que difieren en la  
pérdida de velocidad en la serie.  
Estudio cruzado con subanálisis  
por sexos**

**Grado en Ciencias de la Actividad Física y el  
Deporte**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD  
FÍSICA Y EL DEPORTE**



Realizado por: José Antonio Acevedo Rodríguez

Grupo TFG: M61

Año Académico: 2021-2022

Tutor/a: Jaime Gil Cabrera

Área: Salud. Estudio experimental

## **Resumen**

Para la prescripción del entrenamiento de fuerza, una de las variables principales que debe ser controlada por los entrenadores es el carácter del esfuerzo (CE) en la serie. Distintos caracteres del esfuerzo llevan a distintas respuestas agudas y adaptaciones al entrenamiento. Una de las formas más efectivas de controlar el CE es mediante la pérdida de velocidad en la serie. El objetivo de esta investigación es comparar los efectos agudos de diferentes pérdidas de velocidad una vez que la intensidad y el volumen de entrenamiento se encuentran igualados. Para ello se realizarán 4 protocolos de sentadilla profunda con una pérdida de velocidad del 40, 30, 20 y 10% y se medirá la respuesta generada en variables neuromusculares, perceptivas y metabólicas inmediatamente después del entreno, a las 6, 24, 48 y 72h. Finalmente se comparará la respuesta entre hombres y mujeres buscando posibles diferencias entre sexos.

Palabras claves: Entrenamiento basado en la velocidad de ejecución; fatiga; diferencias entre sexos; sentadilla; pérdida de velocidad; carácter del esfuerzo; recuperación.

## **Summary**

For resistance training prescription, the level of effort (CE) in the set is one of the main variables that should be controlled by trainers. Different CE can lead to different acute training responses or chronic adaptations to training. One of the most effective ways to control the CE is the velocity loss permitted in a set. The objective of this trial is to compare the acute effects of different velocity losses once the intensity and volume of the sets are matched. To test this, 4 deep squat protocols with a velocity loss of 40, 30, 20 and 10% will be executed, and the neuromuscular, perceptive, and metabolic responses will be measured after the completion of the protocols at 6, 24, 48 and 72h. Finally, the responses between sexes will be compared searching for possible differences between men and women.

Key words: Velocity based training; fatigue; differences between sexes; squat; velocity loss; effort index; recovery.

**Listado de abreviaturas:**

% 1RM: porcentaje de la repetición máxima

1RM: repetición máxima

CK: creatina kinasa

CMJ: salto con contramovimiento

DME: diferencia de media estandarizada

DOMS: dolor muscular de aparición tardía

EFM: entrenamiento al fallo muscular

ENFM: entrenamiento no al fallo muscular

INTV: intervención

MVC: contracción máxima voluntaria isométrica

NADHP: nicotinamida adenina dinucleótido fosfato

PRS: escala de recuperación percibida

PV: pérdida de velocidad

RIR: repeticiones en reserva

RPE: esfuerzo percibido

SD: desviación estándar

VBT: entrenamiento basado en la velocidad de ejecución

VMP: velocidad media propulsiva

## Índice

<b>1. Introducción</b>	pág. 3
1.1 La fuerza, concepto y cambio de paradigma en su entrenamiento	pág. 3
1.2 El entrenamiento basado en la velocidad de ejecución	pág. 4
1.3 Efectos en estudios longitudinales de diferentes pérdidas de velocidad en la serie	pág. 6
1.4 Efectos en estudios agudos de diferentes pérdidas de velocidad en la serie	pág. 7
1.5 Diferencias en la recuperación entre hombres y mujeres	pág. 10
1.6 La sentadilla	pág. 12
<b>2. Justificación</b>	pág. 13
<b>3. Objetivos e hipótesis de estudio</b>	pág. 15
<b>4. Metodología</b>	pág. 15
4.1 Diseño	pág. 15
4.2 Muestra y formación de grupos	pág. 18
4.3 Variables y material de medida	pág. 20
4.4 Procedimiento	pág. 26
4.5 Análisis de datos	pág. 29
<b>5. Equipo investigador</b>	pág. 29
<b>6. Viabilidad del estudio</b>	pág. 30
<b>7. Referencias bibliográficas</b>	pág. 32
<b>8. Anexos</b>	pág. 39

## **Índice de figuras y anexos**

### **Figura 1:**

*Medición del CMJ.* pág. 21

### **Figura 2:**

*Empleo del encoder lineal Vitruve en la realización de la sentadilla profunda.* pág. 23

### **Figura 3:**

*Colocación del sujeto y montaje para la prueba MVC.* pág. 24

### **Figura 4:**

*Espectrofotómetro Olympus A400 para el análisis de CK.* pág. 25

### **Figura 5:**

*Diagrama del procedimiento de la intervención.* pág. 28

### **Anexo 1:**

*Escala CR-10.* pág. 39

### **Anexo 2:**

*Escala visual analógica utilizada para medir las DOMS.* pág. 39

### **Anexo 3:**

*Escala de recuperación percibida (PRS).* pág. 40

### **Anexo 4:**

*Rutina de entrenamiento suministrada a los participantes.* pág. 40

## **1. Introducción**

### **1.1 La fuerza, concepto y cambio de paradigma en su entrenamiento**

La fuerza, desde el punto de vista de la mecánica, es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo. La fuerza también es la causa capaz de deformar los cuerpos, bien por presión (compresión o intento de unir las moléculas de un cuerpo) o por estiramiento o tensión (intento de separar las moléculas de un cuerpo). En otras palabras, la fuerza es empujar algo o tirar de algo (McGinnis, 1999). La fuerza sería la medida del resultado de la interacción de dos cuerpos. Viene definida de manera básica según la Segunda Ley de Newton como el producto de una masa por una aceleración ( $F = m \times a$ ), siendo la unidad de medida utilizada internacionalmente el newton. Por tanto, en el sentido en el que la fuerza es definida en la mecánica, la fuerza muscular, como causa, sería la capacidad de la musculatura para deformar un cuerpo o para modificar su aceleración: iniciar o detener el movimiento de un cuerpo, aumentar o reducir su velocidad o hacerle cambiar de dirección. La definición de fuerza desde el punto de vista de la mecánica se centra en el efecto externo, generalmente observable, producido por la acción muscular, la atracción de la gravedad o la inercia de un cuerpo (González-Badillo & Serna, 2019).

La velocidad a la que se desplaza una carga depende de la diferencia entre la fuerza aplicada y la fuerza que representa la carga a desplazar. Por tanto, se deduce que el indicador de que se aplica más o menos fuerza ante la misma carga es la velocidad con la que se desplaza la carga (González-Badillo & Serna, 2019). Si solamente pensamos en la parte de la masa de la ecuación que define la fuerza, podemos llegar a la conclusión de que dos personas que levantan 100kg de peso (masa) presentan el mismo nivel de fuerza ante esa carga, pero, si observamos el componente de aceleración, podremos ver que, en base a lo expresado anteriormente, aquel que sea capaz de acelerar más la carga será el que esté aplicando más fuerza contra la misma. Ante la ausencia de la posibilidad de medir la aceleración que se imprime a una determinada carga, el entrenamiento de fuerza

se ha centrado clásicamente en la parte de la “masa” de la ecuación. Sin embargo, actualmente disponemos de la tecnología necesaria para medir el componente de “aceleración” y esta tecnología se encuentra cada vez más al alcance de la mano de cualquier entrenador. En los últimos años, este hecho ha supuesto un cambio de paradigma importante dentro del entrenamiento de la fuerza, en lo correspondiente a su dosificación, evaluación y monitorización con el desarrollo de lo que se ha dado por llamar “entrenamiento basado en la velocidad de ejecución (VBT)”.

## 1.2 El entrenamiento basado en la velocidad de ejecución

La apropiada manipulación de las variables en el entrenamiento de fuerza (por ejemplo, la selección de ejercicios, el número de series por ejercicio, el número de repeticiones por serie, la intensidad, descanso y duración del ejercicio) representan un gran reto para los entrenadores en cualquier ámbito, ya sea salud o rendimiento deportivo. Entre estas variables de prescripción, el carácter del esfuerzo realizado en cada serie juega un papel clave en la magnitud y especificidad de las adaptaciones neuromusculares (González Badillo et al, 2011; González Badillo et al, 2017b). El carácter de esfuerzo describe la interacción entre la intensidad de entrenamiento y el volumen, y ha sido previamente definido como el número de repeticiones realizadas en una serie con respecto al máximo realizable (Fonseca et al, 2020; González Badillo et al, 2011; Pareja Blanco et al, 2020). El carácter de esfuerzo se ha determinado tradicionalmente mediante el establecimiento de antemano de un número específico de repeticiones a completar en cada serie con una carga relativa dada expresada como un porcentaje de la repetición máxima (%1RM). Sin embargo, el máximo número de repeticiones que pueden ser realizadas contra un determinado % del 1RM muestra una larga variabilidad interindividual y entre los distintos ejercicios, por tanto la programación de un número fijo de repeticiones con dicho porcentaje podría suponer un carácter del esfuerzo muy diferente entre dos sujetos diferentes o entre dos ejercicios diferentes (Richens y Cleather, 2014; Schoenfeld et al 2014), además, se requiere del cálculo del 1RM lo cual presenta varios inconvenientes en la práctica como su fluctuación

diaria, el consumo de tiempo y riesgo de lesión a la hora de calcularlo. Por lo tanto, esta forma de programar el carácter de esfuerzo probablemente lleve a distintas adaptaciones agudas y crónicas entre individuos, aunque el entrenamiento planteado sea el mismo.

El entrenamiento basado en la velocidad ha sido propuesto como un método objetivo y preciso para controlar las variables de entrenamiento como la intensidad, volumen y carácter de esfuerzo mediante el monitoreo de la velocidad de ejecución, y se ha visto que supera las limitaciones de otros métodos tradicionales (Mann y cols, 2015; Nevin, 2019; Weakley y cols, 2021). Se ha demostrado que la pérdida de velocidad (PV) y el estrés metabólico difieren considerablemente dependiendo del número de repeticiones realizadas en un ejercicio con relación al máximo número que puede ser completado (Pareja-Blanco et al, 2017; Sánchez-Medina y González Badillo, 2011), este hecho posibilita el control de la fatiga neuromuscular inducida por los protocolos de entrenamiento de fuerza mediante la medición de la pérdida de velocidad durante una serie (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). En lo concerniente a la intensidad de entrenamiento, entendida como el grado de esfuerzo desarrollado al realizar el ejercicio en la primera acción (repetición) (González-Badillo et al, 2017a), se observa que cada porcentaje del 1RM tiene su propia velocidad media, la cual permanece estable en el tiempo, lo que significa que la velocidad media conseguida en la primera repetición de una serie determinará la intensidad real del esfuerzo (% del 1RM utilizado) (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Se ha propuesto una dosificación del entrenamiento en la cual en vez de prescribir un número fijo de repeticiones a realizar ante una determinada carga, el entrenamiento es configurado mediante la utilización de dos variables: a) la velocidad media de la primera repetición, la cuál está relacionada de manera intrínseca a la magnitud relativa de la carga (González-Badillo y Sánchez Medina, 2010; Pareja-Blanco et al, 2017) y b) La pérdida de velocidad permitida, expresada como el porcentaje de pérdida en la velocidad media de la repetición más rápida de cada serie de ejercicio (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). De esta forma, cuando el porcentaje de pérdida de velocidad prescrito es excedido, la serie termina. Para que el VBT funcione, es



imprescindible que cada repetición sea realizada lo más rápido posible en su fase concéntrica, de lo contrario, las mediciones obtenidas serían erróneas y no representarían la realidad.

### **1.3 Efectos en estudios longitudinales de diferentes pérdidas de velocidad en la serie**

Las pérdidas de velocidad que van de bajas a moderadas (<30% de pérdida de velocidad en la serie) han mostrado en una reciente revisión sistemática con metaanálisis (Gantois et al, 2021) ser más eficientes a la hora de proporcionar ganancias en fuerza y resistencia muscular que las pérdidas de velocidad altas en la serie (>30%) en el ejercicio de sentadilla ejecutado por adultos jóvenes con al menos un año de experiencia en el entrenamiento de fuerza. En esta investigación, incluso se observó que las pérdidas de velocidad altas pueden resultar en menores ganancias de fuerza, especialmente en las acciones a alta velocidad (cargas ligeras, rendimiento en salto y sprint). Esto ocurre a pesar de que las intervenciones que permitían una pérdida de velocidad baja y moderada realizaban un volumen de entrenamiento del 36 y el 71% respectivamente del total que era realizado por el grupo de pérdida de velocidad alta. Sin embargo, las pérdidas de velocidad moderadas o altas sí parecen necesarias para maximizar la hipertrofia muscular (Gantois et al, 2021). Parece incluso que las pérdidas de velocidad bajas pueden ser suficientes para maximizar las adaptaciones en fuerza, ya que en esta revisión sistemática no se encontraron diferencias entre las pérdidas de velocidad bajas (<15%) y las pérdidas de velocidad moderadas (entre el 15 y 30%), a pesar de que los grupos de pérdida de velocidad baja entrenan bastante alejados del fallo muscular. Un estudio reciente en sujetos desentrenados mostró como entrenar con velocidades de ejecución de la primera repetición más altas y por tanto con una menor intensidad relativa (0,86 vs 0,82 m/s de media) y pérdidas de velocidad más bajas (7,78 vs 11,04% de media) en el ejercicio de sentadilla provocaron la obtención de mayores adaptaciones en fuerza y en habilidades deportivas como el salto con contramovimiento (CMJ) o sprint de 20m, indicando que un estímulo caracterizado por un grado muy bajo de fatiga inducida y una alta velocidad de las

repeticiones en la serie puede ser suficiente para inducir adaptaciones de fuerza en poblaciones sin experiencia en el entrenamiento (Jiménez-Reyes et al, 2021).

Uno de los estudios más destacables de la revisión sistemática nombrada anteriormente es el de Galiano et al (2020) en el que se comparaban dos grupos que llevaron a cabo dos entrenamientos con la misma intensidad relativa (50% del 1RM) durante 7 semanas difiriendo solamente en la pérdida de velocidad permitida en cada serie, que fue, tan baja como un 5% en el grupo de pérdida de velocidad muy baja y del 20% en el grupo de pérdida de velocidad moderada. La pérdida de velocidad del 5% ha sido la más baja utilizada entre todos los estudios y supone parar la serie prácticamente ante las primeras muestras de pérdida de velocidad de la barra, es decir, no se acumula prácticamente fatiga. A pesar de esto, se indujeron ganancias de fuerza, CMJ y sprint similares al grupo de pérdida de velocidad moderada, realizando solo un 32,6% de las repeticiones de este grupo. Cabe resaltar que la muestra estaba compuesta por sujetos moderadamente entrenados.

Estas investigaciones, difieren de las recomendaciones del Colegio Americano de Medicina del Deporte para la ganancia de fuerza y resistencia muscular, donde se promueve el empleo de un esfuerzo mayor en la serie y la realización de un mayor número de repeticiones (pérdidas de velocidad más elevadas) (Riebe et al, 2018). A pesar del surgimiento del VBT es destacable que la mayoría de las investigaciones que utilizan el entrenamiento de fuerza emplean protocolos donde la intensidad y el volumen se regulan por el xRM, es decir, se marca un número de repeticiones a realizar y se hacen repeticiones hasta el fallo muscular o casi hasta el mismo, a pesar de que estos protocolos probablemente sean peor tolerados y no conlleven mayores beneficios.

#### **1.4 Efectos en estudios agudos de diferentes pérdidas de velocidad en la serie**

La fatiga se define como una respuesta muscular contráctil que es menor que la esperada o anticipada ante un estímulo dado (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011), produciéndose una reducción en la fuerza máxima y la potencia resultante

debido a; una disminución en la habilidad del sistema nervioso central para producir una activación de las unidades motoras, cambios bioquímicos en la unión neuromuscular y una disminución en la actividad enzimática muscular por la acumulación de hidrogeniones en el músculo y la sangre (Bigland-Ritchie et al, 1978; Debold et al, 2008; MacIntosh y Rassier, 2002; Vøllestad, 1997). Un manejo inapropiado de la fatiga podría incrementar el riesgo de lesión, sobreentrenamiento y agotamiento psicológico. Se ha observado que los protocolos que llegan al fallo muscular (EFM) dan lugar a una mayor fatiga, ansiedad y cansancio que aquellos que no lo hacen (ENFM) (Arent et al, 2005), así como a una disminución en el salto vertical y velocidad de movimiento (González Badillo et al, 2016; Moran-Navarro et al, 2017; Pareja-Blanco et al, 2020), potencia (Gorostiaga et al, 2012; Gorostiaga et al, 2014; Vasquez et al, 2013) y fuerza isométrica (Linnamo et al, 1998; Linnamo et al, 2005; Shibata et al, 2021). Esta disminución del rendimiento podría persistir más de 24 horas después de la sesión de entrenamiento. Fisiológicamente, el entrenamiento al fallo rompe la homeostasis celular mediante la depleción de los depósitos de fosfocreatina, la reducción de la adenosina trifosfato y el pool total de nucleótidos de adenina (Gorostiaga et al, 2012), dando lugar al daño a los tejidos (Morán-Navarro et al, 2017; Pareja-Blanco et al, 2019; Pareja-Blanco et al, 2020), a un incremento en los marcadores de fatiga metabólica (Gorostiaga et al, 2010; Gorostiaga et al, 2012; Gorostiaga et al, 2014; Párraga-Montilla et al, 2020; Raastad et al, 2000), y a una reducción en el rendimiento neuromuscular (Gorostiaga et al, 2012; Gorostiaga et al, 2014; Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011).

En una reciente revisión sistemática (Vieira et al, 2021) que comparaba el EFM, con el ENFM se observó que hubo una mayor reducción de las propiedades biomecánicas (CMJ, sprint y velocidad a la que se levantan las cargas) con el entrenamiento al fallo comparado con el entrenamiento no al fallo (Diferencia de media estandarizada o DME de -0,96) desde el posentrenamiento inmediato hasta las 48 horas después de su finalización. Esto podría ser debido principalmente a tres motivos:

- El mayor tiempo bajo tensión en la serie del grupo de EFM (Wilk et al, 2020), debido a que en muchas investigaciones incluidas en esta revisión no se igualó el volumen de entrenamiento entre ambas intervenciones.
- La mayor fatiga central producida por el entrenamiento al fallo: esta hipótesis queda de momento negada ya que un estudio también reciente, mostró que no hubo diferencias en la fatiga central entre el EFM y el ENFM cuando se realizó sentadilla completa con una carga del 10RM (González-Hernández et al, 2021).
- La mayor fatiga periférica generada por el EFM: el entrenamiento al fallo podría producir una mayor reducción en la actividad muscular de la bomba sodio-potasio, una reducción de la liberación sarcoplasmática de calcio y de la recepción del calcio (Leppik et al, 2004), por tanto, la mayor reducción en las propiedades biomecánicas podría ser explicada por un incremento en la fatiga periférica (Fonseca et al, 2020; Gorostiaga et al, 2012; Gorostiaga et al, 2014). El EFM da lugar a una mayor concentración de metabolitos sanguíneos y a una considerable depleción de purinas musculares, mientras que el ENFM permite el mantenimiento de la homeostasis celular (Gorostiaga et al, 2012; Gorostiaga et al, 2014; Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011).

En la revisión sistemática nombrada anteriormente, se observa que el EFM da lugar a un mayor daño muscular comparado con el ENFM (DME 0,76). Este daño muscular es significativamente mayor a las 48 horas del entrenamiento y parece estar relacionado con que en este marco temporal, el daño muscular del entrenamiento no realizado al fallo comienza a disminuir (Vieira et al, 2021), observándose este fenómeno incluso cuando el volumen de entrenamiento fue igualado entre ambos grupos (Morán-Navarro et al, 2017). Esto refuerza la hipótesis de que realizar repeticiones cercanas al fallo muscular podría ser un factor crítico para inducir daño muscular. Por último, la revisión sistemática también muestra como el esfuerzo percibido (RPE) fue mayor en el EFM comparado con el ENFM (DME 1,93). Esto posiblemente sea debido a la mayor fatiga general y muscular, al mayor estrés cardiovascular e incomodidad de los protocolos al fallo

(Emanuel et al, 2020), esta diferencia se mantuvo así incluso cuando se igualaba el volumen de entrenamiento entre EFM y ENFM.

### **1.5 Diferencias en la recuperación entre hombres y mujeres**

En personas entrenadas, algunos estudios sugieren que la mujer podría experimentar un menor daño muscular estimado mediante la medición de marcadores séricos, tras la realización de entrenamiento de fuerza de manera intensa (Amorim et al, 2014; Baranauskienė et al, 2017; Wolf et al, 2012), mientras que otros estudios no han observado diferencias entre sexos (Benini et al, 2015; Davies et al, 2018;). Las mujeres han mostrado ser menos fatigables y parecen ser capaces de realizar más repeticiones a una intensidad dada (% del RM) que los hombres (Clark et al, 2003; Hunter, 2016; Maughan et al, 1986). Esto se debe posiblemente a una mayor proporción de fibras musculares tipo I, a una mayor capilarización del tejido muscular, a un flujo sanguíneo incrementado hacia el tejido muscular, a una menor compresión mecánica arterial y a una disminución de la necesidad de glucógeno durante el ejercicio (Ansdell et al, 2020; Hunter, 2016; Lundsgaard, 2014). Es posible, por lo tanto, que programas de entrenamiento similares puedan dar lugar a una respuesta al entrenamiento diferente entre hombres y mujeres.

Cuando observamos la literatura en cuanto a la pérdida de producción de fuerza tras un ejercicio intenso, los resultados son menos claros (Davies et al, 2018; Häkkinen, 1993; Häkkinen, 1994; Judge y Burke, 2010; Marshall et al, 2020). Muchos estudios han fallado a la hora de detectar diferencias entre sexos en la cinética de recuperación tras ejercicio en sujetos entrenados (Häkkinen, 1993; Häkkinen, 1994; Judge y Burke, 2010; Marshall et al, 2020). Debido a las diferencias en la experiencia de entrenamiento de los participantes, la selección de ejercicios y los protocolos de entrenamiento, es difícil sacar conclusiones claras al respecto.

En una investigación reciente sobre sujetos entrenados (Amdi et al, 2021), se compararon dos protocolos de entrenamiento de sentadilla trasera y sus efectos en la recuperación en ambos sexos, el primero de estos protocolos consistía en la realización de 5 series de 5 repeticiones al 80% del 1RM y el otro en la realización de 5 series con una carga de entre el 4-6RM. Se observó que en el protocolo que no llegaba al fallo muscular, los hombres se fatigaron significativamente más que las mujeres a los 5 minutos, 24 horas y 48 horas después de la realización del entrenamiento (observado mediante la realización de repeticiones al 80% del RM). Sin embargo, cuando se realizaban las series al fallo muscular, no se encontraron diferencias entre sexos para la recuperación. Los autores concluyeron que la cantidad de entrenamiento requerida para producir una acumulación substancial de fatiga es mayor en las mujeres, pero que, si el estrés del entrenamiento es suficiente, hay pocas diferencias aparentes entre los sexos. A pesar de esto, es necesario destacar que la muestra utilizada en esta investigación fue bastante limitada y que se requieren más investigaciones para confirmar estos resultados.

En cuanto al entrenamiento basado en la velocidad de ejecución, a pesar del gran auge que ha tenido en los últimos años en el mundo de la investigación, las mujeres han sido muy poco estudiadas, con solo 16 estudios realizados en los últimos 5 años, siendo la mayoría de ellos comparaciones transversales (Rissanen et al, 2022), por tanto, es un tema que debe ser abordado con urgencia en la literatura científica. En el único estudio bajo conocimiento del autor que compara de manera longitudinal la diferencia en las adaptaciones al entrenamiento de fuerza basado en la velocidad de ejecución entre hombres y mujeres (Rissanen et al, 2022), se compararon dos protocolos de entrenamiento durante 8 semanas en sentadilla trasera y press de banca (entorno a dos sesiones por semana de media), en ambos protocolos se realizaba un número variable de series entre el 65-75% del RM, siendo la única diferencia, que en uno de ellos se paraba de hacer repeticiones con una pérdida de velocidad del 20% y en el otro con un 40%. Los resultados de este estudio mostraron que con ambas pérdidas de velocidad en ambos sexos se conseguían adaptaciones importantes en el valor de RM, en la velocidad de ejecución ante cargas submáximas, altura de salto vertical y Área de Sección

Transversal del vasto lateral. Un descubrimiento único hasta el momento llevado a cabo por este estudio fue que las mujeres parecieron beneficiarse en mayor medida del entrenamiento con un 40% de pérdida de velocidad, ya que presentó mayores tamaños del efecto sobre todo en las mediciones relacionadas con el press de banca, lo cual, si observamos la exposición realizada anteriormente sobre los efectos longitudinales de diferentes pérdidas de velocidad en hombres, es contrario a esos resultados. Los autores concluyeron que las mujeres podrían beneficiarse de mayores volúmenes de entrenamiento durante el entrenamiento de potencia por su mayor resistencia a la fatiga comparado con los hombres.

Por tanto, existen varias explicaciones posibles a lo observado en este estudio:

- El volumen de entrenamiento en el caso de las mujeres fue insuficiente y se beneficiarían de un aumento de este (ya que el volumen de entrenamiento no estaba igualado entre las dos diferentes pérdidas de velocidad).
- Las mujeres requieren de una mayor pérdida de velocidad en la serie para maximizar adaptaciones comparado con los hombres.
- Las mujeres requieren de una combinación de un mayor volumen y una mayor pérdida de velocidad para maximizar las adaptaciones.

Existe una necesidad de continuar investigando cómo los diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza impactan tanto la respuesta aguda como las adaptaciones y las posibles diferencias entre hombres y mujeres.

## 1.6 La sentadilla

La sentadilla tiene una larga historia dentro del entrenamiento en el ámbito fitness, en la rehabilitación de lesiones y en el entrenamiento de fuerza para la mejora del rendimiento en el deporte. Se trata de un movimiento funcional que se realiza con o sin carga externa mediante la flexión y extensión de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo de una manera similar a muchos movimientos que ocurren en las actividades cotidianas diarias y en el deporte. La sentadilla es considerada un ejercicio de cadena cinética cerrada donde la fuerza se expresa a través del final de la longitud del miembro mientras este se encuentra fijo al suelo (Escamilla et

al,1998). Diversas variantes de este ejercicio son utilizadas ampliamente en los programas de preparación física para los deportistas de muchas disciplinas o para el entrenamiento con objetivo de salud y/o la mejora de la condición física. La razón primaria de este amplio uso es su naturaleza funcional, su habilidad para sobrecargar los músculos del miembro inferior y su relativa seguridad si es realizada en una jaula de sentadilla con el equipamiento adecuado (Escamilla, 2001). A consecuencia de todo lo anterior, estamos probablemente ante el ejercicio de fuerza individual más estudiado por parte de la literatura científica para el miembro inferior. Una búsqueda de la palabra “squat” en Pubmed a marzo del 2022 nos reporta 7.233 resultados.

Los incrementos relativos en la musculatura del glúteo mayor y de la musculatura aductora son mayores con el entrenamiento de una sentadilla completa (definida como aquella en la que se obtiene una flexión de rodilla de entorno a 140°) cuando se compara con una media sentadilla (valores de flexión de rodilla de 90°) (Kubo et al, 2019). Por tanto, el entrenamiento de la sentadilla completa podría mejorar el rendimiento durante el sprint y el salto comparado con la media sentadilla debido a que la capacidad de extensión de cadera es de vital importancia para el rendimiento en múltiples deportes, así como por el trabajo muscular más completo que ofrece.

## **2. Justificación**

La realización de esta investigación surge en primer lugar, porque la mayoría de las investigaciones agudas realizadas sobre diferentes pérdidas de velocidad o caracteres del esfuerzo en miembro inferior comparan solamente dos grupos: uno que realiza entrenamiento al fallo o muy cerca del fallo y otro que realiza aproximadamente la mitad de las repeticiones posibles en la serie (Dos Santos et al, 2021; González-Badillo et al, 2016; González-Hernández et al, 2020; Gorostiaga et al, 2012; Gorostiaga et al 2014; Pareja Blanco et al, 2017b; Pareja Blanco et al, 2019; Pareja-Blanco et al, 2020; Shibata et al, 2019;) por tanto, las pérdidas de velocidad intermedias entre el fallo y la mitad de las repeticiones posibles (entre el 20 y el 40% en el ejercicio de sentadilla, sin incluir ambos extremos) y las pérdidas



de velocidad menores a la mitad de las repeticiones posibles (menores del 20%) no se ven representadas en la literatura, siendo interesante ver si hay una relación lineal entre la cercanía al fallo y la modificación de los distintos parámetros de rendimiento, bioquímicos y perceptivos según la pérdida de velocidad alcanzada. Otro motivo importante y en el que este estudio realizaría una gran contribución es que en la mayoría de investigaciones, el volumen de entrenamiento entre las distintas pérdidas de velocidad o caracteres del esfuerzo no se encuentra igualado a excepción de unas pocas investigaciones (Dos Santos et al, 2019; Gorostiaga et al 2012; Gorostiaga et al 2014; Shibata et al 2019), esto quiere decir que a veces es complicado distinguir si los resultados obtenidos de manera aguda en los parámetros de recuperación son debidos al mayor carácter del esfuerzo en la serie, o simplemente al mayor tiempo bajo tensión y mayor volumen realizado por los grupos que entrenan al fallo. Otros motivos que justifican este estudio es el empleo del ejercicio de sentadilla libre, ya que la sentadilla en muchas ocasiones, en estas investigaciones sobre los efectos agudos del entrenamiento se ejecuta en Máquina Smith (Dos Santos et al, 2021; González-Badillo et al 2016; Pareja-Blanco et al 2017b; Pareja-Blanco et al 2019; Pareja-Blanco et al, 2020; Sánchez-Medina y González Badillo, 2011) siendo a nuestro parecer, la sentadilla libre un movimiento más interesante y más utilizado a nivel del rendimiento deportivo e incluso a nivel del entrenamiento para la mejora o mantenimiento de la salud y que tiene características diferenciadoras importantes respecto a su versión guiada. Consideramos que la inclusión de un punto de medición a las 72 horas del entrenamiento es otro aspecto positivo, ya que la mayoría de las investigaciones solo observan la recuperación hasta las 48 horas, y dado que en este punto temporal la recuperación es todavía incompleta, queremos observar si pudieran existir diferencias más allá de las 48 horas. Por último, se ha querido añadir una comparación entre sexos debido a que la mujer ha sido olvidada en este tipo de estudios sobre los efectos agudos en la recuperación de distintas pérdidas de velocidad en la serie, a pesar de que la mujer parece tener una respuesta diferente a los hombres en protocolos similares, no encontrándose ningún estudio que las incluya en su muestra a excepción del de Dos Santos et al de 2019 que no hizo una comparación con un grupo de hombres. Entender las características temporales de

la fatiga inducida por el entrenamiento de fuerza con distintas pérdidas de velocidad y como se refleja esto en parámetros que puedan ser entendibles por los entrenadores y las posibles diferencias entre sexos ayudará a optimizar la prescripción del entrenamiento de fuerza.

### **3. Objetivos e hipótesis del estudio**

- Objetivo principal: observar las diferencias en cuanto a la evolución de la recuperación en el período posentrenamiento de diferentes parámetros neuromusculares, perceptuales y bioquímicos en 4 protocolos de sentadilla completa libre que difieren solamente en la pérdida de velocidad permitida en cada serie.
- Objetivo secundario: comparar los resultados obtenidos entre el sexo masculino y femenino para dilucidar si existen diferencias en la recuperación.

La hipótesis primaria es que se observará una mejor recuperación de todos los parámetros cuanta menor pérdida de velocidad sea permitida en la serie.

La hipótesis secundaria es que las mujeres presentarán una recuperación del rendimiento en todos los parámetros más rápida que los hombres, a excepción del grupo que utiliza un 40% de pérdida de velocidad en la serie, donde la recuperación del rendimiento tendrá una temporalidad similar.

### **4. Metodología**

#### **4.1 Diseño**

Se llevará a cabo un ensayo clínico aleatorio cruzado, en el que cada sujeto será sometido a 4 intervenciones que difieren solamente en la pérdida de velocidad permitida en la serie (10%, 20%, 30% y 40% de pérdida de velocidad) con un

período de 2 semanas de descanso entre cada una de ellas. El ejercicio elegido es la sentadilla profunda libre y la carga utilizada para cada una de las intervenciones será aquella que se levante ese día a una velocidad media propulsiva (VMP) de  $0,68 \pm 0,02$  m/s (lo que corresponde aproximadamente a un 80% del RM en este ejercicio), para ello, antes de comenzar la intervención, durante el test de velocidad de la sentadilla pre-intervención, se hallará la carga que se levanta en el día a esa velocidad y será la carga empleada posteriormente durante las series siempre y cuando se mantenga la VMP con esta. En caso de llegar a una VMP de la primera repetición que se diferencie en  $0,06$  m/s o más de la pretendida en la primera o en las restantes series, se descansará 30" extra y se volverá a intentar llegar al rango deseado, si se consigue, se continuará la serie con esa carga hasta la pérdida de velocidad programada, si no se consigue la carga se reducirá o aumentará un 5% según corresponda y se volverá a intentar después de otros 30" de descanso, prosiguiendo de esta forma hasta alcanzar la carga que resulte en la velocidad programada. Para medir la VMP y la PV se utilizará el encoder lineal Vitruve, detallándose las características de este dispositivo y su forma de uso en un apartado posterior.

El orden de las intervenciones será aleatorio, a excepción de la del 40% de pérdida de velocidad, que será realizada siempre en primer lugar, esto es debido a se tomará como referencia para establecer el volumen de entrenamiento objetivo de todas las intervenciones posteriores mediante el número total de repeticiones ejecutadas en 5 series, que posteriormente tendrá que ser igualado en el resto de estas. Por tanto, en los protocolos de 10,20 y 30% de PV se hará el número de series que sea necesario para llegar a completar las mismas repeticiones que en el grupo de 40% de PV (pudiendo la última serie ser parada antes de que se llegue al % de pérdida de velocidad si se ha igualado este número de repeticiones). Antes (Pre) y tras cada uno de los protocolos (Post), se tomarán datos correspondientes a variables neuromusculares, perceptivas y metabólicas. Las mediciones post serán llevadas a cabo en 5 puntos temporales (inmediatamente posentrenamiento, 6 horas posentrenamiento, 24 horas posentrenamiento, 48 horas posentrenamiento y 72 horas posentrenamiento). Antes de comenzar el estudio se realizarán dos sesiones de

familiarización y de toma de datos previa a la investigación. Posteriormente a la finalización de la investigación se compararán los resultados entre sexos en busca de posibles diferencias en los parámetros de recuperación. Las intervenciones y mediciones de laboratorio se harán en los laboratorios y salas de entrenamiento de las instalaciones de la Universidad Europea de Madrid, se cuidará que la temperatura ambiental y humedad sean constantes (temperatura entorno a los 22°C) en los diferentes días.

La sentadilla será realizada durante la intervención y las pruebas con el sujeto comenzando desde una posición erguida, con las rodillas y caderas totalmente extendidas, los pies abiertos aproximadamente al ancho de los hombros, y la barra descansando en la parte alta de la espalda, a nivel del acromion. Los sujetos descenderán a un ritmo controlado (0,4-0,7 m/s) hasta que la parte alta del muslo se encuentre bajo el plano horizontal, luego, inmediatamente, se revertirá el movimiento y se ascenderá de nuevo a la posición erguida. Los sujetos serán instruidos a ejecutar siempre la fase concéntrica del levantamiento a la máxima velocidad intencional. Los investigadores controlarán que se cumpla con estas indicaciones durante toda la duración del estudio y animarán a los sujetos para que den su máximo en cada momento. Con el fin de controlar la profundidad de cada repetición de la sentadilla, durante las dos semanas de familiarización se instruirá a los sujetos para que alcancen el rango de movimiento necesario, utilizando la medición del rango de movimiento que proporciona el encoder lineal como feedback. Si por ejemplo se observa que para un sujeto el rango de movimiento necesario para hacer una sentadilla profunda es de 60cm, se tratará de que cada repetición tenga ese rango de movimiento aproximadamente.

Se considera que hay una serie de variables que pueden influir en el desenlace de la investigación y que deben ser controladas para obtener unos resultados más fiables. Por ello, se tratará de controlar el estatus nutricional, el sueño, la hidratación y el entrenamiento de los participantes de la siguiente forma: los días en los que se sometán a las distintas intervenciones les será ofrecido a los participantes un desayuno estandarizado una hora y media antes de comenzar (tostada con aceite

de oliva y jamón serrano y un zumo de naranja), se pasará a los participantes un consentimiento informado indicando la necesidad de dormir al menos 7 horas la noche anterior de las intervenciones y las pruebas. Durante las intervenciones y las pruebas los sujetos serán provistos de agua para que la consuman ad libitum. También se controlará el entrenamiento de los participantes mientras dure el estudio, dándoles una rutina de entrenamiento que tendrán que implementar desde que termine el período de familiarización hasta la finalización de la investigación. Esta rutina que puede ser consultada en el Anexo 4, tendrá una duración de 12 semanas y estará diseñada para que no se produzca ninguna interferencia con las pruebas o las intervenciones, pero que, a pesar de ello, los participantes puedan seguir entrenando el miembro inferior y la sentadilla, con un día dedicado al entrenamiento de los grupos musculares de la parte anterior del miembro inferior y el otro a la musculatura posterior. El trabajo de miembro superior será de libre ejecución para los participantes, así como la participación en otro tipo de actividades deportivas siempre y cuando no se realice ejercicio físico intenso 72 horas antes de las intervenciones y durante el período de realización de las pruebas posentrenamiento.

#### **4.2 Muestra y formación de grupos**

Nuestra población diana son las personas de entre 18 y 35 años con independencia de su sexo, que presentan una experiencia en el entrenamiento de fuerza de al menos 1 año, y que realizan sentadilla con el fin de mejorar alguna cualidad relacionada con la fuerza, la salud o su rendimiento deportivo. La población de estudio, por su parte, vendrá dada por los criterios de inclusión y de exclusión que son presentados a continuación:

##### Criterios de inclusión:

- Ser un hombre o mujer de entre 18 y 35 años
- 1 año de experiencia en el entrenamiento de fuerza (al menos 2 veces por semana).

- 1 año de experiencia entrenando la sentadilla con una frecuencia mínima de 1 vez por semana y un 1RM mínimo de 1,2 veces el peso corporal del sujeto.
- No tomar suplementación con el objetivo de mejorar el rendimiento deportivo durante el estudio o 1 mes antes del inicio de este.
- Presentar disponibilidad y voluntad de cumplir con el calendario de la investigación.

#### Criterios de exclusión:

- Fumadores.
- Presentar enfermedades o lesiones que puedan interferir en la toma de datos.
- Contraindicaciones absolutas para el ejercicio de fuerza realizado de manera intensa.
- Consumo elevado de alcohol (mayor de dos bebidas al día).
- No ser capaz de ejecutar correctamente el ejercicio de sentadilla bajo los requisitos de la investigación.

#### Muestra:

Para formar la muestra, se pondrán anuncios por la Universidad Europea de Madrid (Villaviciosa de Odón, España), sobre todo en la facultad de Ciencias de la Actividad Física y el deporte y fisioterapia, preguntando por voluntarios para participar en el estudio que cumplan con los criterios comentados anteriormente. Se tratará de ofrecer distintas bonificaciones a los estudiantes para animarlos a participar en la investigación. Se buscará reclutar un número similar de hombres y mujeres. El número de sujetos dependerá de la disposición a participar por parte de la población y del cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión, se preverán los posibles abandonos que puedan surgir durante la realización de la investigación. Se buscará que participen entorno a 12-15 hombres y 12-15 mujeres, nos basamos para elegir esta cantidad de sujetos en las investigaciones similares realizadas previamente, donde en la mayoría de ellas se utilizan muestras de 10-13 sujetos (Dos Santos et al, 2019; González-Badillo et al, 2016; González-Hernández et al, 2020; Gorostiaga

et al, 2012; Gorostiaga et al, 2014; Morán-Navarro et al, 2017; Parejo Blanco et al, 2017b; Pareja-Blanco et al, 2019; Parejo-Blanco et al, 2020; Shibata et al, 2019; Weakley et al, 2019), a excepción de Sánchez Medina y González Badillo, 2011 que utilizaron una muestra de 18 sujetos. Por tanto, consideramos que con 12-15 sujetos por cada sexo obtendremos unos resultados representativos y tendremos margen para los eventuales abandonos o incumplimientos que puedan darse durante la realización de la investigación. Al ser un estudio cruzado, tanto el grupo de hombres como el de mujeres se someterán a los 4 protocolos con distinta pérdida de velocidad en la serie en un orden aleatorio (a excepción del protocolo del 40% de pérdida de velocidad que será siempre realizado en primer lugar).

### **4.3 Variables y material de medida**

#### Variables neuromusculares

La fatiga neuromuscular inducida por el ejercicio puede manifestarse de manera diferente dependiendo de la carga que es utilizada. En el presente estudio, se tratará de examinar los efectos agudos de las distintas pérdidas de velocidad y la recuperación en el tiempo del rendimiento con el empleo de cargas bajas, medias y altas. Para las cargas bajas, más relacionadas con la producción de fuerza en la unidad de tiempo, se empleará la medición de la altura en un salto con contramovimiento. Para valorar las cargas medias, se realizará en sentadilla profunda libre una repetición con una carga que dé lugar a una VMP de  $1 \pm 0,02$  m/s (aproximadamente un 60% del RM en sentadilla completa). A la hora de evaluar las cargas altas, más relacionadas con la fuerza máxima que puede producir el sujeto, se empleará una carga que sea levantada a  $0,68 \pm 0,02$  m/s (aproximadamente un 80% del RM) y la máxima contracción voluntaria isométrica en extensión de rodilla de la pierna derecha. La velocidad de ejecución para los determinados porcentajes del RM ha sido extraída de la investigación de Sánchez-Medina et al, 2017, realizada en sentadilla completa en máquina Smith.

Todas estas pruebas serán llevadas a cabo antes de comenzar el entrenamiento, inmediatamente después de su finalización, 6, 24, 48 y 72 horas después del entrenamiento. El orden que se seguirá para realizarlas será el siguiente: en primer lugar, se ejecutará el salto vertical, a continuación, se efectuará la contracción máxima voluntaria isométrica (MVC) y finalmente la sentadilla con las distintas cargas en orden ascendente (60% y 80% del RM). En los puntos de medición del período pre-entrenamiento y 6, 24, 48, 72 horas posteriores, antes de realizar las mediciones se comenzará con un calentamiento estandarizado consistente en: 5 minutos de bicicleta estática con la indicación de mantener un ritmo medio-bajo, 3 minutos de movilidad articular centrada en el miembro inferior, 10 sentadillas con el peso corporal y 2 CMJ de prueba.

## CMJ

Para medir la altura alcanzada en el CMJ se utilizará el sistema óptico de detección mediante infrarrojos Optojump Next (microgate, Bolzano, Italia) (figura 1). A la hora de medir el salto, una vez terminado el calentamiento, se llevarán a cabo 3 CMJs separados por 20 segundos de descanso y la altura media alcanzada en los 3 saltos será tomada como valor válido en cada uno de los distintos puntos temporales. En el caso de la medición inmediatamente posentrenamiento, los saltos se llevarán a cabo 3 minutos después de haber terminado la última serie del protocolo.

### **Figura 1:**

*Medición del CMJ.*





*Nota: adaptado de Optojump Next-Aplicaciones, por Optojump, s.f., Optojump. (<http://www.optojump.com/Aplicaciones.aspx>)*

Medición de la velocidad media propulsiva ante las diferentes cargas en el ejercicio de sentadilla completa

La velocidad media propulsiva será medida mediante el encoder lineal Vitruve (Vitruve, Madrid, España) que es una nueva y actualizada versión de un encoder validado previamente (Pérez Castilla et al, 2019). El encoder será enganchado al extremo de la barra y se asegurará que el cable se desplace en una dirección lo más vertical posible durante la ejecución de las repeticiones, se puede apreciar la posición de colocación del encoder para la sentadilla profunda en la figura 3. A la hora de realizar las evaluaciones Pre y Post, una vez hayan transcurrido los 3 minutos de descanso posteriores a la MVC, se comenzará a calentar de manera específica para esta prueba mediante 10 repeticiones en sentadilla con la barra vacía, una vez ejecutadas, se comenzará a subir progresivamente de peso realizando series de 3 repeticiones con 2 minutos de descanso entre ellas hasta llegar a la primera velocidad de la evaluación ( $1 \pm 0,02\text{m/s}$ ) con la cual se harán 3 repeticiones. En este caso, una media de las 3 repeticiones será tomada como valor para el análisis. A continuación, se seguirá aumentando de peso y descansando 2 minutos entre intentos de series de 1 repetición hasta alcanzar la última velocidad objetivo de  $0,68 \pm 0,02 \text{ m/s}$ , con la cual se realizará solamente 1 repetición que será la utilizada en el análisis. Durante todas estas series los sujetos recibirán ánimo del equipo investigador para que den su mayor rendimiento posible en cada momento, así como feedback instantáneo de la velocidad a la que están levantando las cargas.

## Figura 2:

*Empleo del encoder lineal Vitruve en la realización de una sentadilla profunda.*



*Imagen de autoría propia.*

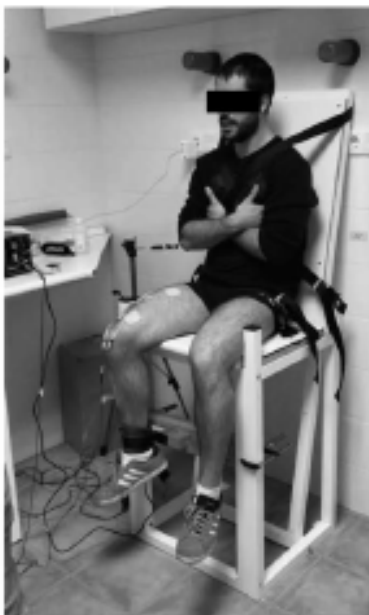
Medición de la máxima contracción voluntaria isométrica de extensión de rodilla.

Una prolongada disminución en la contracción voluntaria máxima y por tanto en la habilidad para generar fuerza, que es evidente en un lapso mayor a las 24 horas tras el ejercicio, es considerada el mejor marcador indirecto de daño muscular (Warren et al, 1999). En este estudio se medirá la contracción máxima voluntaria de los extensores de rodilla, utilizándose una silla de fabricación propia similar a la empleada en la investigación de González-Hernández y colaboradores de 2020 (figura 4), en la cual, ambas rodillas quedan flexionadas a 90° y el torso es restringido mediante el empleo de cinchas para evitar cualquier movimiento. La pierna derecha será atada a un transductor de fuerzas (NL63-200kg, Digitimer Ltd, Welwyn Garden City, Reino Unido) justo por encima del maléolo. La contracción a emplear para tomar la medición será de 5 segundos y se pedirá a los sujetos que

la realicen con la máxima fuerza posible, dándoles ánimos durante la ejecución de la prueba. La prueba se realizará tras descansar 3 minutos después de haber realizado los saltos verticales. Se ejecutará dos veces, separadas por un minuto de descanso, seleccionándose el intento en el que se consiga un mayor valor de fuerza expresada en kilos.

### **Figura 3:**

*Colocación del sujeto y montaje para prueba MVC.*



*Adaptado de la investigación de González-Hernández et al (2020)*

### Variables metabólicas

#### Creatina quinasa (CK)

El daño muscular será inferido mediante la determinación de los niveles séricos de CK antes de entrenar, 6, 24,48 y 72 horas después. Se realizarán extracciones sanguíneas siempre entre las 8:00 AM y 8:30 AM, a excepción de la recogida de sangre 6 horas después de entrenar. La sangre será extraída utilizando procedimientos clínicos convencionales por un enfermero desde la vena antecubital a un tubo simple (5ml). Estos tubos serán centrifugados posteriormente a 2000g durante 10 minutos para la eliminación cuidadosa del suero sanguíneo, y las

muestras serán congeladas a  $-80^{\circ}\text{C}$  hasta que sean analizadas. Se analizarán las concentraciones séricas de CK usando un kit disponible comercialmente (Beckman Coulter, Brea, California). El análisis de CK estará basado en la cuantificación de la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADHP) cuya formación deriva de la acción de la CK en la creatina fosfato y adenina difosfato. Estos procedimientos serán realizados de la manera recomendada por la Federación Internacional de Química Clínica. Para el análisis se utilizará un analizador espectrofotométrico bioquímico automatizado (Olympus A400; Beckman Coulter).

#### **Figura 4:**

*Espectrofotómetro Olympus A400 para el análisis de CK*



*Adaptado de Olympus AU400 Chemistry Analyzer, por Olympus and Beckman Coulter, s.f., Blockscientific (<https://www.blockscientific.com/olympus-au400-chemistry-analyzer#attr=>)*

#### Variables perceptivas

##### Esfuerzo percibido

El esfuerzo percibido en la sesión se medirá con una escala de Borg CR-10, esta escala califica el esfuerzo realizado en la sesión en un valor numérico del 1 al 10, habiendo sido previamente validada (Haddad et al, 2017). Los sujetos serán preguntados por el entrenador (con la escala delante de ellos para que puedan tener la referencia visual), 5 minutos tras el final del entrenamiento, cuánto esfuerzo

les ha supuesto la sesión del día. Esto sucederá en cada una de las intervenciones durante todo el estudio. La escala será introducida a los sujetos en el período de familiarización. La escala puede ser encontrada en el anexo 1.

#### Dolor muscular de aparición tardía (DOMS)

Para la medición de las DOMS se pedirá a los sujetos que realicen 10 sentadillas con el peso corporal y a continuación se empleará una escala visual analógica en la cual a los 0cm estará anclado el descriptor “sin dolor” y a los 10cm el descriptor “máximo dolor”, una vez el sujeto marque el punto de la línea dónde sitúa su dolor, los investigadores observarán con que valor numérico del 1 al 10 se corresponde (se puede observar la escala utilizada en el anexo 2). La medición de las DOMS se realizará 6, 24,48 y 72 horas después de cada una de las intervenciones.

#### Escala de recuperación percibida (PRS)

Se buscará medir la recuperación percibida por los participantes utilizando la escala PRS, una escala previamente validada (Laurent et al, 2011) que busca conocer la percepción subjetiva del individuo acerca de su recuperación. Esta escala va del 0 al 10 y tiene varios descriptores (se puede observar de manera detallada en el anexo 3). La escala será pasada a los sujetos a las 6, 24,48 y 72 horas en cada una de las intervenciones.

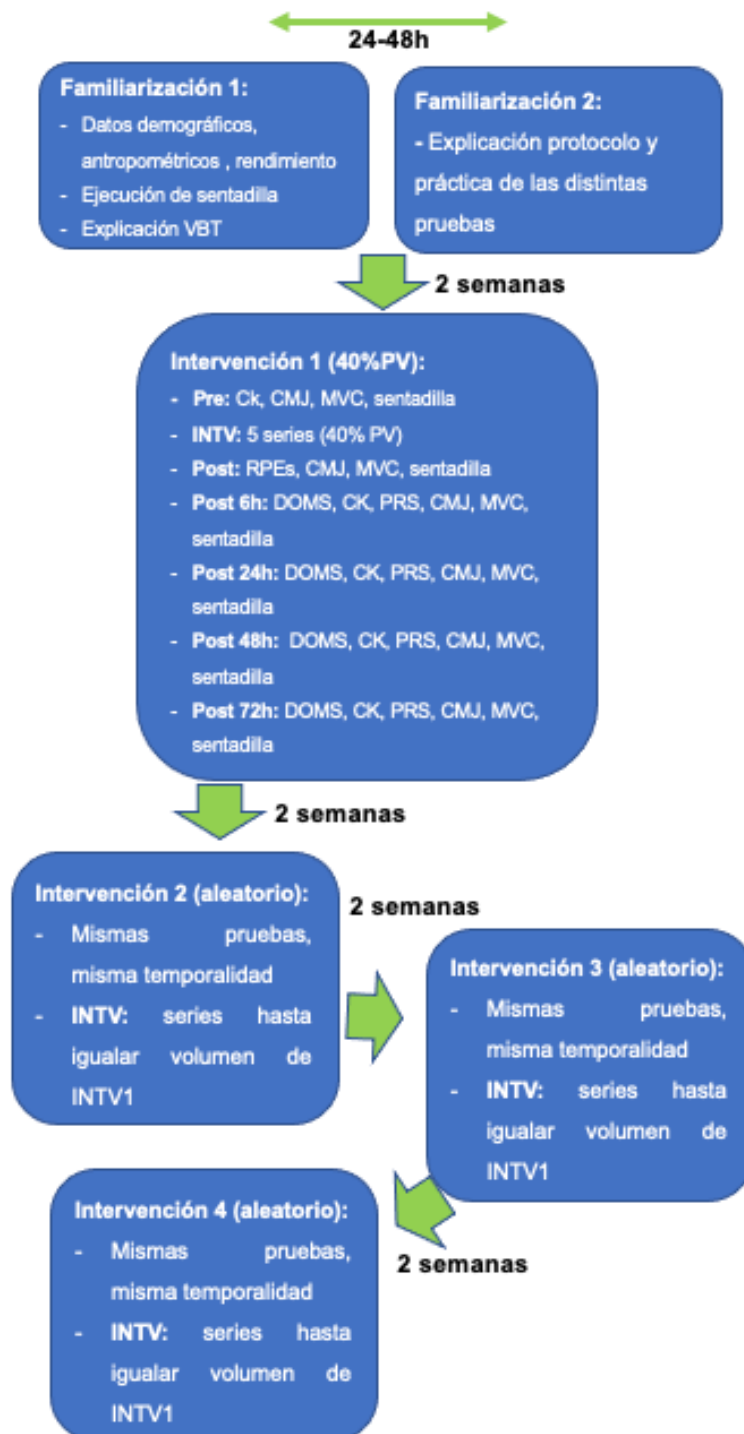
### **4.4 Procedimiento**

En primer lugar, se realizarán dos sesiones de familiarización separadas entre sí por 24-48 horas, en la primera de estas sesiones se tomarán datos antropométricos de los participantes (altura y peso), datos demográficos (sexo y edad) y algunos datos relativos a su experiencia en el entrenamiento de fuerza (1RM estimado, experiencia de entrenamiento, frecuencia semanal durante los últimos meses...) así como se comprobará que los sujetos cumplan todos los criterios de inclusión del estudio. Una vez tomados estos datos, se procederá a explicar a los sujetos en

qué consiste el VBT y después, se llevará a cabo una sesión práctica de sentadilla, donde se verá si los sujetos pueden ejecutar la técnica tal y como es requerido para la investigación. La segunda sesión de familiarización consistirá en la explicación del protocolo del estudio y las pruebas a las que se verán sometidos los sujetos de forma teórica y práctica, incluyendo la explicación de las diferentes escalas como la de RPEs, DOMS y PRS. Una vez terminadas estas sesiones, los sujetos serán citados para dos semanas después, donde tendrá lugar la intervención 1, que es en todos los casos la sesión que consiste en 5 series con la carga que dé lugar a una VMP de  $0,68 \pm 0,02$  m/s hasta alcanzar una PV del 40%. En esta y en el resto de las intervenciones se citará a los sujetos entre las 8:30 y 9:00 de la mañana, momento en el que se realizará la extracción de sangre para determinar los niveles de CK basales, una vez realizada la extracción se les ofrecerá el desayuno descrito anteriormente. A las 10:30 darán comienzo las diferentes pruebas con el calentamiento anteriormente descrito, siguiendo el siguiente orden: CMJ, MVC y sentadilla con las diferentes cargas (60 y 80% del RM). Una vez realizadas estas pruebas, comenzará el primer protocolo. Cuando este protocolo haya sido finalizado, se registrará el número de repeticiones de cada sujeto, que servirá para igualar el volumen del resto de los protocolos. A continuación, comienza la fase de mediciones posintervención, en la cual inmediatamente después de la intervención se medirá el RPEs, PRS, CMJ, MVC y distintas cargas de sentadilla, a las 6 horas se medirán DOMS, la CK, PRS, CMJ, MVC y las distintas cargas de sentadilla. A las 24, 48 y 72 horas del entrenamiento (Siempre sobre las 10:30) se repetirán todas estas mediciones. Una vez haya terminado el primer protocolo, se produce un período de 2 semanas puente y cuando transcurra este tiempo, se procederá a ejecutar el siguiente protocolo, que será aleatorizado para cada sujeto y en el que se hará el número de series necesarias para igualar el número de repeticiones con la intervención de 40% de PV. En cuanto a las pruebas se llevarán a cabo de la misma manera descrita en el protocolo anterior. Una vez se realiza esta segunda intervención, se volverá a descansar dos semanas y se repetirá todo el procedimiento para las dos restantes.

**Figura 5:**

*Diagrama del procedimiento de la intervención.*



*Elaboración propia. INTV es la abreviatura de intervención.*

#### **4.5 Análisis de datos**

Se reportarán los valores de la estadística descriptiva como la media  $\pm$  la desviación estándar (SD). Para todas las variables, el nivel de significación estadística estará establecido en  $\leq 0.05$  con un intervalo de confianza del 95%. Todos los análisis estadísticos serán realizados con el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS) versión 24 (IBM, Armonk, NY, US). Los datos recogidos antes de las intervenciones (Pre) serán analizados para determinar su normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente se llevará a cabo un análisis factorial de la varianza (ANOVA) de mediciones repetidas (protocolo x tiempo) para determinar la significancia estadística de nuestros resultados. Se realizará un análisis post hoc de Bonferroni cuando se detecte una interacción significativa. Finalmente se ejecutará un análisis ANOVA de comparaciones múltiples por pares para comprobar si existen diferencias entre hombres y mujeres a la hora de recuperarse de los distintos protocolos de entrenamiento, realizándose el análisis de Bonferroni cuando haya una interacción significativa. Adicionalmente se calculará el tamaño del efecto con la fórmula de Cohen y los resultados serán interpretados en base a los siguientes criterios:  $>0,70$  efecto grande; entre  $0,3-0,69$  efecto moderado;  $<0,30$  efecto pequeño (Cohen, 1988).

#### **5. Equipo investigador**

El equipo investigador estará compuesto por:

- Enfermero: se encargará de realizar la extracción de sangre y todo el procedimiento para que la muestra pueda ser analizada correctamente.
- Técnico de laboratorio: será el encargado de analizar las muestras de CK.
- Investigador principal: será el encargado de dar las instrucciones y dirigir a todo el equipo investigador, participará además en las diferentes tomas de datos.



- Investigador asistente 1: ayudará al investigador principal en la toma de datos y en animar a los participantes durante la ejecución de las pruebas y las diferentes intervenciones.
- Investigador asistente 2: mismas funciones que el investigador asistente 1.
- Investigador asistente 3: se encargará de preparar el material, de tal forma que se asegure de que esté listo para ser utilizado y en las correctas condiciones.
- Ayudante/alumno en prácticas: se encargará de tareas como ayudar a cargar y descargar la barra, pasar las escalas de percepción, así como otras tareas que le asigne el equipo investigador.
- Analista de datos: una vez recogidos los datos será el encargado de analizarlos mediante el programa estadístico, comparando a hombres y mujeres.

## **6. Viabilidad del estudio**

De forma general me parece que estamos ante un estudio que es viable y realista en su diseño, pudiendo llevarse a cabo si se cuenta con los medios necesarios, que no son excesivamente costosos de conseguir para una facultad de ciencias de la actividad física y el deporte. Sin embargo, existen algunos puntos que hacen que pueda ser más dificultosa su realización. El principal sería el conseguir a 12-15 hombres y 12-15 mujeres que quieran participar y que vayan a cumplir el protocolo completo ya que se requiere que cada uno de ellos haga un total de 22 visitas al laboratorio de entrenamiento en un período de entre 2 y 3 meses, y que además tengan cierta experiencia en el entrenamiento de fuerza, estando dispuestos a suspender su programación del entrenamiento durante este tiempo para amoldarse a lo que se pide en el estudio. Esto es especialmente difícil en el caso de las chicas, ya que suelen presentar menores niveles de fuerza y deben llegar a levantar 1,2 veces su peso corporal en el ejercicio de sentadilla completa para poder participar. A pesar de esta dificultad principal, considero que si el estudio fuera desarrollado en la universidad y si se dieran algunas ventajas a los participantes podría llegar a conseguirse una muestra como la propuesta. La segunda dificultad que presenta la

investigación es que requiere de cierto personal para poder ser ejecutada, ya que el volumen de participantes que se busca es relativamente grande y hay que tomar una cantidad bastante elevada de datos, sin embargo, creo que un equipo motivado y preparado como el propuesto en el apartado anterior podría hacerse cargo de la investigación correctamente. Como se ha comentado, el organizar todas las mediciones que se han planificado y el seguimiento del protocolo requiere una preparación exquisita y cuidadosa de los detalles, debiendo evitarse que los sujetos se fatiguen excesivamente durante la realización de las diferentes pruebas en los distintos puntos temporales. Por último, lugar, se necesitan ciertos materiales para las mediciones que deben ser llevadas a cabo en este estudio, como encoders lineales, transductores de fuerza, sistema óptico de detección mediante infrarrojos, y un analizador espectrofotométrico, que son materiales costosos y específicos pero que, sin embargo, a nivel de investigación en Ciencias del Deporte en una universidad considero que no son especialmente difíciles de conseguir.

## **7. Referencias bibliográficas**

- Amdi, C. H., Cleather, D. J., & Tallent, J. (2021). Impact of Training Protocols on Lifting Velocity Recovery in Resistance Trained Males and Females. *Sports*, 9(11), 157.
- Amorim, M. Z., Machado, M., Hackney, A. C., De Oliveira, W., Luz, C. P. N., & Pereira, R. (2014). Sex differences in serum ck activity but not in glomerular filtration rate after resistance exercise: is there a sex dependent renal adaptative response?. *The Journal of Physiological Sciences*, 64(1), 31-36.
- Ansdell, P., Thomas, K., Hicks, K. M., Hunter, S. K., Howatson, G., & Goodall, S. (2020). Physiological sex differences affect the integrative response to exercise: acute and chronic implications. *Experimental physiology*, 105(12), 2007-2021.
- Arent, S. M., Landers, D. M., Matt, K. S., & Etnier, J. L. (2005). Dose-response and mechanistic issues in the resistance training and affect relationship. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 27(1), 92-110.
- Baranauskienė, N., Kilikevičienė, S., Stasiulė, L., Civinskienė, G., & Stasiulis, A. (2017). Gender differences in residual effect of prior drop jumps on oxygen uptake during heavy cycling exercise. *Medicina*, 53(5), 331-338.
- Benini, R., Nunes, P. R. P., Orsatti, C. L., Portari, G. V., & Orsatti, F. L. (2015). Influence of sex on cytokines, heat shock protein and oxidative stress markers in response to an acute total body resistance exercise protocol. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 13(1), 1-7.
- Bigland-Ritchie, B., Jones, D. A., Hosking, G. P., & Edwards, R. H. (1978). Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. *Clinical science and molecular medicine*, 54(6), 609–614. <https://doi.org/10.1042/cs0540609>
- Clark, B. C., Manini, T. M., Thé, D. J., Doldo, N. A., & Ploutz-Snyder, L. L. (2003). Gender differences in skeletal muscle fatigability are related to contraction type and EMG spectral compression. *Journal of Applied Physiology*, 94(6), 2263-2272.
- Cohen, J. (1988). edition 2. Statistical power analysis for the behavioral sciences.
- Davies, R. W., Carson, B. P., & Jakeman, P. M. (2018). Sex differences in the temporal recovery of neuromuscular function following resistance training in resistance trained men and women 18 to 35 years. *Frontiers in Physiology*, 1480.

- Debold, E. P., Beck, S. E., & Warshaw, D. M. (2008). Effect of low pH on single skeletal muscle myosin mechanics and kinetics. *American journal of physiology. Cell physiology*, 295(1), C173–C179. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00172.2008>
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Zheng, N., Barrentine, S. W., Wilk, K. E., & Andrews, J. R. (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(4), 556–569. <https://doi.org/10.1097/00005768-199804000-00014>
- Escamilla R. F. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(1), 127–141. <https://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00020>
- Fonseca, F. S., Costa, B., Ferreira, M., Paes, S., de Lima-Junior, D., Kassiano, W., Cyrino, E. S., Gantois, P., & Fortes, L. S. (2020). Acute effects of equated volume-load resistance training leading to muscular failure versus non-failure on neuromuscular performance. *Journal of exercise science and fitness*, 18(2), 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2020.01.004>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of strength and conditioning research*, 15(1), 109–115.
- Galiano, C., Pareja-Blanco, F., Hidalgo de Mora, J., & Sáez de Villarreal, E. (2022). Low-Velocity Loss Induces Similar Strength Gains to Moderate-Velocity Loss During Resistance Training. *Journal of strength and conditioning research*, 36(2), 340–345. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003487>
- Gantois, P., Nakamura, F. Y., Alcazar, J., de Sousa Fortes, L., Pareja-Blanco, F., & de Souza Fonseca, F. (2021). The effects of different intra-set velocity loss thresholds on lower-limb adaptations to resistance training in young adults: A systematic review and meta-analysis
- González-Badillo, J. J., Marques, M. C., & Sánchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *Journal of human kinetics*, 29A, 15–19. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0053-6>
- González-Badillo, J. J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., ... & Pareja-Blanco, F. (2016). Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. *International journal of sports medicine*, 37(04), 295-304.
- González-Badillo, J. J., Sánchez-Medina, L., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D. (2017a). La velocidad de ejecución como referencia para la

programación, control y evaluación del entrenamiento de fuerza. Ergotech.

González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International journal of sports medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>

González-Badillo, J. J., & Serna, J. R. (2019). Fuerza, velocidad y rendimiento físico y deportivo. Librerías Deportivas Esteban Sanz, SL.

González-Badillo, J. J., Yañez-García, J. M., Mora-Custodio, R., & Rodríguez-Rosell, D. (2017b). Velocity Loss as a Variable for Monitoring Resistance Exercise. *International journal of sports medicine*, 38(3), 217–225. <https://doi.org/10.1055/s-0042-120324>

González-Hernández, J. M., García-Ramos, A., Colomer-Poveda, D., Tvarijonaviciute, A., Cerón, J., Jiménez-Reyes, P., & Márquez, G. (2021). Resistance training to failure vs. not to failure: acute and delayed markers of mechanical, neuromuscular, and biochemical fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(4), 886-893.

Gorostiaga, E. M., Navarro-Amezqueta, I., Calbet, J. A., Hellsten, Y., Cusso, R., Guerrero, M., ... & Izquierdo, M. (2012). Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. *PloS one*, 7(7), e40621.

Gorostiaga, E. M., Navarro-Amézqueta, I., Calbet, J. A., Sánchez-Medina, L., Cusso, R., Guerrero, M., ... & Izquierdo, M. (2014). Blood ammonia and lactate as markers of muscle metabolites during leg press exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(10), 2775-2785.

Gorostiaga, E. M., Navarro-Amezqueta, I., Cusso, R., Hellsten, Y., Calbet, J. A., Guerrero, M., ... & Izquierdo, M. (2010). Anaerobic energy expenditure and mechanical efficiency during exhaustive leg press exercise. *PloS one*, 5(10), e13486.

Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A., & Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in neuroscience*, 11, 612. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00612>

Häkkinen, K. (1993). Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *International journal of sports medicine*, 14(02), 53-59.

Häkkinen, K. (1994). Neuromuscular fatigue in males and females during strenuous heavy resistance loading. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 34(4), 205-214.

- Hunter, S. K. (2016). The relevance of sex differences in performance fatigability. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(11), 2247.
- Jiménez-Reyes, P., Castaño-Zambudio, A., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Hernández, J. M., Capelo-Ramírez, F., Martínez-Aranda, L. M., & González-Badillo, J. J. (2021). Differences between adjusted vs. non-adjusted loads in velocity-based training: consequences for strength training control and programming. *PeerJ*, 9, e10942. <https://doi.org/10.7717/peerj.10942>
- Judge, L. W., & Burke, J. R. (2010). The effect of recovery time on strength performance following a high-intensity bench press workout in males and females. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 5(2).
- Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H. (2019). Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes. *European journal of applied physiology*, 119(9), 1933–1942. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04181-y>
- Laurent, C. M., Green, J. M., Bishop, P. A., Sjøkvist, J., Schumacker, R. E., Richardson, M. T., & Curtner-Smith, M. (2011). A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. *Journal of strength and conditioning research*, 25(3), 620–628. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c69ec6>
- Leppik, J. A., Aughey, R. J., Medved, I., Fairweather, I., Carey, M. F., & McKenna, M. J. (2004). Prolonged exercise to fatigue in humans impairs skeletal muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase activity, sarcoplasmic reticulum Ca<sup>2+</sup> release, and Ca<sup>2+</sup> uptake. *Journal of Applied Physiology*, 97(4), 1414-1423.
- Linnamo, V., Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1997). Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 77(1), 176-181.
- Linnamo, V., Pakarinen, A., Komi, P. V., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2005). Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *Journal of strength and conditioning research*, 19(3), 566.
- Lundsgaard, A. M., & Kiens, B. (2014). Gender differences in skeletal muscle substrate metabolism—molecular mechanisms and insulin sensitivity. *Frontiers in endocrinology*, 5, 195.
- MacIntosh, B. R., & Rassier, D. E. (2002). What is fatigue?. *Canadian journal of applied physiology*, 27(1), 42-55.

- Mann, J. B., Ivey, P. A., & Sayers, S. P. (2015). Velocity-based training in football. *Strength & Conditioning Journal*, 37(6), 52-57.
- Marshall, P. W., Metcalf, E., Hagstrom, A. D., Cross, R., Siegler, J. C., & Enoka, R. M. (2020). Changes in fatigue are the same for trained men and women after resistance exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(1), 196-204.
- Maughan, R. J., Harmon, M., Leiper, J. B., Sale, D., & Delman, A. (1986). Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(4), 395-400.
- McGinnis, P.M. (1999). Biomechanics of sport and exercise. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Morán-Navarro, R., Pérez, C. E., Mora-Rodríguez, R., de la Cruz-Sánchez, E., González-Badillo, J. J., Sánchez-Medina, L., & Pallarés, J. G. (2017). Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. *European journal of applied physiology*, 117(12), 2387-2399.
- Nevin, J. (2019). Autoregulated resistance training: does velocity-based training represent the future?. *Strength & Conditioning Journal*, 41(4), 34-39.
- Olympus and Beckman. (s.f.). Olympus AU400 Chemistry Analyzer. Blockscientific. <https://www.blockscientific.com/olympus-au400-chemistry-analyzer#attr=>
- Optojump. (s.f.). Optojump Next-Aplicaciones. Optojump. <http://www.optojump.com/Aplicaciones.aspx>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Aagaard, P., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., Mora-Custodio, R., Otero-Esquina, C., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2020). Time Course of Recovery from Resistance Exercise With Different Set Configurations. *Journal of strength and conditioning research*, 34(10), 2867–2876. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002756>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., & González-Badillo, J. J. (2019). Time course of recovery from resistance exercise before and after a training program. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(9), 1458–1465. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09334-4>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clinical physiology and functional imaging*, 37(6), 630–639. <https://doi.org/10.1111/cpf.12348>

- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 27(7), 724–735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Párraga-Montilla, J. A., García-Ramos, A., Castaño-Zambudio, A., Capelo-Ramírez, F., González-Hernández, J. M., Cordero-Rodríguez, Y., & Jiménez-Reyes, P. (2020). Acute and delayed effects of a resistance training session leading to muscular failure on mechanical, metabolic, and perceptual responses. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(8), 2220-2226.
- Raastad, T., Bjørro, T., & Hallén, J. (2000). Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *European journal of applied physiology*, 82(1-2), 121–128. <https://doi.org/10.1007/s004210050661>
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Garrido-Blanca, G., Delgado-García, G., Balsalobre-Fernández, C., & García-Ramos, A. (2019). Precision of 7 Commercially Available Devices for Predicting Bench-Press 1-Repetition Maximum From the Individual Load-Velocity Relationship. *International journal of sports physiology and performance*, 14(10), 1442–1446. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0801>
- Rebollar, R., & Palacios, M. (2015). Escalas de Valoración de Dolor.
- Richens, B., & Cleather, D. J. (2014). The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. *Biology of sport*, 31(2), 157–161. <https://doi.org/10.5604/20831862.1099047>
- Riebe, D., Ehrman, J. K., Liguori, G., Magal, M., & American College of Sports Medicine (Eds.). (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Wolters Kluwer.
- Rissanen, J., Walker, S., Pareja-Blanco, F., & Häkkinen, K. (2022). Velocity-based resistance training: do women need greater velocity loss to maximize adaptations?. *European Journal of Applied Physiology*, 1-12.
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J. G., Pérez, C. E., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the



Full Back Squat Exercise. *Sports medicine international open*, 1(2), E80–E88. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>

- Shibata, K., Takizawa, K., Tomabechei, N., Nosaka, K., & Mizuno, M. (2021). Comparison Between Two Volume-Matched Squat Exercises With and Without Momentary Failure for Changes in Hormones, Maximal Voluntary Isometric Contraction Strength, and Perceived Muscle Soreness. *Journal of strength and conditioning research*, 35(11), 3063–3068. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003279>
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Willardson, J. M., Fontana, F., & Tiryaki-Sonmez, G. (2014). Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained men. *European journal of applied physiology*, 114(12), 2491–2497. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2976-9>
- Vasquez, L. M., McBride, J. M., Paul, J. A., Alley, J. R., Carson, L. T., & Goodman, C. L. (2013). Effect of resistance exercise performed to volitional failure on ratings of perceived exertion. *Perceptual and Motor Skills*, 117(3), 881–891.
- Vieira, J. G., Sardeli, A. V., Dias, M. R., Filho, J. E., Campos, Y., Sant'Ana, L., Leitão, L., Reis, V., Wilk, M., Novaes, J., & Vianna, J. (2021). Effects of Resistance Training to Muscle Failure on Acute Fatigue: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 10.1007/s40279-021-01602-x. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01602-x>
- Vøllestad, N. K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of neuroscience methods*, 74(2), 219–227.
- Warren GL, Lowe DA, Armstrong RB. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med* 27: 43–59, 1999.
- Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength & Conditioning Journal*, 43(2), 31–49.
- Wilk, M., Tufano, J. J., & Zajac, A. (2020). The influence of movement tempo on acute neuromuscular, hormonal, and mechanical responses to resistance exercise—a mini review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(8), 2369–2383.
- Wolf, M. R., Fragala, M. S., Volek, J. S., Denegar, C. R., Anderson, J. M., Comstock, B. A., ... & Kraemer, W. J. (2012). Sex differences in creatine kinase after acute heavy resistance exercise on circulating granulocyte estradiol receptors. *European journal of applied physiology*, 112(9), 3335–3340.

## **8. Anexo**

### **Anexo 1:**

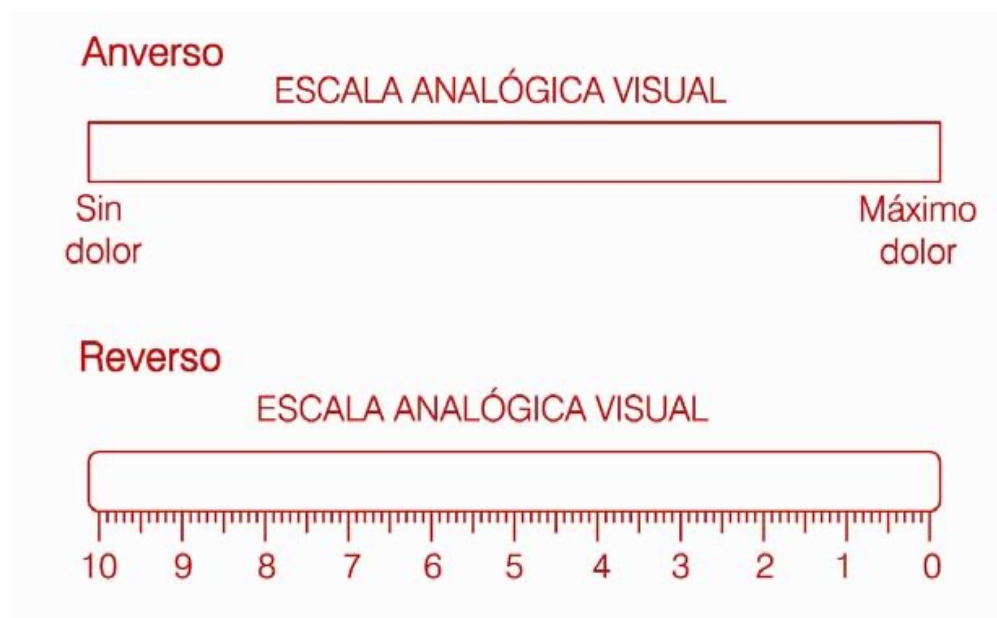
#### *Escala CR-10.*

<b>Rating</b>	<b>Descriptor</b>
0	Rest
1	Very, Very Easy
2	Easy
3	Moderate
4	Somewhat Hard
5	Hard
6	
7	Very Hard
8	
9	
10	Maximal

*Adaptada de Foster et al (2010)*

### **Anexo 2:**

#### *Escala Visual Analógica utilizada para medir las DOMS.*



*Adaptada de Rebollar y Palacios (2015).*

### Anexo 3:

*Escala de recuperación percibida (PRS).*

#### **Perceived Recovery Status Scale**

10	Very well recovered / Highly energetic	}	<u>Expect Improved Performance</u>
9			
8	Well recovered / Somewhat energetic		
7		}	<u>Expect Similar Performance</u>
6	Moderately recovered		
5	Adequately recovered		
4	Somewhat recovered	}	<u>Expect Declined Performance</u>
3			
2	Not well recovered / Somewhat tired		
1		}	
0	Very poorly recovered / Extremely tired		

*Adaptada de Laurent et al (2011).*

### Anexo 4:

*Rutina de entrenamiento suministrada a los participantes. (RIR: repeticiones en reserva).*

Comparación de la recuperación tras 4 protocolos de sentadilla con el mismo volumen de entrenamiento que difieren en la pérdida de velocidad en la serie. Estudio cruzado con subanálisis por sexos

Nº semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>1</b>	Sentadilla profunda (3x7 65% RM) Extensiones cuádriceps (3x10-12 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x12-15 RIR 1-2)			Hip thrust 3x10-12 RIR 2-3 Curl femoral (3x10-12 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x12-15 RIR 1-2)			
<b>2</b>	Sentadilla profunda (3x7 65% RM) Extensiones cuádriceps (3x10-12 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x12-15 RIR 1-2)			Hip thrust 3x10-12 RIR 2-3 Curl femoral (3x10-12 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x12-15 RIR 1-2)			
<b>3</b>	Intervención 1	Post 24h	Post 48h	Post 72h  Hip thrust 3x8-10 RIR 2-3 Curl femoral (3x10-12 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x12-15 RIR 1-2)			
<b>4</b>	Sentadilla profunda (3x5 70% RM) Extensiones cuádriceps (3x8-10 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x10-12 RIR 1-2)			Hip thrust 3x8-10 RIR 2-3 Curl femoral (3x10-12 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x10-12 RIR 1-2)			
<b>5</b>	Sentadilla profunda (3x5 70% RM) Extensiones cuádriceps (3x8-10 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x10-12 RIR 1-2)			Hip thrust 3x8-10 RIR 2-3 Curl femoral (3x8-10 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x10-12 RIR 1-2)			
<b>6</b>	Intervención 2	Post 24h	Post 48h	Post 72h  Hip thrust 3x6-8 RIR 2-3 Curl femoral (3x8-10 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x10-12 RIR 1-2)			
<b>7</b>	Sentadilla profunda (4x5 70% RM) Extensiones cuádriceps (3x8-10 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x10-12 RIR 1-2)			Hip thrust 3x6-8 RIR 2-3 Curl femoral (3x8-10 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x10-12 RIR 1-2)			
<b>8</b>	Sentadilla profunda (4x5 70% RM) Extensiones cuádriceps (3x8-10 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x10-12 RIR 1-2)			Hip thrust 3x6-8 RIR 2-3 Curl femoral (3x8-10 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x8-10° RIR 1-2)			
<b>9</b>	Intervención 3	Post 24h	Post 48h	Post 72h  Hip thrust 3x4-6 RIR 2-3 Curl femoral (3x6-8 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x8-10 RIR 1-2)			
<b>10</b>	Sentadilla profunda (3x5 75% RM) Extensiones cuádriceps (3x6-8 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x8-10 RIR 1-2)			Post 72h  Hip thrust 3x4-6 RIR 2-3 Curl femoral (3x6-8 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x8-10 RIR 1-2)			

Comparación de la recuperación tras 4 protocolos de sentadilla con el mismo volumen de entrenamiento que difieren en la pérdida de velocidad en la serie. Estudio cruzado con subanálisis por sexos



<b>11</b>	Sentadilla profunda (3x5 75% RM) Extensiones cuádriceps (3x6-8 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x8-10 RIR 1-2)			Hip thrust 3x4-6 RIR 2-3 Curl femoral (3x6-8 RIR 2-3) Elevaciones de gemelo (3x8-10 RIR 1-2)			
<b>12</b>	Intervención 4	Post 24h	Post 48h	Post 72h			