

**Aplicación de un programa de
entrenamiento de fuerza basado en la
variabilidad para la optimización de la
ratio de desarrollo de la fuerza**

Ciencias de la Actividad Física Y el Deporte.

Universidad Miguel Hernández de Elche



Cancer Manrique, Adrian

Tutor académico: Rafael Sabido Solana

ÍNDICE

	PÁG.
1. INTRODUCCION.....	3
1.1 EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA	3
1.2 ¿QUE ES RATIO DE DESARROLLO DE LA FUERZA (RFD) Y QUE APLICACIONES TIENE?.....	4
1.3 VARIABLES DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA	5
1.4 JUSTIFICACION Y OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	7
2. METODO.....	7
2.1 PARTICIPANTES	7
2.2 PROCEDIMIENTO.....	8
2.3 MEDIDAS E INSTRUMENTOS	11
2.4 ANALISIS ESTADISTICO.....	12
3. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	13
4. ANEXOS.....	16



RESUMEN

El Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD) es una capacidad neuromuscular determinante tanto para el rendimiento deportivo como para la funcionalidad y salud en poblaciones generales. Sin embargo, la prescripción tradicional del entrenamiento de fuerza suele anclarse en la consistencia de cargas (repeticiones y porcentajes predecibles), estimulando puntos aislados de la curva fuerza-velocidad. Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) investiga el efecto de una manipulación basada en la alta variabilidad de la intensidad (alternando cargas al 30%, 60% y 90% de la 1-RM) frente a protocolos consistentes (60% de la 1-RM) y de baja variabilidad (50%, 60% y 70% de la 1-RM).

A través de una intervención de 8 semanas utilizando el ejercicio de *Belt Squat* monitorizado con dinamometría electromecánica funcional (Myoquality), se busca evaluar si desafiar continuamente la reorganización motora del sistema nervioso central induce mejoras superiores en el RFD, la fuerza máxima y la potencia muscular, analizando además si estas adaptaciones están condicionadas por los niveles basales de variabilidad de los sujetos.

Palabras Clave: Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD); Entrenamiento de fuerza; Variabilidad motora; Dinamometría electromecánica; Adaptaciones neuromusculares.



1. INTRODUCCION

1.1 El entrenamiento de fuerza: Contexto y Aplicaciones

Gracias al auge de la ciencia en el ámbito de la educación física y el deporte, la perspectiva del entrenamiento y más concretamente el entrenamiento de fuerza ha dado un giro radical en los últimos años, posicionándolo como un pilar clave e insustituible del acondicionamiento físico global. Hoy en día, su utilidad ha trascendido con creces la clásica mejora del rendimiento deportivo descrita por los investigadores contemporáneos (Suarez et al., 2019; Schoenfeld et al., 2021). Su papel es crítico no solo para la mejora de la fuerza máxima, sino para la potencia y la economía de movimiento (Suarez et al., 2019; Schoenfeld et al., 2021). Las adaptaciones estructurales y neurales derivadas de este entrenamiento permiten al deportista ser más resiliente ante las demandas de la competición. Actualmente, la comunidad científica y médica le otorga una gran relevancia educativa, social y clínica.

Más allá de la aptitud física general, las estrategias para la mejora de los niveles de fuerza muscular han adquirido un rol terapéutico vital en la atenuación y recuperación ante procesos patológicos severos como; el cáncer mejorando la calidad de vida y reduciendo la fatiga (Moraes et al., 2021), la esclerosis múltiple donde se aprecia una mejora de la función física (Taul-Madsen et al., 2021), enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson (Paolucci et al., 2020) o el Alzheimer (Ansai et al., 2019), donde actúa potenciando la plasticidad neuronal, y la diabetes en la que a nivel metabólico, es clave para el control glucémico en la diabetes tipo 2 (Jansson et al., 2021). De este modo, a nivel de salud pública, el fomento de esta cualidad se ha convertido en una de las mejores estrategias para corregir hábitos no deseados y mitigar enfermedades que, en el siglo XXI, ya han alcanzado el nivel de pandemia, como es el caso de la obesidad (Yang et al., 2022).

Además, el entrenamiento de fuerza se ha comprobado como una herramienta clave para mejorar la calidad de vida de poblaciones concretas como los niños o la población mayor. Por un lado, se ha demostrado que el uso de la variabilidad y retos motrices en estas etapas facilita la diversión y el desarrollo de nuevos patrones de movimiento, lo que resulta clave para fomentar la adherencia a la actividad física a largo plazo y combatir el sedentarismo desde edades tempranas (Pesce et al., 2019; Tomporowski et al., 2015). Por otro lado, si nos fijamos en nuestros mayores, el trabajo de fuerza es la mejor herramienta que tienen para mitigar la sarcopenia y mantener la capacidad funcional (Sakugawa et al., 2019; Grgic et al., 2020). Su importancia radica en la prevención de caídas, las cuales suponen un alto índice de morbilidad y gasto sanitario (Pahor, 2019). En este contexto, la capacidad de generar fuerza de forma rápida es determinante para realizar correcciones posturales ante situaciones de incertidumbre (Liu et al., 2014).

Esta perspectiva amplia confirma que, independientemente del nivel de experiencia o la condición de salud, el entrenamiento de fuerza es un vehículo esencial para la calidad de vida. Sin embargo, para que estos beneficios se transfieran en acciones eficaces en el mundo real, no basta con tener altos niveles de fuerza; es necesario ser capaz de aplicar esa fuerza de manera rápida y precisa ante estímulos inesperados. Este concepto nos lleva directamente a analizar

una de las variables más críticas en la funcionalidad humana: el Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD), que exploraremos en el siguiente punto.

1.2 ¿Que es Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD) y Que Aplicaciones Tiene?

El Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD, por sus siglas en inglés *Rate of Force Development*) se define como la capacidad del sistema neuromuscular para incrementar la fuerza contráctil desde un estado de reposo o nivel bajo en el menor tiempo posible, ejecutando la activación muscular a la máxima velocidad voluntaria (Aagaard et al., 2002). Matemáticamente, representa la pendiente de la curva fuerza-tiempo (Fuerza/Tiempo) durante las fases iniciales de una contracción.

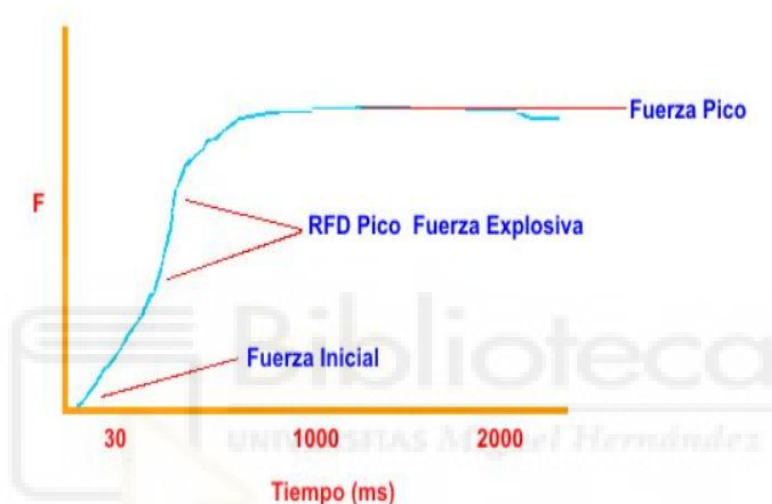


Figura 1. Representación teórica de la curva Fuerza-Tiempo (F-t) durante una contracción muscular máxima. El gráfico ilustra la progresión de la fuerza generada (eje Y) en función del tiempo en milisegundos (eje X). En la curva se identifican tres componentes críticos para la valoración neuromuscular: Fuerza Inicial, RFD Pico y Fuerza Pico.

La justificación fisiológica para priorizar el estudio del RFD se basa en las limitaciones temporales del movimiento humano. Mientras que alcanzar la fuerza máxima isométrica absoluta (MVC) requiere un tiempo de contracción relativamente prolongado (frecuentemente superior a los 300-500 milisegundos) (Maffiuletti et al., 2016), la inmensa mayoría de los gestos deportivos y las acciones rápidas de la vida diaria exigen aplicar fuerza en ventanas temporales sumamente estrechas, que oscilan entre los 50 y los 200 milisegundos (Aagaard et al., 2002; Folland et al., 2014).

A nivel neuromuscular, la literatura científica de referencia, liderada por autores como Maffiuletti et al. (2016) y Aagaard et al. (2002), ha demostrado que el RFD está condicionado por factores distintos a los de la fuerza máxima (Tillin et al., 2010; Maffiuletti et al., 2016). Específicamente, el RFD temprano (los primeros 50–75 ms) depende de manera crítica del impulso nervioso. Este se manifiesta a través de la capacidad del sistema nervioso central para reclutar rápidamente unidades motoras e incrementar drásticamente su frecuencia de descarga (*discharge rate*) en el inicio de la contracción (Del Vecchio et al., 2019).

Aplicaciones en el Ámbito Deportivo

En el deporte de rendimiento, poseer niveles elevados de fuerza máxima carece de utilidad si el atleta no es capaz de manifestarla a gran velocidad (Suchomel et al., 2016). El RFD es el parámetro discriminatorio fundamental en gestos explosivos. Una mayor pendiente en la curva fuerza-tiempo se traduce directamente en una mejora del impulso contráctil. Esto es determinante para optimizar la altura en el salto vertical (como el *Countermovement Jump* o CMJ) (Cormie et al., 2011), la aceleración en sprints cortos, los cambios de dirección abruptos y los movimientos balísticos (Suchomel et al., 2016) característicos de disciplinas como la halterofilia. Optimizar el RFD permite al deportista generar mayores picos de fuerza dentro de la ventana temporal que permite el ciclo estiramiento-acortamiento (CEA).

Importancia Actual y Transferencia a No Deportistas (El día a día)

De manera análoga al deporte, la relevancia del RFD en poblaciones no deportistas, clínicas o de edad avanzada es, si cabe, aún más trascendental, pues está íntimamente ligada a la funcionalidad y la prevención de accidentes.

Un ejemplo es la prevención de caídas en personas mayores. Cuando un individuo tropieza o sufre una perturbación inesperada, el tiempo disponible para generar una respuesta motora que establezca la postura es mínimo. En estas situaciones de alta incertidumbre, la fuerza máxima absoluta del sujeto no es el factor primordial; lo que determina si la persona recupera el equilibrio o impacta contra el suelo es su capacidad de generar fuerza rápida ante correcciones posturales de emergencia (Pijnappels et al., 2008; Liu et al., 2014). La capacidad del sistema nervioso para enviar un impulso rápido que active la musculatura estabilizadora en los primeros 100 milisegundos es vital.

Del mismo modo, en procesos de neurorrehabilitación (por ejemplo, tras un accidente cerebrovascular o en sujetos con debilidad muscular severa), recuperar el RFD temprano es el principal indicador de que se está restaurando la conectividad neural y la plasticidad del sistema (Maffiuletti et al., 2016).

1.3 Variables del entrenamiento de fuerza

Para que el estímulo mecánico se traduzca en una adaptación biológica óptima, es necesario manipular con precisión las variables que configuran la dosis de entrenamiento (Schoenfeld et al., 2021). La interacción de estas directrices determina la magnitud de la carga y la dirección funcional de la respuesta neuromuscular.

En la prescripción del ejercicio interactúan factores fundamentales como el volumen (medida cuantitativa del trabajo), los tiempos de recuperación entre series, el rango de movimiento (ROM) y la velocidad de ejecución de los levantamientos entre otros... (Verkhoshansky y Siff, 2009; Fernández-Valdés et al., 2020). Si bien la correcta modulación de todas ellas es esencial para evitar la fatiga excesiva y generar adaptaciones específicas, el presente trabajo centrará su análisis y desarrollo en la variable que actúa como eje principal de nuestra intervención: la intensidad.

La intensidad, definida habitualmente como el porcentaje de la repetición máxima (% RM) a movilizar, es la variable que determina la magnitud del esfuerzo y el tipo de adaptación motriz (Hernández-Davó & Sabido, 2023).

Tradicionalmente, la mayor parte de las estrategias de prescripción se han centrado en la **consistencia**, indicando repeticiones constantes sin variaciones (por ejemplo, manteniendo

un estímulo fijo al 60% del RM) o utilizando variaciones lineales completamente predecibles. Ciertos métodos avanzados buscan estimular distintas zonas de la curva fuerza-velocidad:

- **Pirámides:** Alteran la carga progresivamente entre series, pero mantienen una intensidad constante intra-serie.
- **Métodos de Contraste y PAPE (Potenciación Post-Activación):** Intercalan cargas pesadas con cargas explosivas ligeras para aprovechar el incremento del rendimiento explosivo posterior tras una contracción máxima. No obstante, estos enfoques suelen limitar el estímulo a dos puntos concretos de la curva.

Alta Variabilidad en la Carga: Atendiendo a un mejor tratamiento de la variabilidad humana para conseguir una mayor implicación neuromuscular en tareas de fuerza (Sabido et al., 2017), este TFG rompe con la constancia tradicional.

Mientras que los protocolos de consistencia y de baja variabilidad manipulan márgenes muy estrechos (oscilando de forma cercana entre el 50%, 60% y 70% del RM), el diseño de Alta Variabilidad exige una continua reorganización motora al abordar aleatoriamente tres puntos muy distanciados de la curva fuerza-velocidad repetición a repetición: el 30% (zona de velocidad), el 60% (zona de potencia) y el 90% (zona de fuerza máxima) del RM.

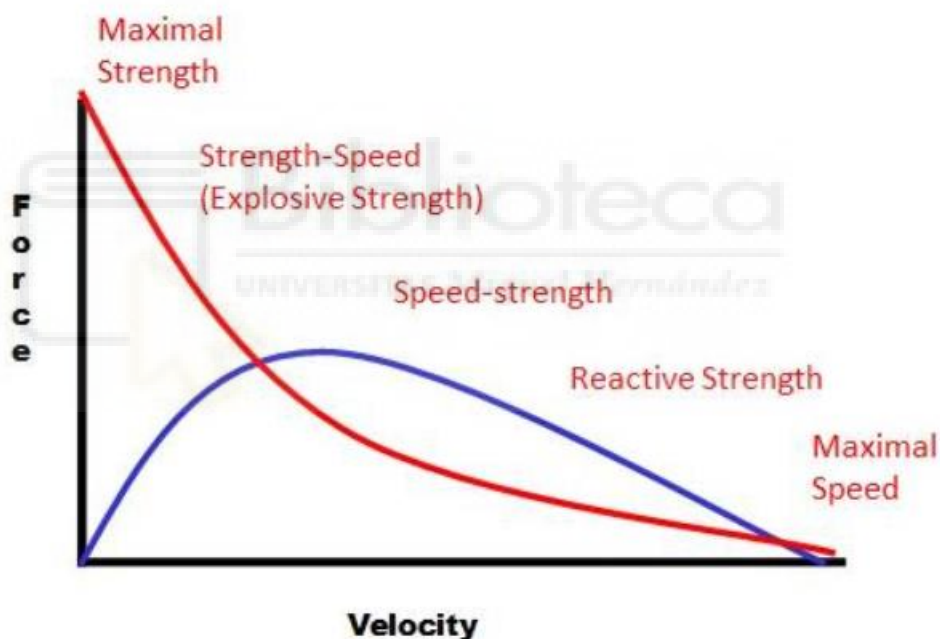


Figura 2. Representación teórica de la relación Fuerza-Velocidad (curva roja) y la curva de Potencia Mecánica (curva azul) durante la contracción muscular. Existe una relación inversa entre la fuerza que un músculo puede ejercer y la velocidad a la que puede acortarse (curva roja). A lo largo de este espectro continuo, se identifican diferentes zonas de manifestación de la fuerza, desde la Fuerza Máxima (alta tensión, velocidad casi nula) hasta la Velocidad Máxima (baja tensión, máxima velocidad de contracción), pasando por zonas intermedias como la fuerza explosiva (Strength-Speed) y la fuerza-velocidad (Speed-Strength). Por su parte, la curva azul representa la Potencia, calculada como el producto de la fuerza por la velocidad. Como se observa, la máxima expresión de potencia (el pico de la parábola) no se da en los extremos, sino en zonas intermedias de carga y velocidad.

1.4 Justificación y Objetivo de Estudio

A pesar de la evidencia científica que sitúa al Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD) como una de las capacidades neuromusculares más determinantes para la funcionalidad humana y el rendimiento deportivo, existe una dicotomía persistente entre la teoría y la práctica. Mientras que la realidad motriz del ser humano se caracteriza por la incertidumbre y la necesidad de resolver tareas de fuerza en situaciones cambiantes donde nunca se repiten dos acciones exactamente iguales (Gonzalo-Skok et al., 2017), la mayor parte de las estrategias de entrenamiento siguen ancladas en modelos de repeticiones constantes y cargas predecibles sin variaciones en función de las condicionantes de la tarea.

Como se ha detallado anteriormente, los métodos tradicionales de entrenamiento, incluyendo enfoques avanzados como los contrastes o la potenciación post-activación (PAPE), suelen limitar su estímulo a uno o dos puntos específicos de la relación fuerza-velocidad. Sin embargo, bajo la perspectiva de los sistemas complejos, la destreza y la optimización del rendimiento motor requieren desafiar la capacidad del aprendiz para la adecuada reorganización de los grados de libertad del sistema para la adaptación a la tarea (Renshaw et al., 2019). En este sentido, existe un vacío significativo en la literatura respecto al efecto que una alta variabilidad intra-sesión en la intensidad de la carga (estimulando simultáneamente tres puntos de la curva: cargas ligeras, medias y altas) puede tener sobre el RFD, ya que la variabilidad al practicar es una herramienta prácticamente inexplorada en este ámbito.

Por todo lo expuesto, el presente Trabajo de Fin de Grado se propone investigar si la aplicación de un programa de entrenamiento basado en la variabilidad motora es capaz de optimizar el RFD de manera superior a los protocolos consistentes tradicionales.

El objetivo principal de este estudio es:

- Evaluar y comparar el efecto de tres protocolos de entrenamiento con diferentes niveles de variabilidad en la intensidad de la carga (**Alta Variabilidad:** 30-60-90% RM; **Baja Variabilidad:** 50-60-70% RM; y **Consistencia:** 60% RM) sobre el Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD).

Para alcanzar este objetivo, se llevará a cabo una intervención de 8 semanas utilizando el ejercicio de *Belt Squat*. Se espera que el grupo sometido a una alta variabilidad inicial obtendrá una mayor capacidad de adaptación neuromuscular, traduciéndose en una mejora significativa de la fuerza rápida.

Teniendo en cuenta que el RFD es una cualidad tan altamente sensible a la coordinación neuromuscular y a la capacidad del sistema para resolver demandas motrices inmediatas, se plantea la necesidad de buscar metodologías que lo estimulen de forma completa. La hipótesis central plantea que someter al sistema nervioso a un entorno de **alta/baja variabilidad en la carga** obligará al organismo a refinar su *neural drive*, generando una adaptación superior en el RFD en comparación con los entrenamientos tradicionales de cargas constantes.

2. METODO

2.1 Participantes:

En la siguiente tabla se pueden ver las características de los participantes.

Tabla 1. Características descriptivas de la muestra(n=31)

CARACTERÍSTICA	MUJERES (n=11)	HOMBRES (n=20)
Edad (años)	26,89 ± 11,34	30,88 ± 13,24
Altura (cm)	171,56 ± 12,91	172,98 ± 8,45
Masa corporal (kg)	73,67 ± 17,69	74,28 ± 16,03

Todas las personas contaban con experiencia en entrenamiento de fuerza durante al menos 1 año de forma constante. A lo largo de la intervención, se registró una pérdida muestral de 5 sujetos (2 mujeres y 3 hombres) debido a motivos ajenos al protocolo experimental, finalizando el estudio un total de 26 participantes. Todos los sujetos fueron informados detalladamente sobre los objetivos y riesgos del estudio, procediendo a la firma del consentimiento informado previo al inicio de las pruebas (ANEXO I).

2.2 Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en 8 semanas. Durante la primera semana (pre-test) realizamos las primeras sesiones destinadas a la evaluación inicial para la obtención directa de los valores de altura, peso, fuerza máxima, potencia, salto y variabilidad. En las siguientes semanas (2ª-7ª semana) se realizó el desarrollo del programa de entrenamiento pautado el cual consistía en ejercicios de tren superior, ejercicios de tren inferior y ejercicios de Core (ANEXO II). Además, durante la Semana 4, se llevó a cabo un test intermedio de control para reajustar las cargas; esta evaluación se integró dentro de la propia dinámica semanal sin interrumpir las sesiones regulares de entrenamiento, lo que permitió optimizar el calendario y acortar efectivamente en una semana la duración total de las pruebas. Por último, durante la semana 8 (post-test) se llevaron a cabo las sesiones orientadas a la evaluación final tras el periodo de intervención para determinar las adaptaciones neuromusculares conseguidas.

Las sesiones de valoración inicial (Pre-test, Semana 1) y final (Post-test, Semana 8) comenzaron con un calentamiento protocolizado, idéntico al utilizado durante los días de entrenamiento. Este calentamiento se compuso de una fase de movilidad articular general, trabajo de activación cardiovascular en bicicleta estática, estiramientos dinámicos y, finalmente, pequeñas acciones de carácter explosivo para preparar el sistema neuromuscular.

Cronograma del Protocolo de Estudio de 8 Semanas

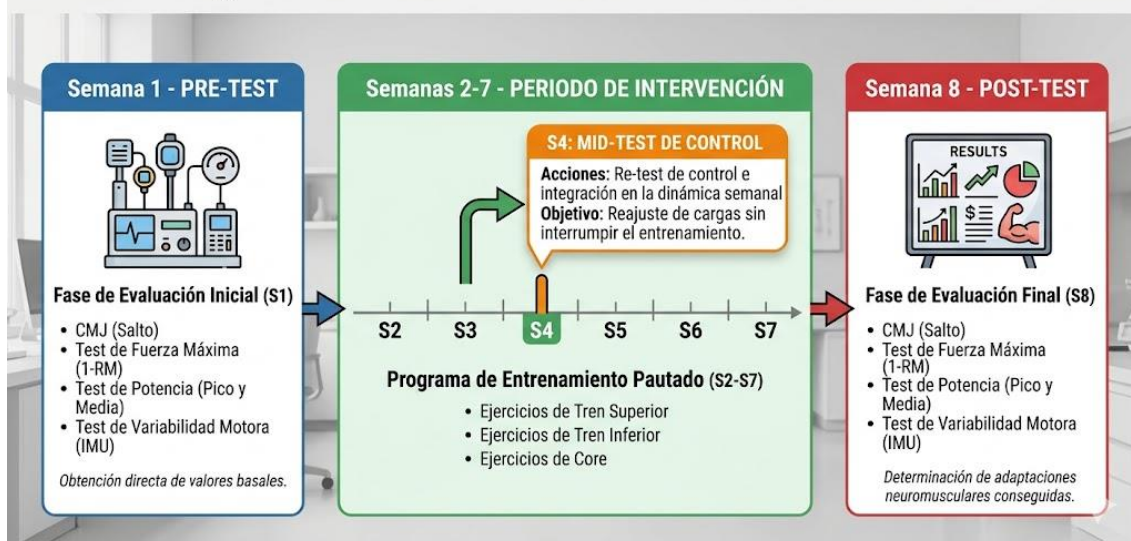


Figura 3. Representación esquemática del cronograma general del estudio y diseño de la intervención a lo largo de 8 semanas. El diagrama ilustra la estructuración temporal del procedimiento experimental, dividido en tres fases principales: Fase de Evaluación Inicial (Semana 1), Periodo de Intervención (Semanas 2-7) y Fase de Evaluación Final (Semana 8).

Tras el calentamiento, el protocolo de evaluación siguió el siguiente orden cronológico:

1. Test de Salto Vertical (CMJ): La primera medición consistió en la evaluación de la potencia de miembros inferiores mediante el *Countermovement Jump* (CMJ). Para su registro, se utilizó una placa de presiones (Chrono Jump), en la cual cada participante ejecutó tres intentos a la máxima intensidad voluntaria. Para el análisis estadístico posterior, se seleccionó y registró únicamente la mejor marca alcanzada. Se estableció un periodo de recuperación pasiva de 30 segundos entre cada intento; este intervalo es óptimo y suficiente según la literatura, ya que la duración de un salto único genera un gasto mínimo de los depósitos de ATP-Fosfocreatina (PCr), permitiendo su rápida resíntesis y asegurando la ausencia de fatiga acumulada entre intentos (Moir et al., 2004; Nibali et al., 2015).

2. Estimación de la 1-RM en Sentadilla: A continuación, se procedió a la estimación indirecta de la repetición máxima (1-RM) en el ejercicio de sentadilla con barra alta. Se aplicó un protocolo de cargas progresivas (series de aproximación), monitorizando continuamente la velocidad de ejecución mediante un encoder lineal. El test se dio por concluido en la serie en la que la velocidad concéntrica media de la carga descendió por debajo del umbral de los 0,68 m/s. Se pautaron rigurosamente 3 minutos de recuperación entre series para garantizar la completa recuperación de los sustratos energéticos (ANEXO III).

3. Evaluación de Potencia en Myoquality: Una vez finalizado el test de sentadilla y estimado el valor de la 1-RM, se estableció un periodo de descanso pasivo de 8 minutos para disipar cualquier fatiga residual. Posteriormente, los sujetos pasaron a la máquina *Myoquality*. Utilizando los datos de la estimación previa, se prescribió a cada sujeto una carga equivalente al 60% de su 1-RM. Los participantes debían realizar 5 repeticiones a la máxima velocidad concéntrica posible, lo que permitió registrar y calcular tanto la potencia pico como la potencia media de la ejecución.

4. Test de Variabilidad Motora: Por último, la sesión de evaluación terminó con el test de variabilidad del movimiento. Para esta prueba, se fijó un sensor inercial (IMU) en la zona

lumbar de los sujetos (aproximadamente L4-L5). El protocolo consistió la realización de una serie continua de 10 repeticiones ajustada al 70% de la 1-RM. La monitorización a través del IMU permitió registrar las fluctuaciones y la variabilidad en la curva de fuerza y cinemática durante un patrón de esfuerzo submáximo continuado (ANEXO III).

Para asegurarnos de que todas las repeticiones de las pruebas de potencia, RM y variabilidad, fueran iguales, colocamos cajones o cuerdas para que el sujeto supiera cuando debía cambiar de la fase excéntrica a la concéntrica. Dicha altura se estableció individualmente cuando el ángulo que forma el fémur y la tibia era de 90°.

Las sesiones de entrenamiento y valoración se concentraron en 3 días a la semana, fijándose específicamente los lunes, miércoles y jueves. Para facilitar la asistencia de la muestra, se establecieron tres franjas horarias de disponibilidad: Turno de mañana (de 09:00 a 12:00 horas), Turno de mediodía (de 12:00 a 14:00 horas) y Turno de tarde (de 17:00 a 20:00 horas).

En cuanto a la dinámica de los grupos experimentales, se dividió a los sujetos dependiendo de su variabilidad motora inicial de tal modo que se crearon 2 grupos: alta variabilidad y baja variabilidad. Una vez separados en dos grupos, cada grupo los volvimos a dividir en 3 grupos quedando un total de 6 grupos totales. Estos 3 últimos se dividieron según el tipo de entrenamiento que iban a llevar a cabo:

- 1) Grupo **de Alta Variabilidad**: Se prescribió el entrenamiento alternando de forma pautada intensidades equivalentes al 30%, 60% y 90% de la Repetición Máxima (RM).
- 2) Grupo **de Baja Variabilidad**: Se determinó una oscilación de cargas más estrecha, trabajando con intensidades del 50%, 60% y 70% de la RM.
- 3) Grupo **de Consistencia**: Se aplicó un estímulo de carga lineal fijado de forma invariable al 60% de la RM.



Figura 4. Esquema del diseño experimental y estratificación de la muestra en función de los niveles basales de variabilidad motora. En una primera fase, la muestra se divide en dos grandes conglomerados atendiendo a su perfil de movimiento inicial: sujetos con alta variabilidad motora y sujetos con baja variabilidad motora. Posteriormente, dentro de cada uno de estos dos perfiles basales, los individuos son asignados a uno de los tres protocolos de entrenamiento de fuerza propuestos: 1 Entrenamiento de Alta Variabilidad: Manipulación de cargas al 30%, 60% y 90% de la 1-RM. 2 Entrenamiento de Baja Variabilidad: Manipulación de cargas al 50%, 60% y 70% de la 1-RM y 3 Entrenamiento de Consistencia: Carga estable fijada al 60% de la 1-RM.

Con el fin de garantizar un control estricto de las variables y evitar que los sujetos llevaran a cabo entrenamientos de acondicionamiento físico paralelos no supervisados, se les prescribió un programa completo de cuerpo entero distribuido a lo largo de los 3 días de intervención semanal. El ejercicio principal de la investigación (**Belt Squat**) se ejecutó el primer y el tercer día de la semana (Día 1 y Día 3), acumulando un total de 10 series semanales específicas.

Para los ejercicios de carácter complementario del programa, se establecieron las siguientes pautas:

- **Tren Inferior:** Excluyendo las series principales de Belt Squat, el resto de los ejercicios destinados al tren inferior se programaron a un volumen de 3 series de 8 repeticiones con una intensidad fijada al 70% de la RM con RIR 4 en la primera serie.
- **Tren Superior:** Todos los ejercicios implicados en la musculatura del tren superior se prescribieron a un volumen de 3 series de 8 repeticiones con una intensidad del 70% de la RM, RIR 4.

2.3 Medidas e Instrumentos

Para la valoración de las capacidades neuromusculares y el control de la carga de entrenamiento durante la intervención, se emplearon los siguientes instrumentos y materiales:

❖ La evaluación de la Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD) y la aplicación del protocolo de entrenamiento de intensidad variable se realizaron empleando el dinamómetro electromecánico funcional **Myoquality M1** (Myoquality Solutions, Granada, España). Está diseñado para la evaluación, el entrenamiento y la monitorización precisa de la fuerza y la calidad muscular. A nivel técnico y metodológico, presenta las siguientes características clave: El núcleo del sistema consiste en un motor eléctrico capaz de traccionar de un cable o cuerda. Esto permite programar la resistencia exacta, haciendo que el sistema ofrezca la oposición requerida en cada grado del movimiento. Una de sus mayores ventajas sobre el peso libre es la capacidad de disociar y controlar independientemente las cargas, el tiempo o las velocidades en la fase concéntrica y excéntrica del movimiento de forma muy precisa. El motor inteligente permite simular múltiples perfiles de resistencia, posibilitando realizar entrenamientos en modo isométrico, dinámico (isotónico e isocinético), elástico, cónico, inercial e incluso vibratorio. El dispositivo cuenta con un software asociado (*Myotrainer*) que proporciona *feedback* instantáneo de alta precisión sobre variables cinemáticas y cinéticas, tales como la fuerza aplicada, la velocidad de ejecución, la potencia (pico y media) y el Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD). Aunque su motor interno tiene una limitación de carga máxima de fábrica (120 kg), el sistema está diseñado para integrarse elementos externos, como bancos, soportes o sistemas de poleas (polipastos). En este estudio fue necesario incorporar un polipasto que permitía realizar los entrenamientos con seguridad puesto que la carga máxima tras su incorporación era de 240 kg. Además del polipasto, se utilizaron bancos para establecer la altura desde donde partía cada sujeto en el ejercicio de la belt squat y se incorporó un rack con el que los sujetos podían sujetarse a una barra olímpica para estabilizarse (ANEXO III).

❖ **Plataforma de contactos (Chronojump, BoscoSystem):** Destinada a la medición de la capacidad de salto vertical mediante el test de *Countermovement Jump* (CMJ). El tapiz de contactos detectó los tiempos de vuelo con una precisión de milisegundos, permitiendo calcular la altura teórica del salto a través del software Chronojump.

❖ **Encoder lineal (Speed4Lifts, Madrid, España):** Se empleó un transductor dinámico lineal de cable (encoder) acoplado a la barra durante el test de sentadilla tradicional. Este instrumento midió el desplazamiento y la velocidad concéntrica media de las cargas en tiempo real, permitiendo determinar con precisión el punto de finalización de las series de aproximación cuando la velocidad descendía por debajo de los 0,68 m/s.

❖ Para cuantificar de manera directa la variabilidad cinemática intra-sujeto, se empleó un sensor inercial o **IMU** (WIMU (Realtrack Systems, Almería, España)). El dispositivo se fijó sólidamente mediante una faja elástica en la región lumbar de los participantes. Este sensor integró acelerómetros y giroscopios triaxiales de alta frecuencia, registrando de forma continua las aceleraciones lineales y velocidades angulares durante las series específicas de 10 repeticiones al 70% de la 1-RM, sirviendo como la métrica principal para examinar las variaciones en las estructuras coordinativas bajo un patrón de esfuerzo submáximo.

❖ **Otros materiales:** Discos, poleas, multi-power, ketelbells , barras olímpicas, bancos, cajones , bicicletas estáticas , gomas , esterillas, bascula...

2.4 Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el software SPSS (versión 25, IBM Statistics, Nueva York, EE. UU.). La normalidad fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se realizó un ANOVA de medidas repetidas con tres momentos de evaluación: test inicial, test intermedio y test final. El nivel de significación fue establecido en $p < .05$. Por último, se calculó el tamaño del efecto mediante el eta cuadrado parcial (η^2_p) obtenido del ANOVA. Según los umbrales convencionales, el tamaño del efecto se interpretó como pequeño cuando $\eta^2_p \approx 0.01$, medio cuando $\eta^2_p \approx 0.06$ y grande cuando $\eta^2_p \approx 0.14$.

3 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Schoenfeld, B. J., Fisher, J. P., Grgic, J., Haun, C. T., Helms, E. R., Phillips, S. M., Steele, J. y Vigotsky, A. D. (2021). Resistance training recommendations to maximize muscle hypertrophy in an athletic population: Position stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*, 1(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v1i1.81>

Suarez, D. G., Wagle, J. P., Cunanan, A. J., Sausaman, R. W. y Stone, M. H. (2019). Dynamic correspondence of resistance training to sport: A brief review. *Strength and Conditioning Journal*, 41(4), 80-88. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000458>

Grgic, J., Garofolini, A., Orazem, J., Sabol, F., Schoenfeld, B. J. y Pedisic, Z. (2020). Effects of resistance training on muscle size and strength in very elderly adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Medicine*, 50(11), 1983-1999. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01331-7>

Sakugawa, R. L., Moura, B. M., Orssatto, L. B. R., Bezerra, E. S., Cadore, E. L. y Diefenthaler, F. (2019). Effects of resistance training, detraining, and retraining on strength and functional capacity in elderly. *Aging Clinical and Experimental Research*, 31(1), 31-39. <https://doi.org/10.1007/s40520-018-0970-5>

Moraes, R. F., Ferreira-Júnior, J. B., Marques, V. A., Vieira, A., Lira, C. A. B., Campos, M. H., Freitas-Junior, R., Rahal, R. M. S., Gentil, P. y Vieira, C. A. (2021). Resistance training, fatigue, quality of life, anxiety in breast cancer survivors. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5), 1350-1356. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003817>

Taul-Madsen, L., Connolly, L., Dennett, R., Freeman, J., Dalgas, U. y Hvid, L. G. (2021). Is aerobic or resistance training the most effective exercise modality for improving lower extremity physical function and perceived fatigue in people with multiple sclerosis? A systematic review and meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(10), 2032-2048. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.03.026>

Paolucci, T., Sbardella, S., La Russa, C., Agostini, F., Mangone, M., Tramontana, L., Bernetti, A., Paoloni, M., Pezzi, L., Bellomo, R. G. y Santilli, V. (2020). Evidence of rehabilitative impact of progressive resistance training (PRT) programs in Parkinson disease: An umbrella review. *Parkinson's Disease*, 2020, Artículo 9748091. <https://doi.org/10.1155/2020/9748091>

Jansson, A. K., Chan, L. X., Lubans, D. R., Duncan, M. J. y Plotnikoff, R. C. (2022). Effect of resistance training on HbA1c in adults with type 2 diabetes mellitus and the moderating effect of changes in muscular strength: A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Diabetes Research & Care*, 10(2), Artículo e002595. <https://doi.org/10.1136/bmjdr-2021-002595>

Yang, J. M., Ye, H., Zhu, Q., Zhang, J. H., Liu, Q. Q., Xie, H. Y., Long, Y., Huang, H., Niu, Y. L. y Luo, Y. (2022). Effects of resistance training on body composition and physical function in elderly patients with osteosarcopenic obesity: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Osteoporosis*, 17(1), Artículo 82. <https://doi.org/10.1007/s11657-022-01120-x>

Schoenfeld, B. J., Fisher, J. P., Grgic, J., Haun, C. T., Helms, E. R., Phillips, S. M., Steele, J. y Vigotsky, A. D. (2021). Resistance training recommendations to maximize muscle hypertrophy in an athletic population: Position stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*, 1(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v1i1.81>

Suarez, D. G., Wagle, J. P., Cunanan, A. J., Sausaman, R. W. y Stone, M. H. (2019). Dynamic correspondence of resistance training to sport: A brief review. *Strength and Conditioning Journal*, 41(4), 80-88. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000458>

Pesce, C., Croce, R., Ben-Soussan, T. D., Vazou, S., McCullick, B., Tomporowski, P. D. y Horvat, M. (2019). Variability of practice as an interface between motor and cognitive development promotion. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17(2), 133-152. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2016.1223421>

Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M. y Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003>

Grgic, J., Garofolini, A., Orazem, J., Sabol, F., Schoenfeld, B. J. y Pedisic, Z. (2020). Effects of resistance training on muscle size and strength in very elderly adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Medicine*, 50(11), 1983-1999. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01331-7>

Sakugawa, R. L., Moura, B. M., Orssatto, L. B. R., Bezerra, E. S., Cadore, E. L. y Diefenthaler, F. (2019). Effects of resistance training, detraining, and retraining on strength and functional capacity in elderly. *Aging Clinical and Experimental Research*, 31(1), 31-39. <https://doi.org/10.1007/s40520-018-0970-5>

Pahor, M. (2019). Falls in older adults: Prevention, mortality, and costs. *JAMA*, 321(21), 2080-2081. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.6569>

Liu, C. J., Shiroy, D. M., Jones, L. Y. y Clark, D. O. (2014). Systematic review of functional training on muscle strength, physical functioning, and activities of daily living in older adults. *European Review of Aging and Physical Activity*, 11(2), 95-106. <https://doi.org/10.1007/s11556-014-0144-1>

Ansai, J. H., Andrade, L. P., Masse, F. A. A., Gonçalves, J., Takahashi, A. C. M., Vale, F. A. C. y Rebelatto, J. R. (2019). Risk factors for falls in older adults with mild cognitive impairment and mild Alzheimer disease. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 42(3), E116-E121. <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000135>

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. y Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318-1326. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00283.2002>

Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N. y Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091-1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>

Folland, J. P., Buckthorpe, M. W. y Hannah, R. (2014). Human capacity for explosive force production: Neural and contractile determinants. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(6), 894-906. <https://doi.org/10.1111/sms.12131>

Tillin, N. A., Jiménez-Reyes, P., Pain, M. T. G. y Folland, J. P. (2010). Neuromuscular performance of explosive power athletes versus untrained individuals. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(4), 781-790. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181be9c7e>

Del Vecchio, A., Negro, F., Holobar, A., Casolo, A., Folland, J. P., Felici, F. y Farina, D. (2019). You are as fast as your motor neurons: speed of recruitment and maximal discharge of motor neurons determine the maximal rate of force development in humans. *The Journal of Physiology*, 597(9), 2445-2456. <https://doi.org/10.1113/JP277396>

Del Vecchio, A., Casolo, A., Negro, F., Scorcelletti, M., Bazzucchi, I., Enoka, R. M., Felici, F. y Farina, D. (2019). The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *The Journal of Physiology*, 597(7), 1873-1887. <https://doi.org/10.1113/JP277250>

Suchomel, T. J., Nimphius, S. y Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419-1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>

Cormie, P., McGuigan, M. R. y Nosaka, K. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1—Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine*, 41(1), 17-38. <https://doi.org/10.2165/11537650-000000000-00000>

Liu, C. J., Shiroy, D. M., Jones, L. Y. y Clark, D. O. (2014). Systematic review of functional training on muscle strength, physical functioning, and activities of daily living in older adults. *European Review of Aging and Physical Activity*, 11(2), 95-106. <https://doi.org/10.1007/s11556-014-0144-1>

Pijnappels, M., van der Burg, P. J., Reeves, N. D. y van Dieën, J. H. (2008). Identification of elderly fallers by muscle strength measures. *European Journal of Applied Physiology*, 102(5), 585-592. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0613-6>

Schoenfeld, B. J., Fisher, J. P., Grgic, J., Haun, C. T., Helms, E. R., Phillips, S. M., Steele, J. y Vigotsky, A. D. (2021). Resistance training recommendations to maximize muscle hypertrophy in an athletic population: Position stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*, 1(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v1i1.81>

Fernández-Valdés, B., Sampaio, J., Exel, J., González, J., Tous-Fajardo, J., Jones, B. y Moras, G. (2020). The influence of functional flywheel resistance training on movement variability and movement velocity in elite rugby players. *Frontiers in Psychology*, 11, Artículo 1205. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01205>

Hernández-Davó, J. L. y Sabido, R. (2023). The effect of three different resistance training programming approaches on strength gains and jumping performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 94(1), 180-185. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1950903>

Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., Botella, J., Navarro, A. y Tous-Fajardo, J. (2017). Effects of adding a weekly eccentric-overload training session on strength and athletic performance in team-handball players. *European Journal of Sport Science*, 17(5), 530-538. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1282046>

Gonzalo-Skok, O., Tous-Fajardo, J., Valero-Campo, C., Berzosa, C., Bataller, A. V., Arjol-Serrano, J. L., Moras, G. y Mendez-Villanueva, A. (2017). Eccentric-overload training in team-sport functional performance: Constant bilateral vertical versus variable unilateral multidirectional movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 951-958. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0251>

Renshaw, I., Davids, K., Newcombe, D. y Roberts, W. (2019). *The constraints-led approach: Principles for sports coaching and practice design*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315102351>

Moir, G., Button, C., Glaister, M., & Stone, M. H. (2004). Influence of familiarization on the reliability of vertical jump and acceleration sprinting performance in physically active men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(2), 276-280. <https://doi.org/10.1519/R-13093.1>

Nibali, M. L., Tombleson, T., Brady, P. H., & Wagner, P. (2015). Influence of familiarization and competitive level on the reliability of countermovement vertical jump kinetic and kinematic variables. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(10), 2827-2835. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000964>

4 ANEXOS

- *ANEXO I: CONSENTIMIENTO INFORMADO*

Información para el participante – Hoja de consentimiento informado

Nos dirigimos a usted para solicitar su consentimiento para participar en un proyecto de investigación.

Si decide participar en este estudio debe saber que lo hace voluntariamente y que podrá, así mismo, abandonarlo en cualquier momento. En el caso en que decida suspender su participación, ello no va a suponer ningún tipo de penalización.

El proyecto se llevará a cabo en el Centro de Investigación del Deporte (CID) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), a cargo del grupo de investigación de Aprendizaje y Control motor.

¿Cuál es el objetivo del estudio?

El objetivo del estudio es:

- Analizar la influencia de la variabilidad de la carga en tareas de alta demanda de fuerza.
- Conocer la relación con la variabilidad como identificador de la capacidad de adaptación al entrenamiento de fuerza.

¿Cómo se va a realizar el estudio?

El estudio consistirá en 8 semanas, 2 de test y 6 de entrenamiento de fuerza donde se realizará un trabajo de tren superior, tren inferior, trabajo de movilidad y de core. Además de un seguimiento de los niveles de fuerza durante las semanas de entrenamiento. Este entrenamiento se realizará los lunes, martes y jueves en la sala de registro del CID.

¿Qué beneficios puedo obtener por participar en el estudio?

Los beneficios son muchos debido a las ventajas que tiene el entrenamiento de fuerza. Estos beneficios son: fisiológicos (mejora de la tensión arterial, prevención de enfermedades cardíacas y metabólicas, etc), mecánicas (aumento de los niveles de fuerza) y psicológicas (mejora de la autoestima, reducción del estrés, etc)

¿Qué riesgos puedo sufrir por participar en el estudio?

No hay riesgos asociados por realizar entrenamiento de fuerza cuando son pautados por profesionales del ámbito. Siguiendo las pautas de los encargados de dirigir los entrenamientos y siguiendo las normas de seguridad con el material, no ocurrirá ningún problema ni lesiones.

Contacto en caso de duda

Si precisa más información sobre el estudio contactar con d.cerdan@umh.es

Consentimiento informado

Título del estudio: Estudio de la relación de la variabilidad de la carga y el nivel de adaptación en tareas de alta demanda de fuerza.

Investigador principal, grupo de investigación, centro: Rafael Sabido Solana y Carla Caballero, grupo de Control y Aprendizaje Motor, Centro de Investigación del Deporte (CID).

Nombre y apellidos del participante: _____

DNI: _____

1. Como participante, consiente el almacenamiento y uso de datos asociados para futuras investigaciones. Consiente ser contactado en caso de necesitar más información.
2. He sido informado y comprendo el contenido de la siguiente hoja de información, lo que acredito con mi firma en prueba de mi consentimiento en todo lo que en ella se contiene.
3. En tiendo que mi participación es voluntaria y gratuita y comprendo que puedo solicitar la revocación de este consentimiento en cualquier momento sin tener que ofrecer explicaciones.

Teléfono de contacto y/o email: _____

Edad: _____ **Peso:** _____ **Altura:** _____

Sexo: _____ **Fecha nacimiento:** _____

Fecha: _____ **Firma del participante:** _____

- ANEXO II: PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO

DÍA 1	
Belt Squat	5 series
Extensión de tobillo	3 series
Remo con barra	3 series
Press militar barra/ Push press	3 series
Remo con mancuerna	3 series
Plancha abdominal	3 series
Día 2	
Dominadas/Remo TRX	3 series
Press de banca	3 series
Elevaciones laterales	3 series
Fondos de tríceps en banco	3 series
Curl con mancuernas/TRX	3 series
Farmer carry	3 series
Día 3	
Belt Squat	5 series
Extensión de tobillo	3 series
Press inclinado	3 series
Remo en banco	3 series
Flexiones/Press	3 series
Crunch abdominal	3 series

- ANEXO III: IMÁGENES DEL ESTUDIO (Maquina Myoquality, Test 1 RM y Test de variabilidad Motora)

