



Universidad
Europea CANARIAS

APLICACIÓN DE UN MODELO GEOMÉTRICO DE CAMPO PARA CONTROLAR LA CARGA EXTERNA EN UNA INTERVENCIÓN CON RESISTENCIA ELÁSTICA EN TENISTAS JUVENILES

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
Facultad de Ciencias de la Salud
Universidad Europea de Canarias
Curso académico: 2025-2026

MODALIDAD DE TRABAJO

Diseño Estudio

AUTORES

Alejandra Victoria Delgado Vera
Adrián Rosales Darias

TUTOR/A

Kevin Cruz Betancort

Junio de 2026
Villa de La Orotava, Santa Cruz de Tenerife

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad Europea de Canarias por ofrecernos una formación de calidad y un entorno académico que ha favorecido nuestro desarrollo profesional, así como por el apoyo recibido durante toda la etapa formativa y, especialmente, por la disponibilidad de sus instalaciones para la realización de este trabajo.

A nuestro tutor del Trabajo de Fin de Titulación, Kevin Cruz, por su orientación constante, implicación y experiencia, cuya ayuda ha sido fundamental en cada fase del proyecto y clave en nuestro crecimiento académico.

También queremos agradecer a todo el profesorado que ha formado parte de nuestro proceso de aprendizaje, por las enseñanzas impartidas y por su apoyo continuo en nuestra preparación como futuros profesionales.

Por último, a nuestras familias y amigos, por su apoyo incondicional, sus consejos y su motivación permanente, que han sido esenciales para nuestro desarrollo personal y académico, ayudándonos a mejorar y a seguir avanzando día a día.

ÍNDICE

1. Resumen y Abstract.	10
2. Introducción.	12
3. Justificación.	14
3.1. Demandas fisiológicas y biomecánicas del COD en el tenis.	17
3.2. Determinantes condicionales del COD en el tenis.	19
3.3. Influencia de la técnica de desplazamiento en la eficiencia del COD.....	22
3.4. Métodos de entrenamiento para la mejora del COD.	24
3.5. El uso de la resistencia variable.....	26
4. Hipótesis y objetivos del estudio.....	32
5. Metodología.	33
5.1. Test de evaluación.....	34
5.1.1. Test de CMJ	35
5.1.2. Test de DJ	35
5.1.3. Test de velocidad: 5, 10 y 20 m.....	35
5.1.4. Spider drill test.....	35
5.1.5. T – test.....	36
5.1.6. HIT & turn tennis test.....	36
5.1.7. Test de RCA tennis	36
5.2 Diseño.	37
5.3. Muestra y formación de grupos.	38
5.4 Variables y material de medida.	39
5.5. Intervención o procedimiento.	44
5.6. Variables. Frecuencia y tiempo de toma de datos.....	46
5.7 Análisis de datos.....	47
6. Viabilidad del estudio.....	49
7. Conclusiones.....	52

8. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	54
9. Referencias bibliográficas.....	56
10. Anexos.....	63
Anexo 1: Explicación Gráfica del Modelo Geométrico.....	63
Anexo 2: Consentimiento informado para la participación de menores en un estudio de investigación y la hoja de información para los sujetos.....	64
Anexo 3: Protocolo de los Test de Evaluación	65
Anexo 4: Características antropométricas de los GE	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de participación	46
Figura 2 Representación esquemática del procedimiento del estudio	47
Figura 3 Explica con gráfica del modelo geométrico	63
Figura 4 Aplicación del modelo geométrico en la salida lateral.....	63
Figura 5 Aplicación del modelo geométrico en el lunge.....	64
Figura 6 Protocolo del test CMJ.....	65
Figura 7 Protocolo del test DJ.....	65
Figura 8 Protocolo del test de velocidad de 5, 10 y 20 m.	66
Figura 9 Protocolo del Spider Drill Test.....	66
Figura 10 Protocolo del T-test.....	67
Figura 11 Protocolo del Hit & Turn Tennis Test	68
Figura 12 Protocolo del test de RCA tennis	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características Antropométricas De los Participantes.....	69
---	----

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- ABK: *Abalakov Jump* o Salto Abalakov
- CM: Centro de masas
- CMJ: *Countermovement Jump* o Salto con Contra-movimiento
- COD: *Change of direction* o cambio de dirección
- DE: Desviación Estándar
- DJ: *Drop Jump* o Salto desde Caída
- Fh: Fuerza Horizontal
- GC: Grupo Control
- GE: Grupos Experimentales
- GRF: *Ground reaction forces* o Fuerzas de reacción del suelo
- HTTT: *Hit & Turn Tennis Test* o Test de Tenis “Golpear y Girar”
- INT: *Integrative Neuromuscular Training* o entrenamiento neuromuscular integrado
- ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
- PHV: *Peak Height Velocity* o Pico de Velocidad de Crecimiento
- RCA: *Repeate change of direction ability* o Cambios de Dirección Repetidos
- RFD: *Rate of force development* o tasa de desarrollo de fuerza
- RM: Repeticiones máximas
- RPE: *Rating of Perceived Exertion* o Percepción del esfuerzo
- RSI: *Reactive Strenght Index* o Índice de fuerza reactiva
- SSC: *Stretch-Shortening Cycle* o Ciclo estiramiento acortamiento
- STEB: *Strenght Trainig with Elastic Bands* o Entrenamiento de fuerza con bandas elásticas.

1. Resumen y Abstract.

El tenis de competición en etapas formativas se caracteriza por una elevada exigencia neuromuscular, donde la potencia y la agilidad en los cambios de dirección (*change of direction*, COD) son determinantes para el rendimiento. No obstante, la saturación del calendario juvenil limita la inclusión de programas de fuerza convencionales, posicionando a las bandas elásticas como una alternativa versátil pero históricamente cuestionada por su falta de precisión metodológica. El presente trabajo aborda esta problemática científica crítica mediante el análisis de una intervención neuromuscular sobre la agilidad y la potencia en 60 tenistas juveniles, evaluados a través de un ensayo controlado aleatorizado de ocho semanas.

El núcleo innovador de este estudio reside en la superación de la problemática histórica de la cuantificación de la carga elástica, tradicionalmente supeditada a criterios subjetivos como el color de la banda o la percepción del esfuerzo (*Rating of Perceived Exertion*, RPE), los cuales carecen de validez en el alto rendimiento debido a la fatiga del material y la variabilidad mecánica. Para resolver esta limitación, se implementó un modelo geométrico que transforma la resistencia variable en una carga objetiva y reproducible. Este modelo permite individualizar la fuerza horizontal (Fh) efectiva basándose en la altura del trocánter mayor de cada tenista y en ecuaciones de regresión polinómica, asegurando que los grupos experimentales (GE) entrenen a intensidades reales de carga baja (10-20% BW) y alta (30-40% BW).

La metodología incluyó evaluaciones pre y post-intervención mediante tecnología de alta resolución (1000 Hz), analizando variables de potencia vertical como el *drop jump* (DJ) y *countermovement jump* (CMJ), velocidad lineal y agilidad específica (*Spider Test*, *T-Test*). Se concluye que el uso del modelo geométrico no solo optimiza las adaptaciones neuromusculares al permitir una sobrecarga progresiva rigurosa, sino que también garantiza la seguridad y replicabilidad de los protocolos en poblaciones jóvenes. Esta investigación se posiciona como una propuesta pionera que dota de rigor científico al entrenamiento con elásticos, ofreciendo una solución eficiente para el desarrollo integral del tenista en formación.

Palabras clave: Tenis juvenil, cambio de dirección, modelo geométrico, bandas elásticas, cuantificación de la carga.

Competitive youth tennis is defined by high neuromuscular demands, where power and agility in COD actions are critical for performance. However, the saturation of junior competitive calendars limits the inclusion of conventional strength programs, positioning elastic bands as a versatile but historically questioned alternative due to their lack of methodological precision. This study addresses this critical scientific gap by analyzing a neuromuscular intervention on agility and power in 60 youth tennis players, evaluated through an eight-week randomized controlled trial.

The innovative core of this research lies in overcoming the historical problem of elastic load quantification, traditionally dependent on subjective criteria such as band color or rate of perceived exertion (RPE), which lack validity in high-performance contexts due to material fatigue and mechanical variability. To resolve this limitation, a geometric prescription model was implemented, transforming variable resistance into an objective and reproducible load. This model allows for the individualization of effective horizontal force based on each player's trochanteric height and polynomial regression equations, ensuring that experimental groups train at real intensities of low (10-20% BW) and high (30-40% BW) loads.

The methodology included pre- and post-intervention evaluations using high-resolution technology (1000 Hz), analyzing vertical power variables (CMJ, DJ), linear speed, and specific agility (Spider Test, T-Test). It is concluded that the use of the geometric model not only optimizes neuromuscular adaptations by allowing for rigorous progressive overload but also guarantees the safety and replicability of protocols in youth populations. This research stands as a pioneering proposal that provides scientific rigor to elastic resistance training, offering an efficient solution for the integral development of the developing tennis player.

Keywords: Youth tennis, change of direction, geometric model, elastic bands, load quantification.

2. Introducción.

El tenis se define como un deporte intermitente caracterizado por acciones explosivas de corta duración y alta intensidad, donde los jugadores deben ejecutar frecuentes aceleraciones, desaceleraciones y cambios rápidos de dirección para alcanzar un posicionamiento óptimo de golpeo (Fernández-Fernández et al., 2014). Durante los puntos, la mayoría de los desplazamientos se producen en distancias cortas y en múltiples direcciones, lo que convierte a la agilidad y a la capacidad de COD en factores determinantes del rendimiento físico (Kovacs, 2007; Fernández-Fernández et al., 2014).

Desde una perspectiva biomecánica y neuromuscular, el rendimiento en estas acciones depende de la interacción de diversas cualidades físicas, entre las que destacan la fuerza máxima, la potencia del tren inferior, la fuerza excéntrica, la fuerza reactiva y la tasa de desarrollo de la fuerza (*rate of force development*, RFD) (Suchomel et al., 2016; Dos'Santos et al., 2018). Estas capacidades permiten generar y absorber grandes magnitudes de fuerza en intervalos temporales muy reducidos, resultando esenciales para ejecutar desaceleraciones rápidas y transiciones eficientes hacia nuevas direcciones de desplazamiento (Suchomel et al., 2016). En particular, la fuerza excéntrica desempeña un papel fundamental durante la fase de frenado o *braking phase*, ya que permite absorber la energía cinética generada durante la aproximación y facilitar una re-aceleración eficaz (Nimphius et al., 2016).

En el contexto del desarrollo deportivo juvenil, el entrenamiento neuromuscular ha adquirido una gran relevancia como estrategia para mejorar las capacidades físicas en deportes de alta demanda coordinativa. Este enfoque integra ejercicios de fuerza, estabilidad, coordinación y control motor, favoreciendo adaptaciones que contribuyen tanto al rendimiento como a la prevención de lesiones en deportistas jóvenes (Lloyd et al., 2015). En el ámbito específico del tenis, se ha demostrado que programas de entrenamiento neuromuscular integrativo (*integrative neuromuscular training*, INT) pueden mejorar variables clave como la velocidad de sprint, la potencia del tren inferior y el rendimiento en COD en jugadores de etapas formativas (Wang et al., 2022).

Por otro lado, la saturación del calendario competitivo en el tenis juvenil obliga a explorar metodologías de intervención más eficientes en la estructura de la sesión habitual, capaces de mantener o mejorar los niveles de fuerza y potencia con un mínimo coste metabólico (Spiering et al., 2021; Steele et al., 2023). Finalmente, considerando que el tenis es un deporte acíclico, la agilidad no depende solo de la capacidad física, sino también de procesos perceptivo-cognitivos relacionados con la toma de decisiones (Sheppard & Young, 2006). Por tanto, la implementación de estos entrenamientos neuromusculares representa una oportunidad clave para el desarrollo integral del tenista juvenil en situaciones de juego reales.

Ante la necesidad de optimizar las adaptaciones neuromusculares bajo las restricciones de un calendario competitivo exigente, este estudio propone la implementación de un modelo geométrico para el entrenamiento con resistencia elástica. Según Martín (*in press*), dicho modelo contribuye a solucionar la problemática histórica de la cuantificación de la carga en este tipo de materiales, tradicionalmente basada en estimaciones subjetivas.

Mediante el uso de ecuaciones de regresión polinómica y la integración de variables antropométricas como la altura del trocánter mayor, este enfoque posibilita una prescripción objetiva y personalizada de la fuerza horizontal (Fh) efectiva (Martín, *in press*). De este modo, se estima una cuantificación rigurosa y reproducible del estímulo neuromuscular, permitiendo ajustar con mayor precisión la sobrecarga progresiva y maximizar así la eficiencia en acciones determinantes para el rendimiento, como son los COD en el tenista juvenil.

3. Justificación.

Este estudio pretende aportar nueva información al campo del entrenamiento deportivo aplicado al tenis en etapas de formación, ya que, aunque el COD ha sido ampliamente estudiado en diferentes deportes, todavía existe la necesidad de profundizar en la comprensión de sus fundamentos biomecánicos y en cómo determinados estímulos de entrenamiento pueden optimizar su rendimiento en jóvenes deportistas. Desde una perspectiva mecánica, el COD implica una interacción compleja entre diferentes fases del movimiento: el frenado excéntrico, la transición y reorientación del vector de fuerza, y la re-aceleración concéntrica (Dos'Santos et al., 2018). La eficiencia en estas fases depende en gran medida de la capacidad del deportista para generar altos niveles de fuerza excéntrica en tiempos reducidos, optimizar el ciclo estiramiento-acortamiento (*Stretch-Shortening Cycle*, SSC) y mantener un adecuado control intersegmentario, factores que influyen directamente en la calidad del movimiento y en la capacidad de ejecutar COD de forma eficiente en situaciones de juego (Perniola et al., 2025).

Además, el estudio realizado por Perniola et al. (2025) sugiere que la capacidad de desaceleración desempeña un papel determinante en el rendimiento durante el COD, incluso por encima de la velocidad lineal en determinadas situaciones, especialmente en acciones que implican ángulos superiores a 45°. De esta manera, también se indica que durante la fase de frenado se genera un elevado impulso de frenado (*braking impulse*) a través de la acción excéntrica de los principales grupos musculares del tren inferior, especialmente cuádriceps, glúteos e isquiotibiales. Este impulso permite reducir la velocidad horizontal antes del apoyo final y facilita la posterior reorientación del centro de masas (CM) hacia la nueva dirección de desplazamiento. Cuando la capacidad excéntrica es insuficiente, se incrementa el tiempo de contacto con el suelo, disminuye la eficiencia del SSC y se compromete la transición hacia la fase propulsiva, lo que afecta negativamente al rendimiento en el COD (Perniola et al., 2025).

En el caso de los jóvenes deportistas, Fernández-Fernández et al. (2023) destacan que el análisis del COD adquiere una relevancia crítica debido a los cambios antropométricos asociados al crecimiento y desarrollo biológico. Según los autores, durante estas etapas madurativas se producen modificaciones

significativas en variables como la masa corporal, el momento de inercia y la ubicación del CM, factores que pueden alterar temporalmente la coordinación intersegmentaria y la eficiencia mecánica del movimiento. Asimismo, la citada investigación subraya que estas variaciones pueden influir en la capacidad de desaceleración, en el control corporal en la fase de transición y en la posterior re-aceleración, evidenciando la necesidad de comprender cómo este complejo proceso biológico condiciona el rendimiento en el COD en poblaciones jóvenes.

Del mismo modo, la evidencia científica respalda el papel del entrenamiento neuromuscular como una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento en el COD y la agilidad en jóvenes tenistas (Wang et al. 2022). Además, también analizaron los efectos de un programa de INT de ocho semanas en niños de entre 7 y 8 años, observando mejoras significativas tanto en el rendimiento del sprint de 10 metros como en pruebas específicas de COD. Estas mejoras se relacionaron con incrementos en la fuerza explosiva del tren inferior y con una optimización del control neuromuscular, lo que sugiere que el rendimiento en COD depende no solo de la cantidad de desplazamiento realizado, sino también de la calidad mecánica y neuromuscular del estímulo de entrenamiento (Wang et al., 2022).

Por último, la especificidad del estímulo de entrenamiento también desempeña un papel relevante en las adaptaciones obtenidas en el rendimiento en COD y agilidad. Zhou et al. (2024) compararon los efectos de sprints multidireccionales con trayectorias fijas frente a trayectorias aleatorias durante un periodo de tres semanas, observando mejoras en el rendimiento en COD en ambos grupos, aunque el grupo que entrenó con trayectorias impredecibles presentó mayores mejoras en la agilidad reactiva. Estos resultados sugieren que la incorporación de componentes perceptivo-cognitivos puede aumentar la transferencia del entrenamiento al contexto competitivo. En la misma línea, Zhou et al. (2025) observaron mejoras significativas en la agilidad tras la aplicación de un programa de entrenamiento con SpeedCourt en mujeres tenistas, encontrando además una correlación moderada entre estas mejoras y la potencia unilateral de la pierna dominante, lo que refuerza la importancia de integrar estímulos neuromusculares específicos en el entrenamiento del COD (Zhou et al., 2024; Zhou et al., 2025).

Cabe destacar que el uso de bandas elásticas como herramienta de entrenamiento y evaluación presenta limitaciones metodológicas relevantes cuando se pretende obtener datos fiables y comparables entre deportistas. En este sentido, Andersen et al. (2010) señalan que, a pesar de su bajo coste y versatilidad, su comportamiento mecánico no es constante, lo que introduce una fuente potencial de error en la medición del rendimiento, ya que la resistencia ofrecida puede variar en función de múltiples factores que comprometen la precisión en contextos de evaluación del rendimiento físico.

La pérdida progresiva de las propiedades del material constituye uno de los principales problemas asociados al uso de bandas elásticas, ya que tal y como describen Uchida et al. (2016), los procesos repetidos de elongación generan microdeformaciones en sus fibras internas, lo que provoca una disminución de la resistencia con el paso del tiempo. Según estos autores, a igualdad de elongación, la tensión aplicada no se mantiene constante tras múltiples usos, afectando directamente a la reproducibilidad de las mediciones en contextos de entrenamiento.

Las propiedades mecánicas de las bandas elásticas también pueden verse alteradas por la inactividad prolongada y por factores ambientales. En esta línea, Thomas et al. (2017) explican que la exposición a la luz, los cambios de temperatura o los procesos de oxidación pueden degradar el material incluso en ausencia de uso. De acuerdo con estos autores, esta degradación genera variabilidad en la resistencia que no siempre resulta detectable visualmente, lo que dificulta la estandarización de las condiciones experimentales.

La relación entre fuerza y longitud en las bandas elásticas representa otra limitación relevante, como indican Treiber et al. (1998), la resistencia generada depende directamente del grado de elongación, lo que implica que pequeñas variaciones en la ejecución técnica pueden traducirse en diferencias significativas en la carga aplicada. Asimismo, estos autores evidencian que la tensión no sigue un comportamiento lineal ni constante, lo que puede afectar a la fiabilidad de los datos obtenidos en estudios de rendimiento físico.

Factores adicionales como el desgaste del material, la aparición de

microfisuras o las diferencias entre fabricantes pueden incrementar la inconsistencia en la resistencia ofrecida por las bandas elásticas. En este sentido, Page y Ellenbecker (2003) señalan que incluso dispositivos del mismo tipo pueden presentar variaciones derivadas de los procesos de fabricación o de un envejecimiento desigual. Según estos autores, esta variabilidad obliga a un control riguroso del material en protocolos experimentales para evitar sesgos en la recogida de datos.

En conjunto, estas limitaciones ponen de manifiesto la necesidad de aplicar una estandarización y control del material cuando se utilizan bandas elásticas en contextos de evaluación del rendimiento. Tal y como concluyen Colado y Triplett (2008), de no aplicarse este control, las diferencias observadas entre deportistas pueden estar influenciadas no solo por su rendimiento, sino también por la variabilidad inherente al comportamiento del material elástico.

3.1. Demandas fisiológicas y biomecánicas del COD en el tenis.

El tenis se caracteriza por un patrón intermitente de alta intensidad en el que los intercambios presentan una duración media aproximada de 4 a 8 segundos, situándose generalmente dentro de un rango de 2 a 10 segundos, en función del nivel competitivo y de la superficie de juego (Fernández-Fernández et al., 2023). Estos esfuerzos explosivos se intercalan con pausas reglamentarias de 20 a 25 segundos entre puntos, configurando una estructura temporal que combina elevada exigencia neuromuscular con recuperación parcial dependiente del metabolismo aeróbico (Kovacs, 2007; Girard & Millet, 2009).

En el estudio de Fernández-Fernández et al. (2023), se indica que aproximadamente el 80% de los golpes se ejecutan tras desplazamientos inferiores a 2.5 m y menos del 5% requieren más de 4.5 m entre impactos, lo que confirma que la capacidad de acelerar, frenar y reorientar el cuerpo resulta más determinante que la velocidad máxima lineal. De esta manera, el estudio mencionado indica que durante un partido competitivo pueden realizarse entre 250 y 400 cambios de dirección, muchos de ellos de carácter lateral y a intensidades medias-altas.

Es en este punto donde la eficacia metabólica se transfiere a la mecánica del movimiento, ya que durante la competición, el jugador debe desacelerar

rápidamente el CM y reorientarlo para responder a trayectorias de pelota impredecibles, lo que convierte al COD en una cualidad determinante del rendimiento (Sheppard & Young, 2006). Estas acciones implican elevadas demandas mecánicas durante la fase de frenado, especialmente cuando el cambio se produce con entrada lanzada, incrementando el tiempo necesario para reducir la velocidad horizontal (Fernández-Fernández et al., 2023).

Esta complejidad técnica se encuentra vinculada a la orientación de las fuerzas aplicadas, ya que de forma complementaria, se ha descrito que los intercambios incluyen múltiples desplazamientos multidireccionales por punto, predominantemente laterales y diagonales, combinando aceleraciones cortas (<3 m) con frenadas abruptas para responder a las acciones del oponente (Wang et al., 2022). En consecuencia, la eficiencia en el COD no solo condiciona la capacidad de llegar a la pelota en posición óptima, sino también la recuperación hacia la posición base y la preparación del siguiente golpe, consolidándose como una cualidad determinante del rendimiento competitivo (Wang et al., 2022).

Para sustentar esta ejecución motriz desde el plano energético, se requiere considerar que la producción repetida de fuerza explosiva depende principalmente del sistema anaeróbico aláctico, mientras que el metabolismo aeróbico contribuye de forma decisiva a la recuperación entre puntos y juegos, permitiendo mantener la calidad de las acciones de alta intensidad a lo largo del partido (Girard & Millet, 2009).

Al profundizar en el análisis estructural del movimiento, se debe tener en cuenta que biomecánicamente, el COD puede dividirse en tres fases: desaceleración excéntrica, transición o reorientación del vector de fuerza y re-aceleración concéntrica (Dos'Santos et al., 2018). La eficiencia en estas fases depende de la capacidad para generar elevados niveles de fuerza excéntrica en tiempos reducidos, optimizar el SSC y mantener un adecuado control intersegmentario (Perniola et al., 2025). Además, de la capacidad para aplicar fuerzas horizontales posteriores elevadas en tiempos de contacto reducidos, así como de una adecuada inclinación del tronco hacia la nueva dirección (Dos'Santos et al., 2018).

Dos'Santos et al. (2018) destacan que la fase de desaceleración constituye el componente mecánico crítico del COD, puesto que en ella se genera un elevado impulso de frenado derivado, principalmente, de la acción excéntrica de los cuádriceps, glúteos e isquiotibiales. Según los autores, este impulso resulta determinante para reducir la velocidad horizontal de manera efectiva antes del apoyo final, permitiendo así una reorientación eficiente del CM hacia la nueva dirección de salida.

Sin embargo, al trasladar estos principios a la población juvenil, Fernández-Fernández et al. (2023) señalan que el estado madurativo influye de manera significativa en el rendimiento durante el COD. Los autores observaron que los jugadores en etapa post-PHV (*Peak Height Velocity*) presentan valores superiores en pruebas de sprint, salto y COD en comparación con aquellos en etapa pre-PHV, lo que sugiere que la maduración biológica modula directamente la expresión de la fuerza y la capacidad de desaceleración. En esta misma línea, la investigación destaca que el déficit de COD se incrementa cuando la fase de entrada es lanzada, lo que refleja una mayor exigencia excéntrica para el deportista en desarrollo, y el COD en tenis constituye una capacidad multifactorial determinada por la interacción entre demandas metabólicas, neuromusculares y mecánicas específicas. (Fernández-Fernández et al. 2023)

3.2. Determinantes condicionales del COD en el tenis.

El rendimiento en acciones de COD en tenis depende de diversas cualidades neuromusculares, entre ellas, Suchomel et al. (2016) destacan la fuerza máxima, la fuerza excéntrica, la potencia, la fuerza reactiva y RFD. De acuerdo con los autores, estas capacidades determinan tanto la magnitud de fuerza aplicada como la rapidez con la que se genera, siendo ambos aspectos críticos en los desplazamientos de alta intensidad y corta duración característicos del tenis competitivo.

Además, la evidencia reciente en población joven sugiere que el desarrollo de estas cualidades puede optimizarse mediante programas estructurados de entrenamiento neuromuscular. En este sentido, Wang et al. (2022) demostraron que la INT durante ocho semanas en niños tenistas de 7-8 años produjo mejoras

significativas en sprint y en pruebas de COD. Bajo esta premisa, estos resultados se vinculan con incrementos en la fuerza explosiva del tren inferior y en el control neuromuscular, lo que permite a los investigadores corroborar la idea de que el rendimiento multidireccional depende de la calidad mecánica del estímulo aplicado.

En relación con la fuerza máxima, Wang et al. (2022) afirman que en población joven, el desarrollo progresivo de la fuerza máxima mediante entrenamiento neuromuscular estructurado ha demostrado mejorar la capacidad para generar fuerza en acciones explosivas, contribuyendo indirectamente a un mejor rendimiento en tareas multidireccionales. Estas mejoras parecen estar mediadas tanto por adaptaciones neurales como por una mejor coordinación intermuscular, especialmente en etapas sensibles del desarrollo.

De acuerdo con Fernández-Fernández et al. (2023), la desaceleración en el tenis exige una elevada capacidad excéntrica para absorber la energía cinética y reducir eficazmente la velocidad horizontal antes del apoyo final. Los autores destacan que, en jóvenes tenistas, esta capacidad varía significativamente en función del estado madurativo, especialmente en escenarios con entrada lanzada donde las demandas de frenado son críticas. En consonancia con estas evidencias, se subraya la necesidad de una adecuada tolerancia a cargas excéntricas elevadas, un factor que Perniola et al. (2025) identifican como determinante para el rendimiento en el COD, dado que una fase de frenado eficiente es el requisito previo para una re-aceleración explosiva en pista.

Al profundizar en el impacto de esta capacidad, se debe considerar que una mayor fuerza excéntrica permite reducir el tiempo de contacto con el suelo y mejorar la transición hacia la fase propulsiva posterior, optimizando la eficiencia mecánica del movimiento y disminuyendo la pérdida de velocidad durante la reorientación (Dos'Santos et al., 2018).

En relación con la producción de fuerza explosiva, cabe situar la potencia del tren inferior, comúnmente evaluada mediante el CMJ, muestra asociaciones significativas con el rendimiento en tareas de COD, ya que refleja la capacidad para generar fuerza en un corto intervalo de tiempo (Suchomel et al., 2016).

También, es necesario analizar la fuerza reactiva vinculada a la eficiencia del SSC, la cual permite una rápida transición entre fases excéntrica y concéntrica, reduciendo el tiempo de contacto con el suelo y mejorando la reutilización de la energía elástica almacenada (Seiberl et al., 2021). Al respecto, Markovic y Mikulic (2010) subrayan que un mayor índice de fuerza reactiva (*Reactive Strength Index*, RSI) se asocia con un mejor rendimiento en tareas multidireccionales y en acciones que requieren cambios rápidos de velocidad.

De esta manera, las mejoras observadas tras programas pliométricos en jóvenes tenistas se han relacionado con un aumento de la rigidez musculotendinosa y una mayor eficiencia del SSC, factores que permiten optimizar la aplicación de fuerza en tiempos breves y mejorar la capacidad de respuesta ante demandas impredecibles (Sinković et al., 2023).

Además, la RFD representa la capacidad de generar fuerza en intervalos temporales breves (<250 ms), coincidentes con la duración típica del contacto en acciones de COD (Haff & Nimphius, 2012). En este sentido, la mejora de la RFD optimiza la aplicación temprana de Fh, determinante en acciones explosivas de corta duración y alta intensidad (Suchomel et al., 2016; Lloyd et al., 2015).

Programas de entrenamiento neuromuscular y pliométrico han demostrado incrementos significativos en la RFD en jóvenes deportistas, traducándose en mejoras tanto en velocidad de reorientación como en agilidad reactiva. Al profundizar en esta línea, Wang et al. (2022) y Zhou et al., 2024; Zhou et al., 2025).

Programas de entrenamiento neuromuscular y pliométrico han demostrado incrementos significativos en la RFD en jóvenes deportistas, traducándose en mejoras tanto en velocidad de reorientación como en agilidad reactiva. Al profundizar en esta línea, Wang et al. (2022) y Zhou et al. (2024) coinciden en que la inclusión de tareas con trayectorias aleatorias o entornos interactivos (como sistemas SpeedCourt) potencia no solo la expresión rápida de fuerza, sino también la integración perceptivo-cognitiva, favoreciendo una mayor transferencia al contexto competitivo real (Wang et al., 2022; Zhou et al., 2024; Zhou et al., 2025).

3.3. Influencia de la técnica de desplazamiento en la eficiencia del COD.

Más allá de las capacidades neuromusculares expuestas, la eficiencia mecánica del COD está condicionada de manera determinante por la técnica de desplazamiento, factor que define la orientación y aplicación del vector de fuerza en relación con el CM. Al respecto, Dos'Santos et al. (2018) subrayan que una acción de reorientación eficaz requiere una dirección precisa de la fuerza resultante en los planos horizontal y medial-lateral, permitiendo desacelerar y redirigir el CM en el menor tiempo posible. Sus hallazgos demuestran que los atletas más eficientes generan mayores fuerzas horizontales relativas y poseen un control superior del momento de frenado, reduciendo la pérdida de velocidad tras la desaceleración, lo que corrobora que la técnica posee una relevancia igual o superior a la capacidad física en la optimización del rendimiento multidireccional.

Al trasladar este análisis a la especificidad del tenis, Kovacs (2007) indica que los patrones de desplazamiento más frecuentes incluyen pasos laterales (*lateral step*), pasos cruzados (*crossovers steps*) y apoyos abiertos (*open stance*), adaptados a la naturaleza intermitente y reactiva del juego. Estos patrones permiten mantener una base de sustentación amplia, optimizar el posicionamiento corporal respecto a la pelota y facilitar la transición entre fases defensivas y ofensivas, convirtiendo a la técnica de desplazamiento en un determinante clave del rendimiento competitivo (Kovacs, 2007).

En relación con la disposición mecánica, una ejecución eficiente requiere una adecuada inclinación del tronco hacia la nueva dirección para alinear el vector de fuerza con la trayectoria deseada y mejorar la estabilidad dinámica. Profundizando en este análisis, Dos'Santos et al. (2018) señalan que posicionar el pie de apoyo ligeramente anterior al CM favorece un frenado más efectivo y reduce el riesgo de colapso articular en rodilla y tobillo. Bajo esta perspectiva, los autores demuestran que menores tiempos de contacto, combinados con una elevada producción de F_h , se asocian con un rendimiento superior en el COD, evidenciando que la maniobra óptima depende de maximizar la velocidad de salida sin comprometer la capacidad estructural de absorción de fuerzas durante la desaceleración previa.

Además, investigaciones recientes señalan que la capacidad de desaceleración es un componente crítico que precede a la re-aceleración y condiciona la eficiencia global del movimiento. Al respecto, Dos'Santos et al. (2019) sostienen que una desaceleración mecánicamente óptima exige una flexión coordinada de cadera, rodilla y tobillo, integrada con una activación excéntrica eficaz de la musculatura extensora para disipar fuerzas y mitigar la carga lesiva. Los autores advierten que los déficits en esta fase no solo merman el rendimiento, sino que incrementan significativamente el riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior, especialmente en acciones unilaterales de alta velocidad, corroborando que la calidad del frenado determina una transición segura y explosiva hacia la nueva dirección.

Más allá de la ejecución mecánica, es necesario diferenciar entre la velocidad de COD planificada y la agilidad reactiva, dado que esta última incorpora intrínsecamente procesos perceptivo-cognitivos ante estímulos externos. A este respecto, Morral-Yepes et al. (2023) señalan que la agilidad depende de la capacidad para procesar señales relevantes, anticipar trayectorias y tomar decisiones en milisegundos. Bajo esta óptica, demuestran que, en los deportes de raqueta, la agilidad reactiva presenta correlaciones moderadas con la velocidad de reorientación preplanificada, pero involucra tiempos de reacción y estrategias motoras poco diferenciadas, supeditando el rendimiento en contextos abiertos como el tenis a la sinergia entre la velocidad de desplazamiento y la velocidad de procesamiento de la información. En esta línea, Sheppard y Young (2006) proponen un modelo conceptual donde la agilidad se define como "un constructo multidimensional que integra componentes físicos (fuerza, velocidad, técnica) y cognitivos (percepción, anticipación y toma de decisiones)". Bajo esta perspectiva, los autores evidencian que la capacidad de COD y la agilidad reactiva deben entrenarse y evaluarse de forma específica debido a sus diferentes demandas coordinativas y neuromusculares (Sheppard & Young, 2006).

En términos de fuerzas de reacción del suelo (*ground reaction forces*, GRF), un COD eficiente se caracteriza por elevadas fuerzas horizontales posteriores (fuerza de frenado) para generar un impulso de desaceleración suficiente antes de redirigir el CM (Nedergaard et al., 2014); tiempos de contacto con el suelo reducidos

para una transición rápida entre fases (Dos'Santos et al., 2018; Nimphius et al., 2016); y el posicionamiento del pie ligeramente anterior al CM para favorecer la absorción de la carga y generar el impulso de frenado necesario (Dos'Santos et al., 2018; Nedergaard et al., 2014).

No obstante, el éxito en la respuesta motriz sigue estando condicionado por la capacidad mecánica del deportista. Una capacidad excéntrica insuficiente incrementa el tiempo de contacto y reduce la eficiencia del SSC, comprometiendo la transición hacia la fase propulsiva (Markovic & Mikulic, 2010). Por ello, el entrenamiento para mejorar la rigidez musculotendinosa es clave para optimizar la transferencia de fuerzas (Nimphius et al., 2016), mientras que el desarrollo de la RFD se consolida como el factor determinante para acelerar las acciones de COD de alta intensidad (Suchomel et al., 2016).

Finalmente, al considerar este modelo en la población juvenil, se atiende a las recomendaciones de Lloyd et al. (2015), quienes indican que esta fase puede verse influenciada por cambios antropométricos asociados al crecimiento y maduración biológica, como el incremento del momento de inercia y modificaciones en la posición del CM, adaptaciones que pueden provocar alteraciones transitorias en el control neuromuscular y la coordinación intersegmentaria durante el periodo de PHV.

Por tanto, la eficiencia técnica en tenis depende de la integración entre control motor, percepción y toma de decisiones en contextos impredecibles (Sheppard & Young, 2006). Desde un enfoque dinámico, el rendimiento emerge de la interacción entre el jugador, la tarea y el entorno, implicando que la optimización de estas acciones debe abordarse mediante tareas representativas que integren demandas físicas y cognitivas similares a la competición real (Morral-Yepes et al., 2023).

3.4. Métodos de entrenamiento para la mejora del COD.

La mejora del COD requiere intervenciones que integren las cualidades neuromusculares y mecánicas que lo determinan. La evidencia señala que las mayores adaptaciones se producen al combinar el desarrollo de la fuerza máxima con la optimización del SSC, junto con mejoras en la capacidad excéntrica de

desaceleración y la exposición a tareas multidireccionales específicas (Suchomel et al., 2016; Dos'Santos et al., 2018).

El desarrollo de la fuerza máxima del tren inferior constituye una base fundamental para el COD, al permitir una mayor producción de fuerza durante las fases de frenado y re-aceleración (Suchomel et al., 2016). Los atletas con mayor fuerza relativa presentan un menor déficit de COD, lo que refleja una transferencia más eficiente de la fuerza hacia acciones multidireccionales (Nimphius et al., 2016). Además, incluso con bajos volúmenes de entrenamiento pueden obtenerse mejoras significativas cuando la intensidad es adecuada (Androulakis-Korakakis et al., 2020). En población juvenil, el entrenamiento de fuerza estructurado favorece adaptaciones neuromusculares seguras bajo una supervisión adecuada (Lloyd et al., 2015).

Por su parte, el entrenamiento pliométrico mejora la potencia, la RFD y la eficiencia del SSC mediante incrementos en la rigidez musculotendinosa, la coordinación intermuscular y el aprovechamiento de la energía elástica (Markovic & Mikulic, 2010). En jóvenes deportistas, estas adaptaciones reducen los tiempos de COD y mejoran la transición excéntrico-concéntrica (Ramírez-Campillo et al., 2015), favoreciendo en tenis apoyos laterales y diagonales más eficientes.

Dado que la desaceleración es un componente clave del COD, el entrenamiento de la fuerza excéntrica adquiere especial relevancia (Dos'Santos et al., 2018). El uso de dispositivos inerciales permite generar elevadas sobrecargas excéntricas, mejorando la absorción de fuerza, la fuerza excéntrica máxima, la RFD y el control durante el frenado (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Estas adaptaciones pueden reducir el tiempo necesario para desacelerar y reorientar el CM, aspecto especialmente relevante en tenistas jóvenes (Fernández-Fernández et al., 2023).

Asimismo, el entrenamiento isométrico en ángulos específicos puede aumentar la producción de fuerza en posiciones críticas del apoyo y mejorar la aplicación temprana de Fh (Behm et al., 2024). Además, las contracciones isométricas favorecen adaptaciones neurales asociadas a una mayor RFD en las fases iniciales del movimiento (Suchomel et al., 2016).

El rendimiento en COD también depende de factores perceptivo-cognitivos relacionados con la agilidad reactiva (Morral-Yepes et al., 2023). Los entrenamientos con estímulos impredecibles generan mayores mejoras que las tareas preestablecidas debido a su mayor exigencia cognitiva (Sheppard & Young, 2006). En tenis, la inclusión de tareas multidireccionales específicas mejora la transferencia al juego real, ya que combina fuerza, desaceleración y toma de decisiones en contextos representativos de la competición (Morral-Yepes et al., 2023).

3.5. El uso de la resistencia variable.

En el marco del acondicionamiento físico contemporáneo, el entrenamiento con bandas elásticas ha adquirido una relevancia notable debido a su versatilidad, bajo coste y, fundamentalmente, a su perfil de resistencia variable, el cual permite que la tensión aumente de forma proporcional a la elongación, desafiando al deportista en los rangos finales del movimiento concéntrico (Hernández-Abad, 2022). A continuación, se presenta una revisión de diversos estudios que demuestran cómo la implementación de programas basados en resistencia variable produce mejoras significativas en dimensiones críticas del rendimiento, tales como la fuerza máxima, la potencia, la velocidad de sprint, la hipertrofia y, de manera muy señalada, en la capacidad de COD y la agilidad [Anderson et al. 2008; Hammami et al., 2022; Krause et al. 2019; Valdés-Badilla et al., 2023].

En primer lugar, el estudio realizado por Valdés-Badilla et al. (2023) comparó la efectividad de un programa de entrenamiento con bandas elásticas frente a uno de baile grupal sobre la composición corporal y la condición físico-funcional en mujeres mayores con sarcopenia. La intervención tuvo una duración de 12 semanas, con tres sesiones semanales de 60 minutos, por lo que, el grupo de bandas elásticas realizó un circuito de 12 ejercicios (2 series x 10-15 repeticiones), controlando la intensidad (moderada a vigorosa) mediante la escala OMNI-RES (5-8 puntos) y un test de 10 RM con progresión de carga colorimétrica cada cuatro semanas (avanzar color o acortar longitud). Por su parte, el grupo de baile realizó coreografías intermitentes (4 min de baile / 2 desc) manteniendo una frecuencia cardíaca inferior a 120 ppm.

Tras la intervención, los resultados demostraron la superioridad estadística del entrenamiento con bandas elásticas, que logró incrementos significativos en la masa libre de grasa (+10,9%), fuerza de prensión manual dominante (+10,9%) y de piernas (+9,1%), además de reducciones significativas de tiempo en tests de agilidad TUG (-14,7%) y velocidad de marcha (-7,6%). En contraste, el grupo de baile no mostró cambios significativos en estos parámetros funcionales.

De esta manera, el estudio subraya que el entrenamiento con bandas elásticas es una estrategia de actividad física más eficaz que el baile grupal para mejorar el rendimiento físico y la composición corporal en esta población. Los autores destacan que se trata de un método de entrenamiento seguro, económico y fácil de implementar, lo que lo convierte en una herramienta de gran valor para la salud pública y la prevención de la fragilidad en poblaciones de edad avanzada.

Por otro lado, la investigación llevada a cabo por Hammami et al. (2022) examinó el efecto de un programa de entrenamiento de fuerza con bandas elásticas (STEB) sobre la fuerza explosiva de tren inferior y superior, la agilidad y el rendimiento de sprint en 26 jugadoras jóvenes de balonmano (15.8 ± 0.2 años), fundamentado en la naturaleza intermitente y explosiva de este deporte. La intervención tuvo una duración 10 semanas, con dos sesiones semanales de 35 minutos integradas después del calentamiento, sustituyendo <10% del volumen habitual de baja intensidad, incluyendo ocho ejercicios (alternos tren sup/inf) ejecutados con esfuerzo máximo.

En cuanto a los protocolos de carga y volumen, el control se gestionó colorimétricamente (*Thera-Band*): a través de resistencias progresivas de 3.2 kg (roja), 4.4 kg (verde), 6 kg (azul) y 8 kg (negra) basadas en una elongación del 250%. Para el tren inferior, la resistencia se duplicó plegando la banda (hasta 16 kg con la negra). El volumen progresó de 3 series de 10 repeticiones a 5 series de 10 repeticiones, monitorizando la carga de la sesión mediante la escala de Borg (RPE) para garantizar igualdad de condiciones.

Finalizado el periodo de entrenamiento, los resultados demostraron mejoras significativas en el grupo experimental en comparación con el control en fuerza (agarre manual, extensores de espalda, lanzamiento de balón medicinal),

rendimiento de sprint (20m y 30m), capacidad de salto vertical (SJ, CMJ, ABK) y agilidad (Illinois). No obstante, no se observaron diferencias significativas en la aceleración inicial (5m, 10m) ni en el equilibrio estático/dinámico.

En conclusión, el estudio subraya que la implementación de un programa con bandas elásticas de 35 minutos, dos veces por semana, es una estrategia altamente efectiva para mejorar la fuerza y la potencia en jugadoras jóvenes de balonmano.

Profundizando en el análisis de la población avanzada y consolidar la viabilidad de la resistencia elástica como estrategia de entrenamiento eficaz, el estudio realizado por Krause et al. (2019), este analizó los efectos de un programa de STEB combinado con ejercicios de autocarga sobre la masa muscular y la funcionalidad física en adultos mayores sanos, partiendo de la premisa de que la resistencia elástica es una alternativa eficaz y accesible al entrenamiento tradicional de fuerza para hipertrofia. La intervención se realizó durante 12 semanas, con tres sesiones semanales supervisadas que combinaron ejercicios realizados con el peso corporal y con resistencia mediante bandas elásticas en patrones funcionales multiarticulares.

Para su implementación, el control de la intensidad se gestionó de forma progresiva e individual mediante la selección de bandas de distinta resistencia y el aumento de la elongación, con énfasis en la máxima activación muscular controlada. Además, el volumen de entrenamiento progresó a lo largo de las semanas, incrementándose tanto el número de series como la dificultad de los ejercicios.

Los datos obtenidos tras la intervención mostraron mejoras significativas en el grupo experimental en variables relacionadas con la masa muscular y la funcionalidad física, ya que se observaron incrementos en la fuerza muscular y la capacidad funcional, además de evidencias de activación de mecanismos anabólicos asociados con la hipertrofia muscular.

Por ello, el estudio subraya que un programa de entrenamiento basado en bandas elásticas, aplicado de forma progresiva y sistemática durante 12 semanas,

constituye una estrategia eficaz para mejorar la fuerza muscular y favorecer procesos relacionados con la hipertrofia.

Sin embargo, a pesar de los beneficios documentados, la literatura científica evidencia una limitación metodológica crítica en cuanto a la cuantificación de la carga (McMaster et al., 2010). En la mayoría de las intervenciones, el control de la intensidad se realiza de manera indirecta y poco precisa, empleando criterios como el color y la marca de la banda elástica, la carga absoluta en kilogramos según el fabricante, o RPE como la escala OMNI-RES. Como señalan diversos autores (McMaster et al., 2010), este enfoque carece de la precisión necesaria para un contexto de alto rendimiento, ya que el comportamiento mecánico del material elástico es altamente variable y está sujeto a factores como el desgaste tras usos repetidos, microdeformaciones internas y la degradación por condiciones ambientales como la temperatura o la luz (Hernández-Abad, 2022). Al no considerar la relación no lineal entre la elongación y la tensión real, ni el ajuste antropométrico individual, los métodos de control tradicionales introducen un margen de error significativo que dificulta la estandarización y la replicabilidad del estímulo neuromuscular en deportistas juveniles.

Como se observa en los diferentes estudios mencionados, las evidencias científicas afirman que se producen mejoras neuromusculares a través del entrenamiento con bandas elásticas, pero todos poseen algo en común y es que en ninguno de ellos se expresa con claridad el método de cuantificación de la carga con dichas bandas, es por ello por lo que se propone la integración del modelo geométrico que permitirá cuantificar con mayor exactitud la carga en el entrenamiento con las bandas.

A pesar de sus múltiples beneficios, el uso de las bandas elásticas en contextos de investigación y entrenamiento neuromuscular presenta una limitación histórica: la cuantificación rigurosa de la carga de entrenamiento. A diferencia de las cargas gravitacionales (peso libre), donde la masa permanece constante, las bandas elásticas se rigen por principios físicos de elasticidad, donde la tensión generada es función directa de la elongación del material elástico.

Según la ley de elasticidad de Hooke ($F = k \cdot x$), la fuerza (F) es directamente proporcional a la constante elástica del material (k) y a la elongación producida (x). En el entrenamiento, esto se traduce en una carga variable, ya que a mayor estiramiento de la banda en el rango de movimiento del ejercicio, mayor es la carga neuromuscular soportada por el deportista.

Esta variabilidad en la intensidad dificulta la individualización de la carga, el control de la progresión y la replicabilidad de protocolos científicos, y por lo tanto, la optimización de los principios fundamentales del entrenamiento deportivo a través de este tipo de entrenamiento. Para resolver esta problemática, el presente estudio implementará el Modelo Geométrico como método en proceso de validación para la cuantificación y control de la carga neuromuscular en la práctica habitual (Martín, *in press*).

Según Martín (*in press*), el modelo geométrico representa una solución metodológica precisa para determinar la tensión exacta que una banda elástica ejerce en un punto específico del movimiento dinámico de un deportista. Este modelo se fundamenta en la relación entre el alargamiento de la banda y la fuerza generada, y su implementación consta de dos fases críticas e interconectadas, siendo la primera de ellas la "caracterización y ecuación de la banda", en la que el propósito es determinar la "curva de fuerza-elongación" específica de cada banda. Para ello, se emplea un dinamómetro conectado a un extremo de la banda, mientras el otro extremo permanece anclado a un punto fijo.

Se somete la banda elástica a elongaciones controladas a intervalos precisos (por ejemplo, cada 20 cm) desde su longitud de reposo, registrándose los valores de fuerza (kg o N) y elongación correspondientes para cada intervalo. Mediante un análisis estadístico, se genera una ecuación matemática mediante el modelo de regresión polinómica de Pitágoras ($a^2+b^2=c^2$) que describe con alta fidelidad la relación entre la elongación y la fuerza para esa banda específica, constituyendo la herramienta base para los cálculos posteriores (véase [ANEXO 1](#)).

Por otro lado, se encuentra la segunda fase basada en la "implementación y cálculo individualizado de la tensión", en la que el propósito de esta es aplicar la ecuación polinómica para cuantificar la intensidad real que percibe cada deportista

durante el ejercicio. Para ello, es necesario medir la elongación neta de la banda en el "punto de interés" o punto de máxima tensión dentro del rango de movimiento del ejercicio.

Por ejemplo, en la ejecución de una salida lateral, se mediría la distancia total desde el punto de anclaje de la banda hasta el trocánter mayor (punto de conexión de la banda en el torso) cuando este se encuentra en la posición más profunda del movimiento. A esta longitud total se le resta la longitud de reposo de las bandas elásticas para obtener la elongación neta (x) y posteriormente, introducirlo en la ecuación polinómica generada en la primera fase, por lo que el resultado es la tensión neuromuscular (kg o N) exacta y personalizada que el tenista soporta en ese punto biomecánico del ejercicio.

La implementación del modelo geométrico en este estudio pretende elevar el rigor científico y la aplicabilidad de la investigación en las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Este enfoque permite transitar de una programación basada en estimaciones subjetivas o poco concisas (como el color de la banda o la RPE) hacia una rigurosidad metodológica sustentada en datos cuantitativos, esencial para aplicar el principio de sobrecarga progresiva de forma segura. Al integrar variables antropométricas específicas, como la altura del trocánter mayor, el modelo garantiza una individualización de la carga, ajustando la tensión mecánica a la elongación real y a los brazos de palanca de cada deportista juvenil.

Asimismo, el uso de este modelo, representa una innovación científica que contribuye a la problemática histórica en la investigación con materiales elásticos, cuya resistencia suele ser inconsistente debido al desgaste del material o factores ambientales. De esta manera, al aportar protocolos transparentes donde la carga se expresa en kilogramos de Fh efectiva, se garantiza la replicabilidad del estudio por parte de otros investigadores. Finalmente, esta precisión facilita la optimización del rendimiento, permitiendo ajustar el volumen e intensidad del entrenamiento para estimular adaptaciones específicas, como la RFD y la capacidad excéntrica, que resultan críticas para la agilidad y el éxito en los COD del tenista en formación.

4. Hipótesis y objetivos del estudio.

Hipótesis principal

1. La implementación de un programa de entrenamiento resistido mediante bandas elásticas producirá mejoras significativamente superiores, en comparación con el grupo control (GC), en la aceleración corta, la capacidad de (COD/agilidad) y el rendimiento específico en jugadores de tenis.
2. El grupo de carga alta mostrará mayores mejoras que el grupo de carga baja en pruebas con predominio horizontal y de COD específico, siempre que la carga no altere excesivamente la mecánica del gesto.

Objetivos

- **Objetivo General:** Analizar los efectos de una intervención neuromuscular, mediante entrenamiento resistido con elásticos, sobre la agilidad, la potencia muscular y el rendimiento específico en tenistas juveniles.
- **Objetivo Secundario:** Aplicar el modelo geométrico a la prescripción real de entrenamiento en pista: Integrar las bases biomecánicas y vectoriales del modelo geométrico en el diseño y ejecución de tareas específicas, al tiempo que se cuantifica de forma objetiva la magnitud de la carga aplicada (baja vs. alta) mediante los elásticos y se analiza cómo esta variable influye en la producción de F_h y en el déficit de COD.

5. Metodología.

El trabajo consiste en un ECA sobre una intervención neuromuscular para lograr una mejora en la agilidad y potencia en el COD. La muestra está compuesta por 60 jugadores de tenis amateurs juveniles. La edad media de los deportistas es de $16,3 \pm 0,8$ años y una media de peso de $63,2 \pm 4,1$ kg. La selección de la muestra es mediante muestreo no probabilístico por conveniencia.

Dada la participación de menores de edad en el estudio, se llevará a cabo un proceso de consentimiento informado, el cual incluirá la solicitud de autorización escrita de los padres o tutores legales de cada deportista, así como el asentimiento de los propios menores, garantizando el cumplimiento de las normativas éticas y de privacidad (véase [ANEXO 2](#)). Además, esta propuesta de intervención será revisada y aprobada por el Comité Ético de Investigación del Hospital Universitario Nuestra Señora de Candelaria (HUNSC). Una vez verificado el estado óptimo de los sujetos, se procedió a realizar el protocolo propuesto, diseñado para cuantificar la carga de la intervención realizada con bandas elásticas las estructuras musculares y articulares ante las demandas de alta intensidad de la intervención y los test de agilidad.

Además, el presente estudio se ha diseñado y ejecutado en estricto cumplimiento del marco legal vigente, incluyendo la Ley Orgánica 3/2018 (LOPDGDD) de España y el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) de la Unión Europea, implementando medidas rigurosas para salvaguardar la privacidad de los participantes juveniles. El pilar de esta base legal es el proceso de consentimiento informado de los padres y el asentimiento de los menores, procedimiento que ha sido revisado y aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínico del Hospital de la Candelaria de Tenerife.

Por otro lado, el protocolo se desarrolla durante 8 semanas, con dos sesiones en cada una de ellas, supervisadas por los responsables del estudio y con 48h de descanso. Las dos primeras semanas sirven para que los deportistas lleven a cabo (familiarización del protocolo e iniciación de toma de datos de los deportistas con los test y ejercicios propuestos e introducir y ajustar la carga.

Por otro lado, se formarán tres grupos de manera aleatoria, siendo el primero de ellos será el GC, que solo deberá realizar sus entrenamientos regulares y las mediciones de los tests. Los dos grupos restantes, serán los GE y llevarán a cabo la intervención con el protocolo de entrenamiento neuromuscular, en el que se incluye un ejercicio de lunge con banda elástica y otro de salida lateral con el mismo dispositivo. La única diferencia entre estos dos GE será el nivel de carga del entrenamiento, ya que uno recibirá una carga baja y otro una carga alta.

El material utilizado será una banda elástica, un dinamómetro digital (VALD), una plataforma de contacto, un sistema de fotocélulas de doble haz, un analizador de bioimpedancia, un cinturón de sujeción específico, así como conos y marcadores para la delimitación espacial. Las herramientas utilizadas son la banda elástica de la marca Sanctband y el dinamómetro digital desarrollado por VALD.

Ambos dispositivos, la banda elástica Sanctband y el dinamómetro VALD, son herramientas avanzadas que van a permitir un control preciso sobre el rendimiento durante los entrenamientos. Estos sistemas ayudan a optimizar el rendimiento deportivo y ofrecen una valiosa información sobre la tensión mecánica, la potencia y la velocidad generada durante los movimientos. Por estos motivos se ha decidido utilizarlos como dispositivos para medir y controlar las tareas propuestas en el estudio, permitiendo individualizar la carga según el modelo geométrico de Fh. El uso de dinamómetros digitales para la monitorización de la carga elástica se ha utilizado en estudios recientes para garantizar la fiabilidad de la tensión aplicada y minimizar la variabilidad intrínseca del material elástico.

La ejecución de la salida abierta y el lunge, así como la aplicación del modelo geométrico en cada uno, se detallan en el [ANEXO 1](#).

5.1. Test de evaluación

Los test que se llevarán a cabo serán (véase [ANEXO 3](#)): CMJ (Markovic et al., 2004), DJ (Bosco et al., 1983), test de velocidad de 5, 10 y 20 m (Spencer et al., 2005), *Spider Drill Test* (Huggins et al., 2017), *T-Test* (Pauole et al., 2000), *Hit & Turn Tennis Test* (HTTT) (Ferrauti et al., 2011), *Turn Tennis Test* y el test de RCA (*Repeated Change of Direction Ability*) (Spiteri et al., 2014) específico de tenis. Estos son utilizados frecuentemente en la práctica deportiva para medir la eficacia

y eficiencia de los deportistas en el COD y en el cambio de sentido, presentes de manera significativa en deportes de situación.

5.1.1. Test de CMJ

Los participantes comienzan desde una posición erguida, con las manos en la cadera, realizan un descenso rápido (*countermovement*) seguido inmediatamente de un salto vertical máximo, evitando cualquier balanceo de brazos; durante el movimiento se produce una flexión de rodilla en el contramovimiento, el salto debe ejecutarse de forma continua sin pausa y la altura alcanzada se mide mediante una plataforma de contacto (Markovic et al., 2004).

5.1.2. Test de DJ

Los participantes se dejan caer desde una altura determinada partiendo de una posición erguida sobre una plataforma elevada y, tras el contacto con el suelo, deben realizar un salto vertical máximo de forma inmediata, intentando minimizar el tiempo de contacto; durante la ejecución se produce una rápida transición entre la fase excéntrica y concéntrica, sin pausa entre ambas, y se registran tanto el tiempo de contacto como la altura del salto mediante una plataforma de medición (Bosco et al., 1983).

5.1.3. Test de velocidad: 5, 10 y 20 m

Los participantes realizan sprints máximos en línea recta desde una posición de salida estática, recorriendo distancias de 5, 10 y 20 metros; la salida se efectúa tras una señal, evitando balanceos previos, y durante la ejecución se registran los tiempos parciales mediante células fotoeléctricas colocadas en cada distancia, permitiendo medir con precisión la fase de aceleración inicial del deportista (Spencer et al., 2005).

5.1.4. Spider drill test

El Spider Drill Test es una prueba de agilidad específica para tenis utilizada para evaluar la velocidad de COD en jóvenes tenistas. En el test, el participante inicia desde una posición estática en el centro de la línea de fondo y se desplaza rápidamente hacia cinco posiciones distintas alrededor de la pista, donde recoge

pelotas con la mano correspondiente y completa múltiples cambios de dirección multidireccionales hacia adelante, lateral y atrás; el tiempo total se registra con cronómetro electrónico y el mejor tiempo de tres intentos se utiliza como resultado final (Huggins et al., 2017).

5.1.5. T – test

El T-Test se realiza para evaluar la capacidad de cambiar rápidamente de dirección mediante desplazamientos hacia delante, laterales y hacia atrás en un patrón en forma de "T"; los participantes parten desde una posición estática, corren hacia un cono frontal, tocan la base con la mano, se desplazan lateralmente hacia la izquierda y luego hacia la derecha tocando cada cono, y finalmente retroceden hasta la línea de inicio mientras se registra el tiempo total con cronómetro electrónico o células fotoeléctricas (Pauole et al., 2000).

5.1.6. HIT & turn tennis test

El *Hit & Turn Tennis Test* (HTTT) examina la aptitud aeróbica específica del tenis mediante desplazamientos repetidos a lo largo de una línea de aproximadamente 11 m (el largo de la línea de fondo de dobles) con simulaciones de golpes de derecha y revés al escuchar una señal acústica; los jugadores deben completar niveles progresivos hasta el agotamiento, registrándose variables como la distancia máxima cubierta, el tiempo hasta la extenuación, la velocidad pico y una estimación de $VO_2\text{max}$, correlacionando los resultados con un test estándar de campo para validar su capacidad discriminativa entre tenistas entrenados y recreativos (Ferrauti et al., 2011).

5.1.7. Test de RCA tennis

El Test RCA en tenis consiste en series de COD repetidos con breves periodos de recuperación para simular la naturaleza intermitente del juego; por ejemplo, uno de los protocolos utilizados incluye diez repeticiones de desplazamientos multidireccionales de corta distancia (aproximadamente 20 m totales en formato ida y vuelta) con 20 s de recuperación entre cada repetición, partiendo desde el centro de la línea de fondo, desplazándose lateralmente hacia las esquinas de derecha e izquierda y regresando al punto inicial, lo que permite

cuantificar la capacidad de mantener esfuerzos de alta intensidad con cambios de dirección repetidos a lo largo del tiempo (Spiteri et al., 2014).

5.2 Diseño.

El presente estudio tiene como objetivo aplicar el modelo geométrico a la prescripción real de entrenamiento en pista a través de una intervención neuromuscular, aplicada mediante entrenamiento resistido con bandas elásticas, sobre la agilidad, la potencia muscular y el rendimiento en el COD en tenistas juveniles. Para ello, se ha diseñado un ECA de 8 semanas de duración, estructurado para comparar dos condiciones experimentales frente a un GC.

El elemento diferenciador de este estudio se trata de la implementación de un modelo de cuantificación de la carga de diseño (Martín. *In press*), desarrollado para resolver la falta de precisión al cuantificar la carga de una banda elástica y por lo tanto de la intensidad de estos materiales elásticos. De esta manera, se podrá conocer la tensión mecánica generada por la banda elástica en función del porcentaje de elongación y las dimensiones antropométricas del sujeto. La aplicación de este algoritmo de cuantificación permite la estratificación de la muestra en dos niveles de intensidad específicos: (1) grupo de carga baja (10-20% intensidad relativa utilizando el nomograma) y (2) grupo de carga alta (30-40% intensidad relativa utilizando el nomograma). Este procedimiento garantiza que la magnitud del estímulo sea proporcional al perfil de Fh individual del deportista.

Los participantes serán asignados de forma aleatoria a uno de los tres grupos mencionados: el GC, que mantendrá su rutina de entrenamiento técnico-táctico habitual, y los dos GE (GE1 y GE2). En estos últimos, se implementará un protocolo de entrenamiento neuromuscular compuesto por gestos técnicos específicos (lunge y salida abierta) bajo resistencia elástica. La variable independiente principal es la magnitud de la carga mecánica, controlada mediante el modelo de cuantificación propuesto, lo que asegura una diferenciación rigurosa entre el grupo de carga baja y el de carga alta.

El diseño metodológico contempla evaluaciones de rendimiento pre y post intervención mediante una batería de test validados, con el fin de cuantificar los cambios en el COD, la velocidad lineal y la potencia del tren inferior. Para mitigar

posibles sesgos de fatiga o aprendizaje, el orden de ejecución de las pruebas será aleatorizado en cada sesión de evaluación. Asimismo, se emplearán referencias visuales en superficie para estandarizar las trayectorias y asegurar la reproducibilidad de los movimientos, exigiendo en todo momento la máxima velocidad intencional en la ejecución.

El protocolo se desarrollará durante un ciclo de 8 semanas, con una frecuencia de dos sesiones semanales supervisadas (16 sesiones totales) y un intervalo mínimo de 48 horas entre estímulos para garantizar la recuperación neuromuscular. Las dos semanas iniciales se destinarán a la familiarización técnica, la recolección de datos antropométricos y la calibración individual de la carga bajo el modelo de cuantificación, asegurando la validez interna del estudio y la fiabilidad de las mediciones posteriores.

5.3. Muestra y formación de grupos.

La muestra del estudio estará compuesta por 60 jugadores de tenis que pertenezcan a las categorías cadete y junior. La edad media de los deportistas es de 16,3 años, con un rango de edad entre los 15 y 18 años. Los participantes serán seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, es decir, serán tenistas que pertenezcan al mismo equipo y que cumplan con los criterios de inclusión establecidos.

Criterios de inclusión:

- Jóvenes de 15 a 18 años federados.
- Experiencia mínima de 2 años en tenis amateur.
- Participación regular en entrenamiento o juego al menos 2 veces por semana.
- Sin lesión musculoesquelética en los últimos 3 meses.
- Sin dolor actual durante sprint, frenadas o desplazamientos laterales.

Criterios de exclusión:

- Cirugía reciente.
- Dolor lumbar, rodilla, cadera o tobillo que limite la ejecución.
- Participación en otro programa de fuerza o velocidad específico durante el estudio.

- Asistencia inferior al 80%.

A continuación, se presenta la Tabla 1 (véase [ANEXO 4](#)) con las características antropométricas detalladas de los GE, incluyendo edad, altura, peso, porcentaje de grasa corporal, masa muscular, envergadura y altura del trocánter.

5.4 Variables y material de medida.

El diseño experimental se fundamenta en el análisis de la relación causal entre una intervención neuromuscular programada y la modificación del rendimiento deportivo del tenista. Para ello, se ha definido como variable independiente el protocolo de entrenamiento neuromuscular, cuya carga se prescribe y dosifica mediante la aplicación de un modelo de cuantificación de la carga basado en la Fh efectiva. Esta intervención se estructura en tres niveles de comparación: un grupo de carga baja (10-20% BW de Fh), un grupo de carga alta (30-40% BW de Fh) y un GC activo. La precisión en la administración de esta variable independiente se garantiza mediante el uso de bandas elásticas Sanctband Superloop, cuya tensión mecánica será ajustada individualmente mediante el modelo geométrico mencionado, asegurando que cada sujeto reciba una precisa estimación de resistencia horizontal calculada según su peso corporal.

Por otro lado, las variables dependientes del estudio comprenden los diversos indicadores de rendimiento físico y técnico que se pretenden optimizar. Estas variables de respuesta se categorizan en dos dimensiones: la potencia mecánica vertical y la eficacia en los desplazamientos multidireccionales.

En cuanto a la dimensión neuromuscular, se evalúa la potencia del tren inferior a través del CMJ, empleando para ello una plataforma de contacto Chronojump Boscosystem, la cual permite cuantificar de forma objetiva el comportamiento del ciclo estiramiento-acortamiento.

Respecto a la dimensión de rendimiento en pista, se analizan los tiempos de aceleración lineal y la agilidad específica mediante los test mencionados anteriormente. Para la obtención de estos indicadores, se utiliza un sistema de

fotocélulas de doble haz VALD Performance (SmartSpeed), que garantiza la máxima fiabilidad en la recogida de datos.

De este modo, el estudio pretende observar cómo el ajuste sistemático de la carga horizontal (variable independiente) impacta significativamente en la capacidad de salto, la velocidad y la eficiencia en el COD (variables dependientes) de los tenistas juveniles.

Ambos ejercicios están diseñados para estimular las fibras musculares de tipo II y favorecer la adaptación en el COD. Sin embargo, presentan vectores de fuerza y patrones de movimiento diferenciados, ya que la salida lateral y el lunge son movimientos con una biomecánica distinta, a pesar de que se utilizan los mismos grupos musculares. Mientras que el lunge se caracteriza por una aplicación de fuerza predominantemente vertical, con una mecánica muy similar al patrón de carrera lineal, la salida lateral desplaza el vector de aplicación de fuerza hacia una orientación diagonal y lateral, simulando un COD. Esta configuración biomecánica simula de forma más específica las demandas de reorientación corporal y los ángulos de aplicación de fuerza específicos que el tenista afronta durante la competición real.

Para garantizar la validez interna del estudio y asegurar que las variaciones en las variables dependientes se deban exclusivamente a la intervención neuromuscular, se han controlado de forma rigurosa los siguientes factores:

- **Edad cronológica:** Dado que el desarrollo biológico influye directamente en la rigidez muscular, la elasticidad, la capacidad de recuperación y agilidad, se seleccionan grupos homogéneos para asegurar que los resultados no se vean influenciados por diferencias en la edad entre los participantes.
- **Nivel de condición física y de experiencia previa:** la experiencia y el nivel de condición física de los jugadores pueden influir en su capacidad para realizar cambios de dirección. Es importante controlar este factor para asegurarse de que cualquier diferencia en el rendimiento se debe a la intervención y no a un nivel de entrenamiento desigual entre los participantes. Se ha estandarizado el historial de entrenamiento de los

participantes, asegurando que su competencia motriz básica sea equiparable. Esto garantiza que las adaptaciones observadas respondan a la intervención mecánica y no a un efecto de aprendizaje o a una base física desigual.

- Experiencia en deportes de equipo y transferencia motriz: la experiencia previa de los participantes en deportes de equipo, puede sesgar los datos iniciales, ya que la práctica recurrente de estos deportes desarrolla patrones de agilidad y eficiencia en el COD. Al asegurar una homogeneidad en el historial deportivo de la muestra, se minimiza el impacto de interferencias motrices externas, permitiendo que las adaptaciones observadas en el rendimiento se evalúen y se atribuyan exclusivamente al impacto del programa de entrenamiento resistido propuesto.
- Altura del trocánter mayor: Esta variable es fundamental para la precisión del modelo de prescripción utilizado en este estudio. La distancia desde el trocánter mayor hasta el suelo permite determinar el brazo de palanca y el ángulo de incidencia de la banda elástica durante los desplazamientos. Al estandarizar esta medida, se logra calcular con exactitud la F_h efectiva, permitiendo que la resistencia elástica se ajuste de forma individualizada a la antropometría de cada tenista. Sin el control de la altura del trocánter, no se podría replicar la intensidad de la intervención neuromuscular bajo el modelo geométrico propuesto, limitando la validez de la carga prescrita.

Los materiales utilizados son:

Para la aplicación de las resistencias/asistencias durante los ejercicios de fuerza y aceleración en pista, se empleará una banda elástica de la marca (Sanctband modelo Superloop / Kinta Meditech Sdn. Bhd., Perak, Malasia). del color violeta, la cual ofrece un rango de resistencia aproximado de 55 kg a 66,3 kg (correspondiente a una intensidad alta), en función del porcentaje de elongación aplicado en cada tarea. A fin de controlar las limitaciones mecánicas descritas en la literatura respecto a la fatiga y degradación del látex, se utilizará un lote de bandas completamente nuevo para el estudio y se monitorizará visualmente la

ausencia de microfisuras antes de cada sesión, garantizando así la reproducibilidad y la estandarización de las cargas aplicadas a todos los tenistas.

Para la cuantificación de la fuerza manifestada por los participantes y el control objetivo de las cargas aplicadas, se utilizará un dinamómetro digital de la marca VALD (dinamómetro digital de agarre; DynaMo Plus, China). Este dispositivo cuenta con un rango de medición de 0 a 100 kg y una precisión de 0,1kg (1N). El instrumento permitirá registrar picos de fuerza máxima y monitorizar la RFD durante los test isométricos/de tracción, enviando los datos en tiempo real mediante conexión inalámbrica al software de análisis. Para garantizar la validez de los registros a lo largo de toda la intervención, el dinamómetro será calibrado antes del inicio de cada sesión de recogida de datos siguiendo rigurosamente las especificaciones técnicas del fabricante.

Para la valoración de la capacidad de salto y la manifestación de la fuerza útil del tren inferior, se empleará una plataforma de contacto de la marca Chronojump Boscosystem (sistema Chronojump, plataforma de contacto para medición de saltos, Barcelona, España). El dispositivo estará conectado a un ordenador portátil (mediante un microcontrolador Chronopic con una precisión temporal de 1 milisegundo (1000 Hz). A través del software de código abierto Chronojump, se registrarán y calcularán variables clave como el tiempo de vuelo, el tiempo de contacto y la altura estimada del CM (centímetros) durante la ejecución de los test de CMJ y DJ. Asimismo, para aquellos saltos que involucren una caída previa, el sistema permitirá calcular el RSI, una variable determinante para analizar el comportamiento del SSC en los tenistas.

Para la medición precisa y objetiva de los tiempos de paso durante los test de velocidad y COD, se empleará un sistema de fotocélulas inalámbricas de la marca VALD Performance (modelo SmartSpeed Brisbane, Queensland, Australia). Este sistema de cronometraje utiliza tecnología de doble haz de luz infrarroja en cada puerta, una característica metodológica crítica que evita falsos registros provocados por el braceo o el balanceo involuntario de las extremidades superiores del tenista antes de que su tronco atraviese la línea. De esta manera, las puertas se colocarán a una altura estandarizada de aproximadamente de 0.8 / 1.0 metros sobre el suelo (coincidiendo con la altura de la cadera de los deportistas). El equipo

cuenta con una frecuencia de muestreo y resolución temporal de 1 milisegundo (1000 Hz), garantizando un margen de error mínimo y una alta fiabilidad inter e intra-sesión. Toda la información de los tiempos de sprint y de transición en los giros será enviada en tiempo real mediante una red inalámbrica protegida a un dispositivo móvil/tablet central que ejecuta la aplicación oficial del ecosistema VALD, permitiendo el almacenamiento inmediato de los datos en la nube para su posterior análisis estadístico.

La medición de la composición corporal se realizará mediante un analizador de bioimpedancia eléctrica multifrecuencia, utilizando un dispositivo de la marca Tanita (dispositivo de bioimpedancia multifrecuencia; modelo MC-980MA-N PLUS, Tokio, Japón). El deportista se colocará descalzo sobre la plataforma del equipo, asegurando el contacto adecuado con los electrodos plantares y manuales, manteniendo una postura erguida y estable durante el registro. El sistema emplea una corriente eléctrica de muy baja intensidad e imperceptible que atraviesa el cuerpo, registrando la oposición de los tejidos al paso de dicha corriente. A partir de estos datos, el equipo estima variables como masa grasa, masa muscular, agua corporal total y distribución segmental. Toda la información recogida es procesada automáticamente por el software del dispositivo y será transferida a plataformas digitales mediante conexión inalámbrica, permitiendo el almacenamiento, seguimiento longitudinal y análisis de la evolución de la composición corporal del deportista.

Se contará con un cinturón de sujeción, el cual se utilizará para la aplicación de resistencias externas controladas durante ejercicios de aceleración, desaceleración y COD. El dispositivo se ajusta firmemente a la zona de la cadera del deportista mediante un sistema de cierre regulable, asegurando la estabilidad y evitando desplazamientos durante la ejecución. El cinturón incorpora un punto de anclaje reforzado, al que se conecta un sistema de resistencia externa (elásticos, trineo o compañero), permitiendo aplicar fuerzas horizontales constantes o variables en función del objetivo del ejercicio. Este tipo de configuración facilita el trabajo específico de la fuerza aplicada en gestos deportivos, especialmente en acciones de sprint y COD. La utilización de este sistema permite cuantificar y estandarizar la carga aplicada en los ejercicios, favoreciendo la reproducibilidad de

las condiciones de entrenamiento y mejorando la transferencia al rendimiento deportivo. Asimismo, puede integrarse en protocolos de evaluación y entrenamiento, permitiendo el seguimiento de la evolución del deportista en situaciones de resistencia aplicada.

Por otro lado, se utilizarán conos y marcadores como elementos de señalización para establecer los puntos de referencia y los vértices de giro durante la ejecución de los test de COD y durante los ejercicios a realizar (salida lateral y *lunge*). El empleo de estos marcadores permite una demarcación precisa de las trayectorias y los ángulos de desplazamiento que los deportistas deben seguir, garantizando la estandarización del entorno experimental. Este control sobre la disposición espacial es fundamental para asegurar la replicabilidad de los protocolos evaluados y minimizar la variabilidad externa, permitiendo que cada ejecución se realice bajo condiciones espaciales idénticas para todos los participantes.

5.5. Intervención o procedimiento.

Previo al inicio de cada sesión experimental, todos los participantes realizaron un control mediante un cuestionario previo para monitorizar el estado de nutrición e hidratación de los participantes y evitar el consumo de cafeína, sustancias ergogénicas o cualquier fármaco que pudiera actuar como agente potenciador del rendimiento.

Una vez verificado el estado óptimo de los sujetos, se procedió a realizar un protocolo de activación neuromuscular estandarizado de 10 minutos de duración, diseñado para preparar las estructuras musculares y articulares ante las demandas de alta intensidad de la intervención y los test de agilidad. Dicho protocolo se estructuró de la siguiente manera:

- Fase de activación general: 5 minutos de carrera continua a intensidad ligera-moderada para el incremento de la temperatura periférica.
- Fase de movilidad dinámica: Ejecución de patrones de movimiento multiplanares y movilidad dinámica dirigidos a las principales articulaciones implicadas en el desplazamiento específico del tenis

(tobillo, rodilla y cadera).

- Fase de potenciación específica: Realización de 2 repeticiones submáximas de cada ejercicio incluido en la propuesta de intervención neuromuscular (salida lateral y lunge). Esta fase permitió a los deportistas familiarizarse con la resistencia elástica y asegurar el ajuste correcto de la carga según el modelo geométrico.

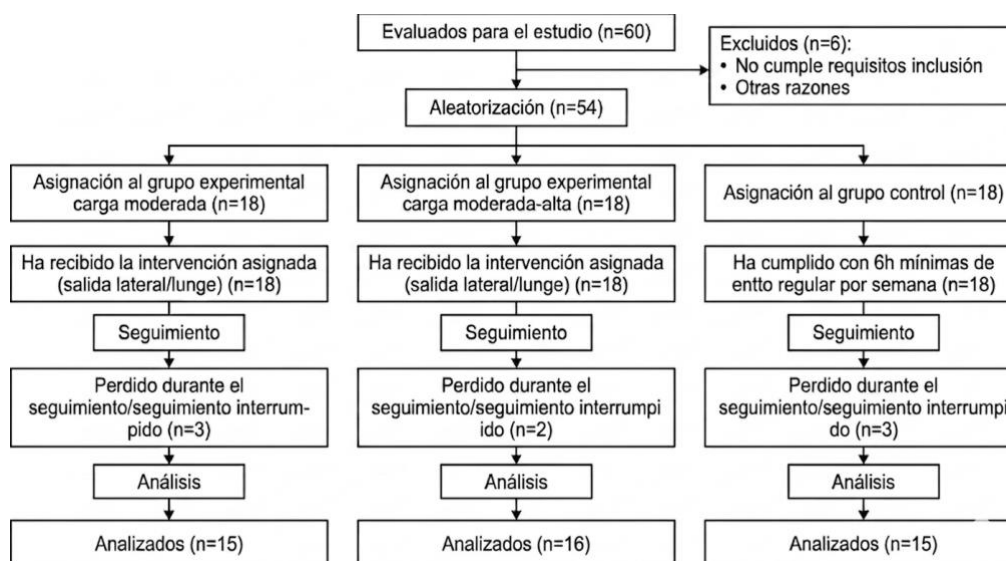
Este protocolo se desarrolló de manera idéntica en todas las sesiones con el fin de garantizar la estandarización de las condiciones de partida y minimizar la variabilidad externa antes de la ejecución de los procedimientos principales y la recogida de datos.

En cuanto a la dinámica de la intervención, se ejecutaron 10-12 repeticiones por cada lado (comenzando siempre por la pierna dominante) a máxima velocidad. En este caso, la carga se ajustó mediante el modelo geométrico de F_h efectiva, utilizando la resistencia elástica validada individualmente con el dinamómetro VALD. La premisa técnica consistió en ejecutar la fase propulsiva a la máxima velocidad intencional, asegurando que el vector de fuerza se mantuviera alineado con el trocánter mayor.

Para garantizar la estandarización, los participantes debieron ajustarse estrictamente a las marcas espaciales señaladas en pista, minimizando así la variabilidad en los ángulos de salida y asegurando que la magnitud de la carga elástica fuera concordante con la prescrita para su grupo de intervención (10-20% BW o 30-40% BW).

Figura 1

Diagrama de participación



Nota: Elaboración propia

5.6. Variables. Frecuencia y tiempo de toma de datos.

Siguiendo criterios metodológicos de alta validez externa (basados en las recomendaciones para el control de la fatiga en deportistas de raqueta), todas las evaluaciones se programaron en la primera sesión del microciclo semanal. Se garantizó un periodo de recuperación mínimo de 48 horas tras la última competición o sesión de alta intensidad, manteniendo la misma franja horaria para mitigar la influencia de los ritmos circadianos en el rendimiento neuromuscular.

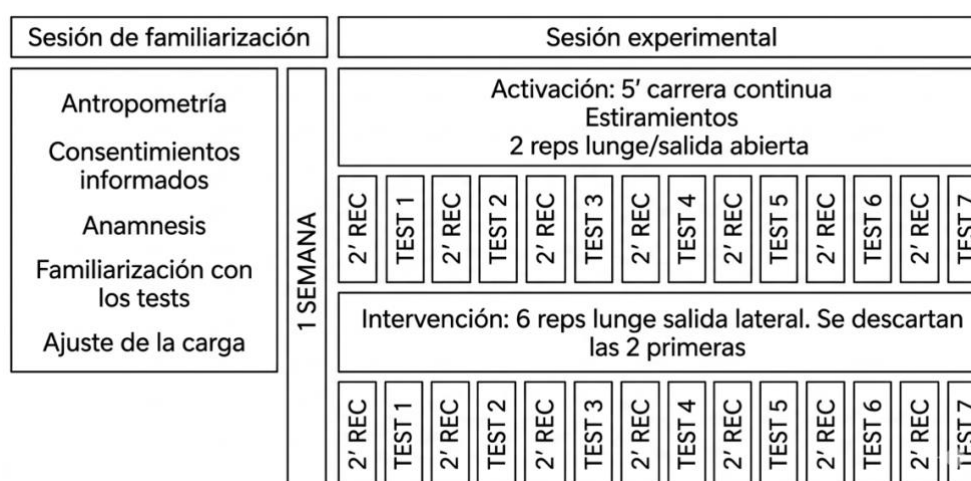
El protocolo experimental para la recogida de datos y aplicación de la intervención neuromuscular se estructuró de la siguiente manera:

1. Protocolo de Activación: Ejecución de la activación neuromuscular estandarizada (descrito en el apartado anterior).
2. Periodo de Transición: Descanso de 2 minutos.
3. Evaluación (Pre-test): Realización de los test de rendimiento de forma aleatorizada para evitar efectos de aprendizaje o fatiga acumulada, con intervalos de 2 minutos entre un test y otro.
4. Periodo de Recuperación: Descanso de 2 minutos.

5. Intervención de lunge o salida lateral: Aplicación del protocolo de resistencia elástica (salida lateral o lunge) de manera aleatoria teniendo en cuenta el grupo de asignación de la carga (carga baja o alta).
6. Periodo de Transición: Descanso pasivo de 2 minutos.
7. Evaluación Post-intervención: Re-evaluación de los test de rendimiento siguiendo el mismo orden aleatorizado y manteniendo el descanso de 2 minutos entre un test y otro.

Figura 2

Representación esquemática del procedimiento del estudio



Nota. Elaboración propia

5.7 Análisis de datos

El tratamiento estadístico de los datos se llevará a cabo mediante el software SPSS (v.28.0, IBM Corp., Chicago, Illinois, Estados Unidos). Los datos serán analizados siguiendo un diseño de medidas repetidas, considerando el factor tiempo (pre vs. post) y el factor grupo (control vs. experimental), así como la posible interacción entre ambos factores.

Inicialmente, se comprobará la normalidad de las variables dependientes mediante la prueba de Shapiro-Wilk, así como la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Para analizar los efectos de la intervención, se aplicará un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. En caso de

observarse efectos significativos ($p < 0,05$), se realizarán comparaciones post hoc con corrección de Bonferroni para identificar diferencias específicas entre condiciones.

Además, se calculará el tamaño del efecto mediante el estadístico eta parcial cuadrado (η^2p) para el ANOVA y el tamaño del efecto de Cohen (d) para las comparaciones pareadas. Los tamaños del efecto se interpretarán según los puntos de corte convencionales: pequeño ($d = 0,2$), moderado ($d = 0,5$) y grande ($d \geq 0,8$).

Los resultados se reportarán como media $\pm$ desviación estándar (DE), estableciendo el nivel de significación estadística en $p < 0,05$. Por último, el tamaño muestral será estimado mediante el software G*Power (v.3.3.1), asumiendo un error $\alpha = 0,05$ y un error $\beta = 0,2$.

5.7. Equipo Investigador.

El equipo investigador estará formado por:

- Kevin Cruz Betancort. Graduado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y Profesor de la Universidad Europea de Canarias.
- Alejandra Delgado Vera. Estudiante de cuarto curso del grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.
- Adrián Rosales Darías. Estudiante de cuarto curso del grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

6. Viabilidad del estudio.

La viabilidad de este estudio se sustenta en un análisis detallado de diversos factores que aseguran su correcta implementación y la obtención de resultados válidos y relevantes para el ámbito del rendimiento deportivo en el tenis.

De esta manera, la investigación cuenta inicialmente con 60 tenistas de entre 15 y 18 años, de los cuales, tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, finalmente se cuenta con una muestra final de 46 participantes a analizar para evaluar los efectos de la intervención. Este grupo ha sido seleccionado por su nivel competitivo y su compromiso con el entrenamiento regular, lo que proporciona una muestra adecuada para evaluar los efectos del protocolo propuesto. Además, la accesibilidad se ve favorecida porque el equipo investigador forma parte del entorno académico y deportivo del club, facilitando la propuesta sin intermediarios críticos.

En cuanto al seguimiento del protocolo, se utilizará la asistencia a las sesiones de entrenamiento como factor clave, ya que los sujetos deberán acudir a las sesiones programadas bajo la supervisión directa del equipo investigador, permitiendo un monitoreo continuo del cumplimiento. Por otro lado, se ha establecido un criterio de exclusión que elimina del análisis a aquellos deportistas que no completen al menos el 80% de las sesiones programadas, garantizando la consistencia y la calidad de los datos recopilados.

El estudio empleará un sistema tecnológico avanzado que incluye un sistema de fotocélulas SmartSpeed de VALD Performance, una plataforma de contacto Chronojump y un dinamómetro digital VALD. Las fotocélulas permiten registros precisos de velocidad y COD, mientras que el dinamómetro valida individualmente la tensión de las bandas elásticas Sanctband, esencial para aplicar el modelo geométrico de Fh. Estos dispositivos son accesibles para el equipo investigador y su carácter portátil facilita la integración en la pista de tenis sin limitaciones logísticas, asegurando la continuidad del estudio.

Las sesiones están a cargo de un equipo de investigadores titulados como graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, con formación específica en preparación física y manejo de tecnología de alta precisión. Cuentan con conocimientos en el modelo geométrico de cuantificación de carga y en la

ejecución técnica de desplazamientos específicos como la salida lateral y el lunge. Esta capacitación garantiza la seguridad de los participantes y minimiza errores metodológicos en la toma de datos.

Una de las ventajas principales es que el protocolo se ha diseñado para que sea accesible y sencillo a la hora de llevarlo a cabo, de tal manera que se integre perfectamente en el calendario habitual de entrenamientos durante 8 semanas (2 sesiones/semana). Esta planificación respeta la carga de trabajo de los tenistas, evitando interferencias con las demandas competitivas y permitiendo una recuperación adecuada entre estímulos.

Para gestionar los riesgos, se han definido criterios de inclusión que excluyen a jugadores con lesiones musculoesqueléticas en los últimos 3 meses. Asimismo, las dos primeras semanas se dedicarán exclusivamente a la familiarización con los ejercicios y los test, disminuyendo el riesgo de lesiones derivadas de una técnica inadecuada y reduciendo el efecto de aprendizaje en las pruebas.

La calidad metodológica se sustenta en el diseño de un estudio controlado aleatorizado con tres grupos paralelos y el uso de pruebas validadas como el Spider Test, CMJ, DJ y Sprints de 5, 10 y 20 metros. La precisión de las mediciones obtenidas con tecnología de 1000 Hz (VALD y Chronojump) contribuye a la fiabilidad y consistencia del análisis estadístico.

Por otro lado, esta propuesta presenta una serie de limitaciones que deben considerarse, como por ejemplo que el tamaño de la muestra es reducido. Además, el comportamiento mecánico de las bandas elásticas podría ser un limitante, ya que tienden a la fatiga del material tras múltiples elongaciones. A pesar de que se intenta normalizar la ejecución con marcas en el suelo y el ajuste por la altura del trocánter mayor, la variabilidad individual en la técnica de desplazamiento en un entorno de pista sigue siendo un factor difícil de estandarizar totalmente. Finalmente, la falta de un control exhaustivo sobre la carga externa total de los jugadores fuera de la intervención (partidos o torneos adicionales) representa una limitación para la validez interna absoluta.

Somos plenamente conscientes de las limitaciones intrínsecas del presente

trabajo, derivadas, en gran medida, de la complejidad mecánica del material elástico y su consiguiente dificultad de cuantificación precisa. No obstante, se considera que este enfoque pionero constituye un avance notorio en el ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, al ofrecer una estrategia de gran valor para la monitorización de la carga de la resistencia variable. Esta aportación contribuye significativamente al desarrollo de futuros estudios y al avance de la ciencia en cuanto a la individualización de la carga de entrenamiento, consolidando una herramienta con gran potencial para la optimización del rendimiento.

7. Conclusiones

El presente Trabajo Fin de Grado se ha desarrollado con el propósito de analizar, a través de un diseño experimental tipo ECA, los efectos de una intervención neuromuscular, aplicados mediante entrenamientos resistidos con elásticos, sobre la agilidad, la potencia muscular y el rendimiento específico en tenistas juveniles. La propuesta metodológica parte del principio de que la aplicación de estímulos resistidos con bandas elásticas, orientados a generar adaptaciones neuromusculares específicas, requiere de una cuantificación precisa de la carga. Para ello, se fundamenta en el uso del modelo geométrico como herramienta validada para determinar la tensión exacta de la banda durante los gestos deportivos.

El estudio plantea una comparación entre diferentes niveles de carga (baja y alta) aplicados mediante las bandas elásticas, con el objetivo de determinar su influencia sobre variables clave del rendimiento. Esta comparación se fundamenta en la necesidad de individualizar el estímulo para maximizar las adaptaciones y favorecer una mejora en factores determinantes como la capacidad excéntrica, la eficiencia del SSC y la RFD, todos ellos críticos para la ejecución eficaz del COD en el contexto específico del tenis.

El análisis de la agilidad y el COD resulta especialmente relevante al tratarse de una acción determinante en un deporte como el tenis, caracterizado por multitud de desplazamientos breves y explosivos en respuesta a estímulos externos. Una correcta optimización de estas capacidades no solo influye directamente en la eficacia del juego, permitiendo llegar antes y en mejor posición al golpeo, sino que también juega un papel clave sobre la reducción del riesgo lesional al mejorar la eficiencia mecánica en los gestos de frenado y reorientación del movimiento.

Este estudio se enmarca dentro de una línea de investigación aplicada e innovadora que busca dar solución a la problemática histórica de la cuantificación de la carga con material elástico. A través del diseño de una intervención neuromuscular, se pretende aportar evidencia sobre una estrategia de entrenamiento que destaca por ser rigurosa, contextualizada y fácilmente integrable en la práctica habitual de las escuelas de tenis.

Aunque el presente documento no incluye resultados experimentales, la estructura metodológica propuesta y la fundamentación teórica ofrecen una base sólida para futuras investigaciones que deseen explorar la transferencia real de este tipo de cargas individualizadas al rendimiento deportivo específico en jóvenes atletas. Además, contribuye al avance del conocimiento aplicado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, orientando nuevas estrategias de intervención basadas en la optimización de la fuerza y la potencia en etapas de formación mediante herramientas accesibles y eficientes.

8. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En cuanto a la contribución a los ODS, el número 3 de la Agenda 2030, “Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades”, encuentra en el ámbito del entrenamiento deportivo una vía directa de aplicación mediante el desarrollo de estrategias eficaces, seguras y basadas en evidencia científica que optimicen tanto el rendimiento como la salud de los deportistas. En este sentido, la implementación de programas de entrenamiento neuromuscular se presenta como una herramienta innovadora con importantes implicaciones en el bienestar físico de jóvenes tenistas.

El entrenamiento neuromuscular, entendido como la integración de estímulos de fuerza, coordinación y control motor, ha demostrado ser eficaz para mejorar variables clave como la potencia del tren inferior, la RFD y la eficiencia en el COD, capacidades determinantes en deportes intermitentes como el tenis (Sinkovic et al., 2023). La aplicación de estos estímulos dentro de la sesión habitual permite generar adaptaciones significativas con un bajo coste metabólico, favoreciendo la sostenibilidad del entrenamiento en contextos de alta carga competitiva (Wang et al., 2022).

Desde una perspectiva preventiva, la mejora de la capacidad excéntrica, la eficiencia del SSC y el control neuromuscular contribuyen a optimizar la mecánica del movimiento, reduciendo el tiempo de contacto con el suelo y mejorando la capacidad de desaceleración, factores directamente relacionados con una menor incidencia lesiva en acciones de alta intensidad (Hübscher et al., 2010). En el tenis juvenil, donde los procesos de crecimiento y maduración pueden afectar la coordinación y la estabilidad articular, este tipo de intervenciones adquiere especial relevancia para garantizar un desarrollo físico seguro y equilibrado (Fernandez-Fernandez et al., 2023).

Además, la propuesta de un modelo de cuantificación de la carga mediante bandas elásticas permite individualizar el estímulo de entrenamiento en función de las características antropométricas y neuromusculares del deportista, mejorando la precisión en la prescripción y reduciendo el riesgo asociado a cargas inadecuadas. Este enfoque no solo optimiza el rendimiento, sino que también contribuye a una

práctica deportiva más segura, eficiente y adaptada a las necesidades individuales (Wang et al., 2022).

Desde una perspectiva más sostenible, la utilización de intervenciones breves, específicas y de bajo coste material facilita su implementación en contextos reales de entrenamiento, promoviendo hábitos de actividad física de calidad accesibles y transferibles a diferentes niveles de práctica. En consecuencia, este trabajo contribuye al ODS 3 al integrar ciencia, salud y rendimiento en un modelo de entrenamiento que favorece el bienestar físico, la prevención de lesiones y el desarrollo deportivo a largo plazo en población juvenil (Wang et al., 2022).

9. Referencias bibliográficas.

- Andersen, L. L., Andersen, C. H., Mortensen, O. S., Poulsen, O. M., Bjørnlund, I. B. T., & Zebis, M. K. (2010). Muscle Activation and Perceived Loading During Rehabilitation Exercises: Comparison of Dumbbells and Elastic Resistance. *Physical Therapy*, 90(4), 538-549. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090167>
- Anderson, C. E., Sforzo, G. A., & Sigg, J. A. (2008). The Effects of Combining Elastic and Free Weight Resistance on Strength and Power in Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 567-574. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181634d1e>
- Androulakis-Korakakis, P., Fisher, J. P., & Steele, J. (2020). The Minimum Effective Training Dose Required to Increase 1RM Strength in Resistance-Trained Men: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 50(4), 751-765. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01236-0>
- Behm, D. G., Granacher, U., Warneke, K., Aragão-Santos, J. C., Da Silva-Grigoletto, M. E., & Konrad, A. (2024). Minimalist Training: Is Lower Dosage or Intensity Resistance Training Effective to Improve Physical Fitness? A Narrative Review. *Sports Medicine*, 54(2), 289-302. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01949-3>
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(2), 273-282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Colado, J. C., & Triplett, N. T. (2008). Effects of a Short-Term Resistance Program Using Elastic Bands Versus Weight Machines for Sedentary Middle-Aged Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1441-1448. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817ae67a>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2018). The Effect of Angle and Velocity on Change of Direction Biomechanics: An Angle-Velocity Trade-Off. *Sports Medicine*, 48(10), 2235-2253. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0968-3>

- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019). Role of the Penultimate Foot Contact During Change of Direction: Implications on Performance and Risk of Injury. *Strength & Conditioning Journal*, 41(1), 87-104. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000395>
- Fernandez-Fernandez, J., Canós-Portalés, J., Martínez-Gallego, R., Corbi, F., & Baiget, E. (2023). Effects of different maturity status on change of direction performance of youth tennis players. *Biology of Sport*, 40(3), 867-876. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.121324>
- Fernandez-Fernandez, J., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2014). Fitness testing of tennis players: How valuable is it? *British Journal of Sports Medicine*, 48(Suppl 1), i22-i31. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093152>
- Ferrauti, A., Kinner, V., & Fernandez-Fernandez, J. (2011). The Hit & Turn Tennis Test: An acoustically controlled endurance test for tennis players. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 485-494. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.539247>
- Girard, O., & Millet, G. P. (2009). Physical Determinants of Tennis Performance in Competitive Teenage Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1867-1872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3df89>
- Google. (2026). Gemini [Modelo de inteligencia artificial generativa]. <https://gemini.google.com>
- Haff, G. G., & Nimphius, S. (2012). Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34(6), 2-12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31826db467>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Wagner, H., C Pagaduan, J., Hill, L., T Nikolaidis, P., Knechtle, B., & Souhaïel Chelly, M. (2022). Effects of strength training with elastic band programme on fitness components in young female handball players: a randomized controlled trial. *Biology of Sport*, 39(3), 537-545. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.106390>

- Hernández-Abad, F. (2022). Variable Resistance Training Methods. En A. Muñoz-López, R. Taiar, & B. Sañudo (Eds.), *Resistance Training Methods* (pp. 137-149). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81989-7_8
- Huggins, J. (2017). Within - and between - Session Reliability of the Spider Drill Test to Assess Change of Direction Speed in Youth Tennis Athletes. *International Journal of Sports and Exercise Medicine*, 3(5). <https://doi.org/10.23937/2469-5718/1510074>
- Kovacs, M. S. (2007). Tennis Physiology: Training the Competitive Athlete. *Sports Medicine*, 37(3), 189-198. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737030-00001>
- Krause, M., Crognale, D., Cogan, K., Contarelli, S., Egan, B., Newsholme, P., & De Vito, G. (2019). The effects of a combined bodyweight-based and elastic bands resistance training, with or without protein supplementation, on muscle mass, signaling and heat shock response in healthy older people. *Experimental Gerontology*, 115, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.12.004>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Radnor, J. M., Rhodes, B. C., Faigenbaum, A. D., & Myer, G. D. (2015). Relationships between functional movement screen scores, maturation and physical performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 33(1), 11-19. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.918642>
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of strength and conditioning research*, 18(3), 551-555. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
- Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-Musculoskeletal and Performance Adaptations to Lower-Extremity Plyometric Training: *Sports Medicine*, 40(10), 859-895. <https://doi.org/10.2165/11318370-000000000-00000>
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., & De Paz, J. A. (2017). Functional and

Muscle-Size Effects of Flywheel Resistance Training with Eccentric-Overload in Professional Handball Players. *Journal of Human Kinetics*, 60(1), 133-143.
<https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0096>

Martín, F. (*in press*). "Desarrollo y validación de criterio de un modelo geométrico de campo para estimar la resistencia horizontal externa efectiva durante salidas laterales con resistencia elástica". *Journal of Strength and Conditioning Research*.

Mcmaster, D. T., Cronin, J., & McGuigan, M. R. (2010). Quantification of Rubber and Chain-Based Resistance Modes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2056-2064.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181dc4200>

Morral-Yepes, M., Gonzalo-Skok, O., Dos´Santos, T., & Moras Feliu, G. (2023). Are change of direction speed and agility different abilities from time and coordinative perspectives? *PLOS ONE*, 18(12), e0295405.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405>

Nedergaard, N. J., Kersting, U., & Lake, M. (2014). Using accelerometry to quantify deceleration during a high-intensity soccer turning manoeuvre. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1897-1905.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2014.965190>

Nimphius, S., Callaghan, S. J., Spiteri, T., & Lockie, R. G. (2016). Change of Direction Deficit: A More Isolated Measure of Change of Direction Performance Than Total 505 Time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(11), 3024-3032.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001421>

Page, P., & Ellenbecker, T. S. (2003). *The Scientific and Clinical Application of Elastic Resistance. Human Kinetics*.

Pauole, K., Madole, K., Garhammer, J., Lacourse, M., & Rozenek, R. (s. f.). *Reliability and Validity of the T-Test as a Measure of Agility, Leg Power, and Leg Speed in College-Aged Men and Women*.

- Perniola, M., Lisi, R., & Dimauro, A. (2025). Plyometric Training in Tennis: A Narrative Review on Power, Agility, and Change of Direction Performance. *International Journal of Racket Sports Science*, 7(2), 30-41. <https://doi.org/10.30827/ijrss.33384>
- Ramírez-Campillo, R., Vergara-Pedrerros, M., Henríquez-Olguín, C., Martínez-Salazar, C., Alvarez, C., Nakamura, F. Y., De La Fuente, C. I., Caniuqueo, A., Alonso-Martinez, A. M., & Izquierdo, M. (2016). Effects of plyometric training on maximal-intensity exercise and endurance in male and female soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 34(8), 687-693. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1068439>
- Seiberl, W., Hahn, D., Power, G. A., Fletcher, J. R., & Siebert, T. (2021). Editorial: The Stretch-Shortening Cycle of Active Muscle and Muscle-Tendon Complex: What, Why and How It Increases Muscle Performance? *Frontiers in Physiology*, 12, 693141. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.693141>
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919-932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Sinclair, J., Edmundson, C. J., Metcalfe, J., Bottoms, L., Atkins, S., & Bentley, I. (2021). The Effects of Sprint vs. Resisted Sled-Based Training; an 8-Week in-Season Randomized Control Intervention in Elite Rugby League Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9241. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179241>
- Sinkovic, F., Novak, D., Foretic, N., Kim, J., & Subramanian, S. V. (2023). The plyometric treatment effects on change of direction speed and reactive agility in young tennis players: a randomized controlled trial. *Frontiers in Physiology*, 14, 1226831. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1226831>
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and Metabolic Responses of Repeated-Sprint Activities: Specific to Field-Based Team Sports. *Sports Medicine*, 35(12), 1025-1044. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535120-00003>

- Spiering, B. A., Mujika, I., Sharp, M. A., & Foulis, S. A. (2021). Maintaining Physical Performance: The Minimal Dose of Exercise Needed to Preserve Endurance and Strength Over Time. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(5), 1449-1458. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003964>
- Spiteri, T., Nimphius, S., Hart, N. H., Specos, C., Sheppard, J. M., & Newton, R. U. (2014). Contribution of Strength Characteristics to Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2415-2423. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000547>
- Steele, J., Fisher, J. P., Giessing, J., Androulakis-Korakakis, P., Wolf, M., Kroeske, B., & Reuters, R. (2023). Long-Term Time-Course of Strength Adaptation to Minimal Dose Resistance Training Through Retrospective Longitudinal Growth Modeling. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 94(4), 913-930. <https://doi.org/10.1080/02701367.2022.2070592>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & 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>
- The scientific and clinical application of elastic resistance*. (2003). Champaign, IL : Human Kinetics. http://archive.org/details/scientificclinic0000unse_y1k6
- Thomas, E., Bianco, A., Mancuso, E. P., Patti, A., Tabacchi, G., Paoli, A., Messina, G., & Palma, A. (2017). The effects of a calisthenics training intervention on posture, strength and body composition. *Isokinetics and Exercise Science*, 25(3), 215-222. <https://doi.org/10.3233/IES-170001>
- Treiber, F. A., Lott, J., Duncan, J., Slavens, G., & Davis, H. (1998). Effects of Theraband and Lightweight Dumbbell Training on Shoulder Rotation Torque and Serve Performance in College Tennis Players. *The American Journal of Sports Medicine*, 26(4), 510-515. <https://doi.org/10.1177/03635465980260040601>
- Uchida, M. C., Nishida, M. M., Sampaio, R. A. C., Moritani, T., & Arai, H. (2016). Thera-band® elastic band tension: reference values for physical activity.

Journal of Physical Therapy Science, 28(4), 1266-1271.

<https://doi.org/10.1589/jpts.28.1266>

Valdés-Badilla, P., Guzmán-Muñoz, E., Hernandez-Martinez, J., Núñez-Espinosa, C., Delgado-Floody, P., Herrera-Valenzuela, T., Branco, B. H. M., Zapata-Bastias, J., & Nobari, H. (2023). Effectiveness of elastic band training and group-based dance on physical-functional performance in older women with sarcopenia: a pilot study. *BMC Public Health*, 23(1), 2113.

<https://doi.org/10.1186/s12889-023-17014-7>

Wang, Z.-H., Pan, R.-C., Huang, M.-R., & Wang, D. (2022). Effects of Integrative Neuromuscular Training Combined With Regular Tennis Training Program on Sprint and Change of Direction of Children. *Frontiers in Physiology*, 13, 831248. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.831248>

Zhou, Z., Wang, J., Wang, H., Ru, G., & Kong, F. (2025). A study of female tennis players: Speedcourt training is effective on improving agility and change-of-direction. *PeerJ*, 13, e19339. <https://doi.org/10.7717/peerj.19339>

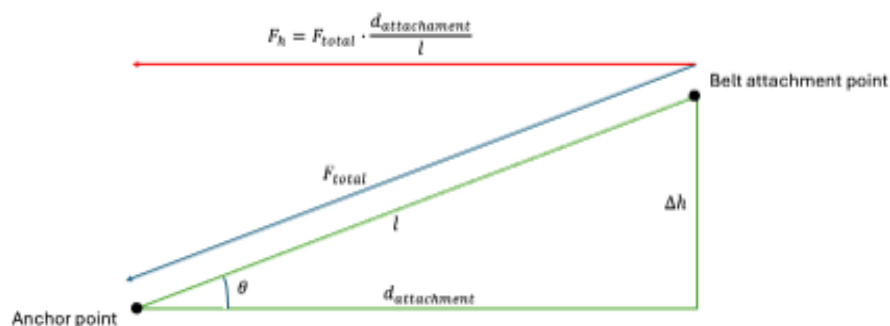
Zhou, Z., Xin, C., Zhao, Y., & Wu, H. (2024). The effect of multi-directional sprint training on change-of-direction speed and reactive agility of collegiate tennis players. *PeerJ*, 12, e18263. <https://doi.org/10.7717/peerj.18263>

10. Anexos.

Anexo 1: Explicación Gráfica del Modelo Geométrico

Figura 3

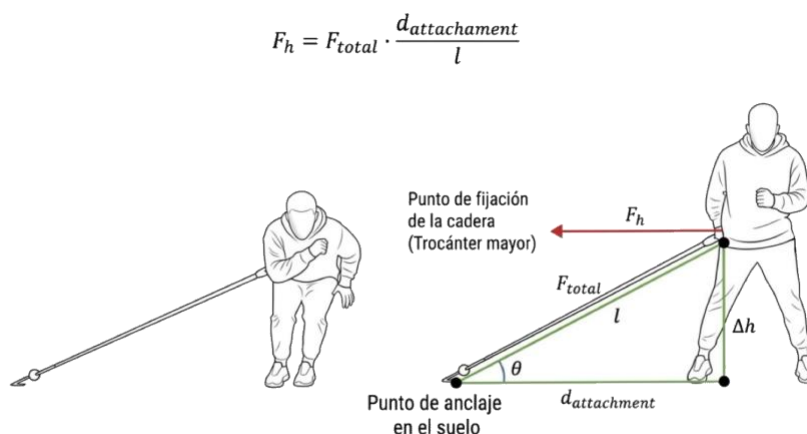
Explica con gráfica del modelo geométrico



Nota. Elaboración propia

Figura 4

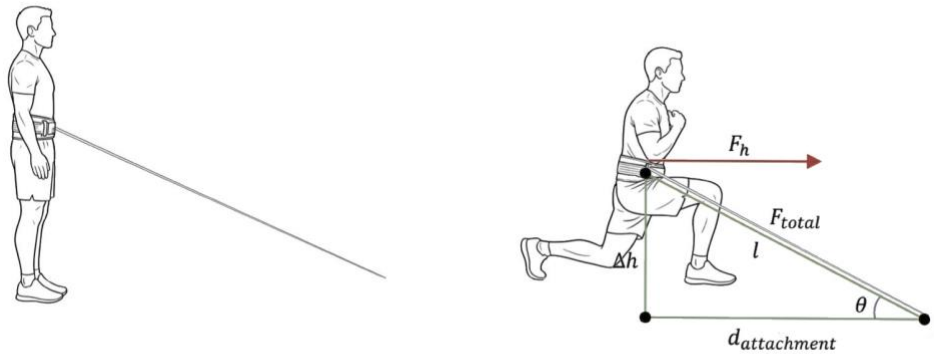
Aplicación del modelo geométrico en la salida lateral



Nota. Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial Gemini (Google, 2026) a partir de directrices propias.

Figura 5

Aplicación del modelo geométrico en el lunge



Nota. Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial Gemini (Google, 2026) a partir de directrices propias.

Anexo 2: Consentimiento informado para la participación de menores en un estudio de investigación y la hoja de información para los sujetos

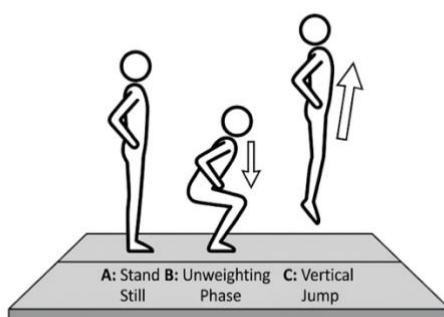
[CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN DE MENORES EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN.pdf](#)

[HOJA DE INFORMACIÓN PARA LOS SUJETOS.pdf](#)

Anexo 3: Protocolo de los Test de Evaluación

Figura 6

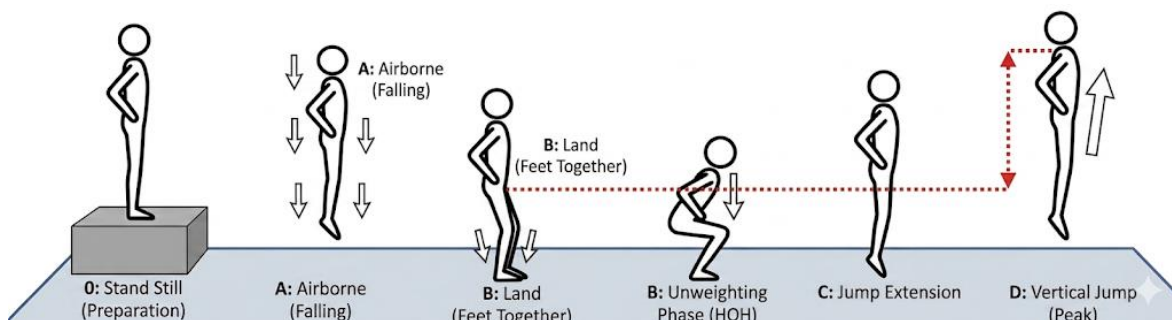
Protocolo del test CMJ



Nota. Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial Gemini (Google, 2026) a partir de directrices propias.

Figura 7

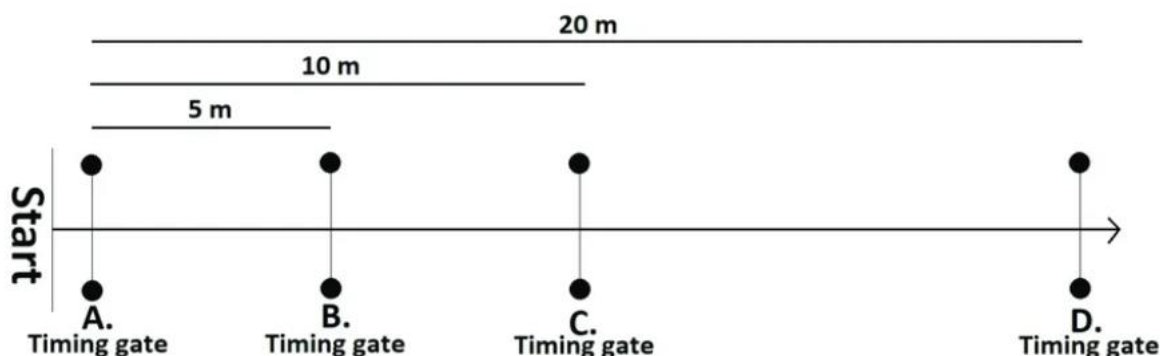
Protocolo del test DJ



Nota. Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial Gemini (Google, 2026) a partir de directrices propias.

Figura 8

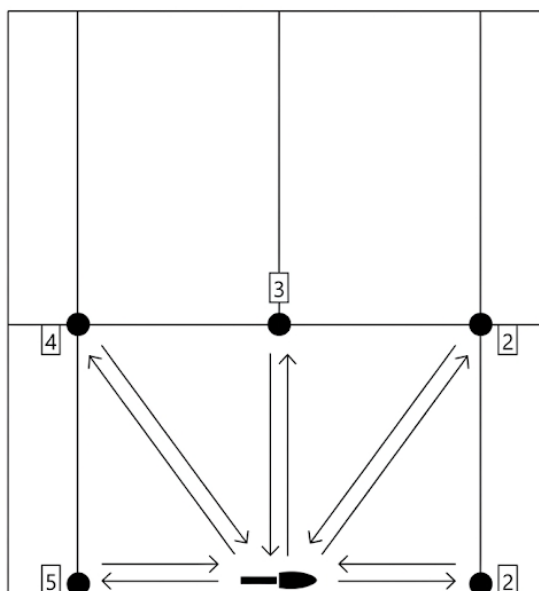
Protocolo del test de velocidad de 5, 10 y 20 m.



Nota. Adaptado de "The Effects of Sprint vs. Resisted Sled-Based Training; an 8-Week in-Season Randomized Control Intervention in Elite Rugby League Players", por J. Sinclair et al., 2021, International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(17), p.6. CC BY 4.0.

Figura 9

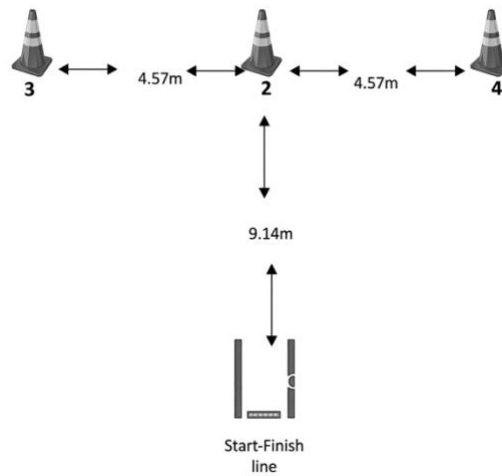
Protocolo del Spider Drill Test



Nota. Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial Gemini (Google, 2026) a partir de directrices propias.

Figura 10

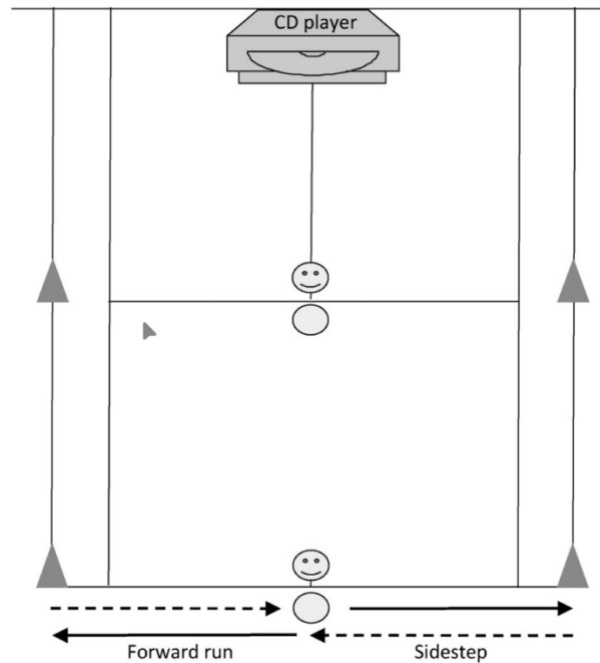
Protocolo del T-test



Nota. Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial Gemini (Google, 2026) a partir de directrices propias.

Figura 11

Protocolo del Hit & Turn Tennis Test



Nota. Adaptado de "*The Hit & Turn Tennis Test: an acoustically controlled endurance test for tennis players*", por A. Ferrauti et al., 2011, Journal of Sports Sciences, 29(5), p.4.