

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA ZANCADA Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DEL DESPLAZAMIENTO EN PATINADORES DE VELOCIDAD DE LA SELECCIÓN BOYACÁ.

Robert Danilo Pineda Quiroga – Julián Camilo Triana Quijano

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

Tutor de investigación, Lyda Fabiola Vallejo Castillo

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

Maestría en Entrenamiento deportivo y actividad física

TESIS DE PORGRADO

Resumen

El estudio tuvo como propósito analizar la relación entre la cadencia y la amplitud de la zancada, así como su incidencia en la eficiencia del desplazamiento de patinadores de la modalidad de velocidad de la Selección Boyacá, mediante un análisis biomecánico del gesto técnico durante el desplazamiento en recta. Metodológicamente, el estudio se enmarcó en un enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo-correlacional de corte transversal de grupo único, en el que participaron 13 deportistas de las categorías prejuvenil, juvenil y mayores, con trayectoria competitiva en eventos de carácter nacional.



Para la recolección de datos se utilizaron herramientas tecnológicas como cámaras de alta velocidad, el software Kinovea y dispositivos GPS, permitiendo analizar variables cinemáticas y dinámicas como longitud y frecuencia de zancada, tiempos de apoyo y vuelo, ángulos articulares, velocidad, aceleración y potencia.

Los datos obtenidos a partir del análisis del gesto técnico de la zancada fueron organizados, procesados y analizados mediante el software IBM SPSS Statistics versión 30.0.0. Tras realizar el procesamiento estadístico y la evaluación detallada de la información recolectada, los resultados evidenciaron que la longitud de zancada presentó una correlación positiva moderada con la velocidad y la potencia, así como una correlación negativa con el tiempo empleado en la prueba de 200 metros, lo que sugiere que una mayor amplitud de zancada el rendimiento deportivo. En contraste, la frecuencia de zancada mostró correlaciones débiles e incluso negativas con los indicadores de eficiencia, lo que indica que un incremento excesivo de la cadencia no necesariamente se traduce en un mejor desempeño. De igual manera, el tiempo de apoyo evidenció una relación positiva con el rendimiento, resaltando su relevancia en la generación y transferencia de fuerza durante el desplazamiento.

Los resultados permitieron identificar diferentes perfiles biomecánicos entre los deportistas evaluados, evidenciando que algunos fundamentan su desempeño en una mayor amplitud de zancada, mientras que otros lo hacen en una mayor frecuencia de ejecución. Estos hallazgos confirman que la eficiencia del gesto técnico está determinada por la interacción de variables mecánicas y fisiológicas propias de cada atleta. Asimismo, la potencia se consolidó como un factor determinante del rendimiento deportivo, al evidenciar una asociación positiva con el incremento de la velocidad.



En conclusión, el estudio confirma la existencia de una relación significativa entre la cadencia, la amplitud de la zancada y la eficiencia del desplazamiento, resaltando la importancia de mantener un equilibrio óptimo entre estas variables para el rendimiento en el patinaje de velocidad. Los hallazgos obtenidos aportan evidencia científica relevante que puede orientar la optimización de los procesos de entrenamiento, el perfeccionamiento técnico y la individualización de las estrategias de preparación deportiva.

Palabras clave

Análisis biomecánico, Patinaje de velocidad, eficiencia.

Introducción

El patinaje de velocidad es una disciplina de alta exigencia que demanda un equilibrio preciso entre habilidades técnicas y capacidades físicas para optimizar el desempeño de los atletas (Winter, 2009; Houdijk, de Koning, & Bobbert, 2000). Entre los aspectos técnicos fundamentales, la zancada juega un papel determinante en la eficiencia del desplazamiento, especialmente en trayectorias rectas (van Ingen Schenau, 1982). La biomecánica, a través de su enfoque analítico, permite identificar patrones de movimiento óptimos y detectar deficiencias técnicas, proporcionando una base científica para la mejora del rendimiento deportivo (Enoka, 2015; Knudson, 2013).

La comprensión profunda de los movimientos de los patinadores mediante el análisis biomecánico no solo contribuye a la mejora de la eficiencia del desplazamiento, sino que también ayuda a minimizar el riesgo de lesiones (De Boer, de Groot, & van Ingen Schenau, 2017; Noakes,



2003). Al evaluar la técnica de zancada en la Selección Boyacá, se busco generar datos empíricos que sirven como base para optimizar los procesos de enseñanza y entrenamiento (Lees, 2002). Además, la eficiencia del rendimiento no depende únicamente del gesto técnico, sino también del equilibrio entre la producción de fuerza, la estabilidad corporal y la economía del movimiento factores fisiológicos y energéticos que interactúan directamente con la biomecánica del patinador (Foster, Thompson & Snyder, n.d.; Wu, Cardoso, Pyne, Goethel & Fernandes, 2025).

La relevancia de esta investigación radica en la necesidad de mejorar científicamente los métodos de entrenamiento en el patinaje de velocidad. Tradicionalmente, entrenadores y deportistas han confiado en la observación y la experiencia empírica para ajustar la técnica (Bartlett, 2007). No obstante, la integración de herramientas biomecánicas como Kinovea posibilita un análisis cuantificable y detallado de los movimientos, facilitando la toma de decisiones informadas en la planificación deportiva (Knudson, 2013; Peeters, Pires, & Lenoir, 2019).

La aplicación de herramientas tecnológicas avanzadas, como el software Kinovea (Peeters et al., 2019), facilitará la recopilación y el análisis detallado de datos, permitiendo una evaluación objetiva de la zancada. El análisis detallado de ángulos articulares, fases del gesto, fuerzas y frecuencia y longitud de zancada permitirá establecer un modelo biomecánico que optimice el desempeño deportivo de los patinadores (Neptune & Hull, 1999); que permita evaluar la cadencia y la amplitud de la zancada en la eficiencia del desplazamiento

Adicionalmente, los hallazgos contribuirán al diseño de intervenciones individuales de la técnica adaptadas a las características de cada patinador. A pesar del avance tecnológico y científico en el análisis del patinaje de velocidad, en Colombia y particularmente en el departamento de Boyacá



no existen estudios sistemáticos que documenten la relación entre la cadencia, la amplitud de la zancada y la eficiencia del desplazamiento, lo cual justifica la necesidad de esta investigación.

Planteamiento del problema

El patinaje de velocidad es una disciplina en la que la eficiencia del desplazamiento depende de múltiples factores biomecánicos, entre los que se destacan la cadencia y la amplitud de la zancada. En el contexto del alto rendimiento, pequeñas variaciones en estos parámetros pueden representar diferencias significativas en el desempeño de los atletas. Sin embargo, aún existe una brecha en el conocimiento sobre cómo la interacción entre la cadencia y la amplitud de la zancada impacta la eficiencia del desplazamiento en patinadores de élite, específicamente en los atletas de la selección Boyacá.

Si bien diversos estudios han abordado la biomecánica del patinaje en términos generales, la mayoría se ha centrado en aspectos como la técnica general, la resistencia aeróbica o la fuerza aplicada en el empuje. No obstante, se ha prestado menor atención a la manera en que la modulación de la cadencia y la amplitud de la zancada afecta la eficiencia del movimiento en condiciones reales de competencia o entrenamiento. Esto plantea interrogantes sobre si los patinadores de la selección Boyacá están utilizando combinaciones óptimas de estos parámetros para maximizar su rendimiento y minimizar el gasto energético.

En este sentido, resulta fundamental realizar un estudio biomecánico detallado que analice el gesto técnico de estos patinadores con el fin de identificar patrones de desplazamiento eficientes. Comprender la relación entre la cadencia, la amplitud de zancada y la eficiencia permitirá no solo



optimizar el desempeño individual de los atletas, sino también mejorar los procesos de entrenamiento y desarrollo técnico en el patinaje de velocidad.

La Selección Boyacá de patinaje de carreras está conformada por 13 deportistas pertenecientes a las categorías pre juvenil, juvenil y mayores, quienes representan al departamento en los principales eventos del calendario nacional. Dentro del grupo se encuentran dos deportistas especializados en las pruebas de velocidad y once en las pruebas de fondo, lo que permite una representación equilibrada de las diferentes exigencias del patinaje competitivo.

Estos atletas se destacan por su alto nivel técnico y por ocupar posiciones de privilegio en el ámbito nacional. En total, ocho de ellos han sido medallistas nacionales, dos han obtenido medallas en campeonatos interligas, y tres han integrado la preselección Colombia, consolidándose como figuras de proyección internacional. Asimismo, un deportista ha sido convocado en dos ocasiones al Campeonato Nacional Selectivo, mientras que dos patinadores han alcanzado medallas en campeonatos sudamericanos y panamericanos, además de ser campeones nacionales intercolegiados.

A pesar del nivel competitivo y los logros alcanzados por la Selección Boyacá, existe un vacío investigativo local en torno al análisis biomecánico del gesto técnico y su relación con la eficiencia del desplazamiento, lo que resalta la necesidad de desarrollar estudios que aporten evidencia científica sobre el rendimiento y la técnica de los patinadores del departamento.

Justificación de la investigación.



El presente estudio se justifica en la necesidad de contar con un análisis biomecánico detallado de la zancada en patinadores de velocidad, una herramienta clave para la optimización del rendimiento deportivo. Actualmente, los entrenadores y deportistas suelen basar la evaluación de la técnica en observaciones subjetivas y en la experiencia empírica, lo que puede llevar a errores en la interpretación y aplicación de correcciones.

Desde una perspectiva científica, esta investigación aportará conocimiento sobre la relación entre la cadencia, la amplitud de la zancada y la eficiencia del desplazamiento, aspectos fundamentales en la técnica del patinaje de velocidad. La aplicación de herramientas tecnológicas como el software Kinovea permitirá analizar con precisión variables como los ángulos articulares, la frecuencia de zancada y la longitud del desplazamiento, facilitando la identificación de patrones de movimiento óptimos y fortaleciendo la base teórica del entrenamiento técnico.

A nivel práctico, la implementación de un enfoque biomecánico permitirá realizar un análisis cuantificable y preciso del gesto técnico, proporcionando información confiable para mejorar la técnica de los patinadores. Una zancada biomecánicamente eficiente reduce las cargas articulares en rodilla y tobillo, principales focos de lesión en patinadores (Fowler, Lees, & Dyson, 1995). Contar con datos objetivos sobre la eficiencia de la zancada contribuirá al desarrollo de estrategias de entrenamiento más efectivas, a la optimización del rendimiento y a la prevención de lesiones derivadas de una ejecución incorrecta. De esta manera, los resultados del estudio podrán ser aplicados directamente en los procesos de entrenamiento técnico y de preparación física, mejorando la calidad del gesto y la longevidad deportiva de los atletas.



Desde una perspectiva social y deportiva, este estudio busca contribuir al fortalecimiento del patinaje de velocidad en Boyacá, brindando bases científicas que respalden los procesos de enseñanza, corrección y ajuste técnico del gesto de la recta. La integración del análisis biomecánico y las metodologías tecnológicas representa una innovación en el contexto regional, al ofrecer herramientas que pueden ser replicadas por entrenadores y clubes del departamento. Asimismo, los hallazgos beneficiarán a deportistas y cuerpos técnicos al mejorar la planificación del entrenamiento y elevar el nivel competitivo del patinaje boyacense en el ámbito nacional e internacional.

Objetivos

General

Analizar la relación entre la cadencia y la amplitud de la zancada con la eficiencia del desplazamiento mediante un estudio biomecánico del gesto técnico en recta en patinadores de velocidad de la Selección Boyacá

Específicos

1. Cuantificar los ángulos articulares, la frecuencia y la longitud de zancada mediante análisis cinemático con el software Kinovea.
2. Evaluar la eficiencia del desplazamiento en recta a través del análisis dinámico y de variables de rendimiento (velocidad, aceleración potencia).
3. Analizar qué relación existe entre las variables cinemáticas y dinámicas del gesto técnico, identificando el grado de asociación con la eficiencia del desplazamiento en la recta en patinadores de velocidad de la Selección Boyacá



Antecedentes

El análisis biomecánico en el deporte ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, permitiendo la mejora de técnicas y la optimización del rendimiento. En el patinaje de velocidad, diversos estudios han abordado la importancia de la cadencia y la amplitud de la zancada en la eficiencia del desplazamiento (Houdijk et al., 2000; de Koning et al., 2005). Estas investigaciones han demostrado que una adecuada combinación de frecuencia y amplitud de la zancada permite maximizar la eficiencia y reducir la fatiga muscular.

Investigaciones han destacado la relevancia de la cadencia y la amplitud de la zancada en la eficiencia del desplazamiento. Por ejemplo, estudios han analizado la relación entre la longitud y la frecuencia de la zancada, encontrando diferencias significativas entre atletas de alto rendimiento y aquellos de menor nivel (Astudillo-Sarabia et al., 2022). Además, se ha observado que la optimización de esta relación varía según el nivel de los deportistas.

El uso de sistemas de captura de movimiento 3D y plataformas de fuerza ha permitido un análisis más detallado de la biomecánica del patinaje. Herramientas como el software Kinovea se han consolidado como opciones valiosas para el análisis cinemático de bajo costo (Astudillo-Sarabia et al., 2022). Asimismo, la integración de sensores inerciales (IMUs) en el equipamiento de los patinadores está ganando popularidad, permitiendo el análisis de la técnica en condiciones reales de entrenamiento y competición (Biomech, s.f.).

Aunque la investigación en biomecánica del patinaje de velocidad en Colombia es limitada, se han realizado esfuerzos recientes para aplicar estas técnicas en el entrenamiento de atletas



nacionales. Es fundamental investigar y documentar los resultados obtenidos en el territorio nacional para generar un historial y promover avances en este deporte. Estudios realizados en universidades colombianas han contribuido al conocimiento nacional mediante análisis biomecánicos en patinadores (Acero, 2002). Han comenzado a utilizar análisis biomecánico para optimizar el rendimiento de los patinadores nacionales (Ramírez & Suárez, 2021). Esto resalta la necesidad de continuar explorando esta área, especialmente en selecciones de alto nivel como la de Boyacá.

Se han desarrollado modelos de análisis biomecánico integral, como el modelo BioMin-Patin, que integran aspectos morfológicos, funcionales y dinámicos del deportista para una evaluación más completa (Acero, 2002).

La biomecánica desempeña un papel crucial en la prevención de lesiones en el patinaje de velocidad. Se han identificado factores de riesgo biomecánicos asociados con lesiones comunes en este deporte, como las de rodilla y tobillo. A través de estudios biomecánicos, se busca desarrollar programas de entrenamiento que fortalezcan las áreas vulnerables y mejoren la técnica para reducir el riesgo de lesiones.

Marco Teórico

El análisis biomecánico en el patinaje de velocidad es fundamental para entender los factores que influyen en la eficiencia del desplazamiento y el rendimiento deportivo. La biomecánica es una disciplina que estudia el movimiento humano desde una perspectiva mecánica y permite



optimizar los patrones técnicos mediante el análisis de variables como la fuerza, los ángulos articulares, la velocidad y la cadencia del movimiento (Winter, 2009).

Uno de los elementos más relevantes en el patinaje de velocidad es la zancada, la cual está compuesta por la fase de empuje y la fase de recuperación. Van Ingen Schenau (1982) explica que la eficiencia en el patinaje depende de la capacidad del atleta para generar impulso con la menor pérdida de energía posible. La cadencia y la amplitud de la zancada juegan un papel determinante en esta ecuación, ya que un equilibrio adecuado entre ambas permite maximizar la velocidad sin comprometer el control y la estabilidad del movimiento.

Investigaciones previas han demostrado que una mayor cadencia de zancada no siempre se traduce en una mayor eficiencia. De Koning et al. (2000) encontraron que un aumento excesivo en la frecuencia de zancada puede llevar a una reducción en la fuerza aplicada y, por lo tanto, a una disminución del rendimiento. En cambio, una amplitud de zancada adecuada permite una aplicación de fuerza más efectiva, lo que se traduce en un desplazamiento más eficiente y sostenido.

El uso de tecnologías como el software Kinovea ha revolucionado el análisis biomecánico en el deporte. Este programa permite medir de manera precisa los ángulos articulares, la velocidad y la frecuencia de movimiento en tiempo real, facilitando la corrección de errores técnicos y la optimización de la técnica de los deportistas (Peeters et al., 2019). La videografía de alta velocidad combinada con el análisis cinemático ha permitido a entrenadores y científicos del deporte identificar patrones biomecánicos que diferencian a los patinadores de élite de aquellos en niveles inferiores de rendimiento.



En el contexto colombiano, los estudios sobre biomecánica en patinaje de velocidad son escasos, lo que resalta la necesidad de investigaciones como esta. La Selección Boyacá ha demostrado un nivel competitivo, pero aún carece de análisis científicos detallados que permitan mejorar su rendimiento a partir de la optimización técnica. Implementar metodologías biomecánicas contribuirá no solo al desarrollo de los atletas actuales, sino también a la formación de futuras generaciones de patinadores con una base técnica más sólida.

En consecuencia, el análisis biomecánico del gesto técnico en patinadores de velocidad es un área clave para la mejora del rendimiento deportivo. La combinación de herramientas tecnológicas, conocimientos científicos y aplicaciones prácticas permitirá optimizar la eficiencia del desplazamiento y contribuir al crecimiento del patinaje de velocidad en Colombia y a nivel internacional.

Pregunta de investigación

¿De qué manera influyen la cadencia y la amplitud de zancada en la eficiencia del desplazamiento en recta de los patinadores de la selección Boyacá?

Metodología

El estudio se enmarcó en un enfoque cuantitativo, bajo un diseño descriptivo-correlacional de corte transversal con grupo único, orientado al análisis de las variables cinemáticas asociadas al gesto técnico de patinadores de velocidad pertenecientes a la Selección Boyacá. En este contexto, se evaluó la eficiencia del desplazamiento mediante el análisis de variables biomecánicas como los ángulos articulares, la frecuencia y la amplitud de la zancada, con el propósito de determinar la relación existente entre estos parámetros y su incidencia en el rendimiento deportivo.



Criterios de inclusión:

- Patinadores de velocidad de la Selección Boyacá en categorías prejuvenil, juvenil y mayores.
- Experiencia mínima de tres años en competencias nacionales.
- Ausencia de lesiones recientes que puedan afectar la técnica de patinaje.

Criterios de exclusión:

- Patinadores que presenten lesiones musculoesqueléticas en los últimos seis meses.
- Deportistas que no puedan completar todas las fases del estudio.

Muestra

La muestra estuvo conformada por 13 patinadores de velocidad pertenecientes a la Selección Boyacá, de los cuales cuatro correspondieron al sexo masculino, con una edad promedio de 17 años, y nueve al sexo femenino, con una edad promedio de 15,5 años. Todos los participantes contaban con un nivel competitivo de alto rendimiento, dado que integraban la selección departamental y participaban de manera regular en competencias nacionales e interligas, representando al departamento de Boyacá en las pruebas de fondo y velocidad.

Instrumentos

- Cámaras: FISION 48 MP (Apple), apertura $f/1.78$, estabilización óptica de imagen con desplazamiento del sensor (“sensor-shift OIS”) de segunda generación, 100 % Focus Pixels. Grabación de vídeo avanzada: Capacidad de grabar en 4K y también soporte para 120 fps



- Software: Kinovea versión 0.9.5 .
- GPS-ciclo computador: Garmin Edge 840
- Eficiencia del desplazamiento:

Cadencia Número de zancadas completas que realiza un patinador por unidad de tiempo (zancadas/segundo o zancadas/minuto).

$\text{Cadencia (Hz)} = \text{Número de zancadas} / \text{Tiempo total (s)}$

Eficiencia del desplazamiento. Relación entre el rendimiento (velocidad)

Velocidad media(m/s)= distancia recorrida (m) / tiempo total (s)

Eficiencia(m) = Velocidad media (m/s) / Frecuencia de zancada (Hz).

Cadencia de la zancada

Aceleración (m/s²)= Velocidad media (m/s) / tiempo (s)

Fuerza (N)= masa corporal del deportista (kg) * aceleración (m/s²)

Potencia (W)= fuerza (N) * Velocidad (m/s).

Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en dos fases:

Fase 1: Recolección de datos biomecánicos

Esta fase consistió en la captura de información cinemática y dinámica del gesto técnico durante la zancada. Se realizó la captura de videos con cámaras de alta velocidad (120 fps o más) ubicadas estratégicamente en las rectas de la pista, cubriendo un tramo de 50 metros por cada recta analizada. Previo al registro, se llevó a cabo un proceso de calibración de las cámaras



utilizando puntos de referencia fijos (de distancia y altura conocidas) dentro del campo de grabación, lo que garantizó la precisión de las mediciones angulares y espaciales.

Cada patinador ejecutó el gesto técnico con su propio equipamiento deportivo (patines, casco, uniforme, etc.) para mantener la naturalidad del movimiento y evitar alteraciones en su patrón motor habitual. De forma complementaria, se emplearon GPS ciclocomputadores para registrar variables cinemáticas y dinámicas, tales como aceleraciones, tiempos de apoyo, cadencia y ángulos articulares durante la zancada.

Todos los deportistas realizaron un protocolo estandarizado de calentamiento con el fin de preparar los sistemas musculoesquelético y cardiovascular para la ejecución del esfuerzo, así como reducir el riesgo de lesión durante la evaluación. Inicialmente, los participantes efectuaron un calentamiento general consistente en 12 minutos de rodaje continuo sobre patines a intensidad moderada. Posteriormente, realizaron ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos orientados principalmente a la activación de la musculatura de los miembros inferiores.

A continuación, se ejecutaron activaciones específicas mediante repeticiones de 100 metros, con énfasis en la preparación neuromuscular de la musculatura aductora y estabilizadora de la cadera, estructuras altamente solicitadas durante el gesto técnico del patinaje de velocidad. Estas activaciones tuvieron como objetivo minimizar posibles molestias musculares y garantizar condiciones óptimas para la realización de la prueba.

Finalizado el calentamiento, cada deportista realizó una prueba de 1.000 metros lanzados, equivalente a cinco vueltas completas al patinódromo. Para el registro biomecánico se ubicaron



cámaras de video en puntos estratégicos de la pista. Las cámaras fueron fijadas a una altura de 75 cm respecto al nivel del suelo, altura que fue determinada tras varias pruebas piloto como la más adecuada para captar con precisión los segmentos corporales y los ángulos requeridos para el análisis biomecánico.

Durante la ejecución de la prueba, los deportistas pasaron en cinco ocasiones por las zonas de registro establecidas, permitiendo obtener múltiples capturas del gesto técnico en condiciones de competencia. Posteriormente, las imágenes fueron procesadas y analizadas para la determinación de las variables cinemáticas y biomecánicas objeto de estudio.

Fase 2: Análisis de datos

En esta etapa se procesó la información obtenida durante la recolección mediante el siguiente procedimiento: Análisis Biomecánico, los videos se analizaron con el software Kinovea, permitiendo la medición de ángulos articulares, frecuencias de zancada, así como tiempos de contacto y vuelo. A partir de estos datos, se realizó una evaluación de los patrones técnicos.

Análisis Estadístico. se emplearon técnicas estadísticas para evaluar la relación entre las variables biomecánica y las de eficiencia del desplazamiento. El procesamiento de los datos se llevó a cabo con el software SPSS STADISTIC 30.0.0. bajo los siguientes criterios:

- Estadística Descriptiva: Se calcularon medias, desviaciones estándar y valores máximos y mínimos para caracterizar los parámetros biomecánicos.
- Pruebas de Normalidad: Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la distribución de los datos y definir el uso de pruebas paramétricas o no paramétricas.



- **Correlación:** Se efectuó un análisis mediante el coeficiente de Pearson para identificar las relaciones entre las variables técnicas.
- **Significancia:** En todos los análisis se adoptó un nivel de confianza de $p < 0.05$ para la interpretación de los resultados.

Determinación de variables cinemáticas y biomecánicas

Para el análisis biomecánico de los patinadores se realizó una filmación bidimensional (2D) del gesto técnico, utilizando puntos anatómicos de referencia ubicados sobre las principales articulaciones del miembro inferior y superior. Los puntos de referencia fueron colocados en el maléolo lateral del tobillo, el cóndilo femoral lateral de la rodilla, el trocánter mayor de la cadera y el acromion del hombro, permitiendo la identificación y digitalización de los segmentos corporales para el cálculo de las variables angulares y cinemáticas.

Los ángulos articulares fueron determinados mediante el trazado de líneas entre los puntos anatómicos previamente definidos. Para la medición del ángulo del tronco se tomó como referencia una línea horizontal, calculando el ángulo formado entre esta y el segmento tronco (cadera-hombro). De esta manera, valores angulares mayores representan una posición más erguida del tronco respecto a la horizontal.

La velocidad de desplazamiento se calculó en metros por segundo ($m \cdot s^{-1}$) mediante la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado, utilizando la ecuación: $v = d / t$, donde v corresponde a la velocidad ($m \cdot s^{-1}$), d a la distancia recorrida (m) y t al tiempo empleado (s).



La aceleración se determinó a partir de la variación de la velocidad respecto al tiempo, mediante la ecuación: $a = v / t$, donde a es la aceleración ($m \cdot s^{-2}$), v corresponde a la velocidad y t al intervalo de tiempo considerado.

La potencia mecánica fue calculada como el producto entre la fuerza aplicada y la velocidad de desplazamiento del deportista, mediante la ecuación: $P = F \times v$, donde P corresponde a la potencia mecánica expresada en Watts (W), F representa la fuerza (N) y v la velocidad de desplazamiento en metros por segundo ($m \cdot s^{-1}$). Sustituyendo la ecuación de fuerza en la ecuación de potencia, se obtiene: $P = (m \times a) \times v$, donde la potencia depende directamente de la masa corporal del deportista, la aceleración desarrollada y la velocidad alcanzada durante la ejecución del gesto técnico.

Hipótesis

Existe una relación significativa entre las variables biomecánicas de la zancada y el rendimiento en patinadores de velocidad de la Selección Boyacá, medido a través de la eficiencia del desplazamiento, la potencia mecánica generada y la velocidad de ejecución.

Consideraciones éticas

La investigación se realizó de acuerdo con las normas y consideraciones éticas de la universidad Santo Tomás, resguardando la integridad, seguridad, confidencialidad y transparencia. Dándole siempre a entender a los participantes el propósito y objetivos de la investigación y brindando un espacio y evaluación segura.



Se siguieron las pautas de la resolución 8430 de 1993 cumpliendo con el reglamento para la investigación con seres humanos, estableciendo normas y procedimientos para los sujetos de prueba logrando de esta manera proteger la dignidad y los derechos de todos y cada uno de los participantes de esta investigación.

Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5
Entrega de documentos (consentimientos y asentimientos)					
Grabación de videos y toma de tiempos (Análisis Biomecánico)					
Recolección de Datos					
Análisis de datos y Entrega de resultados					

Resultados

ID Deportista	Categoría	Sexo	Masa Kg	Talla	Edad
Participante 1	Juvenil	F	53	162	16
Participante 2	Juvenil	F	57,2	152	17



Participante 3	Prejuvenil	F	52,7	155	14
Participante 4	Prejuvenil	F	48,7	158	14
Participante 5	Prejuvenil	F	45	150	15
Participante 6	Prejuvenil	F	52,4	152	14
Participante 7	Mayores	M	62,5	172	20
Participante 8	Mayores	F	58,3	164	21
Participante 9	Juvenil	M	56,8	160	16
Participante 10	Prejuvenil	F	48,5	161	14
Participante 11	Prejuvenil	F	46,4	162	14
Participante 12	Prejuvenil	M	65,2	175	15
Participante 13	Prejuvenil	M	53,2	170	15

Tabla N° 1. Caracterización de la muestra.

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
PESO	13	45,0	65,2	53,838	6,0340
Años	13	14,00	21,00	15,7692	2,31495
Talla	13	150	175	161,00	7,842
N válido (por lista)	13				

Tabla N° 2. Caracterización de la muestra y características indicando el número de datos, media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo.

Característica de la Muestra



En las tablas N° 1 y N°2 se establece que la muestra estuvo conformada por 13 patinadores de la Selección Boyacá, con predominio del sexo femenino (69,2%). La mayoría pertenecen a la categoría prejuvenil (61,5%), lo que indica una población principalmente en etapa de formación deportiva.

En cuanto a las variables antropométricas, los deportistas presentan una masa corporal promedio de 53,8 kg y una talla media de 161 cm, lo cual es acorde con las características de patinadores de velocidad en etapas juveniles. La edad promedio fue de 15,7 años, evidenciando una muestra joven con proyección competitiva.

No	Longitud Zancada cm	Frecuencia Hz	Tiempo Apoyo ms	Tiempo Vuelo ms	Angulo Rodilla grados	Angulo Cadera grados	Angulo Tronco grados
1	95,37	0,97	701	484	122	70	73,7
2	99,79	0,88	650	467	118	72	67,8
3	61,67	1,18	589	393	139	86	72,8
4	81,52	0,97	786	589	129	69	73,9
5	95,97	0,97	678	477	116	77	68,8
6	102,48	0,93	653	352	140	86	70,3
7	106,24	0,90	804	550	113	69	63,2
8	87,2	1,05	883	517	134	71	81,7
9	130,96	0,94	1016	367	127	87	64,6
10	112,5	0,97	966	533	125	67	76,2



11	90,42	1,04	616	366	117	57	70,9
12	74,61	0,98	733	367	136	88	68,8
13	62,56	0,92	866	567	140	96	60,8

Tabla N° 3. Mediciones biomecánicas.

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
LONGITUD ZANCADA	13	61,67	130,96	92,4069	19,49528
FRECUENCIA HZ	13	,88	1,18	,9769	,07793
TIEMPO APOYO	13	589	1016	764,69	135,746
TIEMPO VUELO	13	352	589	463,77	85,530
ANGULO RODILLA	13	113	140	127,38	9,751
ANGULO CADERA	13	57	96	76,54	11,103
ANGULO TRONCO	13	60,8	81,7	70,269	5,6257
N válido (por lista)	13				

Tabla N° 4. Mediciones biomecánicas y características indicando el número de datos, media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo

Análisis del Componente Biomecánico

En las tablas N° 3 y N° 4 se relacionan con las variables de medición biomecánicas de la zancada, la longitud promedio de zancada fue de 92,41 cm (DE = 19,50), mostrando una variabilidad moderada, lo que sugiere diferencias técnicas entre los deportistas. La frecuencia de zancada presentó una media de 0,98 Hz (DE = 0,08), indicando una ejecución bastante estable entre los participantes.



El tiempo de apoyo registró un valor medio de 764,69 ms (DE = 135,75), mientras que el tiempo de vuelo fue de 463,77 ms (DE = 85,53). Estos resultados evidencian una fase de contacto predominante sobre la fase aérea, característica importante en la eficiencia del gesto técnico en patinaje de velocidad.

En cuanto a la cinemática articular, el ángulo de rodilla presentó una media de 127,38° (DE = 9,75), el ángulo de cadera de 76,54° (DE = 11,10) y el ángulo de tronco de 70,27° (DE = 5,63). La menor dispersión observada en el ángulo de tronco sugiere mayor uniformidad postural, mientras que la cadera presenta mayor variabilidad, posiblemente asociada a diferencias en la técnica individual.

No	Velocidad ms	Velocidad Km/h	Aceleración ms ²	Tiempo 200m s	Potencia watts	Eficiencia m
1	10,84	39,05	0,58	18435	338,38	11,18
2	9,8	35,3	0,48	20392	269,82	11,14
3	9,85	35,48	0,48	20291	252,32	8,35
4	10,27	36,98	0,53	19466	264,09	10,59
5	10,29	37,03	0,52	19439	245,04	10,61
6	9,31	33,53	0,43	21473	211,99	10,01
7	11,31	40,72	0,63	17681	452,29	12,57
8	10,34	37,22	0,53	19341	322,32	9,85
9	11,15	40,16	0,62	17925	394,48	11,86
10	10,02	36,07	0,5	19958	244,03	10,33



11	10,43	37,57	0,54	19191	263,82	10,03
12	10,39	37,41	0,54	19246	365,83	10,60
13	10,32	37,15	0,53	19378	292,44	11,22

Tabla N° 5. Mediciones de rendimiento.

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
VELOCIDAD MS	13	9,31	11,31	10,3323	,54464
Velocidad KM/H	13	33,53	40,72	37,2054	1,96107
Aceleracion ms ²	13	,43	,63	,5316	,05528
Tiempo 200m s	13	17681	21473	19401,23	1021,668
POTENCIA W	13	211,99	452,29	301,2962	69,60637
Eficiencia	13	8,35	12,57	10,6415	1,03399
N válido (por lista)	13				

Tabla N° 6. Mediciones de rendimiento y características indicando el número de datos, media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo

Análisis del Componente de rendimiento.

En las tablas N.º 5 y N.º 6 se presentan los estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, valores mínimos y máximos) correspondientes a las variables de rendimiento evaluadas. Con un tamaño de muestra de N=13, los resultados permiten observar lo siguiente:

Velocidad y aceleración: La velocidad media registrada fue de 10,33 m/s (equivalente a 37,21 km/h), evidenciando una baja dispersión, reflejada en una desviación estándar de 0,54 m/s. Por su



parte, la aceleración promedio se situó en $0,53 \text{ m/s}^2$, con un rango comprendido entre $0,43$ y $0,63 \text{ m/s}^2$.

Potencia y eficiencia: La potencia media desarrollada fue de $301,30 \text{ W}$, evidenciando una variabilidad considerable entre los sujetos, con un valor mínimo de $211,99 \text{ W}$ y un valor máximo de $452,29 \text{ W}$. En cuanto a la eficiencia, esta presentó un valor promedio de $10,64 \text{ m}$.

Tiempo de ejecución: El tiempo empleado para completar los 200 metros presentó una media de 19401 ms .

Participante 1 (Juvenil, femenino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km/h	Aceleración ms ²	Tiempo 200m s	Potencia watts
Participante 1	10,84	39,05	0,58	18435	338,38

Tabla N° 7 valores correspondiente al participante N°1 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 1 alcanzó una velocidad máxima de $10,48 \text{ m/s}$, equivalente a $39,05 \text{ km/h}$, valor que se encuentra por encima del promedio grupal ($37,21 \text{ km/h}$). Asimismo, la aceleración fue de $0,58 \text{ m/s}^2$, también superior a la media ($0,53 \text{ m/s}^2$). En la prueba de 200 metros, registró un tiempo de 18435 milisegundos, siendo este inferior al promedio (19401 milisegundos), lo que evidencia un desempeño competitivo. En cuanto a la potencia, el participante alcanzó un valor de $338,38 \text{ W}$, superando el promedio del grupo ($301,30 \text{ W}$) en aproximadamente $37,08 \text{ W}$, lo que confirma una mayor capacidad de producción de fuerza y potencia mecánica.



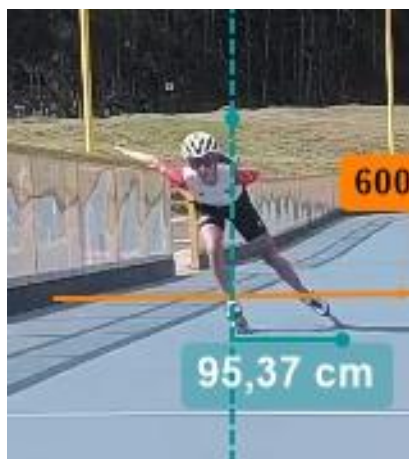
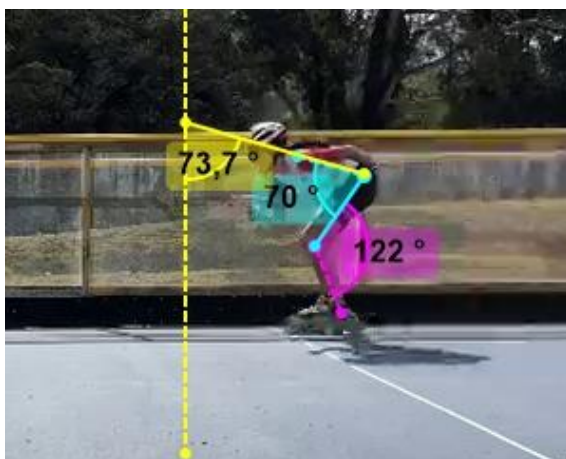


Imagen N°1 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 1.

El participante 1 presentó una longitud de zancada de 95,37 cm, valor que se ubica por encima del promedio del grupo, evidenciando una adecuada amplitud en el gesto técnico. En cuanto a la frecuencia de zancada, registró 0,97 Hz, encontrándose ligeramente por debajo de la media ($\approx 0,01$ Hz menos), lo que indica un comportamiento estable dentro del patrón general del grupo. Respecto a las variables temporales, el tiempo de apoyo fue de 701 ms, valor inferior al promedio grupal (764,69 ms), por su parte, el tiempo de vuelo fue de 484 ms, situándose por encima de la media (463,77 ms). En el análisis angular, el ángulo de rodilla fue de 122° , valor inferior al promedio ($127,38^\circ$), el ángulo de cadera fue de 70° , ubicándose por debajo de la media ($76,54^\circ$), lo que puede indicar una ligera limitación en la apertura de cadera. En cuanto al ángulo del tronco, registró $73,7^\circ$, situándose aproximadamente 3° por encima del promedio ($70,27^\circ$), lo cual está un poco por encima del resto del grupo.



Participante 2 (Juvenil, femenino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleracion ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 2	9,8	35,3	0,48	20392	269,82

Tabla N° 8 valores correspondiente al participante N°2 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 2 alcanzó una velocidad de 9,8 m/s, equivalente a 35,3 km/h, valor que se encuentra por debajo del promedio grupal (37,21 km/h). Asimismo, la aceleración fue de 0,48 m/s², también inferior a la media (0,53 m/s²). En la prueba de 200 metros, registró un tiempo de 20392 milisegundos, siendo este superior al promedio (19401 milisegundos), lo que refleja un menor desempeño en comparación con el grupo, en cuanto a la potencia, el participante alcanzó un valor de 269,82 W, ubicándose 31,48 W por debajo del promedio (301,30 W), lo cual evidencia una menor capacidad de producción de fuerza.



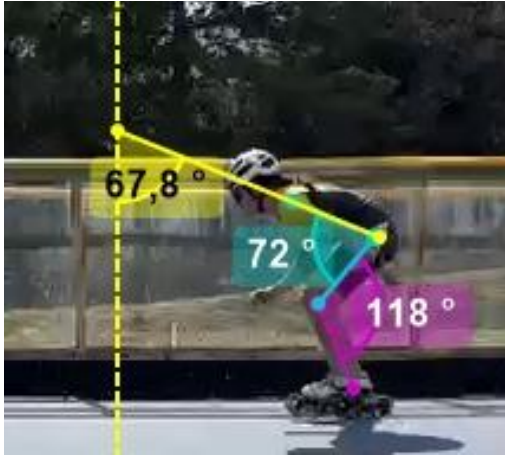


Imagen N°2 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 2.

El participante 2 presentó una longitud de zancada de 99,79 cm, valor que se ubica por encima del promedio del grupo, lo que indica una adecuada amplitud en el gesto técnico. En relación con la frecuencia de zancada, registró 0,88 Hz, encontrándose por debajo de la media ($\approx 0,09$ Hz menos), lo que sugiere una menor cadencia en la ejecución del movimiento. En cuanto a las variables temporales, el tiempo de apoyo fue de 650 ms, valor inferior al promedio grupal (764,69 ms), el tiempo de vuelo fue de 467 ms, ligeramente por encima de la media (463,77 ms), evidenciando una fase aérea adecuada, en el análisis angular, el ángulo de rodilla fue de 118° , situándose por debajo del promedio ($127,38^\circ$), lo que indica una mayor flexión durante la ejecución. El ángulo de cadera fue de 72° , también por debajo de la media ($76,54^\circ$), el ángulo del tronco, registró $67,8^\circ$, ubicándose por debajo del promedio ($70,27^\circ$), lo cual indica una postura ligeramente más inclinada hacia adelante.

Participante 3 (Prejuvenil, femenino)



ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleracion ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 3	9,85	35,48	0,48	20291	252,32

Tabla N° 9 valores correspondiente al participante N°3 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 3 presentó una velocidad de 9,85 m/s, equivalente a 35,48 km/h, encontrándose por debajo del promedio grupal. La aceleración fue de 0,48 m/s², también inferior a la media (0,53 m/s²). En la prueba de 200 metros, registró un tiempo de 20291 milisegundos, valor superior al promedio (19401 milisegundos), lo que indica un menor rendimiento competitivo. Finalmente, en cuanto a la potencia, el participante alcanzó un valor de 252,32 W, situándose 48,98 W por debajo del promedio (301,30 W), evidenciando una limitada capacidad de generación de fuerza.

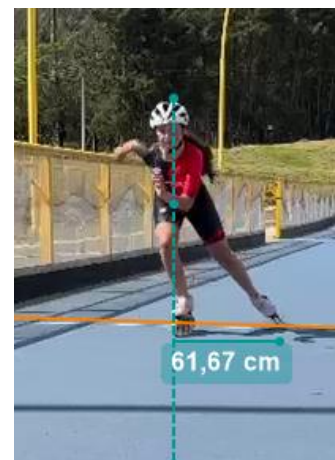
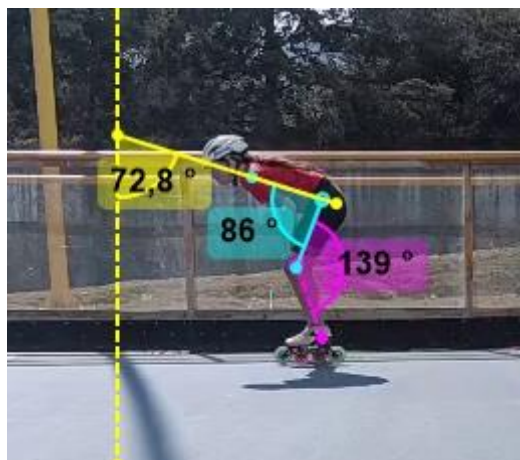


Imagen N°3 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 3.

El participante 3 presentó una longitud de zancada de 61,67 cm, valor que se ubica considerablemente por debajo del promedio del grupo, lo que indica una limitación en la amplitud del gesto técnico. En cuanto a la frecuencia de zancada, registró 1,18 Hz, encontrándose por encima de la media ($\approx 0,21$ Hz más), lo que evidencia una alta cadencia de ejecución. Respecto a las variables temporales, el tiempo de apoyo fue de 589 ms, valor inferior al promedio (764,69 ms), el tiempo de vuelo fue de 393 ms, situándose por debajo de la media (463,77 ms), lo que sugiere una fase aérea reducida. En el análisis angular, el ángulo de rodilla fue de 139° , ubicándose por encima del promedio ($127,38^\circ$), indicando una extensión superior al promedio. El ángulo de cadera fue de 86° , valor superior a la media ($76,54^\circ$). En cuanto al ángulo del tronco, registró $72,8^\circ$, situándose ligeramente por encima del promedio ($70,27^\circ$).

Participante 4 (Prejuvenil, femenino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleracion ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 4	10,27	36,98	0,53	19466	264,09

Tabla N° 10 valores correspondiente al participante N°4 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 4 presentó una velocidad de 10,27 m/s (36,98 km/h), valor cercano al promedio. La aceleración fue de 0,53 m/s², coincidiendo con la media grupal. En la prueba de 200 metros,



registró un tiempo de 19466 milisegundos, ligeramente mejor que el promedio (19401 milisegundos). La potencia fue de 264,09 W, ubicándose 37,21 W por debajo del promedio.

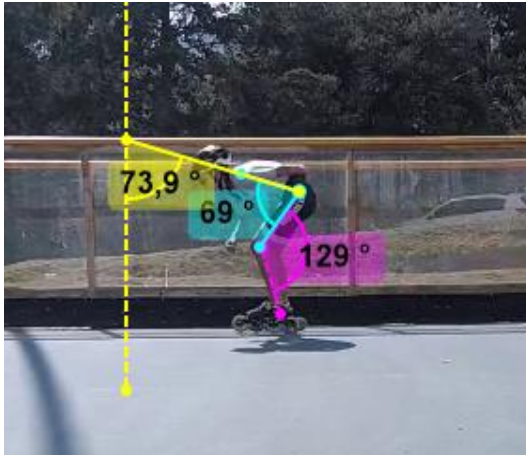


Imagen N°4 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 4.

El participante 4 presentó una longitud de zancada de 81,52 cm, valor que se encuentra por debajo del promedio del grupo, lo que indica una menor amplitud en el gesto técnico. En cuanto a la frecuencia de zancada, registró 0,97 Hz, valor muy cercano a la media, con una diferencia mínima, lo que refleja estabilidad en la cadencia. Respecto a las variables temporales, el tiempo de apoyo fue de 786 ms, ubicándose por encima del promedio (764,69 ms), lo cual representa un aspecto negativo en términos de eficiencia. Por su parte, el tiempo de vuelo fue de 589 ms, valor considerablemente superior a la media (463,77 ms). En el análisis angular, el ángulo de rodilla fue de 129°, ligeramente por debajo del promedio (227,38°), mientras que el ángulo de cadera fue de 69°, también inferior a la media (76,54°). El ángulo del tronco fue de 73,9°, ubicándose por encima del promedio (70,27°).



Participante 5 (Prejuvenil, femenino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 5	10,29	37,03	0,52	19439	245,04

Tabla N° 11 valores correspondiente al participante N°5 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 5 presentó una velocidad de 10,29 m/s (37,03 km/h), cercana al promedio, con una aceleración de 0,52 m/s² (ligeramente inferior). En los 200 m, registró 19,439 s, muy cercano al promedio. Su potencia fue de 245,04 W, ubicándose 56,26 W por debajo de la media.

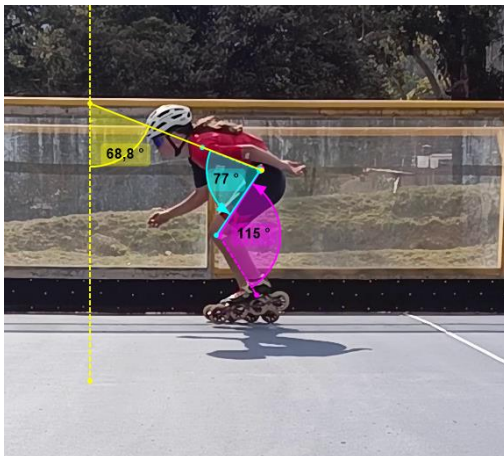


Imagen N°5 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 5.



El participante 5 presentó una longitud de zancada de 95,97 cm, valor superior al promedio, evidenciando buena amplitud. La frecuencia fue de 0,97 Hz, prácticamente igual a la media. El tiempo de apoyo fue de 678 ms, inferior al promedio, mientras que el tiempo de vuelo fue de 477 ms, superior a la media, lo cual indica buena eficiencia mecánica. En el plano angular, el ángulo de rodilla fue de 116°, el ángulo de cadera de 77° (ligeramente superior a la media), y el tronco de 68,8°, ligeramente inferior.

Participante 6 (Prejuvenil, femenino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 6	9,31	33,53	0,43	21473	211,99

Tabla N° 12 valores correspondiente al participante N°6 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 6 registró una velocidad más baja del grupo: 9,31 m/s (33,53 km/h) y una aceleración de 0,43 m/s², también la más baja. El tiempo en 200 m fue de 21473 milisegundos, el más alto del grupo. La potencia fue de 211,99 W, siendo el valor más bajo.



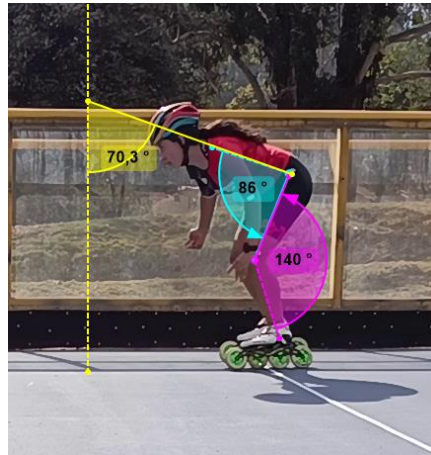


Imagen N°6 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 6.

El participante 6 registró una longitud de zancada de 102,48 cm, superior al promedio. La frecuencia fue de 0,93 Hz, ligeramente inferior a la media. El tiempo de apoyo fue de 653 ms, menor al promedio, mientras que el tiempo de vuelo fue de 352 ms, considerablemente inferior, lo que reduce la eficiencia. Presentó un ángulo de rodilla de 140° y de cadera de 86°, ambos adecuados, mientras que el tronco fue de 70,3°, cercano al promedio.

Participante 7 (Mayores, masculino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms2	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 7	11,31	40,72	0,63	17681	452,29

Tabla N° 13 valores correspondiente al participante N°7 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 7 presentó una velocidad máxima de 11,31 m/s (40,72 km/h), siendo este el valor más alto del grupo, superando ampliamente el promedio. La aceleración fue de 0,63 m/s², también la más alta. En la prueba de 200 metros, registró el mejor tiempo del grupo (17681 milisegundos). Finalmente, en términos de potencia, alcanzó 452,29 W, posicionándose como el deportista con mayor capacidad de producción de fuerza, superando el promedio en más de 150 W.

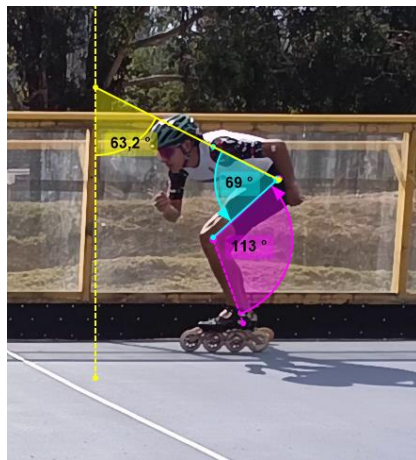


Imagen N°7 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 7.

El participante 7 presentó una longitud de zancada de 106,23 cm, valor que se ubica significativamente por encima del promedio del grupo, evidenciando una excelente amplitud del gesto técnico, lo cual favorece el desplazamiento en cada ciclo de patinaje. En relación con la frecuencia de zancada, registró 0,90 Hz, encontrándose por debajo de la media, lo que indica que su modelo de desplazamiento se basa más en la amplitud que en la cadencia. En cuanto a las variables temporales, el tiempo de apoyo fue de 804 ms, valor superior al promedio (764,69 ms),



el tiempo de vuelo fue de 550 ms, considerablemente superior a la media (463,77 ms), lo que compensa el patrón anterior y favorece el avance. Desde el análisis angular, presentó un ángulo de rodilla de 113° , por debajo del promedio, indicando una adecuada flexión-extensión funcional. El ángulo de cadera fue de 69° , ligeramente inferior a la media, mientras que el ángulo del tronco fue de $63,2^\circ$, lo que evidencia una postura más inclinada hacia adelante, potencialmente favorable en términos aerodinámicos.

Participante 8 (Mayores, femenino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 8	10,34	37,22	0,53	19341	322,32

Tabla N° 14 valores correspondiente al participante N°8 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 8 presentó una velocidad de 10,34 m/s (37,22 km/h), acorde con la media, y una aceleración de 0,53 m/s². En los 200 metros, registró un tiempo de 19341 milisegundos, ligeramente mejor que el promedio. Su potencia fue de 322,32 W, superando la media en aproximadamente 21 W.





Imagen N°8 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 8.

El participante 8 presentó una longitud de zancada de 87,2 cm, valor inferior al promedio, lo que indica una menor amplitud en comparación con el grupo. En cuanto a la frecuencia, registró 1,05 Hz, ubicándose por encima de la media, lo que evidencia un patrón de desplazamiento basado en una mayor cadencia. El tiempo de apoyo fue de 883 ms, considerablemente superior al promedio, lo que representa una mayor eficiencia en la fase de contacto. Por otro lado, el tiempo de vuelo fue de 517 ms, también superior a la media, lo cual sugiere una buena fase aérea. En el análisis angular, presentó un ángulo de rodilla de 134°, un ángulo de cadera de 71° (ligeramente bajo), y un ángulo de tronco de 81,7°, valor elevado respecto al promedio, lo cual puede afectar negativamente la aerodinámica.

Participante 9 (Juvenil, masculino)



ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 9	11,15	40,16	0,62	17925	394,48

Tabla N° 15 valores correspondiente al participante N°9 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 9 registró una velocidad de 11,15 m/s (40,16 km/h) y una aceleración de 0,62 m/s², ambas superiores a la media. En los 200 metros, obtuvo un tiempo de 17925 milisegundos, siendo uno de los mejores. La potencia fue de 394,48 W, muy superior al promedio.

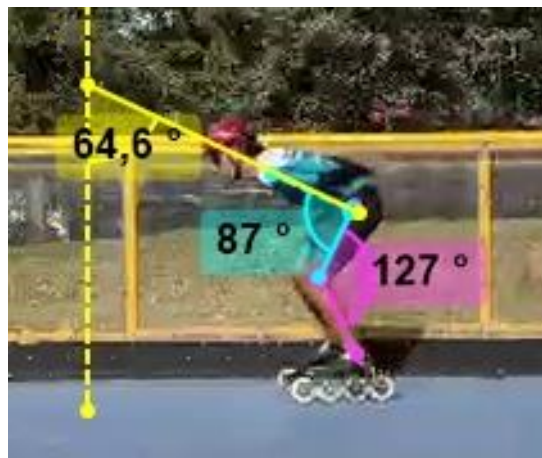


Imagen N°9 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 9.

El participante 9 presentó la mayor longitud de zancada del grupo (130,96 cm), valor ampliamente superior al promedio, lo que evidencia un modelo de desplazamiento altamente eficiente en términos de amplitud. La frecuencia fue de 0,94 Hz, ligeramente inferior a la media,



indicando dependencia de la zancada larga. El tiempo de apoyo fue de 1016 ms, el más alto del grupo, lo que representa un punto importante en eficiencia. El tiempo de vuelo fue de 367 ms, por debajo del promedio. En el análisis angular, presentó valores favorables: rodilla (127°), cadera (87°) superior al promedio y tronco ($64,6^\circ$), adecuado para el gesto técnico.

Participante 10 (Prejuvenil, femenino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 10	10,02	36,07	0,5	19958	244,03

Tabla N° 16 valores correspondiente al participante N°10 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 10 alcanzó una velocidad de 10,02 m/s (36,07 km/h), por debajo del promedio, y una aceleración de 0,50 m/s², también inferior a la media. En los 200 metros, registró un tiempo de 19958 milisegundos, superior al promedio. Su potencia fue de 244,03 W, ubicándose aproximadamente 57 W por debajo de la media.



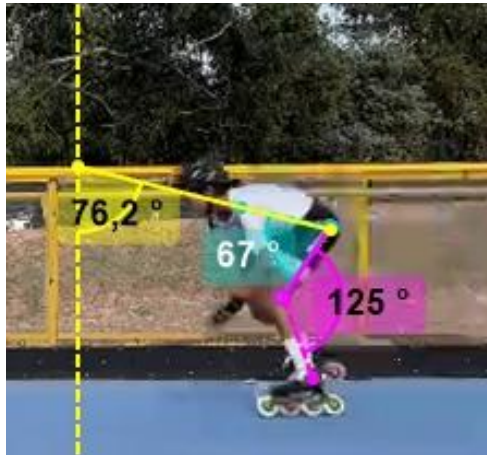


Imagen N°10 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 10.

El participante 10 presentó una longitud de zancada de 112,5 cm, valor que se ubica por encima del promedio, lo que indica una buena amplitud en el gesto técnico. En cuanto a la frecuencia, registró 0,97 Hz, encontrándose en el promedio del grupo, lo que refleja una cadencia equilibrada. El tiempo de apoyo fue de 966 ms, valor considerablemente superior al promedio, lo que representa una mayor eficiencia en la fase de contacto. Por otro lado, el tiempo de vuelo fue de 533 ms, también superior a la media, lo cual indica una fase aérea prolongada. En el análisis angular, presentó un ángulo de rodilla de 125°, cercano a valores funcionales, un ángulo de cadera de 67°, ligeramente por debajo del promedio, y un ángulo de tronco de 76,2°, valor superior a la media, lo que puede afectar la aerodinámica del desplazamiento.

Participante 11 (Prejuvenil, femenino)



ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 11	10,43	37,57	0,54	19191	263,82

Tabla N° 17 valores correspondiente al participante N°11 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 11 alcanzó una velocidad de 10,43 m/s (37,54 km/h), ligeramente superior al promedio, y una aceleración de 0,54 m/s², también por encima de la media. En los 200 metros, registró un tiempo de 19191 milisegundos, mejor que el promedio. Su potencia fue de 263,82 W, aproximadamente 37 W por debajo de la media.

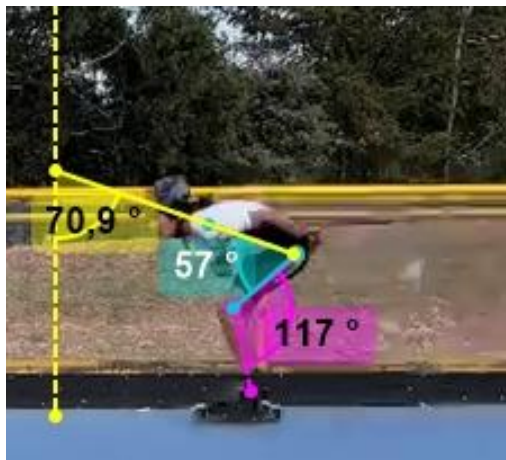


Imagen N°11 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 11.

El participante 11 presentó una longitud de zancada de 90,42 cm, valor ligeramente inferior al promedio, lo que indica una amplitud moderada. En cuanto a la frecuencia, registró 1,04 Hz,



ubicándose por encima de la media, lo que evidencia un patrón basado en una mayor cadencia. El tiempo de apoyo fue de 616 ms, valor inferior al promedio. Por otro lado, el tiempo de vuelo fue de 366 ms, inferior a la media, indicando una fase aérea reducida. En el análisis angular, presentó un ángulo de rodilla de 117° , un ángulo de cadera de 57° , considerablemente bajo respecto al promedio, y un ángulo de tronco de $70,9^\circ$, muy cercano a la media.

Participante 12 (Prejuvenil, masculino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms ²	Tiempo 200ms	Potencia watts
Participante 12	10,39	37,41	0,54	19246	365,83

Tabla N° 18 valores correspondiente al participante N°12 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 12 alcanzó una velocidad de 10,39 m/s (37,40 km/h), muy cercana al promedio, y una aceleración de 0,54 m/s², superior a la media. En los 200 metros, registró un tiempo de 19246 milisegundos, mejor que el promedio. Su potencia fue de 365,83 W, superando la media en aproximadamente 64 W, lo que evidencia una alta capacidad de producción de fuerza.



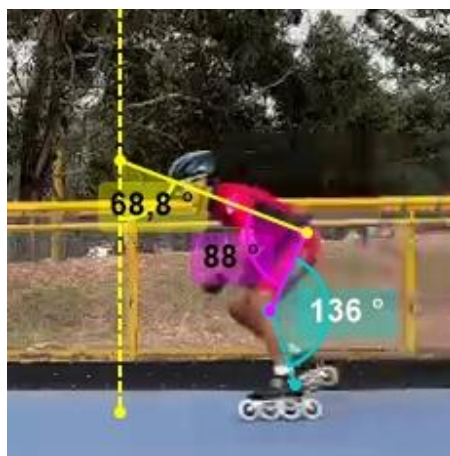


Imagen N°12 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 12.

El participante 12 presentó una longitud de zancada de 74,61 cm, valor inferior al promedio, lo que indica una menor amplitud en el gesto técnico. En cuanto a la frecuencia, registró 0,98 Hz, valor cercano a la media, reflejando una cadencia adecuada. El tiempo de apoyo fue de 733 ms. Por otro lado, el tiempo de vuelo fue de 367 ms, inferior a la media, indicando una fase aérea corta. En el análisis angular, presentó un ángulo de rodilla de 136°, adecuado, un ángulo de cadera de 88°, superior al promedio y un ángulo de tronco de 68,8°, ligeramente por debajo de la media.

Participante 13 (Prejuvenil, masculino)

ID_Deportista	Velocidad ms	Velocidad km /h	Aceleración ms2	Tiempo 200ms	Potencia watts
---------------	-----------------	--------------------	--------------------	-----------------	-------------------



Participante 13	10,32	37,15	0,53	19378	292,44
-----------------	-------	-------	------	-------	--------

Tabla N° 19 valores correspondiente al participante N°13 en las variables de velocidad (m/s), velocidad (km/h), aceleración (m/s²), tiempo de los 200 (m/s) y potencia (watts).

El participante 13 alcanzó una velocidad de 10,32 m/s (37,15 km/h), cercana al promedio, y una aceleración de 0,53 m/s², en línea con la media. En los 200 metros, registró un tiempo de 19378 milisegundos, ligeramente mejor que el promedio. Su potencia fue de 292,44 W, ubicándose aproximadamente 9 W por debajo de la media, lo que indica una producción de fuerza moderada.

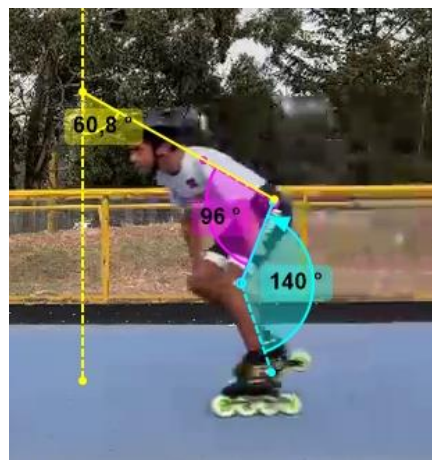


Imagen N°13 Análisis biomecánico del gesto técnico de la zancada del participante N.º 13

El participante 13 presentó una longitud de zancada de 62,56 cm, valor considerablemente inferior al promedio, lo que indica una baja amplitud del gesto técnico. En cuanto a la frecuencia,



registró 0,92 Hz, ubicándose por debajo de la media, lo que refleja una cadencia baja. El tiempo de apoyo fue de 866 ms, valor superior al promedio, lo que representa una menor eficiencia en la fase de contacto. Por otro lado, el tiempo de vuelo fue de 567 ms, superior a la media, indicando una fase aérea prolongada. En el análisis angular, presentó un ángulo de rodilla de 140° , adecuado, un ángulo de cadera de 96° , superior al promedio y favorable, y un ángulo de tronco de $60,8^\circ$, inferior a la media, lo que indica una postura más inclinada.

Los resultados evidencian la existencia de diferentes perfiles biomecánicos en los patinadores analizados. Algunos sujetos optimizan su rendimiento a partir de una mayor longitud de zancada, mientras que otros lo hacen mediante una mayor frecuencia. Asimismo, la potencia se posiciona como una variable determinante en la eficiencia del desplazamiento, al estar asociada con mayores velocidades.

En este sentido, se confirma que la eficiencia del gesto técnico no responde a un único patrón, sino a la interacción de variables mecánicas y fisiológicas adaptadas a las características individuales de cada deportista.

Análisis estadístico descriptivo

La muestra analizada estuvo conformada por 13 patinadores de velocidad de la Selección Boyacá. En términos antropométricos, se observa una masa corporal promedio de 53,84 kg ($DE = 6,03$), con valores entre 45 kg y 63 kg, lo que evidencia una población relativamente homogénea en este aspecto.



En relación con las variables espacio-temporales de la zancada, la longitud promedio de zancada fue de 92,41 cm (DE = 19,50), mostrando una variabilidad moderada, lo que sugiere diferencias técnicas entre los deportistas. La frecuencia de zancada presentó una media de 0,98 Hz (DE = 0,08), indicando una ejecución bastante estable entre los participantes.

El tiempo de apoyo registró un valor medio de 764,69 ms (DE = 135,75), mientras que el tiempo de vuelo fue de 463,77 ms (DE = 85,53). Estos resultados evidencian una fase de contacto predominante sobre la fase aérea, característica importante en la eficiencia del gesto técnico en patinaje de velocidad.

En cuanto a la cinemática articular, el ángulo de rodilla presentó una media de 127,38° (DE = 9,75), el ángulo de cadera de 76,54° (DE = 11,10) y el ángulo de tronco de 70,27° (DE = 5,63). La menor dispersión observada en el ángulo de tronco sugiere mayor uniformidad postural, mientras que la cadera presenta mayor variabilidad, posiblemente asociada a diferencias en la técnica individual.

Respecto a las variables de rendimiento, la velocidad media fue de 10,33 m/s (37,21 km/h), con una desviación estándar de 0,54 m/s, lo que refleja un nivel competitivo relativamente homogéneo. La aceleración promedio fue de 0,53 m/s² (DE = 0,06), mostrando baja variabilidad entre los sujetos.

El tiempo en la prueba de 200 m presentó una media de 19401,23 ms ($\approx 19,4$ s), con una desviación estándar de 1.021,67 ms, indicando diferencias moderadas en el rendimiento competitivo. En cuanto a la potencia, se obtuvo un promedio de 301,30 watts (DE = 69,61),



evidenciando una dispersión considerable, lo que puede estar relacionado con las diferencias en la capacidad física individual.

Análisis de normalidad

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Longitud_Zancada cm	,099	13	,200 [*]	,973	13	,930
Frecuencia_Hz	,253	13	,022	,867	13	,048
Tiempo_Apoyo_ms	,142	13	,200 [*]	,941	13	,473
Tiempo_Vuelo_ms	,181	13	,200 [*]	,899	13	,128
Angulo_Rodilla_grados	,140	13	,200 [*]	,918	13	,235
Angulo_Cadera_grados	,197	13	,177	,936	13	,407
Angulo_Tronco_grados	,105	13	,200 [*]	,983	13	,992
Velocidad_m_s	,198	13	,172	,956	13	,697
Aceleracion ms2	,209	13	,125	,950	13	,595
Tiempo 200m s	,188	13	,200 [*]	,956	13	,688
Potencia_watts	,213	13	,110	,914	13	,211
Eficiencia	,145	13	,200 [*]	,959	13	,741

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla N° 20 pruebas de normalidad



Los supuestos de normalidad fueron evaluados mediante la prueba de Shapiro-Wilk, debido al tamaño de muestra reducido ($n = 13$). Los resultados mostraron que la mayoría de las variables analizadas presentaron distribución normal ($p > 0,05$). Únicamente la variable frecuencia de zancada (Hz) evidenció una distribución no normal ($p = 0,048$). En consecuencia, las variables con distribución normal fueron analizadas mediante procedimientos estadísticos paramétricos, mientras que para la frecuencia de zancada se consideraron métodos no paramétricos cuando fue necesario.

Análisis de correlación entre la zancada y la eficiencia del desplazamiento

Con el objetivo de establecer la relación entre las variables de la zancada y la eficiencia del desplazamiento en patinadores de velocidad, se realizó un análisis de correlación de Pearson (r), considerando como variables de eficiencia la velocidad, potencia y tiempo en 200 m, y como variables biomecánicas la longitud de zancada, frecuencia, tiempos de apoyo y vuelo, y ángulos articulares.

Relación entre longitud de zancada y eficiencia

		Correlaciones						
		LONGITUD ZANCADA	VELOCIDAD MS	Velocidad KM/H	Aceleración ms ²	Tiempo 200m s	POTENCIA W	Eficiencia
LONGITUD ZANCADA	Correlación de Pearson	1	,318	,319	,335	-,284	,264	,521
	Sig. (bilateral)		,290	,289	,263	,347	,383	,068
	N	13	13	13	13	13	13	13

Tabla N° 21 correlación de Pearson entre longitud de la zancada y variables de eficiencia.



La tabla 21 presenta los coeficientes de correlación de Pearson (r) y su nivel de significancia estadística (p) entre la longitud de zancada y las variables de rendimiento. Los resultados indican lo siguiente

Relación con la Eficiencia: Se observa una correlación moderada y positiva con la variable Eficiencia ($r=0,521$). Aunque es la asociación más fuerte de la tabla, su valor de significancia ($p=0,068$) se encuentra ligeramente por encima del umbral estándar de 0,05. **Relación con**

Velocidad y Aceleración: La longitud de zancada muestra correlaciones positivas débiles con la Velocidad ($r=0,32$) y la Aceleración ($r=0,335$). **Relación Inversa con el Tiempo:** Existe una correlación negativa débil con el Tiempo 200m ($r= -0,284$). Esto es teóricamente coherente: a mayor longitud de zancada, menor suele ser el tiempo empleado.

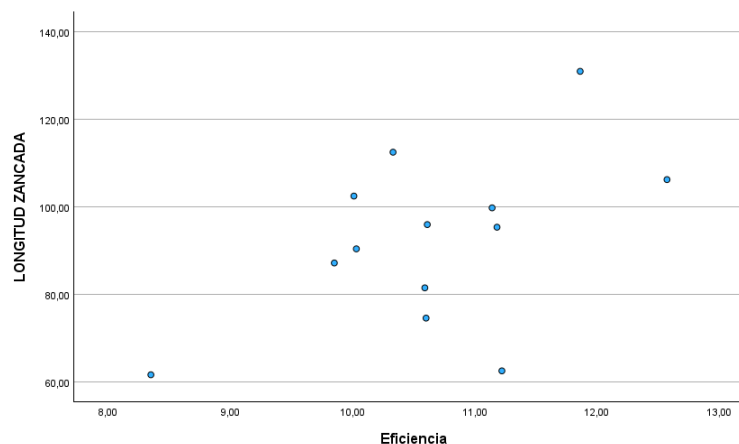


Fig. N.º 1 Gráfico de dispersión correlación de Pearson entre longitud de la zancada y eficiencia.

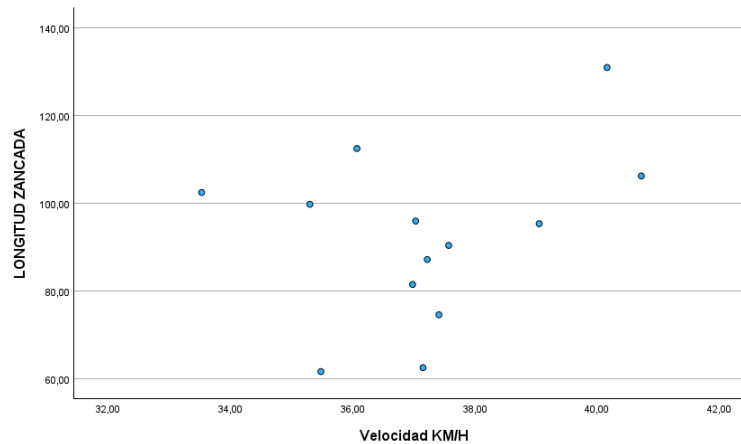


Fig. N.º 2 Grafico de dispersión correlación de Pearson entre longitud de la zancada y velocidad.

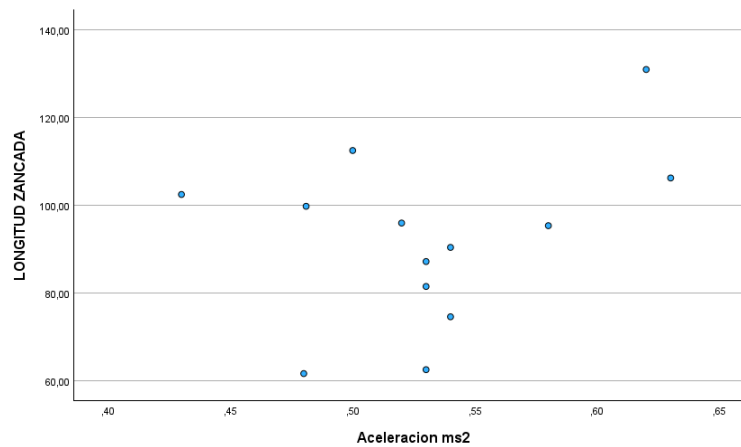


Fig. N.º 3 Grafico de dispersión correlación de Pearson entre longitud de la zancada y aceleración.



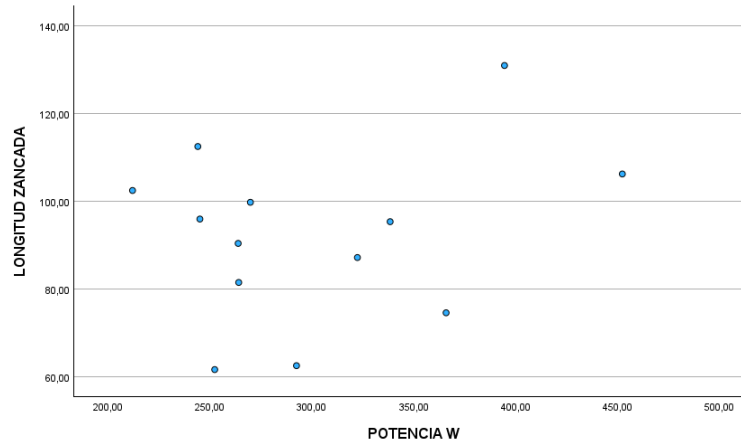


Fig. N.º 4 Grafico de dispersión correlación de Pearson entre longitud de la zancada y potencia.

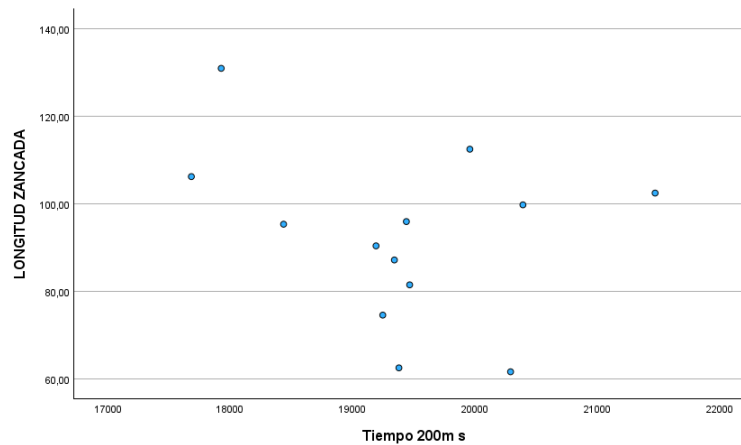


Fig. N.º 5 Grafico de dispersión correlación de Pearson entre longitud de la zancada y tiempo 200m.



No obstante, estas correlaciones son de magnitud moderada, lo que indica que la longitud de zancada por sí sola no explica completamente el rendimiento.

Relación entre frecuencia de zancada y eficiencia

Correlaciones							
			Frecuencia_Hz	Eficiencia	Potencia_watts	Tiempo 200m s	Velocidad_m_ s
Rho de Spearman	Frecuencia_Hz	Coefficiente de correlación	1,000	-,716**	-,187	-,033	-,062
		Sig. (bilateral)	.	,006	,541	,914	,841
		N	13	13	13	13	13

Tabla N° 22 correlación de Spearman entre frecuencia de la zancada y variables de eficiencia.

En la Tabla 22 se presentan las correlaciones de Spearman para la variable Frecuencia. A diferencia de la longitud de zancada, esta variable presenta un hallazgo. El análisis de correlación de Spearman evidenció una relación negativa fuerte y estadísticamente significativa entre la frecuencia de movimiento y la eficiencia ($\rho = -0,716$; $p = 0,006$). Este resultado sugiere que, en los patinadores evaluados, un incremento en la frecuencia se asocia con una disminución de la eficiencia técnica. Por otro lado, no se encontraron correlaciones significativas entre la frecuencia y las variables potencia ($\rho = -0,187$; $p = 0,541$), tiempo en 200 m ($\rho = -0,033$; $p = 0,914$), aceleración ($\rho = -0,062$; $p = 0,841$) y velocidad ($\rho = 0,033$; $p = 0,914$).



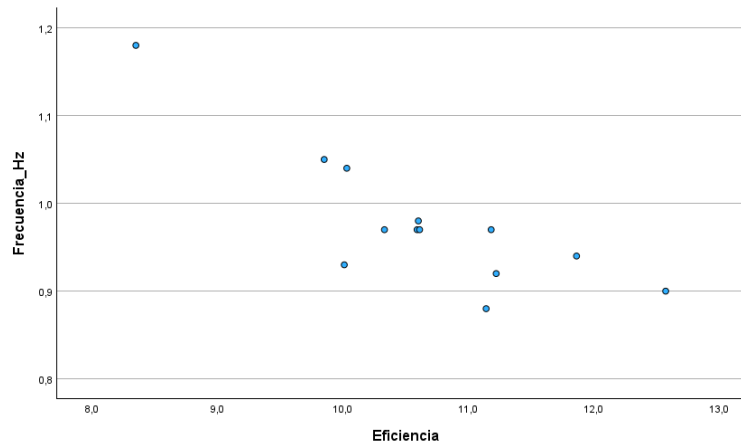


Fig. N.º 6 Grafico de dispersión correlación de Spearman entre frecuencia y eficiencia.

Relación de los tiempos de apoyo y vuelo con la eficiencia

Correlaciones

		Eficiencia	TIEMPO APOYO	TIEMPO VUELO
Eficiencia	Correlación de Pearson	1	,451	,327
	Sig. (bilateral)		,122	,276
	N	13	13	13

Tabla N° 23 correlación de Pearson entre eficiencia y tiempos de apoyo y tiempos de vuelo.

La Tabla 23 muestra las correlaciones de Pearson entre la eficiencia y las fases temporales del paso (apoyo y vuelo). Los resultados indican lo siguiente: Relación con el Tiempo de Apoyo: Se observa una correlación positiva moderada ($r=0,451$). Esto sugiere una tendencia donde a mayor

tiempo de contacto con el suelo, la eficiencia tiende a ser mayor. Sin embargo, con un valor de significancia de, $p=0,122$ esta relación no alcanza la significancia estadística ($p>0,05$). Relación con el Tiempo de Vuelo: La correlación es positiva débil ($r=0,327$) y tampoco es estadísticamente significativa ($p=0,276$). Esto indica que la duración de la fase aérea tiene una influencia menor y menos clara sobre la eficiencia en este grupo de estudio.

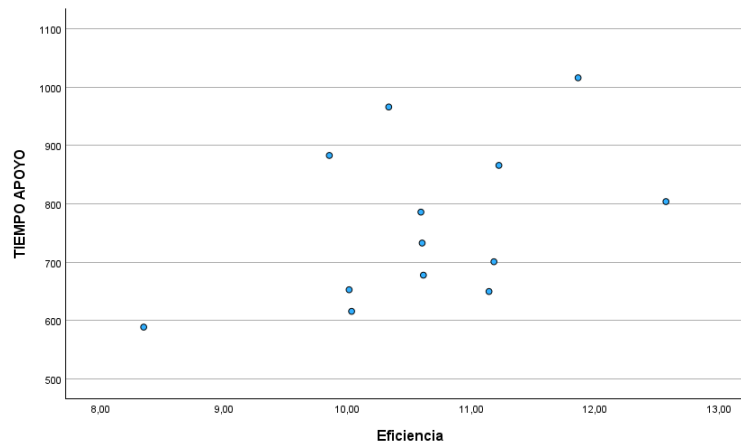


Fig. N.º 11 Grafico de dispersión correlación de Pearson entre eficiencia y tiempo de apoyo.

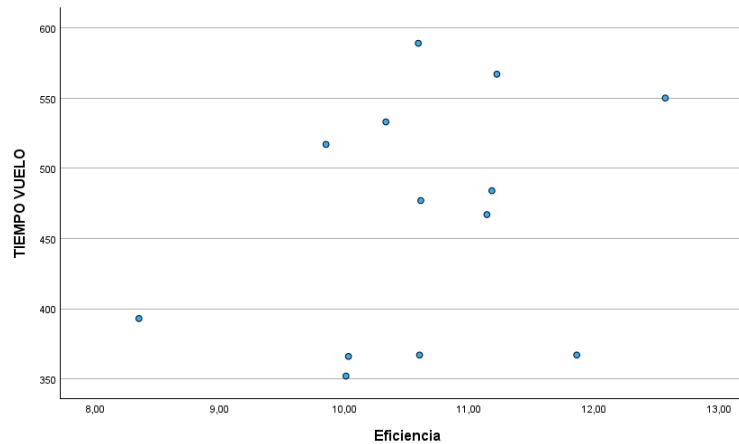


Fig. N.º 12 Grafico de dispersión correlación de Pearson entre eficiencia y tiempo de vuelo.

Relación de los ángulos articulares con la eficiencia

Correlaciones

		Eficiencia	ANGULO RODILLA	ANGULO CADERA	ANGULO TRONCO
Eficiencia	Correlación de Pearson	1	-,507	-,035	-,610*
	Sig. (bilateral)		,077	,911	,027
	N	13	13	13	13

Tabla N° 24 correlación de Pearson entre eficiencia y ángulos de rodilla, cadera y tronco.

La Tabla 24 analiza la relación entre la eficiencia y los ángulos articulares (rodilla, cadera y tronco) durante el gesto técnico. Los resultados destacan lo siguiente: Ángulo del Tronco (Hallazgo Significativo): Se observa una correlación negativa moderada-fuerte y estadísticamente significativa ($r = -0,610$; $p = 0,027$). El asterisco (*) confirma que esta relación es fiable.

Interpretación: A medida que el ángulo del tronco aumenta (una postura más erguida o menos inclinada), la eficiencia disminuye significativamente. Mantener un control postural del tronco es clave para la economía del movimiento. Ángulo de la Rodilla: Presenta una correlación negativa moderada ($r = -0,507$). Aunque no alcanza la significancia estadística convencional ($p = 0,077$), muestra una tendencia clara: ángulos de rodilla mayores tienden a asociarse con una menor eficiencia. Ángulo de la Cadera: No muestra una relación relevante con la eficiencia ($r = -0,035$; $p = 0,0271$), lo que indica que, en esta muestra, la posición de la cadera no fue un factor determinante para la eficiencia medida.

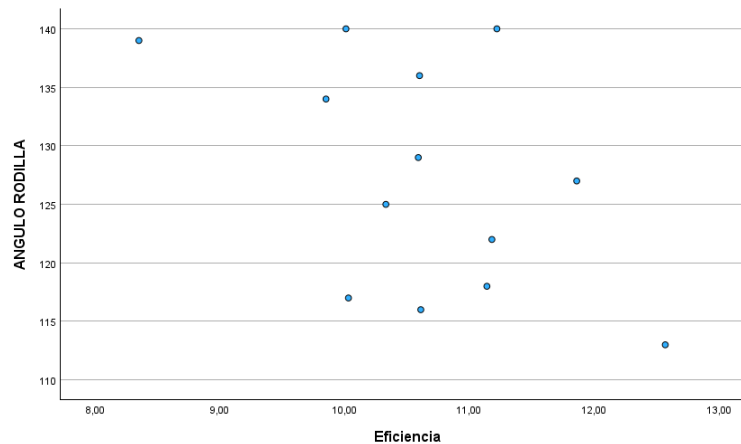


Fig. N.º 13 Gráfico de dispersión correlación de Pearson entre eficiencia y ángulo de la rodilla.

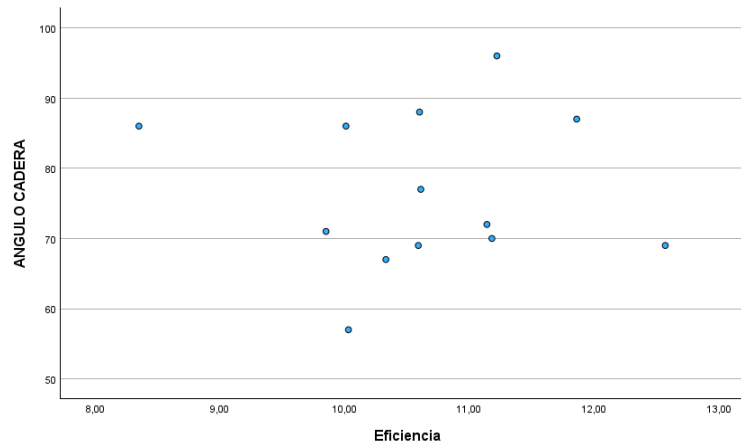


Fig. N.º 14 Grafico de dispersión correlación de Pearson entre eficiencia y ángulo d la cadera

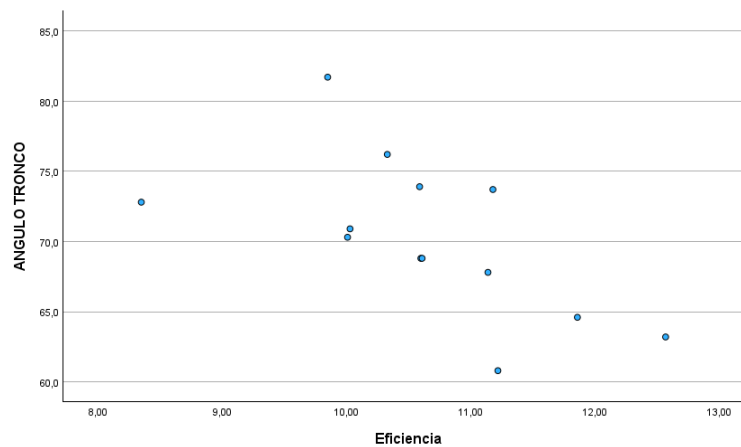


Fig. N.º 15 Grafico de dispersión correlación de Pearson entre eficiencia y ángulo del tronco.

Síntesis del análisis correlacional

Los resultados evidencian que: La longitud de zancada tiene una relación positiva con la eficiencia, pero no es determinante por sí sola. La frecuencia de zancada no presenta una relación directa con el rendimiento, e incluso puede ser contraproducente si no se acompaña de una adecuada amplitud. El tiempo de apoyo emerge como una variable clave, al mostrar asociaciones moderadas con la velocidad y la potencia. Los ángulos articulares reflejan más la técnica que el rendimiento directo, destacándose la coordinación entre rodilla y cadera. La eficiencia del desplazamiento depende de la interacción de múltiples variables, siendo la potencia y la velocidad los principales indicadores de rendimiento.

Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre las variables biomecánicas de la zancada y la eficiencia del desplazamiento en patinadores de velocidad de la Selección Boyacá. A partir de los resultados obtenidos, se identificaron asociaciones relevantes entre la longitud de zancada, el tiempo de apoyo, la potencia y la velocidad, lo cual permite contrastar estos hallazgos con investigaciones previas en el ámbito del rendimiento deportivo.

En primer lugar, la longitud de zancada mostró una correlación positiva moderada con la velocidad y la potencia, lo cual coincide con lo planteado por de Koning et al. (1992), quienes señalan que una mayor amplitud de zancada permite optimizar la eficiencia mecánica al reducir la cantidad de ciclos necesarios para recorrer una distancia

determinada. Sin embargo, en el presente estudio dicha relación no fue alta, lo que sugiere que la longitud de zancada, aunque importante, no es el único determinante del rendimiento, tal como



también lo reportan Sanders y Psycharakis (2009), quienes destacan la interacción entre variables técnicas y fisiológicas.

Por otro lado, la frecuencia de zancada fue la única variable que no presentó una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk ($p = 0,048$), por lo que los resultados relacionados con esta variable deben interpretarse con precaución. A pesar de ello, no se evidenció una relación significativa entre la frecuencia de zancada y la eficiencia, observándose incluso una tendencia negativa respecto a la velocidad. Este comportamiento coincide con lo planteado por van Ingen Schenau (1982), quien señala que incrementos excesivos en la frecuencia de movimiento, sin una adecuada longitud de zancada, pueden aumentar el costo energético sin generar mejoras proporcionales en el rendimiento deportivo. En consecuencia, los hallazgos sugieren que el desempeño de los patinadores evaluados depende más de una adecuada combinación entre frecuencia y amplitud de la zancada que del aumento aislado de cualquiera de estos componentes. Por tanto, las estrategias de entrenamiento deberían orientarse hacia la optimización integral del gesto técnico, buscando un equilibrio que favorezca tanto la economía del movimiento como la velocidad de desplazamiento.

En cuanto al tiempo de apoyo, se encontró una correlación positiva moderada con la velocidad y la potencia, lo cual resulta particularmente relevante. Este comportamiento puede explicarse a partir de lo planteado por de Boer et al. (1987), quienes indican que un mayor tiempo de contacto con la superficie permite una mejor aplicación de la fuerza, favoreciendo la propulsión. Este hallazgo refuerza la importancia de la fase de empuje en el patinaje de velocidad, donde la eficiencia no depende únicamente de la rapidez del movimiento, sino de la calidad de la aplicación de la fuerza.



Respecto a los ángulos articulares, se evidenció una alta correlación entre el ángulo de rodilla y el ángulo de cadera, lo que sugiere una adecuada coordinación interarticular en los deportistas. Sin embargo, su relación con la velocidad fue baja o negativa, lo cual coincide con lo reportado por Brughelli et al. (2010), quienes señalan que los ángulos articulares óptimos no son universales, sino que dependen de las características individuales del deportista y de su patrón técnico específico.

Adicionalmente, el ángulo de tronco presentó una correlación negativa con la velocidad y la potencia, lo cual puede interpretarse desde el punto de vista aerodinámico. Según Kyle (1991), una posición más inclinada del tronco reduce la resistencia al aire y mejora el rendimiento en deportes de velocidad, lo que explicaría por qué variaciones en esta variable afectan directamente la eficiencia del desplazamiento.

Por otra parte, las correlaciones encontradas entre las variables de rendimiento (velocidad, potencia, aceleración y tiempo en 200 m) fueron muy altas, lo cual confirma lo planteado por di Prampero (2005), quien establece que la velocidad en pruebas cortas está altamente determinada por la capacidad de generar potencia mecánica. En este sentido, los resultados del estudio evidencian que la potencia es uno de los principales determinantes de la eficiencia en el patinaje de velocidad.

En síntesis, los hallazgos del presente estudio concuerdan con la literatura científica al señalar que la eficiencia del desplazamiento no depende de una única variable, sino de la interacción entre factores biomecánicos y fisiológicos. La longitud de zancada, el tiempo de apoyo y la



potencia emergen como variables clave, mientras que la frecuencia de zancada y los ángulos articulares deben ser analizados en función del contexto técnico individual.

Conclusiones

Relación entre zancada y rendimiento. Se confirma que la longitud de zancada es un factor determinante en el éxito deportivo de los patinadores de la Selección Boyacá. Los resultados evidencian una correlación positiva moderada entre una mayor amplitud de zancada y el incremento en la velocidad y la potencia, lo que permite recorrer mayores distancias con un menor número de ciclos de movimiento. Predominio de la fase de apoyo. La investigación permitió identificar que la fase de contacto (tiempo de apoyo) predomina significativamente sobre la fase aérea (tiempo de vuelo) en la población evaluada. Un mayor tiempo de apoyo se relacionó positivamente con la eficiencia, sugiriendo que la calidad y duración del empuje permiten una aplicación de fuerza más efectiva para la propulsión. Impacto de la frecuencia de zancada. La frecuencia de zancada no evidenció una relación significativa con la eficiencia y mostró una tendencia negativa respecto a la velocidad. No obstante, esta variable fue la única que no cumplió el supuesto de normalidad, por lo que estos resultados deben interpretarse con cautela. Aun así, los hallazgos sugieren que incrementar la frecuencia de movimiento de manera aislada no garantiza mejoras en el rendimiento si no se acompaña de una adecuada amplitud de zancada y una ejecución técnica eficiente. La potencia como variable clave: La potencia mecánica se consolidó como el principal determinante del rendimiento en pruebas de velocidad (200 metros). Los deportistas con mayores niveles de potencia registraron las velocidades más altas y los mejores tiempos, validando que la capacidad de generar fuerza explosiva es crítica



para el éxito competitivo en la región. Postura y aerodinámica: El análisis cinemático reveló que una posición del tronco más inclinada hacia adelante favorece la velocidad, probablemente debido a una reducción de la resistencia aerodinámica. Por el contrario, posturas más erguidas se asociaron con una menor eficiencia en el desplazamiento. Individualidad de los perfiles biomecánicos: No existe un modelo único de eficiencia para todos los deportistas. Se identificaron perfiles mixtos: mientras algunos atletas basan su éxito en la potencia y amplitud, otros compensan limitaciones físicas con una mayor frecuencia. Esto resalta la necesidad de que los entrenadores de Boyacá realicen ajustes técnicos personalizados basados en las características individuales de cada patinador. Utilidad tecnológica: Se demostró que el uso de herramientas de bajo costo como el software Kinovea y dispositivos GPS son efectivos para la transición de una observación empírica a un análisis científico cuantitativo, permitiendo optimizar los procesos de corrección técnica y prevención de lesiones.

Bibliografía

Referencias/Bibliografía

1. Acero, J. (2002). Biomecánica integral para patinadores de carrera. *Expomotricidad*, 331854, 20787852. Recuperado de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/expomotricidad/article/download/331854/20787852>
2. Astudillo-Sarabia, C., Moscoso-García, R., & Barrachina-Fernández, G. (2022). Análisis biomecánico de la técnica de salida de patinaje de velocidad. *CIENCIAMATRIA*, 8(3), 1103–1130. Recuperado de <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1234>



3. Bartlett, R. (2007). *Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns*. Routledge.
4. Biomech. (s.f.). Análisis de movimiento. Recuperado de <https://www.biomech-solutions.com/es/analisis-de-movimiento-xsens-vicon-simi/>
5. De Boer, R. W., Ettema, G. J., Van Gorkum, H., de Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1987b). Biomechanical aspects of push-off techniques in speed skating the curves. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3, 69-79.
6. De Boer, R. W., Schermerhorn, P., Gademan, J., de Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1986). Characteristic stroke mechanics of elite and trained male speed skaters. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2(3), 175-186.
7. De Boer, R. W., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (2017). Biomechanical analysis of skating. **Journal of Biomechanics*, 50(3), 451–456.
8. De Boer, R. W., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Human power output and metabolic energy cost in speed skating. **Journal of Biomechanics*, 20(6), 563–568.
[https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90255-6)
9. De Koning, J. J., Thomas, R., Berger, M., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (2000). The effect of stroke frequency on skating efficiency and performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(5), 1152–1157.
10. Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of human movement* (5th ed.). Human Kinetics.
11. Foster, C., Thompson, N., & Snyder, A. C. (2010). *Physiology of speed skating*. University of Wisconsin–Milwaukee. Recuperado de <https://www.networkistics.com/sample/asufoundation/wp-content/uploads/2018/06/2010-Physiology-of-Speed-Skating-Carl-Foster-Nancy-Thompson-Ann-Snyder.pdf>



12. van Ingen Shenau, G. J. (1982). The influence of air friction in speed skating. *Journal of Biomechanics*, 15(6), 449-458.
13. Fowler, N., Lees, A., & Dyson, R. (1995). A biomechanical analysis of the acute effects of fatigue on knee joint stability and movement patterns during running. **Journal of Sports Sciences**, 13(2), 137–147. <https://doi.org/10.1080/02640419508732222>
14. Houdijk, H., de Koning, J. J., de Groot, G., Bobbert, M. F. & van Ingen Schenau, G. J. (2000). Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 635-641.
15. Knudson, D. (2013). **Fundamentals of biomechanics** (2nd ed.). Springer. Lees, A. (2002). Technique analysis in sports: A critical review. **Journal of Sports Sciences**, 20(10), 813–828. <https://doi.org/10.1080/026404102320675657>
16. Mann, R. (2011). **The biomechanics of sprinting and hurdling**. CreateSpace Independent Publishing.
17. Neptune RR, Hull ML. A theoretical analysis of preferred pedaling rate selection in endurance cycling. *J Biomech*. 1999 Apr;32(4):409-15. doi: 10.1016/s0021-9290(98)00182-1. PMID: 10213031.
18. Noakes, T. D. (2003). **Lore of running** (4th ed.). Human Kinetics. Peeters, T., Pires, D., & Lenoir, M. (2019). The influence of body posture on speed skating performance. **European Journal of Sport Science**, 19(6), 785–793.
19. Van Ingen Schenau, G. J. (1982). The control of speed in elite female speed skaters. **Journal of Biomechanics**, 15(6), 537–545.
20. Winter, D. A. (2009). **Biomechanics and motor control of human movement** (4th ed.). Wiley.



21. Wu, Z., Cardoso, F., Pyne, D. B., Goethel, M. F., & Fernandes, R. J. (2025). Physiological and biomechanical characteristics of inline speed skating: A systematic scoping review. **Applied Sciences**, 15(14), 7994. <https://doi.org/10.3390/app15147994>
22. Brughelli, M., Cronin, J., & Nosaka, K. (2010). Muscle damage and running economy in distance runners: A review. *Sports Medicine*, 40(5), 395-417. doi.org
23. Os J. de Koning, Gert de Groot, Gerrit Jan van Ingen Schenau, Ice friction during speed skating, *Journal of Biomechanics*, Volume 25, Issue 6, 1992, Pages 565-571, ISSN 0021-9290, [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(92\)90099-M](https://doi.org/10.1016/0021-9290(92)90099-M). Di Prampero, P. E., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J. B., Belli, A., & Antonutto, G. (2005). Sprint running: a new energetic approach. *Journal of Experimental Biology*, 208(14), 2809-2816. doi.org
24. Kyle, C. R. (1991). The aerodynamics of speed studs, skateboards and inline skates. En J. J. Bleustein (Ed.), *Sports Science* (pp. 115-125). University of California Press.
25. Sanders, R. H., & Psycharakis, S. G. (2009). Factors affecting speed in swimming. *Journal of Biomechanics*, 42(10), 1401-1405. doi.org
26. Van Ingen Schenau, G. J. (1982). The influence of air friction in speed skating. *Journal of Biomechanics*, 15(6), 449-458. doi.org
27. Psycharakis SG, Sanders RH. Body roll in swimming: a review. *J Sports Sci*. 2010 Feb;28(3):229-36. doi: 10.1080/02640410903508847. PMID: 20131140.
28. Brughelli M, Mendiguchia J, Nosaka K, Idoate F, Arcos AL, Cronin J. Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players. *Phys Ther Sport*. 2010 May;11(2):50-5. doi: 10.1016/j.ptsp.2009.12.002. Epub 2010 Jan 22. PMID: 20381001.



29. di Prampero PE, Fusi S, Sepulcri L, Morin JB, Belli A, Antonutto G. Sprint running: a new energetic approach. J Exp Biol. 2005 Jul;208(Pt 14):2809-16. doi: 10.1242/jeb.01700. PMID: 16000549.