

Salto vertical con contramovimiento CMJ y ABK: Análisis biomecánico en deportistas jóvenes amateurs.

1st Milagros J. Noriega

Ingeniería Biomédica

Pontificia Universidad Católica del Perú
Lima, Perú

noriega.milagros@pucp.edu.pe

2nd Paco A. Castillo

Ingeniería Biomédica

Pontificia Universidad Católica del Perú
Lima, Perú

p.castilloc@pucp.edu.pe

3rd Anel F. Ramírez

Ingeniería Biomédica

Pontificia Universidad Católica del Perú
Lima, Perú

anel.ramirez@upch.pe

4th Gloria E. Atencio

Ingeniería Biomédica

Pontificia Universidad Católica del Perú
Lima, Perú

gloria.atencio@upch.pe

5th Victoria E. Abarca

Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada

Pontificia Universidad Católica del Perú

Lima, Perú

victoria.abarca@pucp.edu.pe

Abstract—Este estudio comparó las características biomecánicas del salto con contramovimiento (CMJ) y el salto Abalakov (ABK) en dos basquetbolistas amateurs de Lima, Perú. Se evaluaron variables dinámicas, cinemáticas y articulares mediante plataformas de fuerza y videogrametría. Los resultados mostraron que el CMJ presentó menores tiempos de acoplamiento, optimizando el uso de la energía elástica acumulada, mientras que el ABK destacó por su mayor altura de salto y un índice de utilización de brazos (IUB) más elevado. Sin embargo, se identificaron diferencias significativas en las fuerzas excéntricas, concéntricas e impulsos entre los participantes, señalando variaciones en la técnica de ejecución y eficiencia biomecánica. Este análisis aporta información clave sobre la mecánica de los saltos en deportistas amateurs, sugiriendo áreas de mejora en la técnica y prevención de lesiones.

Index Terms—Biomecánica, Salto vertical, CMJ, ABK, Basquetbolistas amateurs.

I. INTRODUCTION

A nivel internacional, existen estudios que evidencian la alta incidencia de lesiones entre los deportistas amateurs del baloncesto. En España, se reportaron 47.3 lesiones por cada 1,000 horas de competencia, siendo el tobillo y la rodilla las principales zonas afectadas, las cuales requieren más de 8 y 29 días de descanso, respectivamente [1]. Asimismo, el baloncesto ocupa el cuarto lugar entre los deportes con mayor cantidad de lesiones en deportistas amateurs, con una incidencia del 7.7%, destacando como el primero con mayor porcentaje de secuelas tras una lesión, alcanzando un 70.2%, [2]. Encontrándose, además, entre las más comunes los esguinces, contusiones y sobrecargas musculares, destacando los esguinces de tobillo (50%) como las lesiones más prevalentes [1].

En el contexto nacional, el baloncesto representa el 37.2% de las lesiones deportivas registradas en Lima, siendo las lesiones más comunes las de las extremidades inferiores, incluyeron las rodillas (22.1%) y los tobillos (8.9%), ya que se relacionan directamente con los movimientos explosivos característicos de este deporte (saltos verticales). Entre las lesiones predominantes de este deporte se encuentran las tendinosas (56.6%), seguidas por las ligamentosas (27.5%) y musculares (15.9%), asociadas al esfuerzo repetitivo e intenso durante los saltos y aterrizajes, lo que resalta la necesidad de evaluar y mejorar la técnica de salto en los deportistas [3].

En este estudio se evalúa el salto vertical con contramovimiento (CMJ) y el salto Abalakov (ABK), siguiendo el protocolo de Bosco (1994), ya que ofrecen ventajas significativas para evaluar la fuerza explosiva del tren inferior y la influencia de los brazos en el rendimiento del salto. El CMJ permite medir la fuerza explosiva mediante una activación excéntrica precedida de una actividad concéntrica, optimizando el rendimiento gracias al reflejo miotático. Por su parte, el ABK, según Vittori (1990), evalúa el impacto del uso libre de los brazos, facilitando además el cálculo del índice de utilización de brazos (IUB), que cuantifica en términos porcentuales su contribución al salto [4].

A. Estudios previos

El instituto pedagógico de caracas evalúa la potencia muscular del tren inferior al realizar los saltos CMJ y ABK. Esto permite medir la capacidad del salto y qué tan relacionado está con la estatura y el índice de masa corporal [5]. Los investigadores demostraron que existe una correlación entre las características físicas y el rendimiento en las pruebas de salto [6].

Por otro lado, la revista digital "Rendimiento Deportivo" utiliza la evaluación biomecánica de los saltos anteriormente mencionados y demuestra que con ejercicios pliométricos y actividades específicas se puede mejorar la capacidad de salto. Otros estudios se centran en la compresión biomecánica para optimizar el rendimiento deportivo. Principalmente tratan sobre variables como velocidad de despegue, ángulo de proyección y técnica de salto [7] [8].

Sin embargo, la literatura aún necesita ser estandarizada, pues la variabilidad de resultados es el principal problema hasta el momento. Algunos investigadores señalan que las plataformas de fuerza utilizadas pueden no ser adecuadas o introducir errores en la estimación de la potencia de salto. Por otro lado, factores externos como una técnica mal ejecutada o fatiga muscular pueden influir en la obtención de resultados no precisos [6] [8].

B. Marco teórico

El salto vertical, en biomecánica, mide la capacidad del cuerpo para generar fuerza, potencia y coordinación, siendo esencial en deportes como baloncesto, voleibol y atletismo. Su eficacia depende de variables como la fuerza muscular, el impulso (producto de la fuerza aplicada y el tiempo de contacto) y el tiempo de acoplamiento, que optimiza el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) para aprovechar la energía elástica de músculos y tendones.

La altura máxima alcanzada ($H_{m\acute{a}x}$) se calcula sumando la altura inicial del centro de gravedad (H_d) y el incremento durante el vuelo (ΔH), determinado por la velocidad de despegue (V_{zd}). Esta depende del impulso generado en el suelo (I_z), compuesto por el impulso de frenado (I_F) y el de aceleración (I_A), cuya relación ideal ($\frac{I_F}{I_A} \approx \frac{1}{3}$) ha sido propuesta, aunque sigue siendo debatida.

La medición precisa de (ΔH) requiere identificar la posición del centro de gravedad durante el despegue y el vuelo, lo que puede realizarse mediante fotogrametría, aunque esta técnica enfrenta limitaciones por errores anatómicos y de modelos segmentarios. Por ello, se han desarrollado métodos más fiables, especialmente para analizar mejoras en deportistas de élite, donde pequeñas variaciones son significativas. Este análisis permite no solo evaluar el rendimiento, sino también diseñar entrenamientos efectivos y estrategias de rehabilitación [9].

El análisis biomecánico de los saltos con contramovimiento (CMJ) y Abalakov (ABK) en jóvenes basquetbolistas amateurs es esencial para mejorar el rendimiento y prevenir lesiones, aspectos clave para el desarrollo deportivo. Ambos saltos son herramientas fundamentales para evaluar la potencia explosiva del tren inferior, la cual es crucial en el baloncesto para ejecutar saltos, bloqueos, rebotes y lanzamientos con mayor efectividad [10]. En Perú, hay una falta de investigaciones enfocadas en la biomecánica aplicada a jóvenes basquetbolistas amateurs. La mayoría de los estudios se centran en atletas de élite o se realizan en contextos internacionales, lo que limita la adaptación de estrategias de entrenamiento a las características antropométricas y culturales de los jóvenes

deportistas peruanos. Esta carencia de información sobre sus capacidades físicas y técnicas dificulta la creación de programas de entrenamiento específicos para sus necesidades.

El estudio busca abordar problemas concretos como la identificación de errores en la ejecución del salto. Factores como una fase excéntrica incorrecta o el uso inapropiado de los brazos pueden afectar la altura y la eficiencia del salto, elementos clave en el rendimiento durante el juego. Detectar estos problemas permite ajustar la técnica del deportista, optimizando su capacidad de generar fuerza y mejorando su efectividad en acciones clave del baloncesto.

C. Objetivos del estudio

a) *Objetivo general:* Evaluar la eficiencia biomecánica de los saltos con contramovimiento (CMJ) y Abalakov (ABK) en jóvenes deportistas amateurs de baloncesto, con el propósito de identificar factores que influyen en el rendimiento físico y desarrollar estrategias que optimicen la técnica de salto, mejorando tanto el rendimiento deportivo como la prevención de lesiones.

b) *Objetivos específicos:*

- Evaluar los saltos CMJ y ABK con plataformas de fuerza y captura de movimiento para analizar las fases del salto y las fuerzas generadas.
- Medir variables como altura, fuerza máxima, tiempo de vuelo y ángulos de rodilla con software como MATLAB y Kineva, para establecer una línea base de eficiencia del salto en jóvenes basquetbolistas.
- Identificar deficiencias técnicas en el salto, como una fuerza excéntrica limitada, uso ineficiente de los brazos o desalineación en la flexión de rodillas, que afecten la altura y eficiencia del salto.

D. Descripción del artículo

El artículo presenta las secciones clave del estudio: la introducción contextualiza el tema y resalta la importancia de analizar los saltos para prevenir lesiones y mejorar el rendimiento deportivo. La metodología describe el proceso del ensayo, los criterios de selección, los instrumentos y las técnicas de captación de movimiento y fuerzas. En los resultados, se comparan los saltos CMJ y ABK mediante indicadores biomecánicos clave. La discusión interpreta los hallazgos, identificando implicaciones y posibles mejoras. Finalmente, las conclusiones resumen los aportes, ofrecen recomendaciones y proponen futuras líneas de investigación.

II. METODOLOGÍA

A. Criterios de inclusión

Se buscará dos (02) deportistas en el polideportivo de la Pontificia Universidad Católica del Perú. En la tabla 1 se observan los demás criterios que se tomaron en cuenta para la selección de los deportistas.

TABLE I
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y CRITERIOS DE INCLUSIÓN.

Categoría	Descripción
Sexo	Varones
Edad	19-24 años
Tiempo de práctica	2-3 años
Estatura	Entre [160 ; 175] cm*
Criterios de exclusión	<ul style="list-style-type: none"> Deportistas con alguna patología. Deportistas con amputaciones.
Muestra	Dos deportistas varones

*Rango aproximado adaptado de los valores antropométricos de percentil $p_5 = 150.2$ y $p_{95} = 180.4$ para adultos peruanos [11].

B. Descripción de la actividad

La investigación analizó la ejecución biomecánica de los saltos CMJ y ABK en dos deportistas varones amateurs de baloncesto. El objetivo fue evaluar las variables de fuerza, impulso y técnica de salto usando plataformas de fuerza y videogrametría, en un entorno controlado. El proceso incluyó medición antropométrica, calentamiento previo y la realización de ambos saltos bajo indicaciones específicas.

C. Variables

- Peso corporal (Kg): Peso total de cada participante.
- Talla (m): Estatura de cada participante, medida desde la planta de los pies hasta el vértice de la cabeza.
- Centro de masa (m): Calculado durante la fase inicial y durante el vuelo de cada deportista [12].
- Altura del salto (m): Distancia vertical alcanzada por el centro de masa del cuerpo durante el salto.
- Tiempo:
 - Tiempo total (s): Intervalo temporal que transcurre desde el inicio de la primera fase hasta el término de la fase final o de aterrizaje.
 - Tiempo de acoplamiento (s): Refiere al breve intervalo entre la fase excéntrica y la fase concéntrica.
- Fuerza excéntrica (N): Se genera durante una contracción muscular en la que el músculo se alarga mientras está bajo tensión. Su valor se obtiene mediante el análisis de la gráfica Fuerza vs. Tiempo proporcionada por la plataforma de fuerza [13].
- Fuerza concéntrica (N): Se genera durante la contracción muscular en la que el músculo se acorta (trabajo positivo).
- Fuerza de aterrizaje (N): Se obtiene en la fase final del salto por medio de la gráfica de Fuerza vs tiempo.
- Impulso (N*s): Se entiende como la integral de la fuerza (excéntrica y concéntrica).
- Velocidad de despegue ($\frac{m}{s}$): Rapidez con la que un atleta abandona el suelo al iniciar el salto.
- Índice de utilización de brazos: Es la diferencia porcentual entre la altura lograda en el Abalakov y el CMJ. Se calcula como el ABK menos el CMJ, sobre el CMJ y finalmente se multiplica por 100% [14].

- Rangos articulares (rodilla y talón): El rango de flexión máximo de la rodilla es de 90° , según el test de Bosco [15].

D. Captación del movimiento

Antes de las pruebas, se obtuvo el consentimiento informado de los deportistas. Las pruebas se realizaron en una sala cerrada, con un tallímetro y una báscula cerca de la entrada para medir las variables antropométricas. Se preparó la plataforma de fuerza y un sistema de videogrametría con una cámara y cinco marcadores reflectantes en el centro de masa, cadera, rodilla, talón y punta del pie.

Los participantes se presentaron con la vestimenta adecuada y, tras la medición de talla y peso, realizaron un calentamiento de 15 minutos. Luego, se colocaron los marcadores reflectantes y se verificó que la plataforma de fuerza y el sistema de videogrametría estuvieran listos.

Cada participante realizó los saltos CMJ y ABK. En el CMJ, mantuvieron el pecho erguido, la mirada al frente y las manos en las caderas, flexionando las rodillas hasta 90° antes de saltar. Este procedimiento se repitió tres veces. En el ABK, los participantes flexionaron las rodillas a 90° , movieron los brazos hacia atrás sin balanceo y extendieron los brazos hacia arriba durante el salto, repitiendo tres veces. Tras cada repetición, se registraron los datos y se analizaron los movimientos.

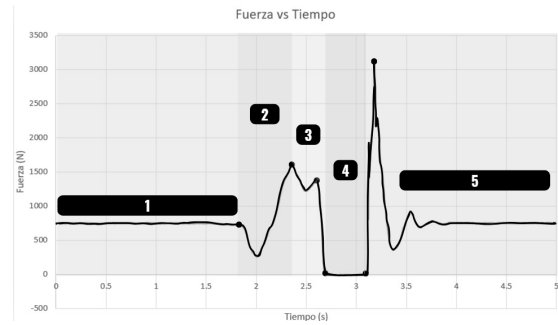


Fig. 1. Gráfico de la fuerza en función del tiempo. 1: Fase inicial. 2: Fase de contramovimiento (excéntrica). 3: Fase de impulso (concéntrica). 4: Fase de vuelo. 5: Fase de aterrizaje.

En la figura 1, se puede observar cómo la fuerza varía a lo largo del tiempo durante el ejercicio durante las diferentes fases del salto.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan los resultados del estudio de ambos saltos y entre los participantes, denominados Voluntario 1 y Voluntario 2. Las variables evaluadas incluyen parámetros cinemáticos, dinámicos y articulares, comparando posteriormente sus resultados con datos de referencia provenientes de la literatura.

Para las comparaciones, se utilizó un estudio de 'The Journal of Strength and Conditioning Research', que analizó las variables de fuerza excéntrica, fuerza concéntrica e impulso, ajustados por la masa corporal del deportista [16]. Los datos

TABLE II
TABLA DE RESULTADOS BIOMECÁNICOS COMPARATIVOS ENTRE LOS
SALTOS CMJ Y ABK EN DOS BASQUETBOLISTAS AMATEURS.

Variables	CMJ		ABK	
	Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 1	Voluntario 2
Talla (m)	1.67	1.60	1.67	1.60
Peso corporal (Kg)	70	53	70	53
Centro de masa en el punto inicial (m)	1.04	0.97	0.95	0.91
Centro de masa en el punto máximo (m)	1.39	1.29	1.34	1.33
Altura del salto (m)	0.35	0.31	0.39	0.42
Tiempo total (s)	0.61	0.52	0.94	0.60
Tiempo de acoplamiento (s)	0.24	0.18	0.27	0.36
Fuerza excéntrica máxima (N)	1538.84	1056.87	1556.90	728.58
Fuerza concéntrica máxima (N)	1344.37	1219.98	1373.20	1358.89
Fuerza de aterrizaje (N)	3051	2038.89	3351.08	1947.38
Impulso en la fase excéntrica (N*s)	403.58	212.16	289.99	344.83
Impulso en la fase concéntrica (N*s)	193.82	259.64	432.53	266.11
Velocidad de despegue (m/s)	2.63	2.56	2.76	2.94
Índice de utilización de brazos	10.04	32.45	10.04	32.45
Rangos articulares de la rodilla (°)	93.83	123.83	80.4	125.76
Rangos articulares del pie (°)	43.40	24.23	43.50	40.30

obtenidos fueron relativizados restando la fuerza ejercida por el peso del deportista en reposo sobre la plataforma de fuerza, y luego dividiéndolos por su masa corporal. La fuerza relativa se expresó en $\frac{N}{kg}$, eliminando el efecto del peso corporal. De manera similar, el impulso, inicialmente en N*s, se ajustó y se expresó en $\frac{N*s}{kg}$.

A. Tiempo de acoplamiento

El tiempo de acoplamiento evalúa la eficiencia del ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA), que maximiza la potencia muscular mediante la reutilización de la energía elástica acumulada durante la transición entre las fases excéntrica y concéntrica.

Los resultados muestran que los tiempos de acoplamiento son menores en el CMJ que en el ABK para ambos voluntarios, indicando una transición más rápida y eficiente en el CMJ. Sin embargo, el análisis individual revela que el voluntario 1 tiene un tiempo de acoplamiento más bajo en el ABK (0.275 s frente a 0.362 s del voluntario 2), mientras que el voluntario 2 tiene un tiempo de acoplamiento más bajo en el CMJ (0.185 s frente a 0.2486 s del voluntario 1).

Según la literatura, un tiempo de acoplamiento menor a 0.25 s se considera eficiente (CEA rápido). En el CMJ, el voluntario 2 (0.185 s) está por debajo de este umbral, mostrando excelente eficiencia, mientras que el voluntario 1 (0.2486 s) también está cerca del límite. En el ABK, ambos voluntarios tienen tiempos mayores a 0.25 s (CEA lento), lo que refleja una transición más prolongada [17].

B. Fuerza excéntrica y concéntrica

En la tabla 3, la variable de fuerza excéntrica presenta diferencias entre los dos voluntarios. El voluntario 1 genera una fuerza excéntrica máxima mayor en ambos tipos de salto, lo que podría estar relacionado con su mayor masa corporal (70 kg frente a 53 kg del voluntario 2), permitiéndole producir más fuerza. En cuanto a los tipos de saltos, el voluntario 1 muestra una fuerza excéntrica ligeramente mayor en el Abk (1556.90 N) que en el CMJ (1538.84 N), lo que sugiere eficiencia en movimientos más exigentes. En contraste, el voluntario 2 presenta una fuerza excéntrica más baja en el Abk (728.588 N) que en el CMJ (1056.87 N), lo que podría reflejar limitaciones en fuerza relativa o técnica. Una mayor fuerza excéntrica permite almacenar más energía elástica, optimizando el rendimiento en la fase concéntrica. El voluntario 1 utiliza eficazmente el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA), mientras que el voluntario 2 no lo aprovecha plenamente.

Con respecto a la fuerza concéntrica, se sabe que es la fuerza máxima que el músculo genera mientras se acorta. Se produce durante la fase de propulsión mientras el atleta está empujando hacia el suelo para elevarse. Se ha demostrado que un aumento en la fuerza de la fase concéntrica se asocia con un incremento en la altura del salto y potencia generada durante el salto [18].

Este comportamiento se cumple en ambos atletas analizados, como vemos en la tabla 3. El voluntario 1 tiene mayor fuerza concéntrica y este es el que alcanza mayor elevación durante ambos saltos.

Si se analiza el CMJ, específicamente la fase de propulsión-aceleración (PA-II) del voluntario 1, vemos que se obtiene un valor de $8.49 \frac{N}{kg}$, encontrándose dentro de los rangos de los deportistas varones de bajo rendimiento [16]. En cuando al voluntario 2, se observa que tiene un valor de $13.45 \frac{N}{kg}$, lo que puede explicar porqué utiliza mucha fuerza mecánica del músculo y no la potencia de la fase de contramovimiento, indicando que el atleta está en riesgo de sufrir una lesión.

C. Fuerza de aterrizaje

La fuerza de aterrizaje es la fuerza que se genera después del salto. Se utiliza esta variable para dar indicaciones para

TABLE III

COMPARATIVA ENTRE LOS VALORES DE LAS FUERZAS EXCÉNTRICA Y CONCÉNTRICA DE LOS VOLUNTARIOS VS LA LITERATURA.

Fase	Voluntario 1	Voluntario 2	LPG	Estándares de varones
Excéntrica (N/Kg)	11.55	9.99	10.52 ± 2.15	13.43 ± 3.24
Concéntrica (N/Kg)	8.49	13.45	8.48 ± 0.97	9.19 ± 0.90

minimizar el riesgo de lesiones y optimizar el rendimiento. Esta fuerza depende únicamente del trabajo excéntrico de la cadena extensora del miembro inferior. Una mala técnica de amortiguación hará que el deportista incremente su riesgo de padecer una lesión [19].

Vemos en la tabla 4 que el voluntario 1 tiene una fuerza de aterrizaje de $32.87 \frac{N}{kg}$ y el voluntario 2 de $29.03 \frac{N}{kg}$. Ambos valores están dentro de la distribución normal de la etapa post-competitiva.

TABLE IV

COMPARATIVA ENTRE LOS VALORES DE LA FUERZA DE ATERRIJAJE DE LOS VOLUNTARIOS VS LA LITERATURA EN LA ETAPA POST-COMPETITIVA.

Voluntario 1 (N/Kg)	Voluntario 2 (N/Kg)	Fuerza de aterrizaje estándar (N/Kg)
8.49	13.45	13.44 ± 15.55

D. Impulso

En cuanto a las variables de impulso, en el salto CMJ, el voluntario 1 muestra un área bajo la curva en la fase excéntrica cuatro veces mayor que en la fase concéntrica, lo que indica una mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía acumulada. En el salto ABK, el impulso excéntrico también es mayor que el concéntrico, pero la diferencia es menos pronunciada, lo que sugiere una distribución más equilibrada de la energía entre ambas fases.

Por otro lado, el voluntario 2 presenta un impulso excéntrico mayor que el concéntrico en ambos saltos, lo que sugiere un uso ineficiente de la energía almacenada, lo que podría indicar deficiencias en su técnica de salto y afectar su rendimiento y eficiencia.

En la tabla 5, se comparan los resultados de las áreas bajo la curva del CMJ de ambos voluntarios con los obtenidos en estudios previos realizados con basquetbolistas y deportistas de bajo rendimiento, cuyos resultados fueron relativizados.

Según la tabla, el voluntario 1 muestra valores de impulso en la fase excéntrica y concéntrica más cercanos a los reportados en la literatura para deportistas de bajo rendimiento, sin diferencias significativas entre ambas fases. En cambio, el voluntario 2 presenta valores significativamente más altos, especialmente en la fase concéntrica, con un valor aproximadamente cinco veces mayor que el de la literatura, lo que indica una ejecución ineficiente de la técnica.

Además, al comparar las razones entre las fases excéntrica y concéntrica, la literatura muestra una relación de 7.5 a 8.4

TABLE V

COMPARATIVA ENTRE LOS VALORES DE IMPULSO DE LOS VOLUNTARIOS VS LA LITERATURA.

Fase	Voluntario 1	Voluntario 2	LPG	Estándar de varones
Excéntrica	1.42	0.97	1.05 ± 0.15	1.26 ± 0.23
Concéntrica	0.28	0.55	0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.03

[16]. El voluntario 1 presenta una razón de 5.01, consistente con los valores referenciales, mientras que el voluntario 2 tiene una razón de 1.74, muy por debajo de los valores estándar.

E. Velocidad de despegue

Según Hay y Fung (1982), la velocidad de despegue es un factor determinante en el salto vertical, ya que influye directamente en la altura máxima alcanzada por el centro de gravedad durante el vuelo. Esto debido a que la altura del salto depende tanto de la posición inicial del centro de gravedad como de la velocidad generada en el momento del despegue. Asimismo, explican que esta velocidad está relacionada con las variables cinéticas que intervienen en el salto, específicamente con el impulso generado, el cual es la suma del impulso de frenado y el impulso de aceleración durante la fase concéntrica. En los resultados obtenidos en la tabla 6, se observa una variación en la velocidad entre los dos tipos de salto. El voluntario 1 muestra una velocidad ligeramente mayor en el salto Abk en comparación al CMJ, mientras que el voluntario 2 evidencia un incremento más notable en su velocidad en el salto Abk. Esta diferencia se explica por la diferencia entre las alturas del salto (h), ya que esta es mayor en el Abk que en el CMJ, relacionándose directamente con la velocidad vertical de despegue:

$$h = \frac{V_v^2}{2g} \quad (1)$$

donde V_v es la velocidad vertical de despegue, y g es la constante gravitatoria, cuyo valor es 9.81 m/s^2 [20].

Se analiza la velocidad despegue en el salto con contramovimiento, comparándolo con la literatura donde se determinó a las personas como 'jumpers' cuando la altura del salto es mayor a 0.50 m y como 'nonjumpers' cuando la altura del salto es menor a 0.50 m. Como podemos ver en la tabla, la altura alcanzada en ambos sujetos es menor a 0.50 m, por lo que se catalogan como 'nonjumpers' [21].

TABLE VI

COMPARATIVA ENTRE LOS VALORES DE VELOCIDAD DE LOS VOLUNTARIOS VS LA LITERATURA.

Voluntario 1	Voluntario 2	Nonjumpers
2.802	2.563	3.02 ± 0.30

Vemos entonces que ambos voluntarios no alcanzan el valor estimado por la literatura, esto debido a los resultados diferentes entre las alturas de salto.

F. Índice de utilización de brazos

El índice de utilización de brazos (IUB): es un indicador que permite conocer en términos porcentuales en qué medida los brazos contribuyen al rendimiento del salto vertical. La ecuación a utilizar para hallar dicho parámetro es:

$$\frac{(ABK - CMJ) \times 100}{CMJ} \quad (2)$$

[22]

Según los resultados en la tabla 7, el Voluntario 1 presenta un IUB del 10.05%, lo que indica un aprovechamiento limitado del movimiento de los brazos y una mayor dependencia de la fuerza de las piernas. Por el contrario, el Voluntario 2 muestra un IUB del 32.45%, reflejando una técnica más eficiente y una mejor coordinación del tren superior, lo que contribuye significativamente a la altura del salto. Desde una perspectiva biomecánica, un IUB alto, como el de Voluntario 2, optimiza la transferencia de energía de los brazos al cuerpo durante el despegue, mejorando la altura del salto y el uso del ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA). En contraste, un IUB bajo, como el de Voluntario 1, sugiere una técnica deficiente que podría beneficiarse de un entrenamiento enfocado en la oscilación de brazos para maximizar su rendimiento. Estos resultados resaltan la importancia de la coordinación entre el tren superior e inferior para un salto más eficiente y efectivo.

TABLE VII
ÍNDICE DE UTILIZACIÓN DE BRAZOS (IUB) EN CMJ Y ABK.

Voluntario	IUB (%) en CMJ	IUB (%) en ABK
Voluntario 1	10.05	10.05
Voluntario 2	32.45	32.45

G. Rangos articulares

Los rangos articulares durante el salto brindan información crucial sobre la técnica y la eficiencia del movimiento, tanto en el eje horizontal como en el vertical. En este análisis, se evaluaron los ángulos de flexión de rodilla y pie en dos participantes durante los saltos con contramovimiento (CMJ) y Abalakov (ABK) destacando la importancia de la fase de frenado, donde el impulso generado depende de la capacidad del atleta para superar la fase de despeso.

El Protocolo de Bosco recomienda un rango de flexión de rodilla entre 90° y 100°, ideal para acumular energía elástica sin comprometer la eficiencia mecánica. En la tabla 8, vemos que en el CMJ el voluntario 1 presentó un rango de 93.83°, dentro del ideal, mientras que el voluntario 2 alcanzó 123.83°, excediendo el rango óptimo y comprometiendo la transferencia de energía. En el ABK, el voluntario 1 mostró una flexión de 80.4°, por debajo del rango recomendado, mientras que el voluntario 2 nuevamente superó el rango ideal con 125.76°, reflejando un posible sobreuso de la fase excéntrica. En cuanto al tobillo, su rango funcional (20° de dorsiflexión a 45° de flexión plantar) es crucial para el despegue y aterrizaje. En

el ABK, ambos voluntarios estuvieron dentro del rango adecuado, con 43.5° y 40.3°, respectivamente. Sin embargo, en el CMJ, el voluntario 2 mostró 24.23°, cercano al límite inferior, lo que podría reducir la eficiencia del impulso, mientras que el voluntario 1 alcanzó un valor óptimo de 43.4°. Estos resultados subrayan la importancia de ajustar la técnica, especialmente en el voluntario 2, para optimizar el ciclo de estiramiento-acortamiento y mejorar el rendimiento en ambas modalidades de salto [23].

TABLE VIII
COMPARATIVA ENTRE LOS VALORES DE RANGO ARTICULAR ENTRE VOLUNTARIOS Y LA LITERATURA.

Rango	Voluntario 1	Voluntario 2	Rango ideal
Rango rodilla (CMJ)	93.83°	123.83°	90°-100°
Rango pie (CMJ)	43.4°	24.23°	20° (dorsiflexión) - 45° (flexión plantar)
Rango rodilla (ABK)	80.5°	125.76°	90°-100°
Rango pie (ABK)	43.5°	40.3°	20° (dorsiflexión) - 45° (flexión plantar)

CONCLUSIONES

a) *Recomendaciones para los deportistas:* Las recomendaciones basadas en el análisis biomecánico del informe para los deportistas jóvenes amateurs se centran en mejorar el rendimiento y prevenir lesiones. Aquí están las principales sugerencias:

- Mejora de la técnica de salto: Para mejorar el rendimiento en el salto, es clave realizar un movimiento controlado y eficiente en la fase excéntrica, maximizando el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) para almacenar y transferir energía elástica durante el despegue. En el salto Abalakov, la correcta coordinación de los brazos es esencial para aumentar la fuerza y la altura alcanzada. Además, es importante lograr una transición rápida entre las fases excéntrica y concéntrica, manteniendo un tiempo de acoplamiento menor a 250 ms, lo que optimiza el CEA y mejora la explosividad del salto.
- Fortalecimiento y Prevención de Lesiones: Es fundamental trabajar la estabilidad de tobillos y rodillas mediante ejercicios de equilibrio y propiocepción, combinados con rutinas de control neuromuscular que optimicen la técnica. Además, el fortalecimiento de los extensores de las piernas, como cuádriceps, isquiotibiales y gastrocnemios, debe incluir trabajo excéntrico para mejorar la absorción de impactos en el aterrizaje. Finalmente, es importante corregir errores comunes, como posturas desalineadas y rangos articulares deficientes en rodillas y pies, asegurando una ejecución segura de los movimientos.
- Monitoreo y evaluación regular: El monitoreo regular con herramientas como plataformas de fuerza y análisis

de video (Kinovea, MATLAB) es clave para evaluar variables como fuerza, tiempo de vuelo y altura del salto. Comparar los resultados con valores estándar ayudará a identificar áreas de mejora, optimizando el rendimiento de los deportistas.

b) Propuestas para estudios futuros: Para futuros trabajos realizados en Perú, se recomienda ampliar la muestra de deportistas, incluyendo diferentes ligas y niveles de entrenamiento, para obtener datos más representativos y establecer valores de referencia. Además, incorporar la evaluación del salto SJ permitiría calcular el índice de elasticidad y analizar su relación con el rendimiento, proporcionando una visión más completa de las capacidades físicas de los basquetbolistas peruanos.

IV. REFERENCES

REFERENCES

- [1] J. Mateos Conde, M. T. Cabero Morán, y C. Moreno Pascual, "Prospective epidemiological study of basketball injuries during one competitive season in professional and amateur Spanish basketball", *Phys. Sportsmed.*, vol. 50, núm. 4, pp. 349–358, 2022.
- [2] C. García González, R. Albaladejo Vicente, R. Villanueva Orbáiz, y E. Navarro Cabello, "Esport d'oci a Espanya: epidemiologia de les lesions i les seves conseqüències", *Apunts Educ. Fís. Esports*, núm. 119, pp. 62–70, 2015.
- [3] A. Barboza y V. Consuelo, "Prevalencia de lesión de partes blandas en atletas de alto rendimiento de una federación deportiva peruana de la región Lima, periodo 2015 - 2017", *Universidad Alas Peruanas*, 2018.
- [4] Luarte R., C., González V., M., Aguayo A., O. (2014). Evaluación de la fuerza de salto vertical en voleibol femenino en relación a la posición de juego. *Revista Ciencias De La Actividad Física UCM*, 15(2), 43-52.
- [5] Hernández, Pedro Felipe Gamardo. Potencia muscular de niños entre 6 y 13 años de edad de las Escuelas deportivas del instituto Pedagógico de Caracas. *EmásF: revista digital de educación física*, 2017, no 46, p. 61-79.
- [6] T. Guterman, "Variables determinantes en el salto vertical", *Efdeportes.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd70/salto.htm>.
- [7] J. G. Villa y G.-L. J., "Tests de salto vertical (I): Aspectos funcionales", *Unileon.es*. [En línea]. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/9459/Villa-RD-2003-Salto-Vertical-Aspectos-Functionales.pdf?sequence=1>.
- [8] Contreras, M.; Laguado, M. Jaimes; Hermoso, V. Soto. Evaluación de la asimetría bilateral en el salto vertical con contramovimiento en sujetos con actividad física federada, aficionada y sedentaria. *Cuidado y Ocupación Humana*, 2013, vol. 1, no 1.
- [9] G.-L. J. y P. J., "Tests de salto vertical (II): Aspectos biomecánicos", *Unileon.es*. [En línea]. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/9451/Garcia-Lopez-RD-2004-Salto-Vertical-Aspectos-Biomecanicos.pdf>?
- [10] E. Vallodoro, "SJ, CMJ y DJ", *entrenamiento deportivo*, 07-sep-2012. [En línea]. Disponible en: <https://entrenamientodeportivo.wordpress.com/2012/09/07/sj-cmj-y-dj>.
- [11] C. Escobar, "Anthropometric charts of Peruvian workers by using the ratio scaling method," *Revista Ergon Invest Desar (RID)*, vol. 2, no. 2, pp. 96-111, 2020. [En línea]. Disponible en: https://revistas.udec.cl/index.php/Ergonomia_Investigacion/article/download/2409/2702/4395.
- [12] A. Sánchez, J. López, P. Floria. "Effects of countermovement depth and velocity modifications during the vertical jump". *Federación Española de Asociaciones de Docentes de Educación Física (FEADEF)*. 2018. Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/download/64854/39884/201556>.
- [13] I. G. Herrera Delgado, T. R. García Hernández, y Y. D. Ruiz Luaces, "La fase excéntrica-concéntrica y el índice de fuerza reactiva en el salto con contra movimiento en voleibolistas," *Podium*, vol. 16, no. 2, pp. 408–422, 2021. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1996-24522021000200408&script=sci_arttext.
- [14] G. Delgado. "Protocolos para la evaluación biomecánico-técnica y la prevención de lesiones musculoesqueléticas, en deportistas de raqueta". *Universidad de Granada: Tesis Doctorales*. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10481/69090>
- [15] C. y. T. I. Guzmán, "Biomecánica clínica de la rodilla", *Core.ac.uk*. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/86435349.pdf>. [Consultado: 30-sep-2024].
- [16] C. Sole; S. Mizuguchi; K. Sato; G. Moir; M. Stone. "Phase Characteristics of the Countermovement Jump Force-Time Curve: A Comparison of Athletes by Jumping Ability". *Journal of Strength and Conditioning Research* 32(4):p 1155-1165, April 2018. [En línea]. Disponible en: 10.1519/JSC.0000000000001945
- [17] Foresto, Walter Mauricio. Efectos Neuromusculares de los Juegos en Espacios Reducidos. *Responsables*, p. 46.
- [18] Jiménez, P.; Gonzáles, J. Control de la carga de entrenamiento, a través del CMJ en pruebas de velocidad y saltos para optimizar el rendimiento deportivo en el atletismo. *CDC deporte*, 2010, p. 207-217.
- [19] López, Nicolle, et al. Una comparación a partir de cheerleading profesional (selección colombiana) y amateur. *Encuentros con semilleros*, 2019, vol. 1, no 1, p. 136-141.
- [20] T. Guterman, "Test de Bosco. Evaluación de la potencia anaeróbica de 765 deportistas de alto nivel", *Efdeportes.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd78/bosco.htm>.
- [21] P. Cormie; J. McBride; G. McCaulley. "Power-Time, Force-Time, and Velocity-Time Curve Analysis of the Countermovement Jump: Impact of Training", *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(1):p 177-186, January 2009.[En línea]. Disponible en: DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181889324
- [22] Cristián Luarte R., Mauricio González V y Oscar Aguayo A., "Evaluation of vertical jump force in volleyball female with regard to the position of game", *Rev. Cienc. Act. Fis. UCM*, p. 10, 2014.
- [23] N. Laconici, "CMJ — PARTE I," *Comunidad Lift*, Feb. 12, 2024. <https://www.comunidadlift.com/blog/analisis-del-salto-con-contramovimiento-cmj-como-estrategia-de-evaluacion-en-el-rendimiento-fases-y-caracteristicas-del-test/> (accessed Nov. 28, 2024).