

Analysis of kinematic variables in soccer kicking technique from biomechanical efficiency criteria

Análisis de las variables cinemáticas en la técnica del pateo en el fútbol a partir de criterios de eficiencia biomecánicos

Marely Camacaro ¹, Alberto Colina ², Mihai Zissu ^{3*}

¹ Doctora en Educación, UPEL-IPC. Maestría en Educación Física Mención Enseñanza de la Educación Física, UPEL-IPC. Especialización en Psicomotricidad, Universidad Monte Ávila. Especialista en Técnicas Psicocorporales FUNDASOMA. Venezuela. Profesora de Motricidad Humana, Desarrollo psicomotor, Educación Física Infantil UPEL-IPC

² Doctor en Educación (UPEL-IPC. Venezuela). Maestría en Educación Física. Mención Biomecánica. (UPEL-IPC. Venezuela). Maestría en Metodología del Entrenamiento Deportivo para la Alta Competencia (ISCFMF. Cuba). Profesor de Educación Física (UPEL-IPC. Venezuela). Coordinador de la Maestría en Educación Física, mención Biomecánica de la UPEL-IPC. Ex Coordinador del Laboratorio Nacional de Biomecánica del Instituto Nacional de Deportes (Venezuela). Profesor de Pregrado y Postgrado en UPEL-IPC. Venezuela

³ Doctor en Ciencias de la Actividad Física, Deporte y Recreación (Convenio Universidad de León-UPEL). Maestría en Educación Física. Mención Biomecánica. UPE-IPC. Docente jubilado UPEL-IPC. Fundador y Coordinador del Laboratorio de Biomecánica de la UPEL-IPC. Fundador y ex coordinador del Laboratorio Nacional de Biomecánica del Instituto Nacional de Deportes. Venezuela.

* Correspondencia: Marely Camacaro; marelycamacaro20@gmail.com

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of analyzing the kinematic variables that are manifested in the kicking technique in soccer based on biomechanical efficiency criteria. It was a descriptive level investigation, with a field design, based on a case study with a 15-year-old athlete. The three-dimensional (3D) videographic method was used with the approaches: quantitative ("Human v 5.0" program) and qualitative (Likert scale). Kinematic variables were quantified by pre and posttest. Efficiency criteria were established to optimize biomechanical variables in the phases: Preparatory and Kicking. Thus, the adolescent's training was oriented according to the strengths and weaknesses identified from the biomechanical perspective, which allowed optimizing the technique of the dominant and non-dominant lower limbs. Among other results, the increase in synchronization and consequent improvement in the temporal pattern of movement stood out, which facilitated the coordination of partial impulse, and therefore the transfer of energy from the body to the ball, positively

influencing the resulting speed, trajectory and precision of the ball which increased the frequency of the goal, a fact that affected the performance and profile of the young woman, standing out in the lateral position with an efficient handling of the ball by both profile.

KEYWORDS

Soccer; Kicking; Technique; Biomechanics; Kinematics; Efficiency Criteria.

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de analizar las variables cinemáticas que se manifiestan en la técnica del pateo en el fútbol a partir de criterios de eficiencia biomecánicos. Fue una investigación de nivel descriptivo, con un diseño de campo, basado en un estudio de caso con una atleta de 15 años. Se utilizó el método videográfico tridimensional (3D) con los enfoques: cuantitativo (programa “Human v 5.0”) y cualitativo (escala Likert). Se cuantificaron las variables cinemáticas mediante pre y pos test. Se establecieron criterios de eficiencia para optimizar variables biomecánicas en las fases: Preparatoria y Pateo. Así, se orientó el entrenamiento de la adolescente en función de fortalezas y debilidades identificadas desde la perspectiva biomecánica, lo que permitió optimizar la técnica de los miembros inferiores, dominante y no dominante. Entre otros resultados, destacó el aumento de sincronización y consecuente mejoría del patrón temporal de movimiento lo que facilitó la coordinación de impulso parcial, y por ende la transferencia de energía del cuerpo hacia el balón, incidiendo positivamente en la velocidad resultante, trayectoria y precisión del balón con lo cual aumentó la frecuencia del gol, hecho que incidió en el rendimiento y perfil de la joven, destacándose en la posición lateral con un manejo eficiente del balón por ambos perfiles.

PALABRAS CLAVE

Fútbol; Pateo; Técnica; Biomecánica; Cinemática; Criterios De Eficiencia

1. INTRODUCCIÓN

El fútbol es un juego de cooperación-oposición (Parlebas, 2001) reconocido como uno de los deportes colectivos con pelota de mayor popularidad en todo el mundo, el cual combina carreras, movimientos explosivos, pases, conducciones, en aras de dominar el balón y patear para marcar gol (Zissu, 2017). De modo que, el pateo constituye un gesto técnico decisivo en este deporte, fundamental para el rendimiento (Andersen y Dorge, 2011) por lo que resulta pertinente el análisis e intervención de esta habilidad con apoyo en las ciencias aplicadas al deporte, (fisiología, psicología, biomecánica,

entre otras) especialmente desde la perspectiva biomecánica, la cual actualmente ostenta predominio y relevancia en el estudio de la técnica deportiva (Nitsch, et al, 2017), ofreciendo una variedad de métodos para el análisis cinemático y dinámico del gesto (Padrón, 2016) con apoyo en tecnología de avanzada. Al respecto, Gómez et al, (2018) da cuenta de las ventajas que ofrece esta disciplina, destacada por el procesamiento computarizado o tecnología aplicada al estudio del movimiento.

Por su parte, Colina (2017) señala que el modelo biomecánico permite caracterizar las variables cinemáticas y cinéticas implícitas en cada fase del gesto deportivo, por tanto redundando en una alternativa de evaluación sistemática, objetiva y certera que posibilita identificar fortalezas y debilidades en la ejecución técnica de la destreza, lo que permite, en consecuencia, guiar el entrenamiento aplicando los correctivos necesarios de acuerdo con criterios de eficiencia derivados del análisis de las posiciones y acciones antes, durante y después, del plan de intervención de la técnica.

Sobre la técnica deportiva, siguiendo a Nitsch, et al, (2017), esta puede definirse como la representación subjetiva de una sucesión organizada de movimientos especializados para realizar una tarea motriz o responder de forma oportuna ante una situación, de acuerdo con las condiciones del sujeto y las circunstancias implícitas según la modalidad deportiva.

Es así que, para alcanzar un resultado o rendimiento deportivo óptimo, el aprendizaje motor o entrenamiento de la técnica, (términos equivalentes según Grosse y Neumaier, 1986) debe ser sistemático, basado en un modelo referencial de movimiento eficiente, eficaz y efectivo, lo cual se garantiza con el apoyo de la Biomecánica (Zissu, 2017).

En el caso del fútbol, y en atención al pateo, habilidad que ocupa este estudio, la técnica del mismo, bajo matices biomecánicos, implica imprimir en el móvil una velocidad y trayectoria determinada mediante un golpe a la pelota con el empeine, acción que requiere de una adecuada coordinación del impulso parcial de los segmentos corporales favoreciendo el patrón temporal del movimiento (Nitsch, et al, 2017).

En esta línea, Zissu (2017), enfoca el gol como objetivo principal del pateo, apuntando la relevancia de la velocidad final del balón y la trayectoria de vuelo, según puede apreciarse en el siguiente modelo biomecánico:



Figura 1. Tomado de: Zissu, M (2017), p.38-39

Por tanto, el análisis biomecánico resulta determinante para comprender el pateo, su proceso y resultado, así como optimizar el rendimiento y direccionar el entrenamiento o aprendizaje motor del mismo.

Bajo esta orientación, destacan estudios como el de Zanabria y Agudelo (2015), quienes dan cuenta del análisis e intervención biomecánica en las fases del pateo para aumentar la velocidad resultante y la eficiencia del gesto. Así, también, Echevarría y Galvis (2020), sobre la base de estudios biomecánicos de la carrera en futbolistas profesionales evidenciaron que, a mayor longitud de paso, mayor velocidad y por ende efectividad en la ejecución y en el resultado.

Andersen y Dörge (2011), al examinar la precisión en un tiro penal según la influencia de diferentes velocidades de aproximación, en la velocidad máxima de la pelota evidenciaron la pertinencia de generar condiciones para una velocidad de aproximación óptima específica del sujeto.

En este sentido, Rada, et al (2019), apunta que la velocidad de salida del balón, constituye un indicador de eficiencia en el rendimiento del fútbol juvenil. Esta depende de la velocidad del pie (segmento distal) en el instante del contacto con la pelota y la calidad del impacto de la patada con el balón, por lo que se debe contar con una buena técnica de patadas con ambos pies (dominante y no dominante).

Por su parte, Li, et al (2015), encontró correlación positiva entre la orientación del pie de apoyo, la patada y el ángulo de dirección, incidiendo en la trayectoria del móvil y por consiguiente en la efectividad del pateo.

Vistos estos planteamientos, se considera entonces que, para optimizar la técnica del pateo en el fútbol, conviene apoyar el aprendizaje o entrenamiento del atleta en el análisis biomecánico. En esta

línea se desarrolló el presente estudio con el siguiente objetivo: Analizar las variables cinemáticas que se manifiestan en la técnica del pateo en el fútbol, a partir de criterios de eficiencia biomecánicos.

2. MÉTODOS

Investigación de nivel descriptivo, con un diseño de campo basado en un estudio de caso. Se emplearon métodos de registro biomecánico cualitativo y cuantitativo con el fin de garantizar una evaluación global y sistemática del gesto (Ferro y Floria, 2007). Ambos métodos se apoyaron en el empleo de videografía tridimensional (3D).

Cabe destacar, que las cámaras 3D, acceden al registro óptico del movimiento mediante sensores y modelos esqueléticos magnéticos cuya imagen permite el rastreo directo de ángulos de articulación, gracias a sensores inerciales como acelerómetros y giróscopos. (Gómez et al, 2018). De modo que, con el método 3D se puede visualizar la destreza en cuestión desde los planos: frontal, sagital y transversal, con la oportunidad de identificar desde diferentes dimensiones y direcciones (vista anterior, posterior, frontal, superior) los detalles del movimiento, por ende, su empleo en el presente estudio.

2.1. Participante

Adolescente femenina de 15 años, seleccionada por su destacado perfil en el Club de Fútbol Playa Grande F.C, Venezuela. Sus rasgos antropométricos se presentan en la tabla 1:

Tabla 1. Características antropométricas del sujeto de estudio

Variable	Pre test	Post test
Peso Corporal	57,400 kg	59,00 kg
Estatura Corporal	1,64 m	1,66 m

La joven fue evaluada con exámenes de salud aplicados en institución médica de la comunidad concertada por el Club de Fútbol Playa Grande. Adicionalmente, los entrenadores de la mencionada institución invitaron a la joven a responder el cuestionario Physical Activity Readines (PAR-Q) empleado en el estudio de las destrezas motoras en grupos adolescentes Colina (2017).

Los resultados evidenciaron un estado saludable para el momento en que se le invitó a participar en el presente estudio previo acuerdo verbal y por escrito con la adolescente y sus familiares representantes quienes expresaron su consentimiento informado de participación voluntaria.

Al respecto, se observaron los criterios éticos autonomía, libertad y beneficencia acordes con el Principio del Interés Superior del Niño o Niña y Adolescente estipulado en Venezuela a través de la Ley Orgánica para la Protección del Niño y del Adolescente (2007) y los lineamientos bioéticos de la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (2010).

De modo que, la joven y sus representantes emitieron por escrito su consentimiento de participación en la investigación la cual fue aprobada por el Núcleo de Investigación Infancia y Educación (NIIE) y por el Núcleo de Investigación Educación Física (NIEF), ambos pertenecientes a la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela.

Aunado a lo expuesto, conviene señalar que la evaluación empírica cualitativa de la futbolista, antes de la evaluación biomecánica (pre test cualitativo y cuantitativo con video grafía 3-D), evidenció retraso en la posición del tronco, en consecuencia, la adolescente al patear, impactaba con el pie por debajo del balón, mostrando baja precisión, reducida velocidad de salida del móvil más caída luego de impactar el balón.

2.2. Procedimiento e instrumentos

Se realizó el análisis biomecánico del pateo, empleando los enfoques cualitativo y cuantitativo, ambos apoyados en la videografía tridimensional (3D). Método utilizado por Zissu (2009), Padrón (2016) y Colina (2017).

Se colocaron dos cámaras de alta velocidad, a una distancia horizontal de 15 metros y a una altura de 1,20 metros, con una velocidad de grabación de 120 fps; se ubicó una en el plano sagital de ejecución de la destreza y otra en el plano frontal, se tomó el mejor de los tres (3) intentos, para la evaluación tridimensional (en dos planos), tanto en el pre test como en el pos test. A continuación, se dilucida el tratamiento cualitativo y cuantitativo efectuado:

Enfoque cualitativo:

Se utilizó una Escala Likert (tablas 2) para valorar los indicadores de la ejecución de la destreza, según las fases, concebidas por los autores tal como sigue: (a) Preparatoria o paso previo al pateo; (b) Ejecución o impacto; y (c) Fase final o estabilizadora.

1. Preparatoria o paso previo al pateo: contempla una posición inicial presidida de pasos de carrera previos sumada a un conjunto de acciones para alcanzar la óptima velocidad del cuerpo requerida para la siguiente fase (criterio de eficiencia).
2. Ejecución o impacto: ésta inicia al instante que el pie del miembro inferior de apoyo hace contacto con la superficie, el cual debe quedar ubicado paralelo al balón con ligero retraso del mismo, luego

el MIP realiza flexión de la rodilla y posteriormente extensión de la rodilla, para impactar el balón con el empeine del pie. En esta fase el criterio de eficiencia es: transferir de la energía acumulada del cuerpo hacia el balón al instante del contacto del pie con el balón.

3. Fase Final o Estabilizadora: ésta inicia una vez proyectado el balón, e implica movimientos alternos, estabilizadores cuyo cometido es constituirse precursores efectivos de la siguiente acción. Sobre esta última fase, sólo se mencionará en este segmento, obviándose posteriormente, a efectos de este artículo.

El instrumento fue validado por su contenido, constructo y criterios, además las alternativas de respuestas, a través de un grupo de expertos relacionado con el fútbol campo, (tres profesores de Educación Física con postgrado en Biomecánica y un especialista en estadística).

La confiabilidad se determinó por medio de un estudio piloto, donde participaron, 8 evaluadores y un sujeto con características similares a los del estudio. Se determinó la confiabilidad aplicando la correlación de Pearson para determinar el Alfa, obteniéndose un puntaje de 0,76 tanto es la evaluación aplicada a la fase preparatoria (paso previo al pateo), como en la fase de ejecución (impacto).

De manera que, en cuanto al resultado derivado, durante el pre test apuntó a regular, mientras que en el pos test el instrumento apuntó a bueno, hecho corroborado con el método cuantitativo.

Seguidamente, se presenta una muestra de la Escala Likert utilizado, aclarando que el número de indicadores contemplados en el instrumento original es mayor.

Tabla 2. Escala Likert: Instrumento aplicado para evaluación de la técnica del pateo.

Fase Preparatoria : paso previo				
Variable	Indicador	Bueno (3 puntos)	Regular (2 puntos)	Deficiente (1 puntos)
Período de apoyo anterior	Pie del miembro inferior de apoyo (MIA) en el instante del contacto con la superficie para iniciar el paso de carrera.	Apoyo en el ante pie ()	Planta ()	Talón-Planta ()
Período de apoyo posterior	Acción del MIA durante la sub-fase posterior.	Extensión, tobillo, rodilla y cadera completa ()	Extensión de cadera y rodilla incompleta ()	Triple extensión de tobillo, rodillo y cadera incompleta ()
Fase de vuelo	Acción del cuerpo durante el vuelo (elevación)	Baja oscilación vertical del cuerpo con poco desplazamiento horizontal ()	Alta oscilación vertical del cuerpo ()	Vuelo prolongado (salto) ()

Período de pendulación posterior	Posición de la pierna del MIA al final de la fase posterior, para iniciar el desplazamiento adelante.	Pierna encima de la horizontal respecto a la superficie ()	Pierna a nivel de la horizontal con respecto a la superficie ()	Pierna por debajo de la horizontal con respecto a la superficie ()
	Acción del pie del MIA al inicio de la pendulación anterior (instante de la vertical-unión de ambas rodillas)	Pie pasa a nivel de la rodilla del MIP (miembro inferior de pendulante) ()	Pie pasa por debajo de la rodilla del MIP ()	Pie pasa por debajo de la parte media de la pierna del miembro inferior de apoyo ()
Período de pendulación anterior	Posición del muslo del MIA en su máxima altura para iniciar la búsqueda del contacto con la superficie.	Se forma un ángulo recto entre el troco-muslo y entre muslo-pierna. ()	Se forma un ángulo recto entre el troco- muslo ± mayor entre muslo-pierna ()	Se forma un ángulo mayor al ángulo recto entre el tronco –muslo y muslo-rodilla. ()
Período de apoyo anterior	Pie del MIA en el instante del contacto con la superficie en el aterrizaje.	Planta ()	Apoyo en el ante pie ()	Talón-Planta ()

Fase: Pateo

Variable	Indicador	Bueno (3)	Regular (2)	Deficiente (1)
Pie al contacto con la superficie	Posición del pie del MIA, con respecto al balón	Pie ligeramente detrás del centro del balón ()	Pie paralelo al centro del balón ()	Pie delante o por detrás del balón ()
Rodilla del MIP en su máxima flexión	Flexión de la rodilla del MIP al instante de la vertical (máxima flexión)	Igual al ángulo recto ()	Menor al ángulo recto ()	Mayor al ángulo recto ()
Rodilla del MIP al instante del contacto	Extensión de la rodilla del MIP al instante del contacto con el balón	Completa extensión al contacto ()	Incompleta extensión al contacto ()	Exagerada flexión de la rodilla al contacto ()
Acción de los MS y MI durante la fase	Movimientos de los miembros superiores e inferiores	Alternancia de con amplitud del movimiento ()	Alternancia sin amplitud del movimiento ()	Sin alternancia de ni amplitud de movimiento ()

				()
	Posición del tronco	Tronco delante de la línea vertical ()	Tronco igual a la línea vertical ()	Tronco detrás de la línea vertical ()
Posición del segmento axial	Posición de la cabeza	Cabeza en prolongación de la línea vertical ()	Cabeza delante de la línea vertical ()	Cabeza detrás de la línea vertical ()

2.3. Enfoque Cuantitativo

Se empleó el programa de análisis de movimiento Human v 5.0, para evaluar el pateo. El Hu-M-An v 5.0, es un sistema de cuantificación de variables biomecánicas (Human Motion Analysis, o sea Análisis o Analizador de Movimientos Humanos). Creado y validado por el Dr. Duck, Tom, quien laboró en el Laboratorio de Biomecánica de la Universidad de Penn State, por más de 30 años, destacándose como docente e investigador de la disciplina en las Universidades de New York, Toronto, Ontario, Canadá. (Duck, 2005).

El surgimiento del Hu-M-An se remonta a los inicios de 1970, impulsándose con la introducción de la interfaz gráfica interactiva que el software derivó como sistema de aplicación funcional para el estudio del movimiento, toda vez que posibilita identificar y evaluar con precisión las características cinemáticas y dinámicas de la acción motora y en el caso del ámbito deportivo, el programa adicionalmente permite investigar y solucionar problemas relacionados con la ejecución de la técnica, visibilizando condiciones del gesto motor difíciles de captar por simple observación.

Para ello se necesita como requisito previo la filmación técnica de la acción deportiva que se pretende analizar y posteriormente se emplea el mencionado Software para la cuantificación de variables biomecánicas (Colina, 2017; Padrón, 2016; Zissu, 2009).

Es así que, una vez realizada la filmación del sujeto participante ejecutando el pateo, se empleó el programa Human v 5.0, para evaluar el gesto, mediante capture de imagen y edición con grabación 3D, lo que permitió cuantificar las variables cinemáticas (. Adicionalmente, se establecieron las variables cinéticas con procedimientos manuales y para la suavización de la curva se aplicó el procedimiento de Buterworth de 5 Hz. De manera que, se cumplieron los siguientes pasos:

1. Se elaboró el modelo espacial al declararse en el sistema los puntos anatómicos y los segmentos corporales; aunado a definir el modelo para el cálculo del centro de gravedad del cuerpo (CG); los ángulos; y se especificaron las fases del movimiento.
2. Se determinó la escala de conversión de unidad gráfica a unidad real a través de la digitalización del nivel video-grabado previamente.

3. Se seleccionó, editó y digitalizó la destreza en cuestión en los dos momentos (pre test y pos test).
4. Se calcularon las variables y se obtuvieron los resultados.

2.4. Análisis

Se focalizaron las siguientes variables cinemáticas y criterios de eficiencia:

Tabla 3. Variables Biomecánicas y criterio de eficiencia para cada fase

Fase preparatoria: paso previo.	
Características Biomecánicas	Criterio de Eficiencia
1. Características biomecánicas temporales del paso previo al pateo: características temporales: a) tiempo de apoyo, b) tiempo de vuelo, c) tiempo total.	-Alcanzar la máxima velocidad controlable del cuerpo.
2. Característica biomecánica espacial: d) longitud del paso	-Alcanzar una posición final adecuada para iniciar la siguiente fase.
3. Características biomecánicas espacio - temporales del paso previo al pateo: e) velocidad del paso.	
Fase: pateo	
Características Biomecánicas	Criterio de Eficiencia
4. Características biomecánicas temporales del pateo: Patrón temporal de la fase de pateo y la acción total de pateo (pre test y pos test).	-Transferir la energía acumulada del cuerpo hacia el balón a través de las siguientes acciones motrices:
5. Características biomecánicas temporales del pateo patrón temporal, según pico máximo de velocidad de los segmentos y punto anatómico del MIP (pre test y pos test).	-Sincronizar el tiempo del pico máximo de velocidad de los segmentos corporales del MIP (muslo, pierna y pie) antes del pateo.
6. Características biomecánicas espacio-temporales del pateo: porcentaje de pérdida de velocidad entre el pico máximo de la velocidad del centro de gravedad (CG) de cada segmento corporal y los puntos anatómicos fundamentales del MIP, con la velocidad obtenida al instante del contacto del pie con la pelota (pre test y pos test).	-Coordinar las acciones de rodilla y punta del pie para disminuir el porcentaje del pico máximo de velocidad al instante del contacto.
7. Características biomecánicas espaciales al instante del contacto del pie con el balón: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ubicación del pie con respecto al balón del miembro inferior pendulante (MIP) al instante del contacto. ▪ Ángulo del tronco respecto el vertical instante del contacto del pie con el balón. ▪ Ángulo de la rodilla del MIP, instante del contacto del pie con el balón. 	-Impactar el balón de forma concéntrica para mejorar la precisión (punto de impacto) y trayectoria del balón (características de proyección del móvil)
8. Características de proyección del balón: velocidad inicial de proyección o resultante.	

3. RESULTADOS

A continuación, la tabla 4 expone los resultados concernientes a la Fase Preparatoria: características cinemáticas (pre y post test), con el ajuste técnico y las estrategias. Posteriormente se incluye la presentación de algunos gráficos e imágenes correspondientes:

Tabla 4. Resultados Fase Preparatoria

Indicadores técnico-biomecánicos	Pre-test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cualitativo	Pre-test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cuantitativo	Ajuste técnico biomecánico requerido	Estrategia de aprendizaje motor	Post-test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cualitativo	Post-test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cuantitativo
Característica espacio-temporal: velocidad del paso previo.	Insuficiente velocidad del paso previo	Valores de velocidad resultante por debajo, el cual fue 2,18 m/s	Alargamiento del paso	Ejercicios con énfasis en el alargamiento del paso y rapidez en el contacto	Incremento de la velocidad del paso previo	Aumento de la velocidad resultante al compararlo con valores del pre test 4,37m/s
Característica espacial: longitud del paso (figura 2)	Reducida longitud del paso previo a la fase de pateo	Longitud del paso previo 0,81 m	Alargamiento del paso	Ejercicios de desplazamiento con énfasis en el alargamiento del paso, empleando variaciones de distancias con señalizaciones.	Aumento de la longitud del paso previo	Longitud del paso previo al compararlo con valores del 1,66 m
Característica temporal: Patrón temporal	Acción de despegue con excesivo componente vertical	Patrón temporal:0,35s Tiempo de vuelo. 0,17 s.	Acción de despegue hacia la horizontal	Desplazamiento horizontal, mantener tiempo de vuelo, pero con mayor longitud	Ligera diferencia del Patrón temporal, incremento componente horizontal	Patrón temporal:0,37s Tiempo de vuelo. 0,15 s

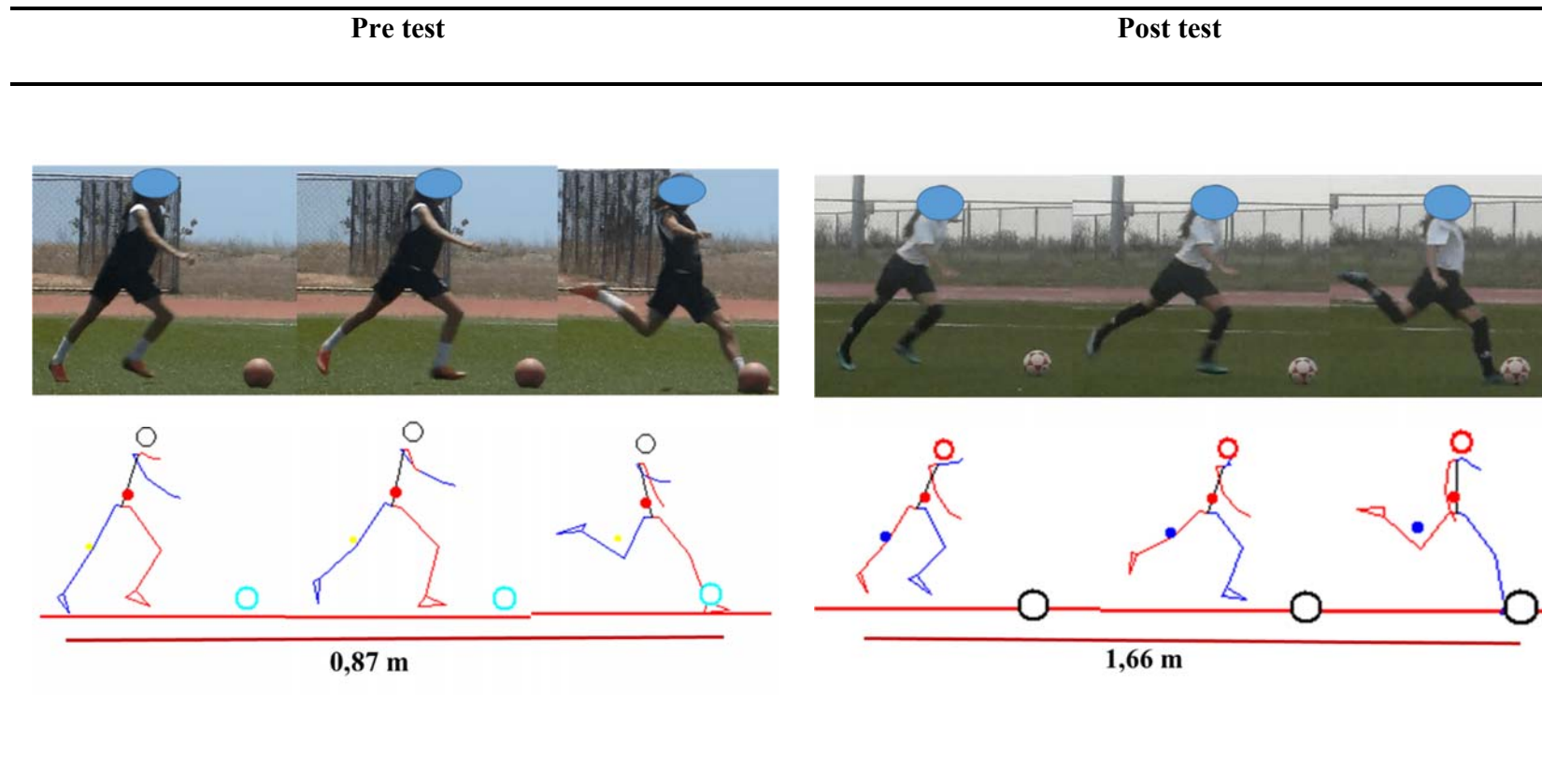


Figura 2. Característica espacial: longitud del paso.

Corresponde, ahora presentar los datos obtenidos en la siguiente fase (Tabla 5):

Resultados Fase Pateo:**Tabla 5.** Características temporales (patrón temporal) en la fase de pateo del balón.

Indicadores técnico-biomecánicos	Pre- test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cualitativo	Pre test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cuantitativo	Ajuste técnico biomecánico requerido	Estrategia de aprendizaje motor	Post test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cualitativo	Post test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cuantitativo
Tiempo del Pico Máxima del Velocidad CG del Muslo (s)		0,36 s (fotograma 43)			Mejor sincronización entre el muslo-pierna. Se evidencia mayor fluidez en la cadena cinemática del MIP ante el pateo del balón en miembro dominante y no dominante	0,38 s (fotograma 46)
Tiempo del Pico Máxima del Velocidad CG de la Pierna (s)	Falta de sincronización entre el muslo, pierna y pie, hecho que pone en evidencia rotura con la acción fluida de la cadena cinemática del MIP ante el pateo del balón.	0,38 s (fotograma 46)	Mejorar la coordinación de impulsos parciales del MIP (haciendo coincidir los fotogramas del pico de máxima velocidad de los segmentos corporales del MIP)	Ejercicios de pateo a diferentes ritmos con movimientos con ambos miembros inferiores y énfasis en el MIP, antes la acción de pateo	Aparente disminución de la velocidad del pie para garantizar precisión en el choque, hecho que favorece a la trayectoria de la pelota.	0,38 s (fotograma 46)
Tiempo del Pico Máxima del Velocidad CG del Pie (s)		0,42 s (fotograma 51)				0,46 s (fotograma 55)

Tabla 6. Características espacio-temporales en la fase de pateo del balón.

Indicadores técnico-biomecánicos	Pre- test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cualitativo	Pre test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cuantitativo	Ajuste técnico biomecánico requerido	Estrategia de aprendizaje motor	Post test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cualitativo	Post test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cuantitativo
Velocidad CG del Muslo (m/s)		5,71 (pico máx) 1,59 (contacto) Perdió -72,15	Disminuir el % de pérdida		Mejóro 21%	7,23 (pico máx) 3,76 (contacto) Perdió -47,99
Velocidad CG de la Pierna (m/s)	Falta de sincronización y coordinación en la acción de los segmentos corporales del MIP, antes la acción de pateo, más reducida velocidad del MIP y falta de precisión del pie al impactar.	9,53 (pico máx) 5,54 (contacto) Perdió -41,87	Disminuir el % de pérdida		Mejóro 26%	12,86 (pico máx) 9,36 (contacto) Perdió -27,21
Velocidad CG del Pie (m/s)		14,58 (pico máx) 13,87 (contacto) Perdió -4,87	Disminuir el % de pérdida	Practica del pateo variando la velocidad, la complejidad con ambos y la zona de contacto del pie al balón.	Mejóro 27%	19,92 (pico máx) 17,99 (contacto) Perdió -9,69
Velocidad lineal resultante de la rodilla MIP		8,85 (pico máx) 2,09 (contacto) Perdió -76,38 (fotograma 44)	Disminuir el % de pérdida		Mejóro 27%	11,97 (pico máx) 5,33 (contacto) Perdió -55,47 (fotograma 48)
Velocidad lineal resultante de la punta del pie del MIP		17,29 (pico máx) 15,95 (contacto) Perdió -7,75 (fotograma 48)	Disminuir el % de pérdida		Mejóro 27%	23,42 (pico máx) 20,61 (contacto) Perdió -11,99 (fotograma 55)

Tabla 7. Características de posición (espacial) en la fase de pateo del balón.

Indicadores técnico-biomecánicos	Pre- test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cualitativo	Pre test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cuantitativo	Ajuste técnico biomecánico requerido	Estrategia de aprendizaje motor	Post test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cualitativo	Post test Descripción de la técnica del pateo desde el enfoque cuantitativo
Ubicación del tronco con respecto a la línea vertical del cuerpo (fig. 3)	Tronco alejado de la línea vertical del cuerpo y contrario a la dirección de pateo del balón	Negativo ángulo absoluto del tronco con respecto a la vertical: -7°	Ubicación del tronco delante de la línea vertical del cuerpo al instante del contacto del pie con el balón. Incremento del ángulo de la rodilla, cercano a 180°		Ampliación el rango articular extensión de rodilla del MIP	Mejora del ángulo absoluto del tronco con respecto a la vertical positivo: 7° .
Ángulo relativo de la rodilla del MIP al contacto del pie con el balón (fig. 3)	Reducida extensión de la rodilla del rango articular extensión de rodilla del MIP	Reducido ángulo relativo de la rodilla del MIP: 122°	Ubicación del tronco delante de la línea vertical del cuerpo al instante del contacto del pie con el balón. Incremento del ángulo de la rodilla, cercano a 180°	Ejercicios con balanceos y alternancia de los MI y MS, con énfasis en la ubicación del tronco delante de la línea vertical y extensión de la rodilla del MIO al contacto	Ampliación el rango articular extensión de rodilla del MIP	Ligera mejora del ángulo relativo de la rodilla del MIP al instante del contacto del pie con el balón: 148°
Ubicación del pie al contacto con el balón (fig. 3)	Ubicación del pie del (MIP) debajo del balón. al instante del contacto	Ubicación del tronco delante la vertical	Golpear el balón concéntrica y excéntrica, evitando hacerlo por debajo	Ejercicios de golpeo del balón en forma concéntrica con miembro dominante y no dominante	Adecuada ubicación del pie de contacto del MIP en forma concéntrica al balón	Contacto del pie con el balón en forma concéntrica
Características de proyección del balón: velocidad inicial de proyección o resultante. (fig. 4)	Insuficiente velocidad de salida del balón	Valor de velocidad por debajo de lo esperado según la edad, fue $16,38$ m/s	Aumento de la masa muscular y la velocidad del MIP	Ejercicios pliométricos. Trabajo de fuerza localizada y transferencia a la velocidad de desplazamiento	Incremento de la velocidad de salida del balón	Valores de velocidad por encima de los estándares según la edad, fue $24,09$ m/s



Figura 3. Características de posición espacial: Ubicación del tronco con respecto a la línea vertical del cuerpo.

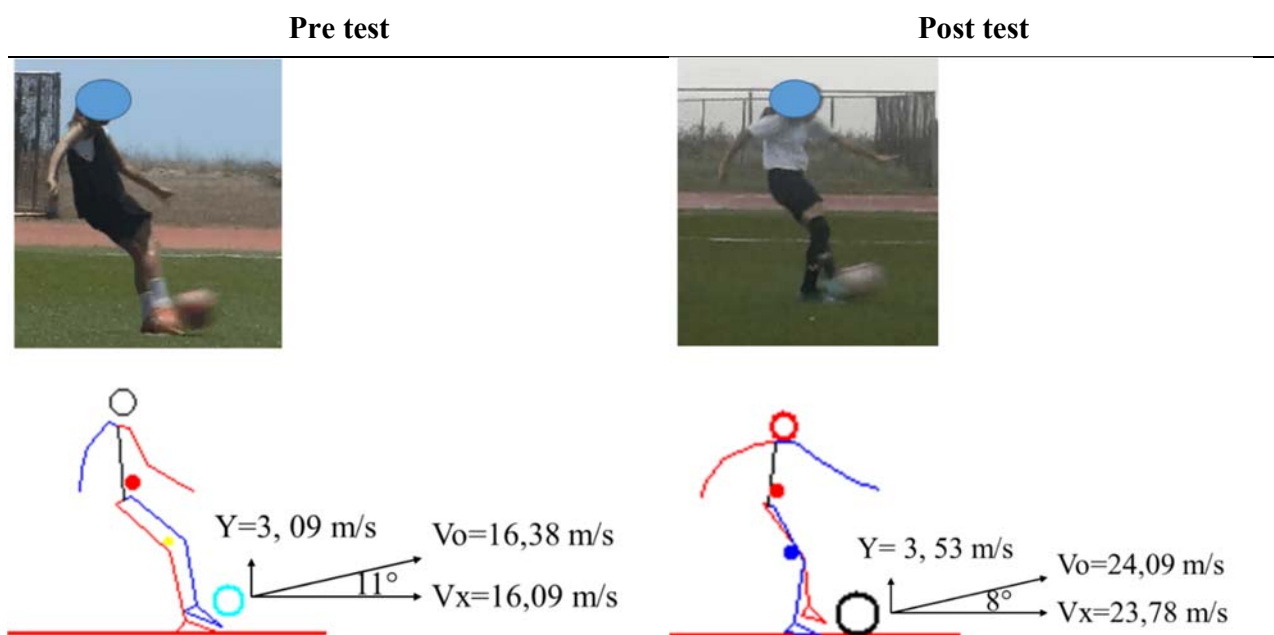


Figura 4. Características de proyección del balón: velocidad inicial de proyección o resultante.

4. DISCUSIÓN

Al observar la tabla 4, relacionada con la fase preparatoria (figura 2), entre los datos representativos, destaca el hecho de que al verificar las características biomecánicas del paso de carrera previo, se observó que la velocidad resultó insuficiente (pretest: 2,17 m/s), ello condujo a focalizar que la longitud del paso al estar por debajo de 0,87 m, afectaba la velocidad de ejecución, concordando con

los reportes de Echevarría y Galvis (2020), Valencia et al (2018) y Colina (2017) coincidentes en la pertinencia de intervenir la variable espacial (longitud del paso) y temporal (frecuencia), respondiendo al criterio de alcanzar la máxima velocidad controlable del paso y la búsqueda de una adecuada posición final -preparatoria- para la siguiente fase (pateo).

De modo que, el análisis y los criterios establecidos, conllevaron a determinar el ajuste y las estrategias de aprendizaje motor requeridos, focalizando como proceso biomecánico subyacente el alcance de la transferencia de energía acumulada del cuerpo hacia el balón, lo que redundaría en la velocidad resultante del móvil, precisión y trayectoria, estimadas éstas últimas como variables altamente predictivas de éxito para garantizar el gol reafirmando a Zissu (2017). Es así que, la intervención en dichas variables permitió incrementar la longitud del paso (1,66 m) derivando mejora de velocidad del paso (post test 4,38 m/s) evidenciando una optimización de la técnica equivalente al 50 %.

En cuanto a la Fase Pateo: en la figura 2 y 3, final de la fase preparatoria e inicio de la fase del pateo, se observó que la futbolista, mostró entre sus fortalezas la adecuada posición de contacto del pie de apoyo y orientación de éste hacia la portería, hecho que favoreció en la mínima desviación (ángulo azimutal) de la pelota en el plano horizontal del movimiento, Coincidiendo con Li, et al (2015), quien en su modelo de regresión lineal señaló que la distancia del talón del pie de apoyo al centro de la pelota, podría predecir significativamente la dirección de la patada, lo que explica lo que favorece o no la trayectoria del MIP hasta hacer contacto del pie con el balón.

Por otro lado, en la misma fase se evidencia una asincronía entre los picos máximos de velocidad del MIP (pre test, fotogramas: muslo: 36; pierna: 38 y pie: 42), hecho que afectó el patrón temporal, el cual está relacionado con el principio biomecánico de la coordinación de impulsos parciales. Ahora bien, tal realidad, pudo haber ocasionado el poco aprovechamiento de la velocidad óptima acumulada en el paso previo (fase preparatoria), al verse interrumpida la transferencia de energía, en la transición de una fase a la otra, lo que se traduce en afectación de la cadena cinemática de movimiento del MIP y el resto de los segmentos corporales (coordinación), por lo que es pertinente resaltar lo planteado por Andersen y Dörge (2011), cuando indica la relación existente entre la velocidad del paso previo con la velocidad máxima de salida del balón.

En consecuencia se determinaron como criterios de eficiencia a considerar para el ajuste y las estrategias: mejorar la sincronización, coordinación y punto de impacto del pie con el balón, triada cuya visibilidad desde datos cinemáticos permitió la elección y combinación acertada de las estrategias de aprendizaje motor enfocando nítidamente la debilidad del gesto técnico, por ende la corrección

exacta requerida, tanto para el entrenador como para el sujeto (programación mental de la técnica), hecho de suma utilidad dado la complejidad multiplanar del pateo.

Así, se determinó con certeza y sistematicidad el reaprendizaje requerido para el caso en cuestión, así como la estabilización técnica requerida, depurándose las debilidades y afirmándose, además las fortalezas de la jugadora quien evidencio firmeza en el pie de apoyo, así como velocidad favorecida por fuerza muscular.

De modo que, las estrategias de aprendizaje motor sustentadas en el análisis biomecánico y los criterios de eficiencia, permitieron al ejecutante optimizar la técnica lo que se evidenció tanto en la mejora cualitativa del gesto (según corroboró la aplicación posterior de escala Liker) como en el alcance de puntos de coincidencia en los fotogramas del pico máxima de velocidad del CG de los segmentos corporales muslo y pierna del MIP (post test: fotograma 46). Más, aconteció el acoplamiento tardío del CG del pie de dicho miembro, (alcanzado en el fotograma 55- 9 fotogramas posterior) con los segmentos anteriores, registro que permitió advertir que no hubo acoplamiento total, interrumpiendo la fluidez de la cadena cinemática antes del contacto del pie con la pelota.

En la tabla 6 se observa en los resultados de las características espacio-temporales de la fase de pateo del balón, un comportamiento similar al patrón temporal, el cual es poco deseable para la velocidad del CG de cada segmento corporal del MIP y la velocidad lineal de la rodilla y la punta del pies del MIP, debido al porcentaje de perdida de velocidad evidenciado en el pre test, a tal punto que afectó negativamente la velocidad de salida del balón, en consecuencia este hecho concede mayor oportunidad de tiempo al portero para reaccionar y evitar el gol.

En este sentido, se coincide con Rada, et al (2019), quien evidenció que a partir de una técnica depurada con mayor rapidez del MIP, aumenta la velocidad de contacto lo que reduce el tiempo de reacción portero, aumentando las probabilidades de gol.

De modo que, al visibilizar este punto, se determinaron los criterios de eficiencia y correctivos necesarios, alcanzándose incrementos importantes del porcentaje de velocidad de los segmentos involucrados en el MIP, asimismo la velocidad lineal de la rodilla y la punta del pie del mismo miembro inferior (mejora entre 21% al 27%, según pos test tabla 9).

Otros resultados observados durante esta fase, fueron las características de posición (espacial). Es así que, en la tabla 8 se evidencia un valor negativo (-7) del ángulo del tronco con respecto a la vertical al instante del contacto del pie del MIP, es decir, retraso del tronco al momento del impacto del pie con el balón (pre test), hecho que trajo como consecuencia disminución de la cantidad de movimiento lineal del cuerpo en dirección de la pelota. Por otro lado, hubo contacto del pie debajo de la pelota al instante del impacto, incrementado el componente de velocidad vertical del móvil y por

ende el ángulo de proyección (ver figura 4). Al respecto, el conjunto de ejercicios propuesto con base a los criterios de eficiencia biomecánico, permitió una mejora importante del ángulo del tronco con respecto a la vertical, ostentando 7° ; ubicación del pie del MIP al instante de contacto con la pelota, además, el relativo incremento del ángulo de la rodilla del mismo MIP al instante del impacto (de 122° a 148°), es decir, aumento del radio, ocasionado mejora de la velocidad tangencial y por ende, mejoría en las características de proyección (figura 3).

El mencionado resultado instó dos condiciones: (a) Mantener seguimiento y prosecución en el análisis y comprensión biomecánica del sujeto en formación mientras reorganiza y estabiliza la técnica, observando complejidad (variables biomecánicas y además componentes antropométricos, fuerza, praxia motora, otros); (b) Mantener y diseñar estrategias para el entrenamiento de la técnica en función de acoplar el pico máximo de velocidad del segmento (pie), con respecto a los otros (muslo, pierna), tanto en circunstancias de practica formativa como en circunstancias del juego de fútbol bajo presión e incertidumbre.

Habida cuenta de lo expuesto, resta finalizar con señalar que la intervención en las mencionadas variables en función de los criterios de eficiencia biomecánicos establecidos, permitió incrementar la velocidad de salida del balón (post test 24,09 m/s) evidenciando una optimización del resultado equivalente al 31,75 %. (tabla 7, figura 4), hecho que aumentó la frecuencia de pases efectivos y goles de la joven futbolista en formación.

A continuación, se precisan los hallazgos más relevantes:

- Aumento del nivel de eficacia del sujeto por mayor sincronización y consecuente mejoría del patrón temporal de movimiento.
- Aumento de la eficiencia, al armonizarse la coordinación general y específica con la consecuente mejoría del patrón espacial aunado a la interfaz tiempo-espacio con relación al contacto pie-móvil.
- Aumento de la efectividad al alcanzarse coincidencia entre dos de los tres picos de velocidad de los puntos anatómicos aunado a la adquisición del impacto concéntrico requerido.
- El proceso aprendizaje motor realizado. El cual conllevó a optimizar el pateo del sujeto participante, quien mostró resultados contundentes adjunto a su estabilización tanto en miembro inferior dominante como no dominante, lo que aumento su rendimiento.

Finalmente, en cuanto a limitaciones de esta investigación, como estudio de caso, si bien permitió un análisis minucioso y exhaustivo, es necesario que los procedimientos se repliquen y mejoren con

estudios que involucren varios participantes para comparar y complementar los hallazgos y así continuar depurando la comprensión de la técnica, así como los procesos y mecanismos biomecánicos que influyen en su entrenamiento, mejoría y estabilización.

Aunado a ello, se recomienda observar cuantitativa y cualitativamente, las variables biomecánicas subyacentes en la técnica y en consecuencia las estrategias de aprendizaje motor o entrenamiento adecuadas conforme a la complejidad e individualidad del sujeto, sobre todo en etapa de formación.

5. CONCLUSIONES

Al visibilizar mediante análisis biomecánico las características de la cadena cinemática del pateo se accede a la lógica interna del gesto, comprensión e interpretación de los eslabones que lo integran, lo que permite al entrenador sistematizar focalizada y asertivamente su intervención detectando en qué fase y/o segmento, del proceso biomecánico, las variables cinemáticas exhiben debilidades o fortalezas, aunado a la incidencia de condiciones como la coordinación, incluso condiciones de la habilidad motriz básica de carrera sobre la cual se erige la destreza técnica pateo, especialmente tratándose de una jugadora adolescente en formación.

En el caso de la jugadora objeto de estudio, la intervención optimizó el gesto técnico, su comprensión, reaprendizaje y estabilización por ambos perfiles, superando las debilidades observadas previo al tratamiento biomecánico, así como el mantenimiento y estabilización de sus fortalezas, lo que conllevó a optimizar la técnica tanto en miembro inferior dominante como no dominante, lo que incidió en su performance y destacado perfil, al punto de ser incorporada en la categoría Sub-17 y Sub-20 de la Selección Nacional. Proyectándose, actualmente en el país y a nivel internacional como una de las jugadoras promesa del Fútbol venezolano destacándose en la posición lateral izquierda, con destreza por ambos perfiles.

6. REFERENCIAS

1. Andersen, T, & Dörge, H. (2011). The Influence of Speed of Approach and Accuracy Constraint on the Maximal Speed of the Ball in Soccer Kicking. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(1), 79-84. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01024.x>
2. Colina, A. (2017). *Orientaciones epistémicas para la optimización de las destrezas motoras básicas desde la perspectiva biomecánica en educación primaria*. [Tesis doctoral no publicada]. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas. Venezuela.
3. Duck, T. (2005). *HU-M-AN (Movement Analysis): Handbook Versión 5.0*. HMA Technology Inc. USA.

4. Echevarría, M., & Galvis, J. (2020). Exploración Biomecánica de la Carrera en Fútbolistas Profesionales Colombianos. *Revista Iberoamericana de ciencias de la actividad física y el deporte*, 9(1), 53-63. <https://doi.org/10.24310/riccafd.2020.v9i1.8301>
5. Grosser, M. y Neumaier, A. (1986). *Entrenamiento de la técnica*. Ediciones Martínez Roca. Barcelona. España.
6. Gutiérrez, M. (1994). *Biomecánicas Deportiva. Bases para el Análisis*. Madrid. España: Síntesis
7. Li, Y., Alexander, M., Glazebrook, C., & Leiter, J. (2015). Prediction of Kick Direction from Kinematics during the Soccer Penalty Kick. *International Journal of Kinesiology & Sports Science*, 3(4), 1-7. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v.3n.4p.1>
8. Gómez, L. Jaramillo, A., Ruiz, M. Velásquez, S. Páramo, C. Silva, G. Y., Alexander, M., Glazebrook, C., & Leiter, J. (2015). "Human motion capture and analysis systems: a systematic review", *Prospective*, Vol 16, N° 2, 24-34, 3(4). <https://doi.org/10.15665/rp.v16i2.1587>
9. Nitsch, J., Neumaier, A., Horst de, M., & Mester, J. (2017). *Entrenamiento de la técnica*. Editorial Paidotribo. Barcelona. España.
10. Padrón, L. (2016). *Análisis correlativo de las variables que se manifiestan en los apoyos (análisis podológico) del paso de carrera en la primera y segunda recta en los 400 metros planos con la velocidad*, [Trabajo de Grado no publicado]. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas. Venezuela.
11. Rada, A., Kuvacic, G., De Giorgio, A., Sellami, M., Ardigo, L., Bragazzi, N., Padulo, J. (2019). *The ball kicking speed: A new, efficient performance indicator in youth soccer*. *Plos One* 14 (5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217101>
12. Sanabria, Y., & Agudelo, C. (2015). Análisis cinemático y dinámico en el pateo en el fútbol sala. *Revista Actividad Física y Desarrollo Humano*, 7(1), 1-9.
13. Zissu, M. (2009). *Biomecánica del arranque en el levantamiento de pesas*. [Tesis doctoral no publicada]. Universidad de León. León. España.
14. Zissu, M. (2017). *Modelo Biomecánico del Pateo del Balón desde el Área Grande*. Guía de estudio IPC. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas. Venezuela.

ACKNOWLEDGMENTS

Gabriela Ángulo y familia. Prof. Ismely Blanco. Prof. Kenneht Aranguren. MSc. Jeovanny Tomedes.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors listed have made a substantial, direct and intellectual contribution to the work, and approved it for publication.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

This research received no external funding.

COPYRIGHT

© Copyright 2021: Publication Service of the University of Murcia, Murcia, Spain.