

## Gesto técnico del pateo a balón detenido en fútbol: estudio de caso, un análisis comparativo en 3d

Technical gesture of football stopped ball: case study, a 3d comparative analysis

### Wilder Geovanny Valencia Sánchez

Lic. Educación Física, MSc. Motricidad y Desarrollo Humano, Universidad de Antioquia. Docente investigador Universidad de San Buenaventura-Medellín; docente Universidad de Antioquia; Preparador físico Asociación Colombiana de Futbolistas Profesionales. Correo: [wilder.valencia@udea.edu.co](mailto:wilder.valencia@udea.edu.co)

### Samuel José Octavio Gaviria Alzate

Bioingeniero, Universidad de Antioquia. MSc. Sports Engineering, Sheffield Hallam University, UK. Docente investigador Universidad de San Buenaventura-Medellín; Entrenador selección Colombia rugby subacuático. Correo: [samuel.gaviria@usbmed.edu.co](mailto:samuel.gaviria@usbmed.edu.co)

### Diego Armando García Gómez

Lic. Educación Física, MSc. Motricidad y Desarrollo Humano, Universidad de Antioquia. Correo: [darmando.garcia@udea.edu.co](mailto:darmando.garcia@udea.edu.co)

### Bertulfo Herrera Quiceno

Lic. Educación Física, MSc. Motricidad y Desarrollo Humano, Universidad de Antioquia. Docente Institución Educativa Marco Fidel Suárez. Correo: [bertulfo.herrera@udea.edu.co](mailto:bertulfo.herrera@udea.edu.co)

## Resumen

**Objetivo:** comparar el gesto de pateo con el borde interno a balón detenido en fútbol con el pie dominante, entre un sujeto con experiencia y un sujeto inexperto. **Método:** cada sujeto realizó tres intentos del gesto en las mismas condiciones; fue elegido el mejor gesto al momento del análisis, según las recomendaciones de la literatura en la ejecución y experticia de los investigadores. Las grabaciones fueron realizadas en 3D con ayuda de dos cámaras de alta velocidad. Las filmaciones fueron analizadas con el programa SkillSpector versión 1.3.2. **Resultado:** se verificó que el sujeto experimentado reporta datos de velocidad de impacto y ángulos articulares en miembros inferiores, superiores al sujeto inexperto.

**Palabras clave:** fotogrametría 3D, cinemática, fútbol, borde interno, experimentado, inexperto.

## Abstract

**Aim:** compare the kicking gesture with the inside edge of a soccer ball stopped with the dominant foot, between an experienced subject and an inexperienced subject. **Method:** Each subject made three attempts of the gesture in the same conditions; the best gesture was chosen at the time of the analysis according to the recommendations of the literature on the execution and expertise of the researchers. The recordings were made in 3D with the help of two high-speed cameras. The filming was analyzed with the program SkillsSpector version 1.3.2. **Results:** It was verified that the experienced subject reports impact velocity data, joint angles in lower limbs superior to the inexperienced subject.

**Keywords:** 3D photogrammetry, kinematics, football, internal edge, experienced, inexperienced.

## Introducción

Las técnicas biomecánicas son utilizadas en diversos deportes y, de manera particular, en el fútbol, para definir las características de las habilidades, comprender la efectividad mecánica de la ejecución, identificar los factores que subyacen al rendimiento exitoso, entre otros fines.

Existe un amplio rango de destrezas que forman la base del rendimiento en el fútbol, pero el *gesto técnico del pateo* ha sido objeto de análisis biomecánico (Luhtanen, 2005). Las acciones decisivas del juego en el fútbol implican la ejecución de gestos explosivos (Cometti, 2002), siendo objetivos del entrenamiento; para ello, resulta fundamental conocer el patrón de ejecución de las mismas (Juárez *et al.*, 2010). El conocimiento y comprensión de estas destrezas, ayuda a mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje y, por ende, el rendimiento deportivo.

El golpeo al balón con el pie hace parte de las habilidades fundamentales en el fútbol, tanto así, que esta habilidad se práctica desde edades muy tempranas. Sin embargo, la ejecución madura y eficaz requiere muchos años de práctica (Coyle & di Masso, 2009; Ericsson, 2006; Vaeyens *et al.*, 2008; Williams & Ericsson, 2005) para lograr parámetros de experto, y difiere de individuo a individuo por el estilo de ejecución (Acero, 2009). Además, esta habilidad se encuentra condicionada por las situaciones cambiantes del juego, que exigen velocidad de ejecución y a la vez precisión, lo que disminuye la eficiencia de la habilidad (González *et al.*, 2008). De esta manera, la precisión es muy importante en la habilidad de golpear el balón con el pie, pero se dificulta y disminuye a medida que la exigencia de la velocidad aumenta (Asami *et al.*, 1976). En el análisis de esta habilidad, existen diversas variantes debido a la

velocidad y posición del balón y a la naturaleza del intento de la patada. La variante más reportada en la literatura es la patada en velocidad de un balón estático (Lees & Nolan, 1998). En este sentido, la mayoría de las acciones y maniobras en las distintas situaciones de juego son ejecutadas con fuerza y velocidad submáxima, pero con una alta precisión y con un propósito (Luhtanen, 2005), pocas maniobras son ejecutadas con fuerza y velocidades máximas (Cometti, 2002).

El gesto del pateo se caracteriza por la aproximación de uno o más pasos hacia el balón, situando el pie de apoyo al lado del balón y ligeramente por detrás; a continuación, la pierna de golpeo se lleva hacia atrás, flexionando la rodilla y, consecutivamente, se inicia el movimiento hacia adelante, rotando la pelvis sobre la pierna de soporte, llevando el muslo hacia adelante, mientras la rodilla continúa flexionándose (pre-estiramiento del cuádriceps), hasta que se inicia la extensión; posteriormente, se produce una desaceleración del muslo y una fuerte extensión de la rodilla, en el momento en que el pie impacta con el balón (Kellis & Katis, 2007; Lees & Nolan, 1998).

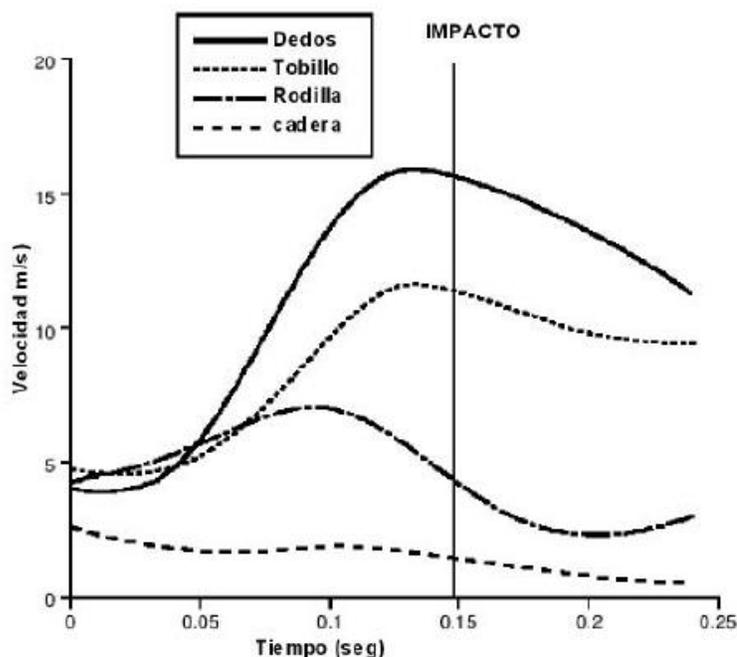
Phillips (1985) investigó la consistencia del golpe de pie, en jugadores aficionados y en jugadores de élite; ambos grupos habían realizado la acción, con pequeñas diferencias en variables biomecánicas evaluadas, concluyéndose que los jugadores de élite son más eficaces que los jugadores aficionados.

El efecto del ángulo de aproximación sobre el pie, y la velocidad del balón, fue investigado por Isokawa & Less (1988), reportando que los seis sujetos varones experimentados, requirieron un solo paso de carrera para golpear el balón detenido, y usaron un ángulo de aproximación de 0°, 15°, 30°, 45°, 60° y 90°. Aunque no hubo diferencias significativas en las velocidades del balón entre los ángulos de aproximación, la tendencia de los datos sugirió que la máxima velocidad de la pierna fue alcanzada con un ángulo de 30° y la máxima velocidad del balón con un ángulo de 45°.

La colocación del pie de apoyo es otro parámetro importante en el golpe del balón en el fútbol. McLean & Tumilty (1993) encontraron, en jugadores de élite, que el pie se apoya 38 cm detrás del centro del balón. Otros estudios se indican que el pie de apoyo podría colocarse hasta 5-10 cm del lateral del balón, y en cuanto a la posición anteroposterior, Hay (1985) sugiere que la posición eficiente sería entre 5-28 cm detrás del balón, pareciendo ser que esta última está en función del tipo de golpe realizado, y su intención para obtener una trayectoria baja o alta del balón.

La velocidad del balón es un parámetro indicador del éxito del remate, como se observó en jugadores adultos varones experimentados, que alcanzaron la velocidad media máxima del balón entre 20-30 m/s (Narici *et al.*, 1988; Luhtanen, 1994). En niños entre 8 y 14 años de edad, Isokawa & Lees (1988) encontraron una velocidad lineal máxima de 12.0-15.5 m/s

(tobillo y dedos, figura 1); ello coincide con Luhtanen (1988), quien aportó valores entre 15.0-22.0 m/s para niños y jóvenes en edades de 10 a 17 años. Por lo que parece que el nivel de aptitud, la velocidad de aproximación, la edad, y el segmento corporal, afectan a la velocidad al momento del balón.



**Figura 1.** Representaciones de las velocidades lineales en golpe con el empeine. Modificado de Isokawa & Lees (1988) por González *et al.* (2008, p.31).

Una medida de éxito de la acción del golpe con el pie dominante, es la velocidad angular de la extensión máxima de la rodilla, que ocurre momentos antes del impacto (figura 1); Putnam (1983) encontró una velocidad angular máxima de rodilla de 40.0 radian/s para jugadores adultos masculinos de fútbol, y Griffiths (1984) divulgó valores de 24.0-29.5 radian/s para jugadoras femeninas adultas de fútbol. Al parecer, la velocidad angular máxima de la rodilla aumenta con la edad, hasta que se alcanza la acción madura del golpeo con el balón (Elliott *et al.*, 1980).

El objetivo del presente estudio fue analizar las diferencias del gesto técnico de pateo al balón detenido con el borde interno del pie dominante, entre un sujeto con experiencia y un sujeto inexperto en 3D.

## Metodología

### Población y muestra

El estudio se llevó a cabo con dos estudiantes universitarios de posgrado. El sujeto con experiencia fue jugador federado durante 25 años, que participó en diferentes niveles de juego, categorías y clubes; realizó entrenamientos estructurados y específicos de la disciplina durante el tiempo que permaneció activo (sujeto 1); además, es licenciado en educación física. Por su parte, el sujeto inexperto es licenciado en educación física hace 16 años, y conocía los fundamentos teóricos de la acción que se analizó, pero nunca practicó el deporte de forma federada (sujeto 2) (Tabla 1). Los sujetos son aparentemente sanos y aptos para la práctica deportiva, y además no presentaron antecedentes de lesión agudo osteomuscular.

De acuerdo con la Declaración de Helsinki y el Ministerio de la Protección Social de Colombia, todos los involucrados de manera directa, o indirecta, en el presente estudio, fueron informados sobre las particularidades del estudio. Además, los sujetos directamente involucrados (muestra), firmaron el consentimiento informado.

**Tabla 1.** Características de los sujetos.

Sujeto	Edad (años)	Estatura (cm)	Peso (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Experiencia deportiva en fútbol* (años)
Sujeto 1	35	174	72	23,7	25
Sujeto 2	40	170	65	22,4	0

\*Experiencia federada.

### Instrumentos y Recolección de la Información

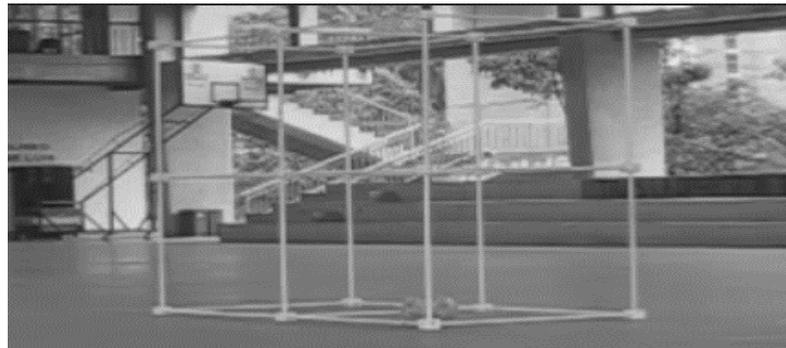
#### *Recolección de datos*

Se realizó la adecuación del espacio, donde se determinó la distancia necesaria entre el sitio donde se ubicó el balón y la portería (15m); luego se realizaron las marcaciones necesarias de los sujetos, para su posterior digitalización; también se procedió al ensamble de la estructura, para la calibración del video (Figura 2); posteriormente se ubicaron las cámaras a la misma distancia del punto de análisis.

Para dar cumplimiento al protocolo de filmación 3D (Kwon, 2009) se utilizaron los siguientes elementos: marcadores, cinta de enmascarar, cinta aislante, flexómetro, balón de fútbol # 5, estructura para calibración 3D, trípodes y cámaras de alta velocidad.

La filmación de los sujetos fue realizada con dos cámaras de alta velocidad con las siguientes características:

- SONY
- 240FPS
- Tipo de sensor: Sensor CMOS Exmor R® tipo 1/2,3 (7,76 mm)
- Píxeles efectivos: 18,2 MP
- Tipo de lente: Lente G de Sony
- Zoom óptico: 20x
- Tipo de pantalla: 3,0 pulg. (7,5 cm) (4:3) / 460.800 puntos / Xtra Fine / LCD TFT
- Terminales de entrada y salida: Micro HDMI®, Modo USB de alta velocidad (USB 2.0), Terminal multi/micro USB



**Figura 2.** Instrumento de calibración para videos 3D

Se usaron dos cámaras que, de manera paralela, se ubicaron a un ángulo de 45 grados respecto al sujeto que desarrolló la acción. La sincronización de las cámaras se realizó por medio de una herramienta para editar videos (MPEG\_STREAMCLICK), identificando un momento común (contacto con superficie pie de apoyo) e iniciando el análisis a partir de ese momento.

La distancia entre el balón y el pie se midió respecto al talón del pie de apoyo y el centro del balón por medio de las coordenadas espaciales reportadas por el software Skillspector, apoyado en el sistema de referencia.

#### *Análisis de datos*

Para el análisis de los datos se utilizó la aplicación Skillspector versión 1.3.2, que permite capturar el movimiento de vídeo en imágenes para el análisis de la habilidad.

Se realizó un análisis cinemático en 3D, mediante la digitalización y la calibración de la imagen. El primero define los puntos, objetos o segmentos de referencia específicos del cuerpo humano, y el segundo es el método para transformar en un sistema de coordenadas estándar a unidades matemáticas preestablecidas (X, Y, Z).

### *Procedimiento*

Los sujetos realizaron un calentamiento de 10 minutos (Pareja, 1993) que consistió en movilidad articular combinada con trote y conducción del balón como dominio del mismo; la parte inicial estuvo acompañada de estiramientos dinámicos de los principales músculos que intervienen en el gesto.

Los sujetos ejecutaron el gesto técnico del pateo al balón detenido con borde interno del pie dominante en tres ocasiones. El inicio para la carrera fue desde el sitio previamente marcado, mientras dos camarógrafos realizaron la filmación de manera simultánea. Para el análisis se tuvo en cuenta el mejor gesto ejecutado por ambos sujetos, establecido por los conocimientos previos y experiencia de los investigadores, en coherencia con la literatura, donde se eligió la misma vista del mejor gesto en ambas cámaras. Se realizó una observación mecánica corporal de las características del gesto, para la comparación entre el mejor gesto realizado por cada individuo de manera cualitativa.

El modelo del sujeto y el balón constó de 18 puntos anatómicos, marcados para su posterior análisis; estos fueron: cabeza, balón, punta de pie (derecha e izquierda), tobillo (derecha e izquierda), rodilla (derecha e izquierdo), rodilla (derecha e izquierda), cadera (derecha e izquierda), hombro (derecha e izquierda), codo (derecha e izquierda), muñeca (derecha e izquierda).

Sujeto 1. Experimentado

Sujeto 2. Inexperto



**Figura 3.** Gesto de pateo con el borde interno del pie dominante (cámara 1, vista lateral)



**Figura 4.** Gesto de pateo con el borde interno del pie dominante (cámara 2, vista lateral)

## Resultados

### *Análisis de los resultados*

Al analizar los datos de la tabla 2, se observa que la velocidad máxima del balón sujeto 1, comparada con el sujeto 2, se encuentra por encima 1.79 m/s, mientras la aceleración máxima de la cadera del sujeto 1 (4053 rad/ss) se logra en un ángulo de 137,6° (tabla 3), casi el doble de la obtenida en la misma variable por el sujeto 2 (2427 rad/ss), la cual obtiene en un ángulo inferior al sujeto 1 (94,02°), lo que puede traducirse en mayor velocidad máxima del balón, como lo manifiestan Isokawa & Lees (1988) y Luhtanen (1988), en sus respectivos estudios.

La máxima velocidad de rodilla lineal fue 6.77 m/s, pero disminuyó al momento del impacto a 4.13 m/s en el sujeto 1. De igual forma, el sujeto 2 logró una velocidad de rodilla lineal de 4.7 m/s, y al momento del impacto fue 1.16 m/s. El sujeto 1 tuvo una reducción del 39% en la velocidad de rodilla lineal al momento del impacto. Sin embargo, el sujeto 2 tuvo una reducción mayor (75%), teniendo una diferencia porcentual del 36%.

De igual forma, el comportamiento en la variable de la velocidad máxima lineal de cadera, reportó el sujeto 1 en 6.77 m/s, pero disminuyó al momento del impacto a 4.79 m/s. De igual forma, el sujeto 2 logró una velocidad de cadera lineal de 4.13 m/s y al momento del impacto fue de 1.16 m/s. El sujeto 1 tuvo una reducción del 29% en la velocidad de cadera lineal al momento del impacto; sin embargo, el sujeto 2 tuvo una reducción mayor (72%), con una diferencia porcentual de 43%. De igual forma, la máxima velocidad lineal del tobillo del sujeto 1 fue de 12,13 m/s, mientras que el sujeto 2 logró 8.88 m/s. Sin embargo, ambos lograron velocidades de impacto inferiores (Sujeto 1: 5.33 m/s; Sujeto 2: 3.84 m/s) en la articulación del tobillo.

Así, el sujeto 1 disminuyó la velocidad máxima lineal de cadera y rodilla al momento del impacto, al igual que el sujeto 2, pero los valores reportados por el sujeto experimentando fueron mayores que el jugador inexperto (tabla 2).

**Tabla 2.** Comparativo Sujeto 1 vs Sujeto 2 en variables lineales y angulares

VARIABLES	Sujeto 1 Experimentado	Sujeto 2 Inexperto
Velocidad máxima de balón m/s	8.65	6.86
Distancia del pie de apoyo al balón en la posición lateral (cm)	24.38	14.22
Distancia del pie de apoyo al balón en la posición posterior (cm)	24.16	37.14
Velocidad angular máxima de la rodilla (rad/s)	26.66	23.92
Velocidad angular máxima de la rodilla (grados/s)	1527	1371
Velocidad angular al impacto de la rodilla (rad/s)	17.24	8.97
Velocidad angular al impacto de la rodilla (grados/s)	988	514
Velocidad angular máxima de la cadera (rad/s)	20.75	13.75
Velocidad angular máxima de la cadera (grados/s)	1189	788
Velocidad angular al impacto de la cadera (rad/s)	8.11	6.00
Velocidad angular al impacto de la cadera (grados/s)	465	344
Angulo de la rodilla al momento de impacto (grados)	135.2	154.12
Angulo máximo de rodilla (grados)	149	161.82
Angulo mínimo de rodilla (grados)	74.15	71.44
Angulo máximo de cadera (grados)	155.47	155.58
Angulo mínimo de cadera (grados)	142.1	124.21
Angulo de la cadera al impacto (grados)	145.1	152.4
Velocidad máxima lineal del tobillo m/s	12.33	8.88
Velocidad lineal de tobillo al impacto m/s	5.33	3.84
Velocidad máxima lineal de la rodilla m/s	6.77	4.79
Velocidad lineal de rodilla al impacto m/s	4.13	1.16
Velocidad lineal de cadera al impacto m/s	2.01	0.58
Velocidad máxima lineal de la cadera m/s	9.26	5.16

Se calculó la distancia del pie apoyo con relación al balón cuando se golpea, ubicando el pie de impacto en el momento de impacto, y con las coordenadas de ese pie (figura 7) y apoyo en el eje Z (valor de 24.38 cm posición lateral en el sujeto 1). Para la distancia adelante atrás,

se realizó el mismo procedimiento, pero con coordenadas en X (distancia del pie de apoyo al balón posición posterior 24.16 cm en el sujeto 1) generando la velocidad máxima del balón 8.65 m/s. También reportó (tabla 2) una velocidad angular de la velocidad angular máxima de la rodilla: 26.66 rad/s (1527grados/s), velocidad angular al impacto de la rodilla: 17.24 rad/s (988 grados/s), velocidad angular máxima de la cadera: 1189 grados/s (20.75rad/s) y velocidad angular al impacto de la cadera 465 grados/s (8.11rad/s). Mientras el sujeto 2 tuvo una distancia del pie de apoyo al balón posición lateral de 14.22 cm y posterior de 37.14 cm (tabla 2), además reporto valores menores en las velocidades angulares como velocidad angular máxima de la rodilla 23.92 rad/s (1371grados/s), velocidad angular al impacto de la rodilla: 8.97 rad/s (514 grados/s), velocidad angular máxima de la cadera: 788 grados/s (13.75rad/s) y velocidad angular al impacto de la cadera 344 grados/s (6.00 rad/s).

**Tabla 3.** Comparativo Sujeto 1 vs Sujeto 2 en la máxima aceleración angular de la cadera

Sujeto	La máxima aceleración angular de la cadera		Ángulo de cadera en el que se da la máxima velocidad angular (grados)
	grados/s	rad/s	
Sujeto 1 Experimentado	232228	4053	137.6
Sujeto 2 Inexperto	139041	2427	94.02

**Tabla 4.** Comparativo Sujeto 1 vs Sujeto 2 en la máxima velocidad del dedo del pie

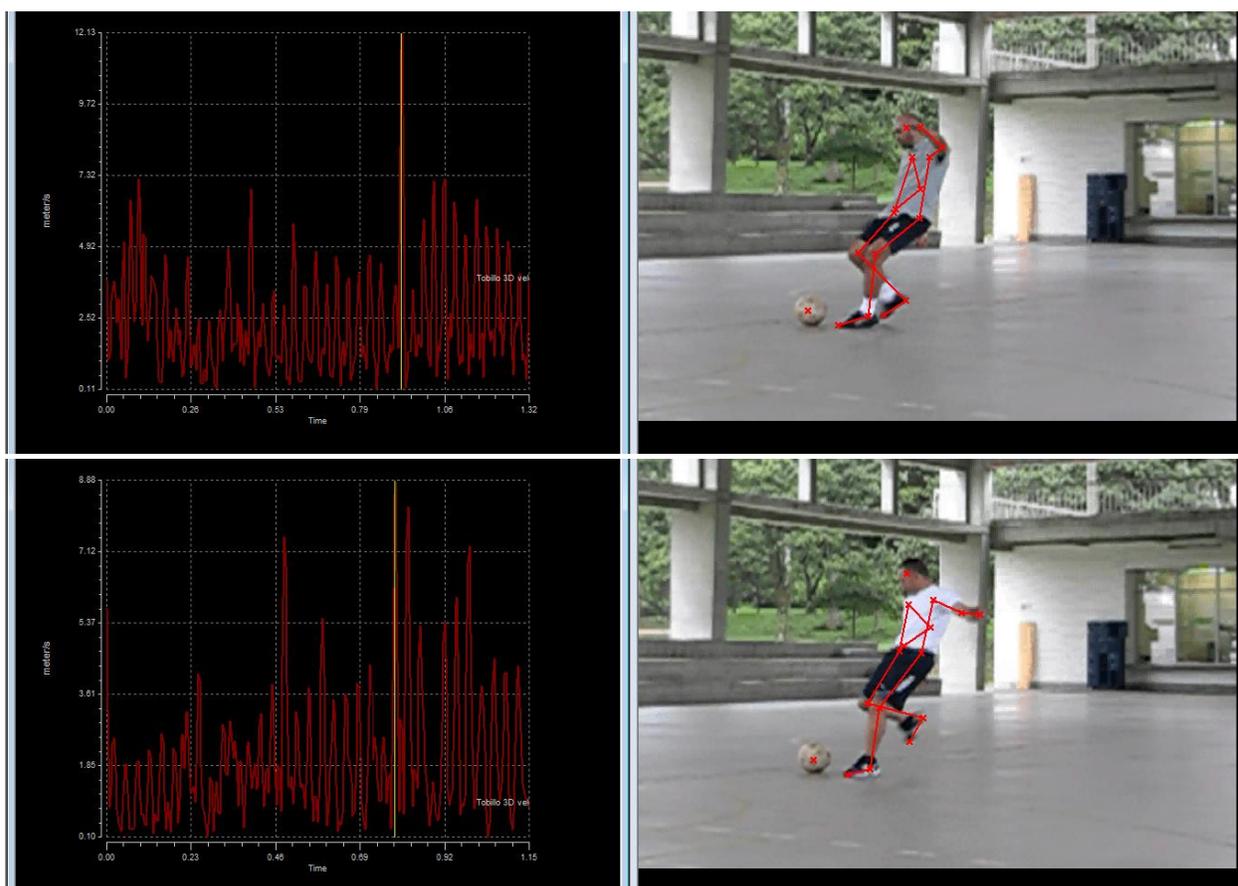
Sujeto	La máxima velocidad del dedo del pie (TOE m/s)	Ángulo de rodilla en el que se da la máxima velocidad (grados)
Sujeto 1 Experimentado	9.73	156.12
Sujeto 2 Inexperto	8.65	93.24

Se observa una mayor velocidad en el sujeto 1 (9.73 TOE m/s) en un ángulo de rodilla de 156.12° (tabla 4) en la que se da la máxima velocidad, teniendo como referencia al elemento distal del dedo del pie derecho (Figura 6), la cual transmite finalmente el movimiento al balón.

**Tabla 5.** Comparativo Sujeto 1 vs Sujeto 2 en la máxima velocidad del tobillo

Sujeto	La máxima velocidad del tobillo m/s	Angulo de tobillo en el que se da la máxima velocidad (grados)
Sujeto 1 Experimentado	12.13	98.4
Sujeto 2 Inexperto	8.88	112.09

Al comparar los datos obtenidos en la máxima velocidad de la articulación del tobillo, el Sujeto 1 reporta una velocidad 12.13 m/s en un ángulo de 98.4° (tabla 5), mostrando un mejor desempeño que el Sujeto 2, quien registró una velocidad 8.88 m/s en un ángulo mayor (112.09°). La velocidad lineal al impacto del tobillo en el sujeto 2 fue 3.84 m/s e impacta con un ángulo de 105.22 grados (ángulo de tobillo), mientras el sujeto 1 impacta con una velocidad de 5.33m/s con un ángulo de 115.2 grados.



**Figura 5.** Análisis comparativo velocidad máxima del tobillo.

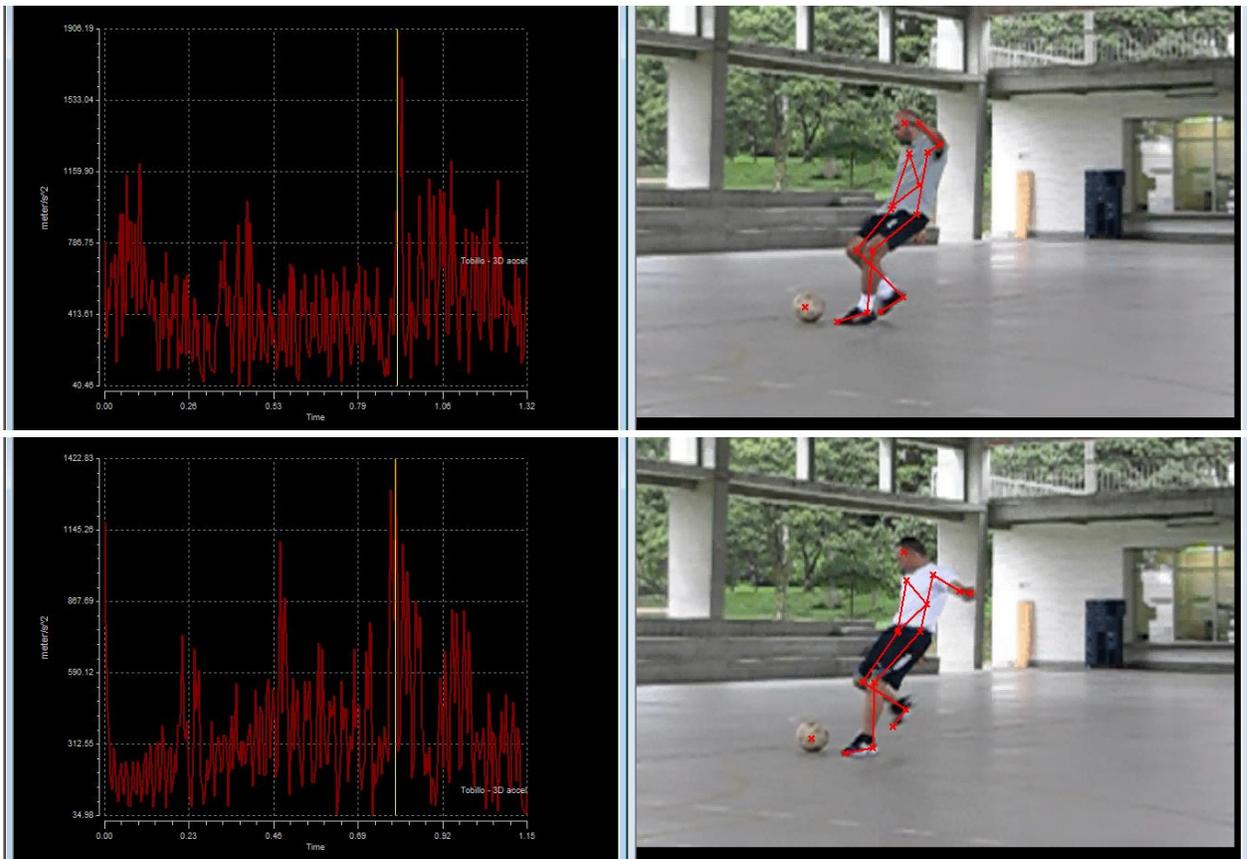
La figura 5, a modo de contraste entre participantes, denota la máxima velocidad del tobillo para el sujeto 2 mucho antes del impacto (cursor amarillo), comparado con sujeto 1. En términos de transferencia de energía al balón, el sujeto 2 es menos eficiente para esto. Lo ideal sería los máximos valores de tobillo al momento de impactar, con el fin de generar la mayor transferencia de energía al balón.

Los resultados observados en la tabla 2 y figura 5, corroboran lo expresado en cuanto a la velocidad superior alcanzada por el sujeto 1 sobre el sujeto 2, en menores ángulos en el conglomerado de todos los segmentos del cuerpo analizados en este estudio.

La figura 6 y tabla 6, permiten observar que la aceleración alcanzada por el sujeto 1 (tobillo  $1906.19 \text{ m/s}^2$ ) es mayor que la del sujeto 2 (tobillo  $1422.83 \text{ m/s}^2$ ), teniendo como referencia el tobillo del pie derecho.

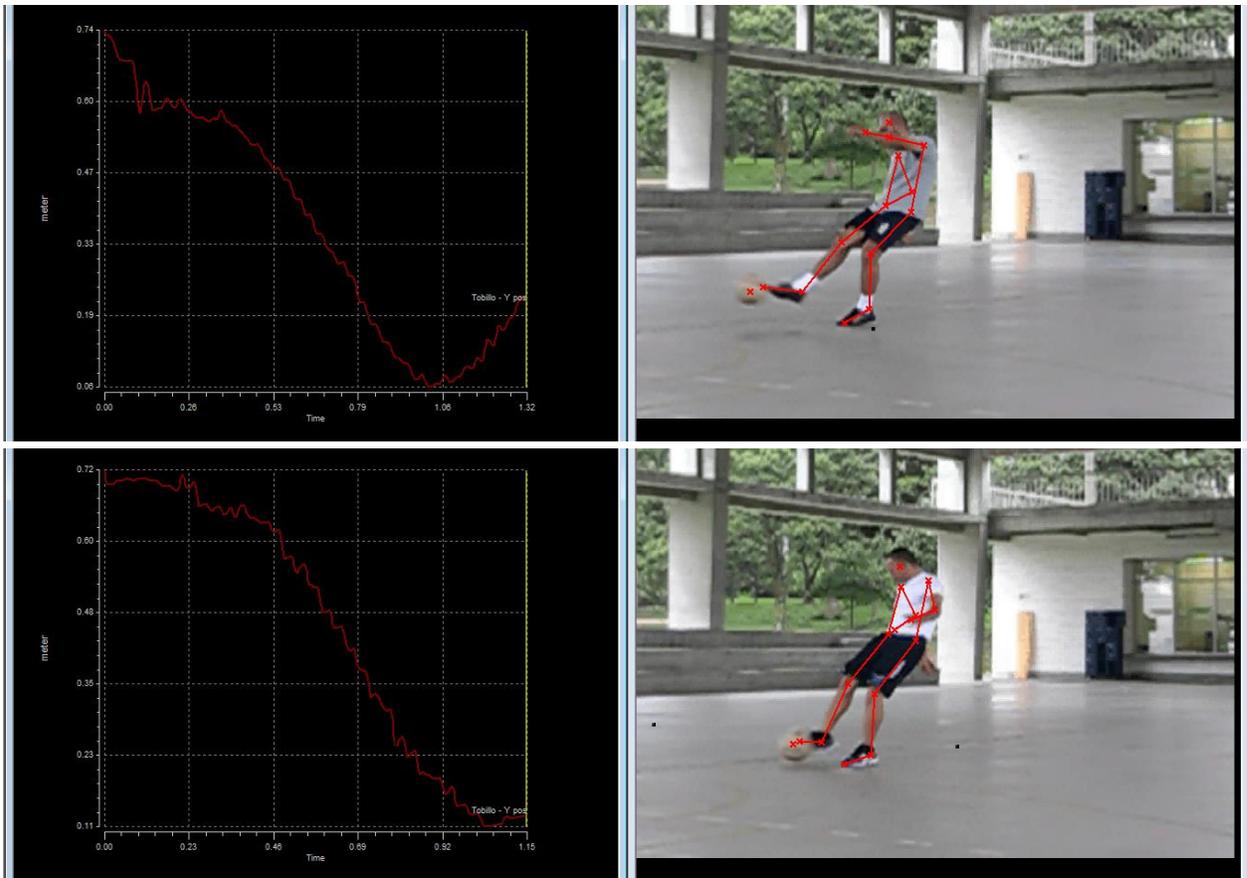
**Tabla 6.** Comparativo Sujeto 1 vs Sujeto 2 en la máxima aceleración del tobillo

Sujeto	Aceleración lineal del tobillo $\text{m/s}^2$	Aceleración angular $\text{rad/s}^2$
Sujeto 1	1906.19	884.55
Sujeto 2	1422.83	1450.2



**Figura 6.** Análisis comparativo aceleración.

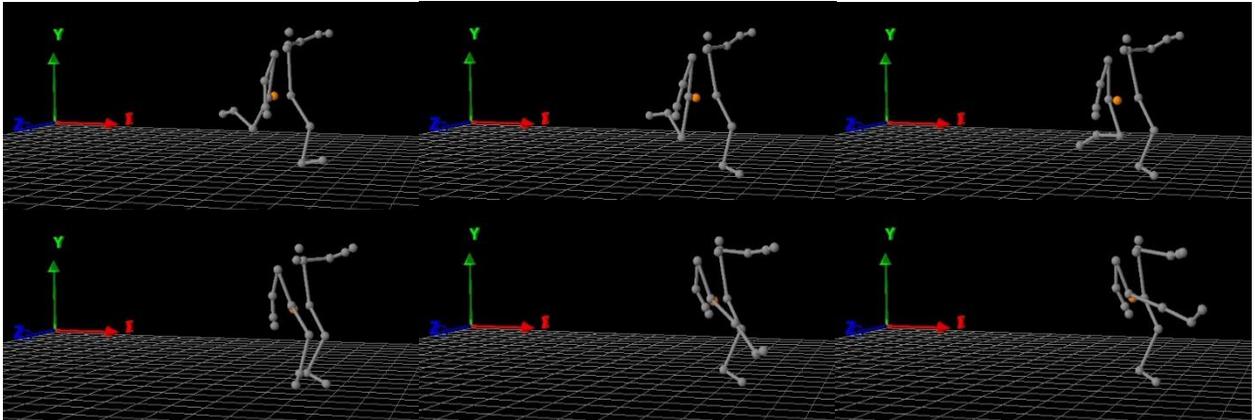
En cuanto a la posición final del tobillo, en la figura 7 se observa que el sujeto 1 realiza un movimiento con mayor extensión de la pierna dominante, a lo largo de la ejecución del gesto analizado; además, al finalizar el recorrido del segmento en su totalidad, se observa cómo este alcanza una mayor altura (Altura final del tobillo 0.218 m), comparado con el sujeto 2 (Altura final del tobillo 0.146 m).



**Figura 7.** Análisis comparativo en la fase final del gesto: altura del tobillo.



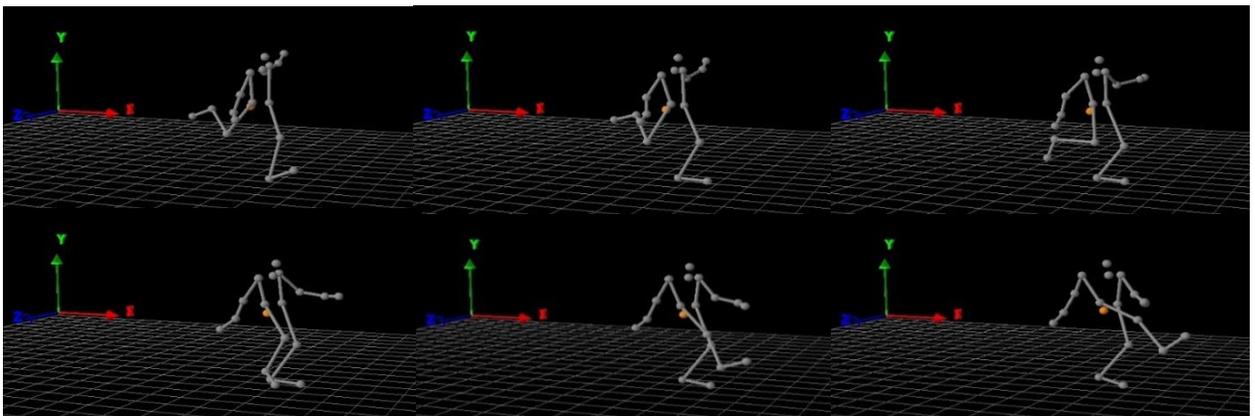
**Figura 8.** Secuencia del gesto analizado, Sujeto 1.



**Figura 9.** Imágenes tridimensionales del gesto analizado, Sujeto 1.



**Figura 10.** Secuencia del gesto analizado, Sujeto 2.



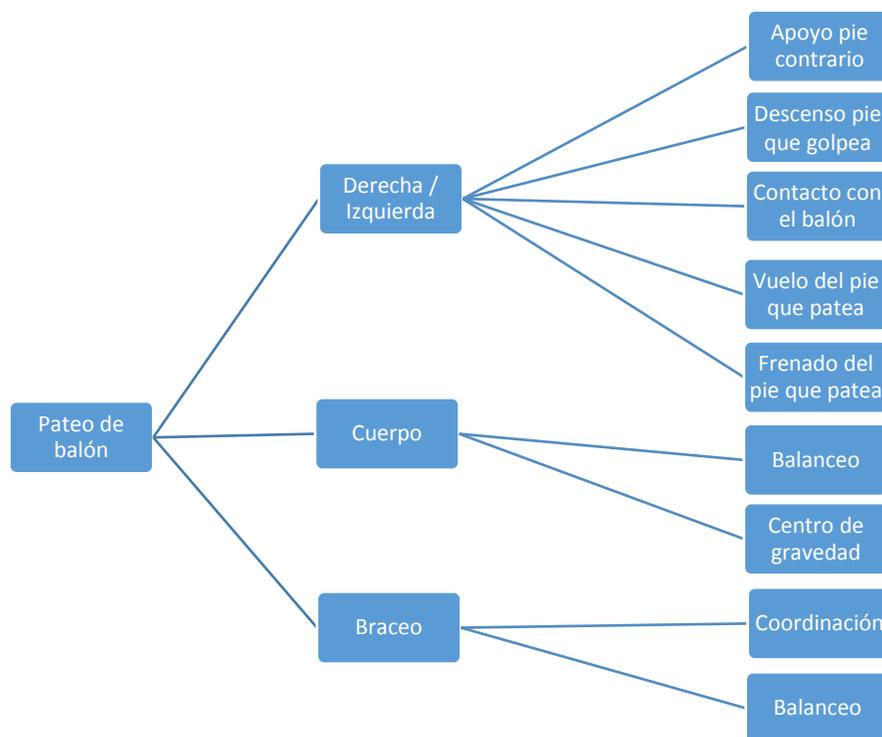
**Figura 11.** Imágenes tridimensionales del gesto analizado, Sujeto 2.

El tiempo de ejecución, desde que el talón del pie de apoyo hace contacto, hasta que la pierna dominante impacta el balón, en el sujeto 1 fue de 1.09s, y en el sujeto inexperto fue de 1.12s. La velocidad del balón se calcula al momento en que el pie de impacto se separa del balón (en teoría, debe ser la velocidad máxima 3ra Ley de Newton). En las figuras 9–11 se observan las imágenes tridimensionales del gesto analizado en ambos sujetos.

### Modelo Jerárquico

El conocimiento de la técnica es fundamental en la ejecución de un gesto técnico, y puede favorecer la velocidad y la aceleración del pateo de los diferentes segmentos implicados, al momento de comparar sujetos con y sin experiencia.

Según lo establecido en el modelo jerárquico, para la ejecución del gesto técnico que se analizó, se puede determinar que el sujeto con experiencia, al realizar un movimiento más técnico en cuanto a la posición inicial y final del cuerpo, la ubicación de las piernas –tanto de la pierna que apoyo como la pierna que ejecuta la acción–, el balanceo y la coordinación de los brazos que proporcionan el debido equilibrio del individuo, el contacto con el balón y la base de sustentación, son superiores comparadas con las del sujeto inexperto.



### Discusión

En el estudio se comparó un sujeto con experiencia y un inexperto, en la ejecución del gesto deportivo *pateo con el borde interno a balón detenido en fútbol con el pie dominante*. Los resultados arrojaron que el sujeto con experiencia ejecuta un movimiento más eficaz y con mayores velocidades lineales y angulares, probablemente producto de las horas de práctica específica de este deporte (Coyle & di Masso, 2009; Ericsson, 2006), lo cual coincide con lo reportado por Juárez *et al.*, (2010), para quienes resulta fundamental conocer y repetir el

patrón de ejecución de las técnicas. El sujeto inexperto, por su parte, demuestra poco conocimiento procedimental (Saborido *et al.*, 2012).

Para Tant *et al.* (1991), la mayor velocidad del balón producida por jugadores masculinos, comparados con jugadoras femeninas, es atribuida a su mayor fuerza, según la medición en un dinamómetro isocinético. En este sentido, Cabri *et al.* (1988) encontraron una alta correlación entre la distancia del golpe de pie con la fuerza generada por el flexor de la rodilla ( $r = 0.77$ ) y por la fuerza del extensor de la rodilla ( $r = 0.74$ ); también encontraron una relación significativa entre la distancia del golpe y la fuerza medida en el flexor de la cadera ( $r = 0.56$ ) y la fuerza del extensor de la cadera ( $r = 0.56$ ). En el presente estudio, aparentemente la masa muscular del sujeto experimentado es mayor que la del sujeto no experimentado; según los resultados obtenidos, la velocidad final alcanzada por el sujeto experimentado comparada con la del sujeto inexperto fue mayor; por tanto, podría sugerirse que, a mayor fuerza, mayor velocidad.

Phillips (1985), concluyó que los jugadores de élite son más eficaces que los jugadores aficionados. Aunque en el presente estudio la eficiencia no fue el objetivo principal, se corrobora que el sujeto experimentado puede llegar a presentar mayores niveles, no solo de eficacia, sino también de velocidad y aceleración en los segmentos corporales analizados.

Isokawa & Less (1988), encontraron que los seis sujetos varones experimentados requirieron un solo paso de carrera para golpear el balón detenido, y usaron un ángulo de aproximación de  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $90^\circ$ . Aunque no hubo diferencias significativas en las velocidades del balón entre los ángulos de aproximación, la tendencia de los datos sugirió que la máxima velocidad de la pierna era alcanzada con un ángulo de  $30^\circ$ , y la máxima velocidad del balón con un ángulo de  $45^\circ$ . En este estudio, el sujeto reportó la máxima velocidad de la cadera (9.26 m/s) en un ángulo de  $144.2^\circ$ , y la máxima velocidad de la rodilla (6.77 m/s) en un ángulo de  $62.1^\circ$ . Por su parte, el sujeto inexperto obtuvo la máxima velocidad de cadera (5.16 m/s) en un ángulo de  $152.2^\circ$ , y la máxima velocidad de la rodilla (4.79 m/s) en un ángulo de  $94.8^\circ$ . A la mayor velocidad del balón (8.65 m/s) (momento siguiente del impacto) el sujeto experto presentó un ángulo de cadera de  $142.47^\circ$ , rodilla  $157.8^\circ$  y tobillo  $113.8^\circ$ . A la mayor velocidad del balón (6.86 m/s) (momento siguiente del impacto), el sujeto inexperto presentó un ángulo de cadera de  $139.4^\circ$ , rodilla  $143.75^\circ$  y tobillo  $129.4^\circ$ .

Con relación a la colocación del pie de apoyo, parámetro importante en el golpe del balón en el fútbol, el sujeto 1, para la distancia del pie de apoyo en la posición anteroposterior, estuvo ubicado a 24.16 cm, en coherencia con las recomendaciones; pero, para la posición lateral, estuvo a 24.38 cm, aunque depende de la intención para obtener una trayectoria alta del balón. Mientras que el sujeto 2, tuvo una distancia del pie de apoyo al balón, posición lateral, mayor a 14.22 cm, y posterior de 37.14 cm, colocando en cuestionamiento la eficacia del pateo. Al analizar la colocación del pie de apoyo al momento del contacto con

el balón, se puede observar que el sujeto experimentado está cerca de la distancia reportada por McLean & Tumilty (1993), en su estudio donde jugadores de élite apoyan el pie a 38 cms detrás del centro del balón. Por su parte, Hay (1985) sugirió que la posición eficiente sería entre 5-28 cms detrás del balón, según la intención de la trayectoria que se quiera dar al balón.

La velocidad del balón es un parámetro indicador del éxito en el gesto del pateo, como se observó en jugadores adultos varones experimentados, quienes alcanzaron la velocidad media máxima del balón entre 20-30 m/s (Narici *et al.*, 1988; Luhtanen, 1994). Esto coincide con Luhtanen (1988), quien aportó valores entre 15.0-22.0 m/s para niños y jóvenes entre 10-17 años, por lo que parece que el nivel de aptitud, la velocidad de aproximación y la edad, afectan la velocidad del balón. Sin embargo, este estudio reportó valores menores en la velocidad máxima del balón, donde fue reportado para el sujeto 1, 8.65 m/s, y para el sujeto 2, 6.86 m/s.

Una medida de éxito de la acción del golpe con el pie dominante, es la velocidad angular de la extensión máxima de la rodilla, que ocurre momentos antes del impacto; Putnam (1983) encontró una velocidad angular máxima de rodilla de 40.0 radian/s para jugadores adultos masculinos de fútbol. Este estudio reportó una velocidad angular máxima de la rodilla de 26.66 y 23.92 (rad/s), ubicando al participante con valores de jugadoras femeninas de fútbol. Razón de los anteriores valores, por un lado, pudo ser el tipo de pateo de borde interno que se estudió, el cual, al buscar mayor precisión, limita la velocidad de impacto y por ende la del balón. Por otro lado, a los sujetos no se les dio la indicación de impactar a máxima velocidad el balón. Este hecho condiciona la velocidad de disparo final, y limita la posibilidad de conocer de manera más aproximada valores cercanos a la velocidad máxima del balón para los sujetos.

Según lo establecido en el modelo jerárquico, para la ejecución del gesto técnico que se analizó, se puede determinar que el sujeto con experiencia, al realizar un movimiento más eficiente, en cuanto a la posición inicial y final del cuerpo, la ubicación de las piernas, tanto de la pierna que apoyo como la pierna que ejecuta la acción, el balanceo y la coordinación de los brazos que proporcionan el debido equilibrio del individuo, el contacto con el balón y la base de sustentación, son superiores comparadas con las del sujeto inexperto.

Se llevó a cabo un comparativo de la ejecución de un gesto de pateo a balón detenido con la pierna dominante, entre un sujeto experimentado (Sujeto 1) y otro inexperto (Sujeto 2), y los resultados muestran que el sujeto 1 tiene un mejor desempeño en el pateo del balón, comparado con el sujeto 2 (Tabla 2).

## Conclusiones

El conocimiento de la técnica es fundamental en la ejecución de un gesto técnico, y puede favorecer la velocidad y la aceleración del pateo al momento de comparar sujetos con experiencia, y sujetos sin la misma.

Es posible, que la fuerza influya de manera directa en la velocidad del balón, al momento del contacto con el balón en el gesto de pateo en el fútbol.

La experiencia deportiva influye de una manera favorable sobre la eficiencia del pateo a balón detenido.

Aparentemente, la masa muscular influye directamente sobre la velocidad final alcanzada, por lo que podría sugerirse que, a mayor fuerza, mayor velocidad.

La capacidad del golpeo del balón es madura y eficaz en jugadores muy experimentados (Lees, 1996).

## Recomendaciones

Para futuros análisis, es necesario contar con una mayor cantidad de participantes (muestra), con el fin de obtener mayores comparaciones entre los sujetos y tener la posibilidad de aplicar estadísticos que permitan determinar el comportamiento de las variables estudiadas, y extrapolar a la población.

Se sugiere continuar con estudios que contemplen variables como la velocidad y la aceleración, como al ángulo de los diferentes segmentos, o la precisión del pateo, sin olvidar variables antropométricas para un análisis más detallado, y así tener la posibilidad de establecer diferencias o similitudes con una mayor confiabilidad.

### Declaración de divulgación

No existe conflicto de intereses.

### Financiamiento

La Universidad de Antioquia, sede Medellín, suministró las instalaciones e implementos de grabación (2 cámaras y sistema de referencia 3D) para realizar el estudio.

## Referencias

- Acero, J. (2009). Aplicabilidad de la variabilidad en los análisis biomecánicos del gesto y el entrenamiento deportivo. En G. Ramón (Coord.), *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento* (pp.45-85). Medellín: Funámbulos Editores.
- Asami, T., Togari, H., Kikuchi, T., Adachi, N., Yamamoto, K., & Sano, Y. (1976). Energy efficiency of ball kicking. In P. Komi (Ed.), *Biomechanics V-B* (pp.135-140). Baltimore, MD: University Park Press.
- Cabri, J., De Proft, E., Dufour, W., & Clarys, J. (1988). The relation between muscular strength and kick performance. *Science and Football*, 1, 186-193.
- Cometti, G. (2002). *La preparación física en el fútbol*. España: Paidotribo.
- Coyle, D., & di Masso, G. (2009). *Las claves del talento*. Colombia: Planeta.
- Elliott, B., Bloomfield, J., & Davies, C. (1980). Development of the punt kick: A cinematographical analysis. *Journal of Human Movement Studies*, 6, 142-150.
- Ericsson, K. (2006). The influence of experience and deliberate practice on the development of superior expert performance. In *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp.683-703). London, UK: Cambridge University Press.
- González, J., Molina, E., Corazza, D. (2008). Fundamentos Biomecánicos de la técnica del chut en fútbol: análisis de parámetros cinemáticos básicos. *Educación Física Chile*, 266, 29-34.
- Griffiths, G. (1984). *A biomechanical analysis of the female soccer kick* (Thesis). UK: Liverpool Polytechnic.
- Hay, J. (1985). *The biomechanics of sports techniques*. USA: Prentice Hall.
- Isokawa, M., & Less, A. (1988). A biomechanical analysis of the instep kicks motion in soccer. In: T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W. Murphy (Eds.), *Science and football* (pp.449-455). London, UK: E & FN Spon.
- Juárez, D., López, C., Mallo, J., & Navarro, E. (2010). Análisis del golpeo de balón y su relación con el salto vertical en futbolistas juveniles de alto nivel. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 4(19), 128-140.
- Kellis, E., & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(2), 154-165.
- Kwon, Y. (2009). Temáticas actuales en análisis del movimiento y sus aplicaciones en el deporte. En: G. Ramón (Coord.), *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento* (pp.89-115). Medellín: Funámbulos Editores.

- Lees, A. (1996). Biomechanics applied to soccer skills. In: T. Reilly (Ed.), *Science and soccer* (123-133). London, UK: E & FN Spon.
- Lees, A., & Nolan, L. (1998). The biomechanics of soccer: a review. *Journal of Sports Sciences*, 16(3), 211-234.
- Luhtanen, P. (1988). Kinematics and kinetics of maximal instep kicking in junior soccer players. *Science and Football*, 1, 441-448.
- Luhtanen, P. (1994). Biomechanical aspects. In: B. Ekblom (Ed.), *Football (soccer)* (pp.59-77). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Luhtanen, P. (2005). Aspectos biomecánicos del rendimiento en el fútbol. *PubliCE Standard*.
- McLean, B., & Tumilty, D. (1993). Left-right asymmetry in two types of soccer kick. *British Journal of Sports Medicine*, 27(4), 260-262.
- Narici, M., Sirtori, M., & Morgan, P. (1988). Maximum ball velocity and peak torques of hip flexor and knee extensor muscles. In: T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W. Murphy (Eds.), *Science and football* (pp.429-433). London, UK: E & FN Spon.
- Pareja, C. (1993). El calentamiento: estructura y contenido. *Educación Física y Deporte*, 14(15), 27-36.
- Phillips, S. (1985). Invariance of elite kicking performance. In: D. Winter (Ed.), *Biomechanics IX-B* (pp.539-542). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Putnam, C. (1983). Interaction between segments during a kicking motion. In: H. Matsui & K. Kobayashi (Eds.), *Biomechanics VIII-B* (pp.688-694). USA: Human Kinetics.
- Saborido, F., Jurado, J., & Lluch, Á. (2012). Validación de instrumentos para la medición del conocimiento declarativo y procedimental y la toma de decisiones en el fútbol escolar. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 22, 65-69.
- Tant, C., Browder, K., & Wilkerson, J. (1991). A three dimensional kinematic comparison of kicking techniques between male and female soccer players. In: *Proceedings of the Ninth ISBS Symposium* (pp.101-105). Ames, IA: International Society for Biomechanics in Sports.
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A., & Philippaerts, R. (2008). Talent identification and development programmes in sport. *Sports Medicine*, 38(9), 703-714.
- Williams, A., & Ericsson, K. (2005). Perceptual-cognitive expertise in sport: Some considerations when applying the expert performance approach. *Human Movement Science*, 24(3), 283-307.