

# Parámetros biomecánicos relacionados con la precisión en el golpeo del balón con el empeine interno en futbolistas juveniles

Gustavo Ramón Suárez<sup>1</sup>

## Resumen

Se analizaron 36 jóvenes futbolistas y 136 golpes del balón con el empeine interno con el objeto de relacionar el grado de precisión obtenido con 35 parámetros biomecánicos relacionados con el miembro inferior de apoyo, el tronco, el centro de gravedad y el miembro inferior ejecutor. Se utilizó el programa Silicon Coach® Digitazer para la digitalización de 21 puntos anatómicos más el del balón; con dos cámaras Sony HDR–XR150, colocadas en ángulo recto se obtuvieron los planos X-Z y Y-Z; con las coordenadas de estos planos se obtuvieron las coordenadas 3D, con los cuales se obtuvieron los datos, con una velocidad de 60 Hz, acción realizada por el programa Silicon Coach. Se encontraron correlaciones significativas de la precisión con: a) la distancia antero-posterior de la punta del pie y el balón, b) el ángulo del tronco en el plano horizontal, c) la distancia en el eje X entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo, d) el ángulo horizontal entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo, e) la velocidad del centro de gravedad en el eje X y el eje Y, f) la velocidad del pie en el eje X, en el eje Z, la velocidad en el plano sagital, el ángulo en el plano sagital y el producto de la velocidad en el plano sagital y el ángulo.

Palabras clave: precisión, factores biomecánicos, miembro inferior de apoyo, tronco, miembro ejecutor, centro de gravedad.

## Introducción

Estudiando jugadores calificados para patear con el empeine un balón parado, Egan, Vwerheul y Savelsbergh (2007), encontraron un ángulo de aproximación de alrededor de 43 °; Isokawa y Lees (1988) encontraron un ángulo de aproximación de alrededor de 45 °; Kellis y Katis (2007); Lees, Kershaw y Moura, (2005) encontraron una velocidad de carrera de alrededor de 3 a 4m·s<sup>-1</sup>.

---

<sup>1</sup> Doctor en Nuevas Perspectivas de Investigación. Docente Investigador. Instituto Universitario de Educación Física. Universidad de Antioquia. gusramon2000@yahoo.es

La longitud del último paso es importante en el máximo esfuerzo. Estudiando jugadores profesionales que realizaron un saque largo, Stoner y Ben Sira (1981) reportaron una longitud de zancada de 1,69 m; con jugadores de categoría media encontraron un alcance de 1,50 m. Lees y Nolan (2002) reportaron una longitud mayor último paso para dos jugadores profesionales que lo realizaron con longitud entre 0,72 y 0,81 m, en comparación con una patada por debajo del máximo de 0,53 y 0,55 m. Ellos asociaron a la mayor longitud de la última etapa con un mayor grado de retracción de la pelvis, que a su vez permite una mayor gama de protracción pélvica.

La trayectoria de aproximación realizada por los jugadores expertos es curvilínea (Marqués-Bruna, Lees y Grimshaw, 2007) y como consecuencia, el cuerpo se inclina hacia el centro de rotación. Es probable que el propósito de la ejecución de curvas sea asegurar que el cuerpo produzca y mantenga una inclinación lateral cuando el tiro se realiza. Una de las razones es que la inclinación permite patear por debajo de la pelota para hacer un mejor contacto con el mismo (Plagenhoef, 1971). Una segunda razón es que un cuerpo más inclinado permitiría una mayor amplitud a la rodilla al patear con la pierna extendida en el impacto y por lo tanto una mayor velocidad. Una tercera razón es que un enfoque de curva proporciona una posición estable para la ejecución de la patada, lo que contribuye a la precisión y la coherencia de sus tiros (Lees, Steward, Rahnama y Barton, 2009).

Lees y Nolan (1998) informaron que respecto a la colocación del pie de apoyo habían recibido poco interés en la literatura de investigación y este tema no se ha abordado posteriormente. Los autores de esta revisión no han identificado algún estudio reciente que haya presentado datos sobre esta cuestión.

La rodilla de la pierna de apoyo se flexiona  $26^\circ$  y permanece así durante toda la duración de la patada, siendo flexionada a  $42^\circ$  en contacto con el balón (Lees et al., 2009). La flexión de la rodilla continúa por más tiempo del necesario para absorber el impacto del aterrizaje y es una causa del movimiento de avance lento. Se empieza a extender poco antes de ponerse en contacto con el balón (Lees et al., 2009) estabilizando la acción; la velocidad de contracción lenta de los músculos alrededor de la rodilla y la pierna de apoyo permite que estos músculos generen su fuerza máxima.

Con respecto al tronco, Parassas y sus colegas (1990) reportaron un ángulo de  $13^\circ$  y  $17^\circ$  en jugadores expertos al realizar un saque de trayectoria baja y alta, respectivamente. Lees y Nolan (2002) reportaron  $12^\circ$  y  $0^\circ$  y la inclinación lateral hacia el lado de apoyo de  $10^\circ$  y  $16^\circ$  para dos jugadores profesionales que realizaron

un gesto maximal con el empeine. En jugadores de nivel colegial, Orloff y col. (2008) reportaron el tronco hacia atrás de  $3^\circ$  y  $13^\circ$  y una inclinación lateral de  $3^\circ$  y  $8^\circ$  en hombres y mujeres, respectivamente. Con respecto a la pierna de apoyo, un ángulo lateral de la vertical de  $25^\circ$  fue reportado por Orloff y col. (2008), que no fue diferente entre los sexos. La pierna de apoyo se inclina más hacia el lado que el tronco, lo que lleva a la flexión lateral entre los dos segmentos.

La pierna que patea se ha estudiado ampliamente y revisiones recientes (Barfield, 1998; Kellis y Katis, 2007; Lees y Nolan, 1998) han dado buena cuenta de los datos cinemáticos y cinéticos asociados a esta parte. Cabe señalar que a pesar de un amplio reconocimiento de que el tiro es de tres dimensiones (3D), de estos estudios relativamente pocos se han realizado y los datos cinemáticos en la abducción / aducción e internos / ejes adicionales son relativamente limitados. No hay datos normativos y poca información estadística importante disponible para estas variables descriptivas.

Muchos estudios han informado una reducción de la velocidad angular y / o lineal de la pierna que patea la bola inmediatamente antes del impacto (Barfield, 1995; Dörge, Andersen, Sorensen, y Simonsen, 2002; Lees, 1996, Lees y Nolan, 1998; Teixeira, 1999). Existe una sólida relación entre la velocidad de oscilación del pie y la velocidad resultante de la bola (Asami y Nolte, 1983; Barfield, 1995; Levanon y Dapena, 1998; Nunome, Ikegami, Kozakai, Apriantono y Sano, 2006a). Esto implica que para lograr un rendimiento máximo, la energía generada antes del contacto con el balón no debe ser reducida. La naturaleza del balanceo de la pierna observada por muchos en la fase final de patear ha dejado un enigma que ha sido interpretado por algunos como una estrategia de control del motor para mejorar la precisión (Teixeira, 1999). Nunome y sus colegas (2006b) informaron del uso de tecnología avanzada para el análisis de la cinemática del saque en fútbol, que incluye cámaras de alta velocidad (1000 Hz) y un nuevo procedimiento de filtrado ( tiempo-frecuencia de filtrado). Encontraron que la pierna seguía acelerando hasta el impacto de la pelota, muy diferente a lo descrito anteriormente. También tuvo éxito en la reproducción de la reducción típica de la velocidad angular de la pierna antes de impacto por abajo de muestreo de los datos (a 250 Hz) y la aplicación de un filtro convencional con bajo nivel de frecuencia (10 Hz). Estos resultados proporcionan nuevas pruebas de la instrucción práctica por encima de un punto de vista biomecánico, lo que contribuye a llenar el vacío existente entre la práctica de entrenamiento e investigación biomecánica (Lees y col., 2010).

El cambio de momentos cerca de impacto de la pelota es muy sensible a los tratamientos de datos. Hasta la fecha, el estudio de Nunome et al. (2006a) es el único que ha

abordado cuestiones como el uso de tratamientos de datos razonables, y claramente ha demostrado los cambios detallados de series de tiempo de ambos momentos conjunta y dependiente de movimiento simultáneamente. En su estudio, el momento de extensión de la rodilla disminuyó rápidamente durante la fase final del pateo y finalmente, comenzó a mostrar un momento retroceso (flexión) inmediatamente antes del impacto de bola, mientras que en el momento de movimiento dependiente aumentó rápidamente a exponer un momento de extensión de impacto de la pelota. A partir de estos cambios, Nunome et al. (2006a) especularon que a medida que la velocidad angular caña supera la limitación inherente a la fuerza-velocidad de los músculos inmediatamente antes del impacto de la pelota, el sistema muscular se vuelve incapaz de generar una fuerza concéntrica. Parece que los consejos de entrenamiento deben centrarse en los grupos musculares que no sean de la rodilla, con los músculos de la cadera y el tronco, pues son probablemente los que más aportan.

El contacto de los pies con la bola tiene una duración de menos de 10 ms (Nunome et al., 2006b), por lo que la proyección de imagen de alta velocidad ha demostrado ser muy valiosa para determinar la naturaleza exacta del impacto. Asami y Nolte (1983) utilizaron cámaras de alta velocidad (500 Hz) durante un golpeo máximo con el empeine para estudiar el impacto de la pelota con el extremo distal del pie, encontrando que causa flexión plantar forzada de la articulación del tobillo. Sus resultados revelaron que no solo se aumentó la flexión plantar del resultado en reducción de velocidad de la bola, sino que proporcionan un mecanismo explicativo de la situación médica del síndrome de pinzamiento anterior del tobillo o el tobillo del futbolista. Esto fue confirmado más tarde por Tol y sus colegas (2002), que analizaron punto de impacto y fuerza de impacto con video de alta velocidad (1000 Hz) y apoyaron la hipótesis de que el síndrome de pinzamiento anterior del tobillo estaba relacionado con los impactos de bolas recurrentes, pues producen microtraumatismos repetitivos de la región antero-medial del tobillo. Con la utilización de video de alta velocidad (2500 Hz), Ishii y Maruyama (2007) encontraron que la velocidad de la bola se maximiza cuando la zona de impacto fue cerca del centro de gravedad del pie; calcularon la fuerza de choque máxima de aproximadamente 1.200 N para una bola de la velocidad de  $16,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Shinkai y sus colegas (2008) utilizaron video de ultra alta velocidad (5000 Hz) para observar que el pie fue abducido, evertido y flexionado plantarmente de forma pasiva, durante el impacto de la pelota, y estima que la fuerza de choque máxima podría superar los 2.800 N en una gesto de velocidad máxima.

La técnica de los golpes se ha asociado con los principios subyacentes de movimiento. Los principios del movimiento son declaraciones cualitativas sobre un

movimiento que se basan en principios mecánicos o biológicos. Lees y col. (2007) identificaron cinco principios aplicables a golpes: a) el rango de movimiento, b) acortar el ciclo de estiramiento, c) la velocidad de punto final, d) la acción y reacción, y e) la secuencia de proximal a distal. Estos principios no son necesariamente excluyentes (por ejemplo, una secuencia de segmentos proximal a distal también da lugar a una alta velocidad de punto final), y no son necesariamente aplicables a un solo aspecto de la técnica (por ejemplo, el ciclo estiramiento-acortamiento es aplicable a patear la pierna con la flexión-extensión de rodilla, así como estiramiento del torso producido por la elevación y extensión horizontal y la flexión del brazo del lado de apoyo). Uno de estos principios (secuencia de proximal a distal) ha sido objeto de intensa investigación biomecánica, pero los otros han recibido poca atención en la literatura. El valor de la representación de la patada en estos términos es que anima a una comprensión mecánica de la habilidad y permite a los profesionales realizar evaluaciones cualitativas de rendimiento, mejorar su propia eficacia, sin necesidad de recurrir a los datos biomecánicos complejos y detallados. Hasta la fecha, no ha habido ningún intento de evaluar la eficacia de este enfoque en un contexto de formación y capacitación.

Un área de interés es el desarrollo de la aplicación del análisis cinemático para investigar cuestiones relacionadas con la coordinación (Davids, Lees, y Burwitz, 2000). En una serie de estudios, Chow y sus colegas (2008) investigaron tareas suaves de chips para establecer las características de los patrones de coordinación. Usaron una serie de datos cinemáticos, centrándose principalmente en los ángulos de la rodilla y velocidades angulares. Usaron parcelas ángulo de ángulo para demostrar la coordinación y la sincronización de las velocidades pico de flexión o extensión de cuantificar la coordinación. Ellos fueron capaces de mostrar la presencia de un patrón global de coordinación en pateadores calificados, pero con sutiles diferencias individuales (Chow et al., 2005), las diferencias importantes de coordinación entre los trabajadores calificados y no calificados (Chow et al., 2007), y las influencias positivas de la práctica en materia de coordinación (Chow et al., 2008). Estos estudios han demostrado que los golpes se pueden utilizar como un vehículo para investigar con éxito el desempeño cualificado.

La precisión en el pateo depende de qué tan rápido el jugador se aproxime el balón (Godik y col., 1993). Se ha encontrado que cuando los jugadores son instruidos acerca de realizar un pateo con el empeine a su propia velocidad de acercamiento, entonces los pateos que son más rápidos son los más precisos. En contraste, si al jugador se le advierte que patee el balón con la máxima potencia posible, entonces

entre mayor sea la velocidad menor es la precisión. Esto indica que hay una velocidad de aproximación óptima para lograr un pateo con precisión (Godik y col., 1993).

Cuando el jugador es advertido para que realice un pateo con precisión, hay una reducción en la velocidad del balón, así como en la velocidad angular y lineal articular, comparado con los gestos en los cuales se hacen con la mayor potencia posible (Lees y col., 1998). Esta disminución está asociada con la disminución en el rango de movimiento de la pelvis, la cadera y la rodilla (Lees y col., 1998). Datos similares han sido encontrados por Teixeira y col. (1999) quienes hallaron que los golpes hacia un objetivo definido tienen una duración mayor y una menor velocidad y desplazamiento del tobillo, comparados con los pateos a objetivos no definidos. Estos resultados sugieren que el objetivo determina las limitaciones en la precisión; su manipulación permite el control entre velocidad y control del pateo. En otras palabras, cuando se le solicita a un jugador que realice un golpeo del balón con precisión, su velocidad de acercamiento así como su velocidad angular articular son menores comparadas con las que son registradas en los golpes con máxima efectividad.

Otra observación interesante está relacionada con el punto de contacto entre el balón y el pie. Se ha sugerido que entre las causas de la imprecisión está el error en la aplicación de fuerza por parte del pie (Asai y col., 2002; Carre y col., 2002; Wessom, 2002). Una de ellas puede ser el error en la dirección de la fuerza aplicada y la segunda, en la magnitud de la fuerza. Si el balón es golpeado en el centro, éste debería seguir una trayectoria recta y ganar la máxima velocidad posible con una velocidad angular mínima (Asai y col., 2002; Carre y col., 2002). El balón tendrá una mayor velocidad que la velocidad del pie, dependiendo del coeficiente de restitución (Wessom, 2002).

En contraste, cuando la fuerza es aplicada en un determinado ángulo para una dirección deseada, entonces la velocidad de desplazamiento del balón será menor, su rotación mayor, con una trayectoria más larga y curva, con un posible cambio final en la dirección de balón (Asai y col., 2002; Carre y col., 2002; Wessom, 2002). Cada una de las anteriores opciones puede generar pateos precisos. Esto depende de la posición relativa del balón con respecto al objetivo y de las condiciones externas (oponentes, resistencia del aire). En el fútbol actual se puede observar que los pateos que requieren distancias largas (tiros libres, por ejemplo), se caracterizan por trayectorias largas, curvas y con rotación del balón. En contraste, los pateos de penalty son más rápidos pues el pateador debe sorprender al guardameta. Esto sugiere que el punto de contacto entre el pie y el balón de los requerimientos del gesto (Kellis y col., 2007).

Si se examinan los trabajos previamente citados, se puede concluir que no se ha prestado atención a la posible relación que existe entre la precisión y los diferentes factores biomecánicos del movimiento. El presente trabajo tuvo por objetivo correlacionar el grado de precisión de un pateo a 20 metros de distancia de un objetivo colocado a 2,42m de altura, con los siguientes factores de: a) miembro inferior de apoyo, b) el tronco, c) el centro de gravedad estático, d) dinámico, e) miembro ejecutor estático, y f) miembro ejecutor dinámico.

## Materiales y métodos

Diseño: el presente trabajo fue un trabajo descriptivo, pues determinó los valores de tendencia central y de dispersión de las diferentes variables; de carácter correlativo, pues relacionó el grado de precisión obtenido en un pateo con el empeine y los factores biomecánicos analizados.

Población y muestra: se tomó como población los jugadores juveniles de fútbol con un nivel medio y alto de entrenamiento en este deporte. La muestra la constituyeron 36 jugadores del club La Nororiental, los cuales efectuaron 136 pateos.

## VARIABLES INDEPENDIENTES:

- A. Relacionadas con el miembro inferior de apoyo
  1. Ángulo de la carrera de aproximación
  2. Longitud del último paso
  3. Distancia horizontal entre el eje longitudinal del pie al centro del balón
  4. Distancia antero-posterior entre el eje longitudinal del pie al centro del balón
  5. Ángulo del eje longitudinal del pie con la relación a la dirección del pateo
  6. Ángulo de la rodilla
- B. Relacionadas con el tronco
  7. Ángulo en el plano vertical del tronco
  8. Ángulo en el plano transversal del tronco
  9. Velocidad angular del tronco en el plano vertical
- C. Relacionadas con el centro de gravedad estático
  10. Distancia en el eje X entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo
  11. Distancia en el eje Y entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo

12. Distancia en el eje Z entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo
  13. Distancia resultante entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo
  14. Ángulo en el plano vertical entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo
  15. Ángulo en el plano horizontal entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo
- D. Relacionadas con el centro de gravedad dinámico
16. Velocidad en el eje X
  17. Velocidad en el eje Y
  18. Velocidad en el eje Z
  19. Velocidad resultante
- E. Relacionadas con el miembro inferior ejecutante estático
20. Distancia en el eje X entre la cadera y la punta del pie
  21. Distancia en el eje Y entre la cadera y la punta del pie
  23. Distancia en el eje Z entre la cadera y la punta del pie
  24. Distancia resultante entre la cadera y la punta del pie
  25. Ángulo del muslo
  26. Ángulo de la rodilla
  27. Ángulo horizontal del pie en el momento del impacto
- F. Relacionadas con el miembro inferior ejecutante dinámico
28. Velocidad angular (rad/s) del muslo
  29. Velocidad angular (rad/s) de la rodilla
  30. Velocidad en el eje X de la punta del pie
  31. Velocidad en el eje Y de la punta del pie
  32. Velocidad en el eje Z de la punta del pie
  33. Velocidad resultante de la punta del pie
  34. Velocidad resultante en el plano sagital
  35. Ángulo de la velocidad resultante en el plano sagital
  36. Producto de  $E12 * E13 / 1000$
- G. Variables dependientes:
1. Grado de precisión en la escala horizontal ( 7 grados)

2. Grado de precisión en la escala vertical (7 grados)
3. Grado de precisión en la escala mixta (49 grados)

Procedimiento: para la medición de las variables biomecánicas se contó con dos cámaras Sony HDR–XR150, de 30 Hz de velocidad, colocadas a 12m del balón; sus ejes ópticos estuvieron a 90 grados, de manera que una de ellas tomó la vista sagital y la otra, el plano posterior. Como marco de referencia se tomó un cubo de 3.0 m de largo por 1.50 m de alto. Para el procesamiento de los videos se utilizó el programa Silicon Coach®, el cual convierte los videos a 60 Hz; mediante su sistema de digitalización se programaron 21 puntos anatómicos que fueron los puntos articulares de referencia. Para el cálculo del centro de gravedad se utilizó el protocolo de DeLeva (1989). Los datos fueron procesados en una hoja de cálculo de Excell. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS V15.0.

Para la obtención del grado de precisión se utilizó una diana conformada por cuatro círculos concéntricos, donde el diámetro del círculo central de máxima precisión fue de 25cm; los siguientes tuvieron 55cm, 85cm y 105cm, respectivamente (gráfico 1). Esta diana se colocó a 20m de distancia del balón; el círculo central de la diana se hizo coincidir con el ángulo del extremo superior derecho de la portería, es decir, a 2,43m. Cada sujeto realizó diez intentos para lograr el mayor puntaje. Cada intento fue filmado y con ayuda del programa Silicon Coach se determinó exactamente dónde el balón golpeó la diana. Se tomaron tres referencias para la puntuación: a) la escala horizontal de 7 grados, iniciando en la izquierda y terminando en la derecha, b) la escala vertical de 7 grados iniciando en la parte inferior hacia la superior, y c) la escala mixta, en la cual se coloca primero el valor de la escala horizontal y luego la vertical. Así, el balón mostrado en la parte izquierda del gráfico 1 obtiene 4 en la escala horizontal, 4 en la escala vertical y 44 en la escala mixta. El balón de la derecha, 3 en la escala horizontal 5 en la vertical y 35 en la mixta.

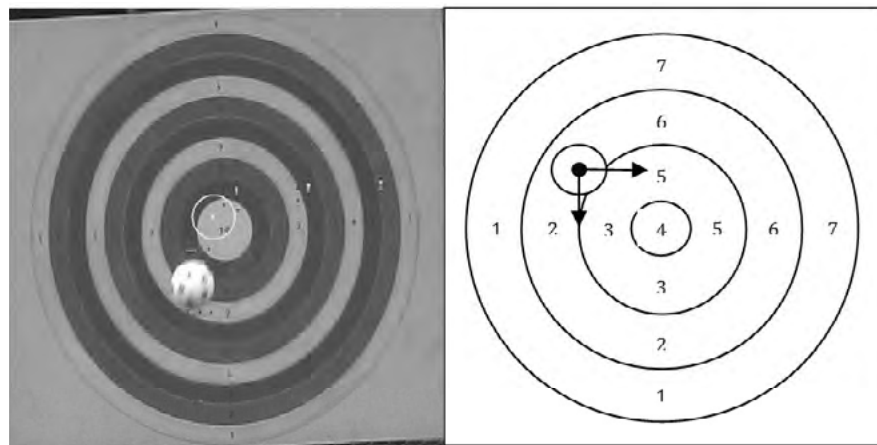


Gráfico 1. Diana de precisión. En la parte izquierda, un ejemplo de la diana real utilizada; en la parte derecha, la manera como se evaluó cada intento.

Gº precisión	n	%	Gº precisión	n	%
11	2	1,5	43	5	3,7
12	2	1,5	44	6	4,4
13	2	1,5	45	6	4,4
14	4	2,9	46	8	5,9
15	1	0,7	47	3	2,2
16	3	2,2	51	1	0,7
22	5	3,7	52	3	2,2
23	4	2,9	53	8	5,9
24	3	2,2	54	8	5,9
25	1	0,7	56	1	0,7
26	3	2,2	61	2	1,5
27	1	0,7	62	3	2,2
31	2	1,5	63	4	2,9
32	6	4,4	64	4	2,9
33	3	2,2	65	4	2,9
34	3	2,2	67	1	0,7
35	11	8,1	74	1	0,7
36	2	1,5	75	3	2,2
41	1	0,7	76	1	0,7
42	4	2,9	77	1	0,7

## Resultados

En el cuadro 1 se resumen los datos relacionados con el número de casos evaluados (136) y su distribución con la precisión de acuerdo a la escala horizontal (izquierda-derecha) y con la escala vertical (arriba-abajo); en el cuadro 2 se presentan los de la escala mixta.

Cuadro 1. Frecuencias y porcentajes de los grados de precisión obtenidos por los sujetos estudiados, tanto en la escala horizontal como en la vertical.

Gº precisión	Escala horizontal		Escala vertical	
	n	%	n	%
1	14	10,3	8	5,9
2	17	12,5	23	16,9
3	27	19,9	26	19,1
4	33	24,3	29	21,3
5	21	15,4	26	19,1
6	18	13,2	18	13,2
7	6	4,4	6	4,4
Total	136	100	136	100

Cuadro 2. Frecuencias y porcentajes de los grados de precisión obtenidos por los sujetos estudiados en la escala mixta.

Al analizar el grado de precisión obtenido por los sujetos en la escala horizontal se puede establecer que la mayor frecuencia estuvo en el grado 4 de máxima precisión (cuadro 1); algo similar ocurrió en la escala vertical. De acuerdo a estos datos se podría pensar que al relacionar estos valores entre sí, se encontraría una buena relación, pero el valor fue de 0.02 con un significancia de 0.75, valores que permiten afirmar que no existió correlación entre estas dos escalas. Del análisis de los valores de la escala mixta, se evidencia que los valores que obtuvieron la máxima calificación (44) tan solo fue el 4.4%; la máxima frecuencia se encontró en el grado 35 (8.0%) seguido de 46 (5.9%); las demás categorías mostraron una distribución normal (Prueba Kolmogorov-Smirnov con  $z = 0.838$ ,  $p = 0.484$ ) (gráfico 2).

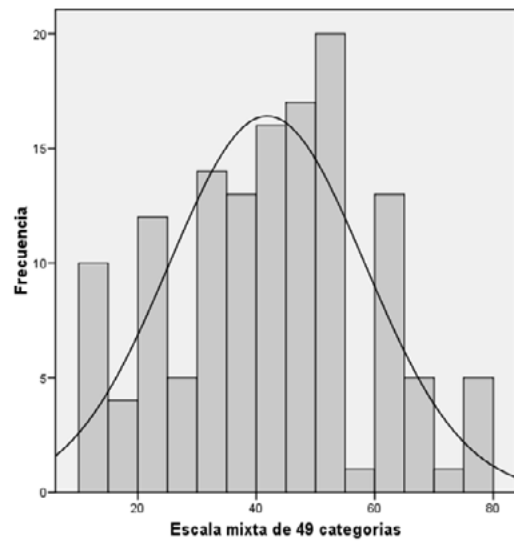


Gráfico 2. Distribución de los valores de la escala mixta.

En el cuadro 3 se presentan los estadísticos de tendencia central y de dispersión para los 32 factores biomecánicos analizados, de los seis sujetos que obtuvieron la máxima precisión (EM=44). Se puede apreciar que aunque la muestra es pequeña, en algunos factores la variabilidad es muy grande (CV>40%).

Cuadro 3. Estadísticos de tendencia central y de dispersión para los factores biomecánicos, encontrados en los sujetos que obtuvieron la máxima precisión.(CV= coeficiente de variación).

Categoría	Factores biomecánicos	Sujetos que obtuvieron máxima precisión					
		N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tip.	CV
Miembro inferior de apoyo	A1 Dirección de la carrera de aproximación	6	22,19	28,95	24,82	2,72	11
	A2 Longitud del último paso	6	1,44	1,84	1,64	0,16	10
	A3 Distancia horizontal del balón al pie de apoyo	6	0,07	0,21	0,17	0,05	31
	A4 Distancia vertical del balón a la punta del pie de apoyo	6	-0,04	0,10	0,03	0,05	163
	A5 Angulo del pie de apoyo	6	7,09	19,31	10,89	4,37	40
	A6 Angulo de la rodilla del pie de apoyo	6	127,00	147,00	135,83	7,05	5
Tronco	B7 Angulo vertical del tronco	6	96,00	163,00	138,33	30,66	22
	B8 Angulo horizontal del tronco	6	157,00	184,00	171,17	9,33	5
	B9 Velocidad angular en plano vertical (rad/s) del tronco	6	-1,50	3,00	0,45	1,64	365
Centro de gravedad estático	C10 Distancia en el eje X:Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	6	-0,54	-0,34	-0,43	0,07	-17
	C11 Distancia en el eje Y:Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	6	-0,05	0,22	0,06	0,09	148
	C12 Distancia en el eje Z:Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	6	0,72	0,84	0,77	0,04	5
	C13 Distancia resultante:Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	6	0,86	0,93	0,89	0,03	3
	C14 Angulo vertical entre el Centro de Gravedad y punta de pie de apoyo	6	152,00	163,00	159,00	3,85	2
Centro de gravedad dinámico	C15 Angulo horizontal entre el Centro de Gravedad y punta de pie de apoyo	6	158,00	186,00	172,50	9,48	5
	D16 Velocidad en eje X del centro de gravedad	6	0,40	0,86	0,61	0,23	38
	D17 Velocidad en eje Y del centro de gravedad	6	-2,34	-1,35	-1,75	0,44	-25
	D18 Velocidad en eje Z del centro de gravedad	6	-0,24	0,86	0,20	0,42	212
Miembro inferior ejecutante estático	D19 Velocidad resultante del centro de gravedad	6	1,42	2,47	1,91	0,46	24
	E20 Distancia en eje X: Cadera - balón	6	0,05	0,18	0,11	0,05	50
	E21 Distancia en eje Y: Cadera - balón	6	0,50	0,58	0,54	0,04	7
	E22 Distancia en eje Z: Cadera - balón	6	-0,67	-0,57	-0,62	0,04	-6
	E23 Distancia resultante: Cadera - balón	6	0,80	0,86	0,83	0,02	3
Miembro inferior dinámico	E24 Angulo del muslo del miembro inferior ejecutante	6	-37,79	-23,64	-33,82	5,42	-16
	E25 Angulo de la rodilla del miembro inferior ejecutante	6	98,39	149,00	128,07	19,56	15
	E26 Angulo horizontal del pie del miembro inferior ejecutante	6	68,00	96,00	78,00	9,53	12
	F27 Velocidad angular del muslo del miembro inferior ejecutante	6	-3,09	28,00	15,68	14,77	94
	F28 Velocidad angular de rodilla del miembro inferior ejecutante	6	1,00	34,44	12,74	14,54	114
	F29 Velocidad en el eje X de punta del pie del miembro inferior ejecutante	6	-17,00	-6,25	-12,43	3,46	-28
	F30 Velocidad en el eje Y de punta del pie del miembro inferior ejecutante	6	5,37	14,67	11,59	3,48	30
Miembro inferior dinámico	F31 Velocidad en el eje Z de punta del pie del miembro inferior ejecutante	6	4,30	7,34	6,18	1,27	21
	F29 Velocidad resultante de punta del pie del miembro inferior ejecutante	6	12,58	20,65	18,47	2,94	16
	F33 Velocidad resultante en el plano sagital	6	9,10	15,96	13,34	2,70	20
	F34 Angulo de la velocidad resultante	6	17,62	53,79	29,77	12,51	42
	F35 Producto de F33 * F34 /1000	6	0,25	0,49	0,38	0,09	24

En el cuadro 4 se presentan los estadísticos de tendencia central y de dispersión para los 32 factores biomecánicos analizados, de todos los sujetos estudiados. Se puede apreciar que aunque la muestra es grande, en algunos factores la variabilidad es muy pequeña (CV<10%).

Cuadro 4. Estadísticos de tendencia central y de dispersión para los factores biomecánicos, encontrados en los sujetos estudiados.(CV= coeficiente de variación).

Categoría	Factores biomecánicos	Todos los sujetos					
		N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tip.	CV
Miembro inferior de apoyo	A1 Dirección de la carrera de aproximación	136	2,32	51,51	31,48	9,37	30
	A2 Longitud del último paso	136	1,34	2,22	1,65	0,16	10
	A3 Distancia horizontal del balón al pie de apoyo	136	-0,04	0,31	0,15	0,07	42
	A4 Distancia vertical del balón a la punta del pie de apoyo	136	-0,10	0,23	0,02	0,07	287
	A5 Angulo del pie de apoyo	136	-12,39	54,00	17,70	11,08	63
	A6 Angulo de la rodilla del pie de apoyo	136	113,00	164,00	136,29	9,38	7
Tronco	B7 Angulo vertical del tronco	136	77,00	164,00	133,06	29,40	22
	B8 Angulo horizontal del tronco	136	33,00	341,00	172,49	44,14	26
	B9 Velocidad angular en plano vertical (rad/s) del tronco	136	-26,10	7,70	-0,35	3,77	-1084
Centro de gravedad estático	C10 Distancia en el eje X:Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	136	-0,59	-0,30	-0,45	0,06	-13
	C11 Distancia en el eje Y:Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	136	-0,59	0,40	0,03	0,11	330
	C12 Distancia en el eje Z:Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	136	0,72	0,93	0,81	0,05	6
	C13 Distancia resultante:Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	136	0,84	1,13	0,94	0,05	5
	C14 Angulo vertical entre el Centro de Gravedad y punta de pie de apoyo	136	150,00	165,00	158,49	3,00	2
	C15 Angulo horizontal entre el Centro de Gravedad y punta de pie de apoyo	136	127,00	233,00	175,90	13,64	8
Centro de gravedad dinámico	D16 Velocidad en eje X del centro de gravedad	136	-2,50	3,21	0,58	0,66	113
	D17 Velocidad en eje Y del centro de gravedad	136	-5,56	-0,39	-1,90	0,72	-38
	D18 Velocidad en eje Z del centro de gravedad	136	-1,15	2,07	0,16	0,54	345
	D19 Velocidad resultante del centro de gravedad	136	0,98	15,09	2,31	1,47	63
Miembro inferior ejecutante estático	E20 Distancia en eje X: Cadera - balón	136	-0,19	0,24	0,08	0,07	83
	E21 Distancia en eje Y: Cadera - balón	136	0,38	0,74	0,56	0,06	11
	E22 Distancia en eje Z: Cadera - balón	136	-0,81	-0,51	-0,64	0,06	-9
	E23 Distancia resultante: Cadera - balón	136	0,74	1,08	0,86	0,06	7
	E24 Angulo del muslo del miembro inferior ejecutante	136	-52,19	-20,92	-34,09	5,88	-17
	E25 Angulo de la rodilla del miembro inferior ejecutante	136	76,54	154,25	130,57	15,22	12
Miembro inferior dinámico	E26 Angulo horizontal del pie del miembro inferior ejecutante	136	1,00	117,00	71,63	14,41	20
	F27 Velocidad angular del muslo del miembro inferior ejecutante	136	-12,54	64,60	15,27	12,96	85
	F28 Velocidad angular de rodilla del miembro inferior ejecutante	136	-4,80	42,18	11,93	12,14	102
	F29 Velocidad en el eje X de punta del pie del miembro inferior ejecutante	136	-30,63	-4,62	-11,88	3,36	-28
	F30 Velocidad en el eje Y de punta del pie del miembro inferior ejecutante	136	0,82	18,74	12,90	2,70	21
	F31 Velocidad en el eje Z de punta del pie del miembro inferior ejecutante	136	-11,51	6,58	0,69	3,43	498
	F29 Velocidad resultante de punta del pie del miembro inferior ejecutante	136	12,58	36,56	19,31	2,68	14
	F33 Velocidad resultante en el plano sagital	136	7,23	21,36	14,67	2,51	17
	F34 Angulo de la velocidad resultante	136	2,66	85,29	26,43	12,03	45
	F35 Producto de F33 * F34 /1000	136	0,03	0,98	0,39	0,18	47

En el cuadro 5 se presentan los coeficientes de correlación de los factores relacionados con el miembro inferior de apoyo con las escalas horizontal, vertical y mixta. La distancia antero-posterior desde el balón a la punta del pie se correlacionó significativamente ( $p < 0.05$ ) con la escala horizontal y con la escala mixta ( $p < 0.05$ ). Es decir, entre más adelantado del balón colocan los sujetos el pie de apoyo, más se desvía el tiro hacia la derecha y en cuanto más lo retrasan, más desvían el balón hacia la izquierda. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de 0cm, EH=4 fue de 3.4cm y EH=7 fue de 4.3cm. La misma variable se correlacionó también significativamente con la escala mixta ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 5. Coeficientes Rho de Spearman para la correlación entre los factores del miembro inferior de apoyo y la escala horizontal (EH), vertical (EV) y la mixta (EM). (r = coeficiente de correlación; p = nivel de significancia bilateral).

Variables	Corr	EH	EV	EM
A1 Dirección de la carrera de aproximación	r	0,012	0,134	0,039
	p	0,894	0,120	0,650
A2 Longitud del último paso	r	-0,027	0,059	-0,006
	p	0,751	0,494	0,948
A3 Distancia horizontal del balón al pie de apoyo	r	0,156	0,023	0,144
	p	0,070	0,786	0,094
A4 Distancia antero-posterior del balón a la punta del pie de apoyo	r	0,177	0,071	0,179
	p	<b>0,040</b>	0,413	<b>0,037</b>
A5 Angulo del pie de apoyo	r	-0,120	0,070	-0,103
	p	0,163	0,416	0,230
A6 Angulo de la rodilla del pie de apoyo	r	-0,016	0,070	0,005
	p	0,852	0,418	0,955

En el cuadro 6 se presentan los coeficientes de correlación de los factores relacionados con el tronco con las escalas horizontal, vertical y mixta. El ángulo en el plano transversal (ángulo horizontal) se correlacionó significativamente ( $p < 0.05$ ) con la escala horizontal y con la escala mixta ( $p < 0.05$ ). Es decir, cuanto más inclinado hacia el lado izquierdo ( $0^\circ$ - $180^\circ$ ) el sujeto coloque el tronco, más desviado hacia la izquierda hará impacto el balón sobre la diana; cuanto más coloque el tronco desviado hacia la derecha ( $180^\circ$ - $360^\circ$ ), el grado de precisión se desviará hacia la derecha. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de  $157^\circ$ , EH=4 fue de  $177^\circ$  y EH=6 fue de  $183^\circ$ .

Cuadro 6. Coeficientes Rho de Spearman para la correlación entre los factores del tronco y la escala horizontal (EH), vertical (EV) y la mixta (EM). (r = coeficiente de correlación; p: nivel de significancia bilateral).

Variables	Corr	EH	EV	EM
B7 Angulo vertical del tronco	r	0,019	-0,158	-0,017
	p	0,828	0,067	0,844
B8 Angulo horizontal del tronco	r	0,171	-0,018	0,166
	p	<b>0,046</b>	0,834	<b>0,054</b>
B9 Velocidad angular (rad/s) del tronco	r	-0,005	-0,010	-0,009
	p	0,954	0,908	0,914

De acuerdo a los valores del cuadro 7, de los seis factores asociados al centro de gravedad, tan solo la distancia en el eje Y (C11) y el ángulo horizontal (C15) se relacionaron con las escalas horizontal y mixta. Con respecto a la distancia en el eje Y, la relación fue negativa, de modo que se puede afirmar que a mayor distancia en el eje Y (más adelante), el grado de precisión se desvía hacia la derecha, y cuanto más atrás coloque su centro de gravedad, más se desviará hacia la izquierda. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de 4.5cm, EH=4 fue de 15.3cm y EH=6 fue de -1.0cm. Por otra parte, el ángulo horizontal presentó una relación directa. En este caso, cuanto más incline el cuerpo hacia el lado izquierdo, el grado de precisión



tenderá hacia la izquierda (valores = 1) y viceversa. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de 174o, EH=4 fue de 174o y EH=7 fue de 180o.

Cuadro 7. Coeficientes Rho de Spearman para la correlación entre los factores del centro de gravedad estático y la escala horizontal (EH), vertical (EV) y la mixta (EM). (r = coeficiente de correlación; p = nivel de significancia bilateral).

Variables	Corr	EH	EV	EM
C10 Distancia en el eje X: Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	r	0,009	-0,041	-0,009
	p	0,919	0,632	0,918
C11 Distancia en el eje Y: Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	r	-0,165	-0,009	-0,165
	p	0,055	0,922	0,054
C12 Distancia en el eje Z: Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	r	-0,033	0,021	-0,020
	p	0,705	0,806	0,818
C13 Distancia resultante: Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	r	-0,042	0,022	-0,024
	p	0,624	0,798	0,781
C14 Angulo vertical entre el Centro de Gravedad y punta de pie de apoyo	r	-0,117	0,046	-0,107
	p	0,175	0,596	0,215
C15 Angulo horizontal entre el Centro de Gravedad y punta de pie de apoyo	r	0,177	0,017	0,180
	p	0,039	0,846	0,036

Al analizar los factores asociados al centro de gravedad dinámico (en movimiento) (cuadro 8), se encontró que la velocidad en el eje X, se relacionó significativamente con la escala horizontal y con la escala mixta; es decir, si el sujeto mueve su centro de gravedad a menor velocidad, se obtendrá una puntuación menor (hacia la izquierda) y en cuanto mayor sea la velocidad, la puntuación será mayor. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de 0.58m/s, EH=4 fue de 0.58m/s y EH=7 fue de 0.87m/s. La velocidad en el eje Y presentó una relación inversa con la escala horizontal y directa con la vertical. Es decir, a menor velocidad en este eje, la precisión se desviará hacia la derecha y hacia abajo; y viceversa, a mayor velocidad, se desviará hacia la derecha y arriba. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de -1.57m/s, EH=4 fue de -1.80m/s y EH=7 fue de -2.07m/s. La media de los que obtuvieron un valor de EV=1 fue de -2.46 m/s, EV=4 fue de -1.78m/s y EV=7 fue de -1.69m/s. Finalmente, la velocidad resultante se correlacionó con todas las escalas, aunque la correlación con la escala vertical fue inversa. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de -1.79m/s, EH=4 fue de 2.01/s y EH=7 fue de 2.38m/s.

Cuadro 8. Coeficientes Rho de Spearman para la correlación entre los factores del centro de gravedad dinámico y la escala horizontal (EH), vertical (EV) y la mixta (EM). (r = coeficiente de correlación; p: nivel de significancia bilateral).

Variables	Corr	EH	EV	EM
D16 Velocidad en eje X del centro de gravedad	r	0,158	0,019	0,155
	p	0,066	0,831	0,071
D17 Velocidad en eje Y del centro de gravedad	r	-0,159	0,230	-0,121
	p	0,065	0,007	0,162
D18 Velocidad en eje Z del centro de gravedad	r	-0,062	0,062	-0,051
	p	0,476	0,470	0,559
D19 Velocidad resultante del centro de gravedad	r	0,192	-0,224	0,154
	p	0,025	0,009	0,073

En el cuadro 9 se presentan los valores del estadístico Rho de Spearman producto de la relación entre los factores biomecánicos asociados al miembro inferior ejecutante (estático) con las escalas horizontal, vertical y mixta. Aunque se resaltan las relaciones entre la distancia en el eje X, en el eje Y y el ángulo de la rodilla con las escalas horizontal, mixta y horizontal respectivamente, éstas no fueron significativas a nivel de 0.05.

Cuadro 9. Coeficientes Rho de Spearman para la correlación entre los factores del miembro inferior ejecutante estático y la escala horizontal (EH), vertical (EV) y la mixta (EM). (r = coeficiente de correlación; p = nivel de significancia bilateral).

Variables	Corr	EH	EV	EM
E20 Distancia en eje X: Cadera - balón	r	0,145	0,116	0,161
	p	0,092	0,179	0,061
E21 Distancia en eje Y: Cadera - balón	r	-0,133	-0,105	-0,142
	p	0,123	0,222	0,099
E22 Distancia en eje Z: Cadera - balón	r	0,055	-0,093	0,034
	p	0,522	0,283	0,693
E23 Distancia resultante: Cadera - balón	r	-0,115	0,018	-0,102
	p	0,183	0,838	0,238
E24 Angulo del muslo del miembro inferior ejecutante	r	-0,021	0,018	-0,020
	p	0,806	0,837	0,819
E25 Angulo de la rodilla del miembro inferior ejecutante	r	-0,145	0,131	-0,120
	p	0,093	0,129	0,165
E26 Angulo horizontal del pie del miembro inferior ejecutante	r	0,113	-0,060	0,102
	p	0,189	0,491	0,237

En el cuadro 10 se presentan los valores del coeficiente de correlación entre el miembro inferior ejecutor (dinámico) y las escalas de precisión. Llama la atención la relación inversa altamente significativa (<.01) entre la velocidad en el eje X de la punta del pie con la escala horizontal y la escala mixta. En este caso, al incrementar la velocidad del pie hacia el lado izquierdo, la precisión se desvía hacia la derecha y arriba; en el caso contrario, si la velocidad se disminuye, el balón irá hacia la izquierda y abajo. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de -10.39m/s, EH=4 fue de -11.18 m/s y EH=7 fue de -12.73m/s. La velocidad en el eje Y se acercó a la significancia, indicando una tendencia que por demás se esperaba que la presentara, pues esta velocidad determina junto a la velocidad vertical la altura que alcance el balón, es

decir, se debería correlacionar con la escala vertical. La media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de 13.37m/s, EH=4 fue de 12.80m/s y EH=7 fue de 12.21m/s. La velocidad en el eje Z se correlacionó de manera inversa, y significativamente con las escalas horizontal y mixta. Al igual que se mencionó con la velocidad en el eje Y, esta velocidad se esperaba que se correlacionara significativamente y de manera directa con la escala vertical, pero su valor estuvo cerca de la significancia; sí lo hizo con las escalas horizontal y mixta. Es decir, esta variable es determinante en el grado de precisión. En la escala horizontal, la media de los que obtuvieron un valor de EH=1 fue de 7.38m/s, EH=4 fue de 5.73m/s y EH=7 fue de 5.46m/s. En la escala vertical, la media de los que obtuvieron un valor de EV=1 fue de 8.32m/s, EV=4 fue de 6.10m/s y EV=7 fue de 5.84m/s. En la escala mixta la media de los que obtuvieron un valor de EM=1 fue de 7.38m/s, EM=4 fue de 5.73m/s y EM=7 fue de 5.46m/s.

Dado que la velocidad resultante en el plano sagital y el ángulo de dicha velocidad son teóricamente determinantes en la trayectoria que siga el balón, se estableció la variable denominada “Producto de F33\*F34 /1000” la cual se correlacionó significativamente pero de manera inversa con la escala horizontal y la mixta, siendo positiva a nivel de 0.1 con la escala vertical.

Cuadro 10. Coeficientes Rho de Spearman para la correlación entre los factores del miembro inferior ejecutante y la escala horizontal (EH), vertical (EV) y la mixta (EM). (r = coeficiente de correlación; p: nivel de significancia bilateral).

Variables	Corr	EH	EV	EM
F27 Velocidad angular del muslo del miembro inferior ejecutante	r	0,055	-0,089	0,030
	p	0,525	0,302	0,728
F28 Velocidad angular de rodilla del miembro inferior ejecutante	r	-0,021	0,120	0,011
	p	0,809	0,163	0,898
F29 Velocidad en el eje X de punta del pie del miembro inferior ejecutante	r	-0,225	0,062	-0,219
	p	<b>0,009</b>	0,476	<b>0,010</b>
F30 Velocidad en el eje Y de punta del pie del miembro inferior ejecutante	r	-0,055	0,160	-0,023
	p	0,528	<b>0,063</b>	0,791
F31 Velocidad en el eje Z de punta del pie del miembro inferior ejecutante	r	-0,194	0,150	-0,169
	p	<b>0,023</b>	<b>0,082</b>	<b>0,049</b>
F32 Velocidad resultante de punta del pie del miembro inferior ejecutante	r	0,087	-0,020	0,097
	p	0,314	0,815	0,260
F33 Velocidad resultante en el plano sagital	r	-0,154	0,008	-0,151
	p	<b>0,074</b>	0,926	<b>0,079</b>
F34 Angulo de la velocidad resultante en el plano sagital	r	-0,090	-0,135	-0,102
	p	0,297	0,117	0,237
F35 Producto de F33 * F34 /1000	r	-0,181	-0,148	-0,194
	p	<b>0,035</b>	<b>0,085</b>	<b>0,024</b>

Finalmente, se hicieron las correlaciones entre las tres escalas y se encontró una fuerte correlación ( $p < 0.001$ ) entre la escala horizontal y mixta; igualmente se encontró una relación fuerte entre la vertical y la mixta. No se encontró relación entre las escalas horizontal y vertical.

Cuadro 11. Coeficientes Tau de Kendal para la correlación entre las escalas: horizontal (EH), vertical (EV) y la mixta (EM). (r = coeficiente de correlación; p: nivel de significancia bilateral).

Variables	Corr	EH	EV	EM
Escala horizontal de 7 categorías	r		0,022	0,930
	p		0,744	<b>0,000</b>
Escala vertical de 7 categorías	r	0,022		0,167
	p	0,744		<b>0,008</b>
Escala mixta de 49 categorías	r	0,930	0,167	
	p	<b>0,000</b>	<b>0,008</b>	

## Discusión

En el cuadro 12 se presentan los factores biomecánicos que presentaron correlaciones con las diferentes escalas. Si se analiza los factores determinantes con la escala horizontal y si se toma de mayor significancia a la menor, la velocidad en el eje X de la punta del pie del miembro inferior ejecutante fue la de mayor importancia, seguida por la velocidad en el eje Z del mismo miembro, la velocidad en el eje X del centro de gravedad, el “Producto de F33\*F34 /1000”, el ángulo horizontal del centro de gravedad y la punta del pie de apoyo, la distancia antero-posterior entre la punta del pie y el balón, el ángulo horizontal del tronco, la distancia en el eje Y del centro de gravedad y la punta del pie de apoyo. La escala mixta presentó un comportamiento similar a esta escala horizontal.

Con respecto a la escala vertical y teniendo en cuenta la consideración de mayor a menor significancia, la velocidad resultante del centro de gravedad fue la mayor, seguida de la velocidad en el eje Y y Z de la punta del pie ejecutor y “Producto de F33\*F34 /1000”.

Cuadro 12. Factores biomecánicos que se correlacionaron significativamente con las diferentes escalas (EH= escala horizontal, EV=vertical y EM: escala mixta).

Variables	Corr	EH	EV	EM
A4 Distancia antero-posterior del balón a la punta del pie de apoyo	r	0,177		0,179
	p	<b>0,040</b>		<b>0,037</b>
B8 Angulo horizontal del tronco	r	0,171		0,166
	p	<b>0,046</b>		<b>0,054</b>
C11 Distancia en el eje Y: Centro de Gravedad y la punta del pie de apoyo	r	-0,165		-0,165
	p	<b>0,055</b>		<b>0,054</b>
C15 Angulo horizontal entre el Centro de Gravedad y punta de pie de apoyo	r	0,177		0,180
	p	<b>0,039</b>		<b>0,036</b>
D19 Velocidad resultante del centro de gravedad	r	0,192	-0,224	0,154
	p	<b>0,025</b>	<b>0,009</b>	<b>0,073</b>
E21 Distancia en eje Y: Cadera - balón	r			-0,142
	p			<b>0,099</b>
F29 Velocidad en el eje X de punta del pie del miembro inferior ejecutante	r	-0,225		-0,219
	p	<b>0,009</b>		<b>0,010</b>
F30 Velocidad en el eje Y de punta del pie del miembro inferior ejecutante	r		0,160	
	p		<b>0,063</b>	
F31 Velocidad en el eje Z de punta del pie del miembro inferior ejecutante	r	-0,194	0,150	-0,169
	p	<b>0,023</b>	<b>0,082</b>	<b>0,049</b>
F33 Velocidad resultante en el plano sagital	r	-0,154		-0,151
	p	<b>0,074</b>		<b>0,079</b>
F35 Producto de F33 * F34 /1000	r	-0,181	-0,148	-0,194
	p	<b>0,035</b>	<b>0,085</b>	<b>0,024</b>

Dado que el pateo del balón con el empeine es un evento que implica un choque entre dos cuerpos (los cuales se pueden considerar semielásticos), se esperaba que la velocidad con que se moviese el pie en el momento del impacto fuera uno de los más importantes, como de hecho resultó en esta investigación. Es decir, la dirección que siga el balón luego del contacto con el pie está determinada por la velocidad del pie. Como se puede apreciar en el cuadro 12, la velocidad de la punta del pie en los tres ejes se correlacionó significativamente con las tres escalas. Para lograr precisión con el golpeo del balón no solo cuenta el miembro ejecutor sino que al parecer se debe mover todo el cuerpo de una manera precisa, como lo indican los grados de correlación de las velocidades del centro de gravedad en los tres ejes.

Aunque la mayor variable es el movimiento del pie ejecutor, para que este pie realice su acción debe estar apoyado. En este caso, de acuerdo a los resultados de esta investigación, fueron determinantes la distancia antero-posterior entre la punta del pie de apoyo y el balón, el ángulo horizontal del tronco, la distancia entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo, el ángulo horizontal entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo, y la distancia en el eje Y entre la cadera y el balón.

## Conclusiones

- De los factores relacionados con el miembro inferior de apoyo se encontró que tan solo la distancia antero-posterior entre la punta del pie y el balón se correlacionó significativamente con la escala horizontal y la mixta.
- De los factores relacionados con el tronco, tan solo el ángulo horizontal se correlacionó significativamente con la escala horizontal y la mixta.
- De los factores relacionados con el centro de gravedad estático, tanto la distancia en el eje Y entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo, como el ángulo horizontal entre el centro de gravedad y la punta del pie de apoyo se correlacionaron significativamente con las escalas horizontal y mixta.
- De los factores relacionados con el centro de gravedad en movimiento, la velocidad en el eje X, en el eje Y y la velocidad resultante se correlacionaron significativamente con la escala horizontal y la escala mixta. La velocidad en el eje Y y la velocidad resultante se relacionaron significativamente con la escala vertical. La velocidad en el eje X y la velocidad resultante se relacionaron significativamente con la escala mixta.
- De los factores biomecánicos relacionados con el miembro inferior ejecutante estático, ninguno se relacionó de manera significativa con las escalas analizadas.
- De los factores biomecánicos analizados relacionados con el miembro inferior dinámico, se relacionaron significativamente con la escala horizontal y la mixta, la velocidad en el eje X, la velocidad en el eje Z, la velocidad resultante en el plano sagital y el producto entre la velocidad del plano sagital y el ángulo en dicho plano. Con la escala vertical, se relacionaron (a nivel de  $p < 0.1$ ) la velocidad en el eje Y, en el Z, y el producto de la velocidad del plano sagital y el ángulo de dicho plano.

## Referencias

- Asai, T., Carré, M. J., Akatsuka, T. and Haake, S. J. (2002). The curve kick of a football I: Impact with the foot. *Sports Engineering*, 5, 183-192.
- Asami, T. & Nolte, V., Matsui, H. & Kobayashi, K. (eds). (1983). Analysis of powerful ball kicking. *Biomechanics VIII-B*, 695-700. Human Kinetic, Champaign, IL
- Barfield, W. R. (1995). Effects of selected kinematic and kinetic variables on instep kicking with dominant and non-dominant limbs. *Journal of Human Movement Studies*, 29, 251-272.
- Barfield, W. (1998). The biomechanics of kicking in soccer. *Clinics in Sports Medicine* 17, 711-728. [ pubmed ] [ csa ] [ crossref ]

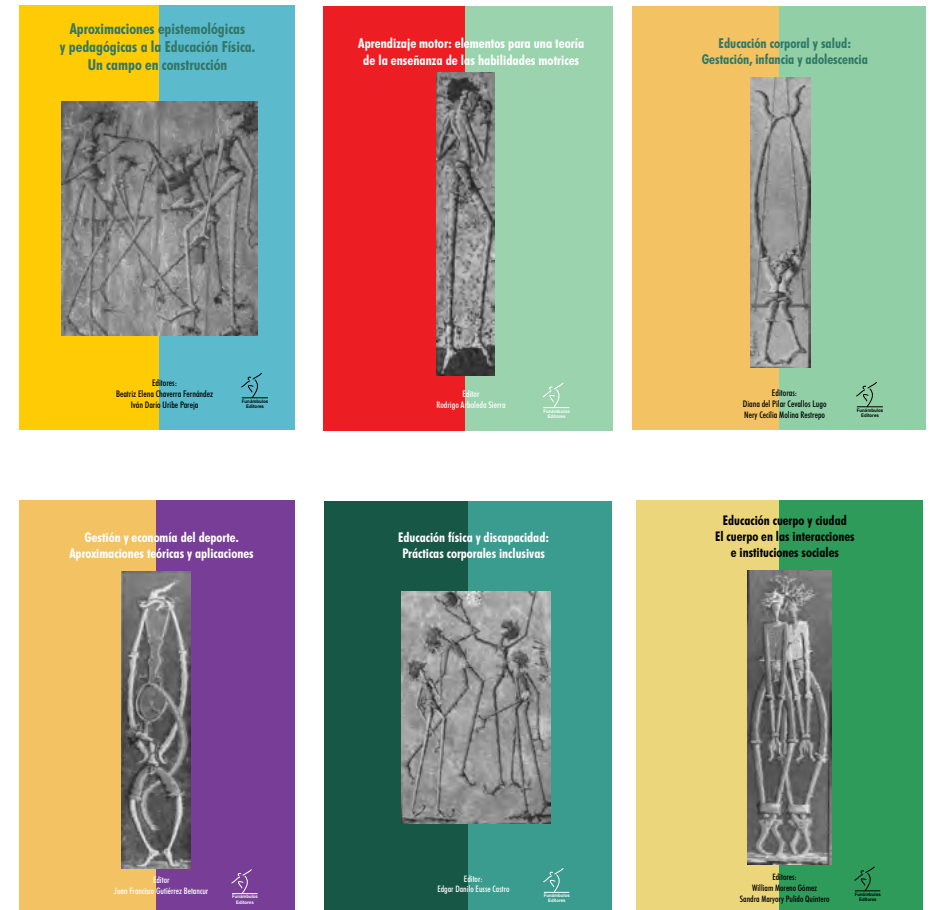
- Carré, M. J., Asai, T., Akatsuka, T. & Haake, S. J. (2002). The curve kick of a football II: Flight through the air. *Sports Engineering*, 5, 193-200.
- Chow, J. Y., Davids, K., Button, C. & Koh, M. (2005). Organisation of motor degrees of freedom during the soccer chip: An analysis of skilled performance. *International Journal of Sport Psychology*, 37, 207-229.
- Chow, J. Y., Davids, K., Button, C. & Koh, M. (2007). Variation in coordination of a discrete multi-articular action as a function of skill level. *Journal of Motor Behaviour*, 39, 463-479. [informaworld]
- Chow, J. Y., Davids, K., Button, C. & Koh, M. (2008). Coordination changes in a discrete multi-articular action as a function of practice. *Acta Psychologica* 27, 163-176. [ pubmed ] [ crossref ]
- Davids, K., Lees, A. & Burwitz, L. (2000). Understanding and measuring coordination and control in soccer skills: Implications for talent identification and skill acquisition. *Journal of Sports Sciences*, 18, 703-714. [informaworld][Ergonomics Abstracts]
- Dörge, H. C., Andersen, T. B., Sorensen, H. & Simonsen, E. B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 20, 293-299. [informaworld]
- Egan, C. D., Vverheul, M. H. G. & Savelsbergh, G. J. P. (2007). Effects of experience on the coordination of internally and externally timed soccer kicks. *Journal of Motor Behaviour*, 39, 423-432. [informaworld]
- Godik, M., Fales, I. & Blashak, I. (1993). Changing the kicking accuracy of soccer players depending on the type, value and aims of training and competitive loads. In: *Science and soccer II*. Eds: Reilly, T., Clarys, J. & Stibbe, A. London: E&FN Spon. 254-260.
- Ishii, H. & Maruyama, T. (2007). Influence of foot angle and impact point on ball behavior in side-foot soccer kicking. *The Impact of Technology on Sport*, II, 403-408.
- Isokawa, M. & Lees, A. Reilly, T., Lees, A., Davids, K., And Murphy, W. J. (Eds.) (1988). A biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer. *Science and football*. pp. 449-455, E & FN Spon, London.
- Kellis, E. & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 154-165.
- Lees, A. Reilly, T. (ed) (1996). *Biomechanics applied to soccer skills*. Science and soccer, 123-134. E & FN Spon, London
- Lees, A. Hughes, M. & Franks, I. (eds) (2007). Qualitative biomechanical assessment of performance. *The essentials of performance analysis*, 162-179. Routledge, London
- Lees, A., Barton, G. & Robinson, M. (2010). The influence of the Cardan rotation sequence in the reconstruction of angular orientation data for the lower limb in the soccer kick. *Journal of Sports Sciences*, 28, 445-450. [informaworld]
- Lees, A., Kershaw, L. & Moura, F. Reilly, T., Cabri, J. & Araújo, D. (eds) (2005). The three dimensional nature of the maximal instep kick in soccer. *Science and football*, V, 64-69. Routledge, London [informaworld]
- Lees, A. & Nolan, L. (1998). Biomechanics of soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 16, 211-234. [informaworld]
- Lees, A. & Nolan, L. Spinks, W., Reilly, T. & Murphy, A. (eds) (2002). Three dimensional kinematic analysis of the instep kick under speed and accuracy conditions. *Science and football*, IV, 16-21. Routledge, London
- Lees, A., Steward, I., Rahnama, N. & Barton, G. Reilly, T. & Atkinson, G. (eds) (2009). Understanding lower limb function in the performance of the maximal instep kick in soccer. *Proceedings of the 6th International Conference on Sport, Leisure and Ergonomics*, 149-160. Routledge, London
- Levanon, J. & Dapena, J. (1998). Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30, 917-927.
- Marqués-Bruna, P., Lees, A. & Grimshaw, P. (2007). Development of technique in soccer. *International Journal of Coaching Science*, 1, 51-62.
- Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T. & Sano, S. (2006a). Segmental dynamics of soccer instep kick with the preferred and non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 24, 529-541. [informaworld][Ergonomics Abstracts]
- Nunome, H., Lake, M., Georgakis, A. & Stergioulas, L. K. (2006b). Impact phase kinematics of the instep kick in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 24, 11-22. [informaworld]
- Orloff, H., Sumida, B., Chow, J., Habibi, L., Fujino, A. & Kramer, B. (2008). Ground reaction forces and kinematics of plant leg position during instep kicking in male and female collegiate soccer players. *Sports Biomechanics*, 7, 238-247. [informaworld]
- Parassas, S. G., Terauds, J. & Nathan, T. Nosek, N., Sojka, D., Morrison, W. & Susanka, P. (eds) (1990). Three dimensional kinematic analysis of high and low trajectory kicks in soccer. *Proceedings of the VIIIth Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports Conex* 145-149. Prague
- Plagenhoef, S. (1971) *The patterns of human motion* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ
- Shinkai, H., Nunome, H., Ikegami, Y., Sano, S. & Isokawa, M. (2007). Foot and ball behaviour during impact phase of instep soccer kicking. *Journal of Biomechanics*, 40:suppl. 2, p. S198. [ csa ] [ pubmed ] [ crossref ]

PARÁMETROS BIOMECÁNICOS RELACIONADOS CON LA PRECISIÓN  
EN EL GOLPEO DEL BALÓN CON EL EMPEINE INTERNO EN FUTBOLISTAS JUVENILES

- Stoner, L. J. & Ben-Sira, D. Morecki, A., Fidelus, K., Kedzior, K. & Wit, A. (eds) (1981). Variation in movement patterns of professional soccer players when executing a long range and a medium range in-step soccer kick. *Biomechanics VII-B* 337-341. University Park Press, Baltimore, MD
- Teixeira, L. A. (1999). Kinematics of kicking as a function of different sources of constraint on accuracy. *Perceptual and Motor Skills*, 88, 785-789.
- Tol, J. L., Slim, E., Soest, A. J. & Dijk, C. N. (2002). The relationship of the kicking action in soccer and anterior ankle impingement syndrome. *American Journal of Sports Medicine*, 30, 45-50.
- Wesson, J. (2002). *The science of soccer*. London: Institute of Physics Publishing.



**Serie Expomotricidad 2007**



Informes y ventas: [revista@edufsica.udea.edu.co](mailto:revista@edufsica.udea.edu.co)  
Tel.: (57-4) 219 92 65