

## Cinématica de pateo con empeine en jugadores profesionales varones de futsal chilenos: Propuesta de un modelo cinemático

### Instep kicking kinematics in Chilean professional male futsal players: Proposal of a kinematic model.

\*Esteban Aedo-Muñoz, \*\*Rodrigo Martínez-Catalán\*\*, \*\*\*Bianca Miarka, \*\*\*, \*\*\*\*Pablo Merino-Muñoz, \*\*\*\*\*Ciro Brito, \*\*\*\*\*Felipe Hermosilla-Palma, \*\*, \*\*\*\*\*Jorge Pérez-Contreras

\*Universidad de Santiago de Chile (Chile), \*\*Universidad Santo Tomás (Chile), \*\*\*Universidad Federal de Rio de Janeiro (Brasil), \*\*\*\*Universidad Adventista de Chile (Chile), \*\*\*\*\*Universidad Federal de Juiz de Fora (Brasil), \*\*\*\*\*Universidad Autónoma de Chile (Chile), \*\*\*\*\*Instituto Nacional del fútbol, Deportes y Actividad Física (Chile)

**Resumen.** Objetivo: Proponer y describir el modelo cinemático de pateo con empeine en jugadores profesionales de futsal de Chile. Método: Se elaboró el modelo biomecánico de la ejecución de gesto técnico de pateo con empeine en futsal, a través de una búsqueda bibliográfica y se realizó un análisis cinemático de la ejecución en jugadores profesionales varones de futsal ( $n = 12$ , Edad  $21 \pm 2,83$  años, masa corporal  $75,5 \pm 12,01$  kg., estatura  $1,74 \pm 0,05$  m.) quienes compiten en el Campeonato de Futsal ANFP de Chile. La evaluación del remate fue realizada en una cancha de futsal oficial (Estándar FIFA). El balón fue situado en el punto penal, y los participantes realizaron 2 intentos cada uno. Las variables cinemáticas seleccionadas fueron las posiciones y velocidades angulares de rodilla y tobillo, para ambas piernas, y en cada fase del remate. Para la aplicación del análisis, se utilizó el sistema de captura de movimiento VICON®. Los marcadores fueron situados en ambos miembros inferiores según modelo Plug-In Gait™ Standard Lower Body. Resultados: A través de la búsqueda bibliográfica se generó y analizó un modelo de 4 fases: Unipodal, Balance, Contacto y Post Impacto. Se describió la cinemática (Posición [rad] y velocidad angular [rad/s] de rodilla y tobillo de las 4 fases. Conclusiones: La búsqueda bibliográfica dio como resultado para la investigación cualitativa, la modificación de un modelo biomecánico existente, generando de este modo, el diseño del modelo de pateo con empeine en futsal y describió la posición y velocidad angular promedio de cada fase.

**Palabras clave:** biomecánica, deportes, destreza motora, rendimiento atlético, revisión

**Abstract.** Objective: To propose and describe the kinematic model of instep kicking in professional futsal players in Chile. Methods: A biomechanical model of the execution of the technical gesture of instep kicking in futsal was developed through a literature search and a kinematic analysis of the execution was performed in professional male futsal players ( $n = 12$ , age  $21 \pm 2.83$  years, body mass  $75.5 \pm 12.01$  kg, height  $1.74 \pm 0.05$  m.) who compete in the ANFP Futsal Championship of Chile. The evaluation of the shot was performed in an official futsal court (FIFA Standard). The ball was placed on the penalty spot, and the participants made 2 attempts each. The kinematic variables selected were the positions and angular velocities of the knee and ankle, for both legs, and in each phase of the shot. For the application of the analysis, the VICON® motion capture system was used. The markers were placed on both lower limbs according to the Plug-In Gait™ Standard Lower Body model. Results: Through the literature search, a 4-phase model was generated and analyzed: Unipodal, Balance, Contact and Post Impact. The kinematics (Position [rad] and angular velocity [rad/s] of knee and ankle of the 4 phases were described. Conclusions: The literature search resulted for the qualitative research, the modification of an existing biomechanical model, thus generating, the design of the instep kicking model in futsal and described the position and average angular velocity of each phase.

**Keywords:** biomechanics, sports, motor skills, athletic performance, review

Fecha recepción: 07-09-22. Fecha de aceptación: 21-12-22

Jorge Pérez-Contreras  
joperezc@gmail.com

### Introducción

Futsal es el nombre oficial de la versión 5-por-lado indoor del fútbol (es decir, 1 portero y 4 jugadores de campo) que está avalado por el órgano rector internacional del fútbol, la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA) (Naser et al., 2017), el cual no tiene límite de cambios, por lo que las exigencias físicas del juego pueden resultar muy altas (Barbero-Alvarez et al., 2008). El análisis de estas demandas ha demostrado que el futsal es un deporte de esfuerzos intermitente de alta intensidad, con cambios de actividades locomotoras cada 3.28 s con periodos cortos de recuperación (Caetano et al., 2015; Castagna et al., 2009). A pesar de su popularidad, las investigaciones sobre este deporte son limitadas, posiblemente debido a la falta de interés financiero en este deporte (en relación con el fútbol) (Naser et al., 2017) y de los trabajos de investigación, la mayoría se han interesado en el

análisis del juego y/o de las demandas fisiológicas de los jugadores en competencia y entrenamiento (Barbero-Alvarez et al., 2008; Ribeiro et al., 2020) con poca o ninguna evidencia en relación a la descripción y rendimiento de las técnicas deportivas empleadas durante el juego (por ejemplo, remates y pases) (Naser et al., 2017).

Se ha mencionado, que la técnica de pateo es crucial para convertir goles en futsal (Barbieri et al., 2010; Vieira et al., 2016), de hecho, se marcan más goles por minuto de juego que el fútbol (Castagna et al., 2009). Un estudio identificó que jugadores de futsal de élite tenían una habilidad superior de tiro en comparación con los jugadores de semi-élite en pruebas específicas de futsal (Naser & Ali, 2016). También se ha encontrado que la velocidad del pie está relacionada con la velocidad del balón en jugadores de futsal ( $r = 0.67-0.76$ ) (Barbieri et al., 2010). Para lograr altos niveles de velocidad del pie, son necesarios altos niveles de fuerza y potencia muscular de flexores y exten-

sores de rodilla, como también la coordinación entre contracciones excéntricas y concéntricas de estos músculos (Masuda et al., 2003).

Desde un enfoque biomecánico, en la acción del pateo con empeine en fútbol se pueden identificar diferentes fases, las cuales dependen de su objetivo (Apidech et al., 2020). Éstas deben presentar sus respectivos propósitos mecánicos (PM) (Diener-González & Aedo-Muñoz, 2017), que hacen referencia a la característica mecánica que se pretende lograr en cada fase. En cada PM es necesario identificar los objetivos biomecánicos (OB), correspondientes a todos los indicadores cinemáticos (ICm) e indicadores cinéticos (ICn) derivados del PM. Los ICm son aspectos evaluables por la biomecánica del deporte, enfatizado en el estudio del movimiento, con independencia de las causas que podrían modificarlo; mientras que los ICn corresponden a aquellos que determinan las fuerzas que generan este movimiento (Aedo-Muñoz et al., 2020; Moreno de la Fuente et al., 2022). El entendimiento de las habilidades de fútbol permitiría a los entrenadores transferir información beneficiosa al jugador y así una mayor comprensión de la técnica deportiva desde un análisis biomecánico que ayude en el desarrollo y rendimiento deportivo de los jugadores. El desarrollo de la condición física junto con los requisitos de las técnicas deportivas, ayudarían en el desarrollo del fútbol (Naser et al., 2017). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es proponer y describir el modelo cinemático de pateo con empeine de jugadores profesionales chilenos de fútbol.

## Método

Esta investigación presenta un enfoque mixto secuencial de alcance exploratorio, es decir recoge y analiza los datos cualitativos mediante la elaboración del modelo biomecánico del gesto técnico en su primera fase, y a partir de este se construye una segunda fase cuantitativa mediante el análisis cinemático de su ejecución (Castañer et al., 2013).

### Metodología Cualitativa

Se elaboró el modelo mecánico para determinar los indicadores cinemáticos relevantes para la evaluación del gesto técnico del remate en fútbol, utilizando fundamentación teórica y respaldo científico. Para ello fue necesario dividir el movimiento en etapas, aclarando el objetivo mecánico de cada una de ellas, y su respectivo propósito, permitiendo analizar de forma posterior las variables que resulten de este modelo (Diener-González & Aedo-Muñoz, 2017).

### Procedimientos

Para la selección de los artículos se utilizó la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para realizar la revisión sistemática (Liberati et al., 2009).

**Identificación:** Se identificaron 360 artículos científicos

en la búsqueda realizada en las bases de datos Pubmed, Dialnet y Scielo, utilizando las palabras claves “análisis”, “técnica”, “fútbol”, y “pateo o remate”, tanto en inglés como en español. Además, se encontraron 8 artículos adicionales en revistas web de artículos deportivos como efdeportes.com. Posterior a ello, se eliminaron los artículos repetidos, resultando 322 artículos.

**Cribado:** Se seleccionaron 30 artículos, prescindiendo de aquellos que correspondían a otras temáticas tales como fisiología, psicología, o prevención de lesiones, privilegiando los que tuvieran elementos de análisis biomecánico. De estos, se excluyeron 16 artículos, dentro de los cuales algunos se centraban en técnicas diferentes a la propuesta en esta investigación, tales como cabeceo o vuelo del portero, mientras que los restantes fueron descartados por evaluar otras variables biomecánicas no relacionadas al presente trabajo.

**Criterios:** De los 14 artículos resultantes, 10 trabajos fueron eliminados debido a que no se enmarcaban en los criterios de selección al no presentar modelos mecánicos de la técnica deportiva.

**Incluidos:** Se incluyeron 4 artículos para el análisis cualitativo, los cuales coinciden en presentar un modelo mecánico de remate en fútbol, y en realizar una descripción del movimiento de este gesto técnico.

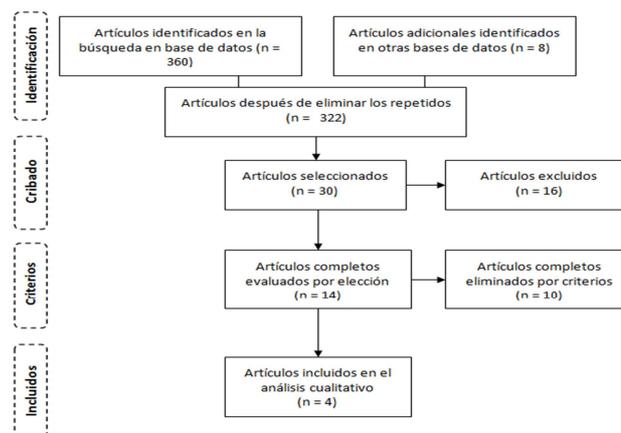


Figura 1. Diagrama PRISMA para revisión sistemática.

Esta búsqueda bibliográfica permitió determinar las fases del gesto de remate en fútbol. Para esto se tomaron en cuenta diversos análisis biomecánicos y cinemáticos que se han realizado en el fútbol, debido a que, en el reglamento de ambos deportes no existen diferencias en las posibilidades de ejecuciones al momento de rematar a un arco, con el objetivo de marcar un gol (objetivo primordial en ambos deportes). Cabe mencionar que existen pocos estudios científicos relativos al fútbol, en comparación al fútbol (Fuente: Pubmed, sólo existen 127 publicaciones, y estas aparecen a partir del año 2007), y es por ello, que se debe recurrir a publicaciones relacionadas al fútbol. Además, se conoce que el fútbol es una derivación del fútbol, en sus inicios creada por la necesidad de realizar el deporte en espacios más reducidos (Entiéndase Fútbol: Fútbol Sala, Minifútbol), por lo tanto, las principales diferencias al momento de rematar al arco en ambos deportes son: la

superficie de juego, el tipo de balón, las dimensiones de la cancha, las demandas fisiológicas y el tamaño del arco o portería. Esto hace que ambas técnicas deportivas sean idénticas, sólo modificando algunas formas de ejecución, ya sea por inclinación del cuerpo o distintas posturas, pero llevándolo a un modelo mecánico, no presentan diferencias (figura 1).

### Resultados Cualitativos

Respecto a lo explicado, las etapas de la ejecución del gesto técnico de remate en futsal debiesen ser las mismas que se generan en un remate de fútbol. Según esto, y a partir de lo señalado por autores como Acero & Albarracín (2005), Briceño & Gómez (2011), y Martínez (2014), quienes utilizaron el remate de fútbol en un tiro libre

como gesto técnico a investigar, se describen 6 etapas que dividen el remate para el análisis del movimiento, las cuales son: Posición inicial, Carrera de aproximación, Posición unipodal, Balanceo pierna de ataque, Contacto con el balón, y Post-Impacto. De estas, se consideran la Posición Inicial y la Carrera de aproximación como algo opcional para el remate de futsal, debido a que, al encontrarse el balón en juego, con el rival en movimiento y espacios reducidos en comparación con lo que ocurre en el fútbol, situaciones que en su conjunto determinan, apresurar la acción del remate, lo que concluye en una etapa de preparación breve o casi nula. En relación con estas definiciones, es que Torres, (2015), definió el modelo mecánico de la ejecución del remate de tiro libre, el cual fue modificado para el presente estudio, tal como se describe a continuación.

Tabla 1.

Resumen de resultados cualitativos obtenidos en búsqueda bibliográfica.

Autores	Muestra	Variables	Resultados	Conclusiones
Acero y Albarracín (2005)	5 varones, profesionales (edad 23.87 ± 3.76 años, Estatura, 1.75 ± 0.02 m, Masa 74 ± 6.56 kg)	Número de pasos de acercamiento, velocidad acercamiento corporal, longitud del último paso, velocidad corporal del último paso, ángulo de acercamiento relativo a la horizontal, distancia horizontal pie-balón, ángulo de pie relativo a la horizontal, ángulo muslo-tronco, ángulo muslo-pierna, ángulo muslo-muslo, velocidad del muslo, velocidad de la pierna, velocidad del pie, ángulo del tronco relativo a la horizontal, ángulo intersegmental sector de la pierna de ataque tronco-muslo, muslo-pierna, ángulo intersegmental sector de la pierna de apoyo muslo-pierna, velocidad inicial del balón, ángulo de salida del balón.	Generación de una escala de medición de la eficiencia del Tiro Libre Preferencial (TLP), de una metodología descriptiva de la técnica del TLP por fases (Fases: Acercamiento, Apoyo unipodal, Contra-Movimiento, Balanceo de la pierna de ataque, Impacto Pie-balón, Post-Impacto) y de un protocolo Biomecánico Integral (BIOMIN)-TLP para interrelacionar variables morfológicas y cinemáticas.	Reevaluar la idea de que los jugadores que ejecuten los TLP deben estar todos bajo una misma técnica o bajo la técnica de un jugador exitoso, atendiendo a diferencias significativas del orden morfológico-funcional y dinámico. Cada jugador tiene sus propios límites y ventajas biomecánicas con los que se deben contar para optimizar su nivel de eficiencia.
Briceño y Gómez (2011)	11 varones, profesionales	Distancia entre el balón y el pie de apoyo, altura del CG del atleta, desplazamiento máximo vertical del pie en la fase activa.	Distancia entre el pie de apoyo y el balón adecuada ( $\bar{X}$ 0,11 m). La altura del centro de gravedad de los sujetos fue apropiada. Desplazamiento máximo vertical del pie ejecutor algo deficiente ( $\bar{X}$ 0,59 m) lo cual debilita el impulso de choque.	Sujetos presentaron debilidades en cada una de las características de proyección del balón y poco desplazamiento del miembro inferior ejecutor
Martínez (2014)	5 varones, categoría juvenil (edad 18,2 ± 0,83 años, Masa 68, 34 ± 7,75 kg, Estatura 1,73 ± 0,06 m)	Desplazamiento hacia el balón, N° pasos de carrera, longitud del último paso, ángulo de pierna de apoyo (Rodilla), ángulo de pierna de balanceo (Rodilla), ángulo de tronco respecto a la horizontal, ángulo de salida del balón.	Sólo el ángulo generado en la rodilla, en la pierna de apoyo, posee valores o diferencias significativas en relación con la efectividad del tiro. ( $\bar{X}$ 160,27° Fase apoyo, $\bar{X}$ 144,53° Fase Contacto, $\bar{X}$ 148,07°, en remates efectivos)	Resultados comparados de efectividad en las posiciones de apoyo, contacto y post-impacto en el ángulo formado por la pierna de apoyo, presentan diferencias significativas por lo que debiese tomar importancia el análisis de la pierna de apoyo, y su influencia en el resultado de un remate en tiro libre.
Torres Sánchez (2015)	9 artículos científicos, periodo 2005-2015	Distancia hacia el balón, cantidad de pasos, longitud último paso, ángulo extremidad inferior de apoyo y balanceo (rodilla), ángulo de tronco, velocidad pierna de balanceo, ángulo de salida del balón.	Se divide la Técnica Deportiva en 6 fases describiendo cada una de ellas con su propósito mecánico: 1. Posición inicial: Distancia óptima 2. Carrera de aproximación: Aceleración aproximación, acumulación fuerza en la carrera 3. Posición Unipodal: Acumulación fuerza elástica pierna de balanceo, estabilidad pierna de apoyo. 4. Balanceo pierna de ataque: Aceleración pierna de balanceo, estabilidad al movimiento pierna de apoyo 5. Contacto con balón: Liberación fuerza elástica 6. Post – Impacto: Estabilización del movimiento.	Se establece Objetivo General de Rendimiento (OGR), como Velocidad y Precisión, y el Propósito Mecánico (PM) de cada fase, estableciendo variables cinemáticas.

Tabla 2. Modelo mecánico para ejecución de remate en fútbol.

Objetivo General de Rendimiento: Velocidad y Precisión		
Fases	Propósito Mecánico	VARIABLES
1. Posición Inicial	Distancia Óptima	Distancia hacia el balón
2.- Carrera de Aproximación (Opcional)	Aceleración de aproximación Acumulación fuerza en la carrera	Cantidad pasos Longitud último paso Ángulo carrera de aproximación
3.- Posición Unipodal	Acumulación fuerza elástica pierna de balanceo. Estabilidad pierna de apoyo	Ángulo extremidad inferior de apoyo y balanceo (Rodilla y Tobillo) Velocidad pierna de balanceo (Rodilla y Tobillo)
4.- Balanceo pierna de ataque	Aceleración pierna de balanceo. Estabilidad al movimiento de pierna de apoyo	Ángulo extremidad inferior de apoyo y balanceo (Rodilla y Tobillo) Velocidad pierna de balanceo (Rodilla y Tobillo)
5.- Contacto con el balón	Liberación fuerza elástica	Ángulo extremidad inferior de apoyo y balanceo (Rodilla y Tobillo) Velocidad pierna de balanceo (Rodilla y Tobillo)
6.- Post-Impacto	Estabilización del movimiento	Ángulo extremidad inferior de apoyo y balanceo (Rodilla y Tobillo) Velocidad pierna de balanceo (Rodilla y Tobillo)

### Metodología cuantitativa

Para la investigación cuantitativa de este estudio, cabe mencionar que las primeras dos fases no fueron consideradas, ya que tienen carácter opcional en los sujetos. Además, al analizar sólo en miembro inferior, los ángulos de tronco no fueron observados como en los modelos originales. Ya definido el modelo biomecánico, corresponde continuar con el análisis cinemático de la ejecución de remate en fútbol.

### Procedimientos

Las primeras mediciones realizadas corresponden al registro de valores antropométricos necesarios para su aplicación en el software de análisis. Posterior a esto se realizó la colocación de los marcadores en los miembros inferiores para finalmente realizar la evaluación del pateo con empeine, la cual fue realizada en una cancha de fútbol oficial (Estándar FIFA).

### Muestra

Los sujetos seleccionados para esta investigación corresponden a jugadores varones profesionales de fútbol quienes compiten en el Campeonato de Fútbol ANFP de Chile. Para la fecha de evaluación, los sujetos se encontraban en etapa de finalización de sus pretemporadas, entrenando al menos 3 veces por semana. Además, todos los participantes declararon encontrarse sin patologías musculoesqueléticas que pudiesen imposibilitarlos de participar en el estudio. Todos los participantes fueron informados de los objetivos y la voluntariedad de la investigación, a través de un consentimiento informado, según la Declaración de Helsinki (2013). Estos documentos fueron revisados y firmados por cada uno de los participantes, previa autorización a las entidades responsables del club para llevar adelante la investigación.

## Instrumentos

### Antropometría

Las primeras mediciones realizadas corresponden al registro de valores antropométricos necesarios para su aplicación en el software de análisis, estas evaluaciones siguieron el protocolo ISAK (Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría) y realizadas por un profesional competente. Estos valores comprenden, longitud de pierna, diámetros de rodilla y tobillo, por cada pierna, además de estatura y peso (Tabla 1). Para la toma de valores se utilizó un estadiómetro para estatura Dry Wall Sizer 216 mecánico y una balanza Seca 803 para el peso. Además, se hizo uso de cinta métrica Lufkin W606PM, segmómetro Cescorf y calibre deslizante pequeño Cescorf 16 cm para el resto de las mediciones.

Tabla 3. Características de la muestra

Variables	Media $\pm$ DE
Edad (años)	21.0 $\pm$ 2.83
Peso (kg)	75.5 $\pm$ 12.0
Estatura (m)	1.74 $\pm$ 0.05
Largo Pierna Izquierda (m)	0.91 $\pm$ 0.03
Ancho Rodilla Izquierda (m)	0.09 $\pm$ 0.00
Ancho Tobillo Izquierdo (m)	0.07 $\pm$ 0.01
Largo Pierna Derecha (m)	0.91 $\pm$ 0.03
Ancho Rodilla Derecha (m)	0.10 $\pm$ 0.01
Ancho Tobillo Derecho (m)	0.07 $\pm$ 0.01

DE: Desviación estándar; m: metros; kg: kilogramos.

### Pateo con empeine

La evaluación del remate fue realizada en una cancha de fútbol oficial (Estándar FIFA) y se utilizó el balón oficial del campeonato nacional Molten F5A5000 Vantaggio. El balón fue situado en el punto penal y los participantes realizaron 2 repeticiones, con la indicación de que fuese un remate potente con el empeine del pie, en dirección hacia el interior del arco. La carrera de aproximación tenía un máximo de 3 metros de distancia, y la instrucción es que ejecutaran con su pierna hábil. Se utilizó el sistema de captura de movimiento VICON®, que consta de 10 cámaras optoelectrónicas, que captan los marcadores reflectantes, los cuales fueron situados en ambos miembros inferiores de los jugadores, según el modelo Plug-In Gait™ Standard Lower Body, con una frecuencia de registro 200 Hz. Los datos fueron procesados a través del software VICON Nexus™, que permite compilar las distintas variables espacio-temporales (cinemáticas), a través del cual las velocidades y ángulos fueron determinados (Jack et al., 2005). Las variables cinemáticas seleccionadas fueron las posiciones angulares de rodilla y tobillo, y velocidad angular de rodilla y tobillo, para ambas piernas, y en cada fase del remate de fútbol. Se analizó el promedio de ambos intentos.

### Análisis estadístico

Se cumplió el supuesto de normalidad de las variables analizadas a través de la prueba de Shapiro-Wilk ( $p > 0.05$ ) por lo que la estadística descriptiva de las variables se expresara como media y desviación estándar. La estadística

tica fue realizada a través del software SPSS versión 21.

## Resultados

En la tabla 4 se presenta la descripción de la posición angular promedio (radianes) para las distintas fases de la ejecución del pateo.

Tabla 4.

Resultados descriptivos de la posición angular promedio en las distintas fases.

Fase Unipodal		M	±DE	Fase Contacto		M	±DE
Tobillo Pie Apoyo (rad)	1.2	0.2		Tobillo Pie Apoyo (rad)	1.4	0.2	
Rodilla Pie Apoyo (rad)	0.6	0.1		Rodilla Pie Apoyo (rad)	0.9	0.3	
Tobillo Pie Balanceo (rad)	1.2	0.3		Tobillo Pie Balanceo (rad)	1.3	0.3	
Rodilla Pie Balanceo (rad)	1.4	0.2		Rodilla Pie Balanceo (rad)	1	0.2	
Fase Balanceo		M	±DE	Fase Post Impacto		M	±DE
Tobillo Pie Apoyo (rad)	1.4	0.1		Tobillo Pie Apoyo (rad)	1.4	0.2	
Rodilla Pie Apoyo (rad)	0.8	0.2		Rodilla Pie Apoyo (rad)	0.7	0.5	
Tobillo Pie Balanceo (rad)	1.3	0.3		Tobillo Pie Balanceo (rad)	1.2	0.3	
Rodilla Pie Balanceo (rad)	1.7	0.2		Rodilla Pie Balanceo (rad)	0.1	0.1	

M: media; DE: desviación estándar

Se puede observar en la figura 2 que las mayores variaciones en la posición angular se producen en la rodilla del pie de balanceo, que es en donde se centra la mayor parte del movimiento del gesto técnico deportivo.

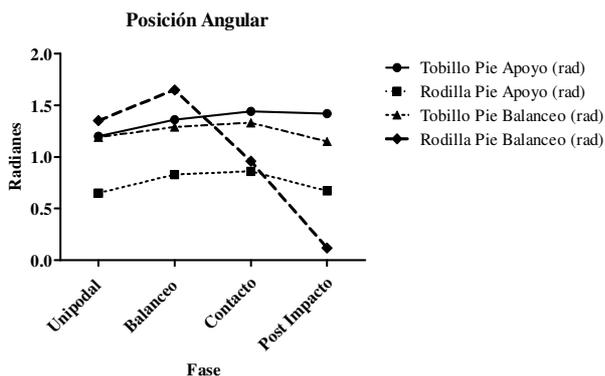


Figura 2. Posición angular en cada fase, para cada articulación analizada.

En la tabla 5 se presenta la descripción de la velocidad angular promedio (rad/s) para las distintas fases de la ejecución del pateo.

Tabla 5. Resultados descriptivos de la velocidad angular promedio en las distintas fases.

Fase Unipodal		M	±DE	Fase Contacto		M	±DE
Tobillo Pie Apoyo (rad/s)	-2.1	10.7		Tobillo Pie Apoyo (rad/s)	-0.1	1.4	
Rodilla Pie Apoyo (rad/s)	5.6	3.1		Rodilla Pie Apoyo (rad/s)	-1.1	2.8	
Tobillo Pie Balanceo (rad/s)	3.3	3.5		Tobillo Pie Balanceo (rad/s)	-2.1	3.9	
Rodilla Pie Balanceo (rad/s)	11.1	2.5		Rodilla Pie Balanceo (rad/s)	-19	6	
Fase Balanceo		M	±DE	Fase Post Impacto		M	±DE
Tobillo Pie Apoyo (rad/s)	2.7	1.5		Tobillo Pie Apoyo (rad/s)	-0.8	3.8	
Rodilla Pie Apoyo (rad/s)	2.2	3.4		Rodilla Pie Apoyo (rad/s)	0.9	2.6	
Tobillo Pie Balanceo (rad/s)	4.2	3.2		Tobillo Pie Balanceo (rad/s)	1.5	7.1	
Rodilla Pie Balanceo (rad/s)	0.8	2.3		Rodilla Pie Balanceo (rad/s)	1.6	3.6	

M: media; DE: desviación estándar

Como se aprecia en la figura 3, la mayor diferencia de velocidades se produce en la fase de contacto, en rodilla de la pierna de balanceo, dando valores negativos ( $-19 \pm 6$  rad/s) producto de ser un movimiento en sentido contrario a la mayoría de las otras fases.

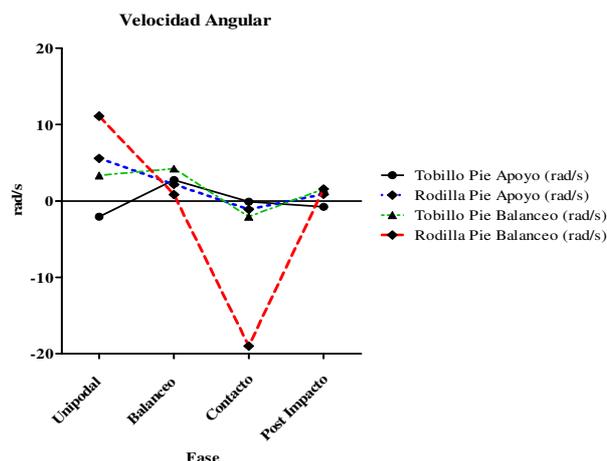


Figura 3. Velocidad angular de las articulaciones en cada fase.

## Discusión

La técnica de pateo es crucial para convertir goles en fútbol (Barbieri et al., 2010; Vieira et al., 2016), de hecho, se marcan más goles por minuto de juego que el fútbol (Castagna et al., 2009). Es por esto por lo que se pretende evaluar parámetros cinemáticos en el análisis de la técnica del remate en fútbol, con proyección a mejoras en el rendimiento del gesto, analizando cada fase, en busca de diferencias y similitudes que puedan establecer conclusiones que ayuden a mejorar el rendimiento del gesto técnico.

La recopilación de datos indica que, independiente del incremento en la popularidad de este deporte durante los años, el número de estudios relativos al fútbol sigue siendo escaso (Beato et al., 2016), siendo menores aún si se refieren a análisis cinemáticos o biomecánicos, predominando aquellos que se centran en variables del tipo fisiológicas (VO<sub>2</sub>, niveles de lactato, gasto energético, entre otros), y de demandas físicas (distancias recorridas, velocidades de desplazamiento, entre otras). Es por este motivo que los datos obtenidos en esta investigación tienen un carácter más descriptivo que comparativo.

Por definición, el remate de fútbol es un movimiento angular, tal como la mayoría de los movimientos que realiza el ser humano, en donde uno o varios segmentos rotan en torno a las articulaciones (Izquierdo, 2008). Es por esto que en el presente estudio se utilizan los términos de velocidad angular o posición angular para describir las variables de este gesto técnico deportivo. Estas variables han sido investigadas en reiteradas ocasiones, en distintos deportes para obtener resultados que permitan establecer parámetros de eficiencia y eficacia, tal como Floria & Ferro-Sánchez (2006), con el lanzamiento del disco, en donde se recopilan diversos estudios realizados a lo largo de los años y se incorporan otros datos obtenidos por medio de sus propias investigaciones.

Para explicar la importancia de la obtención de datos como el desplazamiento angular, y la velocidad angular en el fútbol, se necesita recurrir a investigaciones realizadas en el fútbol, ya que, a diferencia del fútbol, en el fútbol es posible encontrar estudios relativos a la biomecánica y en

especial a la cinemática del movimiento de remate. Dentro de estos destaca el de Egan et al., (2007), quienes determinaron la importancia del desplazamiento angular en los ángulos de aproximación en los pasos previos al golpeo, concluyendo que el ángulo ideal para un impacto que de mayor velocidad al balón es alrededor de los  $43^\circ$ , al igual que lo sostenido previamente en la investigación de Isokawa y Lees (1988) quienes concluyeron respecto de la eficacia de angulaciones de  $45^\circ$ . Estas investigaciones indican que la pierna de apoyo se encuentra alrededor de los  $26^\circ$  (0.5 radianes), al inicio de la fase unipodal, y alrededor de los  $42^\circ$  (0.7 radianes) en la fase de contacto, cercanos a los descritos en el presente estudio,  $0.6 \pm 0.1$  radianes y a los  $0.9 \pm 0.3$  radianes, respectivamente. En ambos casos los participantes fueron jugadores experimentados en fútbol. Estos datos explican que el movimiento de remate requiere de una flexión continua breve para absorber el impacto de caída y posterior a ello comenzar a extenderse para estabilizar el cuerpo (Lees et al., 2009).

La velocidad angular también ha sido analizada, arrojando datos interesantes en el estudio de esta variable. Entre ellos destacan los de Nunome, et al., (2006a) y Levanon & Dapena (1998), quienes encontraron una alta relación entre la velocidad del balanceo de la pierna, y la velocidad resultante del balón. Del mismo modo Nunome, et al., (2006b) observaron la velocidad angular de la pierna de balanceo, con énfasis en la fase de contacto, y concluyeron que la pierna seguía acelerando posterior al impacto del balón, situación opuesta a lo descrito en investigaciones previas, en donde se reportaban pequeñas desaceleraciones previo al contacto con el balón (Lees y Nolan, 1998; Dörge et al., 2002; Teixeira, 1999). Esta diferencia en los resultados es muy importante, ya que para los entrenadores de fútbol siempre ha sido una recomendación básica hacia sus jugadores, el de continuar con el movimiento natural de la pierna de golpeo, sin desacelerar. Además, en la misma investigación dan a entender que los resultados obtenidos de forma previa en otras investigaciones podían deberse a las distintas técnicas de muestreo y filtro utilizadas para ambos casos.

Otro elemento para rescatar es el de la velocidad angular de 25 rad/s y 35 rad/s, durante el contacto y los milisegundos posteriores al impacto (Nunome, et al., 2006b). En esta línea Kellis & Katis (2007), recopilaron variados estudios que dan a conocer la máxima velocidad angular alcanzada por la pierna de balanceo, que se encuentran entre valores de 20 rad/s (Barfield et al., 2002) hasta los 33 rad/s (Manolopoulos et al., 2006), en sujetos hombres entrenados, valores cercanos a los obtenidos en la presente investigación, donde se alcanza una media de  $19 \pm 6$  rad/s en aquella fase. La variabilidad reportada por autores como Kellis & Katis (2007) indica que existen diversos factores que pueden afectar la velocidad del movimiento de la pierna de balanceo, asumiendo que en la mayoría de los casos las condiciones de ejecuciones fueron similares (superficie e implementos) y los sujetos de estudio corresponde a hombres entrenados con experiencia en fútbol.

Esto último nos podría llevar a la noción que existen diferencias en la velocidad de golpeo entre estos deportes y en definitiva, en la técnica, ya que en el fútbol se realizan desplazamientos más largos, y es mucho más común observar remates desde distancias mayores comparado con el futsal, por lo que sería más aconsejable una mayor velocidad de la pierna que ejecuta el remate.

En relación con los valores antropométricos obtenidos, Bekris et al., (2015) mencionan que en adultos existe una alta relación entre el peso de los sujetos con la velocidad del balón, y por consecuencia, la velocidad de la pierna. Cabe mencionar que para la presente investigación el peso de los sujetos es de una media de 75.5 kg, con un DS de 12.01 kg, lo que nos lleva a pensar que esta variabilidad de peso en la muestra, también podría ser un factor para observar.

Se reconocen limitaciones del estudio respecto al tamaño muestral, debido a que esta muestra es de seleccionados nacionales, estos valores podrían variar dependiendo del nivel deportivo.

## Conclusión

La búsqueda bibliográfica dio como resultado para la investigación cualitativa, la modificación de un modelo biomecánico existente, generando de este modo el diseño del modelo de pateo con empuje en futsal, para el cual se designaron las siguientes variables: Distancia hacia el balón para la Fase de Posición Inicial; Cantidad Pasos, Longitud de último paso, Ángulo Carrera de Aproximación para la Fase de Carrera de Aproximación; Ángulo extremidad inferior de apoyo y balanceo (Rodilla y Tobillo), Velocidad pierna de balanceo (Rodilla y Tobillo) para las Fases de Posición Unipodal, Balanceo pierna de ataque, Contacto con el balón y Post-Impacto.

De igual modo, además, se realizó un análisis de indicadores cinemáticos relativos a la velocidad del movimiento del cuerpo, y a su posición en relación con los ángulos articulares en la ejecución de un remate en futsal. Los resultados arrojan que, dentro de las variables seleccionadas, aquellas que presentan una mayor variabilidad se concentran en la pierna de balanceo, sobre todo en rodilla, con valores de ángulos que alcanzan una media de  $1,7 \pm 0,2$  rad, y velocidad media de  $19 \pm 6$  rad/s, entre las fases de balanceo e impacto. Son estas fases las que parecieran tener mayor importancia según los investigadores de fútbol y que, por consecuencia, debiesen ser estudiadas con mayor detención para su aplicación en futsal.

Los hallazgos demuestran la necesidad de generar un mayor número de estudios que permitan realizar comparaciones y así establecer indicadores de efectividad para esta técnica deportiva, así como ha ocurrido con el fútbol durante los últimos 40 años. Por último, pese a no entregar resultados definitivos sobre indicadores de efectividad, esta investigación sienta precedentes para futuros trabajos, que puedan establecer de forma definitiva la existencia de indicadores y parámetros cinemáticos nacionales de efecti-

vidad en la técnica de remate en fútbol. Por consiguiente, se recomienda realizar estudios similares que observen la cinemática y la biomecánica del remate en fútbol, con una muestra mayor y, por otra parte, queda como tarea para futuras investigaciones la comparación entre jugadores de fútbol y fútbol que permitan establecer diferencias y similitudes entre ambas poblaciones.

### Agradecimientos

Los autores agradecen especialmente a DICYT USACH y al proyecto 022287AM por su apoyo para la realización de este proyecto.

### Referencias

- Acero, J., & Albarracín, J. (2005). Biomecánica Bidimensional (2d) Del Tiro Libre Preferencial en Fútbol: Un Modelo Integral Experimental. *gpsportspain.es*. Recuperado el 07 de Mayo de 2013, de [http://www.gpsportspain.es/Literatura/28\\_Biomecnica\\_Tiro\\_libre\\_Acero\\_Albaracin.pdf](http://www.gpsportspain.es/Literatura/28_Biomecnica_Tiro_libre_Acero_Albaracin.pdf)
- Aedo-Muñoz, E., Abarca-Reyes, V., Torres-Moreno, M. J., Bascuñan-Mosqueira, R., Brito, C. J., Miarka, B., Juan, J. C. S., Sánchez-Ramírez, C., & Poblete-Gálvez, C. (2020). Proposal of a technical model of soccer kicking: A systematic review of kinematic and kinetic variables. *MHSalud*, 17(2). <https://doi.org/10.15359/MHS.17-2.6>
- Apidech, H., Rittiwat, W., Chinnasee, C., & Rachnavy, P. (2020). BIOMECHANICAL ANALYSIS OF INSTEP AND TOE-POKE KICKING IN FUTSAL PLAYERS. *Jurnal Sains Sukan Dan Pendidikan Jasmani*, 9(2), 17–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.37134/jsspj.vol9.2.3.2020>
- Barbero-Alvarez, J. C., Soto, V. M., Barbero-Alvarez, V., & Granda-Vera, J. (2008). Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 63–73. <https://doi.org/10.1080/02640410701287289>
- Barbieri, F. A., Gobbi, L. T. B., Santiago, P. R. P., & Cunha, S. A. (2010). Performance comparisons of the kicking of stationary and rolling balls in a futsal context. *Sports Biomechanics*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/14763141003690211>
- Barfield, W. R., Kirkendall, D. T., & Yu, B. (2002). Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 1(3), 72–79. <https://doi.org/10.1097/00005768-200105001-00576>
- Beato, M., Coratella, G., & Schena, F. (2016). Brief review of the state of art in Futsal. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(4), 428–432.
- Bekris, E., Gioldasis, A., Bekris, V., Gissis, I., Komsis, S., & Mitrousis, I. (2015). The Relationship of Kicking Ball Velocity with Anthropometric and Physiological Factors in Soccer. *Sport Science Review*, 24(1–2), 71–87. <https://doi.org/10.1515/ssr-2015-0009>
- Briceño, G., y Gómez, M. (Octubre de 2011). Estudio biomecánico de la fase activa del cobro de tiro libre golpeando el balón con el borde interno del pie en el fútbol de campo. *efdeportes.com*. Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de <http://www.efdeportes.com/efd161/estudio-biomecanico-del-tiro-libre-en-el-futbol.htm>
- Caetano, F. G., De Oliveira, M. J., Marche, A. L., Nakamura, F. Y., Cunha, S. A., & Moura, F. A. (2015). Characterization of the sprint and repeated-sprint sequences performed by professional futsal players, according to playing position, during official matches. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(6), 423–429. <https://doi.org/10.1123/jab.2014-0159>
- Castagna, C., D'Ottavio, S., Vera, J. G., & Álvarez, J. C. B. (2009). Match demands of professional Futsal: A case study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(4), 490–494. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.02.001>
- Castañer, M., Camerino, O., & Anguera, M. T. (2013). Métodos mixtos en la investigación de las ciencias de la actividad física y el deporte. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 112, 11–16. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/103622>
- Diener-González, L., & Aedo-Muñoz, E. (2017). Indicadores cinemáticos del salto en extensión. *Arrancada*, 17(30), 9–15.
- Dörge, H. C., Andersen, T. B., Sørensen, H., & Simonsen, E. B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 20(4), 293–299. <https://doi.org/10.1080/026404102753576062>
- Egan, C. D., Verheul, M. H. G., & Savelsbergh, G. J. P. (2007). Effects of experience on the coordination of internally and externally timed soccer kicks. *Journal of Motor Behavior*, 39(5), 423–432. <https://doi.org/10.3200/JMBR.39.5.423-432>
- Floria, P., Ferro-Sánchez, A. (2006). Análisis biomecánico del lanzamiento de disco categorización de variables de eficacia de la técnica (Tesis Doctoral), Universidad Autónoma de Madrid.
- Isokawa, M., y Lees, A. (1988). A biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer. En T. Reilly, A. Lees, K. Davids, & W. J. Murphy (Eds.), *Science and football* 449–455. London: E & FN Spon.
- Izquierdo M. (2008). Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte. Ed. Médica Panamericana, 229-239
- Jack, R. J., Oliver, M., & Hayward, G. L. (2005). Validation of the Vicon 460 Motion Capture System™ for Whole-Body Vibration Acceleration Determination. June, 810.
- Kellis, E., & Katis, A. (2007). V6N2-1Pdf. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(June), 1–12. pa-

- [pers://61982310-139d-4a04-8060-3dce6ee6287b/Paper/p17](https://doi.org/10.1186/s13047-022-00000-0)
- Lees, A., y Nolan, L. (1998). Biomechanics of soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 16, 211–234.
- Lees, A., Steward, I., Rahnama, N., & Barton, G. (2009). Understanding lower limb function in the performance of the maximal instep kick in soccer. En T. Reilly & G. Atkinson (Eds.), *Proceedings of the 6th International Conference on Sport, Leisure and Ergonomics* (pp. 149–160). London: Routledge.
- 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(6), 917–927. <https://doi.org/10.1097/00005768-199806000-00022>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Manolopoulos, E., Papadopoulos, C., & Kellis, E. (2006). Effects of combined strength and kick coordination training on soccer kick biomechanics in amateur players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(2), 102–110. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00447.x>
- Martínez, R. (2014). Análisis cinemático del gesto técnico de remate en un tiro libre en fútbol masculino, en jugadores profesionales (Tesis de Pregrado), Universidad de Santiago, Chile.
- Masuda, K., Kikuhara, N., Takahashi, H., & Yamanaka, K. (2003). The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 21(10), 851–858. <https://doi.org/10.1080/0264041031000102042>
- Moreno de la Fuente, J., Rojas-Briceño, L., Escalona-Riquelme, J., Merino-Muñoz, P., Cerda-Kohler, H., Miarka, B., Brito, C., Arriagada-Tarifeño, D., & Aedo-Muñoz, E. (2022). Modelo técnico del push de empuje en el hockey sobre césped. Una propuesta de análisis. *Retos*, 45, 318–325. <https://doi.org/10.47197/retos.v45i0.91126>
- Naser, N., & Ali, A. (2016). A descriptive-comparative study of performance characteristics in futsal players of different levels. *Journal of Sports Sciences*, 34(18), 1707–1715. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1134806>
- Naser, N., Ali, A., & Macadam, P. (2017). Physical and physiological demands of futsal. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 15(2), 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2017.09.001>
- Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T., & Sano, S. (2006). Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 24(5), 529–541. <https://doi.org/10.1080/02640410500298024>
- Nunome, H., Lake, M., Georgakis, A., & Stergioulas, L. K. (2006). Impact phase kinematics of instep kicking in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 24(1), 11–22. <https://doi.org/10.1080/02640410400021450>
- Ribeiro, J. N., Gonçalves, B., Coutinho, D., Brito, J., Sampaio, J., & Travassos, B. (2020). Activity Profile and Physical Performance of Match Play in Elite Futsal Players. *Frontiers in Psychology*, 11(July). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01709>
- Teixeira, L. A. (1999). Kinematics of kicking as a function of different sources of constraint on accuracy. *Perceptual and Motor Skills*, 88(3), 785–789. <https://doi.org/10.2466/pms.1999.88.3.785>
- Torres, V. (2015). Revisión de variables cinemáticas en el tiro libre de fútbol. *Revista Motricidad Humana*, 5(1), 72–79.
- Vieira, L. H. P., De Souza Serenza, F., De Andrade, V. L., De Paula Oliveira, L., Mariano, F. P., Santana, J. E., & Santiago, P. R. P. (2016). Kicking performance and muscular strength parameters with dominant and nondominant lower limbs in Brazilian elite professional futsal players. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(6), 578–585. <https://doi.org/10.1123/jab.2016-0125>