



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Estudio biomecánico del gesto técnico del lanzamiento del Tejo

Alberto Alonso Alvarado Lasso

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Unidad de Ortopedia y traumatología
Bogotá D.C.
2023**

Estudio biomecánico del gesto técnico del lanzamiento del Tejo

Alberto Alonso Alvarado Lasso

Trabajo presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en Ortopedia y Traumatología

Director:

Luis Fernando Calixto Ballesteros

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Unidad de Ortopedia y traumatología
Bogotá D.C.

2023

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line at the bottom, identifying the author as Alberto Alonso Alvarado Lasso.

Alberto Alonso Alvarado Lasso

Fecha 14/01/2023

Resumen

Contexto: el tejo es un deporte ancestral, con registros precolombinos originales de la cultura Muisca en el altiplano cundiboyacense, declarado deporte nacional en Colombia desde el año 2000. Ha sido objetivo de estudios de biomecánica enfocados en cinemática como parámetro para lograr mayor desempeño, sin embargo, no existen trabajos con enfoque clínico que describan patrones cinemáticos regulares .

Objetivo: identificar y analizar los patrones regulares de la cinemática corporal del gesto técnico del lanzamiento del Tejo.

Método: se diseñó un estudio descriptivo transversal, se incluyó 3 deportistas profesionales de la liga de tejo de Bogotá, con un total de 15 lanzamientos, de los cuales se procesó los 3 mejores lanzamientos de cada deportista. La captura de movimiento se realizó con cámaras de alta velocidad 120Hz y se procesó los datos con software de análisis de video en el plano coronal y sagital.

Resultados: se identificó un total de 14 variables de movilidad articular en el plano sagital y coronal, se identificó el hombro como la articulación con mayor movilidad extensión máxima de $96 \pm 17^\circ$, flexión máxima de $120 \pm 16^\circ$ con una distribución normal en más del 89% ($P < 0.05$) y una velocidad angular máxima alcanzada en el hombro de $1250 \pm 173^\circ/s$.

Conclusiones: El gesto técnico de lanzamiento del tejo presenta una cadena cinética que compromete el tren inferior y superior para la transmisión de la energía, en la que la velocidad angular máxima se desarrolla en el hombro dominante, lo cual aumentaría el riesgo de lesión a este nivel. La variabilidad en número de pasos limita su uso para la definición de etapas, por lo cual se definió tres etapas dependientes de la movilidad del hombro dominante.

Palabras clave: hombro, cinemática, biomecánica, deportes.

Abstract

Title: Biomechanical study of the Tejo throwing technique

Background: The Tejo is an ancestral sport, with original pre-Columbian records of the Muisca culture in the Cundiboyacense highlands, declared a national sport in Colombia since the year 2000. It has been the target of biomechanical studies focused on kinematics as a parameter to achieve greater performance, however, there are no studies with a clinical focus that describe regular kinematic patterns.

Objective: to identify and analyze the regular patterns of the body kinematics of the technical gesture of throwing the Tejo.

Method: a cross-sectional descriptive study was designed, 3 professional athletes from the Bogotá shuffleboard league were included, with a total of 15 throws, of which the 3 best throws of each athlete were processed. Motion capture was performed with 120Hz high-speed cameras and the data was processed with video analysis software in the coronal and sagittal plane.

Results: a total of 14 joint mobility variables were identified in the sagittal and coronal plane, the shoulder was identified as the joint with the greatest mobility, maximum extension of $96 \pm 17^\circ$, maximum flexion of $120 \pm 16^\circ$ with a normal distribution in more of 89% ($P < 0.05$) and a maximum angular velocity reached at the shoulder of $1250 \pm 173^\circ/s$.

Conclusions: The technical gesture of throwing the puck presents a kinetic chain that compromises the lower and upper body for the transmission of energy, in which the maximum angular velocity is developed in the dominant shoulder, which would increase the risk of injury to this level. The additional number of steps limits its use for the definition of stages, for which three stages dependent on the mobility of the dominant shoulder were defined.

Key Words: shoulder, kinematics, biomechanics, sports.

Contenido

Resumen	VI
Abstract	VII
Contenido	VIII
Lista de figuras	IX
Lista de tablas	IX
1. Justificación:	10
2. Planteamiento del problema	10
3. Marco teórico	11
3.1. Cinemática	11
3.2. El Tejo	12
4. Objetivos	13
4.1. General	13
4.2. Específicos	13
5. Metodología	13
5.1. Ámbito y sujetos	13
5.2. Recolección de datos	13
5.3. Flujograma	15
5.4. Análisis de datos	15
6. Consideraciones éticas	15
7. Resultados	17
8. Conclusiones	22
9. Conflictos de interés	22
10. Propiedad intelectual	22
Bibliografía	23

Lista de figuras

Figura 1. Flujograma de metodología

Figura 2. Cinemática del tren superior en el plano sagital, la línea negra marca el rango de movilidad en grados, la línea gris representa la desviación estándar, la línea vertical punteada marca la liberación del tejo. La fase de extensión comprende hasta el 41%, la fase de flexión entre el 41% y el 77% del gesto y la fase de relajación a partir del 77%.

Figura 3. Cinemática del tren inferior en el plano sagital, la línea negra marca el rango de movilidad en grados, la línea gris representa la desviación estándar, la línea vertical punteada marca la liberación del tejo. Nótese que los tobillos se coordinan al realizar plantiflexión justo antes de la liberación

Figura 4. Cinemática del del plano coronal, la línea negra marca el rango de movilidad en grados, la línea gris representa la desviación estándar, la línea vertical punteada marca la liberación del tejo, nótese la incongruencia en la cadera dominante, esto es debido a la variedad de movimiento entre uno y dos pasos de los participantes.

Lista de tablas

Tabla 1. Puntos de reparo articular para seguimiento en software de análisis de video.

Tabla 2. Velocidad angular articular en el plano sagital. Leyenda: d:dominante, s:sagital, nd: no dominante y DS: desviación estándar

1. Justificación:

El Tejo Turmequé es un deporte ancestral con una amplia herencia de origen indígena específicamente de la cultura Muisca en el altiplano cundiboyacense de 500 años de antigüedad, este se practicaba durante rituales sagrados, para aplicar justicia, ganar el amor de la mujer amada o resolver conflictos y consistía en el lanzamiento de un disco de oro llamado zepcuagoscua. En la actualidad está declarado como deporte nacional en Colombia desde el año 2000, practicado por una amplia variedad de población puesto que se juega tanto de forma competitiva como recreativa. El instituto distrital de recreación y deporte de Bogotá (IDRD) registra en el año 2022 torneos oficiales con participación de 148 personas, 56% mujeres y 43% varones, de los cuales un 62% de edades entre los 30 a 60 años, un 35% mayores de 60 años y un 2% menores de 30 años, propuesto además como un deporte de inclusión para adultos mayores (Hernandez & Murillo Valderrama, 2012; Pico Sánchez, 2016).

Es aceptado que los deportes de lanzamiento están relacionados a lesiones del hombro debido al estrés en esta articulación (Jancosko & Kazanjian, 2012), en el tejo por ejemplo, durante el gesto de lanzamiento el hombro tiene la mayor velocidad angular seguido de la rodilla la rodilla (Giraldo, 2012) y por lo tanto es posible que se asocie a lesiones de estas articulaciones, siendo el hombro la que estaría en mayor riesgo. En torneos realizados en los departamentos de Antioquia y del Cauca, se presentaron lesiones en deportistas de tejo, aunque no se registra el tipo de lesión y se carece de literatura adicional respecto (Montoya Cadavid et al., 2018; Villaquirán et al., 2016).

Las lesiones asociadas al deporte que comprometen el sistema musculoesquelético son una de los frentes de atención en ortopedia cuyo objetivo es recuperar la funcionalidad del paciente. En este campo la biomecánica se presenta como un pilar en el tratamiento de dichas lesiones, ya que permite el entendimiento del mecanismo de lesión, realizar un diagnóstico acertado y prevención de futuras lesiones(Chan et al., 2008; Jancosko & Kazanjian, 2012).

Este proyecto pretende identificar y analizar el patrón cinemático normal durante el gesto técnico del lanzamiento del tejo como punto de partida para entender en un futuro los mecanismos de lesión.

2. Planteamiento del problema

Durante las últimas dos décadas y luego de la declaración del Tejo como deporte nacional en Colombia se han desarrollado varios trabajos de biomecánica del tejo, se ha estudiado el centro de gravedad del deportista, la fuerza aplicada al proyectil y el ángulo de lanzamiento(Arias et al., 2009), se ha descrito la relación de ángulos promedio de muslo-pierna, brazo-antebrazo e inclinación del tronco como parámetros enfocados en lograr un mejor desempeño(Contreras et al., 2013). Con respecto al proyectil y su trayectoria de lanzamiento, se realizó un estudio para identificar el ángulo de salida y llegada con mayor eficacia(Ramírez et al., 2014). Posteriormente Giraldo describe la cinemática del gesto técnico del lanzamiento enfocada en el hemicuerpo derecho, estableciendo 6 etapas, pero en las cuales no se señala un hito de inicio o fin que las separe ni tampoco el porcentaje de tiempo con respecto a la duración total del gesto(Giraldo, 2012).

En general, los estudios existentes de biomecánica del gesto técnico del lanzamiento del Tejo han descrito parte de la cinemática con objetivo mejorar el rendimiento y efectividad del deportista. Sin embargo, la cinemática sólo se ha analizado en el hemicuerpo derecho que realiza el lanzamiento y no existen estudios acerca del patrón regular que permita analizar el gesto de manera objetiva.

El Tejo, al ser un deporte de lanzamiento desde el hombro está relacionado a lesiones del mismo, de hecho, una cuarta parte de las lesiones del hombro suceden a causa de la práctica de deporte, con gran variabilidad en la población, siendo los varones jóvenes los más afectados, pero con un porcentaje significativo en población mayor de 60 años (Enger et al., 2018, 2019).

En Ortopedia es indispensable estudiar la biomecánica como pilar fundamental para entender el mecanismo de lesión, para lograr este enfoque clínico es imprescindible definir patrones cinemáticos regulares, puesto que la alteración de estos, son la causa de la mayoría de lesiones musculoesqueléticas(Chan et al., 2008).

3. Marco teórico

3.1. Cinemática

En el deporte, el lanzamiento es una actividad compleja puesto que hay una fuerza aplicada al proyectil que se transfiere por medio de una cadena cinética gracias al movimiento de distintos

segmentos corporales. En los deportes de lanzamiento esta cadena se inicia en los miembros inferiores, progresa hacia la cadera, tronco, se continúa en la extremidad superior en el hombro, codo y finaliza con la liberación del proyectil. Trabajos previos en el béisbol, lanzamiento de jabalina y saque de mano en el fútbol, por ejemplo, han descrito los patrones de movilidad articular, velocidad y aceleración regulares. Alteraciones en la secuencia de movimiento y disrupción en estos patrones está asociado a menor desempeño y generación de lesiones (S. K. Chu et al., 2016; Simms, 2015).

3.2. El Tejo

El Tejo Turmequé consiste en el lanzamiento por debajo del hombro de un disco metálico de aproximadamente 1600 gramos a un tablero cuadrado de 1 metro (m) por cada lado, inclinado, con una superficie de arcilla en cuyo centro se encuentra un cilindro metálico llamado bocín que representa el blanco del lanzamiento. La cancha del Tejo es un rectángulo de 19.5 m de largo, 2.5 m de ancho, con un área de lanzamiento cuadrada de 2.5 m en cada lado y se encuentra a 14.5 m del tablero ubicado en el extremo opuesto (Giraldo, 2012).

Un gesto técnico de lanzamiento similar al del Tejo es evidente en el deporte de bolos de 10 pinos. En la literatura se encuentran varios estudios biomecánicos enfocados en la fuerza del agarre, las fuerzas que se detectan en la bola de bolos, la razón de la curvatura del trayecto de la misma sobre la pista de bolos, la velocidad angular y rangos de movilidad articular durante el lanzamiento, sin embargo, tampoco se describe patrones cinemáticos normales (D. P. K. Chu et al., 2016; Frohlich, 2004; Fuss, 2009; Hon et al., 2009; Thomas et al., 1996).

En el Tejo el lanzamiento se realiza a una distancia de 14.5 metros desde el miembro superior dominante por medio de un gesto técnico que consiste según Cardenas y Restrepo en 8 fases, pero que posteriormente Giraldo simplifica en 6 momentos, a saber, posición inicial, primer apoyo, despegue segundo paso, máxima extensión del brazo, apoyo inicial del segundo paso, liberación del Tejo (Giraldo, 2012).

En este aspecto se requiere definir el inicio y final de cada etapa, identificar la duración de cada una de ellas y el porcentaje que representan con respecto a la totalidad del movimiento. En este mismo estudio se registró la mayor velocidad angular a nivel del hombro (Giraldo, 2012), este hecho lo posiciona como la articulación en la que sufre mayor estrés y que tiene prioridad para estudio, de ahí que sea necesario conocer los patrones cinemáticos regulares en este trabajo.

4. Objetivos

4.1. General

Identificar y analizar los patrones regulares de la cinemática corporal del gesto técnico del lanzamiento del Tejo.

4.2. Específicos

- Captura del movimiento tridimensional de la cinemática del cuerpo durante el gesto técnico del lanzamiento.
- Establecer los hitos de cada una de las etapas de lanzamiento.
- Procesamiento de datos inter e intrasujeto, por medio de herramientas estadísticas.
- Análisis de cada etapa del gesto técnico de lanzamiento del Tejo.

5. Metodología

5.1. Ámbito y sujetos

El trabajo se desarrolló en el centro de entrenamiento de la liga de Tejo de Bogotá, donde se cuenta con canchas que cumplen las medidas oficiales, se diseñó un estudio transversal descriptivo, en el que se incluyó 3 deportistas profesionales de la liga de Tejo de Bogotá, entre 25 y 39 años, uno de lateralidad izquierda y el resto derecha, sin lesiones 6 meses antes de la prueba, peso promedio de 77 ± 7.8 Kg y estatura de $1,72 \pm 7,1$ m.

5.2. Recolección de datos

Para la captura de movimiento y registro cinemático, se utilizó dos cámaras de alta velocidad para grabación de video a 120 frames, se posicionó una a dos metros del área del lanzamiento, paralela al plano sagital y otra cámara a 4 metros del área de lanzamiento paralela al plano coronal para luego ser analizados con el software de video Kinovea 0.9.5.

Para identificar adecuadamente el movimiento se establecieron los puntos de reparo para cada articulación de interés como se muestra en la **tabla 1**, según recomendaciones en trabajos previos que ya han validado la fiabilidad y validez del software para captura de movimiento (Fernández-González et al., 2020; Iijima et al., 2022; Puig-Diví et al., 2019).

Una vez obtenido el consentimiento informado, con un reposo previo de 24 horas libres de actividad deportiva, los participantes realizaron su calentamiento usual. Se realizó el registro de 5 lanzamientos por cada participante con un reposo de 1 minuto entre cada evento.

Se obtuvieron en total 15 registros, de los cuales se procesaron los tres mejores lanzamientos de cada deportista, para un total de tamaño de muestra de 9, estadísticamente significativo en estudios de biomecánica como se describe en los trabajos de Bates y Werner (Bates et al., 1992; Werner et al., 2005), ver flujograma (Figura 1). En el plano sagital se tuvo en cuenta las articulaciones del hombro y codo dominantes, caderas, rodillas y tobillos dominantes y no dominantes, junto con la inclinación del tronco. En el plano coronal se registró la cinemática de hombro y caderas bilateral, así como la inclinación lateral del tronco.

Articulación	Punto de reparo
Hombro	Acromion
Codo	Epicóndilo externo
Tronco	C7
Cadera	Troncánter mayor
Rodilla	Cóndilos femorales
Tobillo	Calcáneo - segundo metatarsiano

Tabla 1. Puntos de reparo articular para seguimiento en software de análisis de video.

5.3. Flujograma

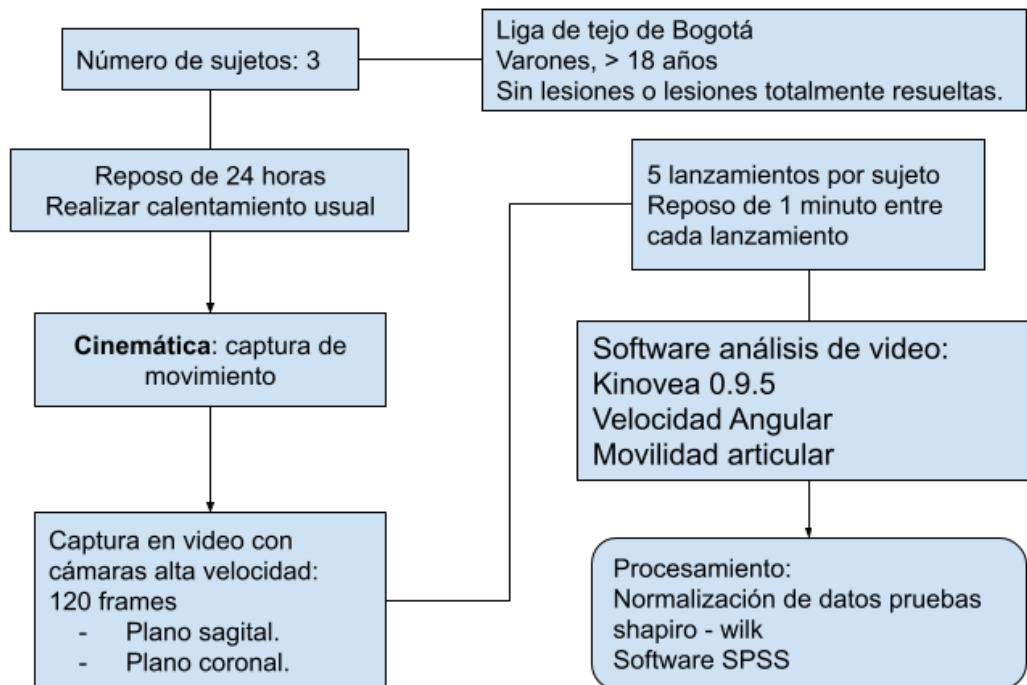


Figura 1. Flujograma de metodología

5.4. Análisis de datos

De los registros en el plano coronal y sagital se obtuvo un total de 15 variables con respecto a rangos de movilidad articular para las cuales se realizó análisis estadístico con el software SPSS 26.0.0.0, incluyendo prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al ser una muestra menor de 50 datos considerando un valor de $p < 0,05$ como estadísticamente significativo. Se obtuvo un resultado significativo en más del 89% de los datos por lo que se consideró datos con distribución normal.

6. Consideraciones éticas

Adoptando la normatividad colombiana para la investigación en seres humanos, resolución 8430 de 1993, en la cual se clasifican los estudios de investigación según las categorías de riesgo citadas en el artículo 11 de dicha resolución, este estudio se clasifica como: riesgo mínimo (Colombia & Ministerio de salud, 1993).

Este documento será sometido a revisión y aprobación por el comité de investigaciones y ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia.

Este estudio se realizará de acuerdo con el protocolo, buenas prácticas clínicas y otras regulaciones de privacidad pertinentes y las regulaciones del INVIMA que regulan la ejecución de los estudios clínicos y los principios éticos que tienen su origen en la Declaración de Helsinki.

Los investigadores tienen las habilidades técnicas requeridas para realizar el estudio. Durante la preparación de una presentación oral, póster o manuscrito únicamente se podrá acceder a los datos sin identificación para su revisión. No se compartirá información que permita la identificación de alguna población.

7. Resultados

La duración promedio todo el gesto de lanzamiento fué de 1113 ± 132 ms, la liberación del Tejo sucedió al $63 \pm 5\%$ del tiempo total del gesto. En el plano sagital se identificó el hombro dominante como la articulación con mayor rango de movilidad, con extensión máxima de $96 \pm 17^\circ$, flexión máxima de $120 \pm 16^\circ$, con una velocidad angular máxima durante la extensión del hombro de $1250 \pm 173^\circ/s$ (**Tabla 2**). El codo dominante presenta un rango de movilidad de con flexión máxima al inicio del gesto de $90 \pm 25^\circ$, pero que después se mantiene en extensión alcanzando una hiperextensión máxima de $8 \pm 8^\circ$. El tronco evidencia una flexión constante con un máximo de $38 \pm 11^\circ$ y mínima de $6 \pm 3^\circ$.

Velocidad angular	
Articulación	Promedio
Hombro d	$1251 \pm 173^\circ/s$
Tobillo d	$523 \pm 64^\circ/s$
Tobillo nd	$515 \pm 66^\circ/s$
Rodilla d	$350 \pm 95^\circ/s$
Rodilla nd	$292 \pm 42^\circ/s$
Codo d	$258 \pm 43^\circ/s$
Cadera d	$256 \pm 36^\circ/s$
Cadera nd	$201 \pm 28^\circ/s$
Tronco s	$94 \pm 45^\circ/s$

Tabla 2. Velocidad angular articular en el plano sagital. Leyenda: d:dominante, s:sagital, nd: no dominante y DS: desviación estándar

Con respecto al tren inferior, las caderas presentaron una flexión máxima de $64 \pm 15^\circ$ la dominante y de $42 \pm 1.8^\circ$ la no dominante con un rango mínimo de $6 \pm 3.8^\circ$ para dominante y de extensión $6 \pm 2^\circ$ para la no dominante que se alcanzan al final del lanzamiento. Las rodilla dominante alcanzó una flexión máxima durante la fase de no apoyo de $54 \pm 13^\circ$ y mínima de $6 \pm 4^\circ$ al final del gesto, la dominante una flexión máxima $35.8 \pm 28^\circ$ al final del movimiento y mínima de $15 \pm 9.2^\circ$. El tobillo dominante presentó una dorsiflexión máxima de $109 \pm 18.5^\circ$ luego de la liberación del Tejo, siendo 90° la posición neutro con una plantiflexión máxima de $76 \pm 4^\circ$ al en la primera mitad del movimiento, el tobillo no dominante presenta una plantiflexión máxima de $65 \pm 4.7^\circ$ con una plantiflexión máxima de $115 \pm 7.9^\circ$ (**Figuras 2 y 3**).

En el plano coronal los hombros presentaron una abducción máxima de $13 \pm 2.8^\circ$ del dominante y $43 \pm 17^\circ$ del no dominante y una aducción máxima de $7.5 \pm 4.5^\circ$ del dominante y de $26.7 \pm 6.8^\circ$ del no dominante. El tronco presentó una inclinación hacia el lado dominante máxima de $23 \pm 10^\circ$ y mínima de $14 \pm 5.4^\circ$. Las caderas alcanzaron una abducción máxima de $13.7^\circ \pm 2.2^\circ$ y aducción máxima de $3.4 \pm 12.8^\circ$ en el lado dominante, abducción máxima de $8 \pm 10^\circ$ con aducción máxima de $14 \pm 7^\circ$ en el lado no dominante (**Figuras 2 y 3**).

Con respecto al tren inferior se debe destacar que los participantes realizaron entre un y dos pasos para la ejecución del gesto, lo cual limita su interpretación, de tal forma que se considera que las fases de lanzamiento descritas en trabajos previos (Giraldo, 2012) deben replantearse y enfocarse en la articulación del hombro como la protagonista de este gesto de lanzamiento. En general hay dos hitos que se identifican fácilmente, la extensión y la flexión máximas del hombro, lo que nos permite dividir el gesto en tres fases.

La primera fase de extensión que inicia con tronco inclinado hacia anterior, el hombro comienza a extenderse hasta llegar a la extensión máxima, el codo va iniciar su extensión la cual mantiene hasta el final del gesto técnico. El tren inferior realiza un avance sea con uno o dos pasos, pero que al final de esta fase se presenta con el miembro inferior dominante en fase de balanceo. En el plano coronal se hace evidente la inclinación lateral y progresiva del tronco hacia el lado dominante (**Figura 4**).

La segunda fase de flexión se inicia el hombro totalmente extendido y finaliza con la flexión máxima del mismo. El hombro inicia la flexión logrando la velocidad angular máxima durante la liberación del tejo, el codo está totalmente extendido o hiperextendido y se mantiene en esa posición durante esta etapa, el tronco logra su inclinación anterior y lateral hacia el lado dominante máximas en esta fase, en el momento en que el tejo se encuentra más cercano al suelo y posteriormente disminuye su

inclinación lateral y anterior a medida que aumenta la flexión del hombro. En el lado dominante la rodilla pasa de flexión a extensión con la consiguiente plantiflexión del tobillo dominante que coincide con la liberación del tejo, al final de esta fase el miembro inferior no dominante se encuentra elevado del suelo con el tobillo en plantiflexión, la rodilla y cadera en flexión.

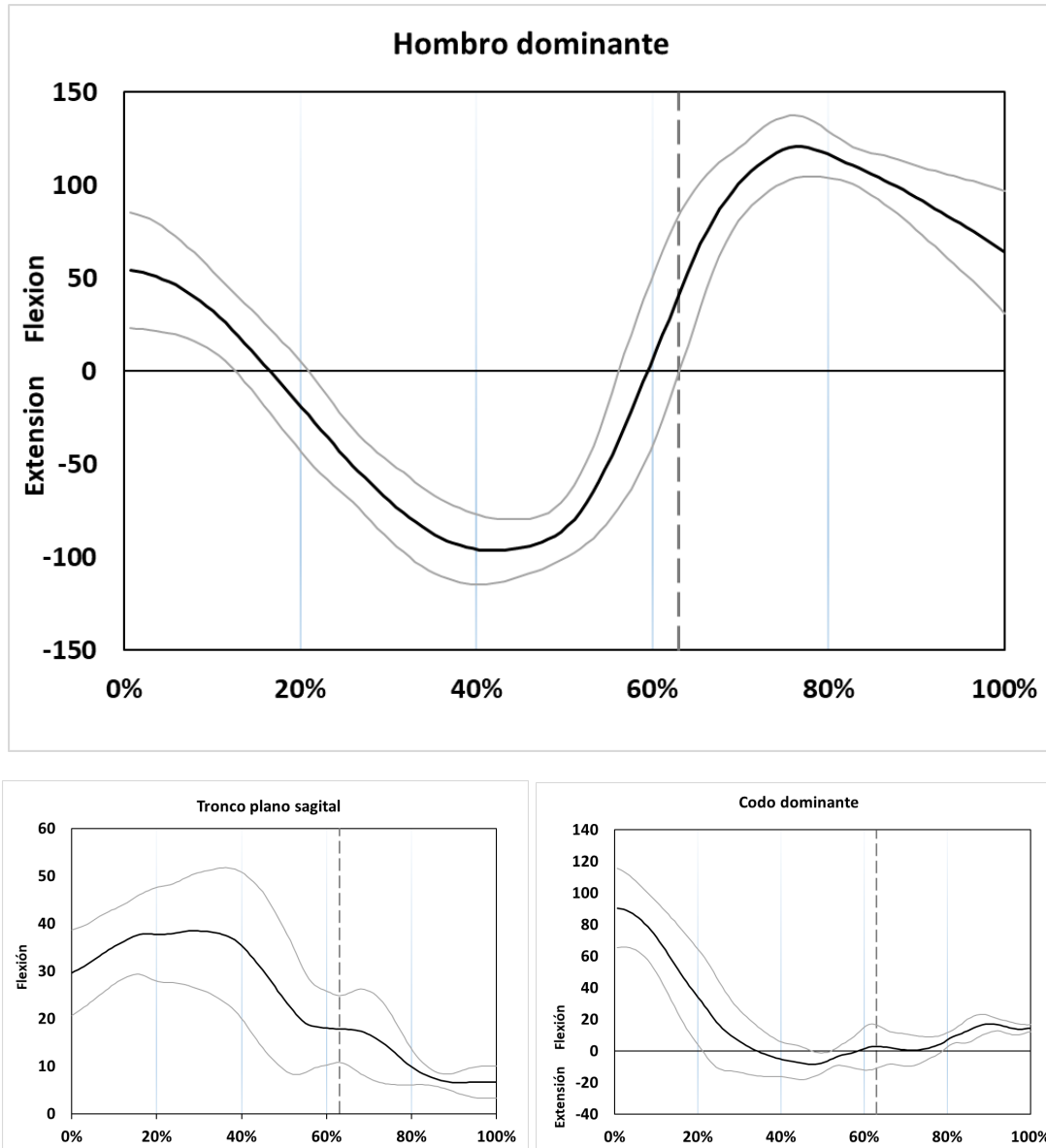


Figura 2. Cinemática del tren superior en el plano sagital, la línea negra marca el rango de movilidad en grados, la línea gris representa la desviación estándar, la línea vertical punteada marca la liberación del tejo. La fase de extensión comprende hasta el 41%, la fase de flexión entre el 41% y el 77% del gesto y la fase de relajación a partir del 77%.

La última fase de relajación que inicia con la extensión máxima del hombro, en esta etapa se disminuye en menor velocidad la inclinación alterar y anterior del tronco, la extensión del hombro, la abducción de las caderas y rodillas, en dirección a sus posiciones neutras, el miembro inferior no dominante retorna al suelo con el tobillo en plantiflexión y el codo realiza una ligera flexión.

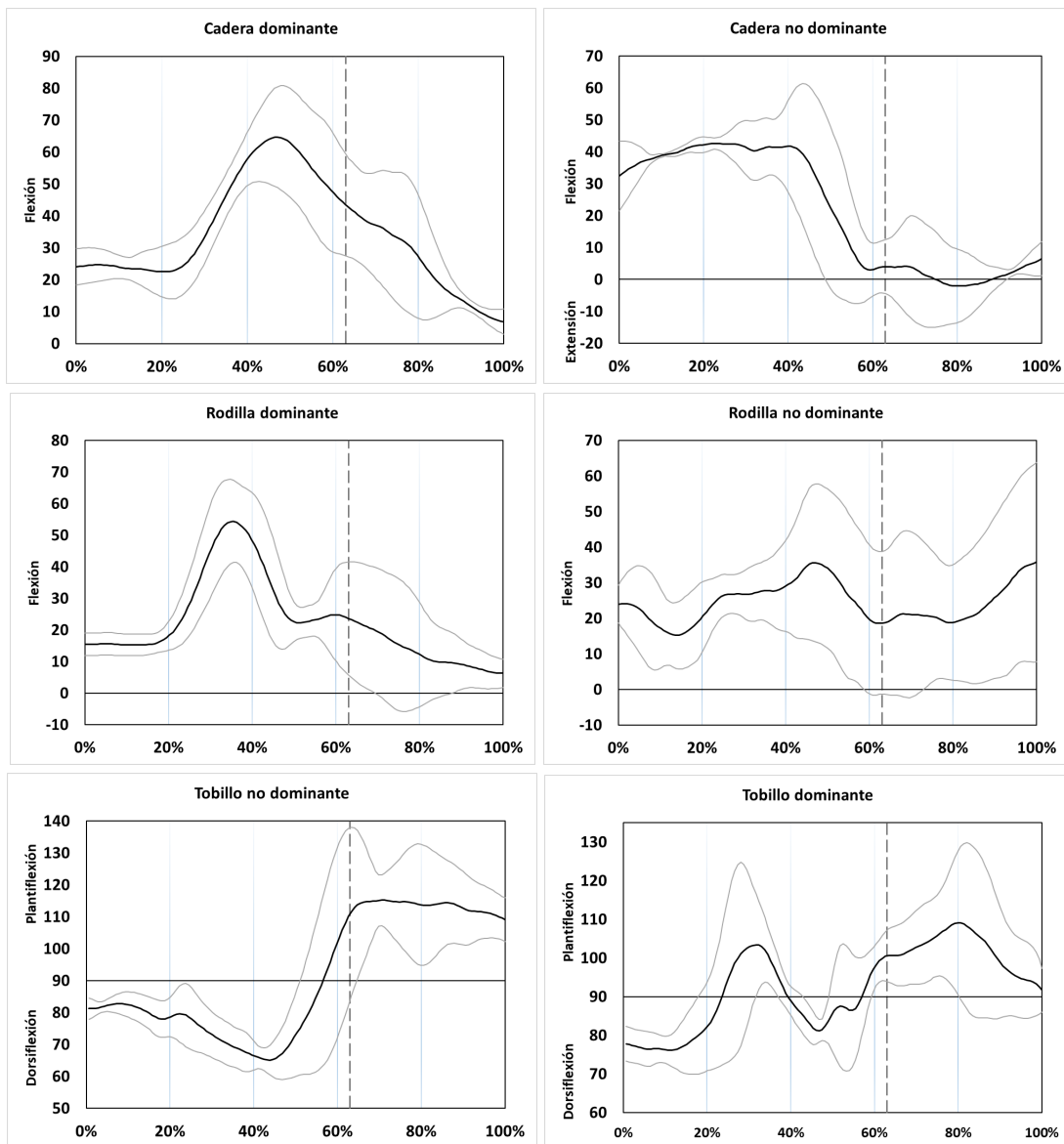


Figura 3. Cinemática del tren inferior en el plano sagital, la línea negra marca el rango de movilidad en grados, la línea gris representa la desviación estándar, la línea vertical punteada marca la liberación del tejo. Nótese que los tobillos se coordinan al realizar plantiflexión justo antes de la liberación del Tejo, así mismo las caderas y las rodillas se desplazan hacia la extensión en el mismo momento.

En estas tres fases es posible identificar una cadena cinemática clara que se transmite la energía justo antes de la liberación del tejo, desde el tren inferior hacia el superior, con la plantiflexión del tobillo y la extensión de la rodilla dominantes, inicio de extensión del tronco con disminución de la inclinación lateral y finalmente la flexión del hombro.

Sin embargo, al presentarse además la mayor velocidad angular en el hombro, en segundo lugar en el tobillo y tercer lugar la rodilla, estas articulaciones estarían en mayor riesgo de lesión al ser las que más estrés sufren en el orden mencionado.

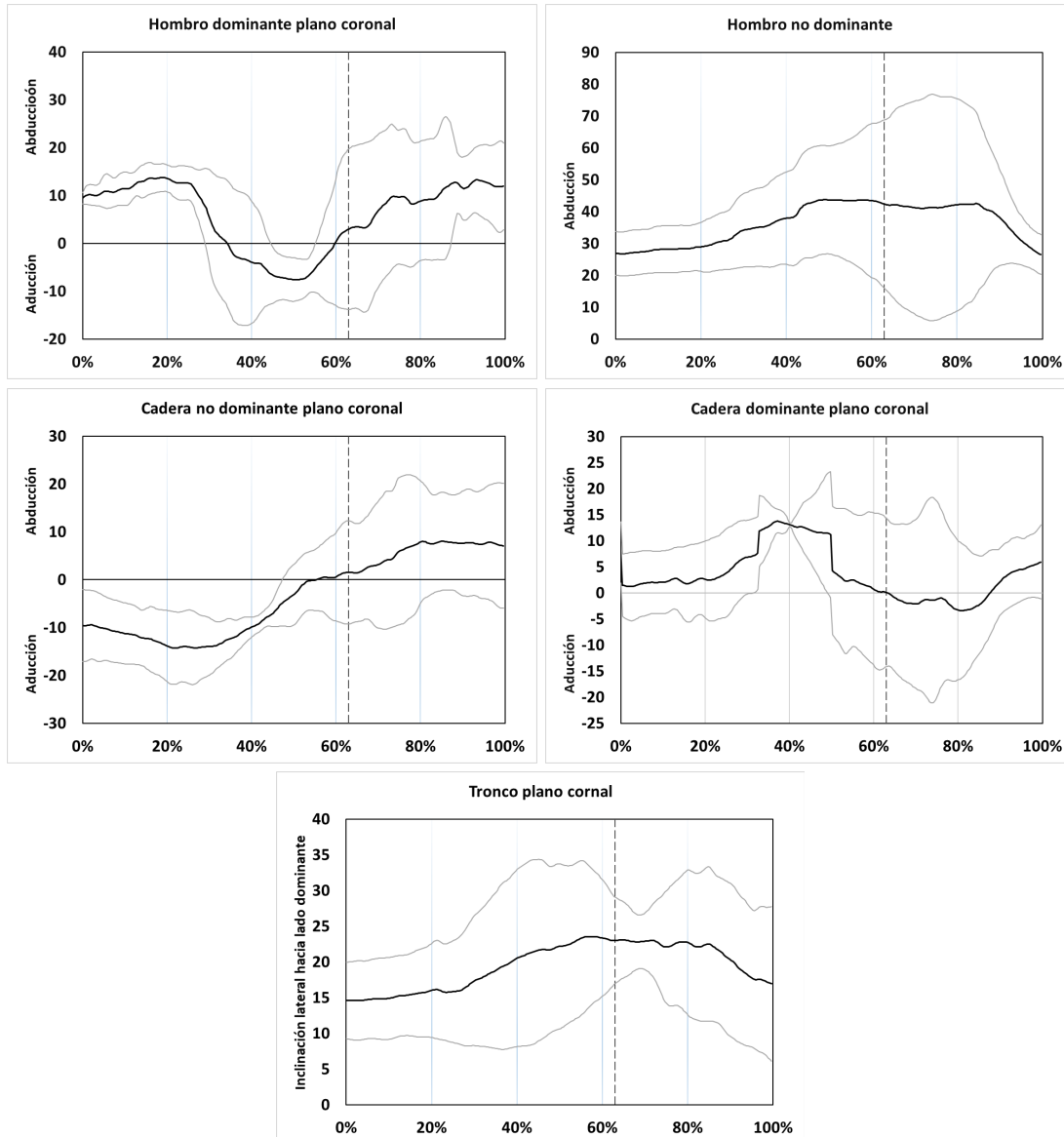


Figura 4. Cinemática del del plano coronal, la línea negra marca el rango de movilidad en grados, la línea gris representa la desviación estándar, la línea vertical punteada marca la liberación del tejo, nótese la incongruencia en la cadera dominante, esto es debido a la variedad de movimiento entre uno y dos pasos de los participantes.

8. Conclusiones

El gesto técnico de lanzamiento del tejo presenta una cadena cinética que compromete el tren inferior y superior para la transmisión de la energía, en la que la velocidad angular máxima se desarrolla en el hombro dominante, lo cual aumentaría el riesgo de lesión a este nivel. El tronco presenta un papel importante en la transmisión de energía en la cadena cinética desde el tren inferior hacia el superior. La variabilidad en número de pasos limita su uso para la definición de etapas, por lo cual se definió tres etapas dependientes de la movilidad del hombro dominante.

Estudios posteriores con unidades de movilidad inercial deberían permitir la evaluación del plano transversal de las rotaciones en los distintos segmentos corporales, además de el estudio con electromiografía, especialmente del hombro son necesarios para completar la caracterización cinemática del gesto técnico.

9. Conflictos de interés

Los investigadores no declaran tener conflictos de interés.

10. Propiedad intelectual

La investigación y los aportes que esta pueda generar son avalados y de propiedad intelectual del grupo de Investigación de la Unidad de Ortopedia y Traumatología de la Universidad Nacional de Colombia.

La autoría del presente trabajo será de los investigadores principales y coinvestigadores. Además si el trabajo deriva en una publicación serán autores los investigadores principales y coinvestigadores, y quienes hayan participado en la elaboración de la investigación.

Bibliografía

- Arias, J. A. G., B, J. B. P., & Arias, R. G. (2009). Biomecánica aplicada en el tejo como disciplina deportiva. *Scientia et Technica*, 3(43), Art. 43. <https://doi.org/10.22517/23447214.2321>
- Bates, B. T., Dufek, J. S., & Davis, H. P. (1992). The effect of trial size on statistical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(9), 1059-1065.
- Chan, K.-M., Fong, D. T.-P., Hong, Y., Yung, P. S.-H., & Lui, P. P.-Y. (2008). Orthopaedic sport biomechanics – a new paradigm. *Clinical Biomechanics*, 23, S21-S30.
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.10.007>
- Chu, D. P. K., Zhang, B., & Mau, K. (2016). TENPIN BOWLING TECHNIQUE ON ELITE PLAYERS. *ISBS - Conference Proceedings Archive*. <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/634>
- Chu, S. K., Jayabalan, P., Kibler, W. B., & Press, J. (2016). The Kinetic Chain Revisited: New Concepts on Throwing Mechanics and Injury. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 8(3 Suppl), S69-77. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.11.015>
- Colombia, & Ministerio de salud. (1993). *Resolución 8430 de 1993 (octubre 4): Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud*. Bogota D.C.
- Contreras, D., García, O., & García, O. (2013). PARÁMETROS CINEMÁTICOS DEL LANZAMIENTO DE TEJO Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO. *ACTIVIDAD FÍSICA Y DESARROLLO HUMANO*, 4(1), Art. 1. <https://doi.org/10.24054/16927427.v1.n1.2012.346>
- Enger, M., Skjaker, S. A., Melhuus, K., Nordsletten, L., Pripp, A. H., Moosmayer, S., & Brox, J. I. (2018). Shoulder injuries from birth to old age: A 1-year prospective study of 3031 shoulder injuries in an urban population. *Injury*, 49(7), 1324-1329.
<https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.05.013>
- Enger, M., Skjaker, S. A., Nordsletten, L., Pripp, A. H., Melhuus, K., Moosmayer, S., & Brox, J. I. (2019). Sports-related acute shoulder injuries in an urban population. *BMJ Open Sport* —

Exercise Medicine, 5(1). <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000551>

- Fernández-González, P., Koutsou, A., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Miangolarra-Page, J. C., & Molina-Rueda, F. (2020). Reliability of Kinovea® Software and Agreement with a Three-Dimensional Motion System for Gait Analysis in Healthy Subjects. *Sensors*, 20(11), Art. 11. <https://doi.org/10.3390/s20113154>
- Frohlich, C. (2004). What makes bowling balls hook? *American Journal of Physics - AMER J PHYS*, 72, 1170-1177. <https://doi.org/10.1119/1.1767099>
- Fuss, F. K. (2009). Design of an instrumented bowling ball and its application to performance analysis in tenpin bowling. *Sports Technology*, 2(3-4), 97-110. <https://doi.org/10.1002/jst.104>
- Giraldo, M. A. R. (2012). *ANÁLISIS CINEMÁTICO EN 3D DE LANZAMIENTO DEL TEJO EN DEPORTISTAS FINALISTAS DEL LIV CAMPEONATO NACIONAL MAYORES MASCULINO*. 105.
- Hernandez, C. A., & Murillo Valderrama, N. (2012). *ANÁLISIS DOCUMENTAL Y BIBLIOGRÁFICO SOBRE EL JUEGO DEL TEJO O AL TURMEQUÉ* [Trabajo de grado]. Universidad Pedagógica Nacional.
- Hon, T. M., Senanayake, S. M. N. A., & Flyger, N. (2009). Biomechanical analysis of 10-pin bowling using wireless inertial sensor. *2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 1130-1135. <https://doi.org/10.1109/AIM.2009.5229738>
- Iijima, S., Shiomi, M., & Hara, T. (2022). Verification of Reliability and Validity of Trunk Forward Tilt Angle Measurement During Gait Using 2-Dimensional Motion Analysis. *Journal of Chiropractic Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2022.04.008>
- Jancosko, J. J., & Kazanjian, J. E. (2012). Shoulder Injuries in the Throwing Athlete. *The Physician and Sportsmedicine*, 40(1), 84-90. <https://doi.org/10.3810/psm.2012.02.1954>
- Montoya Cadavid, J. A., Hernández Beltrán, M., & Bedoya Ruiz, J. M. (2018). *Prevalencia de lesiones osteomusculares en deportistas Indeportes Antioquia 2005—2015*. <https://repository.ces.edu.co/handle/10946/3860>

- Pico Sánchez, M. A. (2016). La practica del tejo como estrategia de inclusión social en la persona mayor. *reponame:Repositorio Institucional de la Universidad Pedagógica Nacional*.
<http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/2696>
- Puig-Diví, A., Escalona-Marfil, C., Padullés-Riu, J. M., Busquets, A., Padullés-Chando, X., & Marcos-Ruiz, D. (2019). Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PloS One*, *14*(6), e0216448.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216448>
- Ramírez, J. J. A., Quintero, J. H., & Medina, M. A. R. (2014). Influencia cinemática del ángulo de salida y ángulo de llegada en la técnica del lanzamiento efectivo en el tejo. *Cuerpo, Cultura y Movimiento*, *4*(1), Art. 1. <https://doi.org/10.15332/s2248-4418.2014.0001.02>
- Simms, C. (2015). Injury biomechanics. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, *41*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2014.11.008>
- Thomas, P. R., Schlinker, P. J., & Over, R. (1996). Psychological and psychomotor skills associated with prowess at ten-pin bowling. *Journal of Sports Sciences*, *14*(3), 255-268.
<https://doi.org/10.1080/02640419608727709>
- Villaquirán, A. F., Dorado, E. P., & Vernaza, P. (2016). Caracterización de la lesión deportiva en atletas caucanos con proyección a Juegos Deportivos Nacionales. *Universidad y Salud*, *18*(3), Art. 3.
<https://doi.org/10.22267/rus.161803.59>
- Werner, S. L., Guido, J. A., McNeice, R. P., Richardson, J. L., Delude, N. A., & Stewart, G. W. (2005). Biomechanics of Youth Windmill Softball Pitching. *The American Journal of Sports Medicine*, *33*(4), 552-560. <https://doi.org/10.1177/0363546504269253>