

**CARACTERIZACIÓN BIOMÉCANICA DEL MOVIMIENTO DE TIRO DE CAMPO EN
BALONCESTO**

SERGIO ORLANDO ARANGO RODRÍGUEZ

Trabajo Dirigido

Tutor

Ing. Luis Eduardo Rodríguez Cheu

Cotutor

Ing. Wilson Alexander Sierra Arévalo



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2022-1**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerme a mí por creer en mí, quiero agradecerme por haber hecho todo este duro trabajo. Quiero agradecerme por no descansar ni rendirme. El plan siempre fue sacar la carrera lo más rápido posible. No fue un objetivo, fue una visión. Ni siquiera una visión, fue algo sabido desde el primer día. No había plan B. Quiero agradecerme por eso: por saber y tener la clara certeza desde el 2018-1, que mis decisiones me llevarían a recibir un diploma en el 2022-2. Quiero agradecerme porque académicamente, siempre estuve solo y aun así logré pasar cada reto y cada semestre. Casi nunca pude estudiar en grupo, y esos grupos eran esporádicos. No podía contar con la misma gente el 100% de las veces, por lo que tenía que adaptarme al ambiente. Quiero agradecerme por eso. Quiero agradecerme por llevar a cabo mi carrera deportiva al tiempo con la académica. Seguramente no tendré el promedio más alto, ni siquiera en la clase del 2022-2, pero me conformo con saber que sí tengo uno envidiable y que al mismo tiempo competía a alto nivel con dos equipos. Eso no lo puede decir cualquiera. Muchas veces fracasamos en darnos una palmada propia en la espalda, y este es el momento para hacerlo.

Agradezco a mis padres por haberme brindado los recursos económicos y emocionales para llevar a cabo mi carrera, por apoyarme en mis decisiones, compartir mi visión y corregirme cuando fuera necesario. Por haber sacrificado tanto para yo poder estudiar en este programa. Por haber permitido enfocarme en mis estudios como lo pensábamos hacer y por no permitir que ningún obstáculo fuera de lo académico se pusiera en medio del camino. Agradezco a Edilma Calvo por alimentarme y cuidarme y aguantarme a mí a mis padres por más de 10 años. Agradezco al deporte del baloncesto porque con base a él construí mi personalidad.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Motivación	5
2. OBJETIVOS	7
2.1. General.....	7
2.2. Específicos	7
3. ESTADO DEL ARTE.....	7
3.1. Fundamentos del baloncesto	7
3.2. Técnica de lanzamiento en el baloncesto	9
3.3. Estado del arte en investigación sobre la técnica de lanzamiento en baloncesto.....	11
3.4. Declaración de problemática.....	18
3.5. Memoria muscular y relación con el baloncesto.....	20
4. METODOLOGÍA	21
4.1. Sujetos	21
4.2. Ubicación Geográfica del Estudio.....	22
4.3. Cronograma y periodo de duración del estudio	22
4.4. Instrumentación.....	22
4.5. Protocolo	23
4.5.1. Disposición de instrumentación	23
4.5.2. Calentamiento	24
4.5.3. Colocación de marcadores	24
4.5.4. Procedimiento	25
4.6. Variables de investigación	26
4.7. Procesamiento de datos y análisis estadístico.....	27
4.8. Protocolos de bioseguridad	29
5. RESULTADOS	30
5.1. Pruebas antropométricas y resultados de efectividad de tiros.....	30
5.2. Resultados del procesamiento de datos e información capturada por el sistema VICON.....	32
5.2.1. Tablas de comparación entre tiros anotados y fallados	33
5.2.2. Tablas de comparación entre sujetos	35
5.3. Análisis estadístico	38
5.4. Apreciación gráfica del lanzamiento.....	39
6. DISCUSIÓN.....	40

6.1.	Comparación entre tiros anotados y fallados	41
6.2.	Comparación entre sujetos	42
6.2.1.	Fase de preparación	42
6.2.2.	Momento de despegue.....	42
6.2.3.	Fase de lanzamiento	45
6.3.	Correlación estadística	46
6.4.	<i>Loop</i> de la mano	46
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	47
8.	CONCLUSIONES	48
	REFERENCIAS	49
	ANEXOS.....	53

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se provee una contextualización de la problemática con respecto a la optimización de la mecánica y la técnica del lanzamiento de baloncesto en jugadores aficionados y profesionales. Se mencionan algunas de las soluciones que se están proponiendo desde la ingeniería, la rehabilitación, la ciencia de deportes, entre otros campos. Estas soluciones están dadas desde distintas herramientas de video, caracterización biomecánica digital, etc. Por otra parte, se hablará de las características y el protocolo que deberían de tener los estudios, así como un breve estudio del estado del arte con relación a las herramientas informáticas, programas e instrumentación para este tipo de aplicaciones y se planteará una pregunta de investigación. Al final de este capítulo, se expondrán los objetivos y la organización del documento.

1.1. Motivación

El baloncesto es actualmente el tercer deporte más jugado en todo el mundo, con más de 2200 millones de personas que lo practican [1], con casi 100000 de ellos compitiendo en un nivel universitario alto o profesional [2]. Con esa cantidad tan numerosa de población observando a los mejores en la materia, es indispensable desarrollar y publicar aspectos que puedan mejorar la calidad del juego no sólo en el nivel de entretenimiento, sino también en el de competencia, tanto colectiva como individual. Desde esta individualidad, los entrenamientos son el Core del progreso del jugador en el juego, ya sea el físico, táctico, técnico y mental, siempre tienen en cuenta las características fisiológicas y anatómicas del cuerpo del jugador (antropomorfas o antropoides).

El entrenamiento táctico permite comprender las distintas situaciones que suceden en ambiente de competencia para tomar decisiones efectivas. El mental se centra en el control de pensamientos y emociones que surgen en el deportista en estas situaciones; el físico comprende el fortalecimiento de las habilidades corporales básicas que se necesitan para el rendimiento en el deporte (fuerza muscular, pliometría, velocidad, etc.). Finalmente está el entrenamiento técnico, que es el que se centra en la práctica de los movimientos básicos que se ejecutan en el deporte. En el caso del baloncesto, los principales son el drible o rebote del balón, el pase, el desplazamiento en la defensa y el lanzamiento.

En el baloncesto, el lanzamiento del balón es el movimiento básico para hacer un intento de anotación en la canasta, por lo que es el que más se desarrolla y entrena en el jugador. Incluso los mejores tiradores en la actualidad siguen lanzando repetidas veces al día, así ya logren todas las anotaciones durante el entrenamiento [3]. Por esta razón, ha sido crucial la aplicación de herramientas tecnológicas para el análisis de esta mecánica desde un entorno digital y cuantificable, con variables físicas reales que permitan detectar posibilidades de optimización y mejora en los jugadores, así como la caracterización de dichas variables para evaluar los elementos que tienen en común los mejores jugadores.

Se puede mencionar que este análisis, históricamente, ha tenido dos alcances: el cinemático hacia el balón y el que se realiza teniendo como base al jugador. En el primero, se ha tenido en cuenta el análisis cinemático que incluye variables como ángulo de lanzamiento, velocidades inicial y final del balón (velocidad final definiéndose como la alcanzada antes de tocar el aro o pasar a través de él), máxima altura del arco realizado por el balón durante el lanzamiento, posición en el aro a la que llega el balón, etc. [4]. Por

otro lado, el segundo análisis se centra en el jugador, que comprende más tipos de variables dependiendo de las herramientas utilizadas, como las cinemáticas de distintas articulaciones o el cuerpo como un todo [5]; las señales de electromiografía EMG [6], desde el punto de vista cinético las fuerzas de impulso y caída, medidas en plataformas de fuerza [7], entre otras.

La instrumentación definida como gold-standard utilizada para la extracción de variables han sido sistemas optoelectrónicos que incluyen la cámara de video, con la que se obtienen fotogramas para analizar parámetros de movimiento tanto de balón como de jugador. Sin embargo, con el paso de los años se han utilizado sensores de EMG [6], plataformas de fuerza [7], y, gracias al desarrollo de la tecnología de video, las cámaras han evolucionado para estas aplicaciones. Hoy se usan distintos softwares, equipamiento de cámaras y el uso de marcadores de posición para un análisis más específico y completo de los segmentos del cuerpo humano [5].

Los estudios biomecánicos usados hasta el momento se han centrado en la una caracterización biomecánica del lanzamiento de los jugadores, de modo que se pueda crear un modelo estandarizado para la realización efectiva del lanzamiento de media a larga distancia, en relación con la efectividad en el tiro. El principal problema que se ha visto hasta el momento con estos estudios hace referencia a que las variables son dependientes de las características antropomórficas y de la condición física de los jugadores [8]. No únicamente existe ese inconveniente, sino que la mayoría de los estudios tienen como protocolo el análisis del tiro libre, o cuando mucho, de media distancia, sin tomar en cuenta los tiros de tres puntos, que cada día están siendo más relevantes.

Por lo tanto, el problema está en la falta de establecimiento y descubrimiento de variables no influidas por condiciones intrínsecas del jugador y para su solución, se propone que para el análisis biomecánico se utilicen variables que sean independientes de dichas condiciones, y que al mismo tiempo sean intrínsecas al jugador. También es importante que este análisis sea realizado en una distancia de tres puntos para evaluar la variabilidad de la mecánica en función, no únicamente de los recursos que utiliza el jugador para tener tanto puntería como fuerza, sino también de la fatiga que va adquiriendo el jugador después de realizar bastantes repeticiones en una práctica. Tal es el propósito del autor y su grupo de investigación.

Sin embargo, debido a que en la búsqueda bibliográfica se han encontrado muy pocos estudios relacionados con la solución propuesta, la pregunta de investigación precisamente recae allí: ¿Qué variables pueden ser útiles para el estudio universal de la cinemática del lanzamiento sin importar las condiciones antropomórficas de un jugador? ¿Y en qué rango numérico se deben ubicar las mismas para que, combinadas, puedan significar un lanzamiento efectivo de larga distancia, más específicamente la de tres puntos?

2. OBJETIVOS

2.1. General

Determinar a través de análisis biomecánico de los segmentos del cuerpo de jugadores universitarios de baloncesto, las características más importantes y necesarias de un movimiento efectivo de tiro de tres puntos en el deporte del baloncesto

2.2. Específicos

- a) Determinar las variables mecánicas que puedan caracterizar el gesto del lanzamiento excluyendo las condiciones físicas del jugador como altura, peso, envergadura o longitud de las extremidades, a partir de lo revisado en el estado del arte.
- b) Establecer la comparación de lanzamientos efectivos contra no efectivos en sujetos con remarcada experiencia, experticia y efectividad en el tiro de larga distancia, así como los parámetros cinemáticos de cada deportista.
- c) Comprobar la importancia del movimiento de muñeca para el lanzamiento que se estableció en la búsqueda de literatura.
- d) Identificar una relación entre la cinemática de las articulaciones de miembros inferiores y superiores con los aciertos en los lanzamientos.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Fundamentos del baloncesto

El baloncesto es un deporte de conjunto jugado en una cancha cerrada que tiene las dimensiones de 28x15m entre 2 equipos de 5 jugadores cada uno. En cada extremo de la cancha se ubica una canasta o aro a 3.05 m (10 ft), cuyo perímetro está paralelo al suelo, acompañada de un tablero rectangular de 1.83x1.22 m (72x48 in) cuya superficie es perpendicular al suelo. A cada equipo se le asigna un lado de la cancha que debe defender, entendiendo como defensa el impedir que el equipo contrario anote en dicho aro. Se cuenta como una anotación el pasar el balón a través del aro de arriba hacia abajo [9].

El objetivo del baloncesto está en realizar el mayor número de puntos a través de anotaciones dentro del tiempo reglamentario, con respecto a las anotaciones del equipo oponente [9]. Todo esto se realiza a través de la mencionada defensa, impidiendo que el otro equipo anote; y el ataque, que es la situación en la que el equipo tiene el balón y debe anotar en la canasta que defiende el oponente.

Para movilizar el balón a través de la cancha, el equipo en posesión debe seguir un marco reglamentario. Por un lado, el jugador con el balón no puede correr, a menos que esté constantemente rebotándolo contra el suelo, únicamente de este modo puede acercarse a la canasta contraria y anotar [10]. Una vez el jugador deje de rebotar el balón, o driblar, solo

puede lanzarlo hacia el aro para anotar, o pasarlo a un compañero, desde el lugar donde dribló el balón por última vez. Para esta regla, hay una excepción llamada “doble salto” o “doble ritmo”; es un momento donde el jugador puede dar dos pasos después de que dejó de driblar el balón, pero es válido cuando el jugador evidentemente lleva un impulso previo [11]. Esta consiste en dar dos pasos sin tener que driblar el balón para acercarse al aro, y finalmente soltar el balón antes de caer después de dar el segundo paso.

En el baloncesto hay varias causas por las que el equipo que tiene el balón puede perderlo, entre las cuales se incluyen: incumplir las reglas mencionadas previamente, ya sea reiniciar el drible del balón una vez lo haya parado un solo jugador, dar más de dos pasos con el balón sin driblarlo, saltar con el balón sin soltarlo una vez se aterrice o que el equipo mantenga posesión del balón por 24 segundos sin haber lanzado [10] [9]. Igualmente, el equipo puede perder posesión si los defensas le roban el balón, o si el balón rebota fuera del área de la cancha y el último jugador que lo tocó hacía parte del equipo que atacaba. Estos son unos ejemplos de causal de pérdida de balón.

De acuerdo con la situación y el lugar de donde se haya lanzado el balón, una canasta puede equivaler a un punto, dos puntos o tres puntos [9] [10]. Las anotaciones de dos puntos son las más comunes, ya que son las que se realizan en la gran mayoría del área de la cancha donde fluye el ataque, que es el área de dos puntos (ver figura 1).



Figura 1. Áreas de tres puntos y dos puntos y su ubicación con respecto al aro. Imagen tomada de [12].

Si se anota un lanzamiento de fuera del área de dos puntos, equivaldrá a tres puntos. En muchas situaciones del juego, se presentan faltas pitadas por los árbitros; dependiendo de la situación del juego, esta falta favorece al equipo al que se le cometió la falta, que tendrá la posibilidad de enviar a un jugador a un punto de la cancha en el que puede hacer uno, dos o tres lanzamientos [9] [10]. Estos lanzamientos no son defendidos por el oponente, y la anotación de estos equivalen a un punto. En la teoría del deporte, existen varias técnicas utilizadas por los jugadores para realizar tiros de dos puntos, dependiendo más que todo de la distancia en la que se encuentre el jugador del aro en el momento del lanzamiento, como el tiro de gancho o el dunk [13]. Una tercera es el ya mencionado doble ritmo, cuyo lanzamiento se denomina bandeja y se ejecuta en casi todos los casos en los que se está muy cerca del aro. Otra adicional es el tiro de campo o lanzamiento. En esta, el jugador se encuentra usualmente a una distancia media a larga del aro. Existe una tercera forma de la que se puede decir que es la combinación de doble ritmo y el lanzamiento, que se llama flotadora. Sin embargo, el tipo más usado de anotación de media y larga distancia es por lejos el tiro de campo, o lanzamiento [14], por lo que es crucial investigarlo y optimizarlo para que los jugadores saquen el máximo provecho de este en situaciones de juego y competencia.

3.2. Técnica de lanzamiento en el baloncesto

Desde la creación de este deporte, el baloncesto ha evolucionado y cambiado, y se ha expandido a todo el globo terráqueo. Asimismo, las técnicas relacionadas con el tiro han ido cambiando hasta el estándar del lanzamiento que se conoce hoy. El baloncesto lo inventó James Naismith en 1891. En esos primeros años los entrenadores enseñaban que el método de encestar la pelota desde muy lejos implicaba tener ambos pies en el suelo en todo momento. No obstante, los tiros de campo se empezaron a ver en las canchas a partir de la década de 1930, cuando una nueva técnica de salto en el tiro fue ideada por jugadores “callejeros” [15]. Desde esos años, el tiro ha ido adquiriendo lentamente, no sólo la forma estándar, sino también variaciones del tiro con salto, así como se le conoce hoy.

La base del tiro de campo en baloncesto actual se compone de diferente cantidad de fases según la fuente que se consulte, a pesar de que todos comparten la misma idea con la misma mecánica. Respecto en el componente observacional de lo que corresponde al deporte, este tiro puede tener las siguientes fases [8]:

1. **Preparación:** La fase de preparación comienza apenas cuando el jugador recibe la pelota después de un pase o haber estado driblando el balón, y mentalmente se proyecta para la realización del tiro. En cuanto al movimiento, la mano dominante tiene que estar abierta y firme, para que se ubique entre el balón y el jugador. La mano débil sirve como apoyo para el lanzamiento y se posiciona de manera ipsilateral al balón. Simultáneamente, los pies y la cadera se alinean de manera que el torso se encuentre perpendicular al aro y las puntas de los pies estén apuntando al mismo. Esto se realiza con un salto y un aterrizaje a uno o dos pies, dependiendo de la comodidad del jugador. Para optimización de la rotación de la pelvis, tronco y hombros, el pie del lado fuerte se posiciona un poco delante del otro. Acto seguido, las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo realizan una flexión con tal de obtener fuerza de impulso para el salto. Todo esto para realizar una sentadilla presalto de la que se toma impulso para proporcionar energía al lanzamiento.
2. **Fase de elevación del balón:** El balón es llevado de la altura de la cadera hacia una altura superior, casi siempre sobre la frente, mediante una flexión del hombro a un ángulo de 90° a 135°. Igualmente, para la alineación del tiro, se realizan

movimientos del brazo, antebrazo y la muñeca. Para finalizar esta fase, los segmentos del tren inferior que estaban en posición de sentadilla empiezan a extenderse para ejecutar un salto, convirtiendo la energía potencial en cinética.

3. **Fase de estabilidad:** Mientras que las extremidades inferiores continúan en extensión, la muñeca hace lo propio mediante una hiperextensión, de modo que aprovecha la fuerza elástica generada por la oposición resultante para realizar una flexión que colabora y aporta energía al tiro. El jugador se despega del piso y empieza a tomar vuelo.
4. **Fase de liberación del balón:** En el tronco superior, ocurre una extensión total de la articulación del codo, mientras que la muñeca acaba su flexión y los dedos igualmente se flexionan para soltar el balón. Esta extensión del brazo se realiza de modo que termine a 52° del piso aproximadamente [16], y que el balón adquiera un movimiento parabólico en dirección al aro, con una rotación hacia atrás (teniendo como referencia al mismo jugador). La acción de soltar el balón ocurre mientras se van flexionando la muñeca y los dedos de la mano. El brazo de apoyo, teóricamente, no se mueve en ningún momento, aunque se ha visto que los jugadores de élite lo extienden como acompañamiento a la extensión del brazo fuerte, e incluso que proporciona una pequeña fuerza adicional rotando el pulgar [17].
5. **Fase de seguimiento:** La fase de seguimiento ocurre cuando se ejecuta completamente la extensión del brazo dominante y se aterriza en el piso, dejando totalmente flexionadas tanto muñeca como dedos de la mano. Acá el jugador aterriza del vuelo.

Las fases descritas anteriormente se pueden apreciar mejor en la figura 2.

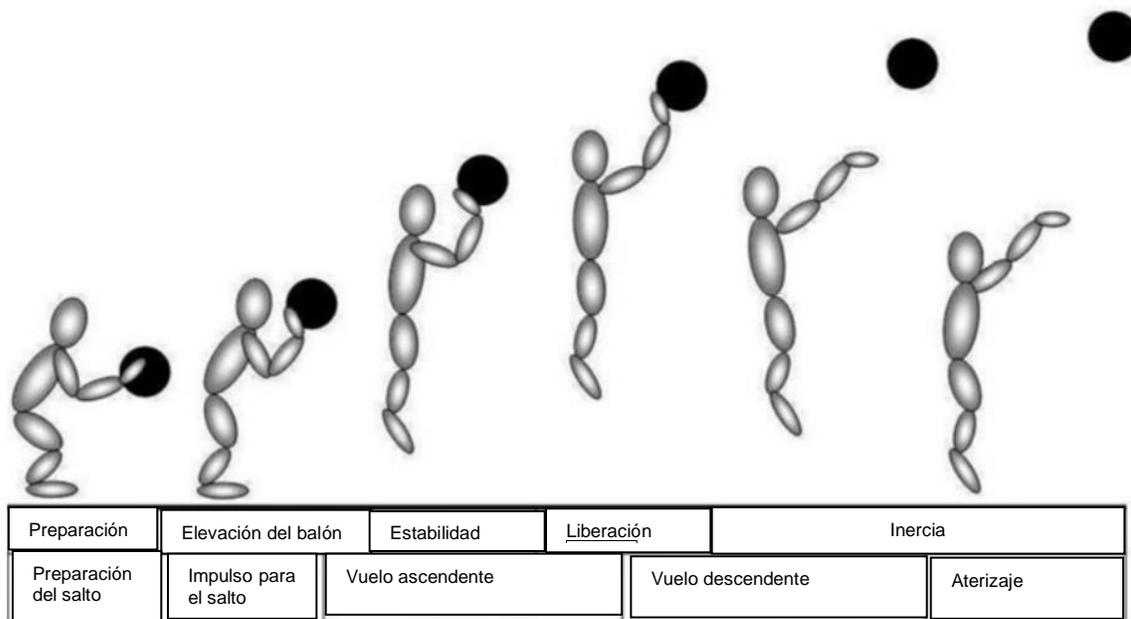


Figura 2: Fases del tiro de campo en baloncesto. Imagen tomada de [8].

Este es el modo de lanzamiento que se enseña en la academia y que ejecutan los jugadores de élite en general, con algunos detalles y consejos que los entrenadores también exhortan a sus alumnos a poner en práctica, entre los cuales incluyen:

- La mano que va a proporcionar la fuerza y puntería debe estar agarrando el balón con los dedos, lo cual deja un espacio entre la palma y la pelota
- Los últimos dedos que mantienen contacto con el balón antes del abandono de este son el índice y el corazón, porque son los más fuertes de la mano
- El antebrazo lanzador debe estar perpendicular al piso
- La elevación del balón *debería* ir hasta la parte superior de la frente, de modo que, desde el punto de vista del jugador, se alcance a ver el aro debajo del balón
- El segmento entre el talón y los dedos de los pies debe estar en dirección al aro, así como la cadera debe estar perpendicular a la línea imaginaria que está entre el centro de masa del jugador y el aro
- Si se va a lanzar después de recibir un pase, en la fase de preparación debería haber un movimiento adicional en el que se lleva el balón hasta la cadera en el lado fuerte del jugador (este lugar se denomina popularmente *bolsillo*), esto con el objetivo de tener un impulso adicional a la hora de adquirir fuerza para la ejecución del tiro. Algunos entrenadores aconsejan esto, otros sugieren que al recibir el pase se proceda inmediatamente con la elevación del balón después de la preparación.

3.3. Estado del arte en investigación sobre la técnica de lanzamiento en baloncesto

Como se ejemplificará a continuación, se ha estudiado el tiro en baloncesto para evaluar precisamente las mejores condiciones biomecánicas de cada fase, y analizar cada uno de los consejos mencionados. Todo esto, a partir de los desarrollos de herramientas de análisis de movimiento. En otras palabras, para descubrir cuál es la forma óptima de realizar el lanzamiento.

Sin embargo, no hace falta ser un experto en este tipo de herramientas para observar que los jugadores de élite, a pesar de que todos siguen la secuencia mostrada en la figura 2, tienen pequeñas pero notables diferencias a la hora de la realización de su tiro. Por tanto, es de vital importancia saber qué aspectos comparten estos jugadores que, a pesar de tener mecánicas un poco diferentes en el lanzamiento, presentan resultados positivos en un ambiente competitivo a nivel profesional.

Desde mediados y finales de la década de 1980 se han empezado a utilizar las herramientas de cuantificación de variables físicas para el deporte, así como se empezaron a desarrollar los distintos dispositivos y sistemas electrónicos que permitan analizar desde un punto de vista más ingenieril, físico y matemático, los parámetros del movimiento humano, y, en este caso, del lanzamiento en baloncesto. A continuación, se nombrarán algunos de los estudios pioneros en el caso.

Tal vez el estudio pionero en la materia se realizó en 1973 por Drysdale, quien a través de películas logró analizar cuantitativamente la biomecánica del tiro en mujeres. Drysdale tomó en cuenta dos tipos de variables para comparar jugadoras de baloncesto universitario contra aquellas que no estaban en nivel competitivo. El primer tipo fueron los puntos de

comparación de tiros de ambos grupos. El segundo fueron los atributos físicos que se seleccionaron para la investigación, como las fuerzas en flexión y extensión de dedos, muñeca, codo y piernas, altura, edad, etc. En esta disertación se descubrió que el abandono del balón se suelta justo antes de alcanzar el punto máximo en el salto, al igual que, como punto notable de diferencia, las jugadoras con mayor nivel demostraron un menor desplazamiento horizontal en el centro de gravedad durante todo el movimiento a comparación de aquellas sin tanto nivel de experticia [18].

También uno de los primeros estudios registrados, en 1985, se encargó de estudiar, a través de las cámaras de rollo, digitalizadores y programas disponibles en la época, 12 distintas variables cinemáticas en los tiros de 22 participantes femeninas en distinto nivel de competencia en el baloncesto juvenil estadounidense. Entre las variables, se encontraba el ángulo de proyección del balón (entre el vector velocidad lineal del balón y la horizontal), la relación entre la altura con respecto al suelo en la que el balón pierde contacto con el cuerpo y la altura de la participante, el valor mayor absoluto del ángulo adquirido por el tronco en la inclinación, entre otras.

Dicho estudio concluyó en lo siguiente: entre un sujeto sea más entrenado y consecuentemente pertenezca a un mayor nivel de competencia, habrá características en las que sacará mayores valores que jugadores novatos. Dentro de estas características se encuentra la estabilidad, donde el centro de gravedad juega un papel muy importante, ya que los principiantes tienden a posicionarlo muy hacia adelante. Igualmente llamó la atención la relación de altura del balón – altura de la persona donde el nivel de efectividad incrementaba si la persona lanzando tenía esa relación más alta [19].

Una vista más profunda a los resultados se puede ver en la tabla 1. Después de un análisis discriminante, concluyeron que, de las 12 variables presentes en la tabla, las que mayor precisión tienen a la hora de clasificar una persona en un grupo son el COGR, el porcentaje en los tiros grabados, relación de altura de lanzamiento, la diferencia entre el COGR y el punto medio de la base de sustentación, y el cambio del COGR al lanzamiento.

Otro estudio, realizado por Ripoll en 1986 evaluó la estabilidad de la cabeza y los ojos a la hora de la ejecución del lanzamiento, donde las diferencias según los niveles de experticia fueron bastante notables, demostrando que la eficiencia de la estabilización de la cabeza y los ojos en el objetivo tiene una fuerte influencia en el éxito del tiro [20].

Variables	Grupo según habilidad		
	Pobre	Buena	Élite
Ángulo θ de proyección ($^{\circ}$)	52.9 \pm 5.2	52.5 \pm 7.3	52.7 \pm 5.3
Velocidad de proyección (m/s)	7.04 \pm 0.58	7.03 \pm 0.55	7.10 \pm 0.50
θ – ángulo mínimo ($^{\circ}$)	4.9 \pm 5.7	5.3 \pm 7.7	8.4 \pm 5.5
θ – ángulo de Brancazio ($^{\circ}$)	1.0 \pm 5.4	1.1 \pm 7.5	3.4 \pm 5.4
θ – ángulo de Mullaney ($^{\circ}$)	-3.2 \pm 5.5	-3.1 \pm 7.5	-0.9 \pm 5.3
Ángulo del tronco ($^{\circ}$)	6.7 \pm 6.7	2.9 \pm 1.8	2.3 \pm 1.5
Relación del centro de gravedad (COGR)	0.65 \pm 0.19	0.51 \pm 0.07	0.44 \pm 0.09
COGR – Punto medio de la base de sustentación	0.21 \pm 0.19	0.07 \pm 0.07	0.07 \pm 0.05
Cambio de COGR en lanzamiento	0.02 \pm 0.04	-0.01 \pm 0.02	0.00 \pm 0.02
Relación de la altura de lanzamiento	1.23 \pm 0.06	1.25 \pm 0.05	1.30 \pm 0.04
Precisión en test de 20 tiros libres (%)	46.9 \pm 13.3	68.6 \pm 13.9	74.4 \pm 7.9
Precisión en tiros grabados (%)	22.9 \pm 22.0	42.9 \pm 24.1	64.6 \pm 13.1

Tabla 1. Resultados del estudio de Hudson [19]

Una investigación adicional que se hizo tanto en hombres como en mujeres en 1989 pretendía comparar a través de cámaras las variables que más se diferenciaban en tiros de dos puntos y tres puntos entre ambos géneros. Se observó una mayor velocidad del balón al momento de perder contacto con el cuerpo humano a medida que incrementaba la distancia; este hecho se atribuye a una mayor variación en el ángulo del hombro y en el ángulo de muñeca en este preciso momento, tomando como base esos mismos ángulos registrados en la fase de preparación para el tiro. Igualmente, se observó que se empleaba una mayor fuerza de brazos en las jugadoras al tomar el tiro de tres puntos para complementar el impulso provisto por las piernas, esto para no depender de la velocidad vertical del cuerpo durante el salto para ayudar a desarrollar la velocidad de lanzamiento de la bola [21].

Lo que se intenta decir hasta el momento es que el boom del estudio del tiro en baloncesto ocurrió en simultáneo con el desarrollo de herramientas de video cada vez más completas, junto con el de softwares y programas que permitan hacer un análisis cada vez más detallado de lo que se quiere investigar en el momento. Inclusive, ya en la década de 1990, se tenían artículos de revisión donde exponían la optimización de la técnica de lanzamiento basada exclusivamente en los resultados que todos estos estudios han descubierto [22]. Por tanto, a partir de esa época, los equipos y jugadores profesionales empezaron a darle una visión más tecnológica al juego para incrementar la efectividad en los tiros, y que eso contribuya con la victoria en los partidos de las ligas con mayor competitividad. Hoy en día,

como se está viendo en esta disertación, se tiene una gran cantidad de estudios relacionados al análisis biomecánico del tiro, y constantemente estos estudios siguen siendo desarrollados alrededor del mundo, con la tecnología de punta que permite que estos estudios sean cada vez más sofisticados.

El uso de instrumentación y medición para el desarrollo de la memoria muscular en el lanzamiento en el baloncesto ha estado en constante auge durante los últimos años. En Internet, ya existen programas ofrecidos por entrenadores de variadas experiencias que ayudan con este objetivo. Por poner un ejemplo para apreciar el uso de la tecnología en este campo, el programa **Noah** crea un seguimiento constante hacia las variables cinemáticas del balón en el momento del lanzamiento, como ángulo de lanzamiento del balón, máxima altura de éste al tener el movimiento de arco y posición de caída del balón con respecto al aro. Todo esto, para evaluar las mayores falencias que el jugador pueda tener y poder mejorarlas. El programa brinda una realimentación en tiempo real de cada uno de los tiros del jugador para que esa realimentación sea utilizada y aplicada inmediatamente en el siguiente lanzamiento durante la misma sesión de entrenamiento [23].

La mayoría de los estudios han arrojado resultados del análisis de las variables cinemáticas que se efectúan a lo largo de la ejecución del tiro de campo asociados a los jugadores con mayor efectividad. Kelmendi et al. [5] realizaron una investigación centrada en la fase de preparación para tiro libre, y deciden utilizar 13 parámetros cinéticos obtenidos con ayuda de videocámaras para mejorar la eficiencia técnica en la ejecución de dicho tiro en el juego.

Para analizar la importancia de las variables, se realizó un estudio de la correlación entre estas con el coeficiente de Pearson, las cuales las que presentaron mayor correlación se encuentran en la Tabla 2. De este modo, las variables con mayor correlación son la masa y la altura (BM y BH, respectivamente), los centros de gravedad al inicio y al final de la fase de preparación (CGIPSHP y CGFPSHP, respectivamente) y los ángulos de rodilla, muslo o cadera, codo y muñeca al final de la fase preparativa (KACP, THACP, EACP y WACP en ese orden). De todas estas, se hizo un mayor filtrado observando las de mayor significancia estadística ($p < 0.1$, denotados con * en la Tabla 1). El estudio termina concluyendo, mediante el mencionado análisis estadístico, que las variables cinemáticas más importantes son los ángulos que se relacionan con la rodilla, muñeca, codo y muslo, tanto en la fase inicial como en la fase final de la preparación [5].

	BM	BH	KACP	THACP	EACP	WACP	CGIPSHP	CGFPSHP
BM	--	0.70*	0.49*	0.16	0.28	0.11	0.39	0.48
BH	0.70*	--	0.25	0.03	0.51*	0.13	0.4	0.64*
KACP	0.49*	0.25	--	0.72*	0.15	-0.10	0.29	0.38
THACP	0.16	0.03	0.72*	--	0.22	0.09	0.16	0.19
EACP	0.28	0.51*	0.15	0.22	--	0.36	0.09	0.25
WACP	0.11	0.13	-0.10	0.09	0.36	--	0.02	0.05
CGIPSHP	0.39	0.4	0.29	0.16	0.09	0.02	--	0.83*
CGFPSHP	0.48	0.64*	0.380	0.19	0.25	0.05	0.83	--

Tabla 2. Análisis de correlación entre variables mediante coeficiente de Pearson. Las denotadas con * presentaron $p < 0.01$ [5].

En otra investigación, Khalifa en su trabajo “***Effects of a shoot training programme with a reduced hoop diameter rim on free-throw performance and kinematics in young basketball players***” estudia la efectividad de lanzamiento tras un entrenamiento de 10 semanas practicando tiros libres en un aro con diámetro reducido, junto con las diferencias mecánicas que dicho entrenamiento puede ofrecer [24]. Esta efectividad la compara frente a un entrenamiento durante igual tiempo con un aro sin modificaciones. Los resultados más significativos se pueden observar en la tabla 3, los cuales muestran que, después de un entrenamiento por un tiempo en un aro de diámetro reducido, no sólo la efectividad aumenta cuando se cambia al lanzamiento al aro reglamentario, sino que varias variables cinemáticas relacionadas con el tren superior del cuerpo aumentan en magnitud, así como variables cinemáticas del balón en el momento de abandono. Estos resultados permiten inferir que el aumento de éstas provoca un impacto positivo sobre el tiro.

	Grupo control (aro reglamentario)		Grupo experimental (diámetro reducido)	
	Pre-entrenamiento	Post-entrenamiento	Pre-entrenamiento	Post-entrenamiento
° Codo	126.5±8.8	127.8±7.4	126.8±8.7	128.3±7.9
° Hombro	136.8±2.8	137.7±3.1	136.9±1.5	139.1±1.2**
° Lanzamiento	52.1±2.3	52.4±2.5	52.7±3.1	55.2±1.5**
Vel. lanzamiento (m/s)	6.78±0.20	6.83±0.23	6.88±0.21	7.05±0.11*
Altura lanzamiento (m)	2.21±0.02	2.21±0.02	2.20±0.02	2.22±0.02*

Tabla 3. Parámetros cinemáticos más importantes del estudio de Khalifa. Resultados con * mostraron $p < 0.05$ y aquellos con ** mostraron $p < 0.01$ [24]. Los ángulos de las articulaciones son medidos en el momento de abandono del balón.

Por su parte, Cabarkapa indagó sobre las diferencias biomecánicas entre un tiro libre realizado por alguien con gran práctica y experiencia en la materia y el realizado por alguien sin la efectividad necesaria para considerar que ha entrenado por mucho tiempo [25]. Para esto utilizaron cámaras de video en plano sagital, y tuvieron en cuenta ocho variables: ángulos internos de cadera, rodilla y tobillo al final de la fase preparatoria, al igual que ángulos internos de hombro, codo y altura del último en la misma fase, el ángulo entre el brazo y la horizontal en el momento de abandono el balón y la altura de lanzamiento. Los resultados para lo mencionado se muestran en la tabla 4. El estudio concluye que se podría mejorar la efectividad en el tiro libre mediante una reducción en el posicionamiento del codo influenciada por una mayor flexión de cadera, rodilla y tobillo, así como un incremento en el ángulo y altura de lanzamiento.

	Grupo experto	Grupo novato
° interno rodilla	101.1±8.1	114.3±5.9*
° interno codo	60.8±7.5	61.1±16.8
° interno cadera	126.5±14.1	135.6±6.0*
° interno tobillo	52.6±3.9	58.9±5.2*
° lanzamiento	56.5±6.3	58.6±3.1*
° hombro	92.3±19.8	92.6±9.9
Altura codo (m)	1.15±0.04	1.13±0.03*
Altura lanzamiento (m)	0.68±0.11	0.72±0.05*

Tabla 4. Comparación de las variables cinemáticas entre el grupo experto y el novato en lanzamientos de tiros libres. * quiere decir $p < 0.05$ [25].

Igualmente, Podmenik utiliza las velocidades angulares de distintas articulaciones para diferenciar los mecanismos que el cuerpo utiliza para ser efectivo en el lanzamiento cuando se varía y aumenta la distancia del jugador al aro. Con la intención de segmentar todo el movimiento del lanzamiento, los investigadores decidieron dividirlo del siguiente modo: Los resultados mostraron que la velocidad angular máxima en la articulación del hombro y el codo se hizo mayor con el aumento del rango de tiro [26].

Podmenik se ayudó de un traje inercial MVN junto con el sistema de captura Biomech Pro-Inertial de la misma marca para el registro de las variables biomecánicas. También se apoyaron de una cámara de video para dividir el movimiento de lanzamiento en tres fases teniendo en cuenta la posición del balón. Para el estudio, utilizaron 14 participantes que realizaron 25 tiros en tres distintas distancias, y tomaron en cuenta para el estudio variables angulares relacionadas con las articulaciones de las uniones metatarsófalgicas, el tobillo, rodilla, cadera, hombro, codo y muñeca [26].

El tiro de campo en baloncesto también ha sido comparado biomecánicamente con el salto de contramovimiento, que es aquel que se ejecuta con las manos en las caderas, y luego haciendo una flexión y tomando impulso lo más rápido posible [27]. Esta comparación se ha hecho históricamente argumentando que, en el tiro, uno cuenta con escaso o nulo apoyo por parte de los brazos para la realización del salto, por lo que debería presentar resultados similares en las variables físicas cinemáticas [7].

Con lo mencionado anteriormente, se podría hacer la observación de que todas las investigaciones descritas anteriormente estudian el lanzamiento desde la perspectiva de la cinemática del jugador. No obstante, se puede decir que esta es una clase de alcance del análisis del movimiento del lanzamiento en baloncesto. El otro punto de vista para la

caracterización del movimiento es viendo lo que cinemáticamente le ocurre al balón. De hecho, algunos de los artículos que se citaron anteriormente también tienen en cuenta variables relacionadas al balón, como ángulo del vector velocidad en el lanzamiento, altura máxima del arco que alcanza en el lanzamiento, ángulo y velocidad de llegada al aro, etc. [25] [24]. Igualmente hay estudios que se centran únicamente en dichas variables [28].

Finalmente, y como nota adicional al estado del arte leído a lo largo del presente documento, existe un canal del portal YouTube que, a partir de videos en plano sagital de diferentes jugadores de la NBA, permite mostrar que existe una tendencia del balón a realizar un movimiento característico desde la recepción por parte del jugador hasta la liberación de este. Este movimiento, el cual el autor de los videos denomina *loop* o bucle en inglés, es no sólo apreciable, sino muy parecido, en los jugadores de élite como Stephen Curry, Klay Thompson, Kevin Durant, etc. [29].

3.4. Declaración de problemática

A pesar de los grandes avances en tan corto tiempo en este campo, hay que tomar en cuenta una situación importante que ocurre a medida que el jugador de baloncesto se va desarrollando, y es la siguiente: a pesar de que al jugador se le instruye una técnica de lanzamiento, que consiste en las cinco fases ya mencionadas, a pesar de que se le pide que perfeccione dicha técnica para obtener los resultados deseados en los partidos y en las competencias, y a pesar de que en sus primeros años se le corrige la mayoría de los movimientos y posicionamientos que, a ojos del entrenador, “están mal”; a pesar de todo esto, el jugador desarrolla una mecánica intrínseca de ese movimiento en particular, que viene siendo única en cada jugador.

Con la mecánica intrínseca del lanzamiento, el jugador es capaz de mejorar la efectividad de su tiro a nivel competitivo si se dirige a la cancha y entrena constantemente el tiro. Esto es evidente incluso, y con más importancia, en los jugadores profesionales, quienes adaptan esa mecánica a distintos factores, como las características físicas (altura, envergadura, fuerza en las extremidades, etc.), la distancia al aro (tiro de corta, media o larga distancia de tres puntos), el estado de fatiga del cuerpo, la situación del juego (con presión o sin ella por parte de la defensa del equipo contrario), las acciones previas al tiro (se recibió el balón de un pase, se estaba driblando sin moverse del puesto, o se estaba moviendo dentro de la cancha), entre otros factores.

Estos factores son demasiados para comprender en un único estudio, por lo que la situación se restringirá a la siguiente, que se podría decir que es la más común, o por lo menos podría representar una media en cuanto a las situaciones en el juego con respecto al lanzamiento se refieren: Tiro de larga distancia (3 puntos) y sin presión defensiva, después de recibir un pase, en estado medio de fatiga, en detención a un solo tiempo. Este último término se refiere a que el balón se recibe durante un pequeño salto, y se cae con los dos pies al mismo tiempo para luego ejecutar el tiro.

Teniendo en cuenta la situación a analizar, el problema -o más que problema, situación- que se describió anteriormente continúa: cada uno de los 10 jugadores presentes en la cancha tendrá un mecanismo distinto para realizar esa acción de intentar encestar el balón, convertir ese intento, y sumar dos o tres puntos al marcador de su equipo. Como se vio en los estudios presentados anteriormente, los análisis cinemáticos que se realizan relacionan las diferentes variables físicas extraíbles de las herramientas disponibles, con el nivel de competencia y/o efectividad en el tiro. En los estudios igualmente [19] [25] [28] [24], comparan dichas variables entre los grupos de sujetos en estudio, estableciendo estándares en la mecánica del tiro, cuantificando las magnitudes para mejorar los resultados del movimiento.

Todos estos resultados expuestos son más que correctos e implementables a la hora de poner a los jugadores a entrenar a partir de estos resultados, realizándoles un rutinario seguimiento mediante distintas herramientas de video. Adicionalmente, esta fase de perfeccionamiento es muy importante en un tiempo donde el jugador ya está entrenado en la técnica básica del tiro, pero la necesita seguir mejorando para pasar al siguiente nivel y estar cada vez más cerca de la élite en la que todo jugador sueña estar.

Sin embargo, ahora sí lo que se puede considerar un problema, es que dichos resultados, y todas estas “tendencias” a las que los resultados quieren llevar a los jugadores a través de la ejecución del tiro, son basadas en lo que mostraron las poblaciones como un colectivo. Esto quiere decir que, por ejemplo, a un jugador profesional que tiene una estatura (o peso, u otra variable antropomórfica) notablemente distinta con respecto a los promedios de un estudio cuyos resultados se pretenden introducir en él, los resultados que salgan del entrenamiento a partir de éstas no serán necesariamente los mejores para el jugador. Esto se puede demostrar en la poca homogeneidad que los jugadores de mayor altura presentan al variar la distancia de sus tiros con respecto a los que son de menor estatura [30] [31]. Por este motivo, se puede decir que está la necesidad de un estudio del que se puedan extraer variables cinemáticas que se puedan universalizar, de modo que, sin importar estas condiciones antropomórficas, puedan aplicarse en cualquier jugador y obtener los máximos resultados en el entrenamiento.

Este problema es demostrable también en el efecto de la condición y características físicas del jugador y su relación con la efectividad. Dentro de dichas características físicas, se encuentran, pero no se limitan a la longitud de las extremidades (superiores e inferiores), la altura y la capacidad del sujeto de generar fuerza, velocidad y potencia. Las longitudes de los segmentos y la altura afectan la altura a la cual se suelta el balón en el lanzamiento [30]. Por lo tanto, los jugadores más altos que tienen extremidades más largas tendrán una mayor altura de lanzamiento de la pelota [32]. Esto implica un menor ángulo de lanzamiento, así como reducción de la velocidad de impulso, para lograr una gran efectividad [22] [33].

La capacidad de generar potencia, fuerza y velocidad en tiempos reducidos es una variable importante, ya que influye en la dificultad en realizar este tiro en suspensión, la cual aumenta progresivamente cuando se va alejando del aro [32] [34]. Esto es evidente en los niños y las deportistas femeninas, quienes, por sus condiciones físicas, les cuesta más la realización del tiro [35] [36]. Este costo se traduce cinemática y biomecánicamente en mayores velocidades en hombros, codos y muñecas en comparación con sus contrapartes

masculinas. Esto significa que, fuera de las piernas, también reclutan músculos de las extremidades superiores para que apoyen con el impulso del balón, concentrándose menos en la puntería y precisión. Además de estos segmentos, el hombro también colabore en parte para estos impulsos [36] [35]. Por lo tanto, los jugadores que son menos capaces de generar fuerza requieren más velocidad de movimiento [32]. Del mismo modo, los jugadores que tienen menos capacidad para generar velocidad deben generar más fuerza para lanzar la pelota. No obstante, el desarrollo de velocidad o fuerza no necesariamente significa y/o produce una mayor efectividad en el tiro, ya que se ha demostrado que, de no ser bien administrados, podrían reducir el éxito en la probabilidad de anotar el tiro. Esto se da ya que ambos factores están relacionados con el incremento de la variabilidad en el movimiento [37].

3.5. Memoria muscular y relación con el baloncesto

El análisis por video se ha vuelto la mejor herramienta principal para la caracterización del tiro en el deporte del baloncesto.

El término de la memoria muscular está asociado con aquellos movimientos que se repiten con tal habitualidad, que con el tiempo el cuerpo llega a un estado de automatización a la hora de realizarlos. Esto quiere decir que, al usar técnicas de entrenamiento y ejecuciones repetidas, con el tiempo disminuye el esfuerzo cognitivo y se adquieren los mismos resultados de dicho movimiento habiéndolo realizado en menos tiempo y más eficientemente a comparación de la primera vez que el sujeto los ejecutó. Ejemplos de esta memoria muscular están en montar bicicleta, tejer, tocar un instrumento, o, en lo que en esta disertación respecta, el lanzamiento de un tiro de campo en baloncesto [38].

En el baloncesto, para lograr precisamente una consistencia en la efectividad del tiro, y no tener una efectividad con rachas malas y buenas, es necesario el desarrollo de buenas prácticas, eliminando los malos hábitos. Así, se puede desarrollar la memoria muscular. Un consejo que se utiliza para esto es practicar el lanzamiento desde la línea del tiro libre [39].

En un experimento realizado en una clase magistral de la facultad de psicología del Ersinke College, el doctor Robert Elsner demostró que una vez que se adquiere una memoria muscular, la reactivación del conjunto preciso de acciones solo requiere la visualización mental de lograr el objetivo deseado. Esto lo logró con estudiantes sin experiencia en el baloncesto que, en una misma sesión, se les enseñaron las bases del movimiento del tiro libre, para luego tapparles los ojos para lanzar tiros libres a ciegas. Sorprendentemente, diciéndoles que visualizaran el convertir el lanzamiento hizo que las canastas fueran efectivas varias veces seguidas [40]. Este pequeño experimento demuestra que la memoria muscular podría servir como herramienta para el estudio y optimización de la biomecánica del lanzamiento.

4. METODOLOGÍA

La presente investigación tiene un enfoque en su gran mayoría cuantitativo, y por otra parte para verificar los datos procesados se acompaña con un proceso cualitativo observacional, que se describirán a continuación, junto con la selección de la muestra poblacional, equipos y métodos para la adquisición de datos, procesamiento de estos para extracción de las variables.

Para cumplir con los objetivos propuestos, la metodología estará dividida en tres fases: el desarrollo del protocolo experimental llevado a cabo por el sistema jugadores-investigadores-instrumentación, la adquisición, extracción y cálculo de las variables establecidas, y el análisis de dichas variables llevado a cabo para la caracterización del movimiento del tiro de campo.

4.1. Sujetos

La selección de la muestra poblacional para la prueba consistió en jugadores que corresponden a jóvenes universitarios pertenecientes a los equipos de sus respectivas instituciones, con experiencia en torneos a nivel nacional e internacional.

Para la selección de la muestra poblacional se utilizaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión, como se indica en la tabla 5.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Conocer bien la técnica del lanzamiento en baloncesto	No conocer bien la técnica del lanzamiento en baloncesto
Tener la capacidad física para realizar una sesión medianamente intensa de entrenamiento en tiros	No tener la capacidad física para realizar una sesión medianamente intensa de entrenamiento en tiros
Tener experiencia como jugador a nivel nacional e internacional	Presentar alguna lesión o condición física que impida la óptima mecánica del tiro que usualmente ejecuta
Destacarse por tener una alta efectividad de lanzamiento en juegos	No pertenecer actualmente a ningún equipo de alta competencia
Disponer de suficiente tiempo para el desarrollo completo del protocolo en una sola sesión	No garantizar de una disposición de tiempo para el desarrollo completo del protocolo en una sola sesión

Tabla 5. Criterios de inclusión y exclusión de participantes para la prueba.

Los datos extraídos a partir de la metodología enfocan su cantidad en el número de repeticiones que los sujetos realicen en el protocolo de la toma de datos, mas no en el número de participantes de la muestra poblacional. Por eso, la propuesta hace referencia para tener en cuenta como criterio de inclusión/exclusión el estado físico, ya que este proceso de toma de datos puede ser capaz de inducir a la fatiga rápidamente.

La muestra finalmente consistió en dos jugadores de género masculino con edad promedio de 23 ± 4.2 años, con experiencia como jugadores a niveles nacional e internacional, incluso jugando a nivel profesional en la División Profesional de Baloncesto en Colombia. Esto

permite asegurar su carácter de deportistas de alto rendimiento y que no se verán fatigados cuando se lleve buena parte del protocolo.

4.2. Ubicación Geográfica del Estudio

Para el desarrollo del estudio, se usó únicamente un espacio, consistente del Coliseo El Otoño ubicado en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C, Colombia.

4.3. Cronograma y periodo de duración del estudio

El presente estudio se realizó en un semestre académico; en este periodo se manejaron distintas actividades, como lo indica la tabla 5.

<i>Actividad</i>	<i>Enero</i>	<i>Febrero</i>	<i>Marzo</i>	<i>Abril</i>	<i>Mayo</i>	<i>Junio</i>
<i>Presentación de propuesta del proyecto</i>	x					
<i>Aprobación de propuesta</i>	x					
<i>Presentación de instrumentación</i>		x	x			
<i>Establecimiento de protocolo</i>		x	x			
<i>Recolección de datos</i>			x			
<i>Procesamiento de datos</i>				x	x	
<i>Establecimiento de resultados</i>					x	
<i>Redacción del informe</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Presentación del informe</i>						x
<i>Disertación final</i>						x

Tabla 6. Cronograma de actividades de la presente investigación.

4.4. Instrumentación

La instrumentación consiste en todos aquellos equipos, dispositivos y recursos materiales que faciliten el protocolo a desarrollar y la adquisición de los datos relevantes para el mismo. Para el protocolo realizado por los sujetos serán necesarios recursos como:

- Balón reglamentario de baloncesto tamaño 7
- Cancha reglamentaria de acuerdo con el reglamento FIBA, NCAA o NBA (los principales criterios de elección de la cancha fueron que la altura del aro fuera de 3.05 m o 10 ft con respecto al suelo, y que la línea de 3 puntos se ubicara a 6.75 o 7.25 m de distancia horizontal al centro del aro [41]). El escenario anteriormente seleccionado fue medido previamente y tiene una distancia horizontal de 6.9 m desde el centro del aro hasta el arco de la línea de 3 puntos, y una altura de 3.05 m del aro al suelo.

- Indumentaria adecuada (traída por el sujeto, siendo personal e intransferible), incluyendo botas de baloncesto, camiseta apretada o franela y pantaloneta apretada.

Para la adquisición de datos se utilizaron herramientas de video y softwares para análisis biomecánico, a saber:

- Para la adquisición de las variables cinéticas y el análisis, se dispuso del sistema de captura Vicon MX, capaces de muestrear la información que reciben a una frecuencia de 100 Hz. Vicon MX es un conjunto de cámaras y dispositivos de captura de movimiento Vicon MX en red que proporcionan datos de captura de movimiento óptico-digital en tiempo real y fuera de línea [42]. Para este caso, se dispone de 8 cámaras que capturan el movimiento de los marcadores de posición que se coloquen en el sujeto. La colocación de los marcadores se describirá en el protocolo.
- Como apoyo al hardware del sistema de captura, se va a contar con el software Vicon Nexus. Nexus es la herramienta de procesamiento y modelado integral más potente del mercado para el análisis de movimiento. Creado específicamente para toda la comunidad de ciencias de la vida, Nexus ofrece datos precisos y repetibles y resultados de modelos clínicamente validados [43]. Este software ayudará a la gestión y el manejo de los movimientos capturados por las cámaras, permitiendo reconstruir digitalmente los movimientos, segmentarlos por espacio o por tiempo, transformarlos en archivos c3d o csv, entre otras funcionalidades.
- Un soporte adicional que se utilizó fue una cámara digital de video de celular moto g60s, con definición de 4K y siendo capaz de grabar hasta 120 fotogramas por segundo (120 fps). Esta se implementó como apoyo al proceso de división de las fases del lanzamiento entre los sujetos.

El escenario elegido presentó un inconveniente, y es que, debido a la reflexión generada por el suelo de la luz natural, las cámaras presentan problemas para ubicar los marcadores en el jugador. Para solucionarlo, se utilizó una lona que cubría el área registrada por las cámaras y quitaba el reflejo de la luz.

4.5. Protocolo

4.5.1. Disposición de instrumentación

Las cámaras se trasladaron desde el laboratorio de rehabilitación y análisis de movimiento de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito hasta el Coliseo El Otoño, y fueron acomodadas en la disposición ofrecida por la figura 3. Esta disposición es recomendada por la guía referencial de Vicon Vantage [44]. Igualmente, se comprobó mediante la calibración del sistema VICON que el área que encierran las cámaras fuera la adecuada para registrar todo el cuerpo todo instante del movimiento del lanzamiento. La cámara digital fue dispuesta en el lado del brazo lanzador del sujeto, grabando desde el plano sagital a una distancia que estuviera en el borde del perímetro formado por las cámaras del sistema de captura de movimiento.



Figura 3. Disposición de cámaras realizadas en la cancha de baloncesto

4.5.2. Calentamiento

El jugador que sirvió como sujeto de prueba realizó un calentamiento de sus músculos como lo consideraba adecuado, con movilidad, lanzamientos previos, etc. hasta el punto de sentirse lo suficientemente preparado como para realizar una sesión de entrenamiento en lanzamientos.

4.5.3. Colocación de marcadores

La indumentaria que se describió en el numeral 4.4. tiene precisamente el argumento de ser ésta la necesaria para no sólo asegurar un buen y fijo posicionamiento de los marcadores, sino que también los mismos reflejen un movimiento acorde con el cuerpo del participante. Si el jugador lleva ropas holgadas o sueltas, los marcadores colocados tienen el riesgo de soltarse más fácilmente y no van a registrar el movimiento del sujeto, sino de la ropa.

A los participantes se les colocaron 54 marcadores, y su posicionamiento es el visto en la figura 4.

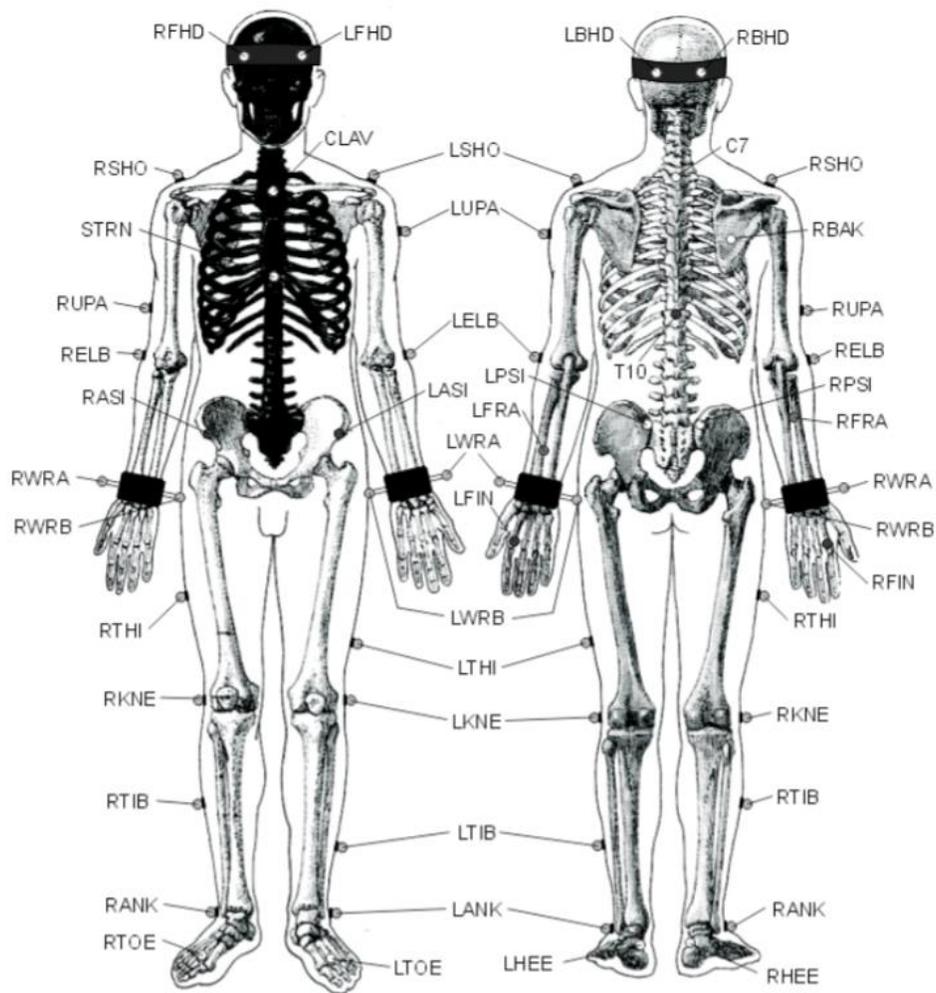


Figura 4. Distribución de marcadores de movimiento alrededor del cuerpo de los participantes. Imagen tomada de [45].

4.5.4. Procedimiento

El jugador se ubicó en el centro del perímetro formado por las cámaras de adquisición de datos, medido cuidadosamente para que se ubique sobre la línea de tres puntos, entre el centro del aro y el centro de la cancha. Como se utilizaron dos jugadores únicamente, el procedimiento se enfocará en grabar numerosas veces el movimiento para tener suficientes datos para extraer.

Las cámaras iniciaban su grabación, se le daba al sujeto el balón, y posteriormente el jugador da una señal con el cuerpo para indicar que va a lanzar (por ejemplo, alzar un brazo o dar una patada al piso), así tanto cámara de video como sistema de captura de movimiento tienen un tiempo 0 de referencia para que el tiro sea registrado de manera simultánea en ambos sistemas de adquisición de video. En otras palabras, sincronización de la instrumentación [26]. Después de la señal el sujeto realizó un lanzamiento de la manera más natural posible, de modo que se asemeje todo lo que se pueda al lanzamiento que ejecuta en un entrenamiento o un partido. El balón era recogido por un investigador o

colaborador, para ser entregado de nuevo al jugador. De manera natural, el movimiento completo fue capturado por los sistemas de adquisición. La grabación terminó cuando el balón alcance el área que encierra el aro, y esto contó como una repetición.

Cada jugador ejecutó 6 sets de 25 repeticiones, con tiempos de descanso de 30 segundos entre cada set, así la fatiga no iba a afectar de manera tan notoria la mecánica y efectividad del lanzamiento, pero sobre todo que no incomode al jugador a sobremanera al ejecutar los tiros. Asimismo, al jugador se le pide que se tome su tiempo y no se apresure entre repeticiones. Por consiguiente, se tendrá un total de 300 repeticiones del movimiento para analizar.

4.6. Variables de investigación

Dentro de cada set, los tiros se fueron dividiendo entre exitosos (el balón entró a la canasta) y no exitosos (el balón no entró a la canasta) de modo que el conjunto total de datos se dividió en 6 grupos (6 sets) y 2 subgrupos por grupo (hechos/no hechos).

Del sistema Vicon cámaras-software, se pretenden extraer diferentes variables cinemáticas, teniendo en cuenta los resultados de distintas investigaciones y las variables que utilizaron. Por un lado, asemejándose al estudio de Podmenik, se tuvo en cuenta la dirección flexión-extensión del movimiento de las articulaciones con excepción del hombro, donde es de interés la parte de anteflexión-retroflexión, y del tobillo, donde se quiere observar la flexión-dorsiflexión. Los movimientos de dorsiflexión, retroflexión y flexión se cuantificarán de manera positiva, así como los de flexión plantar, anteflexión y extensión, serían negativos para el tobillo, el hombro y el resto de las articulaciones, respectivamente [26].

Por otro lado, también se tuvo en cuenta los estudios de Cabarkapa, que se enfocaron en variables que pudieran ser predictores para una forma adecuada y óptima de la forma del tiro libre [25]. En específico, las ocho que consiste en el ángulo interno de la cadera en la fase inicial concéntrica del tiro, los ángulos internos de la rodilla, tobillo y codo en la misma fase; el ángulo relativo de hombro, que es el ángulo formado entre el brazo lanzador y el tronco en la fase inicial concéntrica del tiro, la tasa de altura del codo que consiste en la distancia perpendicular entre el codo y el suelo dividida por la altura del sujeto en la fase concéntrica inicial del movimiento de disparo; el ángulo formado por el brazo y la horizontal al momento del lanzamiento; y también la tasa de la altura relativa del lanzamiento de la mano que es la distancia perpendicular entre la articulación de la muñeca y el suelo dividida por la altura del sujeto en el momento del lanzamiento del balón.

Por último, también se tomaron algunas variables estudiadas por Hudson relacionadas con el mismo proceso del movimiento del tiro, que asocian las distintas alturas, tanto de jugador como de lanzamiento, del centro de gravedad, etc. [19]. Dichas variables consisten en la relación del centro de gravedad, que es la división entre la distancia proyectada del centro de gravedad por delante del tobillo anterior, y la longitud de la base de sustentación (la base de sustentación se define como la distancia entre el tobillo anterior y el dedo del pie posterior); y la diferencia entre estas relaciones del centro de gravedad entre el instante inmediatamente anterior al abandono del balón y el instante inmediatamente posterior. Esta otra variable se usó para definir balance en distintos momentos en los jugadores.

Del sistema Vicon y la cámara de video se tomó se hizo un análisis adicional de manera cualitativa. Dicho análisis consiste en una apreciación del movimiento de balón y muñeca durante todo el procedimiento del tiro. Esta apreciación se realizó para evaluar las posibles diferencias en el “loop” visto en el canal de YouTube mencionado en la introducción [29]. Idealmente, se pretenden ver las diferencias de este movimiento entre los participantes el estudio a medida que va progresando la cantidad de repeticiones de lanzamientos, y las que se tienen de los jugadores de la NBA.

El apoyo de la cámara de video está en que, gracias a la posición del balón, se va a poder seccionar el tiro en sus respectivas fases. Por ejemplo, estos videos y fotogramas son necesarios para determinar los momentos anteriores y posteriores al abandono del balón para el cálculo de diferencias de la relación del centro de gravedad. Así, se realizará una extracción total de 19 variables, que se listarán de manera más puntual:

1. Ángulo sagital de la cadera en la fase de preparación
2. Ángulo sagital de la rodilla en la fase de preparación
3. Ángulo sagital del tobillo en la fase de preparación
4. Ángulo sagital del hombro en la fase de preparación
5. Ángulo sagital del codo en la fase de preparación
6. Altura del codo en la fase de preparación
7. Velocidad angular en plano sagital de la cadera en el momento de despegue
8. Velocidad angular en plano sagital del tobillo en el momento de despegue
9. Velocidad angular en plano sagital de la rodilla en el momento de despegue
10. Velocidad angular en plano sagital del hombro en el momento del lanzamiento
11. Velocidad angular en plano sagital del codo en el momento del lanzamiento
12. Velocidad angular en plano sagital de la muñeca en el momento del lanzamiento
13. Ángulo sagital del brazo en fase de lanzamiento
14. Ángulo transversal del brazo en fase del lanzamiento
15. Altura de la mano en fase de lanzamiento
16. COGR en el momento del lanzamiento
17. Diferencia de COGR entre momentos previo y siguiente al lanzamiento
18. Velocidad en plano sagital del centro de gravedad en el lanzamiento
19. Apreciación cualitativa del movimiento de la mano en las distintas fases

4.7. Procesamiento de datos y análisis estadístico

Teniendo en cuenta tanto la distribución de los marcadores mostrada en la figura 4, y las variables que se tuvieron en cuenta mencionadas anteriormente, se realizará el procesamiento de datos de la siguiente manera: como la información capturada por el sistema VICON refiere a la posición espacial de los marcadores en un momento dado, se requieren encontrar, a partir de estas posiciones, variables como ángulos, distancias entre partes del cuerpo o ubicación del centro de gravedad del sujeto en ciertos momentos. Para ello, se utilizaron varios cálculos que estiman dichas variables, a saber:

Como paso previo, en el set de datos, las tomas de los movimientos se dividieron en seis grupos, los cuales a su vez se dividieron en dos grupos cada uno. Los seis grupos corresponden a los seis sets que se pretenden estudiar, y los dos grupos son para dividir aciertos de fallos. De este modo, para cada uno de los 12 grupos se realizará una labor de promediado para la posición de los marcadores, para así tener un lanzamiento promedio

por cada grupo y hacer una reducción de los datos a analizar. Igualmente se tendrá en cuenta la varianza del movimiento de cada marcador. Para dicho procedimiento, se seccionará el lanzamiento desde un instante “cero” que es cuando el jugador haya terminado de ejercer el movimiento característico mencionado anteriormente, y el momento en que el jugador aterriza y fija sus dos pies en la tierra. Como referencia, las tomas se interpolan en el momento, o el fotograma de cada lanzamiento donde el jugador pierde contacto con el balón, debido a que es la más estandarizada y fácil de reconocer a lo largo del movimiento. Ya con esta interpolación, y asegurándose de que todas las capturas tengan la misma cantidad de frames, se ejecutará la acción de promediado de las coordenadas de posición para cada marcador en cada fotograma, repitiendo este proceso hasta completar la totalidad de las frames y obtener un único movimiento “representativo” de cada uno de los 12 grupos. Por supuesto, se tendrán en cuenta las desviaciones estándar. A continuación, se expondrá cómo se hizo el procesamiento y hallazgo de algunas de las variables, a partir de la información suministrada por el software Vicon.

Cálculo de la base de sustentación como la distancia entre el marcador de talón (LHEE o RHEE) que más atrás ubicado este y marcador de dedos de pies ubicado más al frente (LTOE o RTOE). Cálculo del centro de masa realizado por el software. Ángulo sagital de la muñeca calculado por el software. Ángulo sagital del hombro calculado a partir del ángulo formado por los marcadores RELB, RSHO y el eje sagital, determinado como el segmento que atraviesa el torso (de C7 o T10 a CLAV o STRN). Ángulo transversal del brazo calculado a partir del ángulo formado por los marcadores LFRM, RSHO y el eje sagital, determinado como el segmento que atraviesa el torso (de C7 o T10 a CLAV o STRN). Ángulo sagital del codo calculado por el software. Ángulo sagital del tobillo calculado por el software. Ángulo sagital de la rodilla calculado por el software. Ángulo sagital de la cadera calculado por el software. Apreciación observacional del movimiento de la mano utilizando el marcador RFIN en plano sagital (eje anteroposterior y eje vertical). Altura de la mano calculada como la diferencia de alturas entre el marcador de los dedos (RFIN) y el más próximo al suelo. La altura del codo en fase de preparación será la altura del marcador del codo (RELB), ya que en esta fase el jugador está pegado al suelo y no se necesita extraer la diferencia con la altura del marcador más próximo al suelo. Se determinó como fase de preparación cuando el desplazamiento vertical del centro de gravedad sufre un cambio de dirección superior-inferior a inferior-superior. Se determinó como fase de lanzamiento el momento siguiente al que la muñeca tiene su máxima velocidad angular [26]. En términos del software, dicho momento correspondería a los 3 siguientes fotogramas posteriores a donde ocurre dicho valor (de 0.02s a 0.04s [26]). Esto quiere decir que también se extraerá la velocidad angular máxima de la muñeca, pero para efectos de reducción en la dificultad de análisis de este estudio, no se expondrá en la parte de resultados. Todos los marcadores y sus ubicaciones anatómicas se encuentran en la figura 4.

Después de extraídas las variables para todos los tiros, se realizó un procedimiento de clasificación de los tiros anotados y los fallados, con el fin de determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de las muestras, dependiendo del resultado de los tiros. Esto se hizo con ayuda de la herramienta de análisis de datos de Excel. Se tuvo en cuenta $p < 0.05$, de modo que valores menores a este en las muestras mostrarían diferencias estadísticamente significativas. Se realizó para todas las variables, incluyendo los tiempos de preparación, despegue y lanzamiento. Se extrajeron los índices de correlación para cada variable, excluyendo las variables de tiempos de preparación, despegue y lanzamiento.

4.8. Protocolos de bioseguridad

El presente trabajo se realizó durante época de pandemia, por tanto, hay que tener en cuenta los protocolos de bioseguridad para jugadores y desarrolladores del estudio. El escenario ya ha sido aprobado para su uso y se puede trabajar en él. Tanto a investigadores como a voluntarios se les exigirá un esquema completo de vacunas, y será un criterio de exclusión en caso de que no cuenten con tal. Antes de que tocan al participante, todo equipamiento que tenga contacto físico con él (balón, marcadores, etc.) fue desinfectado apropiadamente. Antes de entrar a cualquier escenario, tanto investigadores como colaboradores y participantes se desinfectaron y lavaron las manos, e ingresaron con tapabocas quirúrgico, el cual no se quitaron en ningún momento.

Dentro del documento de consentimiento informado, los participantes igualmente garantizaron que, no únicamente tienen el esquema completo, sino que tampoco presentaron síntomas de COVID-19 en las últimas dos semanas. En caso de que esto no se dé, igualmente contó como criterio de exclusión de la prueba.

Es válido añadir que este protocolo fue avalado y aprobado por el comité de ética de investigación de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, el cual clasificó la presente investigación como una investigación sin riesgo para usuarios y pacientes.

5. RESULTADOS

5.1. Pruebas antropométricas y resultados de efectividad de tiros

De acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión, se tuvo en cuenta a 6 jugadores, de los cuales, aplicando el filtro de criterios visto en la tabla 4, y como se dijo anteriormente, resultaron siendo dos los escogidos para el desarrollo de la prueba. Se reitera que ambos participantes han jugado a nivel competitivo nacional e internacionalmente, uno de ellos teniendo experiencia en la División Profesional de Baloncesto Colombiano DPB. Tenían una edad promedio de 23 ± 4.2 años, 187.5 ± 12.0 cm de estatura y 84.5 ± 10.6 kg de peso. Para la correcta medición de datos en el software fue necesario realizar algunas medidas antropométricas adicionales, que se pueden ver en la tabla 5. En la toma de datos, se validaron 302 repeticiones del movimiento de lanzamiento de 310 en total que se realizaron, 150 en el primer participante y 152 en el segundo. Los resultados son divididos en 6 sets de 25 tiros (el último set del sujeto 2 consiste en 27 tiros) y el porcentaje de efectividad de cada uno se puede apreciar en la tabla 6.

Medida	Sujeto 1	Sujeto 2
Edad (años)	26	20
Estatura (cm)	196	179
Peso (kg)	92	77
Longitud pierna derecha (cm)	103	95
Longitud pierna izquierda (cm)	103	95
Ancho rodilla derecha (cm)	12	10
Ancho rodilla izquierda (cm)	11.5	10
Ancho tobillo derecho (cm)	8.5	7.5
Ancho tobillo izquierdo (cm)	8	7.5

Tabla 7. Medidas antropométricas tomadas en participantes para una correcta medición por parte de los marcadores y el sistema Vicon.

Set	Sujeto 1	Sujeto 2
Set 1	64%	52%
Set 2	92%	44%
Set 3	68%	72%
Set 4	88%	32%
Set 5	60%	36%
Set 6	76%	52%

Tabla 8. Porcentaje de tiros de campo divididos en sets para cada jugador.

El procedimiento de colocación de marcadores se puede ver en la figura 5. La calibración de las cámaras para reconocer al jugador se aprecia en la figura 6. El procedimiento de toma de datos para una repetición del movimiento de lanzamiento se puede ver en la figura 7. Todos estos procedimientos pudieron ser realizados dentro del tiempo esperado y no sufrieron mayores contratiempos. Sin embargo, por motivos de disponibilidad de los recursos humanos y tecnológicos, sólo se pudo realizar el pre-procesamiento de las muestras para 50 por jugador. De éstas 50, para el sujeto 2 solamente sirvieron 39. Se excluyeron 9 muestras donde se cayeron 2 marcadores, 1 muestra se excluyó debido a que se perdió y 1 muestra no fue grabada correctamente. Con el sujeto 1 no hubo mayores problemas.



Figura 5. Colocación de marcadores



Figura 6. Calibración del sistema jugador-equipos de adquisición de datos



Figura 7. Participante ejecutando una repetición de tiro mientras se le graba

5.2. Resultados del procesamiento de datos e información capturada por el sistema VICON

Después del desarrollo en Python 3.8 en un cuaderno de Jupyter dentro de Visual Studio Code del algoritmo de obtención de variables a partir de los datos arrojados por el sistema VICON, y con el apoyo del software Mokka y los videos capturados, se pudieron obtener los resultados para las muestras trabajadas, los cuales se encuentran resumidos en las tablas 9 a 11.

Para el sujeto 1 se utilizaron finalmente 48 muestras, 37 lanzamientos convertidos y 11 fallos. Para el sujeto 2 se utilizaron finalmente 38 muestras, 19 lanzamientos convertidos y 19 fallos. Las tablas 9 a 11 se encuentran organizadas de tal manera que en la primera columna se encuentra la etiqueta de la variable a analizar, junto con su unidad de medida entre paréntesis; y en las siguientes se encuentran los valores promedio y desviaciones estándar correspondientes a los tiros anotados, por un lado, y a los fallados por otro. En total, hay 21 variables en cada una de las tablas.

Las tablas 9 y 10 corresponden al resumen de los resultados de las muestras clasificadas por jugador, mientras que la 11 abarca ambos jugadores. Como aspecto para tener en cuenta, las variables relacionadas con altura son adimensionales debido a que corresponden a una relación entre la altura medida, y la estatura del sujeto de prueba, así como el COGR, ya que es una medida que relaciona dos distancias.

Para facilidad en la estructuración y extracción de datos, se estableció como comienzo del lanzamiento el momento aproximado en que el jugador recibe el balón. Éste corresponde a aquel donde el marcador correspondiente a los dedos de la mano derecha, RFIN, empieza a cambiar de trayectoria y velocidad debido al contacto con el balón. Este instante será el que sirva como referencia, a partir del cual se encontrarán los tiempos de preparación, despegue y lanzamiento. El final del lanzamiento se propuso que fuera el instante posterior al momento donde el centro de gravedad alcanza el valor mínimo de velocidad vertical. El momento donde alcanza este mínimo quiere decir que el jugador está descendiendo del

salto realizado para su tiro, y el momento siguiente, donde su velocidad se acerca a 0, quiere decir que ya entró en contacto con el suelo.

5.2.1. Tablas de comparación entre tiros anotados y fallados

Variable	Lanzamientos convertidos		Lanzamientos fallados	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
TP (s)	1.119	0.005	1.149	0.003
TD (s)	1.294	0.271	1.384	0.008
TL (s)	1.354	0.007	1.382	0.004
AHP (°)	63.790	0.906	64.232	1.177
ACOP (°)	107.092	0.913	108.194	1.345
ACAP (°)	40.072	0.980	39.720	0.947
ARP (°)	63.365	0.995	62.223	0.855
ATP (°)	32.078	1.010	32.079	1.261
ALCOP	0.803	0.003	0.805	0.004
VACAD (°/s)	37.682	25.297	28.550	10.159
VARD (°/s)	15.689	55.796	-4.320	14.605

Variable	Lanzamientos convertidos		Lanzamientos fallados	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
VATD (°/s)	-75.018	56.072	-123.107	24.824
VAHL (°/s)	-80.961	33.456	-63.780	28.847
VACL (°/s)	-42.654	26.200	-49.597	25.358
VAMUL (°/s)	645.968	170.686	624.243	159.484
ASHL (°)	31.055	0.698	30.852	0.776
ATHL (°)	17.219	1.092	16.863	0.884
ALMAL	1.109	0.003	1.107	0.003
VCOGL (mm/s)	1253.768	31.626	1261.322	27.095
COGRL	0.623	0.015	0.609	0.014
COGRD	-0.070	0.003	-0.068	0.005

Tabla 9. Valores finales de las variables para los datos registrados en el sujeto 1. Las etiquetas son las siguientes. TP: Tiempo de preparación, TD: Tiempo de despegue, TL: Tiempo de lanzamiento, AHP: Ángulo de hombro en preparación, ACOP: Ángulo de codo en preparación, ACAP: Ángulo de cadera en preparación, ARP: Ángulo de rodilla en preparación, ATP: Ángulo de tobillo en preparación, ALCOP: Altura del codo en preparación, VACAD: Velocidad angular de cadera en despegue, VARD: Velocidad angular de rodilla en despegue, VATD: Velocidad angular de tobillo en despegue, VAHL: Velocidad angular del hombro en el lanzamiento, VACL: Velocidad angular del codo en el lanzamiento, VAMUL: Velocidad angular de muñeca en el lanzamiento, ASHL: Ángulo sagital del hombro en lanzamiento, ATHL: Ángulo transversal del hombro en preparación, ALMAL: Altura de la mano en el lanzamiento, VCOGL: Velocidad del centro de gravedad en el lanzamiento, COGRL: COGR en el lanzamiento, COGRD: Diferencia de COGR entre el momento anterior y el posterior al lanzamiento. Las variables relacionadas con altura son adimensionales debido a que corresponden a una relación entre la altura medida, y la estatura del sujeto de prueba. Las variables de color verde presentaron variabilidad estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Variable	Lanzamientos convertidos		Lanzamientos fallados	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
TP (s)	0.746	0.006	0.905	0.006
TD (s)	0.995	0.013	1.105	0.228
TL (s)	1.080	0.019	1.242	0.013
AHP (°)	38.512	1.790	36.939	2.614
ACOP (°)	111.840	1.580	110.892	2.173
ACAP (°)	57.347	3.873	57.498	2.738
ARP (°)	77.606	3.712	78.137	3.171
ATP (°)	41.087	1.044	41.079	1.239
ALCOP	0.535	0.014	0.533	0.013
VACAD (°/s)	-103.550	23.880	-128.924	48.315
VARD (°/s)	-263.163	33.337	-271.187	157.657

Variable	Lanzamientos convertidos		Lanzamientos fallados	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
VATD (°/s)	-346.845	25.846	-374.530	104.334
VAHL (°/s)	-186.690	35.052	-186.009	22.775
VACL (°/s)	-141.037	80.175	-155.819	63.361
VAMUL (°/s)	751.929	200.602	766.889	165.014
ASHL (°)	35.381	1.426	35.866	1.272
ATHL (°)	38.071	1.923	37.389	1.450
ALMAL	1.191	0.006	1.188	0.007
VCOGL (mm/s)	1409.872	115.355	1411.594	76.856
COGRL	0.658	0.036	0.666	0.034
COGRD	0.048	0.020	0.052	0.019

Tabla 10. Valores finales de las variables para los datos registrados en el sujeto 2. Las variables de color verde presentaron variabilidad estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Variable	Lanzamientos convertidos		Lanzamientos fallados	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
TP (s)	0.992	0.178	0.994	0.120
TD (s)	1.193	0.265	1.207	0.230
TL (s)	1.261	0.132	1.293	0.070
AHP (°)	55.214	12.145	46.946	13.563
ACOP (°)	108.703	2.563	109.903	2.351
ACAP (°)	45.933	8.599	50.980	9.010
ARP (°)	68.197	7.191	72.302	8.228
ATP (°)	35.135	4.426	37.779	4.590
ALCOP	0.712	0.129	0.633	0.134
VACAD (°/s)	-10.236	71.974	-71.184	86.751
VARD (°/s)	-78.921	142.220	-173.335	182.960

Variable	Lanzamientos convertidos		Lanzamientos fallados	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
VATD (°/s)	-167.245	138.604	-282.342	150.172
VAHL (°/s)	-116.833	61.065	-141.192	65.150
VACL (°/s)	-76.034	69.941	-116.871	74.731
VAMUL (°/s)	681.919	189.903	714.585	179.933
ASHL (°)	32.522	2.303	34.027	2.707
ATHL (°)	24.293	10.066	29.863	10.143
ALMAL	1.137	0.040	1.158	0.040
VCOGL (mm/s)	1306.732	104.076	1356.494	97.843
COGRL	0.635	0.029	0.645	0.040
COGRD	-0.030	0.058	0.008	0.061

Tabla 11. Valores finales de las variables del conjunto total de datos. Las variables de color verde presentaron variabilidad estadísticamente significativa ($p < 0.05$)

Como se pudo leer en la tabla 11, fuera de los tiempos correspondientes a los lanzamientos, hubo dos variables que demostraron una diferencia estadísticamente significativa entre los tiros que fueron anotados, y los fallados para las muestras de ambos sujetos, las cuales corresponden a la velocidad angular sagital de la cadera en el momento de despegue, y a la velocidad angular del tobillo en el momento del despegue.

5.2.2. Tablas de comparación entre sujetos

En las tablas 12 a 14 se puede apreciar una comparación entre los jugadores en sus tiros anotados o fallados. Mientras que las variables comparadas son las mismas, la clasificación de los datos se hace primero entre el resultado de los lanzamientos, y se hace la comparación entre cada sujeto, aprovechando que solamente hay 2 para hacer este tipo de prueba.

Variable	Sujeto 1		Sujeto 2	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
TP (s)	1.119	0.005	0.746	0.006
TD (s)	1.294	0.271	0.995	0.013
TL (s)	1.354	0.007	1.080	0.019
AHP (°)	63.790	0.906	38.512	1.790
ACOP (°)	107.092	0.913	111.840	1.580
ACAP (°)	40.072	0.980	57.347	3.873
ARP (°)	63.365	0.995	77.606	3.712
ATP (°)	32.078	1.010	41.087	1.044
ALCOP	0.803	0.003	0.535	0.014
VACAD (°/s)	37.682	25.297	-103.550	23.880
VARD (°/s)	15.689	55.796	-263.163	33.337

Variable	Sujeto 1		Sujeto 2	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
VATD (°/s)	-75.018	56.072	-346.845	25.846
VAHL (°/s)	-80.961	33.456	-186.690	35.052
VACL (°/s)	-42.654	26.200	-141.037	80.175
VAMUL (°/s)	645.968	170.686	751.929	200.602
ASHL (°)	31.055	0.698	35.381	1.426
ATHL (°)	17.219	1.092	38.071	1.923
ALMAL	1.109	0.003	1.191	0.006
VCOGL (mm/s)	1253.768	31.626	1409.872	115.355
COGRL	0.623	0.015	0.658	0.036
COGRD	-0.070	0.003	0.048	0.020

Tabla 12. Valores finales de las variables para los datos registrados de los lanzamientos anotados. Las etiquetas son las siguientes. TP: Tiempo de preparación, TD: Tiempo de despegue, TL: Tiempo de lanzamiento, AHP: Ángulo de hombro en preparación, ACOP: Ángulo de codo en preparación, ACAP: Ángulo de cadera en preparación, ARP: Ángulo de rodilla en preparación, ATP: Ángulo de tobillo en preparación, ALCOP: Altura del codo en preparación, VACAD: Velocidad angular de cadera en despegue, VARD: Velocidad angular de rodilla en despegue, VATD: Velocidad angular de tobillo en despegue, VAHL: Velocidad angular del hombro en el lanzamiento, VACL: Velocidad angular del codo en el lanzamiento, VAMUL: Velocidad angular de muñeca en el lanzamiento, ASHL: Ángulo sagital del hombro en lanzamiento, ATHL: Ángulo transversal del hombro en preparación, ALMAL: Altura de la mano en el lanzamiento, VCOGL: Velocidad del centro de gravedad en el lanzamiento, COGRL: COGR en el lanzamiento, COGRD: Diferencia de COGR entre el momento anterior y el posterior al lanzamiento. Las variables relacionadas con altura son adimensionales debido a que corresponden a una relación entre la altura medida, y la estatura del sujeto de prueba. Las variables de color verde presentaron variabilidad estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Variable	Sujeto 1		Sujeto 2	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
TP (s)	1.149	0.003	0.905	0.006
TD (s)	1.384	0.008	1.105	0.228
TL (s)	1.382	0.004	1.242	0.013
AHP (°)	64.232	1.177	36.939	2.614
ACOP (°)	108.194	1.345	110.892	2.173
ACAP (°)	39.720	0.947	57.498	2.738
ARP (°)	62.223	0.855	78.137	3.171
ATP (°)	32.079	1.261	41.079	1.239
ALCOP	0.805	0.004	0.533	0.013
VACAD (°/s)	28.550	10.159	-128.924	48.315
VARD (°/s)	-4.320	14.605	-271.187	157.657

Variable	Sujeto 1		Sujeto 2	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
VATD (°/s)	-123.107	24.824	-374.530	104.334
VAHL (°/s)	-63.780	28.847	-186.009	22.775
VACL (°/s)	-49.597	25.358	-155.819	63.361
VAMUL (°/s)	624.243	159.484	766.889	165.014
ASHL (°)	30.852	0.776	35.866	1.272
ATHL (°)	16.863	0.884	37.389	1.450
ALMAL	1.107	0.003	1.188	0.007
VCOGL (mm/s)	1261.322	27.095	1411.594	76.856
COGRL	0.609	0.014	0.666	0.034
COGRD	-0.068	0.005	0.052	0.019

Tabla 13. Valores finales de las variables para los datos registrados en los lanzamientos fallados. Las variables de color verde presentaron variabilidad estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Variable	Sujeto 1		Sujeto 2	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
TP (s)	1.126	0.014	0.825	0.081
TD (s)	1.315	0.244	1.050	0.173
TL (s)	1.360	0.013	1.161	0.084
AHP (°)	63.891	1.003	37.725	2.406
ACOP (°)	107.345	1.140	111.366	1.984
ACAP (°)	39.992	0.994	57.423	3.400
ARP (°)	63.104	1.089	77.871	3.509
ATP (°)	32.078	1.084	41.083	1.161
ALCOP	0.803	0.003	0.534	0.013
VACAD (°/s)	35.590	23.302	-116.237	40.705
VARD (°/s)	11.104	50.725	-267.175	115.546

Variable	Sujeto 1		Sujeto 2	
	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
VATD (°/s)	-86.038	55.105	-360.688	78.293
VAHL (°/s)	-77.024	33.603	-186.350	29.957
VACL (°/s)	-44.245	26.450	-148.428	73.611
VAMUL (°/s)	640.990	170.215	759.409	186.292
ASHL (°)	31.008	0.730	35.623	1.391
ATHL (°)	17.137	1.070	37.730	1.760
ALMAL	1.108	0.003	1.190	0.007
VCOGL (mm/s)	1255.499	31.137	1410.733	99.334
COGRL	0.620	0.016	0.662	0.036
COGRD	-0.070	0.004	0.050	0.020

Tabla 14. Valores finales de las variables para lanzamientos tanto anotados como fallados. Las variables de color verde presentaron variabilidad estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

5.3. Análisis estadístico

Como se vio a lo largo de las tablas, se realizó análisis de prueba de significancia estadística para las variables en los distintos casos. Se encontró que, clasificando los tiros como fallados o anotados, había variables como la velocidad angular de la cadera en el momento de despegue, o la velocidad angular del tobillo en el mismo instante, que presentaban diferencias estadísticamente significativas. En el caso de la clasificación de los tiros según el jugador, la mayoría de las variables presentaron estas diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Asimismo, se calculó el coeficiente Pearson de correlación entre variables para observar la dependencia que tenían una de la otra. Este cálculo se puede apreciar en la tabla 15, donde únicamente se incluyeron aquellas variables que tenían coeficientes mayores a 0.9 o menores a -0.9.

	AHP	ACAP	ARP	ATP	ALCOP	VACAD	VARD	VATD	ASHL	ATHL	ALMAL
ACAP	-0.960										
ARP	-0.946	0.962									
ATP	-0.968	0.939	0.947								
ALCOP	0.993	-0.973	-0.961	-0.976							
VACAD	0.907	-0.914	-0.888	-0.893	0.922						
VARD	0.834	-0.853	-0.835	-0.834	0.856	0.959					
VATD	0.892	-0.881	-0.856	-0.873	0.901	0.951	0.949				
ASHL	-0.900	0.921	0.897	0.877	-0.914	-0.867	-0.788	-0.839			
ATHL	-0.982	0.957	0.945	0.969	-0.990	-0.912	-0.851	-0.891	0.908		
ALMAL	-0.980	0.964	0.948	0.965	-0.990	-0.920	-0.862	-0.899	0.926	0.992	
COGRD	-0.975	0.961	0.927	0.947	-0.979	-0.911	-0.840	-0.895	0.900	0.962	0.965

Tabla 15. Coeficiente Pearson de correlación entre variables. Las etiquetas son las siguientes. AHP: Ángulo de hombro en preparación, ACAP: Ángulo de cadera en preparación, ARP: Ángulo de rodilla en preparación, ATP: Ángulo de tobillo en preparación, ALCOP: Altura de codo en preparación, VACAD: Velocidad angular de cadera en despegue, VARD: Velocidad angular de rodilla en despegue, VATD: Velocidad angular de tobillo en despegue, ASHL: Ángulo sagital del hombro en lanzamiento, ATHL: Ángulo transversal del hombro en preparación, ALMAL: Altura de la mano en el lanzamiento, COGRD: Diferencia de COGR entre el momento anterior y el posterior al lanzamiento. Los valores denotados en verde son mayores a 0.9, en amarillo son menores a -0.9

5.4. Apreciación gráfica del lanzamiento

El elemento cualitativo del estudio correspondiente a la observación del *loop* realizado por la mano y el balón de cada jugador se puede apreciar en la figura 8. En la figura se puede apreciar la dirección de los tiros gracias a las flechas que la indican dentro de cada trayectoria. Por otro lado, también se pueden apreciar los instantes de preparación, despegue y ejecución del lanzamiento denotados con símbolos (+, ● y ■, respectivamente). Las gráficas correspondientes a cada sujeto corresponden a muestras aleatorias dentro de las tomas realizadas a los jugadores, es seguro decir que a simple vista dichas trayectorias no presentan mucha diferencia dentro del grupo de datos perteneciente a cada jugador.

El eje horizontal representa el anteroposterior, la perspectiva sagital de lo que sería el jugador, y tiene como referencia al menor valor de la distancia en dicho eje registrada para los dedos de la mano derecha. El eje vertical es la altura de la mano a lo largo del tiempo, y está normalizada a la altura del jugador. Las trayectorias empiezan al contacto con el balón y terminan en el momento de aterrizaje del jugador, el primer contacto de éste con el suelo.

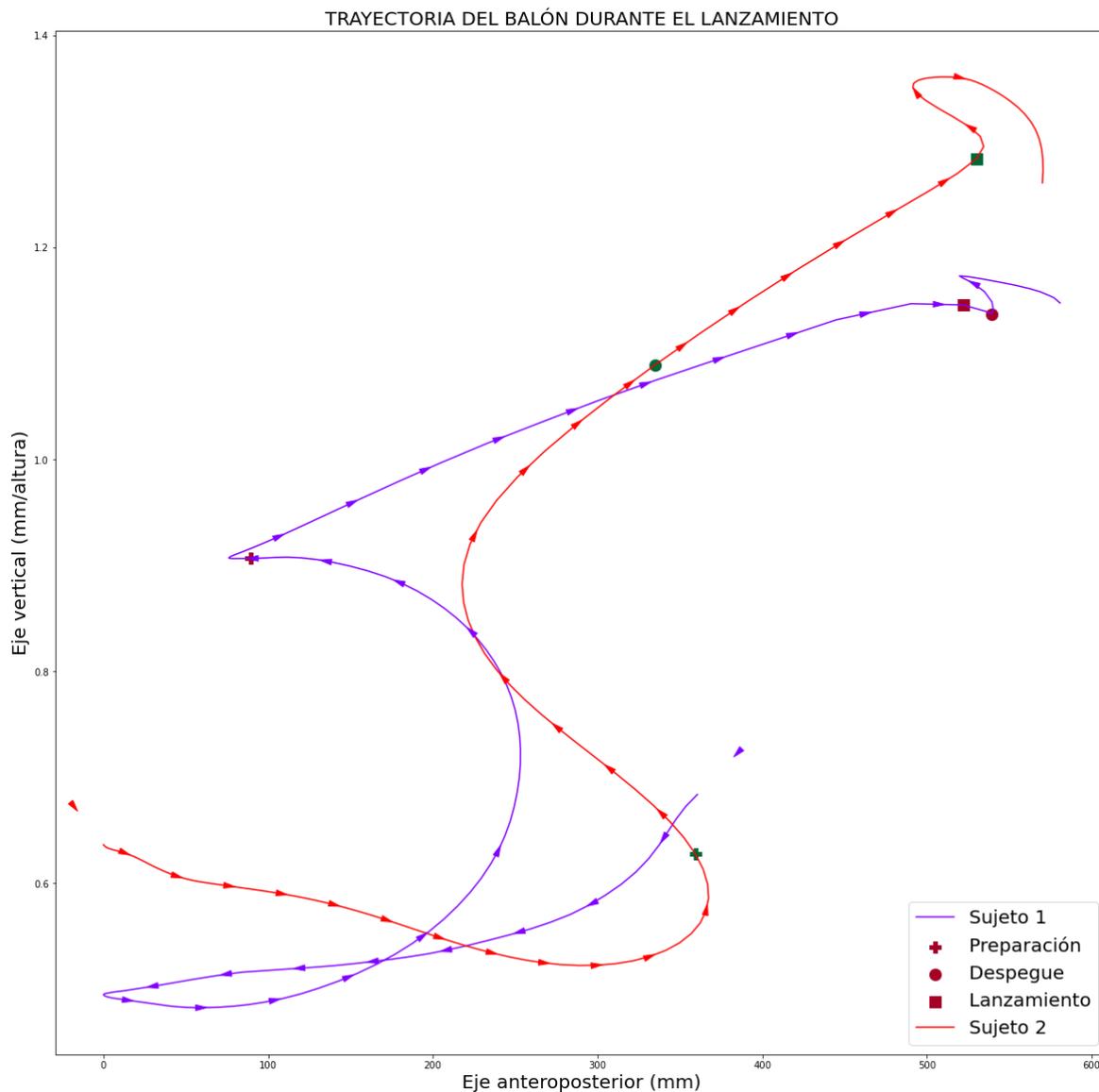


Figura 8. Apreciación del movimiento de dedos a lo largo del lanzamiento

6. DISCUSIÓN

En este trabajo final de pregrado, se investigaron las posibles variables para la correcta ejecución de un lanzamiento de 3 puntos en baloncesto en general, intentando dejar de lado aptitudes físicas de jugadores experimentados en el área y que compiten a un nivel relativamente alto en cuanto a los estándares de competitividad en el país donde se realiza el estudio se refieren. En esta sección se asociarán los resultados del estudio de acuerdo

con los objetivos planteados, tanto específicos como general. En la sección de conclusiones se establecerá en qué medida se cumplieron cada uno de dichos objetivos.

Los análisis de significancia estadística en las tablas 9 a 14 tienen 3 variables en común que son los tiempos de preparación, despegue y lanzamiento (TP, TD y TL). Mientras que esto puede significar algo, se descarta cualquier interpretación relacionada con las mismas. Se hace esto porque el proceso de extracción de estas variables fue con el objetivo único de extraer las demás variables cinemáticas y no de realizar un análisis relacionado con estos tiempos. De haber sido así, el procesamiento hubiera sido distinto y, en cierta medida, más estandarizado. Sin embargo, se mostraron precisamente a que pueden ser una vía para un hallazgo futuro más preciso relacionado con los objetivos.

En cuanto a las demás variables, las que se propusieron analizar en la metodología, se pueden observar varios aspectos:

6.1. Comparación entre tiros anotados y fallados

Combinando la información de ambos sujetos (tabla 11), es posible evidenciar que muy pocas variables presentan un cambio notorio de entre tiros anotados y fallados, siendo éstas la velocidad angular de la cadera en el despegue y la velocidad angular del tobillo en este mismo instante (VACAD y VATD). Ambas presentan una reducción en su magnitud bastante pronunciada, a pesar de que la varianza sea relativamente grande sin importar el resultado del tiro. Las magnitudes son parecidas a las reportadas por Podmenik [26], quien estudió la variación de la cadena cinemática de los segmentos a medida que incrementaba la distancia del lanzamiento al aro, mas no evaluó la variación de esta entre tiros anotados y fallados.

Cabarkapa ha establecido que variables angulares en el plano sagital no tienen variación significativa entre estos dos tipos de lanzamiento [25] [46]. El presente estudio confirmó eso para las variables que Cabarkapa estudió: los ángulos de hombro, codo, cadera, rodilla y tobillo en preparación, altura relativa del codo y mano en preparación y lanzamiento respectivamente, y ángulo sagital del hombro en lanzamiento (AHP, ACOP, ACAP, ARP, ATP, ALCOP, ALMAL y ASHL). Pero si se ve el análisis en el sujeto 2 (tabla 10), se puede apreciar que el ángulo del hombro en preparación se presenta una variación significativa, cosa que no pasa en el sujeto 1 (tabla 9). En cambio, el sujeto 1 presenta una variación en el ángulo de la rodilla en la preparación, coincidiendo esta variación con las investigaciones de Ammar [47], quien confirmó que este es ligeramente aumentado en los tiros anotados. Se esperaba que, en este estudio, al ser los lanzamientos de larga distancia en comparación con los de Cabarkapa, dichas variables tuvieran un papel más protagónico en la clasificación del éxito de los tiros. Aun así, más estudios en la literatura confirman la poca diferenciación que se le pueden dar a las distintas variables entre lanzamientos efectivos y no efectivos [48].

El ángulo transversal del hombro se decidió estudiar bajo el siguiente argumento: prácticamente todos los estudios se han enfocado en estudiar variables cinéticas-cinemáticas en el plano sagital, sacando conclusiones e inferencias relacionadas a la fuerza y altura con la que el balón llega al aro. No obstante, un factor igual de esencial a la hora del resultado en un lanzamiento es la puntería, proporcionada por el brazo fuerte. Esta puntería se teorizó que tenía que ver con el eje sagital o anteroposterior y la disposición del

brazo en el lanzamiento. Los resultados indican que este no es el caso, al no presentar una variación significativa entre tiros anotados y fallados, para ninguno de los dos sujetos. Sin embargo, viendo los resultados en las tablas 9 y 10, se puede inferir que, en los lanzamientos fallados, el brazo derecho (de lanzamiento) tiene una muy leve rotación interna.

Las medidas relacionadas al centro de gravedad evalúan el balance de los jugadores en el momento del lanzamiento, tal y como lo reporta Hudson en el estudio donde estableció estas variables, y donde concluyó que dichas variables (COGR en el lanzamiento y diferencia de COGR antes y después del lanzamiento) se reducían en magnitud y varianza a medida que la experticia aumentaba [19]. Dicho estudio se realizó ejecutando lanzamientos de tiro libre, y los resultados para la muestra con pobres habilidades en el baloncesto se parecen en magnitud a los arrojados en esta investigación, que se enfocó en el lanzamiento de 3 puntos. Gracias a estos datos, se puede afirmar que lograr un buen equilibrio en el lanzamiento se vuelve más difícil cuando la distancia al aro incrementa. Un experto lanzando de 3 puntos tiene una dificultad parecida a un iniciado lanzando de tiro libre. Sin embargo, a la hora de comparar dichas variables entre lanzamientos metidos y errados, solamente una de las variables sirvió como diferenciadora únicamente para el sujeto 1.

6.2. Comparación entre sujetos

Las tablas 12 a 14 muestran una comparación entre los dos sujetos, una comparación para los tiros anotados por los jugadores, otra para los errados, y otra para la suma de ambos tipos de tiro realizado por los sujetos. Lo que se ve prácticamente a simple vista es la variación de magnitudes en la gran mayoría, por no decir todas las variables. Estos resultados refuerzan el paradigma de que cada jugador, prácticamente cada persona tiene su propio mecanismo y desarrolla su cadena cinemática de acuerdo con su experiencia que le permite realizar este lanzamiento.

Analizando estas tablas bajo el supuesto de que el sujeto 1 tiene más experticia que el 2 (los resultados en la tabla 8 indica que en prácticamente cada set de tiros el sujeto 1 tuvo mayor efectividad que el 2), y que fue esta la razón por la que se presentó una gran diferencia en las variables con respecto al sujeto 2 -y no por las características físicas- se pueden extraer las siguientes inferencias:

6.2.1. Fase de preparación

Mientras que los ángulos del codo (ACOP), cadera (ACAP), rodilla (ARP) y tobillo (ATP) experimentaron una reducción, el del hombro (AHP) aumentó, así como la altura relativa del codo (ALCOP). Estos resultados coinciden en su mayoría con los mostrados por Cabarkapa [46] [25], con excepción del ángulo del hombro, y la altura relativa del codo el cual aumentó. En estudios anteriores, la cinemática del codo demostró influir en la mecánica de la muñeca a través de los torques que dependían de la velocidad [46] [48].

6.2.2. Momento de despegue

Los valores de las variables relacionadas al despegue tienen que ver con la velocidad angular, ya sea de cadera, rodilla o tobillo. Estas variables llaman particularmente la atención debido a la gran diferencia de magnitudes que tienen. Durante el procesamiento de datos sufrieron el mismo proceso de extracción, por lo que no deberían ser tan distintas. Esto causó un análisis un poco más profundo, utilizando como apoyo el software Mokka para utilizar y observar muestras para ver exactamente qué pasa con estos valores.

ÁNGULO SAGITAL DE CADERA EN LANZAMIENTO

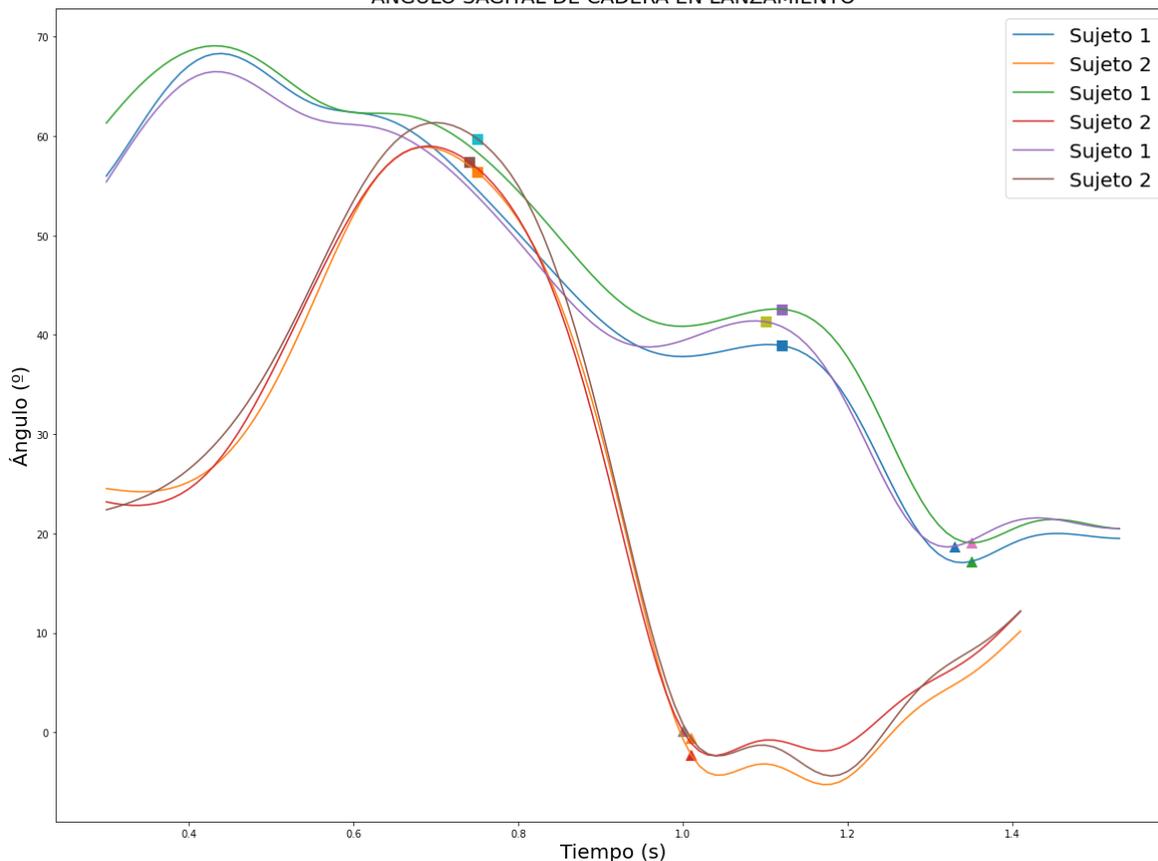


Figura 9. Medida del ángulo sagital de la cadera en el lanzamiento para 3 muestras aleatorias por sujeto. El momento de despegue está denotado con un TRIÁNGULO ▲

Las figuras 9 a 11 comprenden los ángulos sagitales para 3 muestras aleatorias de cada sujeto de la cadera, rodilla y tobillo. Se realizaron estas gráficas para analizar de manera observacional el fenómeno visto anteriormente en los valores de las velocidades angulares de estas articulaciones en el despegue. Lo que se puede apreciar de manera general en ambos sujetos es que ocurre una rápida extensión de la cadera entre la preparación (denotada con un cuadrado ■; aquí se alcanza un valor cercano a la máxima flexión) y el despegue, seguida de una muy leve flexión en el aire que por supuesto aumentará en el aterrizaje.

El aspecto más interesante de estas gráficas es la ubicación del momento de despegue con respecto al movimiento de extensión-flexión de la cadera. El sujeto 2 se levanta del suelo unos pocos instantes antes de alcanzar una máxima extensión de la cadera, mientras que el sujeto 1 hace lo propio, despegando en instantes posteriores a esta máxima extensión.

Este hecho se observa también en la figura 10, que representa el ángulo de la rodilla derecha. Esto explica la diferencia tan grande en los valores extraídos de las velocidades: mientras que el jugador 2 alcanzaba la máxima velocidad de extensión (negativa), el sujeto 1 ya la había alcanzado, y se estaba flexionando. En lo que respecta al tobillo, ambos presentan grandes valores de velocidad de extensión, pero el sujeto 1 ya la va reduciendo, estando más cerca de la máxima extensión que el sujeto 2, como se puede ver en la figura 11.

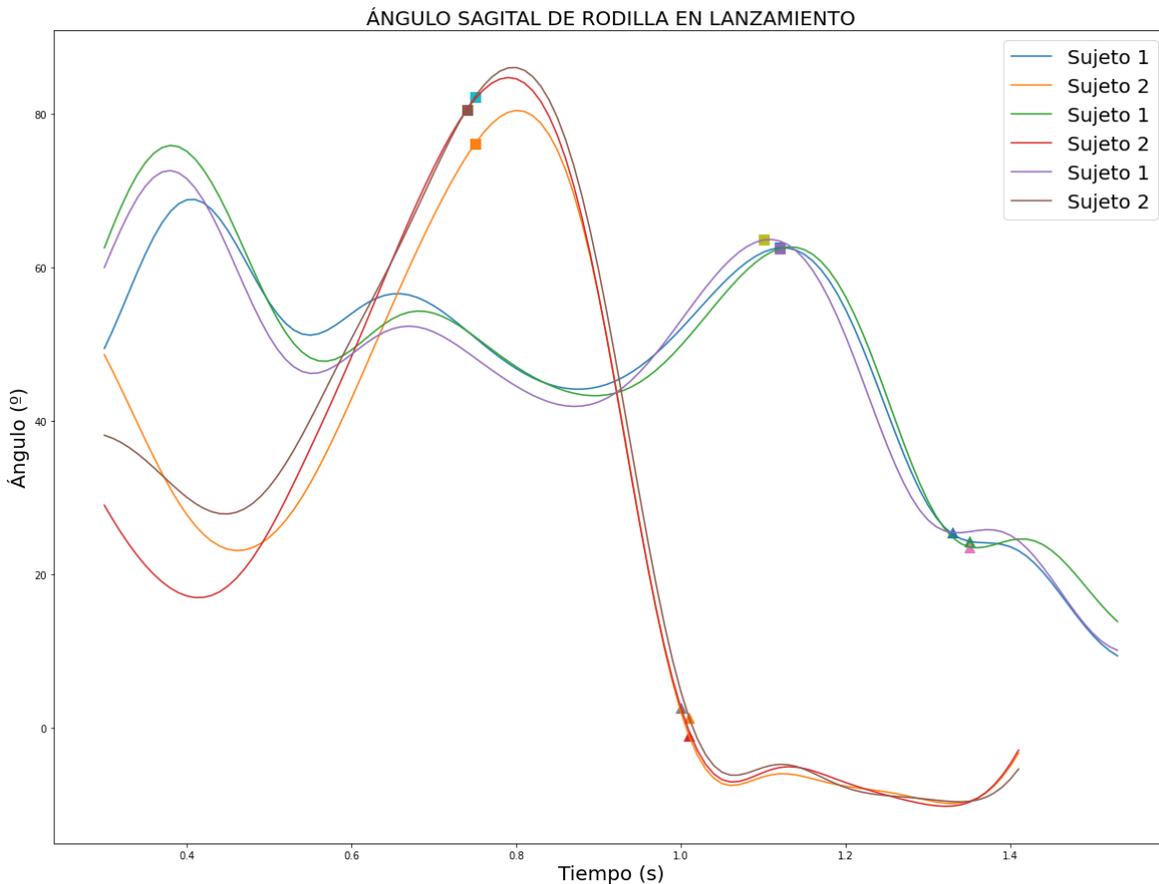


Figura 10. Medida del ángulo sagital de la rodilla en el lanzamiento para 3 muestras aleatorias por sujeto. El momento de despegue está denotado con un TRIÁNGULO ▲

En lo que respecta a valores comparativos con otros estudios, se tiene que los resultados de Podmenik se aproximan más a los del sujeto 2 [26], sin necesariamente estar cerca.

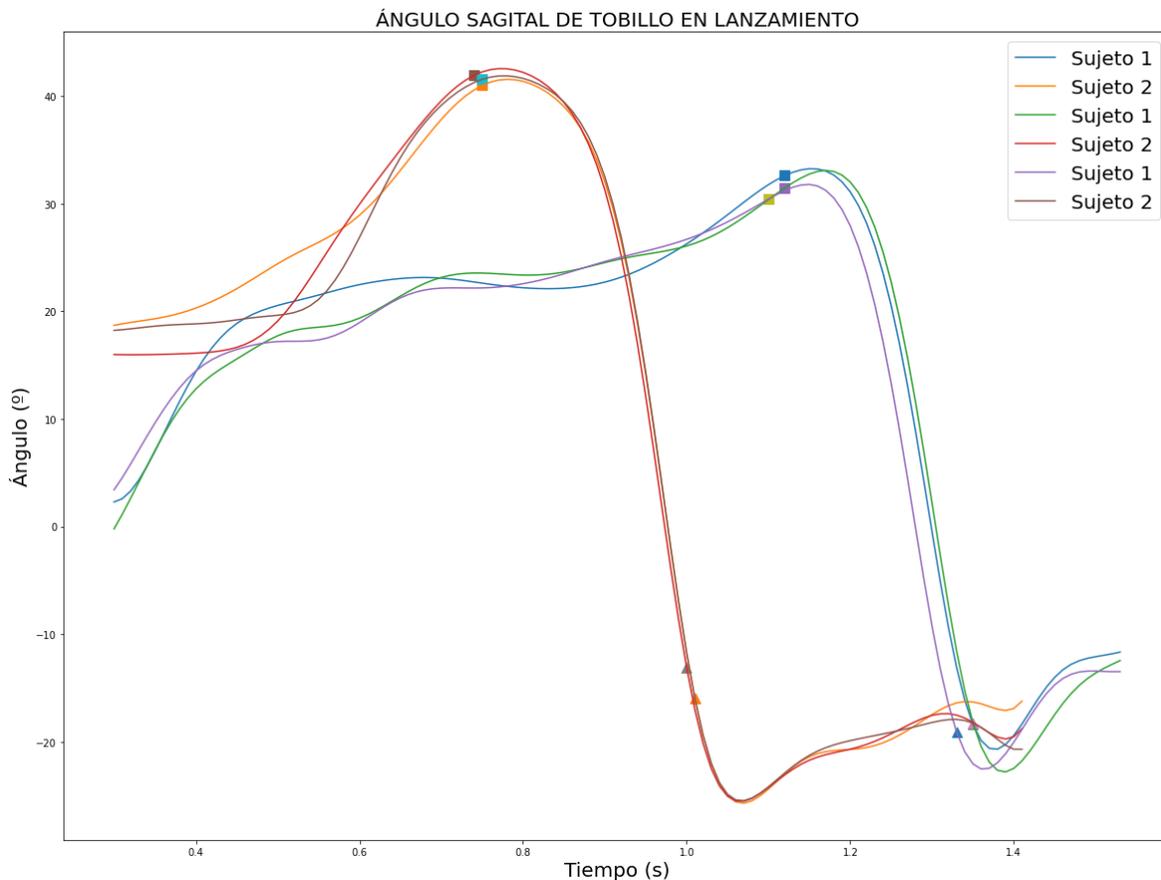


Figura 11. Medida del ángulo sagital del tobillo en el lanzamiento para 3 muestras aleatorias por sujeto. El momento de despegue está denotado con un TRIÁNGULO ▲

6.2.3. Fase de lanzamiento

En cuanto a esta fase se refiere, la magnitud de las variables relacionadas a velocidad también tiene una notoria diferencia en sus magnitudes. Podmenik reportó resultados con valores significativamente mayores en estas instancias [26]. Sin embargo, dentro del mismo estudio se discute que los resultados obtenidos son debido a la edad de los participantes (15.43 ± 0.51 años), y argumenta de que la habilidad motora se desarrolla completamente en la edad adulta [49]; por tanto, los jugadores más jóvenes utilizan diferentes estrategias de tiro al aro de acuerdo con el control motor que tengan. Okazaki reportó resultados más cercanos a los de la presente investigación, sin necesariamente estar aproximados [50]. De cualquier modo, tanto este como los otros estudios coinciden en que la magnitud incrementa en cuanto se recorre de porción proximal a distal del segmento del brazo lanzador.

Los ángulos del hombro en el lanzamiento mostraron un incremento en el sujeto 2. Teniendo en cuenta que fueron calculados con respecto al eje sagital o anteroposterior del cuerpo en vez de la vertical, no se puede hacer una comparación propia con otros estudios. Los

resultados que arrojan las tablas 12 a 14 indican que la variación entre sujetos del ángulo sagital no es tan notoria como el ángulo transversal, donde el sujeto 2 tiene un mayor valor. Esto permite inferir que, en el momento del lanzamiento, el tronco tiene una mayor rotación con respecto al segmento del brazo lanzador en el jugador 2 que en el 1. Esto se puede deber gracias a la mayor demanda de velocidad angular de articulaciones que constantemente se ha estado viendo por parte del sujeto 2 para poder lanzar, terminando en una rotación de la cadera durante todo el movimiento.

6.3. Correlación estadística

Lo que se ve en la tabla 15 es el coeficiente Pearson de correlación entre la mayoría de las variables estudiadas. Todas las que se incluyeron en la tabla mencionada tienen por lo menos una correlación absoluta mayor a 0.9 con otra variable. Las variables que se excluyeron fueron el ángulo del codo en preparación (ACOP), las velocidades angulares del hombro, codo y muñeca en el lanzamiento (VAHL, VACL y VAMUL respectivamente), la velocidad del COG en el lanzamiento (VCOGL) y el COGR en el lanzamiento (COGRL). Los valores de correlación encontrados son significativamente superiores a los reportados por Cabarkapa [51], teniendo una relación casi lineal o inversamente lineal, depende del caso que corresponda.

6.4. Loop de la mano

El movimiento propuesto por el canal de YouTube mencionado en el estado del arte, que lleva por nombre *Loop Basketball Training*, tiene tanta varianza entre sujetos como las demás variables. Sin embargo, al ser una trayectoria relacionada bastante con el balón, se teoriza que pueda llegar a tener un modelamiento teórico, por ahora único a cada jugador. Este modelamiento de ecuación parametrizada puede tener en cuenta tanto la ubicación como velocidad y energía del lanzamiento para que tenga un alcance como determinante del éxito o fracaso de un lanzamiento. De la figura 8 se pueden, sin embargo, apreciar varias cosas en común:

- Antes del lanzamiento, los dedos realizan un movimiento lineal en dirección al aro
- Posterior a este movimiento lineal, por la fuerza de oposición creada por el balón, los dedos sufren de una detención y retroceso rápido en el eje horizontal, a medida que siguen ganando altura debido al salto que el cuerpo realiza como medida de impulso para el balón.
- Después de recibido el balón, independiente del lugar con respecto al cuerpo donde se recibió, se baja hasta aproximadamente la mitad de la altura del jugador (la cadera, aproximadamente) para ser subido hasta una altura de 0.8 a 0.9 veces la altura del jugador (altura de la cara a la frente) en un movimiento de arco.

Por otro lado, el jugador 2, que es menor en estatura, alcanzó una mayor altura relativa para lanzar el balón que el jugador 1. Debido a que el aro se mantiene a una altura constante, se sugiere que ambos jugadores alcanzan una altura aproximadamente igual con respecto al suelo, pero el jugador 1, al ser más alto, no necesita de un gran salto, ni inversión de energía en este para alcanzar dicha altura. Esto se puede demostrar en que las velocidades angulares tanto en despegue como en lanzamiento de las articulaciones del primer sujeto son siempre menores en magnitud que las del segundo sujeto.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

A partir de lo que se realizó en el presente estudio, todavía quedan muchas cosas por hacer. Se obtuvo una base de datos con una gran cantidad de información, así no se haya trabajado con la cantidad de muestras propuesta en un principio. La información proporcionada por VICON no sólo proporciona ubicaciones espaciales de puntos y ángulos articulares, sino que también se tienen fuerzas, momentos y potencias de distintos segmentos y articulaciones. Se discutirá con los tutores en si completar el pre-procesamiento de las muestras faltantes y publicar dicha base de datos para que sea de acceso gratuito para aquellos investigadores que deseen entrar en este campo de una manera sencilla y completa.

Por otro lado, tanto la búsqueda bibliográfica como el desarrollo de la presente disertación demostraron una falta de estandarización para que el análisis entre sujetos no sea tan variable y se tengan valores más compartidos para un estudio más uniforme, por lo que se motiva a la realización de un método de normalización que permita la comparación de estos variables entre jugadores y se pueda prescindir de las condiciones físicas de los jugadores.

A pesar de lo que se mencionó sobre lo completa que es la base de datos en cuanto a variables cinemáticas se refiere, realizar el protocolo de toma de datos con más jugadores tendría un efecto significativamente positivo sobre la base de datos.

Se motiva a seguir estudiando las variables que demostraron variar entre tiros efectivos y errados, más específicamente las velocidades angulares sagitales de cadera y tobillo en el despegue. Igualmente se motiva a estudiar más variables, no sólo en el plano sagital sino también en el frontal y transversal. Esta base de datos tiene los recursos necesarios para dichos estudios. Por poner un ejemplo, varios estudios han tenido en cuenta la alineación del codo y la muñeca con respecto al eje vertical [46] [30] [52]. Para esto, es necesario un análisis desde el plano frontal.

Como se mencionó anteriormente, el movimiento del *loop* es un fenómeno interesante que, a pesar de ser evidentemente distinto entre los jugadores, tiene algunos elementos en común que podrían ser explotados con fines de una mejor caracterización de los lanzamientos en el baloncesto.

8. CONCLUSIONES

Las características más importantes del lanzamiento están relacionadas con la velocidad de ejecución del tiro, de modo que articulaciones inferiores como los tobillos, rodillas y cadera deben extenderse rápidamente en el momento del despegue, mientras que antes del lanzamiento las articulaciones del brazo lanzador deben tener una extensión veloz. En el caso de la muñeca, antes de soltar el balón, debe sufrir un cambio angular de alta magnitud en orden de transferir la energía del cuerpo al balón y lograr que llegue de manera efectiva al aro.

Mientras que se teorizó que podría haber variables estudiadas anteriormente que pudieran prescindir de las condiciones físicas de los jugadores de baloncesto, el presente estudio demostró que no es así. Por este motivo se propuso en trabajos futuros un método de estandarización y/o normalización de estas variables, para que puedan ser comparadas entre jugadores de manera más uniforme.

Gracias a lo afirmado anteriormente, se puede establecer que es necesario el análisis uniformizado entre jugadores para, como paso siguiente, se puedan estudiar las diferencias entre lanzamientos efectivos y defectuosos. Se concluye que esta es la razón por la que no hay variaciones significativas en la mayoría de las variables estudiadas entre los tiros anotados y errados mostradas en las tablas 9 a 11. Las que presentaron esta variabilidad en la tabla 11, se puede deber a la diferencia tan grande en valores entre sujetos discutida en la sección 6.2.

La muñeca y los dedos son un determinante y una buena guía cinemática para saber lo que pasa con el balón a lo largo del movimiento del lanzamiento, desde que se recibe hasta que se suelta. Además, la alta correlación entre variables demuestra que la relación de la cinemática entre las articulaciones inferiores y las superiores es muy alta, y merece ser estudiada con más detenimiento para establecer exactamente la cadena cinemática y transmisión de energía y velocidad para la ejecución del lanzamiento.

REFERENCIAS

- [1] S. Devano, «Top 10 Most Popular Sports In The World March 2022,» Sports Browser, 23 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://sportsbrowser.net/most-popular-sports/>. [Último acceso: 9 Marzo 2022].
- [2] «Men's Basketball: Probability of competing beyond high school,» NCAA, 20 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.ncaa.org/sports/2015/3/6/men-s-basketball-probability-of-competing-beyond-high-school.aspx>. [Último acceso: 9 Marzo 2022].
- [3] J. Beachell, «HOW MANY SHOTS DOES STEPH CURRY TAKE A DAY?,» sport-net, 4 September 2021. [En línea]. Available: <https://sport-net.org/how-many-shots-does-steph-curry-take-a-day/>. [Último acceso: 10 March 2022].
- [4] N. Slegers, D. Lee y G. Wong, «The Relationship of Intra-Individual Release Variability with Distance and Shooting Performance in Basketball,» *Journal of Sports Science and Medicine*, vol. 20, pp. 508-515, 2021.
- [5] D. S. Kelmendi, F. Miftari y M. Tekin, «Kinematic Analysis of the Basketball Free Throw in Preparation Phase of Elite Athletes,» *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, vol. 9, nº 6, pp. 1204-1212, 2021.
- [6] P. Pakosz, «EMG SIGNAL ANALYSIS OF SELECTED MUSCLES DURING SHOTS AND PASSES IN BASKETBALL,» *Journal of Health Promotion Recreation*, vol. 1, pp. 9-14, 2011.
- [7] A. Struzik, B. Pietraszewski y J. Zawadzki, «Biomechanical Analysis of the Jump Shot in Basketball,» *Journal of Human Kinetics*, vol. 42, nº 3, pp. 73-79, 2014.
- [8] V. H. Okazaki, A. L. Rodacki y M. N. Satern, «A review on the basketball jump shot,» *Sports Biomechanics*, pp. 37-41, 2015.
- [9] FIBA, «2020 OFFICIAL BASKETBALL RULES,» FIBA, 26 March 2020. [En línea]. Available: <https://www.fiba.basketball/documents/official-basketball-rules/2020.pdf>. [Último acceso: 29 April 2022].
- [10] T. Perea Rosero, «Violaciones: Avance ilegal,» de *Reglamento oficial ilustrado del baloncesto*, Bogotá D.C., Panamericana, 2007, pp. 69-72.
- [11] «Doble Ritmo,» [En línea]. Available: <https://milenedrano.wixsite.com/baloncesto/quienes-somos1-cz4f>. [Último acceso: 29 April 2022].
- [12] E. Marínez, «Ya aquí más de 20 Reglas del Baloncesto Actual,» Parla Básquet, [En línea]. Available: <https://www.parlabasquet.com/reglas-del-baloncesto/>. [Último acceso: 11 March 2022].
- [13] ActiveSG, «The different types of basketball scoring shots and how to execute them,» ActiveSG, [En línea]. Available: <https://www.myactivesg.com/sports/basketball/training-methods/basketball-for-beginners/the-different-types-of-basketball-scoring-shots>. [Último acceso: 29 April 2022].
- [14] L. S. Penner, «Mechanics of the Jump Shot: The “Dip” Increases the Accuracy of Elite Basketball Shooters,» *Frontiers in Psychology*, vol. 12, 2021.

- [15] S. Fury, *Rise and Fire: The origins, science and evolution of the jump shot - and how it transformed basketball forever*, New York: Flatiron Books, 2016.
- [16] M. C. Tran y M. L. Silverberg, «Optimal release conditions for the free throw in men's basketball,» *Journal of sports sciences*, vol. 26, nº 11, pp. 1147-1155, 2008.
- [17] «3 MAJOR Differences Between Steph and Klay's Mechanics,» YouTube, 13 June 2018. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Es7ImAYWJZ0&t=1s>. [Último acceso: 11 March 2022].
- [18] J. S. Drysdale, «A CINEMATOGRAPHIC AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BASKETBALL JUMP SHOT,» *ProQuest Dissertations Publishing*, pp. 1-200, 1972.
- [19] L. J. Hudson, «Prediction of Basketball Skill Using Biomechanical Variables,» *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 56, nº 2, pp. 115-121, 1985.
- [20] H. Ripoll, C. Bard y J. Paillard, «STABILIZATION OF HEAD AND EYES ON TARGET AS A FACTOR IN SUCCESSFUL BASKETBALL SHOOTING,» *Human Movement Science*, vol. 5, pp. 47-58, 1986.
- [21] B. C. Elliot y E. White, «A kinematic and kinetic analysis of the female two point and three point jump shots in basketball,» *Australian journal of science & medicine in sport*, vol. 21, nº 2, pp. 7-11, 1989.
- [22] D. V. Knudson, «Biomechanics of the Basketball Jump Shot - Six Key Teaching Points,» *Journal of Physical Education Recreation & Dance*, pp. 67-73, 1993.
- [23] «Noah Home Landing Page,» Noah Basketball, [En línea]. Available: <https://www.noahbasketball.com>. [Último acceso: 11 March 2022].
- [24] R. KHALIFA, R. AOUADI, R. SHEPHARD, M. S. CHELLY, S. HERMASSI y T. J. GABBET, «Effects of a shoot training programme with a reduced hoop diameter on free-throw performance and kinematics in young basketball players,» *Journal of Sports Science & Medicine*, vol. 31, nº 5, pp. 497-504, 2013.
- [25] D. Cabarkapa, A. C. Fry, J. P. Poggio y M. A. Deane, «KINEMATIC DIFFERENCES BETWEEN PROFICIENT AND NON-PROFICIENT FREE THROW SHOOTERS – VIDEO ANALYSIS,» *Journal of Applied Sports Sciences*, vol. 1, nº 3, pp. 12-21, 2021.
- [26] N. Podmenik, M. Supej, M. Čoh y F. Erčulj, «The effect of shooting range on the dynamics of limbs angular velocities of the basketball shot,» *Kinesiology*, vol. 49, pp. 92-100, 2017.
- [27] C. d. M. d. Deporte, «CMJ,» Universidad de Murcia, [En línea]. Available: <https://www.um.es/web/medicinadeportiva/contenido/planificacion/pruebas/fuerza/cmj#:~:text=El%20salto%20Counter%20movement%20jump,de%20una%20extensi%20de%20piernas..> [Último acceso: 6 Marzo 2022].
- [28] P. Grenha, J. Moura, E. Guimarães, P. Fonseca, F. Sousa y M. Janeira, «Efectos de un programa de autoentrenamiento sobre el rendimiento y cinemática de tiro en jóvenes jugadores de baloncesto: un caso de estudio,» *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, vol. 43, pp. 256-263, 2021.
- [29] J. Pärssinen, «Loop Basketball Training,» YouTube, 2021. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/c/LoopBasketballTraining/featured>. [Último acceso: 15 February 2022].
- [30] S. Miller y R. Bartlett, «The relationship between basketball shooting kinematics, distance and playing position,» *Journal of Sports Sciences*, vol. 14, nº 3, p. 243–253, 1996.

- [31] M. Walters, J. G. Budson y M. Bird, «KINEMATIC ADJUSTMENTS IN BASKETBALL SHOOTING AT THREE DISTANCES,» de *8 International Symposium on Biomechanics in Sports*, Prague, 1990.
- [32] J. L. Hudson, «Shooting techniques for small players,» *Athletic Journal*, vol. 11, pp. 22-24, 1985.
- [33] M. Satern, «Basketball: Shooting the Jump Shot,» *Strategies: A Journal for Physical and Sport Educators*, vol. 1, nº 4, pp. 9-11, 1988.
- [34] M. A. Looney, J. A. Spray y D. Castelli, «The Task Difficulty of Free Throw Shooting for Males and Females,» *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 67, nº 3, p. 265-271, 1996.
- [35] V. Okazaki, A. Rodacki, V. Dezan y T. Sarraf, «Coordenação do arremesso de jump no basquetebol de crianças e adultos,» *Brazilian Journal of Biomechanics*, 2006.
- [36] B. C. Elliot y E. White, «A kinematic comparison of the male and female two-point and three-point jump shots in basketball,» *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 24, nº 4, pp. 111-118, 1992.
- [37] R. A. Schmidt, H. Zelaznik, B. Hawkins, J. S. Frank y J. T. Quinn, Jr., «Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts,» *Psychological Review*, vol. 47, nº 5, pp. 415-451, 1979.
- [38] «The amazing phenomenon of muscle memory,» Oxford University, 14 December 2017. [En línea]. Available: <https://medium.com/oxford-university/the-amazing-phenomenon-of-muscle-memory-fb1cc4c4726>. [Último acceso: 10 March 2022].
- [39] D. Hopla, *Basketball Shooting*, Champaign: Human Kinetics, 2012.
- [40] «Students test muscle memory on the basketball court,» Erskin College, 10 February 2014. [En línea]. Available: <https://www.erskin.edu/2014/02/10/psychology-class-experiments-with-basketball/>. [Último acceso: 10 March 2022].
- [41] FIBA, «Reglas Básicas,» FIBA, [En línea]. Available: https://www.fiba.basketball/es/basic-rules#|tab=element_2_1. [Último acceso: 1 April 2022].
- [42] VICON, «Vicon MX Hardware System Reference,» 2006. [En línea]. Available: <http://bdml.stanford.edu/twiki/pub/Haptics/MotionDisplayKAUST/ViconHardwareReference.pdf>. [Último acceso: 4 April 2022].
- [43] VICON, «NEXUS,» VICON, [En línea]. Available: <https://www.vicon.com/software/nexus/>. [Último acceso: 2 April 2022].
- [44] VICON, «VICON VANTAGE REFERENCE GUIDE version 19,» 2021. [En línea]. Available: <https://docs.vicon.com/display/Vantage/PDF+downloads+for+Vicon+Vantage?preview=/107483985/107485457/Vicon%20Vantage%20Reference%20Guide.pdf#PDFdownloadsforViconVantage-->. [Último acceso: 19 May 2022].
- [45] Input Devices and Music Interaction Laboratory, «Plug-in-Gait Marker Placement,» Input Devices and Music Interaction Laboratory, 24 August 2020. [En línea]. Available: <http://www.idmil.org/mocap/Plug-in-Gait+Marker+Placement.pdf>. [Último acceso: 29 April 2022].
- [46] D. Cabarkapa, A. C. Fry, K. M. Carlson, J. P. Poggio y M. A. Deane, «KEY KINEMATIC COMPONENTS FOR OPTIMAL BASKETBALL FREE THROW SHOOTING

- PERFORMANCE,» *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, vol. 36, n° 4, pp. 5-15, 2021.
- [47] A. Ammar, H. Chtoutou, O. Abdelkarim, A. Parish y A. Hoekelman, «Free throw shot in basketball: kinematic analysis of scored and missed shots during the learning process,» *Sport Sci Health*, vol. 12, pp. 27-33, 2016.
- [48] M. Uygur, A. Goktepe, E. Ak, H. Karabörk y F. Korkusuz, «The Effect of Fatigue on the Kinematics of Free Throw Shooting in Basketball,» *Journal of Human Kinetics*, vol. 24, pp. 51-56, 2010.
- [49] B. Škof, Šport po meri otrok in mladostnikov (pedagoško-psihološki in biološki vidiki kondicijske vadbe mladih), Ljubliana: University of Ljubljana, Faculty of Sports, 2007.
- [50] V. H. Alves Okazaki y A. L. Félix Rodacki, «Increased distance of shooting on basketball jump shot,» *Journal of Sports Science and Medicine*, vol. 11, pp. 231-237, 2012.
- [51] D. Cabarkapa, A. C. Fry y M. A. Deane, «Differences in Kinematic Characteristics Between 2-point and 3-point Basketball Shooting Motions – A Case Study,» *Journal of Advances in Sports and Physical Education*, vol. 4, n° 3, pp. 19-23, 2021.
- [52] D. R. Mullineaux y T. L. Uhl, «Coordination-variability and kinematics of misses versus swishes of basketball free throws,» *Journal of sports sciences*, vol. 28, n° 9, pp. 1017-1024, 2010.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____
declaro que he sido informado e invitado a participar en el trabajo dirigido denominado “CARACTERIZACIÓN BIOMECÁNICA DEL MOVIMIENTO DE TIRO DE CAMPO EN BALONCESTO”, trabajo de grado que cuenta con el respaldo y apoyo del programa de ingeniería biomédica del convenio entre la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y la Universidad del Rosario.

Entiendo que este estudio busca **determinar, a través de análisis biomecánico de los segmentos del cuerpo, las características más importantes y necesarias de un movimiento efectivo de tiro de tres puntos de baloncesto.** Igualmente sé que mi participación se llevará a cabo en el Coliseo el Otoño de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, en un horario convenido previamente.

PARTICIPACIÓN DEL SUJETO EN EL ESTUDIO

Estoy consciente de que mi colaboración con este trabajo dirigido consistirá en realizar las siguientes acciones:

1. En el Coliseo el Otoño de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, estaré en una prueba de efectividad de tiro de tres puntos en baloncesto, a 90° con respecto a la línea base de la cancha de baloncesto y a una distancia horizontal de 6.75 m del aro. Después del calentamiento que yo considere apropiado, ejecutaré la prueba, que consistirá en lanzar una totalidad de 150 intentos, divididos en sets de 25 tiros, con 45 segundos de descanso entre sets. Los tiros serán realizados dentro de un área encerrada por un sistema de captura de movimiento que registrará mis lanzamientos. El resultado de efectividad en mis tiros será medido en porcentaje de tiros anotados ($100\% * \text{número de tiros acertados} / \text{número de tiros intentados}$) y será una parte del estudio.
2. Se me colocarán marcadores de movimiento: esferas metálicas que se pegarán alrededor de mi cuerpo, con ayuda de uno o dos asistentes, estrictamente de acuerdo con lo mostrado en la figura 1. Para facilitar esta tarea, se me pedirá vestir de licra, ropas pegadas al cuerpo (tanto prendas para torso como para piernas), o, en su defecto, se me pedirá quitarme la camiseta momentáneamente. Completada la colocación de marcadores, se me pedirá simular el movimiento que usualmente realizo para hacer un lanzamiento de un tiro de 3 puntos, tal y como lo leí anteriormente en el numeral 1. Haré el procedimiento contando con un balón

reglamentario que me proporcionarán en el escenario, de modo que lanzaré el mismo al aro y un asistente será quien me lo devolverá después de haber cogido el rebote para repetir el movimiento hasta completar las veces estipuladas, de acuerdo con las indicaciones que se me den en el momento de la toma de datos. Antes de cada intento haré un movimiento característico que acordaré previamente con el staff que me acompañe, que será el indicador de que voy a realizar un intento de lanzamiento.

Estoy consciente de que mi participación se empezará y finalizará el mismo día.

COMPROMISOS DEL SUJETO PARA Y DURANTE EL ESTUDIO

1. Tengo conocimiento de que la información registrada será confidencial, y que los nombres de los participantes serán asociados a un número de serie, esto significa que las respuestas no podrán ser conocidas por otras personas ni tampoco ser identificadas o asociadas conmigo en la fase de publicación de resultados.
2. Estoy en conocimiento que los datos no me serán entregados y que no habrá retribución por la participación en este estudio, sí que esta información podrá beneficiar de manera indirecta y por lo tanto tiene un beneficio para la sociedad dada la investigación que se está llevando a cabo.
3. Asimismo, sé que puedo negar la participación o retirarme en cualquier etapa de la investigación, sin expresión de causa ni consecuencias negativas para mí.
4. Aceptando mi participación en este trabajo, estoy asegurando que he cumplido con un esquema completo de vacunas contra el COVID-19, y que cumpliré con los protocolos de bioseguridad que me pidan realizar, que incluyen, pero no se limitan a: usar tapabocas permanentemente, lavarme las manos antes de entrar a cualquier escenario, llenar la encuesta de ingreso a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, mantener el distanciamiento social de 2 metros en la medida de lo posible, entre otros.
5. Aceptando mi participación en este trabajo, estoy asegurando que soy una persona totalmente sana y que no presento lesiones ni patologías en el momento de la toma de datos que puedan afectar dicho procedimiento ni la mecánica usual de mi lanzamiento.

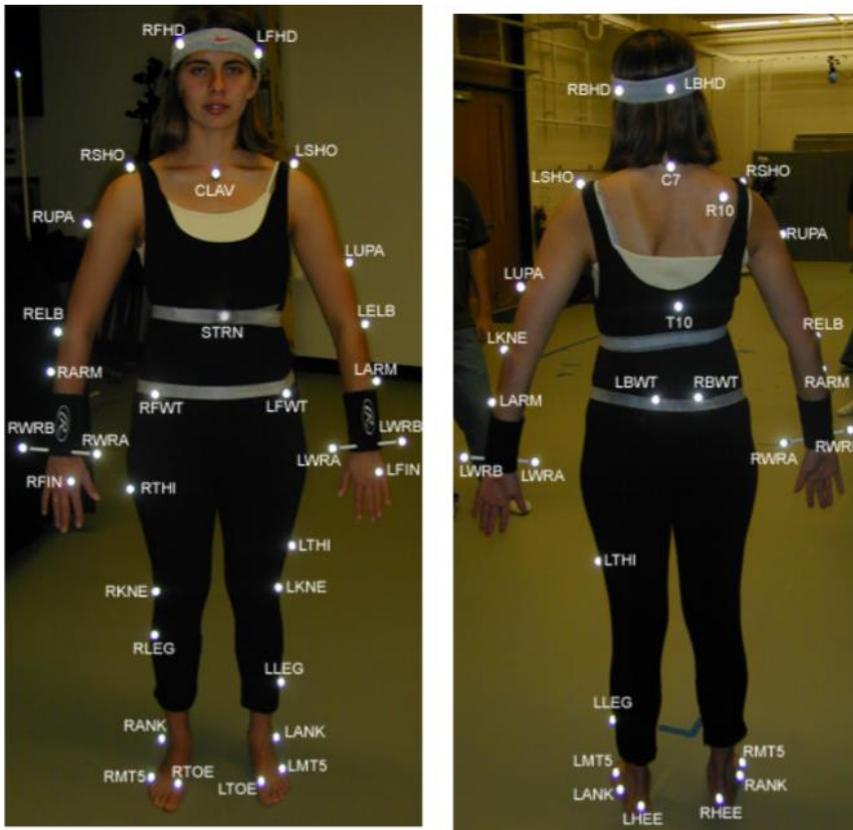


Figura 1. Posicionamiento de los marcadores de movimiento que me colocarán en el laboratorio para la toma de datos.

Sí. Acepto voluntariamente participar en este estudio y he recibido una copia del presente documento.

Firma participante: _____

Fecha: _____

Si tengo alguna pregunta durante cualquier etapa del estudio, me puedo comunicar con Luis Eduardo Rodríguez, director de Investigación e Innovación del comité de ética de la investigación de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Luis.rodriguez@mail.escuelaing.edu.co

Consentimiento informado elaborado por Sergio Orlando Arango Rodríguez, para contactarse con él dirijase al correo sergio.arango@mail.escuelaing.edu.co

AVAL 01-2022
COMITÉ DE ETICA DE INVESTIGACIÓN

Asistentes	Cargo
Martha Pimienta Giraldo	Subdirectora de fomento y desarrollo a la investigación
Ricardo Martinez Rozo	Médico y profesor de Ingeniería Biomédica
Gladys Rocio González Leal	Profesora Centro de Estudios Ambientales

EL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, certifica mediante la presente acta del 13 de mayo de 2022 que se revisó la propuesta **“CARACTERIZACIÓN BIOMECÁNICA DEL MOVIMIENTO DE TIRO DE CAMPO EN BALONCESTO”** del estudiante Sergio Orlando Arango Rodríguez cuyo tutor es Luis Eduardo Rodríguez Cheu de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Se revisaron los siguientes documentos:

- Protocolo
- Consentimiento informado en donde se encuentra registrado: las estrategias para dar a conocer a los participantes la investigación, riesgos, incluidos los de COVID-19 y beneficios, como se garantizará la privacidad y el anonimato de los mismos y confidencialidad de los datos de investigación, la cadena de custodia de la información obtenida y las restricciones para su uso por terceros

Adicionalmente se revisaron los siguientes aspectos:

- Utilidad del protocolo para los participantes, la sociedad o el conocimiento
- Evaluación riesgos y beneficios
- Procedimientos, metodologías y procesos de investigación, el manejo divulgación y archivo de los datos obtenidos.

Adicionalmente se revisó que la investigación no vulnerará la dignidad de los sujetos, no constituye una amenaza bajo ninguna circunstancia, ni causa daño

emocional ni moral a los investigados y se ajusta a estándares científicos y éticos propios

Concepto

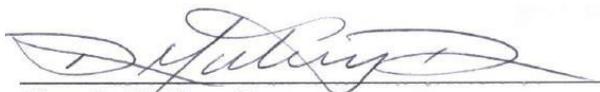
EL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN de la Escuela Colombiana de Ingeniería, **aprueba el protocolo “CARACTERIZACIÓN BIOMECÁNICA DEL MOVIMIENTO DE TIRO DE CAMPO EN BALONCESTO”**. De conformidad con la legislación vigente, este proyecto se clasifica como:

INVESTIGACIÓN SIN RIESGO PARA USUARIOS Y PACIENTES

Para constancia de lo anterior se firma en la ciudad de Bogotá D.C., el 13 de mayo de dos mil veinte dos (2022)



Martha Cecilia Pimienta Giraldo
Miembro del Comité de Etica de la Investigación



Ricardo Martínez Rozo
Miembro del Comité de Etica de la Investigación



Gladys Rocio González Leal
Miembro del Comité de Etica de la Investigación