



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Caracterización de habilidades cognitivo-perceptuales y análisis biomecánico en esgrimistas de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva**

**David Felipe Tangarife Zuluaga**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Medicina, Departamento Movimiento Corporal Humano y sus Desordenes  
Bogotá D.C., Colombia

2020



# **Caracterización de habilidades cognitivo-perceptuales y análisis biomecánico en esgrimistas de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva**

**David Felipe Tangarife Zuluaga**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título  
de:

**Magister en Fisioterapia del Deporte y la Actividad Física**

Directora:

MSc, Fisioterapeuta Diana María del Pilar Gil Cifuentes

Codirectora:

Doctora, MSc, Fisioterapeuta Erica Mabel Mancera Soto

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina, Departamento Movimiento Corporal Humano y sus desordenes

Bogotá D.C., Colombia

2020



*A Dios por ser quien guía cada uno de mis pasos, a mis padres por ser el apoyo en proyecto personal, a mi pareja por motivarme a no desistir ante las adversidades y a mis maestros por ser los guías en este proceso de aprendizaje, que por el momento culmina con este producto que espero permita visibilizar otros aspectos del fisioterapeuta en el ámbito deportivo...*



## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Nacional de Colombia por ser el lugar de crecimiento intelectual en mi formación como profesional, a la profesora Diana Gil, Erica Mancera y el profesor Gustavo Pineda por su vocación de servicio y apoyo durante la finalización de este proceso de formación. A la Federación Colombiana de Esgrima, a sus representantes y deportistas por su disposición y colaboración para lograr este proyecto investigativo. A cada una de las personas familiares y amigos que con sus voces de aliento me motivaron a no rendirme. Al Laboratorio del Movimiento Corporal Humano, su directora, la Facultad de diseño gráfico y cada uno de sus profesionales, que fueron diligentes en el préstamo de los equipos y el espacio para la realización de esta investigación.



## Resumen

La esgrima es una disciplina deportiva que no ha alcanzado su máximo desarrollo en cuanto a investigación científica se refiere, esto se debe a la poca demanda de deportistas y el potencial económico que puede tener frente a otras disciplinas deportivas como lo es el fútbol, el cual es uno de los deportes más practicados e investigados a nivel mundial. En Colombia, esta situación es mucho más compleja al no tener un número considerable de deportistas, y las investigaciones son casi nulas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar un grupo de deportistas en cuanto habilidades cognitivo-perceptuales y gesto deportivo de acuerdo con su nivel de experiencia y modalidad. Para ello se realizaron evaluaciones de los movimientos oculares durante un combate, pruebas de anticipación y tiempo de respuesta realizando el gesto deportivo de la estocada; simultáneamente con esta prueba se realizó un registro videográfico desde una vista lateral para analizar el gesto deportivo a partir de la visión artificial. Los resultados muestran principalmente diferencias significativas en las zonas de fijación cuando se realizó el análisis de acuerdo con la modalidad deportiva; por otro lado, las principales diferencias en el análisis de acuerdo con el nivel de experiencia se encontraron en el análisis biomecánico; el análisis conjunto entre el nivel de experiencia y la modalidad deportiva no mostró diferencias significativas. Se concluyó resaltando la importancia de caracterizar un grupo poblacional practicante de esta disciplina deportiva, ya que esto permite establecer una línea de base en pro de potenciar el proceso de entrenamiento con miras a la competencia. Por otro lado, se determinó que las investigaciones en este deporte se deben hacer distintivamente por cada modalidad debido las diferencias que desde su reglamentación podrían generar resultados imprecisos si se hacen de forma conjunta.

**Palabras clave:** Anticipación, fijaciones visuales, anticipación, visión artificial, biomecánica, esgrima.

## Abstract

Fencing is a sporting discipline that has not reached its maximum development in terms of scientific research, this is due to the low demand for athletes and the economic potential that can have against other sports disciplines such as football, which is one of the most practiced and researched sports worldwide. In Colombia, this situation is much more complex in not having a considerable number of athletes, and research is almost nil. Therefore, the objective of this research was to characterize a group of athletes as cognitive-perceptual skills and sports gesture according to their level of experience and modality. For this purpose, assessments of eye movements during combat, anticipation tests and response time were carried out by performing the sporty gesture of the lunge; Simultaneously with this test a videographic record was made from a side view to analyze the sports gesture from the artificial vision. The results mainly show significant differences in the fixing areas when the analysis was carried out according to the sport mode; on the other hand, the main differences in analysis according to the level of experience were found in biomechanical analysis; the joint analysis between the level of experience and the sports mode showed no significant differences. It is concluded by highlighting the importance of characterizing a population group practicing this sports discipline, since this allows to establish a baseline in order to enhance the training process with a view to competition. On the other hand, it was determined that research in this sport should be done distinctively for each modality because of the differences that since its regulation could produce inaccurate results if done together.

**Keywords: Anticipation, visual fixations, anticipation, artificial vision, biomechanics, fencing.**

# Contenido

	Pág.
<b>1. Marco Conceptual .....</b>	<b>20</b>
1.1 Antecedentes .....	20
1.1.1 Percepción visual.....	23
1.1.2 Anticipación .....	28
1.1.3 Tiempo de respuesta .....	31
1.1.4 Biomecánica .....	33
1.2 Planteamiento del Problema .....	37
1.3 Justificación.....	40
1.4 Pregunta de Investigación .....	43
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>44</b>
2.1 General .....	44
2.2 Específicos.....	44
<b>3. Hipótesis.....</b>	<b>46</b>
3.1.1 De investigación .....	46
3.1.2 Nula.....	46
<b>4. Marco teórico.....</b>	<b>47</b>
4.1 Esgrima.....	47
4.1.1 El florete .....	49
4.1.2 La espada.....	50
4.1.3 El sable.....	51
4.1.4 Equipo de esgrima.....	52
4.1.5 Generalidades de la esgrima .....	57
4.1.6 Acciones deportivas.....	58
4.1.7 Fondo .....	63
4.1.8 Marchar .....	64
4.1.9 Lateralidad.....	65
4.2 Habilidades cognitivo-perceptuales .....	66
4.2.1 Percepción visual.....	69
4.2.2 Anticipación .....	76
4.2.3 Tiempo de respuesta .....	79
4.3 Experiencia .....	81
4.4 Biomecánica.....	83
4.4.1 Visión artificial.....	86
4.4.2 Variabilidad del movimiento .....	88
<b>5. Marco metodológico .....</b>	<b>91</b>

XII Caracterización de habilidades cognitivo-perceptuales y análisis biomecánico en esgrimistas de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva

---

5.1	Tipo de estudio .....	91
5.2	Población .....	91
5.3	Tamaño muestral .....	92
5.4	Criterios de inclusión.....	93
5.5	Criterios de exclusión.....	93
5.6	Operacionalización de variables .....	94
5.7	Consideraciones éticas.....	100
5.7.1	Consentimiento y asentimiento informados .....	101
5.8	Procedimientos del estudio .....	102
5.8.1	Fijaciones oculares.....	102
5.8.2	Anticipación.....	107
5.8.3	Tiempo de respuesta.....	109
5.8.4	Análisis biomecánico.....	110
<b>6.</b>	<b>Extracción y recolección de datos .....</b>	<b>112</b>
<b>7.</b>	<b>Análisis estadístico .....</b>	<b>115</b>
<b>8.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>116</b>
8.1	Caracterización de la población (datos sociodemográficos).....	116
8.2	Análisis por modalidad.....	122
8.2.1	Fijaciones oculares.....	123
8.2.2	Anticipación y tiempo de respuesta .....	125
8.2.3	Análisis biomecánico.....	126
8.3	Análisis por nivel de experiencia .....	129
8.3.1	Fijaciones oculares.....	129
8.3.2	Anticipación y tiempo de respuesta .....	131
8.3.3	Análisis biomecánico.....	133
8.4	Análisis por modalidad y nivel de experiencia.....	136
8.4.1	Fijaciones oculares.....	136
8.4.2	Anticipación y tiempo de respuesta .....	141
8.4.3	Análisis biomecánico.....	144
<b>9.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>160</b>
9.1	Análisis biomecánico .....	162
9.2	Tiempo de respuesta .....	169
9.3	Anticipación .....	173
9.4	Fijaciones visuales.....	175
<b>10.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>178</b>
10.1	Conclusiones .....	178
10.2	Recomendaciones .....	181

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 4-1:</b> Arma y zonas de puntuación en el florete .....	47
<b>Figura 4-2:</b> Arma y zonas de puntuación en la espada .....	48
<b>Figura 4-3:</b> Arma y zonas de puntuación en el sable .....	49
<b>Figura 4-4:</b> Chaquetilla utilizada en esgrima .....	51
<b>Figura 4-5:</b> Pantalón utilizado en esgrima .....	52
<b>Figura 4-6:</b> Guante utilizado en esgrima .....	53
<b>Figura 4-7:</b> Careta utilizada en esgrima .....	54
<b>Figura 4-8:</b> Posición “en guardia” en la esgrima .....	56
<b>Figura 4-9:</b> Fases de la estocada en esgrima .....	58
<b>Figura 4-10:</b> Secuencia de ataque fleché .....	60
<b>Figura 4-11:</b> Fondo en esgrima .....	61
<b>Figura 4-12:</b> Marchar en esgrima .....	62
<b>Figura 4-13:</b> Comportamiento visual ante la detección de un estímulo .....	68
<b>Figura 4-13:</b> Fraccionamiento del tiempo de respuesta .....	77
<b>Figura 5-1:</b> Equipo Tobii Glasses eye tracker .....	96
<b>Figura 5-2:</b> Proceso de calibración del tobi glasses id tracker .....	97
<b>Figura 5-3:</b> Procedimiento de seguimiento para calibrar el equipo .....	98
<b>Figura 5-4:</b> Montaje del combate para la prueba de tracking visual .....	99
<b>Figura 5-5:</b> Lafayette bassin anticipator timer .....	101
<b>Figura 5-6:</b> Montaje para la prueba de anticipación y tiempo de respuesta .....	101
<b>Figura 5-7:</b> Imagen de grabación de video desde vista lateral .....	105

## Lista de gráficas

- Gráfica 8-1:** Frecuencia absoluta de los participantes por modalidad deportiva ..... 111  
**Gráfica 8-2:** Frecuencia absoluta de los participantes por experiencia deportiva .....112  
**Gráfica 8-3:** Frecuencia absoluta del estrato socioeconómico de los esgrimistas..... 113  
**Gráfica 8-4:** Frecuencia absoluta del antecedente de lesiones en los esgrimistas .... 114  
**Gráfica 8-5:** Frecuencia absoluta de dominancia de los esgrimistas..... 115

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 5-1:</b> Operacionalización de variables .....	89
<b>Tabla 8-1:</b> Caracterización de la población.....	110
<b>Tabla 8-2:</b> Rango intercuartílico de las fijaciones oculares por modalidad .....	116
<b>Tabla 8-3:</b> Rango intercuartílico de la anticipación y tiempo de respuesta por modalidad .....	119
<b>Tabla 8-4:</b> Rango intercuartílico de velocidades angulares y grados de libertad por modalidad .....	119
<b>Tabla 8-5:</b> Rango intercuartílico del coeficiente de variación articular por modalidad ...	121
<b>Tabla 8-6:</b> Rango intercuartílico de las fijaciones oculares de acuerdo al nivel de experiencia .....	123
<b>Tabla 8-7:</b> Rango intercuartílico de anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia .....	125
<b>Tabla 8-8:</b> Rango intercuartílico de grados de libertad y velocidad angular de acuerdo con el nivel de experiencia .....	126
<b>Tabla 8-9:</b> Rango intercuartílico de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia.....	128
<b>Tabla 8-10:</b> Rango intercuartílico de las fijaciones oculares de acuerdo con el nivel de experiencia y la modalidad deportiva .....	130
<b>Tabla 8-11:</b> Rango intercuartílico de las fijaciones oculares de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de espada .....	131
<b>Tabla 8-12:</b> Rango intercuartílico de las fijaciones oculares de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de florete.....	133
<b>Tabla 8-13:</b> Rango intercuartílico anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de sable.....	135
<b>Tabla 8-14:</b> Rango intercuartílico anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de espada.....	136
<b>Tabla 8-15:</b> Rango intercuartílico anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de florete.....	137
<b>Tabla 8-16:</b> Rango intercuartílico de velocidades angulares y grados de libertad de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de sable.....	138
<b>Tabla 8-17:</b> Rango intercuartílico de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de sable.....	140
<b>Tabla 8-18:</b> Rango intercuartílico de velocidades angulares y grados de libertad de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de espada.....	142
<b>Tabla 8-19:</b> Rango intercuartílico de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de espada.....	143
<b>Tabla 8-20:</b> Rango intercuartílico de velocidades angulares y grados de libertad de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de florete.....	144

XVI Caracterización de habilidades cognitivo-perceptuales y análisis biomecánico en esgrimistas de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva

---

**Tabla 8-21:** Rango intercuartílico de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de florete.....145

**Tabla 8-22:** Mediana de las variables de habilidades cognitivo-perceptuales y de análisis biomecánico de acuerdo con la modalidad y la experiencia deportiva.....147

# Introducción

El quehacer del fisioterapeuta en el deporte es fundamental en diversos aspectos que involucran al deportista, como la prevención de lesiones, restauración de la función óptima y en algunos casos contribuir a mejorar el rendimiento deportivo basado en investigaciones científicas(1)(2). La adquisición de nuevo conocimiento en el deporte permite que los profesionales que hacen parte de un equipo interdisciplinar puedan seguir una ruta metodológica en los procesos de caracterización, evaluación y entrenamiento basado en evidencia científica que permita a la potenciación del deportista y el desarrollo de la disciplina deportiva.

Para lograr dichos objetivos se hace relevante conocer diversos aspectos del deporte como técnica, táctica, requerimientos fisiológicos, perfil de lesiones deportivas, etc.; y otros aspectos más relacionados con el deportista como composición corporal, análisis biomecánico del gesto deportivo, y habilidades físicas y psicológicas entre otras, para así identificar las cualidades que requieren los deportistas para tener un mejor desempeño.

No obstante, existen disciplinas deportivas de las cuales no hay un desarrollo científico, por lo que aún siguen siendo objeto de investigación. Este es el caso de la esgrima. Si bien el nacimiento de esta disciplina se remonta a épocas antiguas, en el ámbito nacional ha sido catalogada por expertos como un deporte joven (3). Si bien existe evidencia científica con respecto a la esgrima, en nuestro país las investigaciones alrededor de disciplina deportiva son limitadas; por lo que establecer perfiles de desempeño de los deportistas es de gran relevancia para el desarrollo de esta.

Aspectos generales de la esgrima revelados por la evidencia científica indican que ha sido categorizada como deporte de combate abierto; en donde dos deportistas interactúan con un elemento externo y un oponente (4). Esto implica que los deportistas deben tener una serie de habilidades específicas en relación con la percepción, debido a que tienen gran influencia sobre el rendimiento. Esta serie de habilidades se relacionan con la capacidad de los deportistas para procesar la información recibida a través de los sentidos y generar una respuesta rápida y adecuada, en la que la anticipación, toma de decisiones, percepción visual y auditivo, y tiempo de respuesta son los procesos cognitivos que más influyen. (5) (6) (7)

En la siguiente investigación se estudian algunos de los aspectos anteriormente mencionados con respecto a la esgrima, y se busca determinar la relación de algunas habilidades con mayor influencia en deportes de modalidad abierta como la percepción visual, la anticipación, la velocidad de respuesta con la experiencia de los deportistas; además del desempeño motor en el gesto deportivo. En el primer capítulo del documento

se exponen los antecedentes de investigaciones relacionadas, el planteamiento del problema la justificación y la pregunta de investigación. En el segundo y tercer capítulo se presentan respectivamente los objetivos y marco teórico. En el cuarto capítulo se hace referencia al marco metodológico. El quinto capítulo muestra los resultados de la investigación, y en el sexto se discuten de acuerdo con los hallazgos de otras investigaciones. Finalmente, se reportan las conclusiones de la investigación y se dan recomendaciones con la proyección a investigaciones futuras.

Los alcances de la investigación permitirán caracterizar algunas habilidades de un grupo de esgrimistas pertenecientes a la Federación Colombiana de Esgrima con respecto a sus habilidades cognitivo-perceptuales, con el fin de establecer una línea de base, que permita a las ciencias aplicadas al deporte de esta disciplina, incluir en los entrenamientos esta serie de habilidades, de modo que se pueda influir en el desempeño en competencias en las que participen los deportistas.

# **1.Marco Conceptual**

En el siguiente capítulo del documento se exponen los antecedentes de investigaciones relacionadas con la percepción visual, anticipación, tiempos de reacción y análisis biomecánico en este respectivo orden. Además de esto, en este capítulo también se encuentra el planteamiento del problema, la justificación y preguntas de investigación; con el objetivo de contextualizar y fundamentar la investigación.

## **1.1 Antecedentes**

La lucha con espadas ha existido por más de 2000 años, su uso se ha dado en muchas formas en diversas culturas, y originalmente se relacionó con los esfuerzos humanos para sobrevivir, dominar y conquistar. Como deporte, las luchas con espada han existido desde el antiguo Egipto, pero se hicieron más populares en Europa durante la Edad Media con la introducción de las luchas y los combates en torneos. La esgrima moderna debe su desarrollo a las formas de duelo sin blindaje que se originaron en el combate de estoque del siglo XVI. Los rapiers, un tipo de espada de la época, evolucionaron a partir de espadas militares de corte y empuje, pero fueron los más populares entre los civiles, que los usaron

para defensa personal y duelos. Posteriormente, la esgrima pasó de ser un objetivo militar a un deporte de juego limpio, estando presente como disciplina deportiva en los primeros Juegos Olímpicos modernos en 1896(8).

La esgrima es una disciplina de alta intensidad e intermitente que requiere períodos cortos de ejercicio de alta intensidad y períodos de actividad de intensidad relativamente baja(9). El objetivo de esta disciplina es que el tirador golpee a un oponente con su espada para anotar un golpe (10), siguiendo y respetando las reglas preestablecidas (11). Durante la competición se producen diferentes acciones como rebotes, los pasos y las estocadas con fines de defensa y ataque, lo que plantea grandes exigencias al sistema musculoesquelético. Se han realizado diferentes investigaciones de habilidades físicas y psicológicas, requerimientos fisiológicos, mecanismos de lesión, análisis biomecánico, que permitan entender la disciplina con el fin de potenciar habilidades y capacidades de los deportistas novatos (4) (5) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20). El estudio de estos aspectos ha permitido tener un conocimiento de la disciplina y de los practicantes de esta.

El proceso de caracterización en el deporte es de gran importancia, ya que a que un profundo conocimiento de la disciplina y de los requerimientos físicos, técnicos y psicológicos de la misma direccionan la planificación del entrenamiento, orientación los procesos de formación y permiten establecer una línea de base con el fin de tener estándares de comparación que permitan perfeccionar los procesos anteriormente mencionados (21). A continuación, se van a mencionar las investigaciones relacionadas con la problemática que plantea esta investigación de acuerdo con las variables de análisis y los inicios en la investigación de la experiencia y las habilidades cognitivo-perceptuales.

Los inicios en los estudios de la experiencia iniciaron con de De Groot (1965) (22) quien examinó los pensamientos complejos y los mecanismos que mediaban en la selección de movimientos en ajedrecistas elite, en donde identificó que los expertos podían percibir los movimientos adecuados de una manera rápida y que esto estaba mediado por su amplio conocimiento en el juego. Simon y Chase (1973) desarrollaron el trabajo de de Groot y propusieron la primer teoría de la experiencia fundamentando teóricamente el procesamiento de la información humana, encontrando que los expertos desarrollan un amplio conocimiento de los patrones de movimiento debido a los años de experiencia en este dominio (23). Esto les permitía recuperar la memoria de movimientos de ajedrez apropiados, en patrones agrupados a diferencia de los jugadores con menos experiencia quienes solo percibían patrones simples o piezas individuales(24).

Posteriormente Ericsson y Smith (1991) determinaron que esta teoría era demasiado restrictiva, por lo que propusieron un marco descriptivo e inductivo sobre el estudio de la experiencia dividido en tres etapas; la primera que requiere que el desempeño se observe in situ para capturar la esencia del dominio estudiado, una segunda etapa en donde el objetivo es determinar los mecanismos de mediación que explican el desempeño experto realizando medidas de seguimiento del proceso como análisis verbal, registro de movimientos oculares o las tareas representativas del dominio, análisis biomecánico, entre otros. La etapa final implicaba detallar el aprendizaje adaptativo y los procesos de adquisición relevantes para la adquisición de la experiencia (25).

Además Ericsson y Delaney (1999) identificaron que los expertos adquirían habilidades sofisticadas y complejas que les permitían cambiar los límites de la memoria de trabajo, que para Simon y Chase estaba delimitada por la memoria a corto plazo; por lo tanto esta serie de habilidades les permitían una codificación rápida de la información en la memoria a largo plazo lo que les permitía tenerla disponible para cuando fuera necesario(26).

El planteamiento del estudio de la experiencia permite enfocar los procesos evaluativos de la presente investigación en dominios específicos de la esgrima, de los cuales se planten aspectos relevantes como la percepción visual, la velocidad de respuesta ante el estímulo, los procesos de anticipación y el análisis biomecánico de los cuales se van a presentar las investigaciones disponibles en la literatura.

### **1.1.1 Percepción visual**

En la esgrima, el nivel de habilidad de cada individuo depende de muchas variables, entre las cuales las visuales son las más importantes. La importancia de la visión en las actividades motrices se relaciona con la cantidad de información que proporciona, que puede llegar a ser hasta del 80% de la información obtenida por los órganos de los sentidos, en especial cuando la actividad que se realiza requiere una mayor demanda de la información visual. Estas habilidades visuales brindan a los atletas información precisa

y rápida; se consideran el primer paso en el procesamiento de la información (20), por lo que son de gran relevancia para desencadenar una respuesta motora adecuada. A continuación, se presentan los antecedentes de investigaciones que involucran el estudio de la percepción visual en esgrimistas:

En una investigación realizada en 2009 por Hagemann et al., se examinó si los resultados de los movimientos oculares de esgrimistas mientras observan acciones ofensivas reflejan la recolección real de la información, comparando estos resultados, con otros obtenidos con técnicas de oclusión espacial. Las técnicas de oclusión han sido utilizadas con el fin de medir la anticipación, la cual está estrechamente relacionada con la percepción visual; en esta técnica a los deportistas sólo se les permite observar los movimientos iniciales del oponente, eliminando la secuencia de la fase final que supone el resultado de su acción(27). En esta investigación participaron quince tiradores expertos, 15 tiradores avanzados y 32 estudiantes de deporte, que predijeron la región objetivo de 405 ataques de esgrima en un monitor de computadora. Se concluyó que el comportamiento de la mirada durante la oclusión no representa necesariamente la recolección de información, por lo cual es importante el registro de los movimientos oculares al utilizar técnicas de oclusión temporal y espacial. En esta investigación se destaca la importancia del uso de tecnologías para el registro de movimientos oculares en la investigación de la percepción visual, debido a que brinda una mejor información para determinar el comportamiento visual en los deportistas; uno de los aspectos que son relevantes en una disciplina como la esgrima. Sin embargo, en la investigación no se realiza una diferenciación de los esgrimistas de acuerdo a su modalidad deportiva y la experiencia, que juega un papel determinante en los deportes de habilidades abiertas (12).

La habilidad de percibir adecuadamente la información del entorno, es vital para generar una respuesta veloz y precisa, aspecto determinante en el rendimiento de los esgrimistas. Con respecto a esto Hijazi en el 2013 estudio la percepción visual de esgrimistas masculinos y femeninos, relacionandola con los niveles de logro de los tiradores pertenecientes a la Federación Egipcia de Esgrima. Para ello se utilizaron La prueba de estilo atencional e interpersonal y la prueba Visual Perception Skills. Las mediciones y análisis de percepción visual arrojaron que los puntajes más altos para los tiradores masculinos se obtuvieron para las relaciones visuales-espaciales, la memoria secuencial visual y la figura visual-fondo; Para las mujeres esgrimistas, los puntajes más altos fueron Relaciones Espaciales Visuales, Memoria Secuencial Visual y Discriminación Visual (20) estos resultados resaltan las diferencias que se pueden encontrar con respecto al género, sin embargo, los resultados muestran similitudes en torno a la percepción visual, la cual está estrechamente relacionada con la atención, por lo cual los autores determinan la atención en los procesos de percepción visual como uno de los elementos relevantes en el rendimiento de los esgrimistas.,

A diferencia de las investigaciones anteriormente presentadas, Piras et al. en 2014 incorporaron el paradigma de la experiencia deportiva y su influencia con las habilidades de percepción. Ellos investigaron el comportamiento y estrategias de búsqueda visual, y la diferencia entre expertos y novatos. Para la recolección de los datos los participantes utilizaron un sistema de reconocimiento de la retina que registraba en vivo los movimientos oculares durante un combate uno a uno. Los resultados indicaron que los novatos tenían tiempos de fijación mayores a los deportistas expertos(28). La investigación de los

movimientos oculares en el deporte, en especial en la esgrima ha sido utilizada para medir no solo el número de fijaciones, duración de estas o de las sacadas; también se han investigado las zonas en donde centran la visión los esgrimistas las cuales para la presente investigación hemos denominado como zonas de interés.

Un ejemplo de esto es la investigación realizada por Meyer et al. en 2017, en donde incluyeron la experiencia deportiva como variable con el fin de determinar las diferencias los movimientos oculares de los tiradores y las zonas de fijación de la mirada entre novatos y deportistas de alto nivel, demostrando que los tiradores de alto nivel necesitan menos tiempo frente a tiradores novatos para percibir esta información. Este tiempo de fijación visual necesario para tomar información también se acorta durante las competiciones vs. entrenamientos. Los sitios preferidos para fijar y tomar información visual se encuentran al nivel del brazo y la mano armada, así como al nivel del posicionamiento del arma del oponente, aunque dentro de la investigación no se diferenciaron a los esgrimistas de acuerdo con su modalidad deportiva, lo que brinda información imprecisa de si las zonas de fijación se relacionan con las zonas de puntuación válidas para cada modalidad. Los resultados arrojaron además tiempos de reacción más breve en esgrimistas de alto nivel con respecto a esgrimistas novatos (4).

Además del nivel de experiencia deportiva, en la esgrima se ha estudiado la influencia de la lateralidad de los deportistas y su relación con la percepción visual; Witkowski et al. en 2018 investigaron las diferencias en las estrategias de percepción visual en esgrimistas de acuerdo a su lateralidad; en donde se analizaron las variables áreas de interés, fijación

promedio, número de miradas y número de fijaciones durante las acciones preparatorias en duelos. Las pruebas se realizaron durante las acciones preparatorias en duelos organizados de 20 segundos, primero contra un diestro y luego contra un oponente zurdo. Contra oponentes zurdos, los esgrimistas diestros pasaron mucho más tiempo mirando y significativamente más a menudo fijados en la mano armada. Cuando luchan contra oponentes diestros, los tiradores zurdos dedican más tiempo y se fijan más a menudo en la parte superior del torso del oponente. Por lo que concluyen que los tiradores zurdos se benefician de la débil estrategia adoptada por sus oponentes diestros que se fijan en el antebrazo y el brazo de la mano del arma (13).

En los antecedentes anteriormente expuestos, se puede apreciar que los autores han estudiado la percepción visual en relación con otras variables como la experiencia, lateralidad y atención, utilizando diferentes metodologías para la recolección de datos las cuales en su mayoría corresponden a pruebas realizadas en laboratorio, que intentan responder a las preguntas de ¿qué? ¿cómo? Y ¿dónde? centran la mirada los deportistas. Además de esto, se evidencia que en las investigaciones ninguna de las propuestas metodológicas contempla dividir la población de acuerdo a la modalidad deportiva, un aspecto fundamental en el momento de determinar si las zonas de interés encontradas a partir del estudio de los movimientos oculares coinciden con las zonas de puntuación, que son distintas en cada modalidad.

### **1.1.2 Anticipación**

En la esgrima se ha estudiado la importancia de la de la anticipación con el objetivo de determinar su influencia en el rendimiento de los practicantes de esta disciplina, a continuación, se exponen las investigaciones encontradas con respecto a la anticipación en la esgrima. La anticipación de la acción, por definición, implica observar y predecir el comportamiento y la acción de otras personas, por lo que es un elemento crucial para el éxito en los deportes abiertos (29).

Aglioti et al. en 2008 investigaron la importancia de las habilidades cognitivo-perceptuales entre las que incluyeron la anticipación en deportes abiertos. El objetivo de la investigación fue identificar los mecanismos psicofísicos y neuronales subyacentes a las habilidades sensoriomotoras altamente desarrolladas de los atletas de élite en su dominio de experiencia mediante dos experimentos. En el primero se utilizaba la predicción a partir de la observación de la trayectoria de una pelota en un lanzamiento, en el segundo experimento se midieron potenciales evocados en la misma acción. Los resultados proporcionaron evidencia psicofísica y neurofisiológica suficiente, de que los atletas de élite predicen el destino de una acción leyendo la cinemática del cuerpo y que incorporan detalles específicos de las acciones observadas (30). Los resultados de esta investigación muestran que una parte fundamental en el proceso de anticipación del movimiento es la capacidad de percibir estímulos del ambiente en el que se está inmerso, y a partir de esto poder generar una respuesta adecuada en el menor tiempo posible.

En concordancia con lo anterior, Haggemann et al. en 2009 recalcó la importancia de la información percibida visualmente y su influencia en el proceso de anticipación; recolectando y analizando los movimientos oculares. Para esto, se determinaron los patrones de fijación ocular de los esgrimistas mientras observan ataques de esgrima en una pantalla. Estos resultados se compararon con otro paradigma utilizado para determinar la anticipación en los deportes, el paradigma de la oclusión. En las tareas de oclusión el objetivo fue predecir las regiones blanco de los ataques de esgrima presentados en escenas de video, en donde se utilizó una mancha circular negra para ocluir la cabeza, el tronco /brazo de ataque, muslos y piernas / pies; este punto negro se sincronizó con los movimientos del esgrimista para que la región estuviera incluida durante toda la acción, y el sujeto pudiera predecir la acción. Los resultados de esta investigación arrojaron que el rendimiento en la capacidad de predicción también fue mejor cuanto más se demoraba la oclusión del video, y que los deportistas con mayor experiencia tuvieron un mayor porcentaje de aciertos; determinando la importancia de la experiencia en la anticipación. Por otro lado, los datos de seguimiento ocular mostraron que todos los grupos se fijaron predominantemente en el tronco y el arma del oponente, sin embargo no se encontraron diferencias significativas en el número de fijaciones entre los expertos, avanzados y novatos (12), aunque cabe recalcar que en ningún momento se indicó la modalidad deportiva de los esgrimistas, lo que deja la incertidumbre si las zonas de fijación encontradas corresponden necesariamente a la de su modalidad de combate.

En otra investigación donde se utilizó la oclusión temporal fue el realizado por Allerdissen et al. en 2017, en este, se investigó el impacto de la información visual para la predicción

de los movimientos de ataque en la esgrima. La tarea en estos experimentos fue predecir las regiones objetivo de los ataques de esgrima presentados en escenas de video realizando oclusión temporal. Los resultados del experimento de oclusión temporal estuvieron en línea con los hallazgos previos, es decir, se encontró un mejor rendimiento de predicción en expertos y atletas avanzados que en no atletas(5), esto puede deberse a que los expertos en esgrima tienen acceso a representaciones mentales multimodales de los movimientos de esgrima debido a sus años de entrenamiento en un dominio específico, resaltando la importancia de la experiencia en el desempeño del deportista.

Lo anteriormente mencionado coincide con la investigación de Russo & Ottoboni en 2019, quienes en una revisión sistemática evaluaron diferentes habilidades cognitivo-perceptuales como anticipación, toma de decisiones y atención. La mayoría de los artículos incluidos buscaban determinar si los atletas con mayor experiencia tienen habilidades superiores que los atletas con menor experiencia o sin ningún tipo de experiencia. En algunos casos los estudios investigaron las diferencias entre deportes de combate diferentes, encontrando habilidades superiores en atletas con mayor experiencia deportiva(14), además de esto se logró determinar que la capacidad de anticipar puede en algunas ocasiones ser transferida a otras disciplinas deportivas, lo cual incurre un sesgo en investigaciones donde la población clasificada como amateur, son sujetos que practican otros deporte.

Como se puede evidenciar algunas de las investigaciones demuestran la importancia de la percepción visual en los procesos de anticipación, de modo que la evaluación debe ser

de forma conjunta. No obstante, como se puede evidenciar las investigaciones sobre la anticipación se realizan con pruebas de laboratorio que no involucran un gesto motor defensivo u ofensivo para anticipar una acción que simule un combate real. Además de esto, como en la percepción visual, ninguna de las investigaciones realiza una comparación entre las diferentes modalidades deportivas.

### **1.1.3 Tiempo de respuesta**

Otro de los aspectos relevantes en la práctica de la esgrima es la capacidad de responder lo más rápido posible ante el ataque de un oponente con el fin de evitar que logre puntuar. Williams (2000) evaluó la velocidad de respuesta de los esgrimistas ante un estímulo, se realizó una investigación sobre el tiempo de reacción, tiempo de movimiento, el tiempo total de respuesta y la precisión de 3 tiradores de élite y 3 novatos realizando una estocada completa, en donde se midió la actividad electromiográfica el deltoides anterior, tríceps, bíceps y el recto femoral; medidas que permitieron comparar los perfiles de respuesta de los dos grupos. Los resultados arrojaron que, aunque los esgrimistas de élite tenían tiempos de movimiento más lentos, sus tiempos de reacción eran más rápidos lo que conlleva a tiempos de respuesta total más cortos. El análisis electromiográfico mostró que, en comparación con los sujetos novatos, el inicio de la actividad muscular fue significativamente más rápido para el grupo de élite en cinco de los seis músculos estudiados (15). El tiempo de reacción y el tiempo de movimiento sumados constituyen el tiempo de respuesta, que es uno de los parámetros estudiados para investigar la velocidad de reacción en deportistas.

En un estudio similar, Sorel et al. (2019) evaluaron del rendimiento del tirador y el tiempo de respuesta en ataques de estocada en condiciones inciertas. Participaron 11 tiradores franceses que compitieran a nivel regional y nacional; los cuales realizaron estocadas a blancos fijos, móviles e inciertos. Los resultados destacaron notablemente que la precisión y el éxito de la estocada en el blanco disminuyeron significativamente en condiciones de movimiento e incertidumbre con respecto a las fijas; además los tiempos de movimiento y reacción también se vieron afectados por las condiciones experimentales de movimiento e incertidumbre en el blanco, aumentando los tiempos de movimiento y reacción de los deportistas (16). Los hallazgos de los tiempos de reacción en condiciones de incertidumbre, pone en entredicho la capacidad de anticipación de los deportistas, ya que en un combate los deportistas no tienen la certeza de los ataques de sus oponentes; por lo que es importante investigar la anticipación y tiempos de respuesta de forma conjunta; con el objetivo de determinar si existe una relación directa o inversamente proporcional.

Por otro lado, Gutierrez-Davila et al en 2013 examinaron las diferencias entre dos grupos de tiradores con diferentes niveles de competencia, elite e intermedio. Se investigaron los parámetros de tiempo de la reacción con variables cinéticas como tiempo de vuelo, velocidad y aceleración de segmentos corporales durante la estocada. En este estudio participaron un total de 30 tiradores de espada masculinos, 13 de elite y 17 de nivel medio. En cuanto al tiempo de reacción complejo los resultados revelaron que fue más alto para el grupo de elite. Contrario a lo encontrado en otros artículos en donde los tiempos de reacción son menores en deportistas con mayor experiencia, en esta investigación no se encontraron diferencias entre esgrimistas elite y de nivel medio (17).

De acuerdo a los antecedentes presentados se evidencia la investigación de diversas habilidades cognitivo-perceptuales como la anticipación, velocidad de reacción y percepción visual con técnicas de oclusión, registro de los movimientos oculares, baterías de evaluación, electromiografía entre otras; sin embargo, en estas investigaciones, no se tienen en cuenta las entre las modalidades de la esgrima, y su posible influencia sobre cada una de las habilidades cognitivo-perceptuales. En el siguiente apartado se exponen los antecedentes relacionados con biomecánica en la esgrima.

#### **1.1.4 Biomecánica**

El análisis biomecánico de los movimientos deportivos, permiten una mejor comprensión de cómo se comporta el cuerpo humano durante diversas acciones deportivas y, posteriormente, desarrollar mejores métodos de entrenamiento con el objetivo de reducir el riesgo de lesiones y potenciar el gesto deportivo maximizando la economía del movimiento (31). Además de esto, permite conocer y comprender el comportamiento del cuerpo durante una acción deportiva, permite el perfeccionamiento y una mejora en rendimiento en la ejecución del gesto deportivo; lo cual en muchas ocasiones se traduce directamente en el rendimiento deportivo.

Torres (2007) elaboró un estudio de caso, en donde se estudió de la técnica deportiva para esgrima por medio de un análisis biomecánico, utilizando sistemas optoelectrónicos que capturan en tiempo real los dos gestos más destacados, el paso adelante y el fondo, con el objetivo de caracterizar digitalmente el gesto, para su posterior análisis cinemático y de esta manera describir la técnica que tiene el deportista en la ejecución del movimiento. Sin embargo, aunque el acercamiento inicial con el uso de sistemas optoelectrónicos abre la puerta de posibilidades al análisis biomecánico, los investigadores sugieren realizar investigaciones una población más amplia, de modo que se pueda comparar las diferentes técnicas en las diferentes modalidades, con miras a establecer la estandarización y caracterización de la disciplina como tal. (32).

En una investigación similar, Gutierrez-Davila et al. en 2013, utilizaron un sistema para filmar el movimiento 3D con seis cámaras de video infrarrojas, a 500 Hz en esgrimistas de élite y de nivel moderado. Se registraron las posiciones espaciales de marcadores corporales ubicados en la punta delantera de los pies, la rodilla, la cadera, el hombro, el codo del brazo de la espada y tres marcadores situados en la hoja de la espada (primer tercio, segundo tercio y punta). Los resultados arrojaron que el grupo de élite logró una secuencia de sincronización brazo-pie, mientras que el grupo de nivel medio movió la espada y el pie delantero simultáneamente hacia adelante (17). Estas diferencias en la sincronización de los movimientos del brazo y pie, puede conllevar al esgrimista a tener ganancias en el tiempo de ejecución del movimiento y en la respuesta al adversario, sin embargo, como se mencionó en el estudio de Torres Ruiz, es importante establecer estándares en el gesto deportivo, en cada una de las modalidades y gestos deportivos que permitan hacer comparaciones más precisas.

Por otro lado, en 2015 Moore et al. midieron el alcance, la velocidad y la aceleración de diez estocadas con el esfuerzo máximo después de un paso adelante utilizando la captura de video esgrimistas con edades entre 10 a 55 años y con experiencia de 1 a 15 años. Evaluaron el rendimiento de la estocada de cada sujeto en cinco medidas de alineación de los videos frontales y laterales, luego utilizaron la regresión lineal para identificar correlaciones entre marcadores significativos de alineación y rendimiento. Contrariamente a lo pensado en la estocada clásica, en las que la extensión de la rodilla no dominante es el principal impulsor del movimiento, los resultados mostraron que estas medidas no se correlacionaron con el rendimiento de la estocada. En cambio, la capacidad para lograr y mantener la neutralidad lumbosacra durante el movimiento, es decir, garantizar que la propagación de la fuerza esté alineada y se mantenga a lo largo del eje de movimiento desde el pie no dominante hasta el brazo de la espada, se correlacionó más estrechamente en la arremetida con la velocidad y la aceleración, factores predictores de rendimiento (18).

En línea con esta investigación Chen et al. en 2017, realizaron una revisión sistemática, donde destacan que el uso asimétrico de los hemicuerpos es un factor para tener en cuenta en el análisis del gesto deportivo, ya que las fuerzas, velocidades y aceleraciones pueden transmitirse en formas diferentes. Los resultados destacan que la esgrima es un deporte altamente asimétrico, donde el lado armado del cuerpo lidera el movimiento en todo momento, además de que los miembros superiores e inferiores realizan trabajos diferentes durante los gestos deportivos que la involucran, por lo cual se impone una alta demanda al sistema neuromuscular para lograr llevar a cabo el gesto. También se determinó que el movimiento desde miembros inferiores hacia miembros superiores supone una transferencia efectiva de la velocidad angular segmentaria articular de la extremidad

inferior a la velocidad lineal máxima del centro de masa lo cual diferencia a los tiradores de élite de los novatos (19). No obstante, se hace énfasis en la poca calidad metodológica de los estudios incluidos en el estudio, por lo que no consideran dar conclusiones definitivas con lo que respecta al análisis biomecánico del gesto en la esgrima, dejando alta incertidumbre de cómo optimizar el gesto.

Un aspecto que ha sido mencionado como una falencia en los procesos de investigación con miras a mejorar el rendimiento deportivo y como una potencia para la tener un mejor desempeño en la competencia, es el uso del análisis biomecánico con el objetivo de identificar cómo los expertos perciben la información cinemática de sus rivales; esto relacionado con la habilidad de anticipar y predecir las acciones del rival durante la competencia y obtener una ventaja sobre este; esta aplicación del análisis biomecánico tiene gran potencial investigativo y aún no hay estudios al respecto (33).

Como se puede evidenciar en los antecedentes presentados, las investigaciones respecto a habilidades cognitivo perceptuales y análisis biomecánico en la esgrima son limitadas, por lo que el potencial investigativo de esta disciplina es elevado, sin embargo, la limitada información respecto a esta disciplina dificulta realizar un mayor abordaje que permita contextualizar el tema de investigación; por lo tanto, los resultados de esta investigación permitirá establecer una línea de base respecto al gesto deportivo, la percepción visual, la anticipación y los tiempos de respuesta en la esgrima, los cuales no han sido establecidos para la población colombiana, ni se han estudiado de forma distintiva entre

las modalidades de la esgrima. Además de esto, tener estándares de rendimiento de los deportistas permitirá hacer un comparativo a futuro con los mismos deportistas, u otras generaciones de deportistas con el objetivo de potenciar los procesos de entrenamiento con miras a la competencia.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Cada actividad deportiva tiene unas especificidades, demandas y características que la hacen diferente a otras disciplinas deportivas. Estas características están relacionadas con los componentes y contenidos propios de la misma, dentro de las que podemos encontrar habilidades motoras, las capacidades físicas, capacidades tácticas y las habilidades mentales superiores, como la cognición, la percepción, la memorización, la atención y el pensamiento (20); que exigen a los deportistas una preparación tanto física como psicológica para poder responder ante estas demandas.

Recientemente, muchos investigadores han centrado su atención en demostrar cómo la práctica deportiva incide sobre las habilidades cognitivo-perceptuales en dominios específicos del deporte; en donde estas habilidades han demostrado tener una importancia para lograr un óptimo rendimiento. Además, determinar si la práctica deportiva también influye en dominios generales, para proporcionar evidencia de cómo la experiencia motora influye en la funcionalidad cerebral. Los hallazgos en este campo han demostrado que la experiencia podría afectar las habilidades cognitivas perceptivas específicas y generales de los atletas como la atención, la discriminación visual, la anticipación, la resolución de problemas y la toma de decisiones (14).

Es por esto que la experiencia motora en las funciones cognitivas ha recibido una atención creciente en el campo de las ciencias del deporte y la neurociencia, debido a la influencia que parecen tener en el desempeño de los deportistas. Cuando los procesos de la preparación, la planificación y la ejecución motora se dan de una manera más rápida al volverse automático un movimiento, cognitivamente este deja de ser el foco atencional, dando espacio para centrar la atención en otros aspectos ambientales que puedan considerarse relevantes, con el objetivo de generar una respuesta más rápida (34). Además, las investigaciones han demostrado que el ejercicio físico puede tener efectos de transferencia positivos en el funcionamiento cognitivo, demostrando que el ejercicio físico mejoró el rendimiento cognitivo, principalmente en tareas que requieren mayor control cognitivo, y en tareas cognitivas básicas (35).

Otras funciones cognitivas, como el procesamiento anticipatorio, el control inhibitorio, las habilidades de toma de decisiones y la resolución de conflictos también pueden beneficiarse de la práctica deportiva y el entrenamiento a largo plazo relacionado con el deporte(36), siendo la experiencia un factor determinante en el desempeño deportivo y en la potenciación de habilidades requeridas para el rendimiento en el mismo.

Si bien se ha mostrado la importancia de las habilidades cognitivas en el deporte, en especial las perceptuales cuando de deportes de combate se refiere; es importante para el estudio del comportamiento experto y para el conocimiento mismo de la disciplina caracterizar esta serie de habilidades con el fin de conocer cómo se logra desarrollar una disciplina, para esto se ha propuesto que se deben realizar pruebas en laboratorio con tareas representativas de la disciplina, aplicando una variedad de métodos que permitan identificar los mecanismos de mediación que subyacen al rendimiento superior del experto sobre el novato; para determinar cómo los expertos adquieren las habilidades necesarias para demostrar un desempeño superior confiable con el fin de potenciar estos aspectos relevantes que permitan el desarrollo de la disciplina (33).

Sin embargo, la investigación en disciplinas de poca demanda de practicantes es limitada. En la esgrima, por ejemplo, aunque se han realizado investigaciones sobre cognición y percepción (14)(6)(37); no se han relacionado habilidades influyentes en el desempeño de la disciplina como lo son la anticipación, los tiempos de respuesta y la percepción visual con el rendimiento experto. Estas habilidades, además, han ido investigadas indistintamente de la modalidad de esgrima que practiquen los participantes, y debido a las diferencias en su reglamentación y en el desarrollo de los combates, es posible que

existan diferencias que son importantes caracterizar, con el objetivo de potenciar los aspectos más influyentes de la misma. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es caracterizar habilidades cognitivo-perceptuales (percepción visual, anticipación y tiempo de respuesta), y cinemática angular de la estocada en esgrimistas de diferente nivel de experiencia y modalidad deportiva (florete, sable y espada).

### **1.3 Justificación**

En la esgrima, los deportistas se ven enfrentados en todo momento a demandas cognitivas, ya que son desafiados por las fintas o engaños de sus oponentes tanto en el entrenamiento como en las competencias (38). Teniendo en cuenta lo anterior, la capacidad de seleccionar estímulos y comprender las acciones de sus rivales son cruciales al momento de ganar una competencia. Estas habilidades, han sido catalogadas como habilidades cognitivo-perceptuales dentro de las que se encuentran la atención, la discriminación visual, la anticipación, la resolución de problemas y la toma de decisiones (14). Se ha demostrado que estas habilidades son importantes en el desarrollo y en el rendimiento de la disciplina(33), y que se requiere establecer estándares que permitan comparar y potenciar las habilidades de los deportistas.

Como se estableció en los antecedentes, si bien existe evidencia de las habilidades cognitivo-perceptuales en la esgrima, no se han investigado de forma comparativa de acuerdo con cada una de las modalidades en las que se divide la esgrima, por lo que la información disponible no parece ser suficiente para contribuir en la potenciación de las habilidades de los deportistas; además en nuestro país no hay información disponible en relación con esta temática de acuerdo a lo investigado en la literatura. Por lo tanto, un importante punto de partida es empezar a identificar cuáles son las características de los deportistas que lo practican, para así identificar patrones, necesidades que permitan redireccionar el entrenamiento de los deportistas. Por lo tanto la caracterización en el deporte cobra alta relevancia en los procesos de desarrollo de cualquier disciplina deportiva, ya que para lograr el perfeccionamiento técnico deportivo, conviene analizar qué factores repercuten en el rendimiento como lo son la biomecánica del gesto, la fisiología del deporte, las demandas fisiológicas entre otras (39). Esto permitirá a los entrenadores y al equipo interdisciplinar de ciencias aplicadas al deporte establecer los modelos: el real y el ideal generando parámetros de comparación, estos parámetros permitirán establecer la proyección del deportista para identificar fortalezas, amenazas y las posibilidades de obtener logros; permitiendo optimizar los recursos, las inversiones y los resultados (21).

El fisioterapeuta, como integrante del equipo interdisciplinar de ciencias aplicadas al deporte, en su quehacer profesional, tiene influencia más allá de la rehabilitación alteraciones musculoesqueléticas de deportistas y la prevención de lesiones. Esto se evidencia en el incremento en el número de investigaciones en fisioterapia relacionados con otros temas, dentro de los que se encuentran los relacionados con la cognición. En

estas investigaciones se hace explícita la relación entre el movimiento y las funciones cognitivas (40), y como el fisioterapeuta puede influir en ellas durante sus intervenciones. De esta manera se evidencia que este es un nicho importante de investigación en donde se podría encontrar información útil a tener en cuenta para alcanzar el máximo rendimiento deportivo en disciplinas que requieren tanto de aptitud física como cognitiva.

Siendo el movimiento corporal humano el objeto de estudio de la fisioterapia, se hace necesaria su participación en procesos de caracterización del movimiento y procesos cognitivos que puedan incidir sobre el mismo. Esto con el fin de potenciar las capacidades y habilidades físicas y mentales del deportista que conlleven al desarrollo personal y de una disciplina deportiva en la que hay mucho por explorar (4), como lo es la esgrima en Colombia. Asimismo, el uso de herramientas computacionales para el procesamiento de la información relacionada con el movimiento y de las habilidades cognitivo-perceptuales, abre la puerta al equipo interdisciplinar para tener más herramientas que tengan una aplicabilidad más asequible para determinar la línea de base y posterior planeación del entrenamiento con miras a la competencia y los logros, los cuales son el objetivo del deporte de alto rendimiento.

## 1.4 Pregunta de Investigación

De acuerdo con la revisión en la literatura disponible, se encuentra un posible vacío de conocimiento en la esgrima, derivado de las pocas investigaciones realizadas en esta disciplina. A la fecha, no se cuenta con información suficiente que permita diferenciar las habilidades y características de movimiento de cada una de las modalidades de la esgrima, ni de la representación de elementos relevantes para esta disciplina, como lo pueden ser las habilidades cognitivo-perceptuales y biomecánica del gesto deportivo. Entendiendo que esta información es relevante para caracterizar los sujetos y establecer diferencias entre cada una de las modalidades deportivas, que permitan identificar potenciales estrategias para entrenamientos específicos para desarrollar las habilidades particulares de cada deportista, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Existen diferencias en habilidades cognitivo-perceptuales (percepción visual, anticipación y tiempo de respuesta) en esgrimistas de acuerdo con su nivel de experiencia (novato, intermedio y experto) y modalidad deportiva (sable, florete y espada)?

¿Cuáles son las diferencias en la cinemática angular y variabilidad del movimiento durante la estocada en esgrimistas de acuerdo con su nivel de experiencia (novato, intermedio y experto) y modalidad deportiva (sable, florete y espada)?

## **2.Objetivos**

### **2.1 General**

Identificar las diferencias en las habilidades cognitivo-perceptuales (percepción visual, anticipación y tiempo de respuesta), cinemática angular y variabilidad del movimiento de la estocada entre esgrimistas de diferente nivel de experiencia y modalidad deportiva (florete, sable y espada).

### **2.2 Específicos**

- Caracterizar patrones en las fijaciones visuales, anticipación y tiempo de respuesta en esgrimistas de acuerdo con su nivel de experiencia y modalidad deportiva.
- Describir diferencias en las fijaciones visuales, anticipación y tiempo de respuesta en esgrimistas de acuerdo con su nivel de experiencia y modalidad deportiva
- Caracterizar patrones de cinemática angular durante una estocada de acuerdo con su nivel de experiencia y modalidad deportiva.
- Describir diferencias en la cinemática angular de la estocada de acuerdo con su nivel de experiencia y modalidad deportiva.

- Determinar la relación del nivel de experiencia y la modalidad deportiva con la percepción visual, anticipación, tiempo de respuesta y variabilidad en el gesto deportivo en esgrimistas pertenecientes a la Federación Colombiana de Esgrima.

## **3.Hipótesis**

### **3.1.1 De investigación**

Existe relación entre la experiencia y la modalidad deportiva con la percepción visual, anticipación, tiempo de respuesta y variabilidad del movimiento en la estocada en esgrimistas pertenecientes a la Federación Colombiana de Esgrima.

### **3.1.2 Nula**

No existe relación entre la experiencia y modalidad deportiva con la percepción visual, anticipación, tiempo de respuesta y variabilidad del movimiento en la estocada en esgrimistas pertenecientes a la Federación Colombiana de Esgrima.

## 4. Marco teórico

En este capítulo se presenta la información disponible en la literatura que permitieron contextualizar sobre la esgrima y sus diferentes modalidades deportivas, las habilidades cognitivo-perceptuales, la biomecánica en la esgrima; y la influencia de la experiencia en cada uno de estos aspectos.

### 4.1 Esgrima

La esgrima es un deporte en el que dos personas intentan sumar puntos haciendo que su arma entre en contacto con su oponente. Hay competiciones individuales y de equipo para las tres modalidades que existen, el sable, el florete y la espada. Los combates tienen lugar en la "pista", una franja lineal de aproximadamente 47 pies de largo y 5 pies de ancho. En general se marca punto cuando la punta del arma del tirador toca el torso del rival. Para cada una de modalidades en las que se compiten dentro de la esgrima, existen diferentes áreas de interés; para la espada, todo el cuerpo es un objetivo legal, y para el sable, la punta o el filo debe hacer contacto con el torso, la cabeza o el brazo y para el florete el área válida de puntuación es el torso. (8).

Es una disciplina compleja, con una alta demanda física y mental; que involucra movilidad, velocidad, estrategia y toma de decisiones(4). Se ha descrito como un deporte intermitente

de alta intensidad con habilidades técnicas específicas, decisiones tácticas y rendimiento físico. Durante la competencia, el esgrimista debe realizar movimientos ofensivos o defensivos dinámicos precisos contra el oponente, que dependen de la fuerza explosiva concéntrica y los rápidos ciclos de acortamiento estiramiento de las extremidades inferiores. Hay investigaciones que evidencian que el entrenamiento de esgrima a largo plazo puede influir en la fuerza y la potencia de las extremidades inferiores de los tiradores(41).

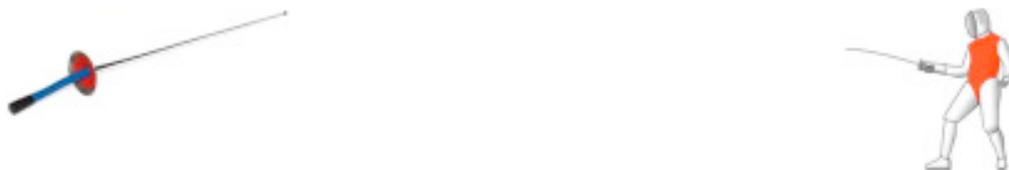
Otros deportes de combate, como el boxeo, el karate, el taekwondo y el judo no están excluidos de estas demandas. Siendo estos deportes de habilidad abierta en donde los atletas deben coordinar e interactuar con oponentes externos. Asimismo, dentro de estas prácticas se pueden presentar cambios ambientales repentinos, en los que cada atleta debe adaptarse a nuevas situaciones en cada momento. Por estas razones, además de la fuerza, la resistencia y la velocidad, la capacidad de procesar la intención del rival es crucial para realizar una toma de decisiones adecuada y generar una respuesta efectiva que permita obtener puntos (14).

Como se mencionó anteriormente, existen tres modalidades de acuerdo con el arma con la que se compite; para estas tres disciplinas está formalmente prohibido durante el combate, apoyar o arrastrar la punta del arma en la pista conductora, además poner el arma en la pista para enderezarla. A continuación, se mencionarán las especificidades de cada una:

### 4.1.1 El florete

El florete es un arma de estoque solamente. La acción ofensiva de esta se ejerce únicamente con la punta. Para esta modalidad la superficie válida para puntuar excluye los miembros y la cabeza. Está limitada al tronco, terminando, hacia arriba, en la parte superior del cuello, hasta seis centímetros por encima de la parte superior de las clavículas; sobre el costado, en las costuras de las mangas, que deben pasar por la punta del húmero; hacia abajo, siguiendo una línea que pasa horizontalmente por la espalda, por los vértices de las caderas y que alcanza desde ahí por una línea recta, el punto de unión de los pliegues de las ingles. Incluye también la parte de la barbilla, debajo de una línea horizontal entre 1.5 y 2 cm por debajo de la barba que, en cualquier caso, no puede estar más abajo que la línea de los hombros (42), como se evidencia en la Figura 4-1.

**Figura 4-1:** Arma y zonas de puntuación en el florete señaladas en naranja (4)



### 4.1.2 La espada

Esta es un arma con la cual el esgrimista trata de tocar en cualquier parte del cuerpo adversario con la punta. Se trata de tocar primero y no existe “convención” como en caso del florete, para asignar el toque (43). La espada es un arma más pesada(4). En caso de toques simultáneos, en un lapso de 0,25 segundos, los dos toques son válidos. Históricamente existían dos clases de espada: la espada como arma ligera para golpes de punta y las espadas de hoja ancha para golpes de corte. Dejada de utilizar como arma en las guerras y desaparecidos los duelos, se convirtió en práctica deportiva y se juega desde los Juegos Olímpicos de París (43). La superficie válida comprende todo el cuerpo del esgrimista, incluyendo su uniforme y su equipo. Por lo tanto, cuenta cualquier tocado dado, cualquiera que sea la parte alcanzada del cuerpo (tronco, miembros o cabeza), del uniforme o del equipo(42), como se observa en la Figura 4-2.

**Figura 4-2:** Arma y zonas de puntuación en la espada señaladas en naranja (4)



### 4.1.3 El sable

El sable es un arma de estoque, de filo y de contrafilo. Todos los golpes dados con el filo, el plano o el dorso de la hoja se cuentan como tocado. Está prohibido dar tocados con la cazoleta. Todo toque provocado con la cazoleta (pieza de hierro u otro metal, que se pone debajo del puño que sirve para proteger la mano.), debe ser anulado y el esgrimista que ha dado este toque recibirá las sanciones previstas. Los golpes a través del hierro, es decir, que tocan al mismo tiempo el sable del adversario y la parte vulnerable, son válidos siempre que lleguen claramente sobre la superficie válida. Sólo se cuentan los toques dados en la llamada superficie válida. La superficie válida incluye toda la parte del cuerpo situada por encima de la línea horizontal que pasa alrededor del cuerpo del esgrimista a la altura de la cresta ilíaca, como se observa en la Figura 4-3. En el sable, está prohibido proteger o sustituir una superficie válida por otra parte del cuerpo, cubriéndola.

**Figura 4-3:** Arma y zonas de puntuación en el sable señaladas en naranja (4)



#### **4.1.4 Equipo de esgrima**

Como en todas las disciplinas la indumentaria juega un papel importante tanto en el desempeño como en la seguridad del deportista, siendo este un factor que no es ajeno en la esgrima. El equipo debe ser resistente y brindar protección al deportista de manera que no corra ningún riesgo al recibir una estocada por parte de su contrincante; además debe ser flexible para permitir la movilidad del deportista que debe verse enfrentado a diferentes situaciones durante el combate.

El equipo de esgrima es complejo y debe ajustarse adecuadamente para que el tirador pueda competir cómodamente. Su calidad e integridad son importantes para prevenir lesiones y deshidratación(8). Debe estar compuesta de una materia suficientemente sólida, estar limpia y en buen estado. Por lo tanto, las prendas que constituyen el equipamiento no presentarán una superficie lisa susceptible de hacer deslizar la punta de arresto, el botón o el golpe del adversario. Los trajes deben estar realizados completamente de tela resistente a 800 newton (42). El equipo es diferente para los niños, para el entrenamiento, para pequeñas competiciones y para la competencia internacional en donde se hace necesario el uso adicional de un peto, que brinda protección adicional en la zona de la axila la cual está expuesta durante los combates; este no suele ser usado para competencias pequeñas o entrenamientos. Hay un uso obligatorio de protectores bucales en la esgrima para reducir el riesgo de lesiones(8). A continuación, se mencionan las diferentes prendas utilizadas y las especificaciones que deben cumplir de acuerdo con la Federación Internacional de Esgrima:

## ▪ Chaquetilla

Para todas las armas, la parte inferior de la chaquetilla debe cubrir el pantalón sobre una altura de por lo menos 10 cm, estando el esgrimista en la posición de “en guardia”. La chaquetilla debe comportar obligatoriamente una manga interior que forre la manga hasta la articulación del brazo y el costado hasta la región de la axila; el tirador tiene la obligación de llevar una chaquetilla reglamentaria que cubra toda la superficie del tronco. La utilización del proteger el pecho/busto (en metal o toda otra materia rígida) es obligatoria para las mujeres y facultativo para los hombres (42).

**Figura 4-4:** Chaquetilla utilizada en esgrima (44)



## ▪ Pantalón

El pantalón debe estar atado y fijado debajo de las rodillas. Junto con el pantalón, es obligatorio llevar un par de medias. Deben cubrir totalmente la pierna hasta debajo del pantalón y ser llevadas de tal modo que no puedan caerse. El tirador está autorizado a tener un dobladillo de 10 cm encima de las medias con los colores del equipo nacional (42).

**Figura 4-5:** Pantalón utilizado en esgrima (45)



- **Guante**

A todas las armas, el manguito del guante debe, en todos los casos, cubrir totalmente la mitad del antebrazo armado del tirador para evitar que la hoja del adversario pueda entrar en la manga de la chaquetilla(42).

**Figura 4-6:** Guante utilizado en esgrima (46)



- **Máscara / careta**

La careta debe estar formada de un enrejado en el cual las mallas tienen como máximo 2,1 mm y en el cual los hilos tienen un diámetro mínimo de 1 mm. La careta debe llevar una fijación de seguridad trasera. En los controles, en caso de duda, el responsable puede verificar que el enrejado de las caretas, tanto hacia la cara delantera como sobre los lados, soporta, sin deformación permanente, la introducción, en las mallas de un punzón cónico a 4 grados de conicidad y cargada con una presión de 12 kilos. La barbada de la careta debe estar realizada con un tejido resistente a 1600 Newton. La careta debe llevar una cinta horizontal de seguridad a la parte trasera de la máscara, las dos extremidades del lazo deben ser fijadas firmemente a los lados de la máscara (42).

**Figura 4-7:** Careta utilizada en esgrima (47)



#### 4.1.5 Generalidades de la esgrima

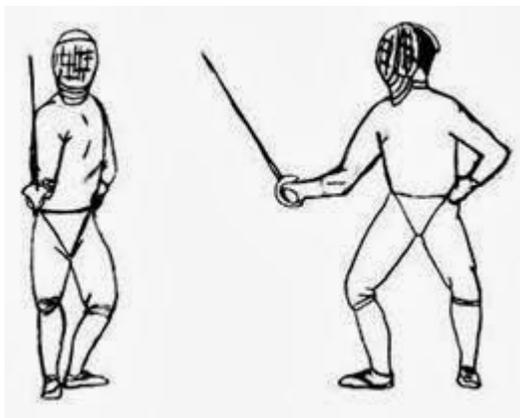
La esgrima como disciplina incorpora diferentes acciones técnicas como posiciones, desplazamientos y ataques o toques; que varían de acuerdo con la modalidad deportiva que se practique; debido a que como se mencionó anteriormente las zonas de puntuación, y el reglamento difieren de acuerdo a la modalidad. A continuación, se exponen las generalidades del deporte.

- **Posición de guardia**

Es la posición más ventajosa del esgrimista para desarrollar el combate; es decir, para efectuar tanto acciones de ataque, como de defensa y engaños (48). La pierna dominante

del esgrimista debe estar adelantada, la punta de ese pie debe estar dirigida hacia adelante. El pie no dominante debe estar ubicado hacia afuera, formando un ángulo de 90°. La distancia entre los pies aproximadamente la de los hombros. Los hombros también aproximadamente en una línea paralela a la que une nuestros talones. La posición de los brazos varía según el arma (49) en la Figura 4-8 se observa dicha posición.

**Figura 4-8:** Posición “en guardia” en la esgrima (vista anterior y lateral) (50).



#### 4.1.6 Acciones deportivas

En la esgrima los tiradores se mueven de lado, en línea recta, acercándose o alejándose del oponente. En una posición básica, las rodillas están ligeramente dobladas y la mano armada se dirige hacia el competidor. Debido a la posición lateral, podemos distinguir la pierna delantera y trasera.

Las acciones básicas del juego de pies incluyen pasos y estocadas. Un paso adelante es iniciado por la pierna delantera, y luego seguido por la pierna trasera, por lo tanto, cada paso se termina en la posición básica. Retroceder es similar, pero comienza con la pierna de atrás. La estocada por otro lado permite acortar dinámicamente la distancia al oponente durante una acción ofensiva. Se realiza primero levantando ligeramente la pierna delantera y luego empujando con la pierna trasera(31). A continuación, se describen los movimientos anteriormente mencionados y más utilizados en la esgrima:

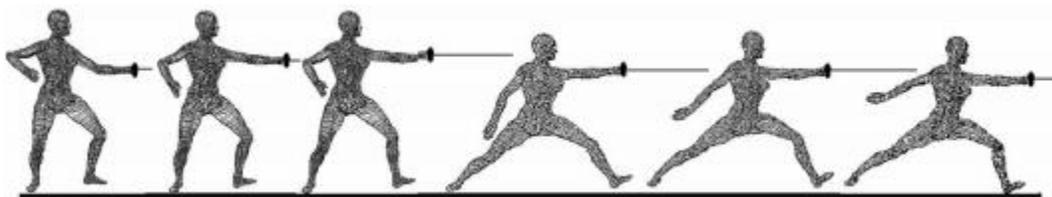
- **Estocada**

Este es el ataque ofensivo más utilizado y practicado en la esgrima. Al lanzarse, el tirador puede terminar un ataque y anotar un punto, o acortar la distancia del oponente muy rápidamente (5). Durante los torneos internacionales de sable, la estocada se usa cada 23.9 s en tiradores masculinos, y cada 20 s en mujeres. La velocidad y la distancia recorrida son dos factores principales en una embestida efectiva, mientras que la primera se considera como un factor crucial para los tiradores para llevar a cabo con éxito estocada

que proporciona menos tiempo para la respuesta de la oponentes en combates de esgrima extremadamente rápidos (51).

La estocada es principalmente desencadenada por la percepción de un estímulo, generalmente la acción del oponente. Posterior a esto el tirador comienza a ejercer fuerza con el pie trasero, acelerando hacia adelante con una secuencia de tiempo generalmente comenzó con un impulso del brazo con el arma y un paso adelante con el pie delantero. Esta la fase de aceleración termina cuando el pie trasero se detiene empujar contra el piso. Luego, un vuelo normalmente sigue la fase, que termina con el contacto del pie delantero en el piso. Finalmente después llegando al objetivo, la fuerza ejercida por el frente el pie frena la velocidad horizontal del tirador (17). En la figura 4-9 se pueden evidenciar cada una de las fases anteriormente descritas.

**Figura 4-9:** Fases de la estocada en esgrima (20)



Según el profesor Czajkowski (31), uno de los inventores de la teoría moderna de la esgrima, existen cuatro tipos básicos de estocadas, que varían en la dinámica del movimiento:

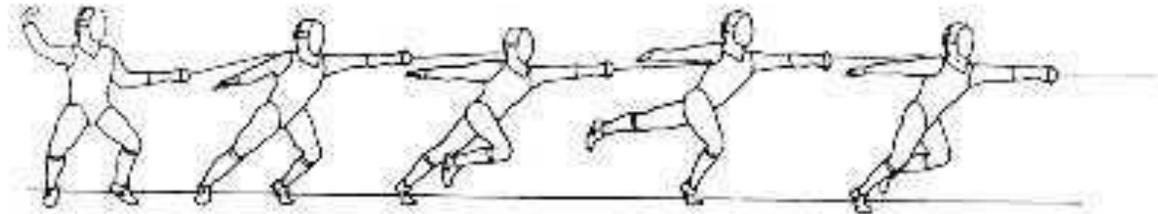
- **rápido:** muy rápido, realizado en distancias relativamente cortas, destinado a ataques sorpresa
- **con velocidad creciente:** lenta al principio, pero acelerada durante la acción, útil para ataques de fintas
- **con espera:** con una breve pausa en la primera etapa de la estocada, durante la cual el tirador observa la reacción del oponente y realiza una contra-acción si es necesario.
- **saltando-deslizándose:** tipo de estocada más larga, el tirador salta hacia adelante con la pierna delantera, mientras que la pierna trasera se desliza en el piso, destinada a acciones ofensivas complejas.

Distinguir entre los diferentes tipos de estocada no es fácil, ya que varían principalmente en la dinámica del movimiento. Además, el rendimiento de las diferentes acciones de estocada varía ligeramente entre los tiradores, ya que está influenciado por sus capacidades físicas, como la velocidad o la flexibilidad, así como por sus habilidades(31).

- ***Fleche***

Este es un ataque explosivo que se realiza con mayor frecuencia desde una distancia media o larga del oponente. Comenzando desde la posición de guardia, el tirador endereza el brazo y empuja el centro de masa del cuerpo rápidamente hacia adelante, hacia el oponente. Al mismo tiempo, el tirador cruza la pierna delantera con la trasera y desplaza completamente el centro de masa hacia la pierna delantera, alcanzando así la extensión del cuerpo completo. Para atrapar el impulso residual, el atleta corre más allá del oponente, interrumpiendo así el partido. La fleche se usa con mayor frecuencia como técnica sorprendente para superar una gran distancia. Los tiradores necesitan una elasticidad muy distintiva para catapultar explosivamente su centro de masa hacia adelante, así como para atrapar el impulso hacia adelante. Debido al cruce de las piernas, la fleche solo está permitida en las disciplinas de florete y espada, a diferencia del sable en donde las reglas no permiten cruzar la pierna delantera y trasera (5). En la Figura 4-10 se observa la secuencia de cómo se realiza un fleché.

**Figura 4-10:** Secuencia de ataque fleché (49)



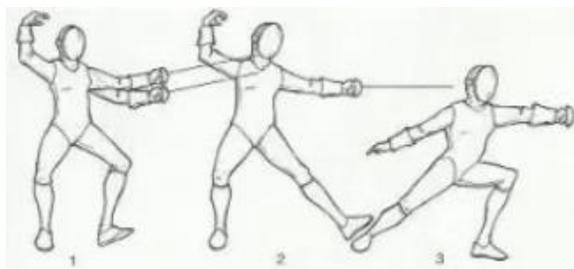
#### 4.1.7 Fondo

Este es el desplazamiento más común para tocar al rival. Comienza con la extensión completa del brazo armado, continua con la elevación del pie delantero dando una patada energética hasta estirar completamente la pierna, y finaliza con la extensión de la pierna trasera buscando la máxima velocidad de ejecución. Finalmente se realiza una proyección del brazo no armado, para conseguir mayor impulso hacia adelante y equilibrar el cuerpo esgrima(52) En la Figura 4-11 se observa cómo se realiza un fondo. Esta acción se puede dividir en las siguientes fases:

1. Se estira completamente el brazo, antebrazo, muñeca y arma que deben estar en línea recta, con el dedo pulgar en la parte superior del puño.
2. Tiempo de vuelo. En esta fase se producen simultáneamente estos movimientos:
  - Lanzamiento de la pierna adelantada, comenzando por elevar la punta del pie y dando una patada energética, hasta estirar completamente la pierna.
  - Impulso de la pierna retrasada, con una extensión rápida y completa. Buscando la máxima velocidad de ejecución.

- Proyección del brazo no armado, para conseguir mayor impulso hacia adelante y equilibrar el cuerpo.
3. Tiempo de caída: En esta fase el pie adelantado entra en contacto con el suelo, por el talón. la pierna queda finalmente formando un ángulo de  $90^\circ$  aproximadamente. La pierna retrasada completamente estirada y el cuerpo ligeramente inclinado hacia adelante (53).

**Figura 4-11:** Fondo en esgrima (50)

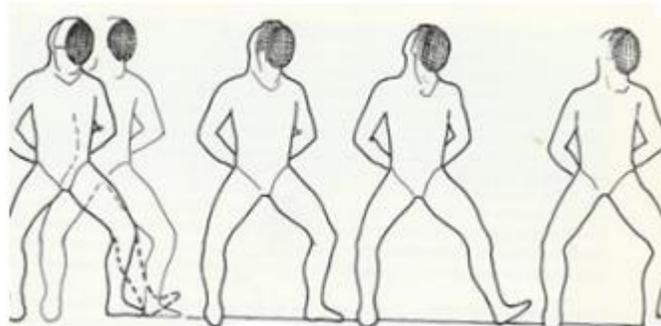


#### 4.1.8 Marchar

Es un desplazamiento adelante hecho a partir de la posición básica de guardia. Comienza con el desplazamiento del pie delantero apoyando solo el talón. Después al mismo tiempo

que se apoya la planta del pie delantero se aproxima el trasero. El tronco permanecerá vertical, manteniendo la naturalidad de los movimientos (52).

**Figura 4-12:** Marchar en esgrima (52)



#### 4.1.9 Lateralidad

En relación con la lateralidad, algunos estudios han analizado su influencia en la esgrima. Este ha sido un tema de interés ya que se ha reportado una ventaja de los zurdos sobre

los diestros en este deporte, especialmente entre los practicantes de alto nivel. Algunas investigaciones han demostrado que los esgrimistas zurdos están más acostumbrados a disparar contra los diestros y entienden mejor estas situaciones, mientras que los diestros parecen tener más dificultades cuando se enfrentan a un tirador zurdo. Sin embargo, los mecanismos involucrados no están totalmente claros(4).

Otras de las hipótesis que se han planteado se relacionan con la aparente ventaja para la mano izquierda relacionado con alguna evidencia anatómica de control de la atención en el hemisferio derecho. Al parecer, la lateralidad zurda implica una ventaja neurofuncional, pero no parece ser un factor determinante para el rendimiento real de alto nivel en la esgrima. De hecho, aunque los esgrimistas zurdos tienen alguna ventaja estratégica en un nivel bajo, en un nivel alto, los esgrimistas zurdos no parecen tener dichas ventajas (54). Por lo tanto, las investigaciones han concluido que es necesario realizar más investigaciones con el fin de determinar neuro fisiológicamente la ventaja en el desempeño de los deportistas con esta lateralidad.

## **4.2 Habilidades cognitivo-perceptuales**

La cognición ha sido definida por Shatil (2013) como la capacidad que tienen los seres vivos de procesar la información a partir de la percepción de estímulos que llegan del

exterior a través de los sentidos. Así, el conocimiento adquirido con la experiencia permite integrar esta información para valorar e interpretar el mundo (55). La cognición engloba diferentes procesos cognitivos como el aprendizaje, la atención, la percepción, la memoria, el lenguaje, el razonamiento, la toma de decisiones, etc., que forman parte del desarrollo intelectual y de la experiencia(56). Procesos cognitivos como la atención, la percepción y la toma de decisiones son indispensables para responder a las demandas del ambiente, similares a las que se deben enfrentar en los deportes de combate, donde, para ganar, los deportistas deben ser hábiles al atacar a su contrincante para ganar puntos, y evitando los ataques de su oponente. En ese orden de ideas, la habilidad de percibir la intención de movimiento es indispensable para generar una respuesta adecuada tan rápido como sea posible.

Lo anteriormente mencionado ha sido definido como habilidades cognitivo-perceptuales, las cuales se refieren a la capacidad de un individuo para localizar, identificar y procesar información del ambiente, para integrarla con el conocimiento existente y las capacidades motoras actuales para seleccionar y ejecutar acciones apropiadas(6). Las habilidades cognitivas-perceptivas que sustentan el rendimiento incluyen, entre otros, el uso más eficiente y efectivo de la visión para escanear el entorno con el fin de extraer información relevante y así responder a las demandas impuestas por este. Se ha demostrado que los deportistas expertos tienen la capacidad de reconocer patrones de juego específicos del deporte a medida que surgen, y de captar las señales tempranas que emanan de los movimientos posturales de los oponentes(6); esto podría interferir en el proceso de respuesta de los esgrimistas en la acción de esquivar un ataque y contraatacar lo más rápido posible.

Por otro lado, como cualidades claves específicas en la esgrima se encuentran la velocidad de integración y reacción ante una acción desencadenada por el oponente. Antes de desencadenar una acción, el tirador analiza y selecciona la información visible entregada por su oponente, siendo importante la percepción, el análisis visual y la velocidad de reacción a la hora de generar una respuesta (4). Estos elementos repercuten directamente en el éxito de la defensa o un posible ataque, de acuerdo con la habilidad del esgrimista.

Estas habilidades son fundamentales además para el desempeño de muchas tareas en diferentes dominios, incluidas las actividades cotidianas. El verse expuesto a estímulos diferentes genera aprendizaje perceptivo en los deportistas, lo que se relaciona con un cambio duradero sobre el sistema perceptual en el deportista para mejorar su capacidad de responder a su entorno, basado en mejoras de las habilidades complejas de la percepción como resultado de la captación de información del medio ambiente (57), lo que teóricamente muestra una posible relación entre las habilidades cognitivo-perceptuales y el nivel de experiencia de los deportistas.

Por lo tanto, esta serie de habilidades juegan un papel importante en los deportes abiertos como lo es la esgrima. Debido a que este deporte es tan rápido, los atletas están bajo una enorme presión de tiempo; el intervalo de tiempo para preparar sus propias respuestas motoras es tan corto que tienen que anticipar las intenciones del oponente (12).

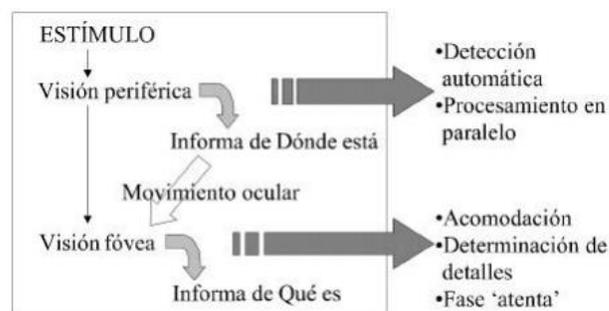
Uno de los sistemas más influyentes en los procesos de percepción es el sistema visual, ya que proporciona a los deportistas un estimado del 80% de la información sensorial que ocurre durante la actividad deportiva, especialmente en actividades que requieren sentidos perceptivos avanzados. Los sentidos perceptivos brindan a los atletas información precisa y rápida; estos se consideran el primer paso en el procesamiento de la información (20).

#### **4.2.1 Percepción visual**

Como se mencionó anteriormente uno de los principales sentidos involucrados en el proceso de percepción es la visión, el ojo como órgano principal de este sistema, es un receptor de estímulos, encargado de transformar las ondas luminosas en impulsos eléctricos por intermedio de los conos y los bastones, células fotorreceptoras de la retina. Los conos son los responsables de la percepción de la agudeza y el color y se encuentran en la fóvea. Los bastones son sensibles a la luz débil y al movimiento, y se hallan en la zona periférica de la retina. Este tipo de células se conectan con las células bipolares, que a su vez se acoplan a los ganglionares, cuyos axones forman el nervio óptico, cruzan el quiasma óptico y alcanzan el núcleo geniculado lateral. Las células ganglionares, conformadas por células parvo, son responsables de la agudeza visual y el color. Por vía parvocelular y magno, informan al cerebro de cuándo hay luz débil y movimiento (58), lo que permite al cerebro interpretar la imagen como la percibimos. La visión tiene un papel sumamente importante, ya que como se mencionó anteriormente el 80% de la información percibida por una persona, proviene del sistema visual (59).

El proceso de búsqueda visual está caracterizado por una detección inicial de un estímulo dentro del área de visión periférica. Esta zona del campo visual es especialmente sensible a los desplazamientos, siendo su función principal es la detección del movimiento. Luego de la detección del estímulo, las áreas de mayor relevancia informativa son llevadas a la región fóvea, la cual proporciona la máxima agudeza visual y un sentido cromático exacto; en esta zona se producen las fijaciones visuales como se puede apreciar en la figura 4-13. Los investigadores sugieren que durante las fijaciones visuales se lleva a cabo el procesamiento de la información procedente del entorno, siendo los cambios oculares de una fijación a otra periodos inactivos de procesamiento (60).

**Figura 4-13:** Comportamiento visual ante la detección de un estímulo (61).



En el sistema visual se pueden distinguir dos tipos de estimulación visual: visión focal y visión ambiental. La visión focal se concentra en registrar información detallada sobre el objeto observado, principalmente con equilibrio postural en un plano bidimensional, e implica agudeza visual estática, por otro lado, la visión ambiental es responsable de factores como la diferenciación de estímulos, contrastes, colores, saturación de color, movimientos y tiempo, es tridimensional y presenta agudeza visual dinámica. Ambas visiones interactúan en el proceso de percepción de estímulos (62).

La eficiencia del sistema visual depende de múltiples factores, dentro de los que se encuentran la ausencia o presencia de enfermedades oculares, la posibilidad de contar con una imagen retinal clara, la integración entre la información recibida por el sistema visual, su procesamiento en la corteza primaria y la distribución de esta hacia áreas de asociación cerebrales, donde se integra con las habilidades sensoriales, motoras, perceptivas y cognitivas del individuo. Lo anterior se traduce en tener buena estabilidad de fijación, movimientos oculares precisos, amplia capacidad de acomodación, vergencias y fusión y que el procesamiento visual, la interpretación y la toma de decisiones sean eficaces y precisos(63); estos procesos cobran vital importancia en la esgrima, ya que un adecuado proceso de percepción permite anticipar y generar respuestas más rápidas y con mayor efectividad.

En el ámbito deportivo una de las características del deportista experto es la capacidad de seleccionar los estímulos relevantes del entorno, reduciendo así el número de alternativas decisionales. Por lo tanto, una estrategia de búsqueda visual efectiva da lugar a una toma de decisiones más rápida y eficiente (60), algo de gran importancia en los deportes abiertos

y de alta velocidad como la esgrima. Para el proceso de percepción visual los movimientos oculares son la base del proceso ya que a partir de ellos se puede seleccionar los estímulos más relevantes del entorno para su procesamiento; a continuación, se describen los diferentes movimientos oculares:

- **Movimientos sacádicos o de refijación**

Los movimientos sacádicos son desplazamientos rápidos de los ojos entre dos puntos de fijación. El rastreo visual de una escena se produce mediante una sucesión de movimientos sacádicos y las correspondientes fijaciones entre ellos. Los movimientos sacádicos pueden ser ejecutados voluntariamente y autoinducidos en respuesta a estímulos visuales. La mayoría de estos últimos se realizan para dirigir la mirada hacia el nuevo estímulo lo que se denominan prosacádicas, pero también pueden alejarse de él antisacádicas. Existen movimientos sacádicos involuntarios como respuestas reflejas de orientación desencadenadas por la aparición súbita de un estímulo en la periferia del campo visual, y los movimientos oculares del sueño REM (64).

El análisis y estudio cuantitativo de estos movimientos permite determinar la forma con que cada sujeto selecciona la información de un contexto deportivo determinado, la codifica, realiza el procesamiento de la información y toma una decisión en función de sus experiencias y de su aprendizaje. Los movimientos sacádicos varían significativamente en

velocidad en función de la distancia a recorrer, se han identificado dos tipos diferenciados, movimientos sacádicos y sacádicos extrarrápidos para aquellos que se realizan en un tiempo menor de 99.9 ms entre una posición y otra de la imagen. La evidencia sugiere que estos movimientos extrarrápidos son anticipatorios en naturaleza y emergen como resultado de la práctica y la familiaridad con ciertas condiciones de la tarea (61).

- **Movimientos de seguimiento o persecución lenta**

Son movimientos voluntarios conjugados de ambos ojos para mantener estabilizada la imagen foveal de estímulos que se desplazan lentamente por el campo visual. Su velocidad se adapta a la del objeto, siempre que no supere los  $45^\circ/s$ (64). La velocidad de los movimientos de seguimiento es mucho más lenta que en los movimientos sacádicos y el éxito del sistema visual en la obtención de una imagen estable en la retina depende de la velocidad del objetivo que deben seguir los ojos. En el movimiento de seguimiento los ojos no se van fijando de un punto a otro de la escena visual, sino que un mecanismo cortical muy desarrollado detecta el curso del movimiento de un objeto y luego desarrolla de manera gradual un curso similar del movimiento de los ojos. El ojo realiza una sucesión de movimientos que siguen un ritmo para coincidir en el mismo punto de la imagen que se visualiza (61).

## ▪ Fijación ocular

Los movimientos sacádicos están diseñados para cambiar la imagen de un área informativa de la periferia a la fóvea que es donde se producen las fijaciones. Cuando fijamos la mirada en un punto determinado, la imagen procedente del mismo incide en la zona de mayor resolución espacial de la retina, es decir, sobre la fóvea. Durante las fijaciones los ojos no permanecen totalmente inmóviles, por el contrario, realizan constantes movimientos involuntarios e independientes en cada ojo, y de pequeña amplitud (inferior a 1°). Inmovilizando completamente el ojo durante la fijación se esperaba que la agudeza visual aumentara al evitar la borrosidad debida a los pequeños movimientos oculares(64).

La duración media de una fijación oscila entre 200 y 350 milisegundos. Parte de este tiempo está determinado por un periodo refractario motor entre dos movimientos sacádicos consecutivos, que viene impuesto por las limitaciones propias de la respuesta neuronal motora (65). La duración del periodo de fijación parece señalar la importancia relativa que tiene el área de la imagen para el observador y es comúnmente interpretado como una medida de procesamiento cognitivo encubierto, debido a que es donde se centra la visión después de dos movimientos sacádicos. Por esta razón, la duración de la fijación varía de forma sustancial dependiendo de la naturaleza y la dificultad de la tarea y del tipo de imagen presentada al observador. Las características de las fijaciones han sido utilizadas por los investigadores como índices de cómo el observador atiende selectivamente a la

imagen y como localización de áreas de significación informativa utilizadas en tareas específicas de toma de decisiones (61).

La variabilidad de las posiciones de las fijaciones oculares en el eje horizontal y en el eje vertical indica la amplitud de la exploración sobre la escena visual. En general, se ha demostrado que la ventana de exploración visual se estrecha cuando se incrementa la complejidad de la escena visual que se está percibiendo. Sin embargo, las fijaciones oculares no suelen distribuirse espacialmente de forma proporcional en esta ventana de exploración visual, ni tampoco aleatoriamente. Algunas zonas de la escena reciben un número considerablemente mayor de fijaciones que otras, y tales zonas suelen contener una alta carga informativa para la tarea que se está realizando (65), por lo que determinar las zonas donde se producen una cantidad mayor de fijaciones brinda información relevante de que elementos del entorno son más importantes.

### ▪ **Movimientos de vergencia**

Son movimientos de persecución en los que los ojos siguen direcciones opuestas. Permiten una adecuada alineación binocular en relación con la distancia del punto de fijación para proyectar la imagen sobre la retina de los dos ojos y obtener una única imagen fusionada. En los movimientos de convergencia los ojos se dirigen hacia la línea media para enfocar objetos cercanos mientras que en los movimientos de divergencia sucede lo

contrario. En ambos se pueden alcanzar velocidades de unos 10°/s y amplitudes de 15°(64).

En este apartado se demuestra como se realiza el proceso de percepción visual, y la influencia de los movimientos oculares en este proceso, debido a que permiten hacer un barrido de la información que se encuentra en el ambiente y extraer la información más relevante para la tarea ante la que se vea expuesto. Por lo tanto como se menciona en este apartado, es importante recalcar la relevancia de las fijaciones oculares; ya que de los diferentes movimientos oculares los que nos brindan información sobre las zonas en donde se obtiene una mayor información; por lo tanto en nuestra investigación cobran gran importancia ya que a partir de estos movimientos se pueden determinar las zonas de interés del esgrimista, con el objetivo de determinar si coinciden con las zonas de puntuación en cada una de las modalidades.

Además de esto, el proceso de percepción visual tiene una alta influencia en los procesos de anticipación. En el siguiente apartado se explica cómo se da el proceso de anticipación.

#### **4.2.2 Anticipación**

La anticipación ha sido definida por diferentes autores encontrando similitudes en sus definiciones. Broadbent (2015) definió la anticipación en el deporte como la capacidad de reconocer el resultado de las acciones de otros atletas antes de que esas acciones se ejecuten (6); Roca et al. la definieron como lo que un participante piensa que hará un oponente (66). Los beneficios de anticipar las acciones de los oponentes se han estudiado en muchos deportes, y las habilidades de anticipación resultan estar fuertemente asociadas con la experiencia. Algunas investigaciones han indicado que una de las habilidades fundamentales que diferencia a los jugadores expertos de los novatos es la capacidad de leer e interpretar la información cinemática presente en los movimientos del oponente, teniendo más tiempo para ejecutar una respuesta adecuada (67).

La anticipación está determinada por las complejas interacciones entre varias habilidades perceptivas y cognitivas diferentes, incluido el uso de señales en los movimientos de los contrincantes, el reconocimiento de patrones y el uso de factores cognitivos de orden superior relacionados con el contexto y las probabilidades situacionales o de eventos (68). Una de ellas es la capacidad de los atletas para identificar patrones en secuencias evolutivas de juego. Esto se ha estudiado utilizando el enfoque típico de mostrar a los atletas videos de secuencias ofensivas de juego desde la perspectiva de un jugador defensivo y luego pedirles a los observadores que recuerden las posiciones de los jugadores al final de la secuencia o que juzguen si secuencia se presentó en una secuencia que ya se había visualizado. Aquí se realiza una medición de la capacidad de identificar un patrón temprano en una secuencia permite al perceptor anticipar lo que sucederá al final de la acción (69). Esto implicaría que los deportistas reconocieran patrones motores y reconocieran señales que les permitieran anticipar las acciones de su oponente.

Las investigaciones han resaltado la importancia del sistema visual en la anticipación, ya que los atletas expertos han demostrado una mayor capacidad para usar el sistema visual de una manera diferente y potencialmente más efectiva, al escanear y extraer información su entorno. Se han determinado las diferencias basadas en las habilidades y en los comportamientos de la mirada, encontrando que las características de los expertos se relacionan con la fijación en diferentes áreas de una pantalla, escaneando la pantalla en forma más sistemática y efectiva; presentando un rendimiento superior en la tarea. No obstante, se ha encontrado que el comportamiento de búsqueda óptimo, según lo determinado por el número y la duración de las fijaciones, es específico de acuerdo con la tarea y el contexto (68), por lo que en el caso de la esgrima es necesario tener en cuenta otro factor, la modalidad deportiva, ya que las zonas de puntuación y posiblemente de fijación no son las mismas en cada una de estas.

Otro factor interviniente en la anticipación es la capacidad de identificar y procesar información de la cinética del movimiento de un contrincante; si bien el reconocimiento de patrones cinemáticos en el oponente para la anticipación es intuitiva, responder qué señales cinemáticas se usan y cómo se recogen las señales no es trivial. Para abordar este problema, los investigadores emplean y ocasionalmente combinan diferentes paradigmas experimentales como la manipulación temporal o espacial(70). Conforme a esto una práctica extensa de una actividad específica como un deporte, en este caso la esgrima; permite que los deportistas centren su atención más rápidamente a las señales posturales o grupos de características (patrones) más importantes de su contrincante, que se codifican y juzgan rápidamente en relación con la información encontrada y almacenada

previamente, permitiendo una anticipación rápida y precisa (71); lo que supone una relación entre la experiencia en el deporte y la habilidad de anticipar.

### **4.2.3 Tiempo de respuesta**

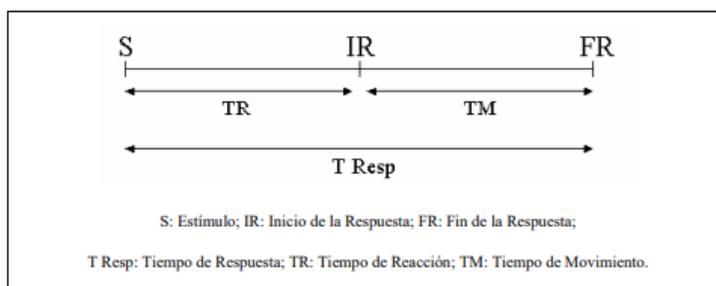
La capacidad de un atleta para identificar y responder rápidamente a diferentes estímulos puede ser un factor clave para un desempeño exitoso, particularmente en deportes de combate como la esgrima, karate y taekwondo. La relación estímulo-respuesta se evalúa comúnmente como la cantidad de tiempo necesaria para procesar la información del estímulo y seleccionar una adecuada respuesta. Este aspecto temporal de la relación estímulo-respuesta es comúnmente llamado tiempo de respuesta, el cual ha sido definido como una variable con evidente validez lógica para la estimación de la capacidad de responder rápidamente a un estímulo (72).

El tiempo de respuesta ha sido definido como el tiempo hasta que finaliza la respuesta motora tras la captación de un estímulo por los órganos sensoriales y se establece en etapas tempranas del procesamiento de la información (73).

Existen diferentes parámetros que pueden determinar la velocidad de una respuesta como la percepción, el procesamiento, la agilidad motora, la complejidad del estímulo, el órgano

sensorial estimulado, etc. El tiempo entre la percepción del estímulo y el inicio de la respuesta es definido como tiempo de reacción; posterior a este se da el inicio de la respuesta motora que al finalizar es conocida como tiempo de movimiento. La suma del tiempo de reacción y el tiempo de movimiento ha sido definido como el tiempo de respuesta (74), como lo muestra la figura 4-13.

**Figura 4-13:** Fraccionamiento del tiempo de respuesta (75)



El proceso de percepción visual como parte de las habilidades cognitivo-perceptuales, es fundamental para la práctica de un deporte, ya que cualquier respuesta motora es precedida por un procesamiento de dicha información. Este proceso es complejo y puede dividirse en tres etapas: la percepción, integración y respuesta motora. Este ciclo se materializa fundamentalmente como integración visuomotora, que se refiere a los cálculos dentro de múltiples niveles del sistema visual que proporcionan actualizaciones sensoriales en tiempo real a las regiones de planificación y ejecución de acciones en los lóbulos parietal y frontal, para guiar las decisiones sobre la acción. Estos procesos repercuten en aspectos cognitivos como la orientación espacial, la anticipación, el tiempo

de reacción, el tiempo de respuesta, la coordinación visomotora y el equilibrio estático y dinámico del deportista (59), los cuales pueden influir y repercutir en el rendimiento de la práctica deportiva; en la esgrima, esta serie de habilidades han demostrado tener gran influencia; ya que el rendimiento deportivo se divide en componentes cognitivos y aquellos que involucran técnica o habilidad(76), siendo los componentes cognitivos a los que menor relevancia se les da en el proceso de entrenamiento deportivo..

### **4.3 Experiencia**

El estudio de la experiencia tiene sus raíces históricas en la psicología convencional, en donde se examinó los complejos pensamientos y mecanismos que median la selección de movimientos de los jugadores de ajedrez de clase mundial. Con esta investigación se determinó que los artistas expertos pudieron percibir buenos movimientos de ajedrez muy rápidamente, en cuestión de segundos, y que estas percepciones fueron mediadas por su amplio conocimiento de configuraciones de juego significativas(33).

Un deportista experto puede definirse como un especialista en un deporte en particular que es capaz de alcanzar altos niveles de motricidad relacionada con el deporte practicado; por lo que su experiencia requiere la expresión de cualidades físicas relacionadas con fuerza muscular, potencia y movilidad segmentaria, aspectos bioenergéticos y bioinformativos como la toma de información, tiempo de reacción y precisión de la

respuesta, que se explotan hábilmente para lograr un control motor eficiente con el mínimo esfuerzo (77).

Gran parte del estudio del desempeño de expertos se basa en la teoría de la práctica deliberada, en donde la experiencia es el resultado de una práctica deliberada extensiva específica del dominio. Las teorías de la memoria experta proponen que la practica deliberada de una actividad especifica genera cambios en las estructuras de conocimiento cognitivo, las cuales dirigen la atención a las fuentes de información más relevantes, ignorando así la información irrelevante; facilitando una codificación, almacenamiento y recuperación de información más eficientes (71); esto explicaría por qué los deportistas expertos han mostrado mejor desempeño en habilidades perceptuales que pueden influir directamente en el rendimiento durante sus actividades deportivas.

Los expertos en muchas disciplinas deportivas han demostrado la capacidad de anticipar las acciones de su oponente. Uno de los mecanismos subyacentes de la ventaja experta es la capacidad de utilizar información visual temprana para asignar y utilizar esta información para guiar las respuestas anticipatorias. Aunque existe evidencia considerable de que percepción visual puede mejorarse con la práctica, esto no tiende a mejorar el rendimiento perceptual-motor (57), lo cual implicaría que las habilidades perceptivas por si solas no influyen en el rendimiento del deportista, sino que este también está influenciado por las habilidades técnicas propias de la disciplina (76).

La mayoría del deporte se realiza en un entorno dinámico y en constante cambio, en condiciones de estrés extremo, en la esgrima estas condiciones no son ajenas, por lo que su capacidad para responder ante estas demandas va a determinar su capacidad de éxito durante la competencia. Por lo tanto, el conocimiento de los factores que sustentan el desarrollo de la experticia en el deporte permiten facilitar el aprendizaje de los factores importantes que sustentan la práctica para mejorar el rendimiento y el aprendizaje en otros ámbitos (33).

## **4.4 Biomecánica**

La Biomecánica ha sido definida como la ciencia que estudia los fenómenos del movimiento humano, con ayuda de las leyes físicas; y que a lo largo de la historia, ha sufrido una acelerada evolución paralelo con el desarrollo científico y tecnológico (78).

Esta ciencia, estudia las diferentes áreas relacionadas en el movimiento humano, teniendo en cuenta el funcionamiento de los tejidos biológicos, cargas impuestas sobre los mismo y factores que influyen el rendimiento en deportistas como el desempeño en el gesto deportivo, con el objetivo de descubrir posibles fallas en la ejecución del mismo y permitir una mejora del desempeño atlético a través de la corrección y adaptación de la técnica deportiva para lograr una técnica más eficaz. Su quehacer se centra en la caracterización y optimización de las técnicas de movimiento, analizando las causas y fenómenos

asociados al movimiento , para obtener una mayor comprensión de la complejidad del movimiento (79).

Por lo tanto, la caracterización del gesto deportivo, es de gran importancia para los entrenadores, ya que ayuda al control y desarrollo de la planificación del entrenamiento, permitiendo realizar los ajustes que se requieren para mejorar la ejecución del gesto deportivo, incidiendo directamente en prevenir lesiones y potenciar las cadenas musculares que pueden verse alteradas durante la incorrecta ejecución del gesto (21).

El estudio de la biomecánica contempla dos vertientes conocidas como la cinética y la cinemática, siendo esta última la que se plantea medir en la presente investigación. La cinemática consiste en un conjunto de métodos que busca medir parámetros a partir de la adquisición de imágenes durante la ejecución del movimiento, que se concentra, fundamentalmente, en la descripción de los movimientos, independiente de las fuerzas que los produzcan (80).

La cinemática es la rama de la biomecánica que describe los movimientos sin tener en cuenta su causa, y está relacionada con los movimientos de tipo lineal o curvilíneo. El movimiento se define como la variación de posición que experimenta un cuerpo en el transcurso del tiempo con respecto a un marco de referencia considerado como fijo. En el estudio de la cinemática se estudian las siguientes variables: temporales: tiempo, frecuencia y período; espaciales: distancia, distancia angular y desplazamiento; y

espaciotemporales: velocidad y velocidad angular, rapidez y rapidez angular y aceleración(81).

- **Variables temporales** La unidad internacional básica de medida del tiempo es el segundo. Otras medidas mayores son el minuto, la hora, el día, la semana, el mes o el año. Medidas menores son las décimas de segundo, las centésimas o las milésimas de segundo.
- **Variables espaciales** Cuando un cuerpo experimenta una variación de posición en el espacio durante un determinado tiempo y con respecto a un punto de referencia considerado como fijo, se habla de que el cuerpo recorrió una distancia o que realizó un desplazamiento.
- **Las variables espaciotemporales** son las variables que no sólo tienen en cuenta la variación espacial que sufre un cuerpo con respecto al marco de referencia fijo, sino que además la relacionan con el tiempo empleado para dicho movimiento. Las variables espaciotemporales son por tanto la rapidez y la velocidad.

Estas variables permiten estudiar y describir como se está realizando el movimiento, con el objetivo de analizarlo y lograr una máxima eficiencia de este en términos de economía del esfuerzo, disminución de factores de riesgo, entre otros.

Además de esto, el estudio de la biomecánica puede realizarse de forma cuantitativa o cualitativa. En el análisis cuantitativo se hace estudio de variables como centro de gravedad, planimetría, determinación vectorial, sumatoria vectorial, análisis de fuerzas, aceleraciones etc., mientras que en el análisis cualitativo se determinan las fuerzas intervinientes en el gesto deportivo, las palancas, trabajo, diagramas de cuerpo libre, entre otros (82), contemplando los aspectos espaciotemporales del movimiento.

En la esgrima la mayoría de investigaciones realizadas, han utilizado sistemas de análisis de movimiento a partir de videos, utilizando análisis en 3D (83) (84), o análisis de video en 2D (18) (85), donde su principal objetivo es el estudio de la cinemática del gesto deportivo de la estocada, debido a que es el más utilizado en esta disciplina como se estableció en los antecedentes y marco teórico.

Sin embargo, para el análisis del gesto deportivo la biomecánica deportiva se han utilizado una serie de herramientas y técnicas de instrumentación para el análisis de distintas disciplinas deportivas, así como para el desarrollo de nuevos materiales y equipamiento deportivo. Dentro de estas se han utilizado cronoscopios, fotocélulas, plataformas de fuerza, electromiografía, entre otros (86), que han ido evolucionando y dando pasos a nuevas tecnologías que facilitan el análisis del gesto deportivo.

#### **4.4.1 Visión artificial**

Una de las herramientas que ha cobrado gran relevancia en el campo de la biomecánica es la visión artificial y el procesamiento de imágenes. Estas se han convertido en herramientas útiles en el análisis y el reconocimiento de movimientos a partir de sistemas basados en reconocimiento; involucrando procesos como la remoción de ruido, resaltado de características y eliminación de desenfoques en imágenes o videos. La visión artificial se realiza de forma similar al proceso de visión humana, siendo su insumo básico de entrada una imagen obtenida mediante una cámara, en donde la imagen corresponde al valor de una función bidimensional  $f(x, y)$  donde  $x$  y  $y$  son coordenadas espaciales, las cuales permiten detectar y estimar de la posición del cuerpo (87).

Cuando las posturas se estiman a lo largo del tiempo, generalmente se definen con el término análisis de movimiento humano. Estos sistemas de captura de movimiento basados en la visión intentan proporcionar una solución con respecto a otras metodologías utilizadas para el análisis biomecánico, las cuales requieren de marcadores electromagnéticos para identificar la imagen, a diferencia de los sistemas basados en visión artificial, que solo requieren la utilización cámaras como sensores (88).

Todo el cuerpo se rastrea como un solo objeto y es un paso del preprocesamiento para el análisis de movimiento humano (89). Dentro del dominio del análisis del movimiento humano, la investigación se divide en enfoques 2D y 3D. Para el enfoque de 2D se establecen tres categorías: análisis de estructura corporal, seguimiento y reconocimiento (88).

La mayoría de los sistemas de seguimiento basados en la visión asumen una estructura cinemática humanoide que comprende un número fijo de articulaciones con grados específicos de libertad (90), esto permite tener una alta aplicabilidad para la realización de perfiles biomecánicos, en donde se pueden obtener datos sobre variables cinemáticas de cada articulación.

El uso de estos sistemas para realizar análisis biomecánico, brinda al investigador una herramienta con gran accesibilidad debido a que los algoritmos por medio de los cuales se realiza el reconocimiento de movimiento son de libre acceso y representan mayor facilidad al no tener un sistema optoeléctrico para el registro de los mismos, ya que solo requiere de una entrada de video en dos dimensiones.

#### **4.4.2 Variabilidad del movimiento**

En biomecánica deportiva, teniendo en cuenta su objetivo de mejorar el rendimiento, se han realizado supuestos que se relacionan con los movimientos deportivos: que son y deben ser repetidos idénticamente, la existencia de un movimiento óptimo que pueda ser aplicado a todos los deportistas de esa especialidad, asumir que un intento del movimiento representa los otros intentos y la predominancia de un acercamiento determinístico (lineal) para establecer las variables del rendimiento que conllevan a un mejor rendimiento deportivo (81).

La variabilidad en el movimiento humano puede ser conceptualizada como las variaciones normales que ocurren en la ejecución motora a través de múltiples repeticiones de un gesto (Stergiou et al. 2004). Esta es inherente en todos los sistemas biológicos, en espacio y tiempo y puede ser fácilmente observada. La variación de un patrón de movimiento en un momento determinado puede ser considerada como la consecuencia de errores en la habilidad de predecir los parámetros necesarios para utilizar un programa motor y, con la práctica de tareas específicas, la predicción de errores puede ser eliminada gradualmente y de esta forma optimizar la precisión y eficiencia del patrón motor (81).

Inicialmente la variabilidad se consideraba como “ruido” en el sistema de procesamiento de la información. Button y Davids (1995) determinaron que el análisis de las tendencias de coordinación de cada deportista individualmente considerado puede revelar la especificidad de las limitaciones de la tarea (91) por lo que puede ser utilizado como un indicativo de rendimiento motor.

En el análisis del movimiento se ha utilizado la variabilidad de este como una medida indicativa de la disminución del error en su ejecución. Una de las características más comunes del movimiento humano es su variabilidad, que ocurren en el rendimiento motor a través de múltiples repeticiones de una tarea. La variabilidad del movimiento ha sido explicada además desde la Teoría de Sistemas Dinámicos que propone que los sistemas biológicos se autoorganizan de acuerdo con restricciones ambientales, biomecánicas y morfológicas para encontrar la solución más estable para producir un movimiento dado (92), esto implica que conforme disminuye la variabilidad del movimiento, se mejora el rendimiento en la ejecución de un gesto motor.

Sin embargo, se ha demostrado que incluso en expertos, los comportamientos de movimiento no se pueden replicar de una prueba a la siguiente con ningún grado de precisión, por lo que el ideal en la ejecución de un gesto motor es la disminución del error. (93). Por lo tanto, la variabilidad en el movimiento sugiere una relación entre la experiencia motora y el desempeño biomecánico en un gesto deportivo, que repercute directamente sobre el rendimiento del deportista.

En esgrima determinar la variabilidad del gesto deportivo sería un aspecto que nos permitiría determinar si el nivel de experiencia influye, teniendo en cuenta que las condiciones mismas del deporte en donde los participantes se ven expuestos a adaptarse a las condiciones en como se desarrolle el combate, y obtener la mayor eficiencia durante el gesto y si la variabilidad se relaciona más con la adaptabilidad o con errores en la repetición.

## **5. Marco metodológico**

### **5.1 Tipo de estudio**

La presente investigación se plantea como un estudio descriptivo transversal realizado con esgrimistas pertenecientes a la Federación Colombia de Esgrima, en el cual se busca caracterizar y determinar la relación entre las habilidades cognitivo-perceptuales, el nivel de experiencia y la modalidad deportiva (florete, espada y sable) de los deportistas.

### **5.2 Población**

Los participantes del estudio fueron deportistas practicantes de esgrima pertenecientes a la Federación Colombiana de esgrima, con diferentes niveles de experiencia y de diferentes modalidades deportivas (florete, sable y espada); que participen actualmente en competencias locales, regionales y nacionales. Para la clasificación de acuerdo con su nivel de experiencia se utilizaron dos tipos de clasificaciones de acuerdo con investigaciones previas, en las cuales se determinó el nivel de experticia de acuerdo a las horas de práctica deportiva. De esta forma, se consideraron como expertos aquellos con más de 10 años de práctica deportiva (72). Para clasificar a los esgrimistas novatos, se referenció un estudio realizado en esgrimistas de diferente nivel de competencia, en donde los novatos tienen un tiempo de práctica menor a dos años y medio (94); los demás deportistas fueron clasificados como intermedios. Participaron 23 esgrimistas (n=23), 13 hombres y 10 mujeres entre los 9 y 21 años, con diferentes niveles de experiencia. Los esgrimistas expertos (n=4) con una vida deportiva de 9,25 ( $\pm$  2,4) años, los esgrimistas intermedios (n=16) con 5,1 ( $\pm$  2,1) años y esgrimistas novatos (n=3) con 2 ( $\pm$  0) años.

### **5.3 Tamaño muestral**

Se selecciono la poblacion a partir de un muestreo no probabilístico a conveniencia, es decir, sin utilizar un criterio estadístico, incluyendo el total de los deportistas que respondieron a la convocatoria realizada por la Federación Colombiana de Esgrima, y que cumplieron con los criterios de inclusión de la misma.

## 5.4 Criterios de inclusión

- Firma de consentimiento informado por parte del deportista, de los padres o representante legal en caso de ser menor de edad y asentimiento por parte del deportista
- Hombres y mujeres entre los 8-25 años.
- Pertenecer a la Federación Colombiana de Esgrima
- Cumplir con los criterios establecidos de experticia para la clasificación propuesta en este estudio: Expertos, intermedios o novatos
- Haber competido en clasificatorios, competencias locales, regionales o nacionales
- Esgrimistas de lateralidad izquierda y derecha.

## 5.5 Criterios de exclusión

- Presentar lesión aguda musculoesqueléticas de miembros inferiores o que impida la participación en alguno de los programas (fracturas, esguinces, desgarros).
- Enfermedades visuales no corregidas con cirugía, gafas, lentes, etc.

## 5.6 Operacionalización de variables

En esta investigación se tuvieron en cuenta como variables independientes la modalidad deportiva, experiencia deportiva; como variables dependientes están las relacionadas con las habilidades cognitivo-perceptuales, de las cuales se midieron las fijaciones visuales, el tiempo de anticipación y tiempo de respuesta; y las variables biomecánicas de velocidad angular y variabilidad del movimiento. Finalmente se determinaron las variables intervinientes entre las cuales está la edad, la lateralidad y el sexo como se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 5-1** Operacionalización de variables (elaboración propia)

<b>VARIABLE</b>	<b>TIPO DE VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>INDICADOR Y ESCALA DE MEDICIÓN</b>	<b>TIPO DE ESCALA</b>
-----------------	-------------------------	-------------------	---------------------------------------	-----------------------

<b>Experiencia deportiva</b>	Independiente	Forma de conocimiento o habilidad derivados de la observación, de la práctica y competencia. Se adquiere durante el tiempo de práctica de la disciplina deportiva.	Años de práctica deportiva: Novato: < 2 años Intermedio: 3-9 años Experto: > 10 años	Nominal dicotómica
<b>Modalidad deportiva</b>	Independiente	División en el deporte en función al arma que se utilice.	Florete Espada Sable	Nominal

<b>Fijaciones visuales</b>	Dependiente	Movimiento ocular en donde se mantiene la mirada en un solo lugar que tiene mayor relevancia que los otros elementos del entorno visual.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zonas de interés</li><li>• Porcentaje de fijación en la zona</li><li>• Variabilidad eje X (0-1)</li><li>• Variabilidad eje Y (0-1)</li></ul>	Continua
--------------------------------	-------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

<b>Tiempo de anticipación</b>	Dependiente	Tiempo en el que se predicen comportamientos futuros relativos a la percepción de trayectorias, así como la sincronización con el movimiento para considerarlos en un momento espaciotemporal.	Milisegundos	Continua
-------------------------------	-------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------	----------

<b>Tiempo de respuesta</b>	Dependiente	El tiempo entre la percepción del estímulo y finalización de la respuesta motora.	Milisegundos	Continua
<b>Velocidad Angular</b>	Dependiente	Ángulo girado en una articulación por una unidad de tiempo	°/s	Continua
<b>Variabilidad del ROM</b>	Dependiente	Medida estadística que nos informa acerca de la dispersión relativa de los rangos de movimiento de cada articulación.	No aplica Valores (0-1)	Continua

<b>Edad</b>	Interviniente	Tiempo que ha vivido una persona u otro ser vivo contando desde su nacimiento.	Número de años	Continua
<b>Lateralidad</b>	Interviniente	Inclinación sistematizada a utilizar más una de las dos partes simétricas del cuerpo y uno de los órganos pares.	Izquierda Derecha	Nominal

<b>Sexo</b>	Interviniente	Conjunto de las peculiaridades que caracterizan los individuos de una especie dividiéndolos en masculinos y femeninos, y hacen posible una reproducción.	Masculino Femenino	Nominal
-------------	---------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------

Fuente; elaboración propia

## 5.7 Consideraciones éticas

Este proyecto de investigación fue sometido y aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá bajo el acta No. 003-031 de 2020. Esta investigación se acogió al principio ético de beneficencia para la investigación, por lo cual, se tuvieron en cuenta los riesgos e implicaciones para este tipo de estudio, estableciendo la vulnerabilidad a la cual fueron expuestos los participantes.

Según la resolución No. 8430 de 1993 del Ministerio de Salud en su artículo 11 numeral b, se define este tipo de estudio como una investigación de riesgo mínimo, puesto que cumple con los requerimientos allí expuestos.

“Investigación con riesgo mínimo: Son estudios prospectivos que emplean el registro de datos a través de procedimientos comunes consistentes en: exámenes físicos o psicológicos de diagnóstico o tratamientos rutinarios, entre los que se consideran: pesar al sujeto, electrocardiogramas...ejercicio moderado en voluntarios sanos, pruebas psicológicas a grupos o individuos en los que no se manipulará la conducta del sujeto...”

### **5.7.1 Consentimiento y asentimiento informados**

Dando cumplimiento al artículo 14 y 15, del título II, capítulo I de la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud, previo al inicio de cualquier intervención, se obtuvo el consentimiento informado por parte de los participantes (anexo A). Además de esto se dio cumplimiento a lo estipulado en el título II, capítulo III, artículos 23-28 en donde se establecen además del consentimiento informado por parte del tutor o del representante legal (anexo B), un asentimiento informado por parte del participante (anexo C), y realizar una intervención que represente beneficios para los mismos. En estos documentos se certificó que los sujetos participantes fueron informados de los objetivos, procedimientos, indicaciones, contraindicaciones y riesgos derivados de la realización del estudio. Así mismo quedó establecido que ellos decidieron bajo su voluntad la participación dentro de la investigación y que podían retirarse sin ninguna consecuencia. Se garantizó la confidencialidad y el buen manejo de los datos obtenidos en la investigación. En el

desarrollo de la investigación se realizó el registro de los datos y se ejecutó estrictamente lo establecido en los protocolos de intervención.

## **5.8 Procedimientos del estudio**

Las habilidades cognitivas-perceptivas en el deporte se han estudiado tradicionalmente a través del enfoque de rendimiento experto utilizando la estimulación relacionada con el deporte. Por lo que se propone que los deportistas se enfrentan a estímulos visuales derivados del dominio deportivo y se les pide que reconozcan los patrones del juego o que anticipen la dirección de los golpes (35). Por lo tanto, con el fin de evaluar las habilidades cognitivo-perceptuales se han propuesto una serie de evaluaciones que se asemejan a las actividades relacionadas a la esgrima. El protocolo de evaluación se encuentra como anexo D.

### **5.8.1 Fijaciones oculares**

Para determinar el registro de la visión y movimientos oculares se han empleado sistemas de reflexión corneal basados en video para medir el punto de vista del perceptor en contextos deportivos. Estos sistemas funcionan al vincular información del reflejo corneal y la pupila, obtenida a través de una fuente de luz infrarroja y una cámara enfocada en el

ojo, con una imagen de la escena de interés, proporcionada por una cámara montada en la cabeza. Aunque se pueden medir diferentes tipos de movimientos oculares, esta investigación al igual que muchas otras se centra en las fijaciones oculares. La ubicación de cada fijación se relaciona con un área de interés, mientras que el número y la duración de las fijaciones proporciona un índice de la cantidad de información procesada por el ejecutante(33).

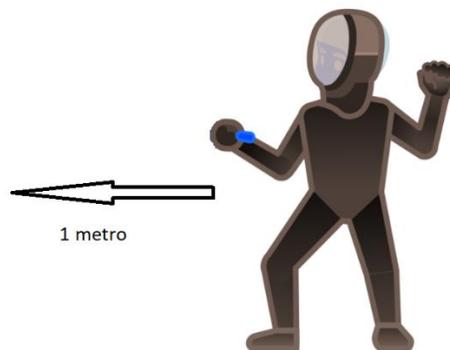
Para realizar la medición de las fijaciones visuales se utilizó el equipo Tobii Glasses eye tracker (Figura 4-1), durante tres pruebas: combate uno a uno, pruebas de anticipación y tiempo de reacción. Se colocaron las gafas al deportista para realizar un combate uno a uno durante un minuto, tiempo suficiente para lograr el registro de los movimientos oculares, de acuerdo con un protocolo propuesto en una investigación anterior (13).

**Figura 5-1:** Equipo Tobii Glasses eye tracker (95).



Previo al inicio de las pruebas, se les explicó a los deportistas que el objetivo del uso de las gafas era examinar los movimientos oculares durante toda la medición, incluyendo las pruebas de anticipación y tiempos de respuesta. Una vez realizado esto se procedió a colocar el equipo, el cual fue manipulado únicamente por el evaluador, quien previamente recibió una capacitación sobre el uso del mismo. Para iniciar la calibración se ubicaba al deportista frente a una pared blanca a una distancia de un metro, con el fin de registrar el campo visual que va a registrar el eye tracker Figura 5-2.

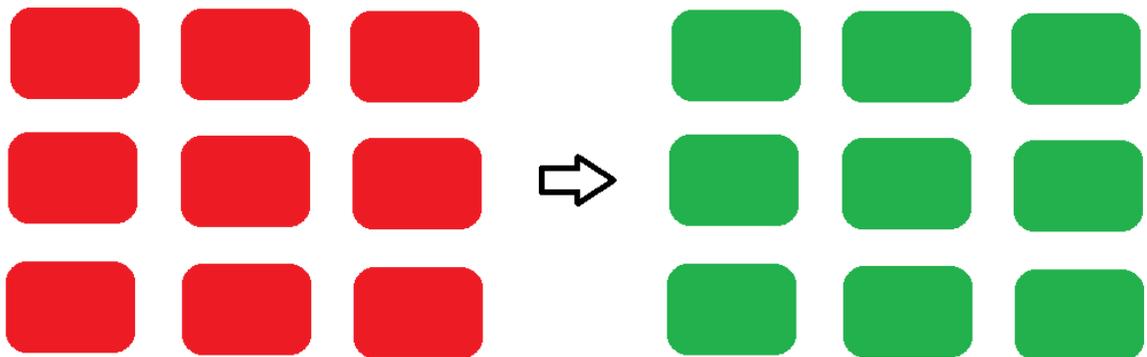
**Figura 5-2:** Proceso de calibración del Tobbi eye tracker (Elaboración propia)



Una vez ubicado a un metro de la pared con el equipo puesto se le explicaba que para calibrar al equipo debía seguir únicamente con la mirada, manteniendo la cabeza quieta y con los ojos lo más abiertos posibles, un sensor que se iba a ir desplazando por la pared,

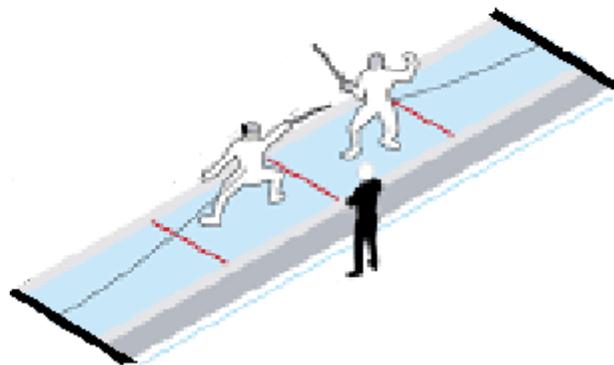
con el fin de ubicar 9 puntos que indicaba el equipo, relacionados con el campo visual que iba a ser registrado durante la prueba. Para saber que el proceso de calibración se había realizado de manera adecuada, el equipo contaba con un mecanismo de cuadros eficiente, que se encontraban en rojo en la pantalla y debían ser convertidos a verde cuando el movimiento del ojo indicara que había logrado llegar a esa posición. El objetivo de la calibración es que se detecte la pupila en relación al campo visual y el sensor al que realiza seguimiento es un infrarrojo que la detecta, lo ideal es que el sensor registre la pupila en cada una de esas 9 ubicaciones y para que el proceso sea eficiente, debe tener 8 a 9 /9, de lo contrario, no se registrará la pupila de manera adecuada.

**Figura 5-3:** Procedimiento de seguimiento para calibrar el equipo (elaboración propia)



Una vez completado el proceso de calibración del equipo, se creaba una sesión en el dispositivo donde se realizaba la grabación de las pruebas, registrándolas con número de sesión para cada participante, con el fin de facilitar y sistematizar el proceso de datos y análisis de los resultados. Las pruebas iniciaban con un combate uno a uno durante un minuto en el que los participantes se ubicaban frente a frente, simulando un combate en un espacio de 4.5 metros como se muestra en la figura 5-4.

**Figura 5-4:** Montaje del combate para la prueba de tracking visual (elaboración propia)



El evaluador estaba ubicado a un costado para indicarles el inicio del combate y la finalización del tiempo estimado con una duración de un minuto. Una vez finalizado el combate, se guardaba la sesión grabada en un dispositivo SD. Una vez realizada esta

prueba, el esgrimista continuaba con las pruebas de anticipación y tiempo de respuesta, aun con las gafas puestas.

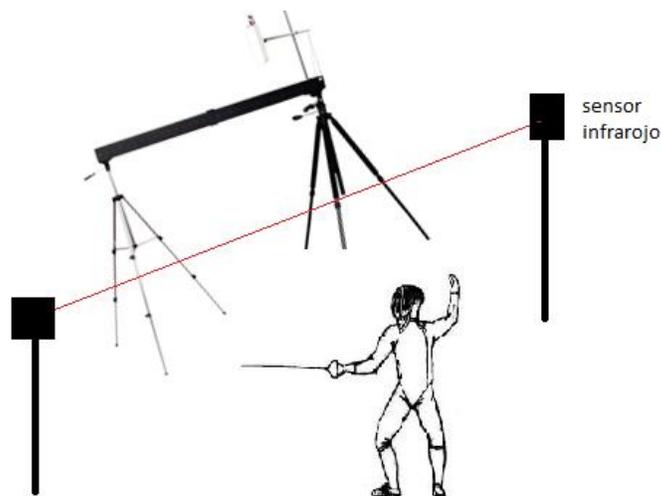
### **5.8.2 Anticipación**

Para la prueba de anticipación se utilizó el equipo Lafayette Bassin Anticipator Timer. Este aparato simula un estímulo en movimiento al tener una serie de luces encendidas secuencialmente en una pista, adicionalmente cuenta con un sistema de luz infrarroja que es el que detecta el movimiento realizado según la tarea. Se diseñó una prueba en la que el esgrimista debía anticipar la luz del bombillo, realizando una estocada para cortar con su arma el haz de luz infrarroja ubicado frente al equipo, debía anticipar el momento en el que se encendía la novena luz de la pista de luces del. Un temporizador digital indicó la cantidad de milisegundos en los que realizó el corte y si este fue de forma temprana o tardía, marcándolo como válido o fuera de tiempo. La prueba se estructuró creando 3 bloques de 10 repeticiones con el objetivo de disminuir el error absoluto (96), de acuerdo a protocolos utilizados anteriormente. Asimismo, se establecieron realizar estímulos a 3 velocidades diferentes 8, 10 y 12 Mph (97)(98). En la figura 5-5 se muestra el montaje del equipo y a su lado una de las secuencias de luz utilizadas, y en la figura 5-6 se visualiza el montaje utilizado para realizar la prueba.

**Figura 5-5:** Lafayette Bassin Anticipator Timer (99)



**Figura 5-6:** Montaje para la prueba de anticipación y tiempo de respuesta. (elaboración propia)



En esta prueba se colocó un indicador en el bombillo de la mitad; posteriormente, se les explicó a los deportistas que una secuencia de luces iba a pasar muy rápidamente, y que el objetivo de la prueba era realizar una estocada que cortara el haz de luz infrarroja de

modo que coincidiera en el momento en el que el bombillo señalado se iluminara. Una vez ubicado frente al equipo a una distancia de 2 metros, el equipo encendía una luz amarilla que le indicaba al esgrimista que la prueba estaba a punto de empezar, y el deportista estaba preparado para realizar la prueba. Al finalizar cada repetición se le indicaba al deportista, por medio de un comando verbal, que se iba a iniciar con otra repetición. Durante toda la prueba el esgrimista debía utilizar el equipo Tobi Glasses Eye Tracker.

### **5.8.3 Tiempo de respuesta**

Para la medición del tiempo de respuesta se utilizó el equipo Lafayette Bassin Anticipator Timer (figura 4-2). Se utilizó el mismo montaje utilizado para la prueba de anticipación ilustrado en la figura 4-6. Sin embargo, el objetivo de la prueba era realizar la estocada para cortar el haz de luz infrarroja tan pronto se encendiera una de las luces rojas de señalización que se encontraba en algún punto de la pista de luz. Al igual que en la prueba anterior, una luz amarilla se encendía para indicarle al esgrimista que la prueba estaba a punto de iniciar. Al igual que en la prueba de anticipación se utilizaron estímulos a diferentes velocidades de acuerdo a protocolos previos (97)(98).

#### **5.8.4 Análisis biomecánico**

La elaboración y análisis de perfiles de distintas habilidades de movimiento han sido un esfuerzo rutinario en biomecánica (33). En la presente investigación se realiza la descripción de los rangos de movimiento y velocidades angulares del gesto más común en la esgrima, la estocada; sin embargo no se realizó un análisis biomecánico completo. Para grabar los esgrimistas se utilizó una videocámara (Sony Hdr-cx405 Handycam Exmor R Cmos Zeiss® 30x) grabando a 60 cuadros por segundo, en vista lateral, mientras los esgrimistas realizaban la prueba de anticipación y de tiempo de respuesta, con el fin de tener una cantidad suficiente de imágenes de cada participante y poder comparar la variabilidad del gesto. La cámara estaba fija sobre un trípode, y realizaba una grabación en simultánea durante toda la prueba de velocidad de reacción y de anticipación con una duración promedio de 8 minutos. Se hizo el registro de múltiples repeticiones del gesto deportivo con el fin de extraer una muestra de 30 segundos para analizar la variabilidad del movimiento. El número de la grabación fue anotado en un formato, con la hora de la evaluación, con el fin de evitar confusiones en el análisis de los videos.

**Figura 5-7:** Imagen de grabación de video desde vista lateral (tomado de grabación de la prueba)



## 6. Extracción y recolección de datos

Para la recolección de los datos se realizó un registro de datos personales y de historia clínica cuando el participante ingresaba al laboratorio (anexo E). Para fines de sistematización de los datos de cada sujeto se le asignaba un número de acuerdo con el orden de llegada para que la identificación de los participantes en todas las pruebas tuviera la misma codificación y así evitar confusiones en el análisis de datos. Para realizar las pruebas de anticipación y de tiempo de respuesta se utilizó en equipo Lafayette Instrument Modified Bassin Anticipation Timer (Modelo 35580), que para la creación de las secuencias y recolección de los datos utilizaba el software Psymsofts II versión 2.05. El registro de los datos se realizó de forma individual ingresando nombre y apellido del participante, y se guardaban de forma individual al culminar la prueba.

Simultáneamente con el registro de las pruebas de anticipación y de tiempo de respuesta se realizó la grabación del gesto deportivo (estocada) utilizando la videocámara Sony Hdr-cx405 Handycam Exmor R Cmos Zeiss® 30x. Para la captura del mismo se utilizó un plano abierto, de modo que se tuviera toda la imagen del cuerpo. Los videos fueron descargados en formato mp4; y fueron nombrados con la letra P acompañada del número asignado, (P1, P2, etc.); para su posterior análisis. A partir del video en 2D se realizaba la detección

automática de la posición y del movimiento de los diferentes segmentos corporales, utilizando un algoritmo de visión artificial llamado red neuronal convolucional utilizando Google Colaboratory; en donde por medio de Matlab, por trigonometría se realiza una reconstrucción de las articulaciones (codo, hombro, cadera, rodilla e inclinación de tronco) para obtener ángulos, velocidad angular y coeficiente de variación del movimiento de cada uno.

Para la extracción de los datos de registro de los movimientos oculares se utilizó el software de visualización del propio equipo Tobii Studio, cada sesión era anotada en un formato con el nombre del participante y el número asignado a cada uno. De cada video se extrajeron los segmentos del combate de acuerdo con las zonas de interés, y para cada video se delimitó el inicio y la finalización del mismo para su extracción. Se nombraron con la letra C acompañada del número asignado a cada participante (C1, C2, etc.), los videos se descargaron y se convirtieron en formato Mp4. Para su posterior análisis se utilizaron sistemas de reconocimiento de movimiento, que permitieron determinar la zona de cada una de las fijaciones realizadas, ubicándolas en el plano cartesiano. Esto se logró por medio del cruce de información de los datos extraídos del programa Tobii studio (datos de las fijaciones en el eje X y Y) y los videos de los combates registrados por las gafas. Con los videos de combate se realizó una detección automática de las zonas de interés en el cuerpo del contrincante realizada en Matlab, a partir de procesamiento de imágenes, en donde se superpone la imagen de las zonas de interés con las coordenadas de las fijaciones obtenidas en Tobii studio. Finalmente, el dato obtenido para esta variable fue el cálculo de los porcentajes de las fijaciones en cada una de las áreas de interés determinadas para la esgrima (cabeza, tronco, miembros superiores e inferiores). Asimismo, se calculó el coeficiente de variación del movimiento ocular dividiendo la

desviación estándar de la señal sobre la media de los datos obtenidos en el Tobii studio con el fin de determinar la variación del movimiento ocular en función del seguimiento visual con respecto a los movimientos de su contrincante

## **7. Análisis estadístico**

Para el análisis de los datos de tiempo de respuesta se realizó un promedio entre las velocidades de las diferentes secuencias de acuerdo con el número de mediciones realizadas, asimismo se extrajeron los datos para su posterior análisis.

Inicialmente se realizó un análisis descriptivo de las características sociodemográficas de la población. Para el análisis estadístico se realizó un análisis diferenciado para variables cuantitativas y cualitativas. Para las variables cuantitativas se presentaron en forma de medianas y rangos intercuartílicos; para las medidas correlacionales se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas como: prueba Chi cuadrado para explorar la correlación entre variables cualitativas, y la prueba de rangos de Wilcoxon para determinar la correlación de las variables cuantitativa; en donde se tuvo en cuenta un valor de  $p$  menor a 0.05 como estadísticamente significativo.

## **8. Resultados**

A continuación, se describirán los resultados de la investigación. En primer lugar, se presentará la caracterización de la población, y posteriormente se describirán los datos obtenidos frente a las diferentes variables de anticipación, tiempo de respuesta, fijaciones y análisis biomecánico de acuerdo con el nivel de experiencia y la modalidad deportiva de los esgrimistas.

### **8.1 Caracterización de la población (datos sociodemográficos)**

Dentro de la investigación participaron 23 esgrimistas de diferentes modalidades (sable, espada y florete), con diferentes niveles de experiencia entre uno y once años de práctica.

**Tabla 8-1:** Caracterización de la población

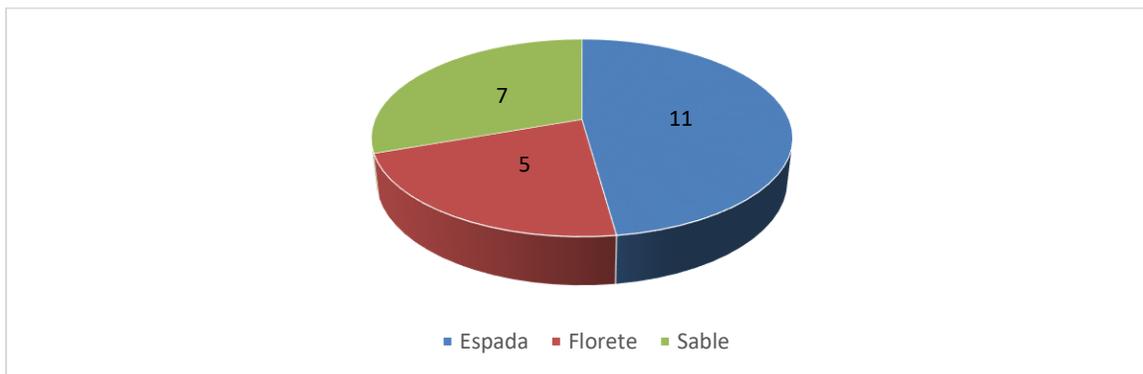
	<b>Numero de participantes</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Promedio ± DE</b>
<b>Edad</b>	23	NA	16.43 ± 2.9
<b>Genero</b>			
M – F	13 - 10	56.5 - 43.5	NA
<b>Estrato</b>			
3 – 4 - 5	7 -	30.4 – 43.5 – 26.1	NA
<b>Dominancia</b>			
Der- Izq	22 - 1	95.6 – 4.4	NA
<b>Años experiencia deportiva</b>	23	NA	5.34 ± 2.9
<b>Logros deportivos</b>			
Si – No	23 - 0	100 - 0	NA
<b>Antecedente lesión</b>			
Si- No	16 - 7	69.6 – 30.4	NA

Fuente: Datos de la investigación

En la tabla 8-1 se puede observar la caracterización de la población, en donde los participantes tuvieron una edad promedio de 16.43 +/- 2.9, con una edad mínima de 9 años y una edad máxima de 21 años. De los 23 participantes un 56.5% eran hombres y un 43.5% eran mujeres. Con respecto al estrato socioeconómico se encuentra una distribución entre los estratos 3, 4 y 5 de 30.4%, 43.5% y 26.1% respectivamente; lo que evidencia que los practicantes de esta disciplina deben tener unos recursos medios que les permitan comprar los implementos de protección para entrenamiento y práctica; en la

dominancia el 95.5% eran de dominancia derecha y el restante de la población de dominancia izquierda, no se reportaron participantes ambidiestros. De los años de experiencia deportiva que permitieron clasificarlos en novatos intermedios y expertos, se encontró un promedio de 5.34 +/- 2.9 años de experiencia. Todos los participantes tuvieron algún logro deportivo en competencias locales, regionales y nacionales.

**Gráfica 8-1:** Frecuencia absoluta de los esgrimistas por modalidad deportiva

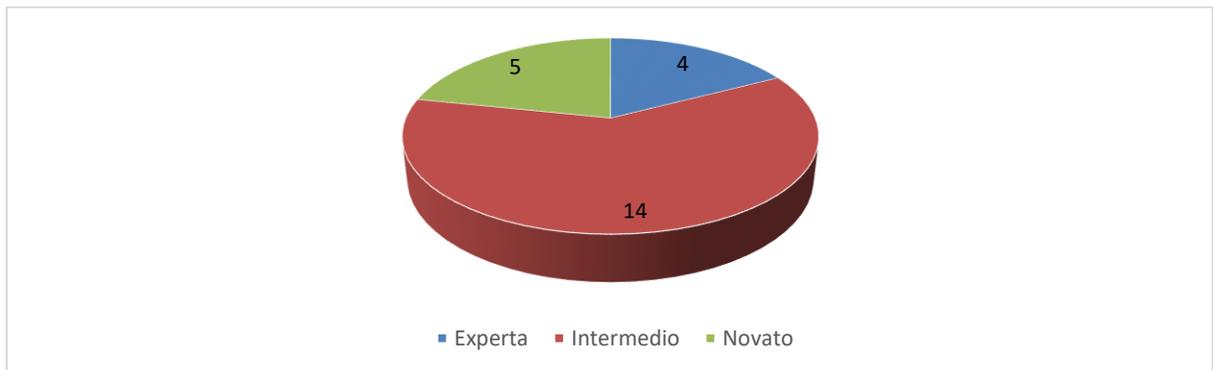


Fuente: Datos de la investigación

En la gráfica 8-1 se puede evidenciar la distribución de los esgrimistas de acuerdo con su modalidad deportiva, la cual representaba un 48% para espada, un 22% para los de florete

y un 30% los de sable; lo que nos muestra que la población participante se concentra en la modalidad de espada; estos datos coinciden con las participaciones de la delegación colombiana en competencias internacionales durante los últimos años, en donde la mayor participación se da en la modalidad de espada (100).

**Gráfica 8-2:** Frecuencia absoluta de los esgrimistas por nivel de experiencia

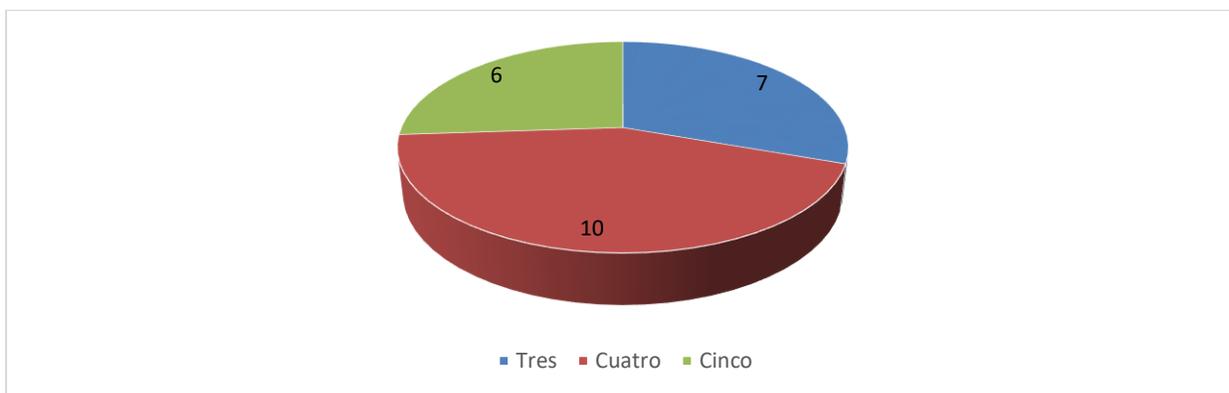


Fuente: Datos de la investigación

Por otro lado, en la gráfica 8-2 se aprecia la distribución de los esgrimistas de acuerdo con su nivel de experiencia, clasificados en experto intermedio y novato con un porcentaje de 17%, 61% y 22% respectivamente; de lo cual se determina que la mayor parte de la población se concentraba en el grupo de espadistas de nivel intermedio. Esta distribución nos muestra que en el nivel intermedio se concentran gran parte de la población; que de acuerdo con los niveles de la iniciación deportiva y la edad media de los participantes de

esta investigación, muestra que es hacia la edad de los 16 años en donde se alcanza un nivel de experiencia y de formación físico-técnica que le permita competir (101).

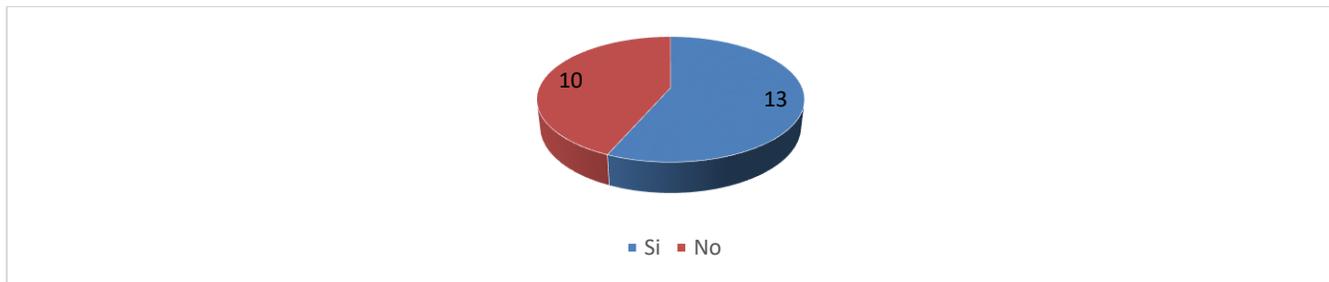
**Gráfica 8-3:** Frecuencia absoluta del estrato socioeconómico de los esgrimistas



Fuente: Datos de la investigación

En la gráfica 8-3 se muestra la distribución del estrato socioeconómico en el cual habitan los esgrimistas, los cuales abarcan desde el estrato tres hasta el estrato cinco. El 30.4% de los esgrimistas habitan en estrato 3, un 43.5% en estrato 4 y 26.1% en estrato 5; lo que representa que dos terceras partes de la población total se encuentran en estrato medio y medio alto.

**Gráfica 8-4:** Frecuencia absoluta de antecedente de lesión en los esgrimistas



Fuente: Datos de la investigación

Otro de los elementos que se tuvo en cuenta para caracterizar a la población fueron los antecedentes de lesión de los deportistas, en la gráfica 8-4 se ilustra la distribución de los deportistas que han sufrido lesiones como consecuencia de su práctica deportiva y los que no. Un 56,2% de los esgrimistas han sufrido una lesión, mientras el 43,7% no han sufrido una lesión.

**Gráfica 8-5:** Frecuencia absoluta de dominancia de los esgrimistas



Fuente: Datos de la investigación

Con respecto a la dominancia de los esgrimistas el 95,7% son de dominancia derecha, mientras que el restante es de dominancia izquierda; sin tener ningún esgrimista que fuera ambidiestro. En la gráfica 8-5 se observa la distribución de los esgrimistas de acuerdo con su dominancia.

## 8.2 Análisis por modalidad

A continuación, se muestra el análisis de las variables de fijaciones oculares, anticipación, tiempo de respuesta y análisis biomecánico analizado desde los grados de libertad y

velocidad angular de las articulaciones de rodilla, cadera, tronco, hombro y codo; además de sus respectivos coeficientes de variación; de acuerdo a la modalidad de los esgrimistas participantes.

### 8.2.1 Fijaciones oculares

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante la prueba de percepción visual y el análisis por modalidad deportiva.

**Tabla 8-2:** Rango intercuartílico de las fijaciones oculares por modalidad

	<i>ESPADA</i>	<i>FLORETE</i>	<i>SABLE</i>
	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)
<b>Cabeza*</b>	4.37 (1.52-11.55)	4.57 (3.92-7.96)	45.22 (16.33-80.56)
<b>Tronco MMSS*</b>	72.95 (58.44-86.54)	74.5 (67.03-80.07)	36.55 (5.66-63.33)
<b>MMII*</b>	2.09 (0.25-14.15)	0.89 (0.13-6.89)	0.21 (0.11-0.77)
<b>Fuera AOI</b>	13.62 (4.66-24.44)	17.34 (13.3-20.7)	14.88 (11.3-17.4)
<b>COE VAR X</b>	0.05 (0.04-0.08)	0.06 (0.06-0.08)	0.06 (0.05-0.08)
<b>COE VAR Y</b>	0.17 (0.12-0.193)	0.15 (0.14-0.17)	0.17 (0.13-0.18)

MMSS: miembros superiores, MMII: miembros inferiores, AOI: área de interés, COE VAR: coeficiente de variación, \* valor  $p < 0.05$

Fuente: Datos de la investigación

Con respecto a las fijaciones oculares de acuerdo a la modalidad deportiva de los esgrimistas, se puede evidenciar en la tabla 8-2 que, los porcentajes de fijaciones oculares en cada una de las zonas de interés coinciden en gran medida con las zonas de puntuación de su respectiva modalidad, por lo que cada una de las zonas muestra diferencias estadísticamente significativas con respecto a la modalidad al tener un valor  $P < 0.05$ . Las diferencias en los porcentajes de las zonas de interés se deben a las diferencias en las zonas de puntuación de cada una de las modalidades como se mostró en el marco teórico. Sin embargo, cabe destacar la similitud de los porcentajes de fijaciones en la cabeza de las modalidades de espada y florete; debido a que la cabeza no hace parte de las zonas de puntuación en el florete. Por otro lado en el sable tienden a fijar más la mirada en la cabeza que en el tronco, siendo ambas zonas de puntuación válidas para esta modalidad pero la superficie de contacto es menor debido al área del segmento corporal.

No obstante, se evidencia el significativo porcentaje de fijaciones oculares que no están destinadas a identificar las zonas de interés en su contrincante, lo que deja el interrogante de qué otros elementos ambientales son importantes durante el proceso de percepción de los esgrimistas mientras se realiza un combate.

Los valores de coeficiente de variación de las fijaciones son relativamente bajos, tanto en el eje X como en el eje Y, por lo que no se evidencian diferencias significativas respecto a la variabilidad de los movimientos oculares en el eje X y Y de acuerdo con las diferentes modalidades de espada, florete y sable.

## 8.2.2 Anticipación y tiempo de respuesta

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de anticipación y tiempo de respuesta en el análisis por modalidad deportiva.

**Tabla 8-3:** Rango intercuartílico de la anticipación y tiempo de respuesta por modalidad

	<i>ESPADA</i>	<i>FLORETE</i>	<i>SABLE</i>
	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)
<b>Anticipación 8 mph *</b>	20 (5-27.5)	55.25 (-5 - 91.25)	82.5 (67-146)
<b>Anticipación 10 mph</b>	46.5 (22.5-93)	17.5 (-12.5 - 80.5)	18 (9.5-119)
<b>Anticipación 12 mph</b>	60.5 (-3.5 - 76.5)	17.75 (-21.25 - 83.75)	56.5 (42-84)
<b>Tiempo respuesta (10 mph)</b>	323 (301-373)	265.75 (249-315)	353.5 (325.5-377)

Mph: millas por hora, \* valor  $p < 0.05$

Fuente: Datos de la investigación

En la tabla 8-3 se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con la modalidad de los esgrimistas, evidenciando que solo se encontraron diferencias significativas en la prueba de anticipación en la secuencia de velocidad de 8 mph, los otros estímulos de anticipación y de tiempo de respuesta no

mostraron tener diferencias significativas en las diferentes modalidades, siendo los espadistas quienes mostraron un mejor desempeño en la prueba de anticipación de 8 millas por hora, seguidos de los de florete y sable. Para la prueba de anticipación fueron los floretistas y sablistas quienes mostraron menor tiempo en la secuencia de 10 millas de anticipación con respecto a los espadistas. En la secuencia de 12 millas por hora los resultados mostraron menor tiempo de anticipación de los floretistas, respecto a los sablistas y espadistas quienes mostraron tiempos similares. En la prueba de tiempo de respuesta los floretistas mostraron un menor tiempo de respuesta que los sablistas y espadistas. En términos generales los floretistas mostraron un mejor desempeño con respecto a la prueba de anticipación a diferentes estímulos de velocidad y tiempo de respuesta ya que tuvieron menores tiempos de anticipación en las pruebas con un estímulo de velocidad mayor, por lo que se muestra que los espadistas mostraron un mejor desempeño cuando el estímulo de velocidad fue bajo.

### 8.2.3 Análisis biomecánico

**Tabla 8-4:** Rango intercuartílico de velocidades angulares y grados de libertad por articulación según modalidad.

---

*ESPADA*

*FLORETE*

*SABLE*

---

	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
<b>MAX EXT RODILLA</b>	157.14 (134.48 - 178.02)	120.31 (98.94-157.88)	153.915(140.03-174.05)
<b>VEL ANG RODILLA</b>	4.25 (1.99-8.19)	3.785 2.03-5.12)	3.15 (1.95-7.41)
<b>MAX FLEX CADERA</b>	60.32 (37.52-74.45)	72.01(54.54-89.14)	61.84(33.82-71.17)
<b>VEL ANG CADERA</b>	1.58 (1.27-4.27)	1.56 (0.801-1.945)	1.93(1.04-3.49)
<b>MAX EXT CODO</b>	164.57 (139.73-173.79)	179.60 (178.425-179.81)	174.31 (164.95-179.82)
<b>VEL ANG CODO</b>	5.33 (1.78-16.44)	5.945(4.365-37.125)	6.14(3.84-7.471)
<b>MAX FLEX HOMBRO</b>	34.32 (16.45-89.72)	87.42(79.215-89.29)	40.32(32.38-65.22)
<b>VEL ANG HOMBRO</b>	2.64 (0.93-9.48)	4.22(3.83-4.75)	2.94(1.69-4.404333)
<b>INCLINACION TRONCO</b>	16.93 (7.87-46.4)	16.475(11.865-16.74)	11.25(4.08-19.52)
<b>VEL ANG TRONCO</b>	1.24 (0.49-5.65)	0.88(0.705-1.13)	0.92(0.25-2.18)

MAX EXT: Máxima extensión, MAX FLEX: Máxima flexión, VEL ANG: Velocidad angular

Fuente: Datos de la investigación

Respecto al desempeño en el gesto de estocada, la tabla 8-4 muestra que no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las tres modalidades en los grados de libertad de cada una de las articulaciones ni en las velocidades angulares de los movimientos del gesto; sin embargo, la modalidad de florete muestra una mayor

variabilidad en los rangos máximos de movimiento frente al sable y espada; las cuales muestran mayor similitud en la ejecución del gesto deportivo. Por otro lado, los resultados de velocidad angular no muestran un patrón de similitud, ni otro en donde una modalidad tenga mayor o menor velocidad angular todos los movimientos, por lo que no se podría establecer un patrón de velocidad angular de acuerdo con la modalidad de los deportistas.

**Tabla 8-5:** Rango intercuartílico del coeficiente de variación articular por modalidad

	<i>ESPADA</i>	<i>FLORETE</i>	<i>SABLE</i>
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
<b>CV rodilla</b>	0.04 (0.015-0.06)	0.05(0.035-0.075)	0.045(0.02-0.08)
<b>CV cadera</b>	0.13 (0.03-0.17)	0.03(0.015-0.055)	0.09(0.06-0.18)
<b>CV codo</b>	0.07 (0.03-0.14)	0.115(0.085-0.16)	0.07(0.05-0.13)
<b>CV hombro</b>	0.26 (0.13-0.87)	0.42(0.335-0.63)	0.315(0.2-0.42)
<b>CV tronco</b>	0.52 (0.37-0.83)	0.94(0.59-1.085)	0.53(0.4-0.81)
<b>CORREL MMSS</b>	0.94 (0.59-0.98)	0.66(-0.18-0.82)	0.675(0.56-0.83)

CV: coeficiente de variación CORREL MMSS: Correlación miembros superiores

Fuente: Datos de la investigación

En concordancia con lo anterior la tabla 8-5 muestra que el coeficiente de variación respecto a los diferentes segmentos articulares no presenta diferencias estadísticamente significativas entre modalidad. Sin embargo, la articulación que menor coeficiente de

variación tiene es la rodilla y el tronco el que mayor coeficiente de variación muestra con respecto a la ejecución del gesto de estocada. Por otro lado, la modalidad que presenta mayor variación en el movimiento de las articulaciones evaluadas es el florete, seguida del sable y de la espada. La modalidad que tuvo un mayor coeficiente de correlación de miembros superiores (entre hombro y codo) es la espada, mientras que florete y sable mostraron una correlación similar.

### **8.3 Análisis por nivel de experiencia**

A continuación, se presentan los resultados teniendo en cuenta el nivel de experiencia en las variables de fijaciones oculares, anticipación, tiempo de respuesta y análisis biomecánico desde grados de libertad y velocidad angular de las articulaciones de rodilla, cadera, tronco, hombro y codo; con sus respectivos coeficientes de variación.

#### **8.3.1 Fijaciones oculares**

A continuación, se muestran los resultados de la prueba de registro de los movimientos oculares durante la prueba de combate uno a uno.

**Tabla 8-6:** Rango intercuartílico de las fijaciones oculares de acuerdo con el nivel de experiencia.

	<i>EXPERTO</i>	<i>INTERMEDIO</i>	<i>NOVATO</i>
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
<b>Cabeza*</b>	4.33 (3.4-37.9)	11.3 (3.55-23.92)	8.81 (3.7-19.72)
<b>Tronco MMSS*</b>	72.98 (39.29-87.19)	68.9 (56-85)	57.8 (46.3-66.7)
<b>MMII*</b>	1.12 (0.07-10.92)	0.56 (0.22-1.77)	6.4 (0.39-15.62)
<b>Fuera AOI</b>	12.15 (8.3-13.03)	14.84 (5.62-19.88)	22.93 (18.36-29.3)
<b>COE VAR X</b>	0.05 (0.04-0.08)	0.05 (0.04-0.07)	0.735 (0.06-0.08)
<b>COE VAR Y</b>	0.18 (0.17-0.19)	0.16 (0.14-0.18)	0.14 (0.12-0.17)

MMSS: miembros superiores, MMII: miembros inferiores, AOI: área de interés, COE VAR: coeficiente de variación, \* valor  $p < 0.05$ .

Fuente: Datos de la investigación

Con respecto a las fijaciones oculares y el nivel de experiencia de los esgrimistas, se puede evidenciar en la tabla 8-6, que se evidencian diferencias significativas con respecto a las zonas de interés de cabeza, tronco-miembros superiores y miembros inferiores de acuerdo con el nivel de experiencia. Los resultados muestran que los expertos fijan tres cuartas partes de los movimientos oculares en las zonas de tronco-miembros superiores las cuales son coincidentes con las zonas de puntuación en la esgrima; seguidos de la cabeza y

miembros inferiores respectivamente. Cabe resaltar que los esgrimistas intermedios tuvieron un mayor porcentaje que los novatos en la zona de la cabeza. Por otro lado, se evidencia que los expertos tuvieron un menor porcentaje de fijaciones en las zonas por fuera de las del cuerpo, lo que muestra que es posible que identifiquen mejor las zonas de interés en el oponente en relación con la modalidad deportiva y su atención se dirija en menor medida a estímulos no relacionados con el gesto deportivo.

Con respecto a la variabilidad de los movimientos oculares se puede ver que los expertos tienen una mayor variabilidad en el eje Y con respecto a los esgrimistas intermedios y los novatos; lo que permite apreciar que el proceso de búsqueda y fijación visual se da en mayor medida en el eje vertical, en línea con la figura de su contrincante; con respecto a la variabilidad en el eje X el comportamiento de los expertos como de intermedios fue similar, los novatos tuvieron mayor variabilidad en este eje en comparación con el otro eje y los otros grupos.

### **8.3.2 Anticipación y tiempo de respuesta**

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de anticipación y tiempo de respuesta.

**Tabla 8-7:** Rango intercuartílico de anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia.

	<i>EXPERTO</i>	<i>INTERMEDIO</i>	<i>NOVATO</i>
	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)
<b>Anticipación 8 mph</b>	59.25 (40.5-66)	52.25 (16-82.75)	45.25 (-55.5 - 146)
<b>Anticipación 10 mph</b>	65.25 (20.5-104.25)	36.75 (17.75-106)	-17.5*(-33 a -2)
<b>Anticipación 12 mph</b>	-16.5*(-56.75-33)	64.75 (47-86)	18.5 (-5 - 42)
<b>Tiempo respuesta (10 mph)</b>	316.5 (290-349.5)	331.5 (300.5-366.5)	348.5 (261.5-435)

Mph: millas por hora, \* P < 0.05.

Fuente: Datos de la investigación

Los resultados del análisis de la anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia de los esgrimistas se evidencia que en las secuencias de anticipación de 8 y 10 millas son los novatos quienes mejores resultados muestran con respecto a los expertos con una diferencia estadísticamente significativa en la prueba de 10 millas; sin embargo, cuando aumenta la velocidad en la secuencia de 12 millas se evidencia que los expertos son quienes mejores resultados tienen con diferencia estadísticamente significativa respecto a los novatos y los esgrimistas intermedios quienes les siguen en desempeño respectivamente. Respecto a la prueba de tiempo de respuesta no se encontraron diferencias significativas de acuerdo con el nivel de experiencia de los

esgrimistas, pero donde los expertos obtuvieron un menor tiempo de respuesta seguido de los intermedios y los novatos.

### 8.3.3 Análisis biomecánico

A continuación, se presentan los resultados del análisis biomecánico del gesto deportivo de la estocada en esgrima.

**Tabla 8-8:** Rango intercuartílico de grados de libertad y velocidad angular de acuerdo con el nivel de experiencia.

	<i>EXPERTO</i>	<i>INTERMEDIO</i>	<i>NOVATO</i>
	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)
<b>MAX EXT RODILLA*</b>	179.88(174.6-179.91)	142.015(131.7337-162.255)	131.685(98.41-164.96)
<b>VEL_ANG RODILLA</b>	5.21(1.95-13.87)	3.145(1.755-6.855)	3.82(2.61-5.03)
<b>MAX FLEX CADERA</b>	53.5(25.61-74.45)	58.79(46.125-76.025)	78.695(68.95-88.44)
<b>VEL_ANG CADERA</b>	1.27(1.04-4.77)	1.615(0.89-2.205)	3.655(2.03-5.28)

<b>MAX EXT CODO</b>	179.82(179.69-179.97)	167.71(154.35-175.56)	178.84(178.16-179.52)
<b>VEL_ANG CODO</b>	16.44(6.32-67.09)	4.365(2.415-7.855)	7.3155(7.16-7.471)
<b>MAX FLEX HOMBRO</b>	86.21(36.27-89.98)	39.35(21.825-82.985)	68.72(65.22-72.22)
<b>VEL_ANG HOMBRO</b>	5.2(2.78-12.42)	2.87(1.085-4.745)	4.352167(4.3-4.404333)
<b>INCLINACION TRONCO</b>	16.82(4.08-47.72)	14.115(7.215-19.445)	16.13(15.6-16.66)
<b>VEL ANG TRONCO</b>	1.26(0.25-5.65)	0.99(0.505-1.84)	0.81(0.62-1)

MAX EXT: Máxima extensión, MAX FLEX: Máxima flexión, VEL ANG: Velocidad angular, \* P < 0.05

Fuente: Datos de la investigación

Los resultados del análisis biomecánico de la tabla 8-8 muestran que el único valor con una diferencia significativa respecto a los grados de libertad es el de extensión máxima de la rodilla en donde los expertos tienen un valor mayor respecto a los esgrimistas intermedios y novatos. Por otra parte, las otras articulaciones muestran que los expertos tienen valores mayores, seguidos de los novatos y por último los esgrimistas intermedios en los movimientos de flexión de cadera, extensión de hombro, flexión de hombro e inclinación de tronco. Por otro lado, los expertos mostraron valores más altos de velocidad en todas las articulaciones excepto en la cadera; en donde los esgrimistas novatos fueron quienes mostraron mayor velocidad angular.

**Tabla 8-9:** Rango intercuartílico de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia.

	<i>EXPERTO</i>	<i>INTERMEDIO</i>	<i>NOVATO</i>
	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)
<b>CV rodilla</b>	0.07(0.03-0.1)	0.04(0.0175-0.06)	0.035(0.02-0.05)
<b>CV cadera</b>	0.15(0.07-0.23)	0.05(0.03-0.12)	0.095(0.01-0.18)
<b>CV codo*</b>	0.17(0.13-0.2)	0.07(0.035-0.115)	0.065(0.06-0.07)
<b>CV hombro*</b>	0.61(0.44-0.87)	0.265(0.155-0.345)	0.62(0.42-0.82)
<b>CV tronco</b>	0.58(0.4-1.22)	0.57(0.31-0.88)	0.695(0.44-0.95)
<b>CORREL MS</b>	0.95(0.7-0.98)	0.7(0.29-0.94)	0.59(0.56-0.62)

CV: coeficiente de variación CORREL MMSS: Correlación miembros superiores, P < 0.05

Fuente: Datos de la investigación

Los resultados de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia muestran que los novatos tienen menor variabilidad en la rodilla seguidos de los intermedios y finalmente los expertos; en la cadera los resultados muestran que quienes tienen menor

variabilidad son los intermedios, seguidos de los novatos y los expertos. Tanto el hombro como el codo muestran una diferencia significativa; en el hombro los novatos muestran mayor variabilidad y los intermedios menor variabilidad, en codo los novatos tienen menor variabilidad seguidos de los intermedios y finalmente los expertos. Con el tronco no se obtienen diferencias estadísticamente significativas entre los tres niveles de experiencia, sin embargo, fueron los expertos quienes mayor variabilidad tienen en esta articulación, seguidos de los intermedios y novatos. Con respecto a la correlación de miembros superiores fueron los expertos quienes mayor coordinación mostraron en los segmentos de los miembros superiores, seguidos de los intermedios y de los novatos.

## **8.4 Análisis por modalidad y nivel de experiencia**

A continuación, se presenta el análisis de las variables de fijaciones oculares, anticipación, tiempo de respuesta y análisis biomecánico del gesto deportivo de la estocada de acuerdo con la modalidad deportiva y nivel de experiencia de los esgrimistas.

### **8.4.1 Fijaciones oculares**

**Tabla 8-10:** Rango intercuartílico de las fijaciones oculares de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de sable.

**MODALIDAD DEPORTIVA SABLE**

	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
<b>Cabeza</b>	71.22(71.22-71.22)	45.22(23.92-80.56)	12.77(12.77-12.77)
<b>Tronco- MMSS</b>	16.33(16.33-16.33)	36.55(5.66-56)	71.8(71.8-71.8)
<b>MMII</b>	0(0-0)	0.34(0.21-0.77)	0.11(0.11-0.11)
<b>Fuerza AOI</b>	12.44(12.44-12.44)	14.88(11.3-17.44)	15.3(15.3-15.3)
<b>COE VAR X</b>	0.036(0.036-0.036)	0.063(0.052-0.082)	0.062(0.062-0.062)
<b>COE VAR Y</b>	0.174(0.174-0.174)	0.174(0.163-0.175)	0.125(0.125-0.125)

MMSS: miembros superiores, MMII: miembros inferiores, AOI: área de interés, COE VAR: coeficiente de variación, \* valor  $p < 0.05$

Fuente: Datos de la investigación

En la tabla 8-10 se evidencia que la cabeza es la zona en donde más fijan la mirada los sablistas expertos e intermedios, respectivamente; mientras que los novatos son quienes tienen menor porcentaje de fijación en esta zona. Con respecto al tronco y miembros superiores se evidencia lo contrario, en donde los novatos tienen un mayor porcentaje de fijación, seguidos de los intermedios y los expertos. Respecto a los miembros inferiores los tres grupos muestran resultados similares a tener el menor porcentaje de fijaciones; los resultados de las zonas de interés de los esgrimistas coinciden con las zonas de puntuación de la modalidad de sable en donde las zonas validas de puntuación son miembros superiores, cabeza y tronco.

El porcentaje fuera de las zonas de interés fue menor en los sablistas expertos y fue aumentando conforme el nivel de experiencia era menor; por otro lado, los expertos mostraron un menor coeficiente de variación de los movimientos oculares en el eje X, mientras que fueron los que mayor variabilidad mostraron en el eje Y.

**Tabla 8-11:** Rango intercuartílico de las fijaciones oculares de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de espada.

<b>MODALIDAD DEPORTIVA ESPADA</b>			
	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
<b>Cabeza</b>	3.465(2.56-4.37)	6.19(1.11-11.55)	-
<b>Tronco-MMSS</b>	76.46(62.25-90.67)	85(65.38-86.54)	-
<b>MMII</b>	10.92(2.09-19.75)	1.77(0.22-4.52)	-
<b>Fuerza AOI</b>	9.14(4.66-13.62)	8.22(2.73-23.4)	-
<b>COE VAR X</b>	0.0465(0.039-0.054)	0.039(0.033-0.068)	-
<b>COE VAR Y</b>	0.1805(0.169-0.192)	0.155(0.119-0.207)	-

MMSS: miembros superiores, MMII: miembros inferiores, AOI: área de interés, COE VAR: coeficiente de variación, \* valor  $p < 0.05$

Fuente: Datos de la investigación

Con respecto a la modalidad de espada y las fijaciones oculares en la tabla 8-11 se evidencia que tanto los expertos como los intermedios tuvieron mayor porcentaje de fijación en el tronco y miembros inferiores, la principal diferencia respecto a estos dos grupos radica en que los expertos tienen un mayor porcentaje de fijaciones en los miembros inferiores que en la cabeza, mientras que los intermedios tienen un mínimo

porcentaje de fijación en los miembros inferiores mientras que en la cabeza es el doble que en el de los expertos. En el coeficiente de variación de los movimientos oculares, se observa que los expertos tienen una mayor variabilidad tanto en el eje X como en el eje Y en comparación con los intermedios. Sin embargo, ninguno de los valores muestra significancia estadísticamente significativa. En esta modalidad ninguno de los participantes tuvo nivel de experiencia de novato, por lo que el análisis solo se realizó entre expertos e intermedios.

**Tabla 8-12:** Rango intercuartílico de las fijaciones oculares de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de florete.

<b>MODALIDAD DEPORTIVA FLORETE</b>			
	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
<b>Cabeza</b>	4.29(4.29-4.29)	7.31(3.55-11.07)	4.85(4.85-4.85)
<b>Tronco-MMSS</b>	83.7(83.7-83.7)	74.465(72.49-76.44)	61.57(61.57-61.57)
<b>MMII</b>	0.14(0.14-0.14)	0.87(0.11-1.63)	12.14(12.14-12.14)
<b>Fuerza AOI</b>	11.85(11.85-11.85)	17.34(14.8-19.88)	21.42(21.42-21.42)
<b>COE VAR X</b>	0.1(0.1-0.1)	0.0545(0.051-0.058)	0.066(0.066-0.066)
<b>COE VAR Y</b>	0.196(0.196-0.196)	0.143(0.135-0.151)	0.149(0.149-0.149)

MMSS: miembros superiores, MMII: miembros inferiores, AOI: área de interés, COE VAR: coeficiente de variación, \* valor  $p < 0.05$

Fuente: Datos de la investigación

En el florete, en la tabla 8-12 se puede evidenciar que los expertos son quienes tienen mayor porcentaje de fijación en el tronco, la cual es la zona en la que se puede puntuar en esta modalidad, seguidos de los intermedios y los novatos. Llama la atención que en los tres niveles de experiencia se realizan fijaciones en la cabeza, la cual es una zona no válida para puntuar en esta modalidad. Por otro lado, en miembros inferiores los expertos y los intermedios tienen un porcentaje mínimo de fijaciones menor al uno por ciento, mientras que los novatos tienen un porcentaje considerable. Las fijaciones fuera de las áreas de interés nos muestran que conforme disminuye el nivel de experticia se pierde el foco visual en las mismas, llegando al punto de que los novatos fijan su visión aproximadamente una quinta parte fuera de estas zonas.

Los resultados de coeficientes de variación tanto en el eje X como en el eje Y muestran que los expertos tienen mayor variabilidad respecto a los intermedios y los novatos; siendo el eje Y donde mayor variabilidad se muestra.

Con respecto al análisis de las fijaciones oculares con respecto a la modalidad y nivel de experiencia deportiva, los resultados muestran que las zonas de interés de los deportistas tienen una gran coincidencia con las zonas de puntuación en cada modalidad deportiva, siendo los expertos quienes mayor porcentaje de fijaciones tienen en estas zonas, y los novatos quienes menor coincidencia tienen en las zonas de fijación relevantes a la hora de puntuar. Sin embargo, ninguno de estos resultados mostró significancia estadística al tener valores de  $p > 0.05$ .

Respecto a las fijaciones fuera del área de interés, los expertos son quienes menor porcentaje tienen, seguidos de los intermedios y novatos respectivamente. Los resultados de coeficientes de variación tanto en el eje X como en el eje Y muestran que los expertos tienen mayor variabilidad respecto a los intermedios y los novatos; siendo el eje Y en donde mayor variabilidad se observa.

### 8.4.2 Anticipación y tiempo de respuesta

A continuación, se presentan los resultados de la anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia y según la modalidad deportiva.

**Tabla 8-13:** Rango intercuartílico anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de sable.

<i>MODALIDAD DEPORTIVA SABLE</i>			
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
<b>Anticipación 8 mph</b>	67(67-67)	82.5(78-83)	146(146-146)
<b>Anticipación 10 mph</b>	95.5(95.5-95.5)	18(17.5-119)	-2(-2--2)
<b>Anticipación 12 mph</b>	4.5(4.5-4.5)	69(56.5-84)	42(42-42)
<b>Tiempo respuesta (10 mph)</b>	376(376-376)	334(325.5-353.5)	435(435-435)

Mph: millas por hora

Fuente: Datos de la investigación

En la tabla 8-13 se puede evidenciar que en el sable que en la secuencia de 8 millas por hora los expertos son quienes mejor anticipación muestran seguidos de los intermedio y los novatos respectivamente; en la secuencia de 10 mph son los novatos quienes mejor tiempo de anticipación tienen seguidos de los intermedios y finalmente los expertos; en la secuencia de 12 mph , nuevamente son los expertos quienes mejor anticipación muestran, esta vez seguido de los novatos y por último los intermedios. Con respecto al tiempo de respuesta son los sablistas intermedios quienes mejor tiempo de respuesta muestran seguidos de los expertos y finalmente los novatos. Cabe resaltar que ninguno de estos resultados mostró diferencias estadísticamente significativas.

**Tabla 8-14:** Rango intercuartílico anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de espada.

<b>MODALIDAD DEPORTIVA ESPADA</b>			
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
<b>Anticipación 8 mph</b>	40.5(27.5-53.5)	12(5-20)	-
<b>Anticipación 10 mph</b>	73(33-113)	46.5(22.5-58.5)	-
<b>Anticipación 12 mph</b>	-7.25(-76-61.5)	60.5(35-76.5)	-
<b>Tiempo respuesta (10 mph)</b>	316.5(310-323)	329(301-373)	-

Mph: millas por hora

Fuente: Datos de la investigación

En la modalidad de espada se aprecia que en la secuencia de 8 millas por hora (mph) los espadistas intermedios muestran una mejor anticipación que los expertos; mientras que en las secuencias de 10 y 12 millas los expertos muestran un menor tiempo de anticipación. Con respecto al tiempo de respuesta se muestra que los expertos obtuvieron un menor tiempo de respuesta que los intermedios; aunque ninguno de estos valores represente una diferencia estadísticamente significativa. En esta modalidad ninguno de los participantes fue catalogado como novato, por lo tanto, no se tienen datos de anticipación y tiempo de respuesta en los novatos.

**Tabla 8-15:** Rango intercuartílico anticipación y tiempo de respuesta de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de sable.

<b>MODALIDAD DEPORTIVA FLORETE</b>			
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
<b>Anticipación 8 mph</b>	65(65-65)	81.5(45.5-117.5)	-55.5(-55.5--55.5)
<b>Anticipación 10 mph</b>	8(8-8)	80.5(27-134)	-33(-33--33)
<b>Anticipación 12 mph</b>	-37.5(-37.5--37.5)	83.75(40.5-127)	-5(-5--5)
<b>Tiempo respuesta (10 mph)</b>	270(270-270)	298.25(236.5-360)	261.5(261.5-261.5)

Mph: millas por hora

Fuente: Datos de la investigación

Con respecto a la modalidad de florete, en la tabla 8-15 se muestra que en la secuencia de 8 y 10 mph son los novatos quienes mejores resultados muestran, seguidos de los expertos e intermedios, en la secuencia de 12 mph son los expertos quienes mejor anticipación muestran, seguidos de los novatos y finalmente los expertos. Para el tiempo de respuesta son los novatos quienes mejor resultado tienen, seguidos de los expertos e intermedios respectivamente.

Con relación al análisis de la anticipación y tiempo de respuesta con respecto a la modalidad y nivel de experiencia deportiva, los resultados no muestran una homogeneidad que permita establecer relación del nivel de experiencia ni la modalidad deportiva sobre estas variables, más aún cuando ninguno de los resultados mostró diferencias estadísticamente significativas al tener valores de  $p > 0.05$ .

### **8.4.3 Análisis biomecánico**

A continuación, se muestra el análisis biomecánico de acuerdo con el nivel de experiencia y de la modalidad deportiva.



**Tabla 8-16:** Rango intercuartílico de velocidades angulares y grados de libertad de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de sable.

**MODALIDAD DEPORTIVA SABLE**

	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)	RIQ (Q1-Q3)
	EXPERTO	INTERMEDIO	NOVATO
<b>MAX EXT RODILLA</b>	179.88(179.88-179.88)	141.45(134.5087-158.46)	164.96(164.96-164.96)
<b>VEL ANG RODILLA</b>	1.95(1.95-1.95)	5.555(2.13-11.975)	2.61(2.61-2.61)
<b>MAX FLEX CADERA</b>	25.61(25.61-25.61)	62.95(44.275-76.025)	68.95(68.95-68.95)
<b>VEL ANG CADERA</b>	1.04(1.04-1.04)	1.93(1.08-2.85)	5.28(5.28-5.28)
<b>MAX EXT CODO</b>	179.82(179.82-179.82)	167.71(162.915-175.23)	178.16(178.16-178.16)
<b>VEL ANG CODO</b>	6.32(6.32-6.32)	4.9(2.805-8.085)	7.471(7.471-7.471)
<b>MAX FLEX HOMBRO</b>	36.27(36.27-36.27)	38.38(26.185-57.545)	65.22(65.22-65.22)
<b>VEL ANG HOMBRO</b>	2.78(2.78-2.78)	2.395(1.215-5.78)	4.404333(4.404333-4.404333)
<b>INCLINACION TRONCO</b>	4.08(4.08-4.08)	13.21(4.505-22.45)	15.6(15.6-15.6)
<b>VEL ANG TRONCO</b>	0.25(0.25-0.25)	1.7(0.715-3.11)	0.62(0.62-0.62)

MAX EXT: Máxima extensión, MAX FLEX: Máxima flexión, VEL ANG: Velocidad angular

Fuente: Datos de la investigación

En la tabla 8-16 se observa que los expertos logran mayor extensión en la rodilla que los novatos e intermedios en la ejecución de la estocada, sin embargo, presentan menores niveles de velocidad angular de esta articulación que los intermedios y los novatos. Con respecto a la cadera, los expertos son quienes realizan menor flexión de cadera durante la ejecución del gesto, seguidos de los intermedios y los novatos quienes son quienes mayor flexión de cadera realiza. En esta articulación, los expertos muestran menor velocidad angular seguido de los intermedios y los novatos respectivamente.

En las articulaciones de miembros superiores, los resultados muestran que los expertos son quienes mayor extensión de codo realizan, pero logran menor flexión de hombro, los intermedios son quienes menor extensión de codo realizan y los novatos quienes flexionan más el hombro durante la ejecución del gesto. Las velocidades angulares de codo y hombro muestran que son los novatos quienes mayores velocidades angulares alcanzan y los intermedios los que menor velocidad logran. En tronco los expertos realizan menor inclinación de tronco, seguidos de los intermedios y novatos respectivamente; con respecto a la velocidad angular de inclinación de tronco los novatos tienen el menor valor y los intermedios la mayor velocidad durante este movimiento. Cabe resaltar que ninguno de los valores fue estadísticamente significativo al tener un  $p > 0.05$ .

**Tabla 8-17:** Rango intercuartílico de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de sable.

**MODALIDAD DEPORTIVA SABLE**

	<b>RIQ (Q1-Q3) EXPERTO</b>	<b>RIQ (Q1-Q3) INTERMEDIO</b>	<b>RIQ (Q1-Q3) NOVATO</b>
<b>CV RODILLA</b>	0.03(0.03-0.03)	0.07(0.0335-0.22)	0.02(0.02-0.02)
<b>CV CADERA</b>	0.23(0.23-0.23)	0.065(0.045-0.09)	0.18(0.18-0.18)
<b>CV CODO</b>	0.13(0.13-0.13)	0.06(0.04-0.1)	0.07(0.07-0.07)
<b>CV HOMBRO</b>	0.61(0.61-0.61)	0.235(0.17-0.315)	0.42(0.42-0.42)
<b>CV TRONCO</b>	0.4(0.4-0.4)	0.715(0.42-0.92)	0.44(0.44-0.44)
<b>CORRELMS</b>	0.98(0.98-0.98)	0.675(0.29-0.805)	0.56(0.56-0.56)

CV: coeficiente de variación CORREL MMSS: Correlación miembros superiores

Fuente: Datos de la investigación

Con respecto a la variabilidad de movimiento de cada de una de las articulaciones, en la tabla 8-17 se puede apreciar que en las articulaciones de miembros inferiores (rodilla y cadera), son los novatos quienes menos variabilidad en el movimiento registran, seguidos de los expertos y los intermedios. Con respecto a la articulación del codo, son los intermedios quienes menor variabilidad presentan, seguidos de los novatos y los expertos. En hombro, son los novatos quienes menor variabilidad muestran, seguidos de los expertos e intermedios y finalmente, en tronco son los expertos quienes menor variabilidad presentan, seguidos de los novatos y los intermedios. Por otro lado, se puede observar que los expertos tuvieron un valor mayor en la correlación de los movimientos de miembros superiores, seguidos de los intermedios y los novatos. Los resultados muestran que el nivel

de experiencia no es un factor interviniente en la ejecución del gesto deportivo en la modalidad de sable, esto a partir de la heterogeneidad en los resultados entre las diferentes articulaciones y los tres niveles de experiencia; en los que los resultados no tuvieron un valor de significancia estadística al tener un valor  $p > 0.05$ .

**Tabla 8-18:** Rango intercuartílico de velocidades angulares y grados de libertad de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de espada.

<b>MODALIDAD DEPORTIVA ESPADA</b>			
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
<b>MAX EXT RODILLA</b>	179.91(179.91-179.91)	150.405(134.48-167.37)	-
<b>VEL_ANG RODILLA</b>	13.87(13.87-13.87)	3.42(1.99-6.3)	-
<b>MAX FLEX CADERA</b>	74.45(74.45-74.45)	58.79(37.52-60.36)	-
<b>VEL_ANG CADERA</b>	4.77(4.77-4.77)	1.545(1.27-2.2)	-
<b>MAX EXT CODO</b>	179.97(179.97-179.97)	156.195(139.73-170.73)	-
<b>VEL_ANG CODO</b>	16.44(16.44-16.44)	4.19(1.78-9.75)	-

<b>MAX FLEX HOMBRO</b>	89.98(89.98-89.98)	28.99(16.45-77.34)	-
<b>VEL_ANG HOMBRO</b>	12.42(12.42-12.42)	1.94(0.93-5.35)	-
<b>INCLINACION TRONCO</b>	47.72(47.72-47.72)	14.435(7.87-19.37)	-
<b>VEL ANG TRONCO</b>	5.65(5.65-5.65)	0.88(0.49-1.5)	-

MAX EXT: Máxima extensión, MAX FLEX: Máxima flexión, VEL ANG: Velocidad angular

Fuente: Datos de la investigación

Con respecto a la modalidad de espada se puede apreciar en la tabla 8-17 que en las articulaciones de miembros inferiores (cadera y rodilla), los expertos tienen mayor amplitud en los movimientos de flexión y extensión respectivamente; por otro lado, los resultados de velocidad angular muestran que los expertos tienen mayor velocidad angular que los intermedios. En las articulaciones de miembros superiores (codo y hombro), se evidencia que los expertos logran mayor extensión de codo y flexión de hombro que los intermedios; y mayores velocidades angulares de las mismas que los intermedios. En tronco, los expertos tienen mayor inclinación, con mayor velocidad angular que los sablistas intermedios. Sin embargo, ninguno de los resultados mostró diferencias estadísticamente significativas al tener un valor  $p > 0.05$ .

**Tabla 8-19:** Rango intercuartílico de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de espada.

<b>MODALIDAD DEPORTIVA ESPADA</b>			
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
<b>CV RODILLA</b>	0.07(0.07-0.07)	0.035(0.015-0.04)	-
<b>CV CADERA</b>	0.15(0.15-0.15)	0.08(0.03-0.17)	-
<b>CV CODO</b>	0.17(0.17-0.17)	0.055(0.03-0.08)	-
<b>CV HOMBRO</b>	0.87(0.87-0.87)	0.215(0.13-0.33)	-
<b>CV TRONCO</b>	0.58(0.58-0.58)	0.495(0.37-0.83)	-
<b>CORRELMS</b>	0.95(0.95-0.95)	0.78(0.59-0.98)	-

CV: coeficiente de variación CORREL MMSS: Correlación miembros superiores

Fuente: Datos de la investigación

Como en el sable, los resultados muestran que el nivel de experiencia no es un factor interviniente en la ejecución del gesto deportivo en la modalidad de espada, esto a partir de la heterogeneidad en los resultados de variabilidad del movimiento y los rangos máximos de movimiento en las diferentes articulaciones; en esta modalidad los resultados no tuvieron diferencias estadísticamente significativas al tener un valor  $p > 0.05$ .

**Tabla 8-20:** Rango intercuartílico de velocidades angulares y grados de libertad de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de florete.

<b>MODALIDAD DEPORTIVA FLORETE</b>			
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
<b>MAX EXT RODILLA</b>	174.6(174.6-174.6)	120.315(99.47-141.16)	98.41(98.41-98.41)
<b>VEL_ANG RODILLA</b>	5.21(5.21-5.21)	2.03(1.52-2.54)	5.03(5.03-5.03)
<b>MAX FLEX CADERA</b>	53.5(53.5-53.5)	72.71(55.58-89.84)	88.44(88.44-88.44)
<b>VEL_ANG CADERA</b>	1.27(1.27-1.27)	1.096(0.332-1.86)	2.03(2.03-2.03)
<b>MAX EXT CODO</b>	179.69(179.69-179.69)	178.63(177.33-179.93)	179.52(179.52-179.52)
<b>VEL_ANG CODO</b>	67.09(67.09-67.09)	4.365(4-4.73)	7.16(7.16-7.16)
<b>MAX FLEX HOMBRO</b>	86.21(86.21-86.21)	89.29(88.63-89.95)	72.22(72.22-72.22)
<b>VEL_ANG HOMBRO</b>	5.2(5.2-5.2)	3.83(3.52-4.14)	4.3(4.3-4.3)
<b>INCLINACION TRONCO</b>	16.82(16.82-16.82)	11.865(7.44-16.29)	16.66(16.66-16.66)
<b>VEL ANG TRONCO</b>	1.26(1.26-1.26)	0.705(0.65-0.76)	1(1-1)

MAX EXT: Máxima extensión, MAX FLEX: Máxima flexión, VEL ANG: Velocidad angular

Fuente: Datos de la investigación

En la tabla 8-20 se muestra que los intermedios tienen una mayor variabilidad en el movimiento en las articulaciones de rodilla, cadera y codo; mientras que los expertos tienen menor variabilidad en hombro y tronco. Con respecto a la correlación de miembros superiores, los expertos mostraron un valor mayor; lo que muestra una mayor coordinación entre los movimientos de estas articulaciones.

En las articulaciones de miembros superiores se evidencia que los novatos tienen mayor extensión de codo seguidos de los novatos y finalizando los intermedios, lo cual coincide con los valores de velocidad angular de esta articulación. En hombro los expertos realizan menor flexión de hombro, seguidos de los intermedios y novatos; con respecto a la velocidad angular los expertos tienen una mayor velocidad angular en este movimiento seguidos de los novatos e intermedios. En tronco se muestra que los expertos realizan mayor inclinación de tronco, seguidos de los novatos y los intermedios, lo que coincide con los valores de velocidad angular de esta articulación.

**Tabla 8-21:** Rango intercuartílico de coeficiente de variación de acuerdo con el nivel de experiencia en la modalidad de florete.

<i>MODALIDAD DEPORTIVA FLORETE</i>			
	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>	<b>RIQ (Q1-Q3)</b>
	<b>EXPERTO</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>NOVATO</b>
<b>CV RODILLA</b>	0.1(0.1-0.1)	0.035(0.02-0.05)	0.05(0.05-0.05)

<b>CV CADERA</b>	0.07(0.07-0.07)	0.03(0.02-0.04)	0.01(0.01-0.01)
<b>CV CODO</b>	0.2(0.2-0.2)	0.115(0.11-0.12)	0.06(0.06-0.06)
<b>CV HOMBRO</b>	0.44(0.44-0.44)	0.335(0.27-0.4)	0.82(0.82-0.82)
<b>CV TRONCO</b>	1.22(1.22-1.22)	0.59(0.25-0.93)	0.95(0.95-0.95)
<b>CORRELMS</b>	0.7(0.7-0.7)	-0.02(-0.98-0.94)	0.62(0.62-0.62)

CV: coeficiente de variación CORREL MMSS: Correlación miembros superiores

Fuente: Datos de la investigación

Respecto a la variabilidad del movimiento de las diferentes articulaciones, la tabla 8-21 muestra que en la rodilla los intermedios tienen menor coeficiente de variación que los novatos y los expertos y en la cadera los novatos muestran menor variación que los intermedios y novatos respectivamente. En codo, los novatos tienen menor coeficiente de variación seguidos de los intermedios y finalmente los expertos; en hombro los intermedios son quienes menor variabilidad muestran seguidos de los expertos y los novatos; en tronco los floretistas intermedios muestran menor variabilidad que los novatos y los expertos. En la correlación de miembros superiores muestra una correlación mayor en los expertos, similar a la encontrada en los novatos, por otro lado, los intermedios mostraron una correlación negativa.

Los resultados en florete muestran que como en las dos modalidades anteriores, el nivel de experiencia no es un factor interviniente en la ejecución del gesto deportivo en la modalidad de florete, ya que los resultados de variabilidad de movimiento, grados de libertad y velocidad angular no tuvieron diferencias estadísticamente significativas al tener un valor  $p > 0.05$ .





**Tabla 8-22:** Mediana de las variables de habilidades cognitivo-perceptuales y de análisis biomecánico de acuerdo con la modalidad y la experiencia deportiva.

NIVEL DE EXPERIENCIA	EXPERTO			INTERMEDIO			NOVATO		
	Espada	Sable	Florete	Espada	Sable	Florete	Espada	Sable	Florete
<b>VARIABLE/ MODALIDAD</b>									
<i>Anticipación 8 mph (ms)</i>	40.5	67	65	12	82.5	81.5	-	146	-55.5
<i>Anticipación 10 mph (ms)</i>	73	95.5	8	46.5	18	80.5	-	-2	-33
<i>Anticipación 12 mph (ms)</i>	-7.25	4.5	-37.5	60.5	69	83.7	-	42	-5
<i>Tiempo de respuesta (ms)</i>	316.5	376	270	329	334	298	-	435	261.5
<i>Cabeza (%)</i>	3.4	71.2	4.2	6.1	45.2	7.3	-	12.7	4.85
<i>Tronco-miembros superiores (%)</i>	76.4	16.3	83.7	85	36.5	74.4	-	71.8	61.5
<i>Miembros inferiores (%)</i>	10.9	0	0.14	1.7	0.3	0.8	-	0.1	12.1
<i>Fuera área de interés</i>	9.1	12.4	11.8	8.2	14.8	17.3	-	15.3	21.4
<i>Coefficiente de variación x</i>	0.046	0.036	0.1	0.039	0.063	0.054	-	0.062	0.066
<i>Coefficiente de variación y</i>	0.180	0.174	0.196	0.155	0,174	0.143	-	0.125	0.149
<i>Máxima extensión rodilla (°)</i>	179.9	179.8	174.6	150.4	141.4	120.3	-	164.9	98.41
<i>Velocidad angular rodilla (°/seg)</i>	13.8	1.9	5.2	3.4	5.5	2.0	-	2.61	5.0
<i>Máxima flexión cadera (°)</i>	74.4	25.6	53.5	58.7	62.9	72.7	-	68.9	88.4
<i>Velocidad angular cadera (°/seg)</i>	4.7	1.0	1.2	1.5	1.9	1.0	-	5.2	2.0
<i>Máxima extensión codo (°)</i>	179.9	179.8	179.6	156.1	167.7	178.6	-	178.1	179.5
<i>velocidad angular codo (°/seg)</i>	16.4	6.3	67.0	4.1	4.9	4.3	-	7.4	7.1

<b>Máxima flexión hombro (°)</b>	89.9	36.2	86.2	28.9	38.3	89.2	-	65.2	72.2
<b>Velocidad angular hombro (°/seg)</b>	12.4	2.7	5.2	1.9	2.3	3.8	-	4.4	4.3
<b>Inclinación tronco (°)</b>	47.7	4.0	16.8	14.4	13.2	11.8	-	15.6	16.6
<b>Velocidad angular tronco (°/seg)</b>	5.6	0.25	1.2	0.8	1.7	0.705	-	0.62	1
<b>Coefficiente variación rodilla</b>	0.07	0.03	0.1	0.035	0.07	0.035	-	0.02	0.05
<b>Coefficiente variación cadera</b>	0.15	0.23	0.07	0.08	0.065	0.03	-	0.18	0.01
<b>Coefficiente variación codo</b>	0.17	0.13	0.2	0.055	0.06	0.115	-	0.07	0.06
<b>Coefficiente variación hombro</b>	0.87	0.61	0.44	0.215	0.235	0.335	-	0.42	0.82
<b>Coefficiente variación tronco</b>	0.58	0.4	1.22	0.495	0.715	0.59	-	0.44	0.95
<b>Correlación miembros superiores</b>	0.95	0.98	0.7	0.78	0.675	-0.02	-	0.56	0.62

Mph (millas por hora)

Fuente: Datos de la investigación

En la tabla 8-22 se observa la mediana de los datos de las variables de fijaciones visuales, anticipación, tiempo de respuesta y análisis biomecánico de acuerdo con el nivel de experiencia y la modalidad deportiva. Aunque los valores no muestren diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ), se evidencian diferencias en los diferentes niveles de experiencia y modalidad deportiva que permitirían confirmar que las investigaciones en esgrima deben realizarse de forma diferenciada con el objetivo de tener un mayor conocimiento estas.



## 9. Discusión

A continuación, se presenta la discusión de acuerdo con cada una de las variables analizadas durante la presente investigación, se reportan los hallazgos de la investigación en contraste con la información disponible en la literatura. Los hallazgos más relevantes de la presente investigación se relacionan con el registro de las fijaciones oculares de acuerdo con la modalidad, y aspectos del análisis biomecánico como los rangos de movimiento en algunas articulaciones durante el gesto ejecutado; y el coeficiente de variación durante la ejecución de este, variables que han sido relacionadas con la experticia del deportista lo cual se demuestra en los resultados de esta investigación.

En torno a la relación de las habilidades cognitivo-perceptuales y el nivel de experiencia deportiva de los esgrimistas no se identificó un patrón en el desempeño de las pruebas de acuerdo al nivel de experiencia; tanto novatos, intermedios y expertos mostraron un comportamiento variable en cada una de las diferentes pruebas; hallazgos opuestos a lo reportado por Voss et al. (2009), quienes en su metaanálisis, en el que relacionaban habilidades cognitivas y experiencia, encontraron efectos pequeños a medianos que indican que deportistas expertos se desempeñan mejor que deportistas novatos; en especial en deportes interoceptivos, los cuales requieren coordinación entre el cuerpo del

participante y un objeto sostenido en el entorno, que comparado con otras disciplinas muestran efectos más importantes (102).

Del mismo modo, Mann et al. (2007), demostraron que los jugadores de élite se desempeñaron mejor en la evaluación de habilidades cognitivo-perceptuales como percepción visual evaluado a partir de las fijaciones, tiempos de respuesta y precisión, a partir un metaanálisis donde se incluyeron varias disciplinas deportivas. Sin embargo, en esta investigación no se mide el desempeño de estas habilidades en actividades no deportivas, por lo que no se puede garantizar la transferibilidad de estas habilidades a otros dominios diferentes al deportivo. (103). Vestberg et al. (2012) también describieron la relación positiva entre las habilidades cognitivas y la experiencia deportiva en donde los jugadores de alta división mostraron una mejor función ejecutiva en comparación con los jugadores de baja división, quienes, a su vez, superaron al grupo de novatos (104). Los hallazgos de estas investigaciones muestran la aparente relación y la influencia de la experiencia sobre habilidades cognitivo-perceptuales en los deportistas, sin embargo, al incluir diferentes disciplinas deportivas, que, por sus objetivos deportivos y su propuesta metodológica, no nos permite hacer una comparación directa con los resultados obtenidos en la presente investigación. Por lo tanto, para enfatizar en cada una de las variables medidas, se comparan los resultados de la presente investigación con hallazgos de otras investigaciones realizadas en esgrima, y en deportes de combate, lo que permite tener una mayor semejanza a la hora de determinar la relación entre la experiencia y habilidades cognitivo-perceptuales, además de las diferencias que pudieran presentarse en estas de acuerdo con las modalidades existentes en la esgrima.

## 9.1 Análisis biomecánico

En relación con el análisis de las variables de rangos máximos de movimiento y aceleraciones angulares, los resultados obtenidos en esta investigación muestran que en relación al nivel de experiencia, los esgrimistas expertos mostraron mayor extensión de rodilla, menor flexión de cadera, mayor extensión de codo y mayor flexión de hombro; los movimientos de miembros inferiores están asociados al impulso del movimiento mientras que se transfiere a miembros superiores para lograr un mayor alcance y velocidad durante la estocada; de acuerdo a lo mencionado en el marco teórico los factores de la embestida son la velocidad y la distancia recorrida durante el movimiento (51); por lo que para alcanzar una mayor distancia y mayor velocidad es fundamental el impulso en el movimiento. Por otra parte, en el análisis por modalidad deportiva se encontraron similitudes en los movimientos y los rangos de movimiento, sin embargo, se evidenció una variabilidad de los rangos de una modalidad a otra en miembros inferiores, para lo cual se requieren más estudios que determinen si la variabilidad en los movimientos de modalidad a otra está asociado a diferencias en la velocidad e impulso durante la estocada. En el caso de los miembros superiores, los floretistas mostraron una mayor extensión de codo y una mayor flexión de hombro, seguidos de los sablistas y los espadistas, estos hallazgos podrían relacionarse con el peso de las armas en donde el sable y florete tienen un peso similar, y la espada tiene un peso superior; por otro lado estos resultados no concuerdan con las zonas de puntuación, dado que en sable y espada, la zona de la careta del contrincante es una zona de interés y para lograr alcanzarla, el tirador debería tener un mayor ángulo de flexión de hombro, uno de los elementos que también podría explicar un

ángulo menor de este movimiento en estas modalidades y que podría estar asociado con el diseño experimental y la talla del participante, en donde para atravesar el haz de luz infrarroja durante las pruebas de anticipación y tiempo de respuesta, este, se encontraba ubicado a una altura estándar y por la estatura del esgrimista, no requería aumentar la flexión de hombro para lograr atravesarla durante la ejecución de la estocada.

Con respecto a los movimientos de miembros inferiores, Yiu & Do (2000) sugieren que la velocidad adicional durante la estocada se desarrolla a través de las extremidades inferiores, y determinaron que el rendimiento con respecto a la velocidad durante la ejecución de la estocada fue mayor en la población experta en comparación con la población novata (105). Gholipour et al. (2008) observó que la flexión de la cadera es mayor al final de la estocada en los tiradores de élite en comparación con los tiradores novatos, lo que sugiere que la flexión de la cadera es un predictor de la velocidad de la espada (106), sin embargo nuestros resultados muestran que los deportistas expertos son quienes menor flexión de cadera realizan durante la estocada, aunque en la presente investigación no se determinó si esto se correlaciona con la velocidad de la estocada, por lo que no se puede determinar el desempeño en la estocada de acuerdo a esta variable.

Morris et al. (2011) encontraron que la estocada comenzó con la flexión de la rodilla principal y el trabajo positivo realizado por los extensores de la rodilla trasera, lo que permite que el pie adelantado se despegue del suelo; y una vez que la pierna delantera está despegada, los plantiflexores del tobillo y los extensores de la rodilla proporcionan un trabajo positivo para impulsar el cuerpo hacia adelante, mientras que los extensores de la rodilla y los flexores de la cadera adelantaron pequeñas cantidades para levantar y

extender la pierna delantera hacia adelante. Sin embargo, esta investigación tuvo un sujeto participante, por lo que se requieren de más investigaciones con un tamaño poblacional para que los resultados sean extrapolables (107). Bottoms et al. (2013) respaldaron la importancia de los miembros inferiores durante la propulsión de la estocada y encontraron que el rango de movimiento de la rodilla de la extremidad trasera y la flexión máxima de la cadera en el plano sagital, parecen ser los mejores indicadores del logro de una alta velocidad de espada (83); que como se mencionó anteriormente está en contraposición a lo encontrado en la presente investigación ya que fueron los expertos quienes menores valores de flexión de cadera presentaron; esto podría atribuirse al nivel experiencia de los deportista, dado que en esa investigación los participantes tenían 3 años de practica; lo cual se evidencia en nuestros resultados que a menor nivel de experiencia mayor flexión de cadera. Borysiuk et al. (2019) encontraron que el efecto de despegue se obtiene empleando músculos en la pierna trasera, lo que se confirma por el aumento de las fuerzas de reacción vertical en el suelo y por el despegue del pie delantero (108).

Las investigaciones anteriormente mencionadas muestran que uno de los parámetros fundamentales en la propulsión de la estocada se encuentra en la pierna trasera al realizar el movimiento de extensión, nuestros hallazgos confirman que este podría ser un elemento de gran relevancia y podría influir en el éxito de la estocada, puesto a que una mayor propulsión genera un movimiento más rápido, esto se puede evidenciar al encontrar mayores valores de extensión de la rodilla en los esgrimistas expertos en relación con los intermedios y los novatos, siendo estos últimos quienes menor extensión de rodilla realizaron durante la estocada; respecto a la modalidad es la espada la modalidad que mayor capacidad de propulsión podría generar, seguido de los sablistas y floretistas.

En contraposición, Moore et al. (2015), identificaron que para la propulsión de la estocada no son tan importantes los movimientos desde los miembros inferiores, sino la capacidad de lograr y mantener la neutralidad lumbosacra, es decir, garantizar que la propagación de la fuerza esté alineada y se mantenga a lo largo del eje de movimiento desde el pie no dominante hasta el brazo de la espada, esto se correlacionó más estrechamente con la velocidad de embestida y aceleración (18). Esto se podría asociar con los resultados obtenidos en la inclinación de tronco de los deportistas y su desempeño en las pruebas de velocidad de respuesta, ya que el grupo de expertos quienes mayor inclinación de tronco tuvieron fueron quienes mejor resultado tuvieron en pruebas de anticipación y velocidad de respuesta.

Contrario a lo encontrado por Moore, Guan et al. (2018), quienes investigaron los determinantes de la velocidad en la estocada de esgrima de diferentes niveles de competencia; encontrando que los esgrimistas de élite mostraron significativamente un ROM mayor de rodilla trasera y del tobillo trasero; además de una velocidad angular máxima significativamente más baja de rodilla delantera que los tiradores de nivel intermedio. Los tiradores de élite mostraron significativamente menor extensión de rodilla que los tiradores de nivel intermedio (51), estos hallazgos difieren a los resultados obtenidos en la presente investigación en donde los expertos tienen una mayor extensión de la rodilla y una mayor velocidad angular en esta articulación que los esgrimistas de menor nivel de competencia.

Mulloy et al. (2014) encontraron que la velocidad máxima horizontal de la espada fue significativamente mayor en el grupo de expertos y el grupo de expertos tuvo una mayor distancia de embestida medida desde el desplazamiento del pie. No hubo diferencias significativas en la velocidad máxima de codo entre los diferentes grupos, los hallazgos de la presente investigación muestran que, aunque no se encontraron diferencias significativamente estadísticas, los expertos tienen una velocidad angular del doble frente a los novatos y cuatro veces mayor que la de los intermedios. Además de esto, los datos muestran una mejor información de patrones secuenciales para los expertos en codo, cadera, rodilla y tobillo (109). La presente investigación respalda que los expertos muestran una mayor coordinación y armonía durante los movimientos de miembros superiores al obtener valores de correlación de los movimientos de flexión de hombro y extensión de codo mayores a los de los intermedios y los novatos, lo que influye en el desempeño y éxito del gesto deportivo.

Respecto a la variabilidad del movimiento, Hassan & Klauck (1998) mostraron que durante la ejecución de una estocada, cada persona demostró una característica individual de la forma curva velocidad-tiempo del florete, la cual estaba determinada por los movimientos de miembros inferiores (110); estos resultados podrían explicar la variabilidad de los resultados comparar la estocada en las diferentes modalidades deportivas (espada, florete y sable), dado que si no existe un patrón del comportamiento articular en una misma modalidad, es muy factible que la variabilidad sea aún mayor al comparar las diferentes modalidades.

Mukherjee, M., & Yentes (2018) asociaron la presencia de fluctuaciones de movimiento como el reflejo de la capacidad de un sistema para adaptarse a las limitaciones cambiantes del entorno, teniendo en cuenta que las fluctuaciones pueden ser predecibles o impredecibles, lo cual afecta la adaptabilidad del sistema en termino de los procesos de control de movimiento. Esto parece ser un aspecto relevante teniendo en cuenta los datos obtenidos durante la investigación; dado que la alta variabilidad de cada uno de los segmentos corporales durante la ejecución de la estocada puede estar asociada con la capacidad de adaptarse a las demandas impuestas durante el desarrollo de un combate en donde el tirador debe realizar ajustes con el objetivo de defenderse y atacar a su oponente el cual de acuerdo a sus características antropométricas puede generar mayores o menores variaciones durante el gesto (111). El rival es de gran importancia en las modificaciones de la mecánica del gesto y de la capacidad de anticipar de tirador, ya que es el estímulo desencadenante de la respuesta.

Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M. (2007) concluyeron que la variabilidad del movimiento, lejos de deberse únicamente al sistema neuromuscular o al "ruido" de medición, como los biomecánicos deportivos pueden haber supuesto anteriormente, es, o podría ser, funcional. Dicha funcionalidad podría permitir adaptaciones ambientales, reducir el riesgo de lesiones y facilitar cambios en los patrones de coordinación; además determinaron que la variabilidad podría tener implicaciones para la práctica y el aprendizaje de habilidades en el deporte (112). Por lo tanto, se evidencia que la variabilidad del movimiento puede ser un factor benéfico en el gesto deportivo, sin embargo, esto debe determinarse de acuerdo a las demandas de la disciplina; ya que en deportes cíclicos ha sido asociado como un factor de riesgo para lesión o de inexperiencia motora.

Folland et al. (2017) determinaron la existencia de variabilidad durante la carrera, si bien correr es un movimiento relativamente sin restricciones con numerosos grados de libertad, que se realiza de forma cíclica (113), por lo tanto en deportes de modalidad abierta en donde el gesto deportivo se modifica con base a las demandas ambientales y del rival, como pasa en la esgrima.

La variabilidad en el movimiento puede ser explicada a través de la teoría de los sistemas dinámicos. De acuerdo con esta teoría los sistemas se adaptan a las modificaciones ambientales y contextuales con el objetivo de permitir que surjan patrones de comportamiento funcionales y autosuficientes en contextos específicos. Este proceso modifica el número de grados biomecánicos de libertad regulados por el ejecutante a través del ensamblaje temporal de complejos musculares llamados estructuras coordinativas. Por lo tanto, la variabilidad en los patrones de movimiento permite un comportamiento del sistema motor flexible y adaptativo, y la paradoja entre estabilidad y variabilidad explica cómo los atletas expertos pueden producir una sutil combinación de movimientos persistentes y adaptativos durante un desempeño exitoso (71). Esto nos muestra la relación entre el nivel de experiencia y la expresión motora como resultado de ella; lo cual en concordancia con los resultados obtenidos en donde los expertos mostraron mayor variabilidad en la mayoría de segmentos corporales; siendo el tronco el único en donde no se tuvo mayor variabilidad respecto a los otros grupos, lo cual puede deberse al ser el eje de estabilidad corporal.

## 9.2 Tiempo de respuesta

En la presente investigación se encontraron diferencias en los tiempos de respuesta de los deportistas de acuerdo con el nivel de experiencia deportiva, siendo los expertos quienes mejor desempeño tuvieron, seguidos de los intermedios y finalmente los novatos. Hallazgos que no contaron con diferencias estadísticamente significativas teniendo en cuenta el valor P obtenido en el análisis estadístico  $p > 0.05$ .

Estos resultados son consistentes con lo encontrado en otras investigaciones. Por ejemplo, Williams & Walmsley, (2000) reportaron que sujetos de élite fueron más rápidos para en tiempos de respuestas y tiempos de reacción (7). Asimismo, respecto al tiempo de respuesta, Gutierrez (2013) encontró diferencias entre esgrimistas de elite y de nivel intermedio en donde los deportistas de elite tuvieron menores tiempos, estos resultados contrastan nuestros hallazgos, ya que los esgrimistas elite mostraron tiempos de respuesta mayores a los intermedios con valores de  $822 \pm 94$  y  $798 \pm 73$  respectivamente (17).

De la misma manera los resultados de la investigación van en línea con lo encontrado Mulloy et al. (2014), quienes encontraron que no hubo diferencias significativas en el tiempo de reacción. Encontraron tiempos de reacción de  $0.21 \pm 0.11$  s en los expertos versus  $0.21 \pm 0.03$  s novato ( $p > 0.05$ ) y tiempo de movimiento de  $0.70 \pm 0.03$  s en expertos

versus  $0.69 \pm 0.09$  s en novatos ( $p > 0.05$ ) (109), sin embargo estos tiempos de respuesta y de movimiento se realizaron con un estímulo auditivo, mientras que la presente investigación tuvo un estímulo visual como desencadenante. Hagemann et al. (2009) coincidieron al encontrar que los tiempos de reacción es esgrimistas de talla mundial no muestran tiempos de respuestas menores a los de esgrimistas promedio (12). Cabe resaltar que si bien la presente investigación no se enfocó hacia los tiempos de reacción, este parámetro corresponde a uno de los componentes del tiempo de respuesta como se mencionó anteriormente (74).

Borysiuk et al. (2019) encontraron un valor de 568 ms en el tiempo de movimiento con un valor de significancia estadística ( $p = 0,046$ ) un tiempo de reacción de 173 ms para la estocada.; y teniendo en cuenta que en esta investigación no se tuvo en cuenta el tiempo de respuesta como parámetro de evaluación, pero se registraron el tiempo de movimiento y tiempo de reacción, parámetros que sumados dan lugar al tiempo de respuesta, son comparables con los resultados de esta investigación; en donde se obtuvo un valor mucho menor, lo que sugiere para este grupo de esgrimistas que la respuesta motora desde el momento de la percepción del estímulo es más rápida que la duración desde el inicio de la activación motora hasta el final del movimiento; sin embargo no encontramos un motivo atribuible a esta situación ya que aunque el estudio se realizó en mujeres, la evidencia ha sugerido que no se han encontrado diferencias en aspectos temporales respecto al género (114). los resultados obtenidos en esta investigación se evidencia un valor menor en los tiempos de respuesta de la estocada, con valores del orden de los 315.5 ms en expertos hasta 348.5 ms en novatos; valores que de por si son menores a los encontrados por Borysiunk en el parámetro de tiempo de movimiento. Cabe resaltar que en la investigación

de Borysiuk a los participantes se les deba una orden verbal para la ejecución de la estocada (108).

Los resultados de Mulloy et al. (2014) y Borysiuk et al. (2019) van en contravía a lo encontrado en otras investigaciones, en donde se han investigado parámetros temporales como el tiempo de reacción, el cual ha demostrado un menor tiempo para desencadenar una respuesta motora ante estímulos sonoros que visuales, esto debido al mayor número de sinapsis en la vía visual (115); por lo que los resultados del tiempo de respuesta deberían ser menores a los obtenidos en esta investigación; debido a que el estímulo desencadenante fue un estímulo verbal y no uno visual como en el de esta investigación.

Sorel et al. (2019) encontraron valores de tiempo de respuesta promedio de  $1.186 \pm 0.183$ , midiendo el éxito y la precisión de la estocada, con blancas condiciones de fijas, de movimiento y de incertidumbre; lo que hace que los tiempos de respuesta sean mayores a los de nuestra investigación, ya que fueron evaluados en condiciones diferentes por lo que no serían comparables. Sin embargo, son posiblemente cercanas a las acciones de combate real, por lo que se hace importante investigar estas variables en condiciones dinámicas y de incertidumbre, ya que estas se asemejan más a las condiciones reales de combate (16).

Los hallazgos obtenidos en esta investigación, donde se evidencian valores menores de tiempo de respuesta respecto a otras investigaciones pueden ser explicados teniendo en cuenta las condiciones de las pruebas realizadas por Milic et al. (2019). Estos

investigadores encontraron que el aumento en el número de alternativas de estímulo-respuesta se asoció con valores de tiempo de reacción más altos en todos los niveles de experiencias. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que independientemente del tipo de estímulo y condición experimental, para estos autores, los tiradores experimentados siempre mostraron valores de tiempo de reacción más bajos en comparación con los principiantes (72); lo que determinaría la influencia de la experiencia en la velocidad de respuesta sin importar la incertidumbre de la acción.

Con respecto a la modalidad deportiva Gutiérrez et al. (2016) quienes realizaron su investigación en floretistas, encontraron que los tiempos de respuesta aumentaban en la medida que la aparición del estímulo demoraba más, con valores que van de los 1117 ms hasta 1191 ms, los resultados del tiempo de respuesta de la presente investigación con respecto a la modalidad de florete muestran valores por debajo a lo encontrado por estos autores, esto posiblemente asociado a la duración en la aparición del estímulo visual, que en nuestra investigación fue el punto de partida para contabilizar el tiempo hasta la ejecución del gesto deportivo, y que en la investigación de Gutiérrez et al. se contabilizaba desde que el deportista se ponía en posición de guardia (116), por lo tanto ambas investigaciones no serían comparables de forma objetiva al tener diseños experimentales diferentes y que afectan directamente los resultados en miras a establecer parámetros de comparación.

### 9.3 Anticipación

Con respecto al tiempo de anticipación, nuestros hallazgos no son concluyentes debido a que, en las tres secuencias con diferentes estímulos de velocidad de 8 mph, 10 mph y 12 mph, no se evidencia mejor desempeño de un grupo con respecto a otro, según su nivel de experiencia o modalidad deportiva. Kuan et al. (2018) demostraron que los atletas tuvieron un mejor desempeño en comparación con los no atletas al reportar el número de errores al anticipar; por otro lado, los resultados de los tiempos de anticipación obtenidos en esta investigación son consistentes con nuestros hallazgos con respecto a la velocidad del estímulo, en la que no se observan mejores valores en cuanto más lento es el estímulo. Los resultados del tiempo de anticipación en atletas varían entre 90, ms y 166,1 ms; mientras que los resultados de esta investigación varían entre los 59,ms y -16,5 ms para los expertos; con respecto a los novatos los hallazgos en esta investigación muestran valores entre los -17,5 ms y 45.25 ms, mientras que los resultados encontrados por Kuan et al están entre los 81,5 ms y 164,9 ms (117). Estos resultados no permiten determinar si el rendimiento es mejor respecto al otro, dado que los tiempos de ambos grupos están en rangos similares en ambas investigaciones, por lo que parece en este grupo de deportistas que la experiencia no parece ser un factor determinante en el tiempo de anticipación, pero si en la capacidad de anticipar.

Es necesario tener en cuenta que la anticipación en la esgrima ha sido analizada no solamente desde los tiempos de anticipación sino también con técnicas diferentes como la oclusión. Abernethy & Zawi (2007) encontraron un mejor rendimiento de la anticipación en

expertos y atletas avanzados que en no atletas (118), al igual que Hagemann (2009), quien demostró mediante técnicas de oclusión temporal, que los expertos mostraron un mejor rendimiento, obteniendo una media de 52,6% de respuestas correctas, seguidos por el grupo avanzado con 47,0% y los novatos con 40,1%. Asimismo, Allerdissen et al. (2017) encontraron resultados consistentes de que el rendimiento de predicción de los expertos fue cualitativamente diferente al de los novatos, sin embargo en esta investigación no se realizó una medición del tiempo de anticipación sino se determinó la capacidad de anticipar con técnicas de oclusión (5). Sin embargo, esta información no es extrapolable ni comparable debido a la metodología utilizada en estas investigaciones, ya que en esta investigación se usó el tiempo de anticipación como medida para determinar el desempeño entre los diferentes grupos, de acuerdo con el nivel de experiencia y modalidad deportiva.

Hijazi (2013) determinó una importante relación entre la anticipación a los movimientos del oponente con la visión; al establecer que es uno de los aspectos fundamentales junto con las evaluaciones de distancia y la concentración visual, ya que proporcionan al tirador una valiosa retroalimentación que le permiten emplear una estrategia de cambio de visión focal a visión ambiental y viceversa, las cuales mejoran la capacidad de reaccionar a las señales iniciales y anticipar las acciones del oponente (20). Sin embargo, aunque en esta investigación fueron los expertos quienes mayor porcentaje tuvieron en las zonas de interés, no mostraron un mejor desempeño en la anticipación respecto a los intermedios y novatos; por lo que no se encuentra una aparente relación entre el desempeño visual y la capacidad de anticipar.

## 9.4 Fijaciones visuales

Con respecto a las fijaciones visuales los hallazgos de esta investigación demostraron que independientemente del nivel de experiencia y la modalidad deportiva, estas se concentran en un mayor porcentaje en la zona de tronco y miembros superiores, seguidos de la cabeza y miembros inferiores; aunque al realizar el análisis por modalidad se lograron identificar diferencias significativas, lo que muestra que las zonas de interés evidencian una clara relación con las zonas de puntuación por cada modalidad.

Con respecto al nivel de experiencia deportiva, los resultados concuerdan con lo encontrado por Hagemann et al. (2009), en el que concluyeron que, debido a la rapidez de los movimientos de la esgrima, se espera que el reconocimiento temprano del área objetivo del ataque de un oponente sea un factor clave para el éxito.

Esto se confirmó en las diferencias encontradas en los movimientos oculares entre expertos, avanzados y novatos, donde los expertos se fijaron más tiempo que el grupo avanzado y los novatos en la región superior del tronco, mientras que los novatos se fijaron significativamente más en la parte superior de las piernas que los expertos o el grupo avanzado. Además, los expertos tuvieron tiempos de fijación mayores a los novatos (12). Russo & Ottoboni (2019) también encontraron que los esgrimistas expertos concentran sus fijaciones en las zonas superiores del cuerpo, es decir, la cabeza, los brazos y el tronco, mientras que los novatos observaban más las partes inferiores (14). Lo que

confirma que según el nivel de formación hay diferencias entre las zonas de fijación, lo que posiblemente se relaciona con la habilidad en el deporte asociada a la experiencia.

En otras disciplinas de combate sus resultados revelan que la búsqueda visual de un experto se caracteriza por pocas, pero fijaciones de mayor tiempo, y que se centra más en el tronco y el rostro del oponente que en el resto del cuerpo, por otro lado los novatos tenían muchas pero breves fijaciones que se dirigían intensamente hacia la región del brazo del oponente (37); en taekwondo en donde en ambos deportes las zonas de puntuación coinciden con las de la esgrima, los resultados son similares a nuestros hallazgos, en donde expertos fijaban más tiempo su mirada en el torso, sin embargo, en taekwondo los novatos localizaron mucho más tiempo la mirada en las piernas; en esgrima los novatos tuvieron mayor porcentaje de fijaciones en miembros inferiores respecto a los intermedios y expertos, pero fue el tronco el área donde se concentraron sus fijaciones (119).

En relación a los dispositivos usados para la medición, Mann et al. (2007) en su investigación determinaron la importancia del uso de dispositivos de tracking visual en deportes de combate, debido a que es una forma eficiente para extraer información del oponente, ya que un elevado número de fijaciones supone la presencia de un mayor número de movimientos sacádicos los cuales permiten cambios rápidos en la mirada para extraer una mayor información visual; lo que permitiría identificar mejor patrones de fijación, respuesta al estrés, caracterizar la población, etc (103). Butler et al. (2008) señalan que la mayoría de las teorías cognitivas que explican la percepción visual, consideran que

esta es más eficiente y más rápida cuando la memoria óptica y el almacenamiento de datos de los estímulos se da de forma adecuada, ya que puede influir en otros procesos cognitivos, ya que la percepción visual se superpone e interactúa con otros aspectos de cognición (120); esto permitiría a los deportistas tener un mejor desempeño en modalidades deportivas en las cuales estén involucrados otros aspectos de la cognición como la toma de decisiones, memoria de trabajo, entre otros.

Respecto a la variabilidad de los movimientos oculares, los resultados obtenidos mostraron que, si bien los valores no representaban una variabilidad alta, los valores más altos de variabilidad se presentaron en el eje Y; asumimos que este comportamiento se daba debido a que la figura humana, y el interés del tirador en detectar las zonas de interés en su oponente requiere un mayor desplazamiento en el eje Y para realizar desplazamientos visuales que van desde la cabeza hasta los miembros inferiores, mientras que en el eje X los desplazamientos tienden a ser menores.

La recolección de la información de otras investigaciones y el contraste con la presente investigación muestra la ausencia de segmentación por modalidades en las investigaciones en esgrima, las cuales permitan una mayor discusión de los resultados, por lo tanto, es importante tener en cuenta esto en futuras investigaciones en aspectos relacionados a la esgrima. Por otro lado, la mayoría de las investigaciones incluidas resaltan la importancia de la experiencia en un mayor rendimiento en torno a habilidades cognitivo-perceptuales y el gesto deportivo.

# 10. Conclusiones y recomendaciones

## 10.1 Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados se encontraron las siguientes conclusiones:

Con respecto a las fijaciones visuales, anticipación y tiempos de respuesta relacionados con la modalidad y la experiencia deportiva, encontramos que son factores influyentes en el desempeño de los deportistas. Las fijaciones oculares y el nivel de experiencia mostraron que los esgrimistas expertos tuvieron mayor porcentaje de fijaciones dentro del área de interés con un valor de 12%, lo que representa mayor porcentaje en las zonas donde puntuar en su contrincante, a diferencia de los novatos e intermedios quienes centran su atención en otros aspectos ambientales que pueden no tener importancia para el desarrollo del combate, con valores de 23% y 15% respectivamente. En los tiempos de respuesta, mientras más rápida se dé la respuesta ante un estímulo mayor probabilidad de puntuar que el oponente, por lo que los tiradores expertos tuvieron un mejor desempeño durante la evaluación de esta habilidad con un valor de 316 ms, a diferencia de los novatos

que alcanzaron un valor de 348 ms. Por lo tanto, tener en cuenta el desarrollo de las habilidades cognitivo-perceptuales debe prepararse desde los entrenamientos en donde se da más preponderancia a la forma física y la ejecución del gesto motor. Con respecto a la anticipación, fueron los novatos en términos generales quienes mostraron un mejor desempeño respecto a los expertos y los intermedios, al tener valores entre los -17 ms hasta 45 ms. Los resultados de fijaciones visuales y tiempo de respuesta concuerdan con lo encontrado en la literatura, sin embargo, los resultados de anticipación muestran un comportamiento contrario.

En la cinemática angular del gesto de estocada de acuerdo con la modalidad y la experiencia deportiva, se evidencio que existen variaciones en los ángulos y velocidades angulares durante la ejecución del gesto deportivo en las articulaciones de hombro, codo, tronco, cadera y rodilla; sin embargo, existe un patrón en la ejecución de este. Por otro lado, se encontraron aspectos relevantes en la ejecución de la estocada, como la extensión de la rodilla en donde los deportistas de élite tuvieron un mayor rango de movimiento 180° que los intermedios 142° y novatos 132°; y que según los hallazgos de otras investigaciones están relacionados con el rendimiento de esta disciplina, al ser un elemento importante en la propulsión para la ejecución del gesto. Con respecto a la modalidad fueron las modalidades de espada y sable quienes mayores valores en la extensión de rodilla mostraron, sin embargo, estos resultados pueden ser atribuidos a que fueron los floretistas con el menor número de participantes en el estudio y en su mayoría fueron clasificados como novatos e intermedios.

La accesibilidad de sistemas de reconocimiento de movimiento y de visión artificial en el análisis biomecánico, abre la posibilidad de ser utilizado como método de control y determinante de factores de riesgo en la ejecución del gesto deportivo de diferentes disciplinas deportivas, así como determinar variables asociadas al desempeño experto que permite el entrenamiento de los deportistas que requieren el perfeccionamiento del gesto deportivo con el objetivo de mejorar su rendimiento deportivo.

En análisis conjunto entre la modalidad deportiva y los niveles de experiencia de la población participante, y su relación con las habilidades cognitivo-perceptuales de percepción visual, anticipación y tiempos de respuesta; no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, en el análisis diferenciado por modalidad deportiva y por experiencia, se logró evidenciar la relación de las variables anteriormente mencionadas, puesto que el análisis por modalidad y experiencia deportiva no tenía la suficiente población para obtener diferencias estadísticamente significativas. Por lo tanto, es importante que en futuras investigaciones se obtenga una mayor población con una distribución simétrica entre los niveles de experiencia y modalidad deportiva, que muestren resultados más concluyentes.

Esta investigación permite un primer acercamiento a caracterizar un grupo de deportistas de una disciplina relativamente nueva en el país, y que al no ser un deporte con alta demanda de practicantes no ha tenido la suficiente atención en el campo de la investigación, que permita establecer una línea de base de la forma deportiva de

esgrimistas colombianos con respecto a deportistas de otros países, donde el desarrollo de la disciplina lleva mayor tiempo. Además de esto, en esta investigación se resalta la importancia de otro tipo de habilidades en los deportistas como lo son las habilidades cognitivo-perceptuales para cierto tipo de disciplinas como la esgrima, ya que la mayor parte de investigaciones se enfocan a las habilidades físicas y su influencia en el rendimiento; lo cual abre la puerta a prestar una mayor atención a otros aspectos que podrían influir y conllevar al deportista a tener un mejor desempeño durante la competencia.

## **10.2 Recomendaciones**

De acuerdo con esta experiencia investigativa se dan recomendaciones a futuro para próximas investigaciones. Como se pudo observar en nuestra investigación es relevante que las investigaciones en esgrima se realicen de forma diferenciada de acuerdo con la modalidad deportiva y de forma comparativa, de modo que se permitan conocer aspectos específicos de cada una de estas subdisciplinas.

Esta investigación abre las puertas para que se visualice la importancia de realizar una evaluación, entrenamiento de las habilidades cognitivo-perceptuales y un posterior seguimiento en disciplinas de combate, que integre otras especialidades en torno al deporte, que permitan obtener mejores resultados en las competencias en las que participen los esgrimistas adscritos a la Federación Colombiana de Esgrima.

Respecto a la fisioterapia se recomienda el uso de metodologías innovadoras de evaluación del gesto deportivo, como los sistemas de visión artificial, con el objetivo de utilizarlo como predictores de riesgo de lesión asociados a la mecánica durante la ejecución del gesto deportivo y potenciación del mismo.

Por otro lado, se recomienda que las pruebas se asemejen lo más posible a las condiciones reales de combate, esto incluye el espacio, uso de la indumentaria del deportista y grabaciones del gesto deportivo en condiciones de combate que no limiten el desempeño del deportista, sino que por el contrario permita tener un mayor entendimiento de los aspectos relevantes de la disciplina con miras a redireccionar los entrenamientos. Asimismo, se resalta la importancia del uso de tecnologías en los procesos de evaluación de los deportistas, y la correlación con aspectos que podrían influir en el desempeño del mismo, con el objetivo de direccionar los procesos de formación y entrenamiento con miras a potenciar el rendimiento personal y los altos logros de los deportistas nacionales en las competencias internacionales.

## 11. Limitaciones del estudio

Dentro de la presente investigación se contemplaron los siguientes sesgos:

- **Sesgo de inclusión:** Al ser un muestreo de tipo no probabilístico en donde la inclusión de la población se realizó a conveniencia, el número de participantes puede no ser suficiente para que los resultados sean extrapolables y permitan establecer parámetros de comparación; sin embargo, permite proyectar futuras investigaciones.
- **Sesgo de información:** Existen elementos que pudieron influir para que las mediciones no fueran más precisas, el espacio en donde se realizaron las mediciones no se asemeja con el campo en donde se llevan a cabo los combates de la esgrima, además existían elementos del entorno que pudieron ser distractores o barreras para los deportistas. Además de esto el uso de una sola cámara para las grabaciones del gesto deportivo en un solo plano de movimiento podría representar que no se tengan los datos con suficiente precisión.
- **Sesgo de medición:** Con el objetivo de disminuir el sesgo en las mediciones, se contó con equipos validados y calibrados; el evaluador realizó un entrenamiento en el uso del equipo. En la presente investigación

se utilizaron estrategias de medición que no han sido clasificadas como pruebas “gold estándar”, sin embargo, las herramientas de medición son alternativas a la que se reportan en la literatura ya que se buscó la manera de adaptarlas a las condiciones específicas de disciplina, además de las variables estudiadas tiene una adecuada validez para determinar aspectos de rendimiento en el gesto deportivo y en las variables temporales medidas. Por otro lado, los comandos verbales pudieron limitar el desempeño de los deportistas en las pruebas de tiempo de respuesta y anticipación.

- **Sesgo durante la etapa de análisis:** La metodología de análisis de los datos de la presente investigación, fue insuficiente, por lo que se podría complementar con otros análisis como análisis de fractales o un análisis multivariado

# **A. Anexo: Consentimiento informado deportista**

Para los deportistas participantes en el proyecto de investigación: “Caracterización de habilidades cognitivo-perceptuales y análisis biomecánico en esgrimistas de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva”

## **Investigadores Principales**

María del Pilar Gil Cifuentes, Erica Mancera Soto, David Felipe Tangarife Zuluaga.  
Universidad Nacional de Colombia

Este documento de consentimiento informado tiene dos partes: I. Información, II. Formulario de consentimiento. Se le enviará una copia escaneada de este documento completo firmado a su correo electrónico.

## **I. INFORMACIÓN**

Éste es un documento llamado Consentimiento, en el que usted acepta participar en el estudio y nosotros como Grupo de Investigación, conformado por profesionales de las áreas de fisioterapia, nos comprometemos a garantizar las condiciones descritas en detalle a continuación. Este proyecto cuenta con aprobación del comité de ética de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.

### **Objetivo**

Caracterizar y determinar las diferencias habilidades de percepción de estímulos, su respuesta ante los mismos y el desempeño biomecánico en esgrimistas pertenecientes a la Federación Colombiana de Esgrima de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva.

### **Justificación**

La importancia de este trabajo radica en la escasa información relacionada con este deporte y sus diferentes modalidades deportivas. En los deportes de combate son de gran importancia diversas habilidades en relación con la percepción de estímulos del entorno y del rival, la capacidad de predecir sus ataques, y una impecable ejecución del gesto deportivo, con el objetivo de lograr un óptimo rendimiento. Por lo tanto, establecer parámetros de rendimiento con población colombiana permitirá enfocar el entrenamiento con el fin de obtener logros deportivos.

### **Procedimientos del estudio**

En el momento de ingresar al laboratorio se realizarán los siguientes procedimientos:

1. Historia clínica: El deportista deberá diligenciar un documento donde reporte antecedentes médicos, personales y de su vida deportiva.
2. La evaluación se realizará en el laboratorio de fisiología del ejercicio de la universidad nacional donde se medirá la anticipación y velocidad de reacción durante el gesto deportivo, además del seguimiento visual. El tiempo estimado de la prueba es de 20 minutos y deberá utilizar los elementos de protección de su deporte en todo momento.

### **Descripción del estudio**

Participara en la investigación si accede a firmar el consentimiento informado para una segura participación en esta investigación. Se le realizarán una serie de evaluaciones, con el fin de medir la capacidad de anticipar, la velocidad de reacción, los movimientos oculares

y se realizara una grabación videográfica durante la ejecución del gesto deportivo para su posterior análisis.

Al ingresar al laboratorio se le pondrán unas gafas que deberá utilizar durante todas las pruebas. En la primera prueba se enfrentará a un compañero en un combate durante un minuto. Después deberá ponerse al frente de un equipo que emite unas luces en donde deberá realizar una estocada para detener la luz en un punto señalado en el equipo. Finalmente, otra vez de pie en frente al equipo deberá realizar una estocada en el momento que vea que se encienden las luces.

### **MOLESTIAS Y RIESGOS DURANTE SU PARTICIPACIÓN**

Esta es una investigación de riesgo mínimo, lo que significa que durante la realización de las pruebas se pueden presentar algunos riesgos, aunque es poco probable que suceda. Entre estos riesgos está una lesión propia de la práctica deportiva y/o durante la ejecución del gesto. Sin embargo, se garantizarán todas las precauciones para minimizar que ocurra. Se contará con personal entrenado disponible para hacer frente a estas situaciones en el caso de que se produzcan.

### **PARTICIPACIÓN / RETIRADA VOLUNTARIA DEL ESTUDIO**

Su participación es voluntaria y en el caso de que decida retirarse no conllevará ningún tipo de penalización. Así mismo, usted podrá ser retirado del estudio, sin su consentimiento, si el investigador lo considera, se consignará detalladamente la causa.

### **PREGUNTAS E INFORMACIÓN**

Cualquier nueva información referente a las pruebas realizadas, será debidamente explicada. En caso de dudas sobre el estudio, podrá contactar con los investigadores María del Pilar Gil, [dmgilc@unal.edu.co](mailto:dmgilc@unal.edu.co) Teléfono celular: 3133512856, Erica Mancera Soto,

emmanceras@unal.edu.co. Teléfono celular: 3105703280 o David Tangarife Zuluaga  
dftangarifez@unal.edu.co teléfono celular: 3102161304.

## **CONFIDENCIALIDAD Y PRIVACIDAD**

Los resultados de las mediciones se manejarán de forma confidencial, y se dedicarán exclusivamente al estudio de los parámetros mencionados.

La información, los datos y resultados obtenidos del estudio, serán utilizados para la presente investigación y así mismo, si usted lo autoriza, para proyectos futuros de investigación que cuenten con el aval del Comité de Ética de la Facultad de Medicina. Autorizo la utilización de estos datos para una futura investigación SI\_\_\_ NO\_\_\_

En todo momento se protegerá la identidad de los participantes. Así mismo a estos datos tendrán acceso exclusivo los investigadores del estudio.

He leído y comprendido este documento y no tengo ninguna duda con respecto a su contenido, puesto que he tenido la oportunidad de preguntar y ser debidamente informado. Y consiento voluntariamente mi participación, además entiendo que tengo derecho a retirarme de la investigación en cualquier momento.

## **II. FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Yo \_\_\_\_\_ acepto mi participación de en la investigación aquí mencionada y de acuerdo con las condiciones expuestas anteriormente.

Firma: \_\_\_\_\_

Correo Electrónico: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

**Testigo**

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**Investigador**

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

## **B. Anexo: Consentimiento informado representante legal del menor**

Para los padres o representantes legales de niños y adolescente participantes en el proyecto de investigación: “Caracterización de habilidades cognitivo-perceptuales y análisis biomecánico en esgrimistas de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva”

### **Investigadores Principales**

María del Pilar Gil Cifuentes, Erica Mancera Soto, David Felipe Tangarife Zuluaga.  
Universidad Nacional de Colombia

Este documento de consentimiento informado tiene dos partes: I. Información, II. Formulario de consentimiento. Se le enviará una copia escaneada de este documento completo firmado a su correo electrónico.

### **I. INFORMACIÓN**

Éste es un documento llamado Consentimiento, en el que usted permite a su hijo o representado legal participar en el estudio y nosotros como Grupo de Investigación, conformado por profesionales de las áreas de fisioterapia, nos comprometemos a

garantizar las condiciones descritas en detalle a continuación. Este proyecto cuenta con aprobación del comité de ética de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.

### **Objetivo**

Caracterizar y determinar las diferencias habilidades de percepción de estímulos, su respuesta ante los mismos y el desempeño biomecánico en esgrimistas pertenecientes a la Federación Colombiana de Esgrima de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva.

### **Justificación**

La importancia de este trabajo radica en la escasa información relacionada con este deporte y sus diferentes modalidades deportivas. En los deportes de combate son de gran importancia diversas habilidades en relación con la percepción de estímulos del entorno y del rival, la capacidad de predecir sus ataques, y una impecable ejecución del gesto deportivo, con el objetivo de lograr un óptimo rendimiento. Por lo tanto, establecer parámetros de rendimiento con población colombiana permitirá enfocar el entrenamiento con el fin de obtener logros deportivos.

### **Procedimientos del estudio**

Todos los procedimientos descritos a continuación serán realizados en presencia de los padres y/o del representante legal del menor de edad. En el momento de ingresar al laboratorio se realizarán los siguientes procedimientos:

1. Historia clínica: El deportista deberá diligenciar con su ayuda en caso de ser necesaria un documento donde reporte antecedentes médicos, personales y de su vida deportiva.
2. La evaluación se realizará en el laboratorio de fisiología del ejercicio de la universidad nacional donde se medirá la anticipación y velocidad de reacción durante el gesto deportivo, además del seguimiento visual. El tiempo estimado de la prueba es de 20 minutos y deberá utilizar los elementos de protección de su deporte en todo momento.

### **Descripción del estudio**

En el estudio participarán deportistas menores de edad cuyos padres o representantes legales firmen el consentimiento informado y el deportista que asienta participar; para una segura participación del deportista en esta investigación. Se realizarán una serie de evaluaciones, con el fin de medir la capacidad de anticipar, la velocidad de reacción, los movimientos oculares y se realizara una grabación videográfica durante la ejecución del gesto deportivo para su posterior análisis.

Al ingresar al laboratorio se le pondrán a su hijo o representado legal unas gafas que deberá utilizar durante todas las pruebas. En la primera prueba se enfrentará a un compañero en un combate durante un minuto. Después deberá ponerse al frente de un equipo que emite unas luces en donde deberá realizar una estocada para detener la luz en un punto señalado en el equipo. Finalmente, otra vez de pie en frente al equipo deberá realizar una estocada en el momento que vea que se encienden las luces.

### **MOLESTIAS Y RIESGOS DURANTE SU PARTICIPACIÓN**

Esta es una investigación de riesgo mínimo, lo que significa que durante la realización de las pruebas se pueden presentar algunos riesgos, aunque es poco probable que suceda. Entre estos riesgos está una lesión propia de la práctica deportiva y/o durante la ejecución del gesto. Sin embargo, se garantizarán todas las precauciones para minimizar la que ocurra. Se contará con personal entrenado disponible para hacer frente a estas situaciones en el caso de que se produzcan.

### **PARTICIPACIÓN / RETIRADA VOLUNTARIA DEL ESTUDIO**

La participación de su hijo(a) o representado legal es voluntaria y en el caso de que decida retirarse no conllevara ningún tipo de penalización. Así mismo, su hijo(a) podrá ser retirado(a) del estudio, sin su consentimiento, si el investigador lo considera, se consignará detalladamente la causa.

### **PREGUNTAS E INFORMACIÓN**

Cualquier nueva información referente a las pruebas realizadas, será debidamente explicada. En caso de dudas sobre el estudio o los derechos de su hijo(a) o representado legal, podrá contactar con los investigadores María del Pilar Gil, [dmgilc@unal.edu.co](mailto:dmgilc@unal.edu.co) Teléfono celular: 3133512856, Erica Mancera Soto, [emmanceras@unal.edu.co](mailto:emmanceras@unal.edu.co). Teléfono celular: 3105703280 o David Tangarife Zuluaga [dftangarifez@unal.edu.co](mailto:dftangarifez@unal.edu.co) teléfono celular: 3102161304.

## **CONFIDENCIALIDAD Y PRIVACIDAD**

Los resultados de las mediciones se manejarán de forma confidencial, y se dedicarán exclusivamente al estudio de los parámetros mencionados.

La información, los datos y resultados obtenidos del estudio, serán utilizados para la presente investigación y así mismo, si usted lo autoriza, para proyectos futuros de investigación que cuenten con el aval del Comité de Ética de la Facultad de Medicina. Autorizo la utilización de estos datos para una futura investigación SI\_\_\_ NO\_\_\_

En todo momento se protegerá la identidad de los participantes. Así mismo a estos datos tendrán acceso exclusivo los investigadores del estudio.

He leído y comprendido este documento y no tengo ninguna duda con respecto a su contenido, puesto que he tenido la oportunidad de preguntar y ser debidamente informado. Y consiento voluntariamente mi participación, además entiendo que tengo derecho a retirarme de la investigación en cualquier momento.

## **II. FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Yo \_\_\_\_\_ (Nombre del padre/madre o representante legal) acepto la participación de mi hijo/a (nombre del niño/a o adolescente participante) \_\_\_\_\_ en la investigación aquí mencionada y de acuerdo a las condiciones expuestas anteriormente.

Firma: \_\_\_\_\_ Correo Electrónico: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

**Testigo**

Nombre: \_\_\_\_\_  
Firma: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_

**Investigador**

Nombre: \_\_\_\_\_  
Firma: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_

## **C. Anexo: Asentimiento informado deportista menor de edad**

Para los niños y adolescente participantes en el proyecto de investigación:  
“Caracterización de habilidades cognitivo-perceptuales y análisis biomecánico en esgrimistas de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva”

### **Investigadores Principales**

María del Pilar Gil Cifuentes, Erica Mancera Soto, David Felipe Tangarife Zuluaga.  
Universidad Nacional de Colombia

Este documento de asentimiento informado tiene dos partes: I. Información, II. Formulario de consentimiento. Se enviará una copia escaneada de este documento completo firmado a tu correo electrónico.

## **I. INFORMACIÓN**

Éste es un documento llamado asentimiento, en el que aceptas participar en esta investigación y nosotros como Grupo de Investigación, conformado por profesionales de las áreas de fisioterapia, nos comprometemos a garantizar las condiciones que serán descritas a continuación. Este proyecto cuenta con aprobación del comité de ética de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.

### **Objetivo**

Caracterizar y determinar las diferencias habilidades de percepción de estímulos, su respuesta ante los mismos y el desempeño biomecánico en esgrimistas pertenecientes a la Federación Colombiana de Esgrima de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva.

### **Justificación**

La importancia de este trabajo radica en la escasa información relacionada con este deporte y sus diferentes modalidades deportivas. En los deportes de combate son de gran importancia diversas habilidades en relación con la percepción de estímulos del entorno y del rival, la capacidad de predecir sus ataques, y una impecable ejecución del gesto deportivo, con el objetivo de lograr un óptimo rendimiento. Por lo tanto, establecer parámetros de rendimiento con población colombiana permitirá enfocar el entrenamiento con el fin de obtener logros deportivos.

### **Procedimientos del estudio**

En el momento de ingresar al laboratorio se realizarán los siguientes procedimientos:

1. Historia clínica: Deberás diligenciar un documento donde reporte antecedentes médicos, personales y de su vida deportiva.
2. La evaluación se realizará en el laboratorio de fisiología del ejercicio de la universidad nacional donde se medirá la anticipación y velocidad de reacción durante el gesto deportivo, además del seguimiento visual. El tiempo estimado de la prueba es de 20 minutos y deberá utilizar los elementos de protección de su deporte en todo momento.

### **Descripción del estudio**

Podrás participar en este estudio si tus padres autorizan tu participación y si tú también aceptas participar. Te realizaremos tres sencillas evaluaciones, con el fin de medir tu capacidad de anticipar, la velocidad de reacción, los movimientos oculares y se realizará una grabación videográfica para su posterior análisis.

Al ingresar al laboratorio te pondremos unas gafas que deberás utilizar durante todas las pruebas. En la primera prueba debes enfrentarte a un compañero en un combate durante un minuto. Después deberás ponerte al frente de un equipo que emite unas luces en donde deberás realizar una estocada para detener la luz en un punto señalado en el equipo. Finalmente, otra vez de pie en frente al equipo deberás realizar una estocada en el momento que veas que se encienden las luces.

### **MOLESTIAS Y RIESGOS DURANTE SU PARTICIPACIÓN**

Esta es una investigación de riesgo mínimo, lo que significa que durante la realización de las pruebas se pueden presentar algunos riesgos, aunque es poco probable que suceda. Entre estos riesgos está una lesión propia de la práctica deportiva y/o durante la ejecución de tu gesto deportivo. Sin embargo, se garantizarán todas las precauciones para minimizar la que ocurra. Se contará con personal entrenado disponible para hacer frente a estas situaciones en el caso de que se produzcan.

### **PARTICIPACIÓN / RETIRADA VOLUNTARIA DEL ESTUDIO**

Tu participación es voluntaria y en el caso de que decidas retirarte no habrá problema. También podrás ser retirado de la investigación sin tu consentimiento, si el investigador lo considera, se consignará detalladamente la causa.

### **PREGUNTAS E INFORMACIÓN**

Cualquier nueva información referente a las pruebas realizadas, será debidamente explicada. En caso de dudas sobre el estudio, podrá contactar con los investigadores María del Pilar Gil, [dmgilc@unal.edu.co](mailto:dmgilc@unal.edu.co) Teléfono celular: 3133512856, Erica Mancera Soto,

emmanceras@unal.edu.co. Teléfono celular: 3105703280 o David Tangarife Zuluaga  
dftangarifez@unal.edu.co teléfono celular: 3102161304.

### **CONFIDENCIALIDAD Y PRIVACIDAD**

Los resultados de las mediciones se manejarán de forma confidencial, y se dedicarán exclusivamente al estudio de los parámetros mencionados.

La información, los datos y resultados obtenidos del estudio, serán utilizados para la presente investigación y así mismo, si lo autorizas, para proyectos futuros de investigación que cuenten con el aval del Comité de Ética de la Facultad de Medicina. Autorizo la utilización de estos datos para una futura investigación SI\_\_\_ NO\_\_\_

En todo momento se protegerá la identidad de los participantes. Así mismo a estos datos tendrán acceso exclusivo los investigadores del estudio.

He leído y comprendido este documento y no tengo ninguna duda con respecto a su contenido, puesto que he tenido la oportunidad de preguntar y ser debidamente informado. Y consiento voluntariamente mi participación, además entiendo que tengo derecho a retirarme de la investigación en cualquier momento.

### **II. FORMULARIO DE ASENTIMIENTO INFORMADO**

Nombre del acudiente o adulto responsable: \_\_\_\_\_

Relación o Parentesco: \_\_\_\_\_

Si quieres y decides participar en este estudio, te vamos a pedir el favor que contestes una serie de preguntas que te realizaremos los investigadores.

¿Estoy obligado(a) a participar en este estudio?

No, es una decisión tuya. Si no quieres participar no habrá ningún problema con tu entrenador, profesor(a), ni con tus amigos, ni con tus padres.

Acuérdate que tú eres el único que decide si quieres participar y nadie se enojará contigo si no quieres o más adelante cambias de opinión y no quieres seguir, esto me lo puedes decir y finalizará el cuestionario.

En este momento puedes hacer cualquier pregunta que tengas acerca del estudio. Si se te olvida preguntar algo o te acuerdas de algo después, me puedes preguntar la siguiente vez que me veas o me puedes llamar al 3102161304

La firma de tu nombre de este formulario significa que estás de acuerdo con participar en este estudio. Tú y tus padres o responsables recibirán una copia al correo de este formulario después de que lo hayas firmado.

Recuerda que en cualquier momento puedes decidir no llenarla más.

**Tu nombre:** \_\_\_\_\_

**Tu Firma:** \_\_\_\_\_ **Fecha de hoy:** \_\_\_\_\_

## **D. Anexo: Protocolo de evaluación**

Para la evaluación de los esgrimistas se citan a los deportistas de a parejas al laboratorio de fisiología del ejercicio, de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia. Los esgrimistas deben asistir en compañía de un adulto responsable en caso de ser menores de edad.

Inicialmente se socializa con los deportistas el consentimiento informado en donde se les explican los objetivos de investigación, las pruebas a realizar y los posibles riesgos a los que podrían verse expuestos realizando las evaluaciones. Se procede a la firma del consentimiento y asentimiento informado de las personas interesadas en participar en la investigación y se inicia con un registro inicial en donde se preguntan datos personales, sociodemográficos, antecedentes médicos y de lesiones deportivas y de vida deportiva.

Se inicia mostrando a los participantes los equipos, explicándoles el uso de cada uno, el bassin anticipator timer sirve para la medición de la velocidad de reacción y el tobbi glases eye tracker para el registro de los movimientos oculares.

Se procede pidiéndole a cada uno de los participantes que se vistan con el equipo deportivo, sin utilizar la careta. Y nuevamente se explican las pruebas con los equipos de la siguiente manera:

- Con estas gafas se van a registrar los movimientos oculares en un combate uno a uno durante un minuto, y adicionalmente se van a mirar en la prueba de velocidad de reacción y anticipación. Para iniciar con el registro de las pruebas se debe realizar una calibración y la manipulación del equipo va a estar a cargo únicamente del evaluador.
  - Para la prueba de anticipación tenemos el bassin, el objetivo es intentar detener la luz que se activa secuencialmente justo cuando llegue al bombillo señalado (el bombillo tiene una marca blanca), cortando el haz de luz imaginario que se encuentra entre el sensor y el reflector realizando un movimiento de estocada de acuerdo con la modalidad deportiva de cada uno. En la prueba de velocidad de reacción se van a encender 5 luces en un punto aleatorio de la secuencia y en el momento que se enciendan nuevamente deben realizar una estocada para cortar el haz de luz imaginario. Durante la realización de esas pruebas van a tener adheridos al cuerpo unos marcadores hechos en fomi con cinta doble faz en algunas prominencias óseas y van a estar grabados con el fin de realizar un análisis biomecánico del gesto deportivo. Para la prueba de anticipación se van a realizar 30 mediciones divididas en 3 set de 10 cada una y para la velocidad de reacción se realizan 3 set de 2 repeticiones, como el software realiza las mediciones de forma aleatoria yo les voy a indicar que prueba van a realizar. Se indica que se va a iniciar la prueba y el bombillo amarillo sirve para saber que la prueba está por empezar.
1. Se procede inicialmente ubicando un canguro el cual va a soportar y transportar el computador al cual van conectadas las gafas del Tobii Glasses eye tracker, posterior a eso se ubican las gafas en el rostro del deportista y se aprietan para evitar que se caigan con el movimiento de la persona. Se ubica al deportista frente a una pared blanca a una distancia de un metro para iniciar con la calibración,

durante este momento se le da la indicación de mirar todo el tiempo a la pared y realizar el seguimiento de una luz de un sensor IR sin mover la cabeza, sin pestañear e intentando mantener los ojos lo más abiertos posibles para evitar interferencias de las pestañas en el registro de la pupila. Se programa el equipo en una sesión nueva, se registra OK y calibrar. Se espera a que el equipo registre la posición de la pupila y se inicia con la calibración, en la pantalla del equipo aparecen ubicados en un cuadro nueve recuadros distribuidos en 3 filas de 3 columnas, estas se encuentran en color rojo y cuando se registran por medio de los movimientos oculares se convierten en un recuadro verde; se desplaza el IR desde la zona superior izquierda hacia la derecha, se baja a la siguiente fila de derecha a izquierda y nuevamente se baja a la próxima fila de izquierda a derecha hasta completar los 9 recuadros, para aceptar la calibración se deben obtener mínimo 3 estrellas en los ítems de calidad y precisión, de no ser así se procede nuevamente con la calibración hasta obtener el mínimo de estrellas recomendado en el manual de usuario.

2. Posteriormente se ubican dos deportistas de frente para iniciar con el combate uno a uno, el deportista que tiene las gafas no hará uso de la careta por lo que se le pide al contrincante tener cuidado de no realizar ataques altos que puedan generar una lesión en el deportista y/o un daño en el equipo, se les pide que se preparen y se registra en el equipo REC para iniciar a grabar, con un cronometro estándar se cuenta un minuto para que realicen el combate, al finalizar se pone STOP en el equipo y se marca SAVE AND CONTINUE.
3. Para la prueba de anticipación y velocidad de reacción se ubica al deportista frente a la secuencia de luz a una distancia de dos metros con marcadores en el hemicuerpo de su dominancia (hombro, codo, muñeca, mano, cadera, rodilla, tobillo) en donde también estará ubicada la cámara. Se procede a dar NEW en el

equipo, el cual va a perder nuevamente la calibración; en OPTIONS aparece la opción de USE CALIBRATION PREVIOS y se marca OK, en este momento el equipo está nuevamente listo para grabar y se marca REC y se oprime REC en la cámara de video ubicada lateralmente. En el computador del bassin anticipator timer se registra al usuario con el nombre acompañado de la palabra esgrima para evitar confusiones con otras mediciones realizadas, se señala la prueba de esgrima con las secuencias de velocidad de reacción y anticipación y se marca PLAY y CONTINUE, el cual se debe pulsar para desencadenar el inicio de cada repetición. Se le indica al deportista la prueba que está a punto de iniciar según corresponda anticipación o velocidad de reacción y se le indica con el comando de voz "siguiente" para registrar otra repetición hasta terminar el set, al cambiar de prueba se le indica con el comando verbal "ahora va la prueba de velocidad de reacción o anticipación" según corresponda. Al finalizar la prueba se da en el equipo STOP AND SAVE y se presiona STOP en la cámara de video también. Se registra en un formato el nombre del deportista, las sesiones de grabación que quedaron registradas, el número de memoria usada y la fecha con el fin de evitar errores al momento de realizar el análisis de la información. Se pide al siguiente deportista realizar el mismo procedimiento. La evaluación en cada deportista está estipulada para 20 minutos.

## **E. Anexo: Formato inclusión al proyecto**



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA

### FORMATO DE INCLUSIÓN AL PROYECTO

*Caracterización de habilidades cognitivo-perceptuales y análisis biomecánico en esgrimistas de acuerdo con su experiencia y modalidad deportiva*

El objetivo de este cuestionario es conocer algunos elementos de la vida deportiva y de antecedentes del deportista. Esta información se tratará de forma confidencial y se utilizará únicamente para fines académicos, y para determinar la posibilidad de participar o no dentro del presente proyecto de investigación.

#### 1. DATOS PERSONALES

Nombre		Edad	
Fecha de nacimiento		No. Documento	
Dirección residencia		Estrato	Teléfono

#### 2. ANTECEDENTES

Tipo	Si	No	¿Cuál?	
Quirúrgicos				
Farmacológicos				
Traumatológicos				
Alérgicos				
Familiares				
Enfermedad visual				
¿corregida?			Gafas	Lentes
¿Ha sufrido alguna lesión?	Si	No	¿Cuál/es ?	

¿Cuánto tiempo duro sin entrenar?		¿Tuvo rehabilitación?	Si	No
-----------------------------------	--	-----------------------	----	----

#### 3. INFORMACIÓN DEPORTIVA

Años de vida deportiva		Dominancia		Modalidad	
Tiempo entrenamiento diario		Cuantos días a la semana			

¿Ha competido?	Si	No	¿Cuántas competencias?	
Logros en competencias				
¿Practica algún otro deporte?	Si	No	¿Cuál ?	
¿Cuántas veces a la semana?		¿Cuánto tiempo?		
<i>La información que acaba de suministrar es confidencial y solo será utilizada para determinar la posibilidad de participar en el presente proyecto; por lo que pedimos información lo más veraz posible</i>				

## Bibliografía

1. Bulley C, Donaghy M. Sports physiotherapy competencies: The first step towards a common platform for specialist professional recognition. *Phys Ther Sport*. 2005;6(2):103–8.
2. Alfonso Mantilla JI. Fisioterapia Y Su Rol En El Alto Rendimiento: Una Revisión Sistemática De La Literatura. *Rev Iberoam Ciencias la Act Física y el Deport*. 2018;7(1):1–12.
3. Esgrima FC de. Aspectos influyentes del rendimiento deportivo. In: Msc Rafael Ernesto Avella. Online; 2020.
4. Meyer V, Rosnet E, Guérin V, Hornus-Dragne D, Dedieu P, Poussel M. Fencing: “En garde! Ready! Fence.” *Sci Sport* [Internet]. 2017;32(3):169–78. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2017.04.001>
5. Allerdissen M, Güldenpenning I, Schack T, Bläsing B. Recognizing fencing attacks from auditory and visual information: A comparison between expert fencers and novices. *Psychol Sport Exerc*. 2017;31:123–30.
6. Broadbent DP, Causer J, Williams AM, Ford PR. Perceptual-cognitive skill training and its transfer to expert performance in the field: Future research directions. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2015;15(4):322–31. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2014.957727>
7. Williams LRT, Walmsley A. Response timing and muscular coordination fencing: A comparison of elite and novice fencers. *J Sci Med Sport*. 2000;3(4):460–75.

8. Murgu AI. Fencing. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2006;17(3):725–36.
9. Turner A, Miller S, Stewart P, Cree J, Ingram R, Dimitriou L, et al. Strength and conditioning for fencing. *Strength Cond J*. 2013;35(1):1–9.
10. Sinclair J, Bottoms L. Gender specific ACL loading patterns during the fencing lunge: Implications for ACL injury risk. *Sci Sport [Internet]*. 2019;34(1):e31–5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2018.05.005>
11. Hammami N, Hattabi S, Salhi A, Rezgui T, Oueslati M, Bouassida A. Combat sport injuries profile: A review. *Sci Sport [Internet]*. 2018;33(2):73–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2017.04.014>
12. Hagemann N, Schorer J, Cañal-Bruland R, Lotz S, Strauss B. Visual perception in fencing: Do the eye movements of fencers represent their information pickup? *Attention, Perception, Psychophys*. 2009;71(7):1439–59.
13. Witkowski M, Tomczak M, Bronikowski M, Tomczak E, Marciniak M, Borysiuk Z. Visual Perception Strategies of Foil Fencers Facing Right- Versus Left-Handed Opponents. *Percept Mot Skills*. 2018;125(3):612–25.
14. Russo G, Ottoboni G. The perceptual – Cognitive skills of combat sports athletes: A systematic review. *Psychol Sport Exerc [Internet]*. 2019;44(April):60–78. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.05.004>
15. Williams LRT. Response Amendment in Fencing: Differences Between Elite and Novice Subjects. *Percept Mot Skills*. 2000;91(5):131.
16. Sorel A, Plantard P, Bideau N, Pontonnier C. Studying fencing lunge accuracy and response time in uncertain conditions with an innovative simulator. *PLoS One*. 2019;14(7):1–17.
17. Gutierrez Davila M, Rojas FJ, Antonio R, Navarro E. Response timing in the lunge and target change in elite versus medium-level fencers. *Eur J Sport Sci*. 2013;13(4):364–71.
18. Moore KC, Chow FME, Chow JYH. Novel lunge biomechanics in modern Sabre

- fencing. *Procedia Eng* [Internet]. 2015;112:473–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.227>
19. Chen TLW, Wong DWC, Wang Y, Ren S, Yan F, Zhang M. Biomechanics of fencing sport: A scoping review. *PLoS One*. 2017;12(2):1–22.
  20. Hijazi MMK. Attention, Visual Perception and their Relationship to Sport Performance in Fencing. *J Hum Kinet*. 2013;39(1):195–201.
  21. Avella RE. *Caracterizacion Deportiva*. 2015. p. 14.
  22. Groot AD de. *Thought and choice in chess*. Mouton. Netherlands; 1965.
  23. Simon HA, Chase WG. Skill in chess. *Am Sci*. 1973;61(4):394–403.
  24. Miller GA. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev*. 1956;63(2):81–97.
  25. Ericsson KA, Smith J. Prospects and Limits of the Empirical Study of Expertise: An Introduction. In: *The perceptual organization of sound*. 1991. p. 138.
  26. Ericsson KA, Delaney PF. Long-term working memory as an alternative to capacity models of working memory in everyday skilled performance. *Psychol Rev*. 1999;102(2):211.
  27. Martínez M, Oña A, Moreno Hernández F. La anticipación en el deporte y su entrenamiento a través de preíndices. *Rev Psicol del Deport*. 1998;7(1):205–14.
  28. Piras A, Pierantozzi E, Squatrito S. Visual search strategy in judo fighters during the execution of the first grip. *Int J Sport Sci Coach*. 2014;9(1):185–97.
  29. Wang Y, Ji Q, Zhou C. Effect of prior cues on action anticipation in soccer goalkeepers. *Psychol Sport Exerc* [Internet]. 2019;43(399):137–43. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.02.001>
  30. Aglioti SM, Cesari P, Romani M, Urgesi C. Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nat Neurosci*. 2008;11:1109–1116.
  31. Malawski F, Kwolek B. Recognition of action dynamics in fencing using multimodal

- cues. *Image Vis Comput* [Internet]. 2018;75:1–10. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2018.04.005>
32. Torres Ruiz A. Análisis biomecánico de la esgrima mediante sistemas optoelectrónicos de análisis de movimiento: Estudio de caso: Deportista de alto rendimiento. *Rev Ing Biomédica*. 2007;1(2):30–9.
  33. Williams AM, Ericsson KA. Perceptual-cognitive expertise in sport: Some considerations when applying the expert performance approach. *Hum Mov Sci*. 2005;24(3):283–307.
  34. Esparza DY, Larue J. Interacciones cognitivo-motoras: El papel de la representación motora. *Rev Neurol*. 2008;46(4):219–24.
  35. Heppe H, Kohler A, Fleddermann MT, Zentgraf K. The relationship between expertise in sports, visuospatial, and basic cognitive skills. *Front Psychol*. 2016;7(JUN):1–14.
  36. Bianco V, Di Russo F, Perri RL, Berchicci M. Different proactive and reactive action control in fencers' and boxers' brain. *Neuroscience*. 2017;343:260–8.
  37. Milazzo N, Farrow D, Fournier JF. Effect of implicit perceptual-motor training on decision-making skills and underpinning gaze behavior in combat athletes. *Percept Mot Skills*. 2016;123(1):300–23.
  38. Chan JSY, Wong ACN, Liu Y, Yu J, Yan JH. Fencing expertise and physical fitness enhance action inhibition. *Psychol Sport Exerc* [Internet]. 2011;12(5):509–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.04.006>
  39. Figueira Pérez Á. La caracterización del perfil del deportista de atletismo de alto nivel. *Rev Investig en Educ* [Internet]. 2015;13(2):219–42. Available from: <http://webs.uvigo.es/reined/>
  40. Castro-Jiménez LE, Galvis-Fajardo CA. Efecto de la actividad física sobre el deterioro cognitivo y la demencia. *Rev Cuba Salud Pública*. 2018;44(3):567–90.
  41. Ntai A, Zahou F, Paradisis G, Smirniotou A, Tsolakis C. Anthropometric parameters

- and leg power performance in fencing. Age, sex and discipline related differences. *Sci Sport* [Internet]. 2017;32(3):135–43. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2016.06.011>
42. Esgrima FI de. Reglamento técnico. Generalidades y reglas comunes a las tres armas [Internet]. 2016;1–63. Available from: [http://www.fmesgrima.es/Documentos/Reglamento\\_FIE\\_TEC.pdf](http://www.fmesgrima.es/Documentos/Reglamento_FIE_TEC.pdf)
  43. COLDEPORTES I colombiano del deporte. Esgrima Espada. EscuelaVirtual de Deportes. 2009;1–61.
  44. Decathlon.es. Camisa de esgrima. 2020.
  45. Decathlon.es. Pantalón esgrima [Internet]. 2020 [cited 2020 Apr 19]. Available from: [https://www.decathlon.es/es/browse/c0-deportes/c1-esgrima/c3-pantalones/\\_/N-1yya55g](https://www.decathlon.es/es/browse/c0-deportes/c1-esgrima/c3-pantalones/_/N-1yya55g)
  46. Decathlon.es. Guante para esgrima [Internet]. 2020 [cited 2020 Apr 19]. Available from: [https://www.decathlon.es/es/browse/c0-deportes/c1-esgrima/c3-guantes/\\_/N-sbvfn](https://www.decathlon.es/es/browse/c0-deportes/c1-esgrima/c3-guantes/_/N-sbvfn)
  47. Mosqueteros. Careta para esgrima [Internet]. 2020 [cited 2020 Apr 19]. Available from: <https://mosqueteroschile.wordpress.com/2014/06/21/careta-de-espada-350n/>
  48. VA. A. La esgrima. Editorial. La Habana; 1980. 110 p.
  49. Segura JR. Esgrima clase básica [Internet]. Available from: <http://www.esgrimagranada.org/antigua/clasebase.php>
  50. Vargas C de EH. Esgrima [Internet]. blog. 2013. Available from: <http://clubesgrimahelimenasvargas.blogspot.com/2013/09/el-sable.html>
  51. Guan Y, Guo L, Wu N, Zhang L, Warburton DER. Biomechanical insights into the determinants of speed in the fencing lunge. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2018;18(2):201–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1414886>
  52. Catalunya IG de. Esgrima [Internet]. Blog de WordPress.com. [cited 2019 Apr 25]. Available from: <https://esgrimainefc.wordpress.com/home/intro/4-fondo/>

53. Iniciación a la esgrima: esgrima para todos. Apunt INICIACIÓN A LA ESGRIMA. :1–10.
54. Roi GS, Bianchedi D. The science of fencing: Implications for performance and injury prevention. *Sport Med.* 2008;38(6):465–81.
55. Shatil E. ¿El entrenamiento cognitivo y la actividad física combinados mejoran las capacidades cognitivas más que cada uno por separado? Un ensayo controlado de cuatro condiciones aleatorias entre adultos sanos. *Front Aging Neurosci.* 2013;5(8).
56. Fernández-Calvo B, Rodríguez-Pérez R, Contador I, Rubio-Santorum A, Ramos F. Efficacy of cognitive training programs based on new software technologies in patients with Alzheimer-type dementia. *Psicothema.* 2011;23(1):44–50.
57. Jackson RC, Farrow D. Implicit perceptual training: How, when, and why? *Hum Mov Sci.* 2005;24(3):308–25.
58. Rincón Álvarez GA, Hernández Suárez CA, Prada Núñez R. Influencia de los movimientos sacádicos en el rendimiento académico de estudiantes de básica primaria en situación de vulnerabilidad en la ciudad de Cúcuta. *Psicogente.* 2017;20(38):256–67.
59. Perez Godoy P. Técnica de entrenamiento visual en optometría deportiva [Internet]. 2013. Available from: <http://hdl.handle.net/2117/89477>
60. Vila-Maldonado S, Gallego NMS, Hernández JA, Jordán ORC. Patrón visual de jugadoras experimentadas de voleibol durante la acción del bloqueo. *Cult Cienc y Deport.* 2015;10(30):245–54.
61. Moreno FJ, Ávila F, Damas JS. El papel de la motilidad ocular extrínseca en deporte. Aplicación en los deportes abiertos. *Rev Mot.* 2001;75–94.
62. Borysiuk Z, Waskiewicz Z. Information Processes, Stimulation and Perceptual Training in Fencing. *J Hum Kinet.* 2008;19:63–82.
63. Erickson G. Sports Vision: Vision Care for the Enhancement of Sports

- Performance. 1st ed. Elsevier; 2007.
64. Gila L, Villanueva A, Cabeza R. Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares. *An Sist Sanit Navar*. 2009;32 Suppl 3:9–26.
  65. Tejero Gimeno P, Pastor Cerezuela G, Crespo León A. Exploración visual y movimientos oculares en conductores con distinta experiencia: una revisión. *An Psicol*. 2004;20(1):127–46.
  66. Roca A, Ford PR, McRobert AP, Williams AM. Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task. *Cogn Process*. 2011;12(3):301–10.
  67. Murgia M, Sors F, Muroi AF, Santoro I, Prpic V, Galmonte A, et al. Using perceptual home-training to improve anticipation skills of soccer goalkeepers. *Psychol Sport Exerc* [Internet]. 2014;15(6):642–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.07.009>
  68. Roca A, Ford PR, McRobert AP, Williams AM. Perceptual-cognitive skills and their interaction as a function of task constraints in soccer. *J Sport Exerc Psychol*. 2013;35(2):144–55.
  69. Williams AM, Jackson RC. Anticipation in sport: Fifty years on, what have we learned and what research still needs to be undertaken? *Psychol Sport Exerc* [Internet]. 2019;42(November 2018):16–24. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.11.014>
  70. Loffing F, Cañal-Bruland R. Anticipation in sport. *Curr Opin Psychol*. 2017;16:6–11.
  71. Runswick OR, Green R, North JS. The effects of skill-level and playing-position on the anticipation of ball-bounce in rugby union. *Hum Mov Sci* [Internet]. 2020;69(July 2019):102544. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102544>
  72. Milic M, Nedeljkovic A, Cuk I, Mudric M, García-Ramos A. Comparison of reaction time between beginners and experienced fencers during quasi-realistic fencing situations. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2019;0(0):1–26. Available from: <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1671498>

73. Lahera G, Ruiz A, Brañas A, Vicens M, Orozco A. Tiempo de reacción, velocidad de procesamiento y atención sostenida en esquizofrenia: impacto sobre el funcionamiento social. *Rev Psiquiatr Salud Ment.* 2017;10(4):197–205.
74. Maureira F, Bahamondes V V, Jesam B, Lopez R. Time or reaction and time of execution in goalkeeper of football category sub-15. *Educ Física Chile.* 2012;(270):53.62.
75. Javier Soto Rey. Evaluación Del Tiempo De Reacción En Velocistas Con Y Sin Discapacidad Auditiva [Internet]. Vol. 0, Univercidad Politecnica De Madril. 2016. Available from: [http://oa.upm.es/39691/1/JAVIER\\_SOTO\\_REY.pdf](http://oa.upm.es/39691/1/JAVIER_SOTO_REY.pdf)
76. Catalán Eslava M, González-Víllora S, Pastor-Vicedo J, Contreras Jordán O. Analysis of tactical, decisional and executional behaviour according to the level of expertise in squash. 2018;61(March):227–40.
77. Paillard T. Relationship between sport expertise and postural skills. *Front Psychol.* 2019;10(JUN).
78. Wilches DO. Que es la biomecánica y su incidencia pedagogica en la educación fisica? dialnet [Internet]. 2009;7:1–38. Available from: <file:///Users/greg/Desktop/Lab Library/Library.papers3/Articles/2009/000z/2009000z.pdf%5Cnpapers3://publication/uuid/52C55552-3291-42BF-A310-0B49139784D3>
79. Soares Leite Werlayne Stuart, traductor Sanabria Sarmiento John Jairo. Biomecánica aplicada al deporte: contribuciones, perspectivas y desafíos. *Lect Educ Física y Deport* [Internet]. 2011;11. Available from: <http://www.efdeportes.com/efd145/biomecanica-aplicada-ao-esporte.htm>
80. Dos E, Freire S. Biomecânica e educação física escolar : possibilidades de aproximação. *Rev Mackenzie Educ Física e Esporte.* 2004;3(3):107–23.
81. Acero JA. Aplicabilidad de la variabilidad en los análisis biomecánicos del gesto y el entrenamiento deportivo. Vol. 53, *Biomecanica deportiva y control del entrenamiento.* 2009. 45–88 p.

82. Estrada YC. Módulo Biomecánica: de la física mecánica al análisis de gestos deportivos [Internet]. 2018. 202 p. Available from: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12464/Obracompleta.2018Estadayisel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
83. Bottoms L, Greenhalgh A, Sinclair J. Kinematic determinants of weapon velocity during the fencing lunge in experienced épée fencers. *Acta Bioeng Biomech*. 2013;15(4):109–13.
84. Sinclair J, Bottoms L. Gender differences in the kinetics and lower extremity kinematics of the fencing lunge. *Int J Perform Anal Sport*. 2013;13(2):440–51.
85. Michaelsen AN, Cleland CL. Kinematic determinants of scoring success in the fencing flick: Logistic and linear multiple regression analysis. *PLoS One*. 2019;14(9):11–4.
86. Soriano DPP, Belloch DSL. La instrumentación en la biomecánica deportiva. *J Hum Sport Exerc online*. 2007;11(11):26–41.
87. Sanabria JJ, Archila J. Detección y análisis de movimiento usando visión artificial. *Sci Tech*. 2011;16(49):180–8.
88. Poppe R. Vision-based human motion analysis: An overview. *Comput Vis Image Underst*. 2007;108(1–2):4–18.
89. Pavlovic VI, Sharma R, Huang TS. Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: A review. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 1997;19(7):677–95.
90. Moeslund TB, Hilton A, Krüger V. A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. *Comput Vis Image Underst*. 2006;104(2-3 SPEC. ISS.):90–126.
91. Granda Vera J, Barbero Álvarez JC. Variabilidad De Movimiento Y Táctica Deportiva. Un Estudio Aplicado a Situaciones De 1 Contra 1 En Baloncesto. 1995;
92. Stergiou N, Decker LM. Human movement variability, nonlinear dynamics, and

- pathology: Is there a connection? *Hum Mov Sci* [Internet]. 2011;30(5):869–88. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2011.06.002>
93. van Emmerik REA, Ducharme SW, Amado AC, Hamill J. Comparing dynamical systems concepts and techniques for biomechanical analysis. *J Sport Heal Sci* [Internet]. 2016;5(1):3–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2016.01.013>
94. Harmenberg J, Ceci R, Barvestad P, Hjerpe K, Nystrom J. Comparison of different tests of fencing performance. *Int J Sports Med*. 1991;12(6):573–6.
95. Tobii I from. Mobile glasses light-pupil eye-tracker device [Internet]. manufactured by Tobii (Danderyd, Sweden). [cited 2020 Apr 26]. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Mobile-glasses-light-pupil-eye-tracker-device-GET-manufactured-by-Tobii-Danderyd\\_fig2\\_256420196](https://www.researchgate.net/figure/Mobile-glasses-light-pupil-eye-tracker-device-GET-manufactured-by-Tobii-Danderyd_fig2_256420196)
96. Kirazci S. Effects of verbal and visual feedback on anticipation timing. *Soc Behav Pers*. 2013;41(7):1133–40.
97. Brady F. Anticipation of coincidence, gender, and sports classification. *Percept Mot Skills*. 1996;82(3):227–39.
98. Duncan MJ, Smith M, Bryant E, Eyre E, Cook K, Hankey J, et al. Effects of increasing and decreasing physiological arousal on anticipation timing performance during competition and practice. *Eur J Sport Sci*. 2016;16(1):27–35.
99. Lafayette. Bassin anticipation timer [Internet]. 2020. Available from: <https://lafayetteevaluation.com/products/bassin-anticipation-timer>
100. Esgrima FC de. Informe de gestión. 2017. p. 1–29.
101. Sellés REC, Arbolei OC. Consideraciones a tener en cuenta para la iniciación deportiva. *EFDeportes*. 2010;14:1/1.
102. Voss MW, Kramer AF, Basak C, Prakash RS, Robert B. Are Expert Athletes 'Expert' in the Cognitive Laboratory? A Meta-Analytic Review of Cognition and Sport Expertise. *Appl Cogn Psychol* [Internet]. 2009;22(September 2007):877–95.

Available from:

[http://apps.isiknowledge.com.libproxy.wustl.edu/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=3Fk8CLaLLbb42EOOJ2i&page=1&doc=1](http://apps.isiknowledge.com.libproxy.wustl.edu/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=3Fk8CLaLLbb42EOOJ2i&page=1&doc=1)

103. Mann DTY, Williams AM, Ward P, Janelle CM. Perceptual-Cognitive Expertise in Sport : A Meta-Analysis. *J Sport Exerc Psychol.* 2007;29:457–78.
104. Vestberg T, Gustafson R, Maurex L, Ingvar M, Petrovic P. Executive functions predict the success of top-soccer players. *PLoS One.* 2012;7(4):1–5.
105. Yiou E, Do MC. In Fencing, Does Intensive Practice Equally Improve the Speed Performance of the Touche When It Is Performed Alone and in Combination With the Lunge? *Int J Sports Med.* 2000;21(2):122–6.
106. Gholipour M, Tabrizi A, Farahmand F. Kinematics Analysis of Lunge Fencing Using Stereophotogrametry. *World J Sport Sci.* 2008;1(1):32–37.
107. Morris N, Farnsworth M, Robertson D. G. E. Kinetic analysess of two fencing attacks- Lunge and Fleche. *Biomech Sport* 29. 2011;11:343–6.
108. Borysiuk Z, Markowska N, Konieczny M, Kręcisz K, Błaszczyszyn M, Nikolaidis PT, et al. Flèche versus lunge as the optimal footwork technique in fencing. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(13).
109. Mulloy F, Mullineaux DR, Irwin G. Use of the kinematic chain in the fencing attacking lunge. *Sch Sport Exerc Sci.* 2014;3–6.
110. Hassan S, Klauck J. Kinematics of lower and upper extremities motions during the fencing lunge: results and training implications. *ISBS-Conference Proc ...* [Internet]. 1998;170–3. Available from: <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/965>
111. Mukherjee M, Yentes JM. Movement variability: A perspective on success in sports, health, and life. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(3):758.759.
112. Bartlett R, Wheat J, Robins M. Is movement variability important for sports biomechanists? *Sport Biomech.* 2007;2007(2):224–43.

113. Folland JP, Allen SJ, Black MI, Handsaker JC, Forrester SE. Running Technique is an Important Component of Running Economy and Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(7):1412–23.
114. González García I, Casáis Martínez L. Análisis de las diferencias en las respuestas de reacción visual dentro del campo visual entre jugadores y jugadoras de balonmano. 2011;7(3):133–46.
115. Ashoke, B.; Skikha, D.; Sudarsan B. Reaction time With respect to the nature of stimulus and age of male subjects. *Sport Heal.* 2010;2:35–40.
116. Gutiérrez Cruz C, Rojas FJ, Gutiérrez Davila M. Effect of defence response time during lunge in foil fencing. *J Sports Sci.* 2016;34(7):651–7.
117. Kuan YM, Zuhairi NA, Manan FA, Knight VF, Omar R. Visual reaction time and visual anticipation time between athletes and non-athletes. *Malaysian J Public Heal Med.* 2018;1(1):135–41.
118. Abernethy B, Zawi K. Pickup of essential kinematics underpins expert perception of movement patterns. *J Mot Behav.* 2007;39(5):353–67.
119. Pérez R, Miguel L, Méndez P, Collado R, Manzano N. Análisis del comportamiento visual de taekwondistas de diferente nivel de Pericia. *Rev Mex Psicol.* 2013;30(1):32–40.
120. Butler PD, Silverstein SM, Dakin SC. Visual Perception and Its Impairment in Schizophrenia. *Biol Psychiatry.* 2008;64(1):40–7.