



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



USO DE VIDEO Y MACHINE LEARNING PARA EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ENTRENAMIENTOS DE LA ACTIVIDAD DEPORTIVA BALONMANO

POR

Felipe Esteban Cancino Morales

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción
para optar al título profesional de Ingeniero Civil en Telecomunicaciones.

Profesor Guía
Sergio Torres Inostroza

Concepción,
17 de diciembre de 2024

© 2024 Felipe Esteban Cancino Morales

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.

Agradecimientos

Siempre estaré profundamente agradecido con mi familia, especialmente con mis viejos y mis hermanos, quienes, aunque a veces no comprendieran del todo lo que hacía, nunca dejaron de ofrecerme su apoyo, palabras de preocupación. Su constante presencia fue un pilar fundamental para seguir adelante en mi toma de decisiones a lo largo de estos años. Que mis viejos y hermanos no duden que este logro igual es suyo.

A la Flopi, mi compañera desde el principio de este camino, que estuvo siempre dándome apoyo incondicional para cada cosa que se me ocurría, desde no ir a clases y comer hamburguesas en Chome a ir en la micro planeando irnos en verano. Todo lo que hiciste por mí tiene un lugar eterno en mi corazón. Este logro también siempre será tuyo y sé que lo sientes así. Gracias siempre.

A mis amigos y amigas, cada uno de ustedes fue parte importante en este proceso. Mis cabros del HB, viejos, actuales y tantos otros que sería imposible nombrar sin gastar página, pero al que le caiga la teja que le caiga; sepan que valoro cada palabra de aliento, cada gesto de preocupación y cada momento compartido.

Mención especial para Manuel, Benja y Joaco, que vivimos juntos toda la universidad, entrenando con Goto soñando con campeonar, estudiando, almorzando, incluso haciendo nada, de verdad fueron y son un apoyo tremendo para mí. Manuel incluso me prestó su computador durante todo un año para que pudiera avanzar en este proyecto. Amigo, te debo más de lo que puedo expresar; al Negro por unir los hilos necesarios una noche para lograr esta investigación, y a mis amigos de la universidad, Coni y Jorge, quienes hicieron que el TM se sintiera como un lugar más acogedor y motivante. de la misma forma que lo hizo Rodo en su momento.

A mi profesor guía, Sergio Torres, gracias por permitirme vincular mi carrera con el deporte, ampliando así mi forma de ver la carrera.

Finalmente, quiero reconocer a los artistas secundarios que me acompañaron este largo camino: Lost Frequencies, Fred Again, Martin Garrix. encerio que los escuche mucho.

A todos y todas, gracias de corazón.

Siempre sere un agradecido de todos por que con el tiempo entendi que:

*Tal vez me sienta solo, pero no estoy en soledad
feli*

Resumen

En la intersección de la tecnología y el deporte, esta investigación se ha enfocado en la utilización de un sistema basado en Machine Learning, utilizando el modelo YOLOv8 [1] y el software Kinovea [2], para la detección de puntos de interés enfocados a la actividad de balonmano.

El objetivo principal ha sido mejorar el rendimiento de los atletas mediante el análisis detallado de videos de entrenamiento, identificando ángulos de lanzamiento óptimos, alturas máximas de salto y patrones de movimiento que contribuyan al éxito en el campo de juego. En la primera fase de la investigación, se logró implementar y probar con éxito un sistema que analiza ángulos de lanzamiento, estableciendo un rango óptimo de 50° a 150° , lo que permitió identificar lanzamientos más efectivos en base a recomendaciones de expertos en el área. Este análisis proporcionó una base sólida para la evaluación del rendimiento de los jugadores, destacando la importancia de la biomecánica en el balonmano.

Como continuación de esta investigación, se trabajó en dos enfoques clave. El primero, sobre la Efectividad de los Rangos de Ángulos de Lanzamiento, en donde se obtuvieron ángulos ideales de 50° a 150° en el trabajo previo de PHP [3], particularmente en situaciones sin oposición. Sin embargo, se encontró que cada jugador tiene una curva ideal de lanzamiento óptimo, que varía ligeramente dentro del rango general y refleja la adaptación individual en técnica de cada individuo, como se pudo apreciar con el sujeto número 3 que obtuvo un ideal de ángulos de lanzamiento entre 100° y 165° .

El segundo enfoque, complementario al primero, se centró en la Influencia de la Posición Defensiva en la Efectividad del Lanzamiento, mostrando que solo un sujeto mantuvo una efectividad del 40% con defensa, mientras que los demás jugadores disminuyeron su precisión en estas condiciones. Estos hallazgos aportan una base sólida para ajustar estrategias defensivas y ofensivas, optimizando el entrenamiento y la toma de decisiones tácticas en situaciones de juego reales.

Abstract

At the crossroads of technology and sports, this research has focused on utilizing a system based on Machine Learning, employing the YOLOv8 model [1] and Kinovea software [2] to detect key points relevant to handball activities.

The primary goal has been to enhance athletes' performance through a detailed analysis of training videos, identifying optimal throwing angles, maximum jump heights, and movement patterns that contribute to success on the playing field. In the initial phase of the research, a system was successfully implemented and tested to analyze throwing angles, establishing an optimal range of 50° to 150° . This allowed for the identification of more effective throws based on expert recommendations in the field. This analysis provided a solid foundation for evaluating player performance, emphasizing the importance of biomechanics in handball.

As a continuation of this research, two key approaches were explored. The first focused on the Effectiveness of Throwing Angle Ranges, where ideal angles of 50° to 150° were obtained from prior PHP work [3], particularly in situations without opposition. However, it was found that each player has an optimal throwing curve that varies slightly within the general range, reflecting individual adaptations in technique. This was evident with Subject 3, who achieved ideal throwing angles between 100° and 165° .

The second approach, complementary to the first, centered on the Influence of Defensive Position on Throwing Effectiveness, revealing that only one subject maintained a 40% effectiveness under defensive pressure, while other players saw a decrease in accuracy under these conditions. These findings provide a strong basis for adjusting both defensive and offensive strategies, optimizing training and tactical decision-making in real-game situations.

Índice General

Agradecimientos	I
Resumen	III
Abstract	IV
Índice de Figuras	VIII
Índice de Tablas	XII
1. Introduccion	1
1.1. Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos	2
1.1.2. Identificacion de features de interes al Balonmano	3
1.1.3. Objetivos específicos	3
1.2. Metodología, Alcances y limitaciones	5
1.2.1. Metodología	5
1.2.2. Obtención de datos.	6
1.2.3. Poses a estimar	7
1.2.4. Alcances	7
1.2.5. Limitaciones	8
2. Marco Teórico	9
2.1. Introducción	9
2.2. Herramientas de desarrollo	10
2.2.1. Inteligencia artificial	10
2.2.2. Machine Learning	11
2.2.3. Deep Learning	11
2.2.3.1. CNN	11
2.2.4. YOLOv8	12
2.2.5. Kinovea	13
2.3. Lanzamiento de Balonmano	13
2.4. Formulas	14
2.4.1. ley del coseno	14

3. Desarrollo	15
3.1. Introducción	15
3.2. Metodo y herramientas	16
3.2.1. Set-up	17
3.3. Tablas y Figuras de resultados de investigación	18
3.3.1. Secuencia de lanzamiento en acción de salto sin oposición	18
3.3.2. Secuencia de movimientos a analizar	19
3.3.2.1. Fases de lanzamiento a analizar	19
3.3.3. Tabla resultados de lanzamiento con salto - sin oposición	20
3.3.4. Correlacion de resultados y tablas 3.2 - 3.3 de sujeto 1	21
3.3.5. Grafica relacion de los 10 intentos	25
3.3.6. Correlacion de resultados y tablas 3.4 - 3.5 de sujeto 2	27
3.3.7. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 2 sin oposición	31
3.3.8. Correlación de resultados y tablas 3.6 - 3.7 de sujeto 3	33
3.3.9. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 3 - sin oposición	37
3.3.10. Tabla resultados lanzamiento en suspensión con oposición	38
3.3.10.1. Secuencia de lanzamiento en acción de suspensión con oposición	38
3.3.11. Correlacion de resultados y tablas 3.8 - 3.9 de sujeto 1	40
3.3.12. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 1 con oposición	44
3.3.13. Correlación de resultados y tablas 3.10 - 3.11 de sujeto 2	46
3.3.14. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 2 con oposición	50
3.3.15. Correlación de resultados y tablas 3.12 - 3.13 de sujeto 3	52
3.3.16. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 3 con oposición	56
3.3.17. Comparación de resultados de los 10 intentos con y sin oposición	57
3.3.18. Curva media ideal por sujeto	60
3.4. Analisis de resultados	62
3.4.1. Analisis general para las fases de lanzamiento con y sin oposición	62
3.4.2. Analisis de influencia defensiva	64
4. Conclusiones	66
4.1. Conclusión	66
4.2. Trabajo a futuro	67
A. ANEXO: Figuras encontradas en Bibliografía o tomas propias	69
B. ANEXO: Código	70

C. ANEXO: Permisos y Consentimiento

Índice de Figuras

1.1. Mapa mental de obtención de datos, imagen propia.	6
1.2. Estimación de pose de cuerpo completo, mediante uso de modelo Yolov8 . Imagen propia	7
1.3. Keypoints de interés a estimar: hombro, codo y muñeca, con estimación de ángulos incluida. Imagen propia estimada con modelo YOLOv8 . imagen extraída de Youtube.[6]	7
2.1. Subconjuntos de la Inteligencia Artificial (I.A)	12
3.1. Set-up de adquisición de datos mediante cámara visual	17
3.2. Secuencia de lanzamiento en acción de salto sin oposición	18
3.3. Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de salto	21
3.4. Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de elevación	22
3.5. Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de altura	22
3.6. Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de armado	23
3.7. Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de lanzamiento	23
3.8. Resultados de altura máxima (cm) de la Tabla 3.3 de sujeto 1	24
3.9. Relación de los 10 intentos de Tabla 3.2	25
3.10. Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relación de ángulos en fase de salto sin oposición	27
3.11. Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relación de ángulos en fase de salto sin oposición	28

3.12. Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición	28
3.13. Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relacion de angulos en fase de salto	29
3.14. Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición	29
3.15. Resultados de altura maxima (cm) de la Tabla 3.5 de sujeto 2	30
3.16. Relacion de los 10 resultados de Tabla 3.4	31
3.17. Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición	33
3.18. Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición	34
3.19. Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición	34
3.20. Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición	35
3.21. Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición	35
3.22. Resultados de altura maxima(cm) de la Tabla 3.7 de sujeto 3	36
3.23. Relacion de los 10 resultados de Tabla 3.6	37
3.24. Secuencia de lanzamiento en acción de salto con oposición	38
3.25. Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de angulos en fase de salto	40
3.26. Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de angulos en fase de elevación	41
3.27. Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de angulos en fase de elevación	41
3.28. Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de angulos en fase de elevación	42
3.29. Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de angulos en fase de elevación	42

3.30. Resultados Tabla 3.9 de sujeto 1 de relacion de angulos con la altura maxima lograda 43

3.31. Relacion de los 10 resultados de Tabla 3.8 44

3.32. Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de angulos en fase de salto 46

3.33. Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de angulos en fase de elevación . . 47

3.34. Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de angulos en fase de elevación . . 47

3.35. Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de angulos en fase de elevación . . 48

3.36. Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de angulos en fase de lanzamiento 49

3.37. Resultados Tabla 3.11 de sujeto 2 de relación de angulos con la altura maxima lograda 49

3.38. Relación de los 10 resultados de Tabla 3.10 50

3.39. Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de salto 52

3.40. Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de elevación . . 52

3.41. Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de altura . . . 53

3.42. Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de armado . . . 53

3.43. Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de lanzamiento 54

3.44. Resultados de altura máxima (cm) de la Tabla 3.13 de sujeto 3 55

3.45. Relacion de los 10 resultados de Tabla 3.12 56

3.46. Comparacion de proceso de lanzamiento de tablas 3.2 57

3.47. Comparacion de proceso de lanzamiento de tablas 3.8 57

3.48. Comparacion de proceso de lanzamiento de tablas 3.4 58

3.49. Comparacion de proceso de lanzamiento de tablas 3.10 58

3.50. Comparación de proceso de lanzamiento de tablas 3.6 59

	XI
3.51. Comparación de proceso de lanzamiento de tablas 3.12	59
3.52. Curva media de lanzamientos efectivos de sujeto 1	60
3.53. Curva media de lanzamientos efectivos de sujeto 2	60
3.54. Curva media de lanzamientos efectivos de sujeto 3	61
3.55. Medias ideales para lanzamientos efectivos de los 3 sujetos.	62
3.56. Comparación de lanzamientos sujeto 1	65
A.1. KeyPoints Map, Ultralytics [1]	69
C.1. Carta petición de espacios a autoridades pertinentes	71
C.2. Consentimiento informado a firmar por participantes.	72

Índice de Tablas

1.1. Características de interés en el balonmano y sus objetivos	3
3.1. Tabla de herramientas para lograr adquisición de datos propios	17
3.2. Tabla de investigación de efectividad de lanzamiento con salto sin oposición de sujeto 1	20
3.3. Tabla altura maxima lograda por sujeto 1	20
3.4. Tabla de investigación de efectividad de lanzamiento con salto sin oposción de sujeto 2	26
3.5. Tabla altura maxima lograda por sujeto 2	26
3.6. tabla de investigacion de efectividad de lanzamiento con salto sin oposicion de sujeto 3	32
3.7. Tabla altura maxima lograda por sujeto 3	32
3.8. Tabla de investigación de efectividad de lanzamiento en suspensión con oposición de sujeto 1	39
3.9. Tabla altura maxima lograda por sujeto 1	39
3.10. Tabla de investigación de efectividad para lanzamiento en suspensión con oposi- ción de sujeto 2	45
3.11. Tabla altura maxima lograda por sujeto 2	45
3.12. Tabla de investigación de efectividad para lanzamiento en suspensión con oposi- ción de sujeto 3	51
3.13. Tabla altura maxima lograda por sujeto 3	51
4.1. Tabla angulos idales de lanzamiento para sujeto 1	66

Siglas

CNN Convolution Neuronal Network

I.A Inteligencia Artificial

YOLO 'You Only Look Once'

1. Introduccion

El uso de la tecnología o ciencia en el deporte ha transformado radicalmente la manera en que se analiza y optimiza el rendimiento de los atletas. Particularmente en el balonmano, un deporte colectivo caracterizado por su dinamismo y complejidad táctica, en donde se exige a los jugadores un alto nivel de agilidad, coordinación, precisión y técnica para alcanzar el éxito en entrenamiento o situaciones de juego, habilidades que han ido perfeccionando de manera exponencial con el paso de los años gracias a la popularidad que el deporte ha adquirido a lo largo del mundo.

Sin embargo, a medida que el nivel de juego en balonmano aumenta, también debería avanzar el proceso de análisis asociado a este. A pesar de ello, este no es el caso del balonmano, esto detona la principal problemática que enfrenta actualmente, la cual es el análisis de las acciones durante los juegos y entrenamientos, que se basa principalmente en el análisis visual de videos. Dificultando así la identificación de áreas de mejora y el perfeccionamiento de habilidades o acciones específicas de los jugadores. Esto en parte es debido a la falta de herramientas precisas y eficientes para el seguimiento o análisis de jugadores. En donde los métodos tradicionales son propensos a errores y poco prácticos debido a la alta complejidad de los movimientos en el balonmano, que incluyen cambios rápidos de dirección, saltos y lanzamientos imprevistos en situaciones rápidas, las cuales generan desafíos adicionales para el seguimiento preciso de las acciones de los jugadores en forma visual. Limitando así la capacidad de los entrenadores para identificar patrones de juego, corregir errores técnicos y tomar decisiones estratégicas apropiadas.

Esta investigación incluye la reutilización del sistema de análisis de poses de YOLOv8 utilizado en nuestro proyecto anterior y la adición del software Kinovea. Ambos modelos servirán como herramientas cruciales para los análisis y estudios de casos específicos que se verán en el siguiente punto. Además, cabe mencionar que YOLOv8 es un modelo basado en machine learning, el cual permite identificar patrones complejos en las actividades de los jugadores, Y esto con la total colaboración de expertos en balonmano debido a la principal razón de que esta investigación está enfocada a que ellos hagan uso de ella , y de igual forma pueden garantizar una traducción contextual de los datos generados por los modelos y software a utilizar.

Por lo tanto, el equilibrio entre los avances en áreas de I.A y la experiencia o academicos del balonmano es clave para asegurar que los problemas propuestos o existentes sean resultados en la

práctica. Esto expandiendo las fronteras entre la ciencia y el balonmano en general. En otras palabras, la colaboración de las capacidades de aprendizaje automático y experticia humana presentes en este estudio establece un camino nuevo para potenciar el análisis del balonmano.

1.1. Objetivo general

El objetivo general de esta investigación es la utilización de un sistema avanzado de análisis para el rendimiento en el balonmano mediante la integración de tecnologías de Machine Learning, específicamente utilizando el modelo YOLOv8 y complementarlo con software Kinovea. Este sistema permitirá no solo identificar y optimizar los ángulos de lanzamiento efectivos, sino también analizar la influencia de las posiciones defensivas tanto en la efectividad de los lanzamientos de los atacantes como en la efectividad defensiva del defensor de balonmano, mediante un sistema que integra tecnologías de Machine Learning, utilizando específicamente el modelo YOLOv8 complementado con software Kinovea.

Esto permitirá una evaluación detallada de las técnicas y estrategias utilizadas en el juego. A través de este enfoque, se busca proporcionar a entrenadores y jugadores herramientas precisas y efectivas para mejorar tanto las estrategias de juego como las técnicas individuales, facilitando y agilizando los procesos de análisis de juego o entrenamiento.

Este enfoque general promete abrir nuevas puertas en la comprensión del rendimiento deportivo, impulsando el avance de tecnologías científicas actuales y aplicarlas al balonmano de una manera mucho más macro, aportando así al crecimiento del conocimiento en torno al deporte de alto rendimiento.

1.1.1. Objetivos

La investigación se centrará en la validación y optimización de los ángulos de lanzamiento previamente identificados como efectivos en nuestro proyecto anterior, así como también detectar nuevos puntos de interés enfocados al balonmano utilizando modelos de YOLO y el software Kinovea, con el objetivo de determinar si estos rangos son aplicables de manera universal o requieren ajustes personalizados según las características individuales de los jugadores. Paralelamente a los lanzamientos, se analizará la influencia de la altura del salto (Ver figura 3.24c) al momento de generar un lanzamiento, en donde se buscará una correlación entre ángulos de

lanzamiento, altura máxima o las fases de lanzamiento.

Al mismo tiempo, se investigará cómo las posiciones defensivas influyen en la efectividad de los lanzamientos, lo que permitirá desarrollar estrategias defensivas. La utilización de nuestro modelo YOLOv8 y software Kniovea será crucial para asegurar que se capturen de manera precisa tanto los ángulos de lanzamiento como las posiciones defensivas, facilitando un análisis detallado y la implementación de tácticas adaptativas que maximicen el rendimiento tanto a nivel individual como colectivo en el balonmano.

1.1.2. Identificación de features de interés al Balonmano

Features de interés al Balonmano	Objetivos
1. Influencia defensiva en lanzamiento.	Identificar influencias de la defensiva sobre lanzamiento mediante la estimación de poses .
2. Estimación de ángulos de lanzamientos .	Estimar un lanzamiento efectivo mediante el uso de ángulos de lanzamiento en relación mano, codo y hombro.
3. Elevación con respecto al suelo.	Calcular elevación mediante software kinovea para medición de salto de un jugador con respecto del suelo.

Tabla 1.1: Características de interés en el balonmano y sus objetivos

1.1.3. Objetivos específicos

- Validación de Ángulos de Lanzamiento:** Evaluar la efectividad de los ángulos de lanzamiento entre 50° y 150° en el rendimiento de jugadores con distintas características físicas y estilos, a través de un análisis detallado de grabaciones de lanzamientos, con el fin de determinar si estos rangos son aplicables universalmente o deben ajustarse de forma individual para mejorar el entrenamiento.
- Optimización del Sistema de Detección:** Ajustar y mejorar el modelo YOLOv8 para una detección más precisa y eficiente de las poses en la actividad del balonmano, asegurando que el sistema pueda adaptarse a las variabilidades individuales de cada jugador. Este proceso incluirá la incorporación de los nuevos datos obtenidos de las grabaciones

iniciales. Los frames de los lanzamientos capturados en video serán analizados para identificar nuestros puntos de interés, lo que permitirá un análisis mas específico durante los entrenamientos y partidos, facilitando una retroalimentación para los jugadores.

- **Análisis de la Influencia Defensiva:** Analizar cómo la posición y los ángulos defensivos influyen en la efectividad de los lanzamientos, con el objetivo de desarrollar estrategias defensivas que puedan limitar las oportunidades de gol. Este análisis incluirá el estudio de la interacción entre los defensores y los lanzadores durante los 10 lanzamientos grabados, donde se analizarán los frames en video para evaluar la relación de estas acciones y su influencia en el lanzamiento. Esto proporcionará información clave sobre cómo ajustar las posiciones defensivas para maximizar su efectividad, permitiendo a los entrenadores diseñar estrategias defensivas más óptimas.
- **Identificación de curva ideal de lanzamiento:** Identificar la curva ideal de lanzamiento para cada jugador mediante el análisis de los ángulos de lanzamiento en distintas fases (salto, elevación, altura, armado y lanzamiento) obtenidos con el modelo YOLOv8 y el software Kinovea. Esto se logrará mediante la recopilación de datos de múltiples intentos de lanzamientos de cada sujeto, tanto en condiciones con oposición como sin oposición. Posteriormente, se evaluará la consistencia y efectividad de los ángulos en cada fase, para determinar un patrón de ángulos óptimo por jugador. Este análisis permitirá ajustar los rangos de ángulos generales a las características individuales de cada sujeto, estableciendo una curva ideal que sirva de referencia personalizada para mejorar la efectividad de rendimiento en los lanzamientos.
- **Implementación y Pruebas en Condiciones Reales:** Aplicar el sistema desarrollado en escenarios de entrenamiento y juego reales para validar su eficacia y hacer ajustes basados en el feedback obtenido de los entrenadores y jugadores. Las pruebas incluirán la evaluación del sistema durante los entrenamientos reales con los cuatro jugadores iniciales y su repetición en diferentes contextos de juego. Los frames de video de estos entrenamientos serán analizados para asegurar que el sistema funcione de manera óptima en condiciones reales. Se espera que estas pruebas no solo confirmen la utilidad del sistema, sino que también revelen áreas adicionales de mejora, asegurando que la herramienta sea robusta y práctica para su uso diario en equipos de balonmano.
- **Desarrollo de recomendaciones prácticas:** Generar recomendaciones practicas basadas en los datos obtenidos de las grabaciones y el análisis posterior para mejorar tanto las tácticas ofensivas como defensivas. Estas recomendaciones contribuirán al diseño de

entrenamientos más efectivos y personalizados. Los frames de video analizados durante los 10 lanzamientos y las pruebas en condiciones reales serán fundamentales para identificar patrones y áreas de mejora. Estas recomendaciones buscarán no solo mejorar el rendimiento individual de los jugadores, sino también optimizar el rendimiento.

1.2. Metodología, Alcances y limitaciones

1.2.1. Metodología

La metodología propuesta se centrará en la obtención de material audiovisual, incluyendo tanto grabaciones propias como videos disponibles en Internet que guarden relación con la investigación. Previamente, se llevarán a cabo las mediciones necesarias para la adquisición de datos de un lanzamiento, lo cual implica la participación de una persona que firmará un consentimiento informado. Esta medida responde a los requerimientos éticos y bioéticos asociados con la grabación de individuos en estudios de este tipo.

Una vez terminada la recopilación, el video se debe transformar en el formato deseado para permitir el procesamiento de video en entornos de desarrollo con Visual Studio Code [3]. Según el formato original, los datos serán transferidos al entorno y eligiendo el lenguaje de programación Python [4] para poder aplicar el modelo de YOLOv8-pose, el cual entregará los keypoints de interés una vez compilado nuestro programa. Finalmente, los datos procesados se representan visualmente y se analiza cada frame de video importante. En caso de que el formato o los datos no sean apropiados para el entorno esperado, el flujo de trabajo no será continuo, lo que implicaría la repetición de un cierto paso o requeriría un cierto ajuste previo.

1.2.2. Obtención de datos.

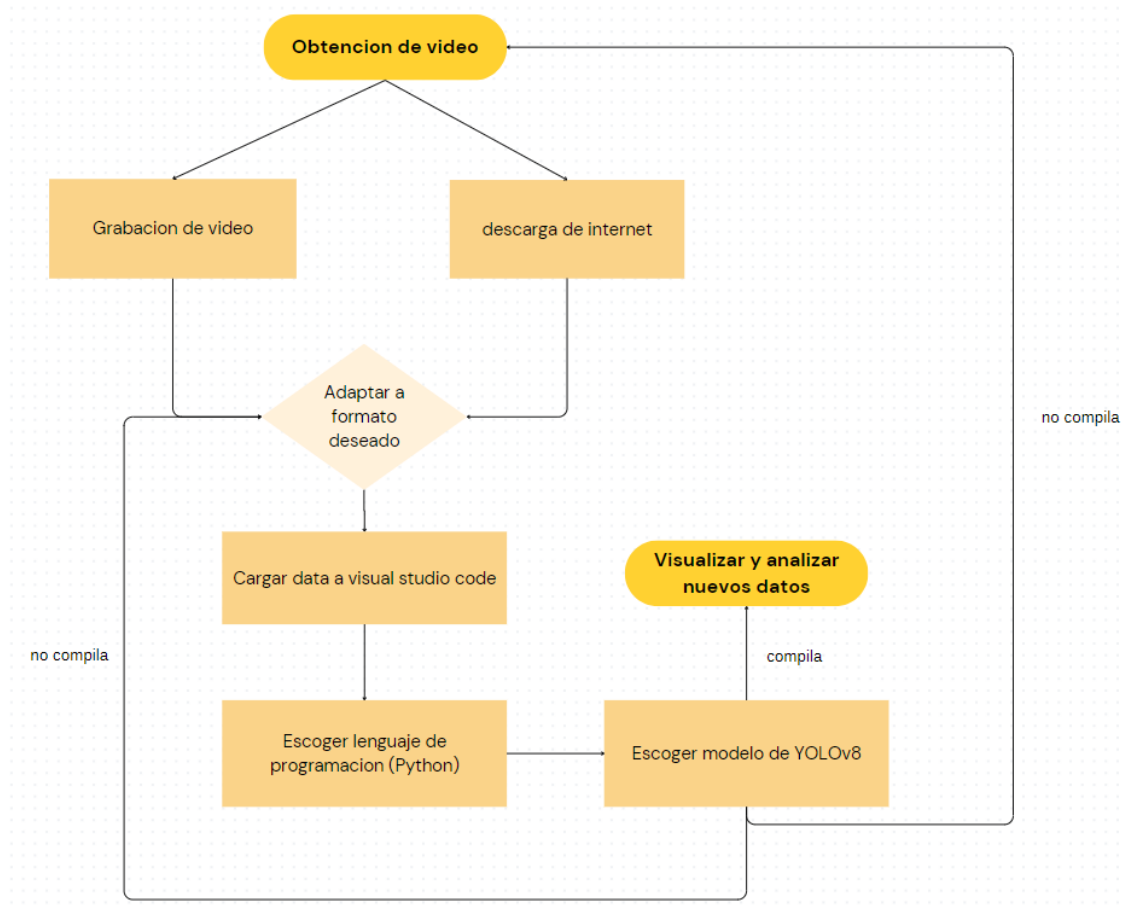


Fig. 1.1: Mapa mental de obtención de datos, imagen propia.

1.2.3. Poses a estimar



Fig. 1.2: Estimación de pose de cuerpo completo, mediante uso de modelo Yolov8 . Imagen propia



Fig. 1.3: Keypoints de interés a estimar: hombro, codo y muñeca, con estimación de ángulos incluida. Imagen propia estimada con modelo YOLOv8 . imagen extraída de Youtube.[6]

1.2.4. Alcances

Los alcances de esta investigación incluirán la captura de videos mediante cámaras visibles y la estimación de poses utilizando técnicas de aprendizaje automático (machine learning). Se busca no solo detectar la posición de diferentes partes del cuerpo, sino también utilizar esta información para recopilar datos como grados en el lanzamiento, altura de salto y otros parámetros relevantes. Este enfoque permitirá obtener una comprensión detallada de la dinámica corporal al momento de juego o entrenamiento, lo que puede ser muy útil para el análisis deportivo, la rehabilitación o la evaluación del rendimiento. Otro alcance significativo es el análisis de video que se llevará a cabo para derivar conclusiones a partir de las estimaciones realizadas. Esto se logrará mediante el análisis de frames de los videos recopilados, los cuales estarán orientados a nuestros puntos de interés.

1.2.5. Limitaciones

Durante la ejecución de esta investigación, uno de los desafíos más significativos es la falta de disponibilidad de espacios adecuados para las mediciones. El acceso a las instalaciones del edificio deportivo donde se encuentra el gimnasio estaba restringido, ya que requería la coordinación de la disponibilidad horaria con otras actividades diarias en el lugar. Esto afectó la planificación de manera directa, lo que resultó en cambios en el tiempo necesario para las mediciones y cambios en la planificación de las mediciones.

En cuanto a la información recopilada sobre temas relacionados con la estimación de ángulos en el ámbito deportivo, es bastante limitada. Esto se debe a que se trata de datos confidenciales que no están disponibles para el público en general debido a la competencia de equipos.

Además de lo anterior, otro aspecto importante a cubrir fue el proceso de diseño e implementación. Fue también la conformidad con los principios éticos de la bioética. Debido a la necesidad de grabar a sujetos en la primera etapa. Por lo tanto, todos los participantes deben estar informados sobre los objetivos y los métodos del estudio, y deben darse cuenta de los riesgos en su participación en él. Por un lado, informar que todos los datos recogidos se utilizarán de forma anónima y confidencial.

2. Marco Teórico

2.1. Introducción

En los últimos años, se ha producido un aumento significativo en la integración de las tecnologías que relacionan la inteligencia artificial (desde ahora I.A) en el deporte, dada su alta eficacia en temas de monitoreo y análisis para la evaluación del rendimiento de los atletas. Esto debido a el surgimiento de sistemas basados en el aprendizaje automático, los cuales llegaron como un complemento para medir aspectos clave del rendimiento deportivo que antes no podían ser medidos con precisión, debido al proceso analogo que estaba sometido dicho analisis.

Debido a lo anterior, modelos más avanzados, como YOLOv8 , ha abierto innumerables oportunidades para mejorar el rendimiento en deportes como lo es el balonmano debido a su alta eficacia y presicion en temas como deteccion de objetos, segmentacion de objetos y deteccion de poses o HPE (Human pose estimation) como se nombra en textos mas actualizados. Siendo este último tema el más importante, debido a que la biomecánica de lanzamiento y las posiciones defensivas juegan un papel fundamental en el balonmano.

El objetivo de esta investigación es mostrar cómo estas tecnologías pueden ayudar a optimizar el análisis del juego, entrenamiento y cualquier derivado del balonmano o simplemente simplificar la eficiencia del proceso actual que se está aplicando, con la utilización del modelo de YOLOv8.

2.2. Herramientas de desarrollo

2.2.1. Inteligencia artificial

La I.A es el campo de la informática que se basa en el desarrollo de sistemas que pueden realizar tareas relacionadas con inteligencia humana, como el reconocimiento de patrones, toma de decisiones basadas en un si o no y la resolución de problemas. A diferencia de los programas convencionales, que siguen reglas específicas predefinidas, Esta abarca a dos subconjuntos importantes, que permiten su funcionamiento optimo; estas son machine learning y deep learning.

Según la información recopilada de 'Artificial Intelligence': 'A Modern Approach' de Stuart Russell y Peter Norvig [7]. La I.A puede dividirse en dos grandes enfoques:

I.A específica: Se refiere a sistemas diseñados para realizar tareas concretas, como los asistentes virtuales (Siri, Alexa) o sistemas de reconocimiento de imágenes. Estos sistemas no tienen conciencia ni comprensión general. Solo aplican algoritmos a problemas delimitados.

I.A general: Este tipo de I.A busca imitar la inteligencia humana en su totalidad, pudiendo aplicar el razonamiento, aprender de experiencias previas y adaptarse a situaciones nuevas de una manera similar al cerebro humano. Este enfoque aún es una aspiración en el campo de la I.A.

El libro recalca que los principales objetivos de la I.A son la automatización del razonamiento y la percepción, logrando así que los sistemas no solo ejecuten tareas, sino que también sean capaces de entender e interpretar los datos que están siendo procesados. Esto abarca desde simples algoritmos de toma de decisiones hasta sistemas complejos que interactúan con el mundo de manera autónoma.

Un concepto clave en el libro es la idea de los agentes inteligentes, que son entidades capaces de percibir su entorno y actuar sobre él de manera racional para alcanzar objetivos específicos. Estos agentes pueden ser desde robots hasta sistemas de software que toman decisiones basadas en datos.

2.2.2. Machine Learning

Siendo esta un subconjunto de la IA, abarca conceptos un poco más técnicos, en donde se basa en el uso de herramientas matemáticas que aprenden mediante algoritmos, interpretaciones y datos. Según Kevin P. Murphy en su libro *Machine Learning A Probabilistic Perspective* [8], machine learning se define como un conjunto de métodos que permiten a las computadoras detectar automáticamente patrones en los datos y luego usar esos patrones para predecir datos futuros u otros resultados de interés. La clave de machine learning es su capacidad para tomar decisiones bajo incertidumbre, a menudo utilizando enfoques probabilísticos para modelar y razonar sobre los datos que se procesan.

2.2.3. Deep Learning

El deep learning es un derivado de machine learning que se basa en el uso de redes neuronales (ANN,CNN,RNN). Una de las principales características del deep learning es su capacidad para aprender representaciones jerárquicas de los datos, lo que significa que la red aprende características de bajo nivel en las primeras capas (por ejemplo, bordes y formas en imágenes) y características más abstractas en las capas más profundas (por ejemplo, objetos completos). Esta profundidad en la estructura de las redes neuronales permite a los modelos de deep learning realizar tareas complejas de manera muy eficiente, como el reconocimiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural y la traducción automática.

2.2.3.1. CNN

Las redes neuronales convolucionales (Convolutional Neural Networks, desde ahora CNNs) son un tipo específico de red neuronal que es especialmente eficaz en el procesamiento y análisis de datos visuales, como imágenes o videos. Las CNNs están diseñadas para captar patrones espaciales en los datos mediante el uso de convoluciones, un tipo de operación matemática que permite identificar características como bordes, texturas y objetos en diferentes partes de una imagen. En una CNN, las primeras capas suelen identificar características básicas, mientras que las capas más profundas identifican patrones más complejos. Gracias a esta estructura, las CNNs se han vuelto esenciales para aplicaciones como el reconocimiento de objetos y la detección de poses, lo cual es relevante para sistemas como YOLO. También se recalcan Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville en el texto 'deep learning' [9] el término "convolucional", el

cual se refiere al uso de la operación de convolución dentro de la red neuronal;

La convolución es una operación matemática que permite combinar dos funciones para producir una tercera función. En el contexto de las CNNs, la operación de convolución se aplica sobre los datos de entrada (generalmente una imagen) para extraer características relevantes como bordes, texturas o contornos, como se nombró anteriormente. Esto se logra aplicando filtros o kernels a la imagen, escaneando pequeñas regiones a la vez para detectar patrones locales, como bordes o texturas. Esta operación es clave para la eficacia de las CNNs en el análisis de imágenes, ya que les permite captar relaciones espaciales entre los píxeles.

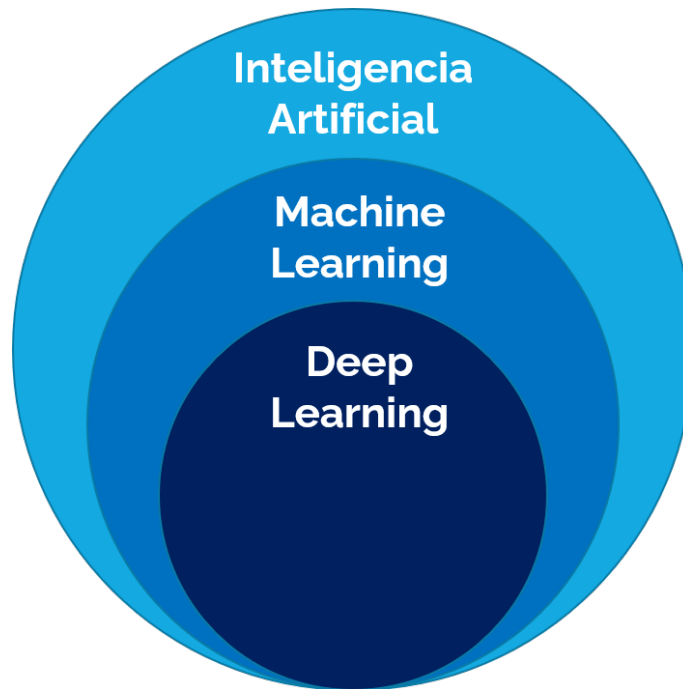


Fig. 2.1: Subconjuntos de la Inteligencia Artificial (I.A)

2.2.4. YOLOv8

Dada la información proporcionada por 'Ultralytics', YOLOv8 es un modelo basado en Machine Learning, que pertenece a la categoría de I.A. Específicamente, este utiliza técnicas de deep learning, la cual es una rama de Machine Learning. YOLOv8 es útil para realizar tareas como la detección de objetos y la estimación de poses. Utilizando CNNs para procesar imágenes y tomar decisiones basadas en los patrones aprendidos a partir de grandes cantidades de datos que ellos poseen y mantienen abierto al público para hacer uso de ellos.

2.2.5. Kinovea

Kinovea es un programa de ordenador de código abierto y natural que fue creado para el análisis de vídeo en el ámbito del deporte y de las actividades físicas. Su uso está especialmente dirigido a entrenadores, deportistas, fisioterapeutas y profesionales del movimiento, permitiendo revisar y estudiar los detalles técnicos de los gestos captados en el vídeo, siendo este interesante para el análisis de parámetros de interés.

2.3. Lanzamiento de Balonmano

El capítulo 2 del documento de Rivilla García, Jesús, [10] se centra en el estudio del lanzamiento a portería en balonmano, destacando su importancia y los factores que influyen en su éxito.

Primero, el lanzamiento a portería es descrito como una de las acciones más relevantes en el balonmano, ya que culmina el juego ofensivo y es clave para marcar goles. Los autores y entrenadores mencionados en el texto subrayan que la velocidad y precisión del lanzamiento son esenciales para superar al portero y a los defensores.

El documento también distingue diferentes tipos de lanzamiento, dependiendo de factores como la situación en el juego, la posición del jugador y la distancia a la portería. Además, se destacan los requerimientos bioenergéticos y cognitivos del lanzamiento, indicando que la toma de decisiones y la percepción del entorno son cruciales para la efectividad de esta acción.

Paralelamente se hicieron consultas a expertos de trayectoria en balonmano, en donde se destacó el papel que desempeñan los ángulos de lanzamiento en el éxito del tiro en general. Los ángulos de lanzamiento efectivos se mantienen en un rango general de 50° - 150° precisamente porque dentro de estos límites, los jugadores pueden aprovechar al máximo la biomecánica del brazo y mantener el control del balón antes del lanzamiento. Si el ángulo es menor a 50° , los disparos se vuelven demasiado cerrados y, por lo tanto, tienen menos probabilidades de atravesar al portero. Si es mayor de 150° , los jugadores pierden en precisión y fuerza porque el ángulo forzado ya no les otorga el control. Por definición, un ángulo efectivo es aquel donde el jugador puede encontrar la velocidad y la precisión necesarias para anotar, tal como define Rivilla García, Jesús.

2.4. Formulas

2.4.1. ley del coseno

$$\theta = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right) \quad (2.1)$$



Fig 6: Representacion de angulo con ley de coseno mediante uso de software **Kinovea**

3. Desarrollo

3.1. Introducción

En la siguiente investigación se recopilaron datos en formato de video MP4 para que así el programa en Python funcionara de forma correcta. Los datos recopilados consistieron en distintos lanzamientos de tres sujetos enfocados todos al balonmano. Se realizaron lanzamiento en acción de salto sin oposición (Ver figura 3.2) y lanzamiento en acción de salto con oposición (Ver figura 3.24).

Los datos fueron procesados y cargados en Visual Studio para lograr visualizar el proceso, en donde se utilizó Python como lenguaje de programación para llevar a cabo la estimación de poses del modelo YOLOv8-Pose, el cual permitió detectar y analizar los keypoints de interés (hombro-codo-muñeca) [A.1] de los sujetos en los distintos frames de video procesado, logrando en cada frame una estimación de ángulo entre nuestros tres keypoints de interés.

Los datos obtenidos serán procesados y transformados en un formato visual que facilite su análisis, con el fin de identificar una correlación relevante entre las distintas variables identificadas. Este proceso incluirá la organización de la información en gráficos, tablas y diagramas que permitan observar curvas tendenciales de manera más clara y comprensible. Además, se espera definir una curva de lanzamiento ideal para cada jugador, considerando los diez intentos realizados y de esa forma generar correlaciones en sus fases de lanzamiento. Este análisis permitirá no solo comparar el desempeño individual de cada jugador, sino también identificar áreas de mejora en el lanzamiento, proporcionando así una guía visual de referencia sobre la técnica más eficaz para cada uno.

Finalmente, se analizará la influencia de la defensa en los lanzamientos efectuados por los tres sujetos y cómo esta afecta su efectividad. Además, se proporcionará una retroalimentación personalizada para cada jugador en función de los resultados obtenidos, similar al proceso descrito anteriormente.

3.2. Metodo y herramientas

. En las siguientes tablas, tres sujetos de distintas contexturas biomecánicas fueron sometidos a diez lanzamientos a un punto en específico para lograr evaluar sus efectividad en el momento de generar el lanzamiento o desprenderse del balón. Estos sujetos fueron sometidos a dos situaciones de juego común en el balonmano, las cuales son lanzamiento con oposición (defensa)(Ver Fig: 3.24) y lanzamiento sin oposición (Ver Fig: 3.2), para así sacar conclusiones mediante dos rangos de efectividad, las cuales son:

La primera medida de efectividad, **efectividad 1** será determinada por la relación entre los lanzamientos que resultaron en gol y los que no. En este análisis, consideramos que un lanzamiento es efectivo (celda verde) si alcanza el objetivo (es decir, si resulta en el objetivo) y no efectivo si no.

La segunda medida de efectividad **efectividad 2** se enfocará principalmente en el comportamiento de los ángulos de lanzamiento a lo largo de la serie de diez intentos. Aquí, el objetivo es observar si los ángulos mantienen una tendencia consistente o si, por el contrario, presentan una variación significativa. Para determinar esta efectividad, se analizarán los datos de los ángulos de lanzamiento en cada intento, buscando patrones o fluctuaciones notables. Una tendencia estable en los ángulos podría indicar un alto grado de control y precisión por parte del lanzador, mientras que grandes variaciones podrían sugerir una falta de consistencia en la técnica de lanzamiento.

En dichas tablas de lanzamiento se utilizará el modelo de YOLOv8 el cual nos proporcionará nuestros datos automáticamente para así ser analizados mediante las **Efectividad 1** y **Efectividad 2** descritas anteriormente.

La segunda tabla posterior a la tabla de resultados de lanzamientos utilizará el software KINOVEA para el análisis de altura máxima al momento del salto debido a su alta precisión en dicho ámbito.

Posteriormente, se obtendrán datos obtenidos directamente de la red de distintas situaciones de juego que impliquen lanzamientos sin oposición y con oposición, para así lograr una comparación

3.2.1. Set-up

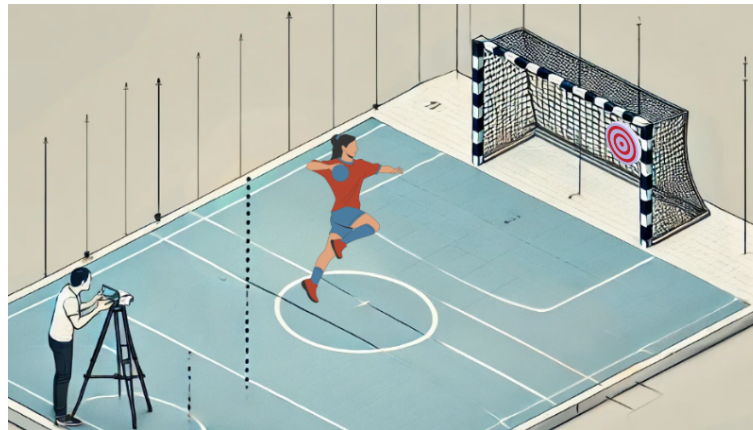


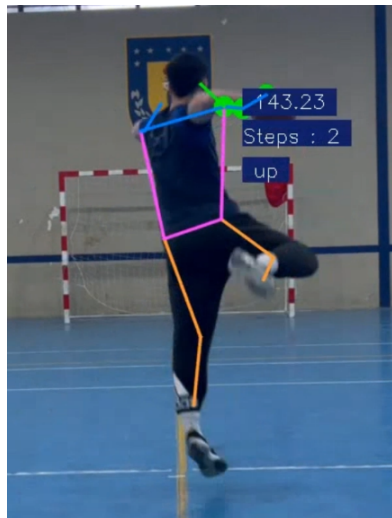
Fig. 3.1: Set-up de adquisicion de datos mediante camara visual

Elementos	Especificaciones
Tripode	-Altura: 1.5(m)
Camara visual Iphone 13	- Cámara de 12 MP. -Grabación de video HD de 1080p a 25 cps, 30 cps o 60 cps
Balon N°3 Balonmano	- Medidas Tamaño: Size 3 - Circunsferencia: 58-60 cm - Peso: 425-475 g
Arco Balonmano	-2.5x3 (m)
Laptop HP OMEN 16	- Procesador: 11th Gen Intel(R) Core(TM) i5-11400H @ 2.70GHz 2.69 G - RAM: 16,0 GB - GPU: NVIDIA GeForce RTX 3060
PYTHON	-Lenguaje de programacion
YOLOv8-pose	-Modelo de estimacion de poses de ultralitics
Visual Studio Code	-Editor de codigo fuente

Tabla 3.1: Tabla de herramientas para lograr adquisición de datos propios

3.3. Tablas y Figuras de resultados de investigación

3.3.1. Secuencia de lanzamiento en acción de salto sin oposición



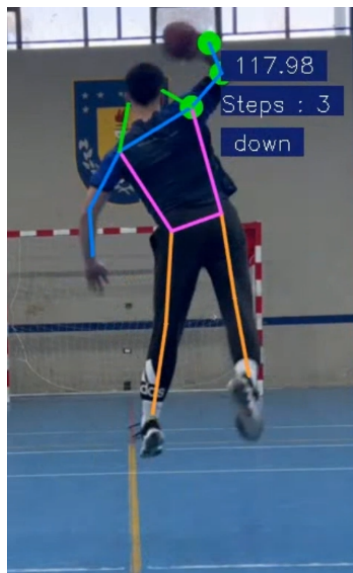
(a) salto



(b) Elevacion



(c) Altura Maxima



(d) Armado



(e) Lanzamiento

Fig. 3.2: Secuencia de lanzamiento en acción de salto sin oposición

3.3.2. Secuencia de movimientos a analizar

El análisis de las fases de lanzamiento a analizar costará de las fases de salto, elevación, altura máxima y armado, como se puede apreciar en la tabla 3.2 lanzamiento. Será realizado a partir de frames de video procesados con el modelo YOLOv8-pose. Esto permitirá medir con precisión los ángulos entre hombro, codo y muñeca (keypoints) [A.1], evaluando la consistencia de estos movimientos para las Efectividades 1 (resultado del lanzamiento) y Efectividades 2 (consistencia de los ángulos en cada fase).

3.3.2.1. Fases de lanzamiento a analizar

- a) **Salto:** Es la fase inicial en el lanzamiento en el balonmano donde el jugador comienza con el impulso para despegarse del suelo.
- b) **Elevación:** Una vez que el jugador ha despegado del suelo, comienza la elevación. Aquí se observan los ángulos del cuerpo mientras el jugador se eleva en el aire. La efectividad de esta fase depende de la fuerza aplicada durante el despegue y el control de la postura para mantener un equilibrio óptimo que permita un armado y lanzamiento efectivo.
- c) **Altura máxima:** Este es el punto más alto alcanzado durante el salto antes de generar el lanzamiento.
- d) **Armado:** Esta es la fase en la que el brazo del jugador se posiciona para el lanzamiento. En este momento, los ángulos del brazo (hombro, codo y muñeca) juegan un papel importante.
- e) **Lanzamiento:** Es la fase final donde el jugador extiende el brazo y suelta el balón. La efectividad de esta fase se mide en relación a la **Efectividad 1**. En el contexto de balonmano, el lanzamiento rápido y preciso es esencial para superar tanto al portero como a los defensores. Los jugadores que mantienen consistencia en los ángulos de lanzamiento logran una mayor efectividad.

Cabe destacar la participación de expertos en el tema en las conclusiones y recomendaciones a sacar de cada tabla

3.3.3. Tabla resultados de lanzamiento con salto - sin oposición

Sujeto 1 tuvo un 100 % de intentos fallidos en **Efectividad 1** y logró una **Efectividad 2** positiva en la fase de armado y lanzamiento. Se recomienda analizar **Efectividad 2** en la fase de salto, elevación y altura dado que se aprecia poca consistencia y estabilidad a la hora de preparar el lanzamiento.

Intento	Salto	Elevación	Altura	Armado	Lanzamiento	Efectividad 1
1	143°	130°	86°	135°	151°	no efectivo
2	85°	115°	72°	116°	154°	no efectivo
3	104°	150°	66°	102°	147°	no efectivo
4	103°	149°	31°	122°	151°	no efectivo
5	52°	116°	48°	122°	144°	no efectivo
6	46°	97°	166°	110°	136°	no efectivo
7	69°	60°	68°	95°	146°	no efectivo
8	50°	70°	69°	107°	154°	no efectivo
9	117°	81°	39°	108°	148°	no efectivo
10	72°	148°	76°	112°	158°	no efectivo
Efectividad 2	no efectivo	no efectivo	no efectivo	efectivo	efectivo	

Tabla 3.2: Tabla de investigación de efectividad de lanzamiento con salto sin oposición de sujeto 1

Intento	Altura maxima (Cm)
1	51
2	47
3	50
4	39
5	40
6	39
7	41
8	46
9	39
10	44

Tabla 3.3: Tabla altura maxima lograda por sujeto 1

3.3.4. Correlacion de resultados y tablas 3.2 - 3.3 de sujeto 1

- **Fase de Salto:**

Todos los intentos en **Efectividad 1** fueron no efectivos, con ángulos de salto que variaron considerablemente, desde 46° hasta 143° , indicando poca estabilidad y falta de consistencia en el ángulo de sal, por lo que estabilizar la fase de ángulo de salto en futuros intentos podría mejorar la precisión del tiro. Para así lograr una **efectividad 2** positiva. (Ver figura 3.3)

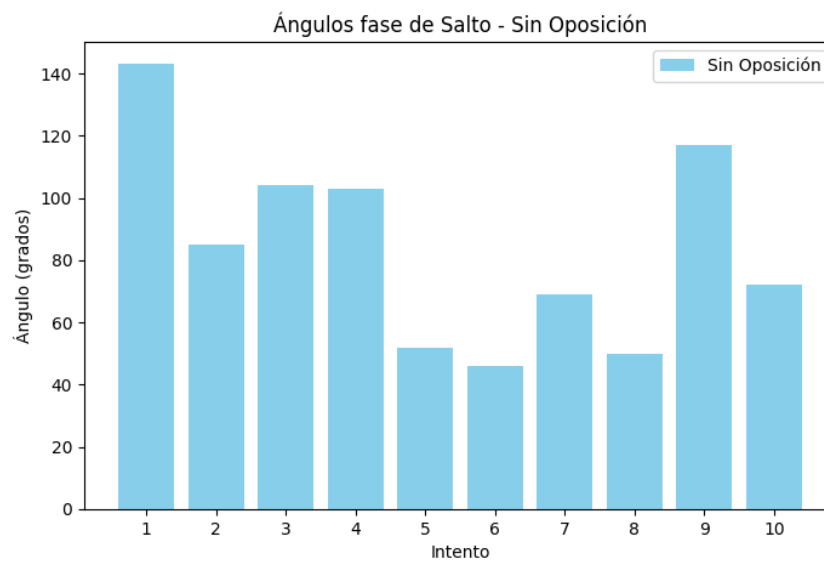


Fig. 3.3: Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de salto

- **Fase de Elevación:**

Los ángulos de la fase de elevación también son inconsistentes, en donde todos los intentos de **Efectividad 1** fueron no efectivos, oscilando entre 60° y 150° , lo cual dentro de la teoría es un rango efectivo, pero no así en **Efectividad 2**, la cual es negativa debido a la nula consistencia en los 10 intentos. El rango de ángulos en la fase de elevación en intentos no efectivos sugiere que el sujeto no ha alcanzado un control consistente en esta fase, lo cual podría impactar en el recorrido para llegar a las siguientes fases. (Ver figura 3.4)

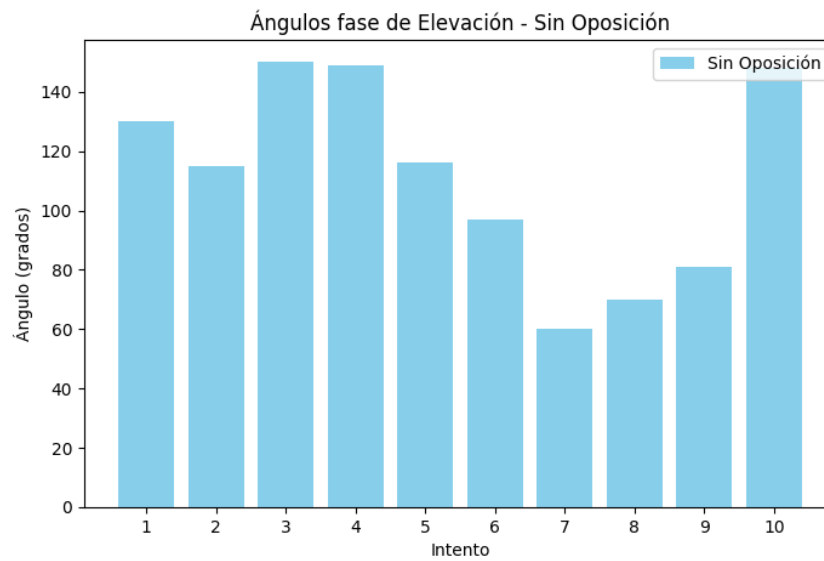


Fig. 3.4: Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de elevación

■ **Fase de Altura:**

Los intentos de la **Efectividad 1** fueron no efectivos nuevamente en la totalidad de los intentos. Los ángulos de la fase de altura varían ampliamente entre 31° y 166° , en donde en el intento 5 puede ver un claro descontrol, lo que indica una falta de control en el impulso vertical durante el lanzamiento. Nuevamente, la **efectividad 2** es negativa debido a la poca consistencia de los 10 intentos (Ver figura 3.5)

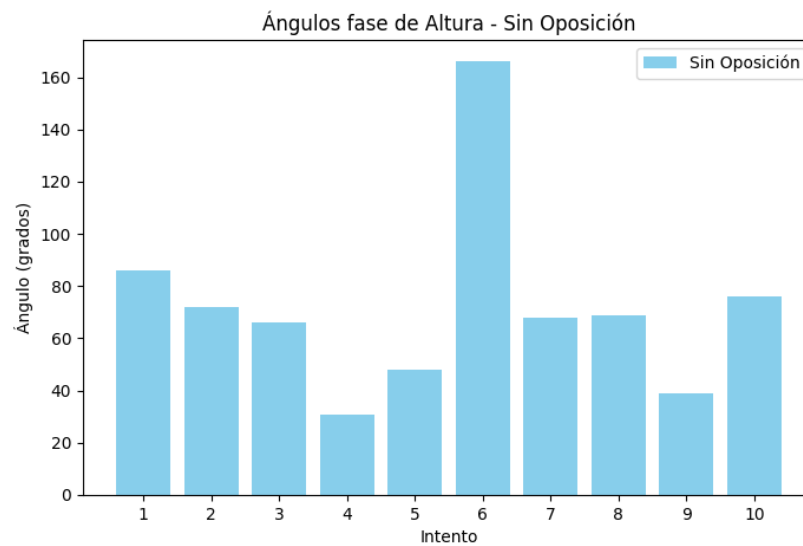


Fig. 3.5: Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de altura

- **Fase de Armado:**

La **efectividad 1** fue negativa en todos los intentos de la fase de armado. En donde los rangos de ángulos estuvieron entre 95° y 135° , mostrando así una **Efectividad 2** efectiva y un lanzamiento más estable previo a la fase de lanzamiento.

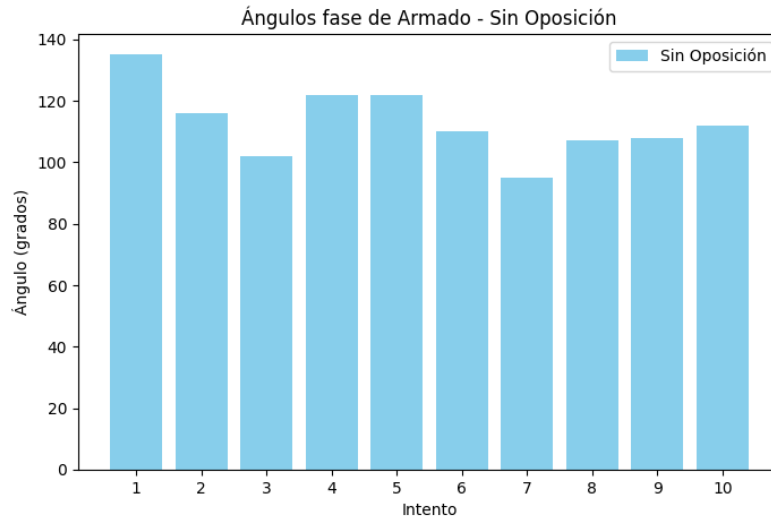


Fig. 3.6: Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relacion de angulos en fase de armado

- **Fase de Lanzamiento:**

Los ángulos de lanzamiento fluctúan entre 136° y 158° y la falta de consistencia en esta fase final podría afectar la precisión del tiro. Un ángulo de lanzamiento más controlado y estable dentro de este rango podría mejorar el rendimiento en futuros lanzamientos.

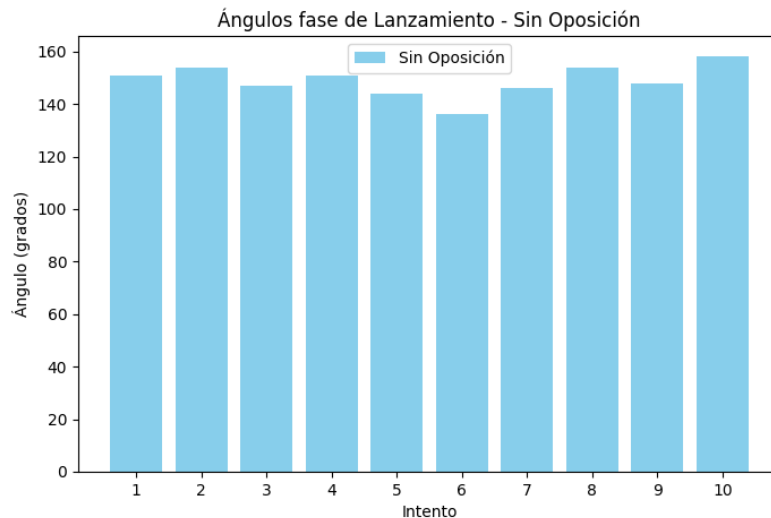


Fig. 3.7: Resultados Tabla 3.2 de sujeto 1 de relacion de angulos en fase de lanzamiento

Altura maxima lograda por sujeto 1:

En la tabla 3.3 se es posible apreciar que el sujeto mantiene una altura maxima entre 40 y 50 cm. En donde no mantiene una consistencia en sus angulos de lanzamiento a lo largo de los 10 intentos. (ver figura 3.8 y 3.5)

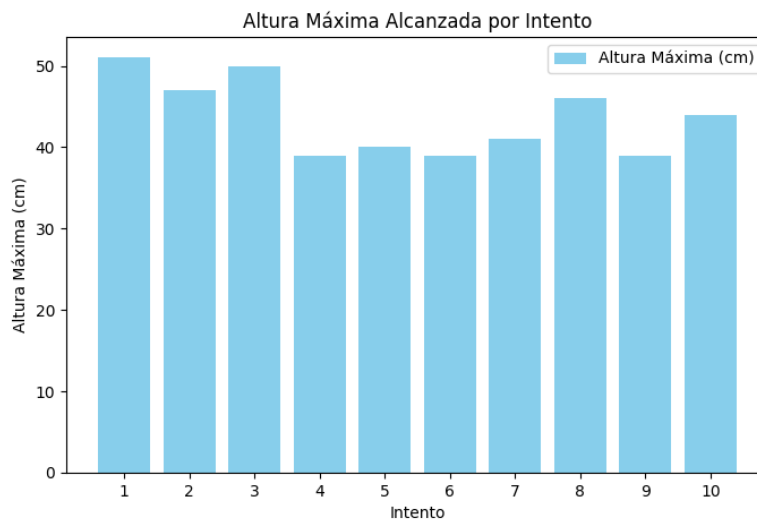


Fig. 3.8: Resultados de altura maxima (cm) de la Tabla 3.3 de sujeto 1

3.3.5. Grafica relacion de los 10 intentos

La figura 3.9 respeta los 10 intentos en cada fase de la tabla 3.2, y esta tiene relación con el análisis anterior que se realizó por las 5 fases. En donde visualmente es posible concluir que el sujeto 1 podrá no haber sido efectivo en ningún intento, pero es posible apreciar lo estable que es en las 2 etapas finales de armado y lanzamiento. Contrariamente, se recomienda poner énfasis en las 3 fases de salto, elevación y altura, sobre todo, que es la que muestra más variabilidad.

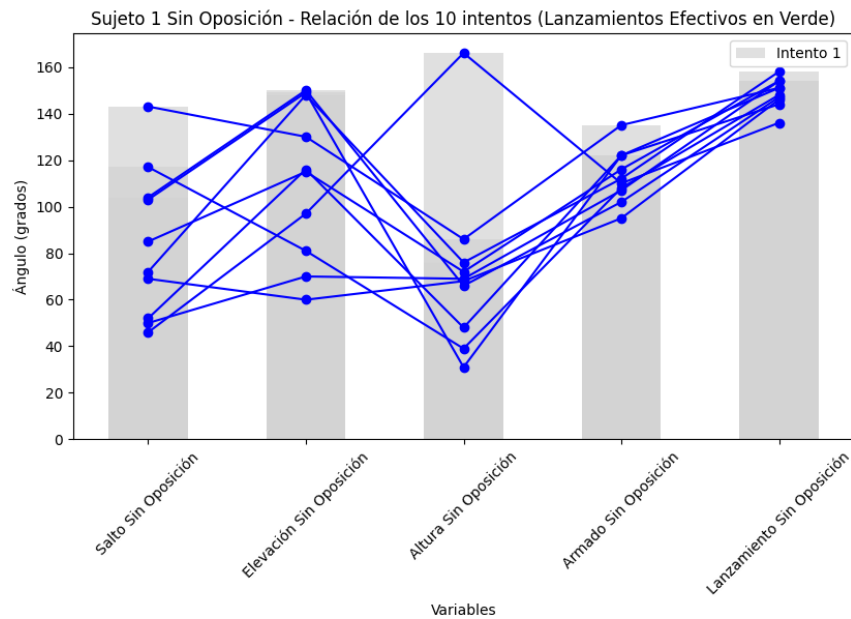


Fig. 3.9: Relación de los 10 intentos de Tabla 3.2

Sujeto numero 2:

Sujeto 2 tuvo un 70 % de intentos fallidos en **Efectividad 1** y logró una **Efectividad 2** positiva en la fase de armado y lanzamiento. Se recomienda analizar **Efectividad 2** en la fase de salto, elevación y altura dado que se aprecia poca consistencia y estabilidad a la hora de preparar el lanzamiento.

Intento	Salto	Elevación	Altura	Armado	Lanzamiento	Efectividad 1
1	64°	132°	164°	114°	140°	NO efectivo
2	138°	175°	83°	134°	156°	NO efectivo
3	62°	93°	170°	115°	144°	NO efectivo
4	55°	91°	143°	88°	153°	NO efectivo
5	143°	178°	90°	132°	155°	Efectivo
6	42°	92°	94°	113°	155°	NO efectivo
7	41°	175°	90°	147°	171°	NO efectivo
8	67°	169°	82°	122°	156°	Efectivo
9	59°	148°	72°	102°	144°	Efectivo
10	39°	93°	55°	90°	162°	NO efectivo
Efectividad 2	no efectivo	no efectivo	no efectivo	efectivo	efectivo	

Tabla 3.4: Tabla de investigación de efectividad de lanzamiento con salto sin oposición de sujeto 2

Intento	Altura maxima (Cm)
1	39
2	46
3	45
4	47
5	45
6	44
7	40
8	37
9	41
10	40

Tabla 3.5: Tabla altura maxima lograda por sujeto 2

3.3.6. Correlacion de resultados y tablas 3.4 - 3.5 de sujeto 2

La **Efectividad 1** de la tabla 3.4, fue efectiva en un 30 %. En el intento número 5,8 y 9.

- Fase de Salto:** En los intentos no efectivos, los ángulos de salto varían ampliamente, entre 39° y 138° , indicando una **Efectividad 2** negativa debido a la poca consistencia en los 10 intentos. En los intentos efectivos (intentos 5, 8, y 9), los ángulos de salto son 143° , 67° , y 59° parece que un ángulo moderado (cercano a 60° - 70°) o alto (como 143°) podría contribuir positivamente. Pero no se deja de considerar una fase inestable dentro de las fases del lanzamiento. (ver figura 3.10)

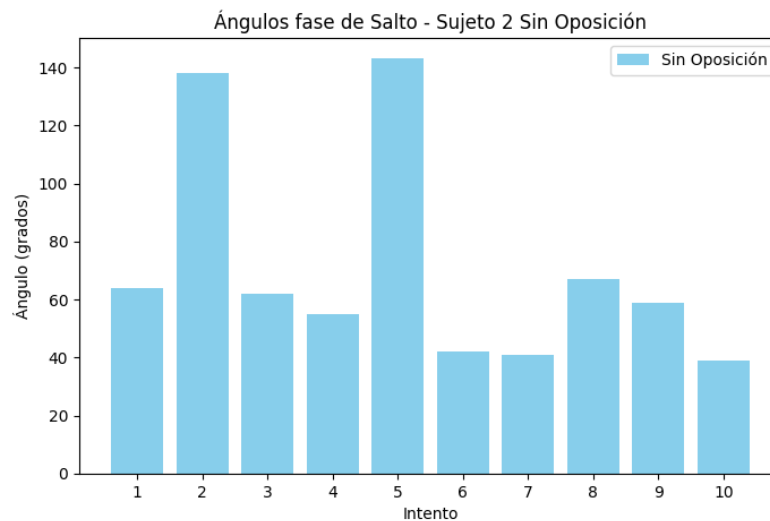


Fig. 3.10: Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relacion de angulos en fase de salto sin oposción

- Fase de Elevación:**

Los ángulos de la fase elevación en los intentos no efectivos fluctuan entre los 91° y 175° , indicando una gran variabilidad. La cual es similar a los intentos efectivos; por lo tanto, se considera una **efectividad 2** negativa dentro de los 10 intentos. Cabe destacar que en los intentos efectivos, los ángulos de elevación son 178° , 169° , y 148° . Esto indica que una tendencia de mantener ángulos sobre 150° en la fase de elevación podría favorecer la efectividad en el lanzamiento para el sujeto 2. (ver figura 3.11)

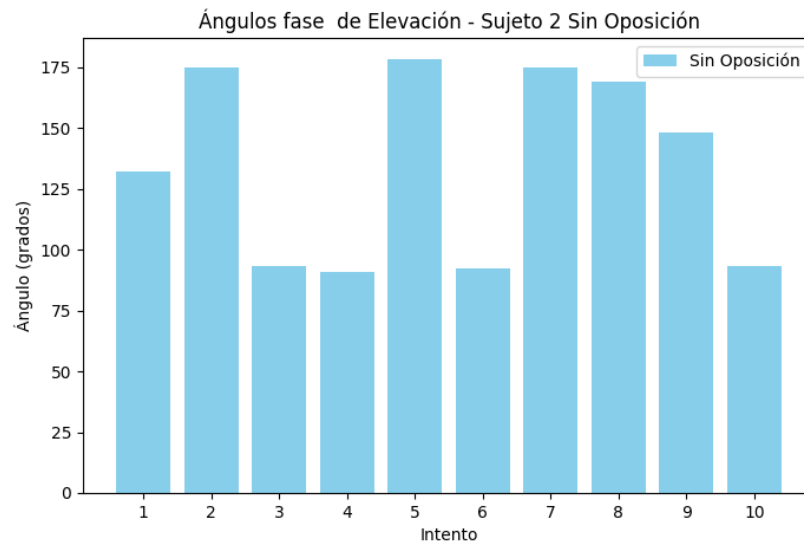


Fig. 3.11: Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición

■ **Fase de Altura:**

La fase de altura en los intentos no efectivos varía desde 55° hasta 170° , siendo estos bastante fluctuantes en los intentos 1, 3 y 4 en comparación al resto de los intentos. Los intentos efectivos se encuentran en un rango de 72° a 90° . Considerándose así una **Efectividad 2** efectiva debido a la constancia que se puede apreciar en la figura 3.12. De igual forma, los intentos efectivos de la **Efectividad 1** dan la idea de un patrón de ángulos a mantener para el sujeto 2 (ver figura 3.12).

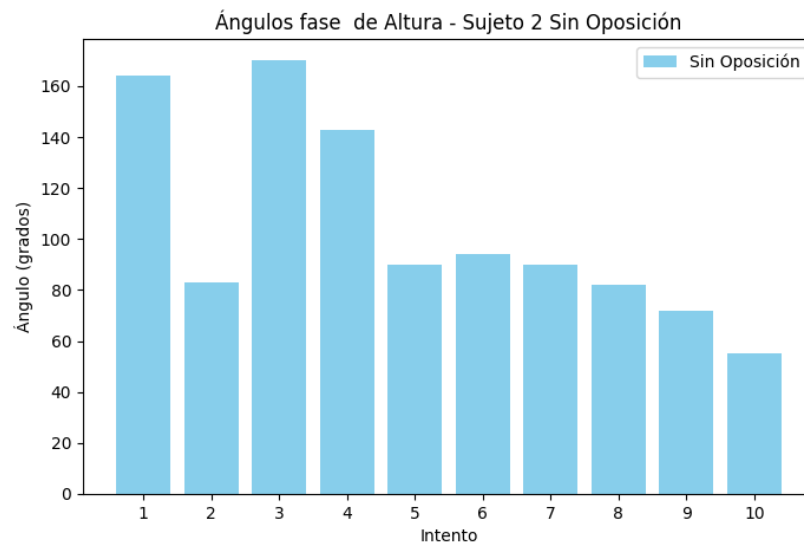


Fig. 3.12: Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición

- **Fase de Armado:**

En los intentos no efectivos, los ángulos de la fase de armado fluctúan entre 88° y 147° , reflejando cierta inestabilidad en la preparación del lanzamiento. En los intentos efectivos, los ángulos de armado se encuentran en 132° , 122° y 102° , lo que indica que estabilizar esta fase en un rango medio puede ser favorable para la **Efectividad 1**. (ver figura 3.13)

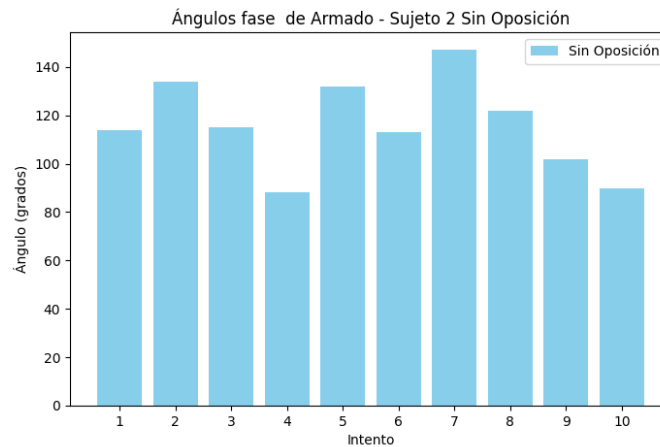


Fig. 3.13: Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relacion de angulos en fase de salto

- **Fase de Lanzamiento:** Los ángulos de lanzamiento en los intentos no efectivos varían de 140° a 171° , los cuales no se encuentran tan lejanos a los efectivos, por lo tanto se recomienda mantener dichos ángulos para lograr una buena **Efectividad 1**. Por otro lado, los intentos efectivos tienen ángulos de lanzamiento de 155° , 156° y 144° , los cuales como se dijo anteriormente son bastante similares, lo que indica constancia y una efectiva **Efectividad 2** (ver figura 3.14).

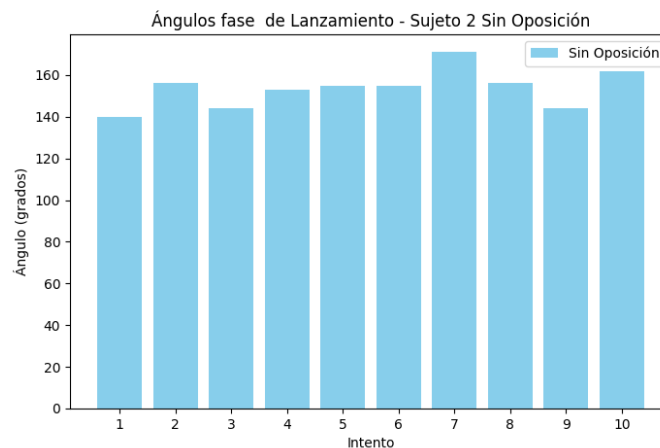


Fig. 3.14: Resultados Tabla 3.4 de sujeto 2 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición

Altura máxima lograda por sujeto 2:

La tabla 3.3 nos muestra alturas máximas que están en un rango de 40 cm a 47 cm, en donde la correlación mayor vino en los intentos 8 y 9, esto debido a la consistencia e igual que se mantuvo. Cabe destacar que el salto en el intento 8 fue de 37 cm y el del intento 9 fue de 41 cm, los cuales, al no ser el salto más potente en comparación al resto, datan de una estabilidad y consistencia en los ángulos de las cinco fases del lanzamiento. (ver figura 3.15)

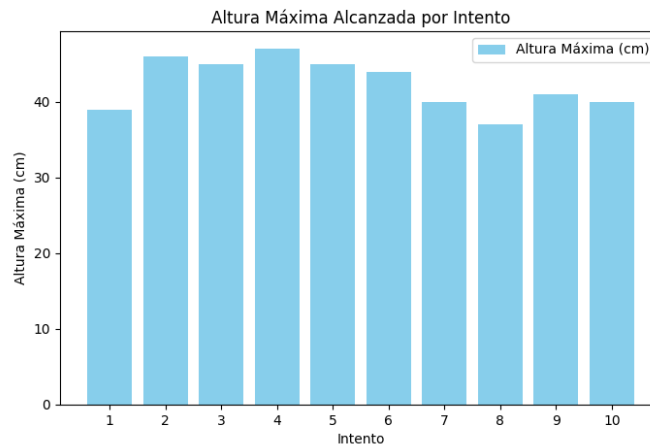


Fig. 3.15: Resultados de altura maxima (cm) de la Tabla 3.5 de sujeto 2

3.3.7. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 2 sin oposición

En la siguiente figura 3.16 es posible apreciar los 10 intentos por separado de cada fase de lanzamiento de la tabla 3.4, en donde tiene relación con el análisis de correlaciones anterior. Es posible apreciar la poca estabilidad en la fase de elevación y altura. No obstante los 3 lanzamientos efectivos, es posible visualizar un patrón de lanzamiento, el cual (sin contar un lanzamiento importante en la fase de salto) es bastante tendencioso. (ver figura 3.16)

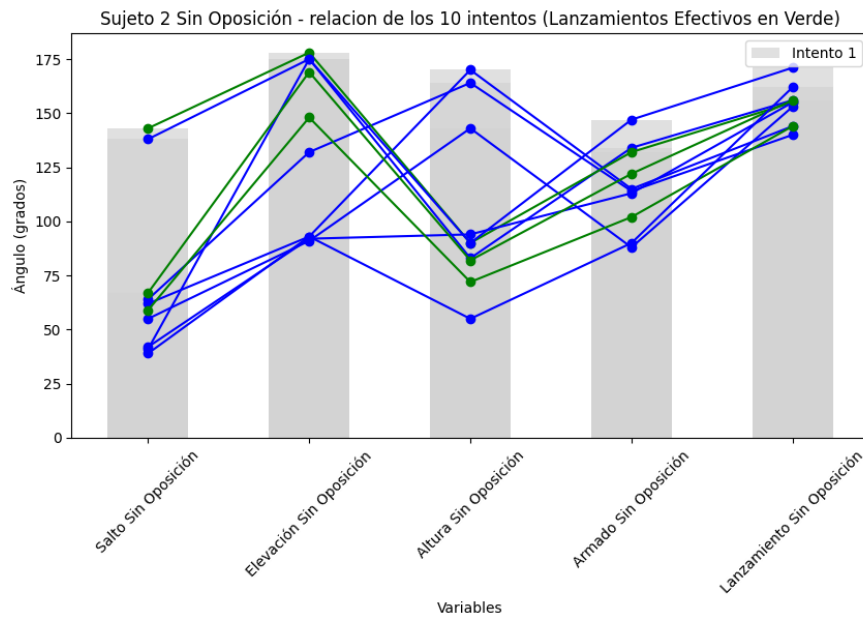


Fig. 3.16: Relacion de los 10 resultados de Tabla 3.4

Sujeto numero 3:

Sujeto 3 tuvo un 60% de intentos fallidos en **Efectividad 1** y logró una **Efectividad 2** positiva en la fase de salto, altura, armado y lanzamiento. Se recomienda analizar **Efectividad 2** en la fase de elevación, dado que se aprecia poca consistencia.

Intento	Salto	Elevacion	Altura	Armado	Lanzamiento	Efectividad 1
1	175°	142°	128°	122°	101°	NO efectivo
2	173°	170°	147°	103°	113°	NO efectivo
3	132°	121°	113°	115°	125°	NO efectivo
4	178°	141°	114°	109°	105°	NO efectivo
5	164°	136°	104°	109°	102°	NO efectivo
6	170°	120°	100°	106°	124°	efectivo
7	169°	134°	106°	108°	110°	efectivo
8	175°	156°	108°	102°	111°	NO efectivo
9	179°	158°	126°	109°	124°	efectivo
10	178°	164°	112°	113°	120°	efectivo
Efectividad 2	efectivo	NO efectivo	efectivo	efectivo	efectivo	

Tabla 3.6: tabla de investigacion de efectividad de lanzamiento con salto sin oposicion de sujeto 3

Intento	Altura maxima (Cm)
1	29
2	31
3	28
4	25
5	29
6	26
7	25
8	24
9	22
10	21

Tabla 3.7: Tabla altura maxima lograda por sujeto 3

3.3.8. Correlación de resultados y tablas 3.6 - 3.7 de sujeto 3

- **Fase de Salto:**

Los intentos no efectivos muestran una gran variabilidad en los ángulos de salto, desde 132° hasta 178° . En los intentos efectivos (intentos 6, 7, 9 y 10), los ángulos de salto se encuentran en el rango superior, entre 169° y 179° . Esto sugiere que un ángulo de salto más alto podría contribuir positivamente a la efectividad del lanzamiento. (ver figura 3.17)

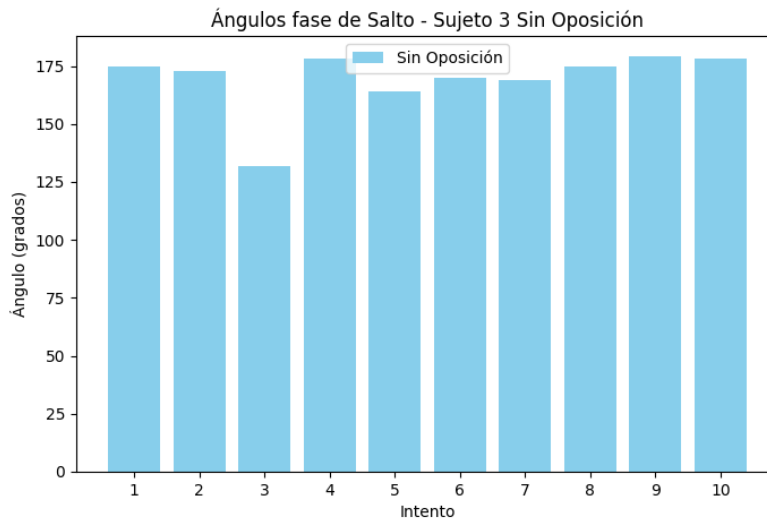


Fig. 3.17: Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relación de ángulos en fase de salto sin oposición

- **Fase de Elevación:** Los ángulos de elevación en los intentos no efectivos oscilan ampliamente entre 120° y 170° , reflejando poca consistencia. En los intentos efectivos, los ángulos de elevación están en un rango de 120° a 158° , lo que indica que estabilizar la elevación en valores altos podría mejorar la efectividad en el lanzamiento. (ver figura 3.18)

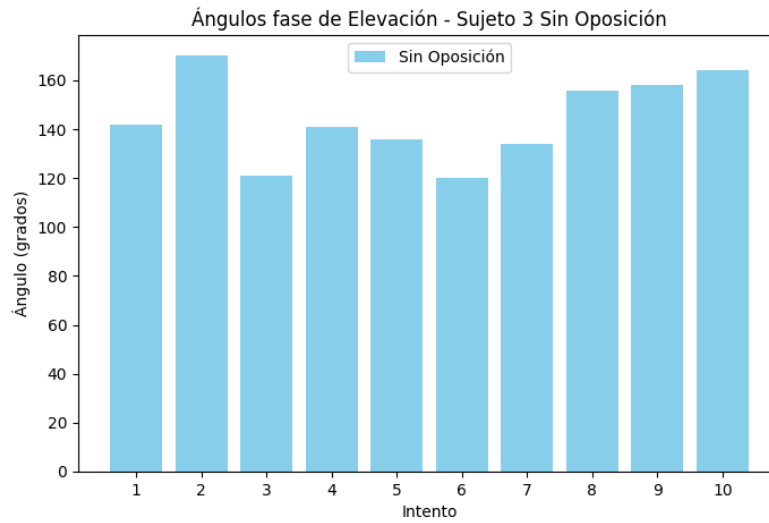


Fig. 3.18: Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición

- **Fase de Altura:**

La altura máxima en los intentos no efectivos varían de 104° a 147° , lo que refleja una falta de control en el impulso vertical. En los intentos efectivos, las alturas máximas se encuentran en un rango más moderado, entre 100° y 126° , lo cual sugiere que mantener una altura controlada y estable podría contribuir a una mayor precisión en el lanzamiento. (ver figura 3.19)

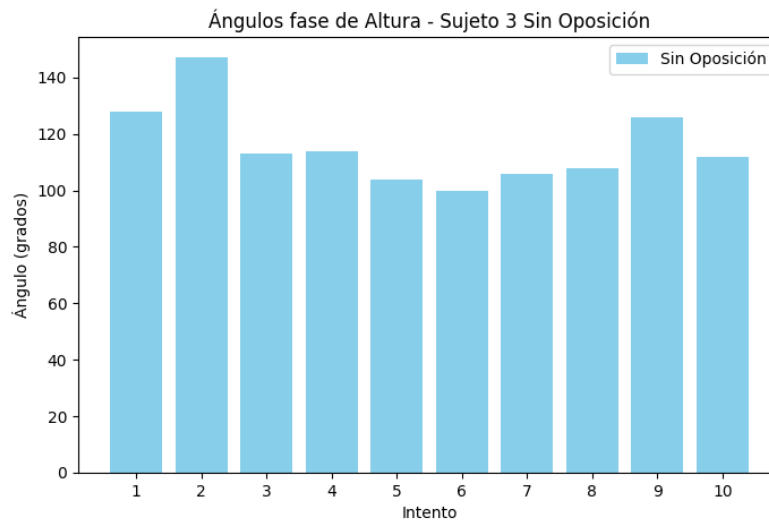


Fig. 3.19: Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición

- Fase de Armado:** Los intentos no efectivos presentan ángulos de armado que varían entre 102° y 122° , indicando inestabilidad en la preparación del lanzamiento. En los intentos efectivos, los ángulos de armado se mantienen entre 106° y 113° , lo cual sugiere que estabilizar el armado en este rango medio podría ser beneficioso para la efectividad del tiro. (ver figura 3.20)

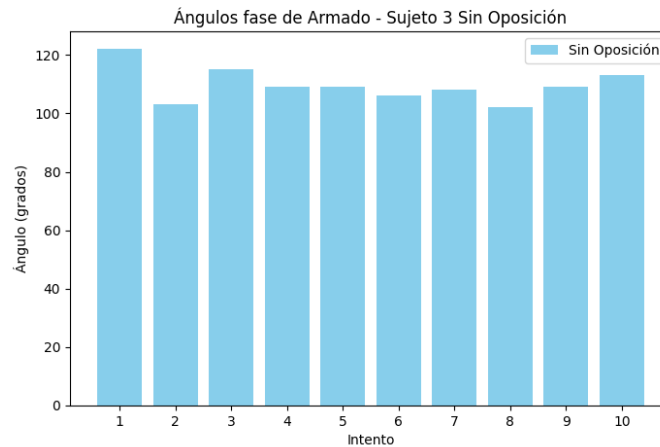


Fig. 3.20: Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición

- Fase de Lanzamiento:**

En los intentos no efectivos, los ángulos de lanzamiento fluctúan entre 101° y 125° , sugiriendo ajustes finales que podrían impactar negativamente en la precisión. En los intentos efectivos, los ángulos de lanzamiento están en el rango de 110° a 124° , lo cual indica que un ángulo de lanzamiento controlado dentro de estos valores podría mejorar la precisión final del tiro. (Ver figura 3.21)

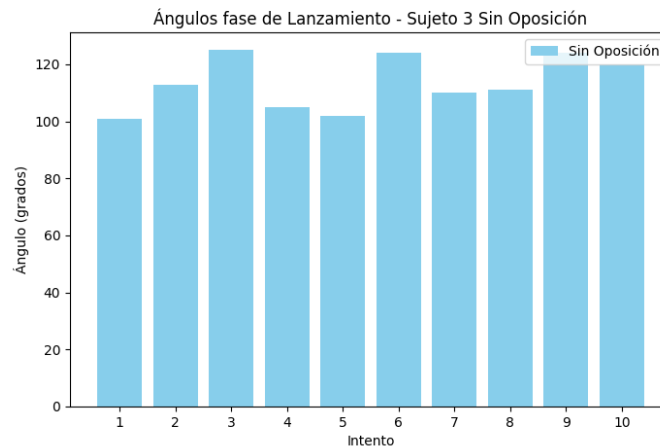


Fig. 3.21: Resultados Tabla 3.6 de sujeto 3 de relacion de angulos en fase de salto sin oposición

Altura máxima lograda por sujeto 3:

La tabla 3.7 nos muestra alturas máximas que están en un rango de 21 cm a 31 cm, en donde la correlación mayor vino en los intentos 6,7,9 y 10, los cuales no fueron la mayor altura de los 10 intentos; no así mantuvieron una mayor consistencia y control en los ángulos a lo largo de las fases del lanzamiento completo. (Ver figura 3.22)

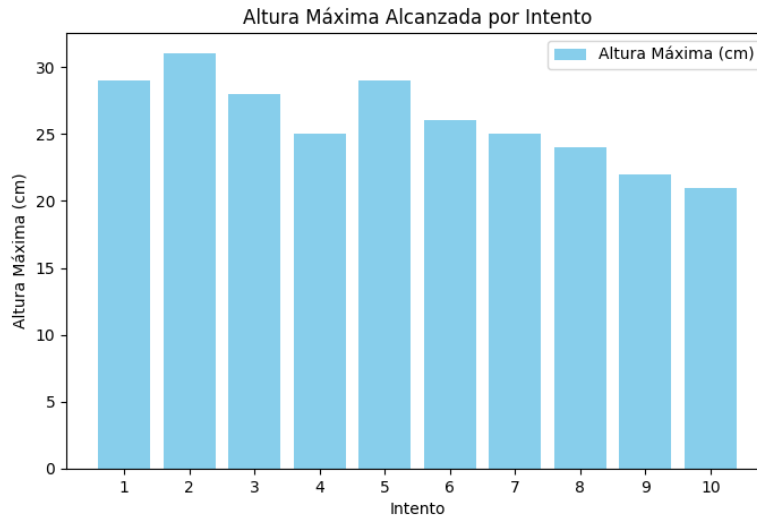


Fig. 3.22: Resultados de altura maxima(cm) de la Tabla 3.7 de sujeto 3

3.3.9. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 3 - sin oposición

En la siguiente figura 3.23 es posible apreciar los 10 intentos por separado de cada fase de lanzamiento de la tabla 3.6, en donde tiene relación con el análisis de correlaciones anterior. Es posible apreciar una curva de tendencias en cada fase de lanzamiento muy marcada, siendo la fase de elevación la más versátil de todas las fases. (ver figura 3.23)

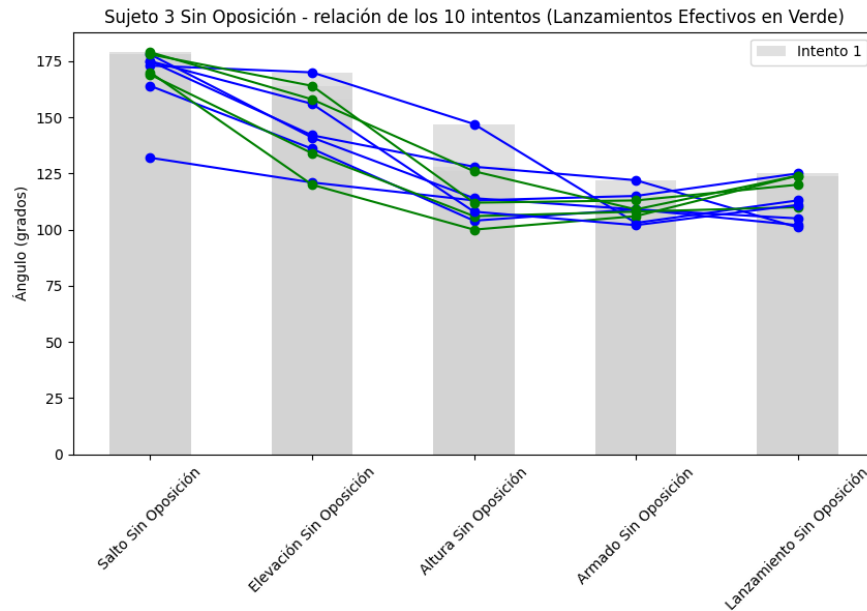
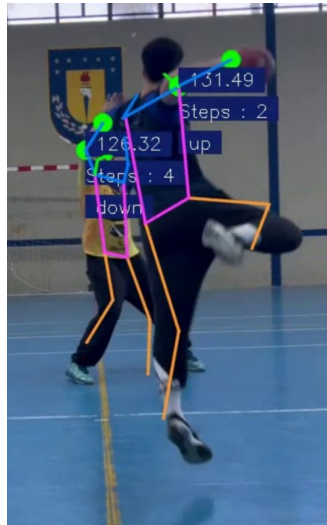


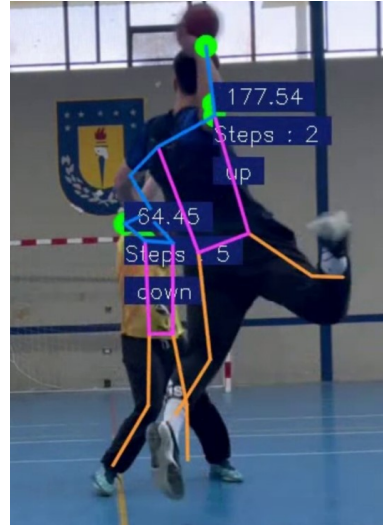
Fig. 3.23: Relacion de los 10 resultados de Tabla 3.6

3.3.10. Tabla resultados lanzamiento en suspensión con oposición

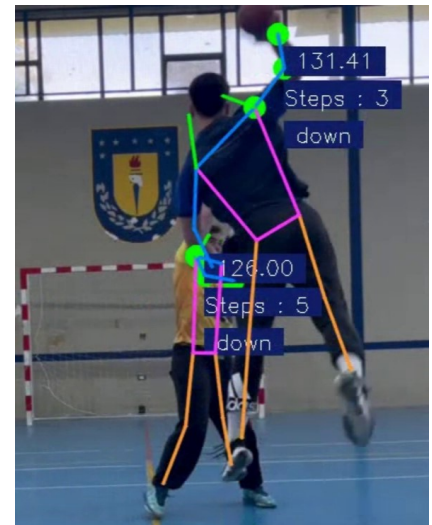
3.3.10.1. Secuencia de lanzamiento en acción de suspensión con oposición



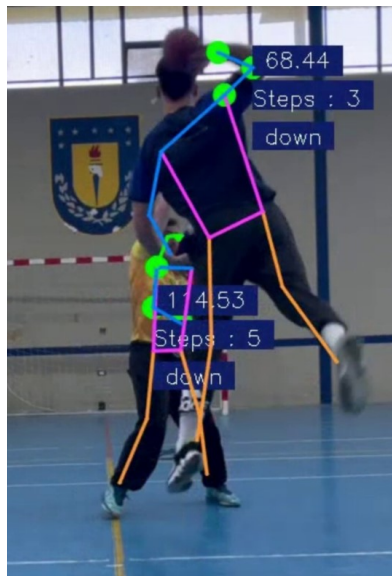
(a) salto



(b) Elevación



(c) Altura Maxima



(d) Armado



(e) Lanzamiento

Fig. 3.24: Secuencia de lanzamiento en acción de salto con oposición

Sujeto 1:

La tabla 3.8 fue exitosa en un 40% en **Efectividad 1** en los intentos 4-6-7-8, y de igual forma mantuvo una **Efectividad 2** postiva en las fases de altura, armado y lanzamiento. Con ayuda de expertos en el área, se logró encontrar una correlación entre la **Efectividad 1** y la **Efectividad 2** en cada fase del lanzamiento.

Intento	Salto	Elevación	Altura	Armado	Lanzamiento	Efectividad 1
1	131°	157°	55°	131°	146°	NO efectivo
2	137°	122°	36°	139°	154°	NO efectivo
3	111°	127°	43°	127°	156°	NO efectivo
4	123°	119°	53°	136°	139°	efectivo
5	133°	163°	38°	131°	136°	NO efectivo
6	161°	154°	38°	146°	160°	efectivo
7	168°	121°	28°	142°	167°	efectivo
8	166°	159°	42°	119°	166°	efectivo
9	153°	166°	30°	116°	160°	NO efectivo
10	156°	125°	40°	153°	159°	NO efectivo
Efectividad 2	No efectivo	No efectivo	efectivo	efectivo	efectivo	

Tabla 3.8: Tabla de investigación de efectividad de lanzamiento en suspensión con oposición de sujeto 1

Intento	Altura maxima (Cm)
1	55
2	52
3	51
4	50
5	40
6	57
7	49
8	45
9	50
10	41

Tabla 3.9: Tabla altura maxima lograda por sujeto 1

3.3.11. Correlacion de resultados y tablas 3.8 - 3.9 de sujeto 1

- Fase de Salto:** En los 6 intentos fallidos en Efectividad 1, los ángulos de la fase de salto se encuentran en un rango de 111° hasta 137° , manteniéndose constante y logrando una **efectividad 2** efectiva. En los intentos exitosos, el ángulo en la fase de salto aumenta a un rango más elevado, de 153° a 168° . Este cambio sugiere que mantener un ángulo de salto en un rango superior contribuye a una mayor estabilidad y precisión en el lanzamiento. No obstante, la **Efectividad 2** mantuvo una constancia efectiva, pero se calificó como no efectiva dado que no superó un 50% de constancia en los 10 intentos de esta fase. (Ver figura 3.25)

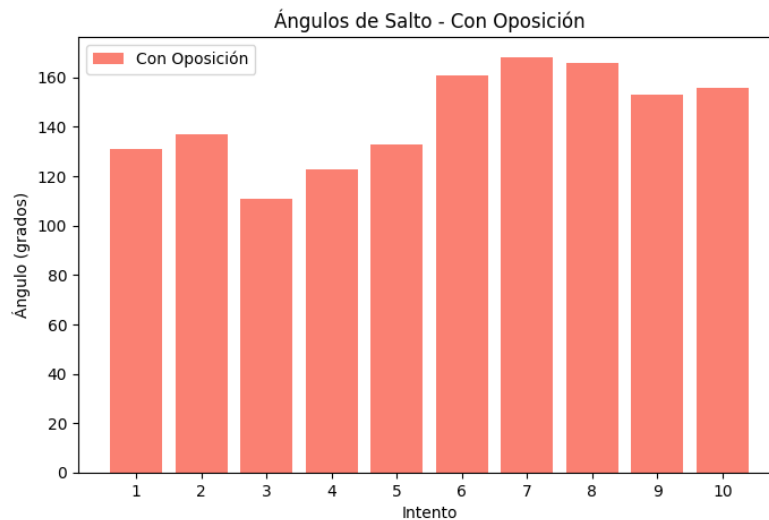


Fig. 3.25: Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de angulos en fase de salto

- Fase de Elevación:**

Los intentos fallidos en **Efectividad 1** presentan ángulos en la fase de elevación más dispersos, en un rango que va de 119° a 166° . Esta variabilidad podría estar afectando negativamente la precisión de los lanzamientos e indicando de igual forma una **Efectividad 2** negativa. En contraste, en los intentos efectivos en **Efectividad 1**, los ángulos en la fase de elevación fluctúan entre 121° y 159° . Lo cual indica una **Efectividad 2** negativa en esta fase de lanzamiento y a lo largo de los 10 intentos de esta fase. (Ver figura 3.26)

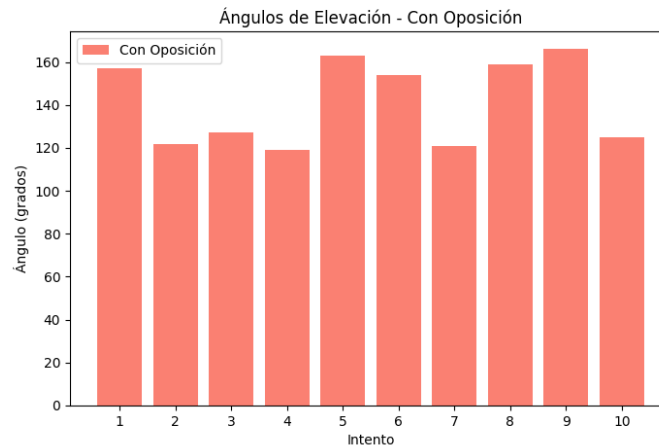


Fig. 3.26: Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de elevación

■ Fase de Altura:

Los intentos fallidos en **Efectividad 1** de la fase de altura, se encuentran en un rango de 36° a 55° , indicando una **Efectividad 2** efectiva. Por otro lado, en los intentos efectivos de la **Efectividad 1**, se logra apreciar un rango 28° a 40° el cual disminuyó, pero es similar a los intentos fallidos, concluyendo así de una **Efectividad 2** efectiva en los 10 intentos (ver figura: 3.27).

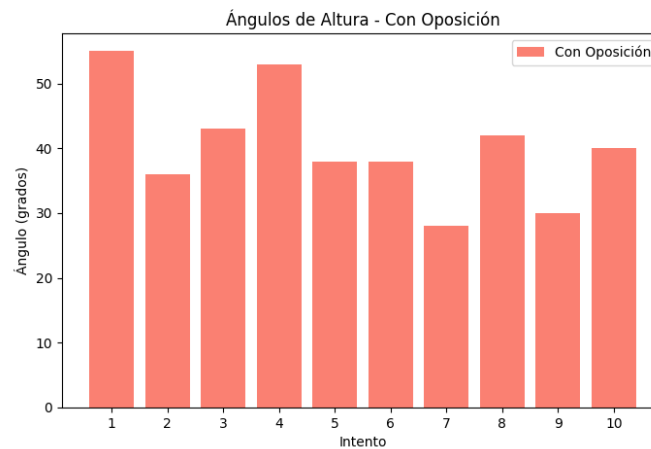


Fig. 3.27: Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de ángulos en fase de elevación

■ Fase de Armado:

Los ángulos en los intentos fallidos en la **Efectividad 1**, de la fase de armado, se encuentran entre 119° y 139° , mostrando consistencia en la preparación del lanzamiento, por ende una **Efectividad 2** efectiva. En los intentos efectivos, los ángulos de armado se mantie-

nen dentro de rangos similares, entre 116° y 153° , por ende, se asume una **Efectividad 2** efectiva en los 10 intentos y en los lanzamientos efectivos. (Ver figura: 3.28)

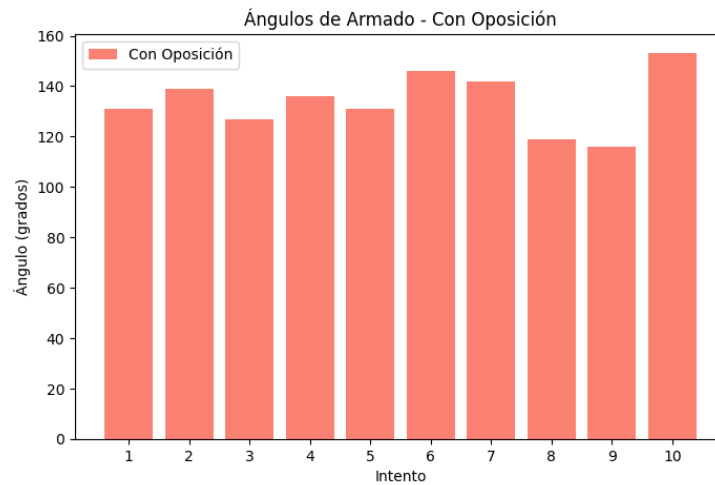


Fig. 3.28: Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de angulos en fase de elevación

■ Fase de Lanzamiento:

Los intentos fallidos de **Efectividad 1** en la fase de lanzamiento reflejan ángulos entre 136° y 154° , pero estos mantienen constancia para una **Efectividad 2** efectiva. En los intentos efectivos, los ángulos de lanzamiento son más elevados y estables dado que varían entre 159° y 167° , mostrando de igual forma una **Efectividad 2** positiva a lo largo de los 10 intentos. Cabe destacar que este rango parece ideal para un lanzamiento exitoso, ya que permite una finalización del tiro con mayor control. (ver figura: 3.29)

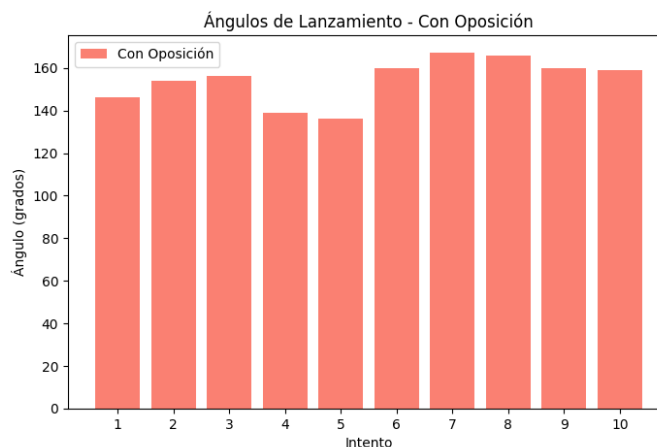


Fig. 3.29: Resultados Tabla 3.8 de sujeto 1 de relación de angulos en fase de elevación

Altura máxima lograda por sujeto 1

La Figura 3.30 nos muestra alturas máximas que están en un rango de 41 cm a 57 cm, con intentos exitosos en Efectividad 1 (marcados en verde). En estos intentos, los ángulos en cada fase del lanzamiento están en un rango elevado y constante de 153° a 168° , lo cual da para intuir una efectiva **efectividad 2**, así como también una postura de lanzamiento óptima y estable dentro de esos rangos de lanzamiento. (Ver figura 3.30)

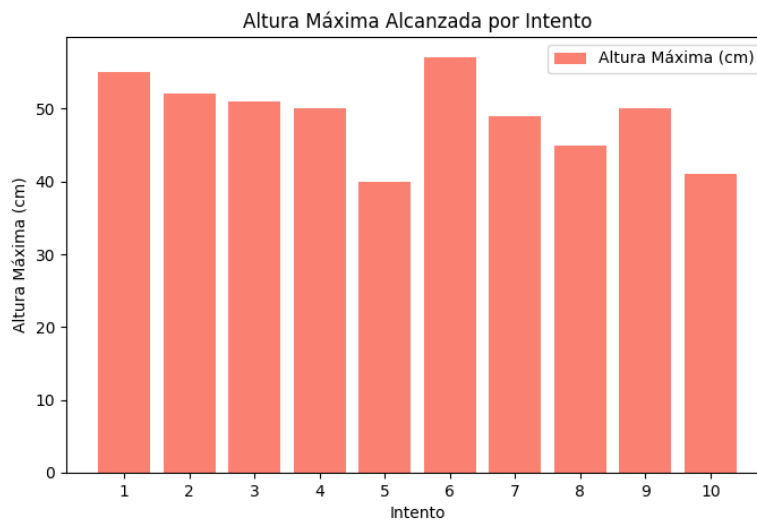


Fig. 3.30: Resultados Tabla 3.9 de sujeto 1 de relacion de angulos con la altura maxima lograda

3.3.12. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 1 con oposición

En la siguiente figura 3.31 es posible apreciar los 10 intentos por separado de cada fase de lanzamiento de la tabla 3.8, en donde tiene relación con el análisis de correlaciones anterior. Es posible apreciar una curva de tendencias en cada fase de lanzamiento muy marcada, siendo la fase de salto y elevación la más versátil de todas las fases. No obstante, el sujeto 1 mantiene una curva de lanzamiento bastante tendenciosa, en donde mejorando las fases iniciales sería posible ver mejoras en la **Efectividad 1**. (ver figura 3.31)

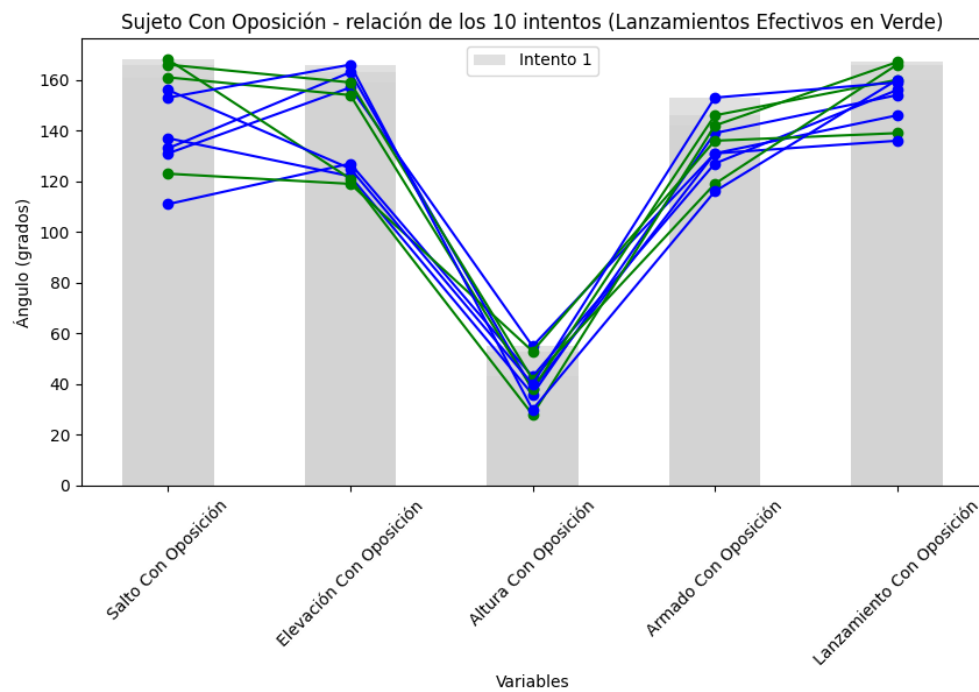


Fig. 3.31: Relación de los 10 resultados de Tabla 3.8

Sujeto numero 2:

La tabla 3.10 fue exitosa en un 10 % en **Efectividad 1** en el intento 3, pero mantuvo rangos efectivos para lograr una **Efectividad 2** efectiva en la fase de elevación, armado y lanzamiento.

Intentos	Salto	Elevacion	Altura	Armado	Lanzamiento	Efectividad 1
1	168°	154°	113°	142°	165°	NO efectivo
2	179°	124°	146°	151°	160°	NO efectivo
3	140°	175°	139°	125°	175°	efectivo
4	167°	140°	90°	141°	146°	NO efectivo
5	163°	162°	96°	142°	168°	NO efectivo
6	161°	179°	136°	144°	169°	NO efectivo
7	163°	175°	147°	162°	160°	NO efectivo
8	176°	129°	69°	170°	168°	NO efectivo
9	171°	137°	62°	139°	172°	NO efectivo
10	176°	175°	95°	146°	169°	NO efectivo
Efectividad 2	NO efectivo	efectivo	NO efectivo	efectivo	efectivo	

Tabla 3.10: Tabla de investigación de efectividad para lanzamiento en suspensión con oposición de sujeto 2

Intento	Altura maxima
1	36
2	29
3	30
4	29
5	31
6	30
7	32
8	30
9	29
10	31

Tabla 3.11: Tabla altura maxima lograda por sujeto 2

3.3.13. Correlación de resultados y tablas 3.10 - 3.11 de sujeto 2

- **Fase de Salto:**

Los 9 intentos fallidos en Efectividad 1 presentan ángulos de salto en un rango elevado que varía entre 161° y 179° . Aunque mantiene consistencia en el salto, no parece ser óptima para el éxito del lanzamiento. En el único intento efectivo (Intento 3), el ángulo de salto es 140° , significativamente menor que el de los intentos fallidos. Esto sugiere que un ángulo de salto más bajo podría favorecer la precisión en el lanzamiento. (ver figura 3.32)

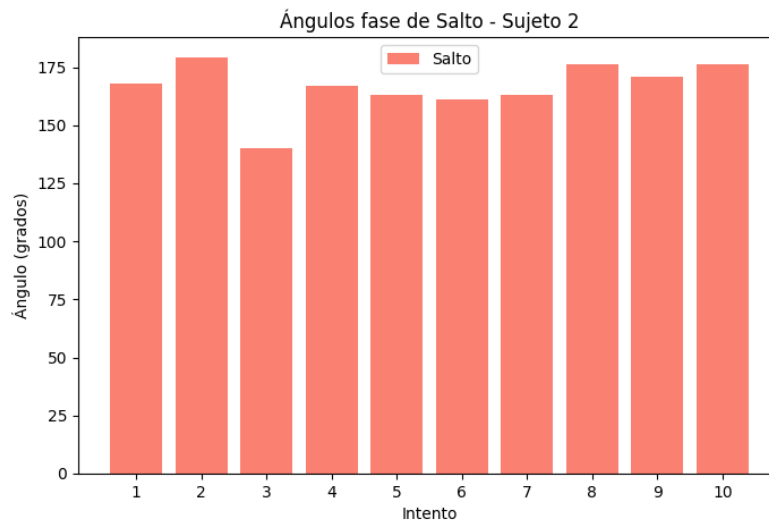


Fig. 3.32: Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de angulos en fase de salto

- **Fase de Elevación:**

Los intentos no efectivos muestran ángulos de elevación muy dispersos, en un rango amplio de 124° a 179° . Esta variabilidad en la fase de elevación podría afectar negativamente la efectividad del lanzamiento. En el intento efectivo (Intento 3), el ángulo de elevación es de 175° . (ver figura 3.33)

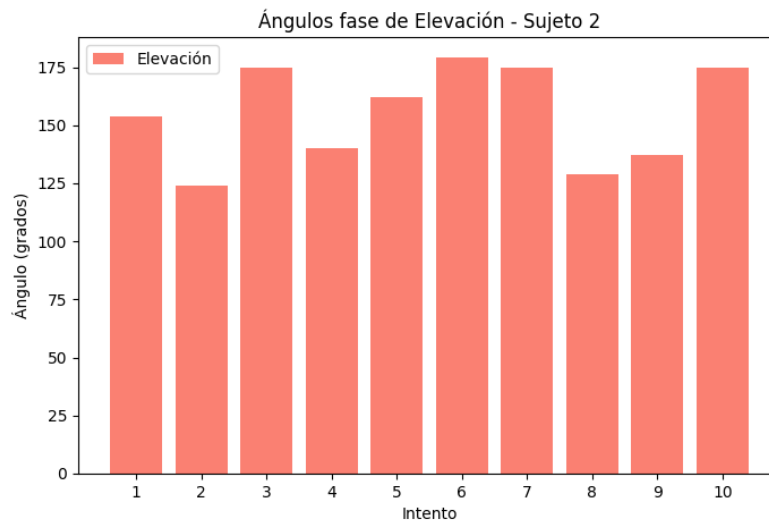


Fig. 3.33: Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de ángulos en fase de elevación

■ **Fase de Altura:**

En los intentos no efectivos, la altura máxima es más variable, con valores que fluctúan desde 62° hasta 147° . En el intento efectivo, el ángulo de la fase de altura es de 139° , este valor podría indicar una mejora en la probabilidad de éxito en el lanzamiento o una tendencia a seguir. (Ver figura 3.34)

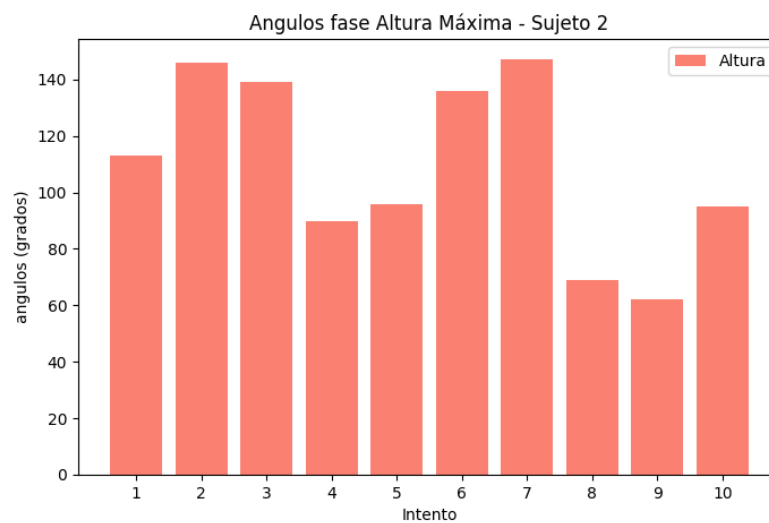


Fig. 3.34: Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de ángulos en fase de elevación

- Fase de Armado:** Los intentos fallidos presentan ángulos de armado que varían entre 125° y 170° , mostrando variabilidad en la preparación del lanzamiento. El intento efectivo tiene un ángulo de armado de 125° , lo cual sugiere que un ángulo de armado más bajo en comparación con los intentos fallidos podría ser más favorable para el lanzamiento. Esto sugiere que estabilizar el armado a un ángulo inferior puede ayudar a preparar el tiro con mayor precisión. (ver figura 3.35)

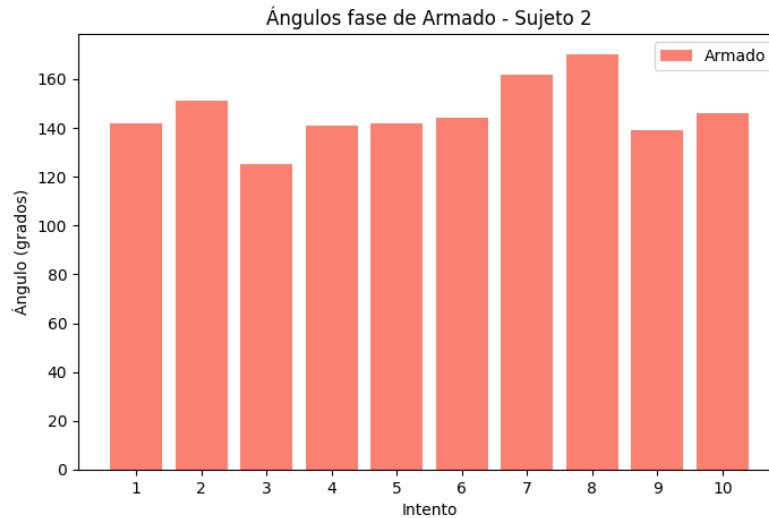


Fig. 3.35: Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de ángulos en fase de elevación

- Fase de Lanzamiento:** En los intentos no efectivos, los ángulos de lanzamiento fluctúan entre 146° y 172° , lo cual indica ajustes de estabilidad en la última fase. El intento efectivo presenta un ángulo de lanzamiento de 175° , que es más elevado que en los intentos no efectivos, sugiriendo que un ángulo de lanzamiento elevado y cercano a este valor puede ser provechoso para lograr la efectividad en el lanzamiento. (ver figura 3.36)

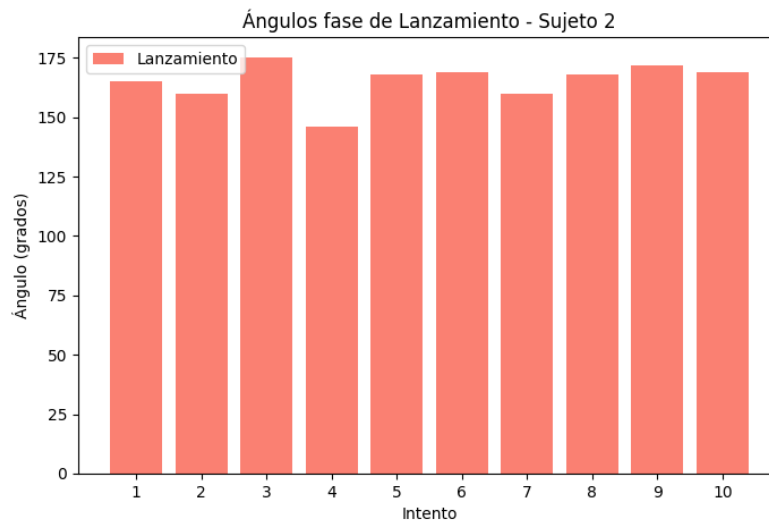


Fig. 3.36: Resultados Tabla 3.10 de sujeto 2 de relación de angulos en fase de lanzamiento

Altura máxima lograda por sujeto 2:

La figura 3.37 nos muestran alturas máximas que están en un rango de 29 cm a 36 cm. Con el intento número 3, con una altura máxima lograda de 30 cm, fue el único exitoso, en donde se aprecian rangos bastante amplios pero estables a lo largo de las cinco fases. (ver figura 3.34 y tabla 3.11)

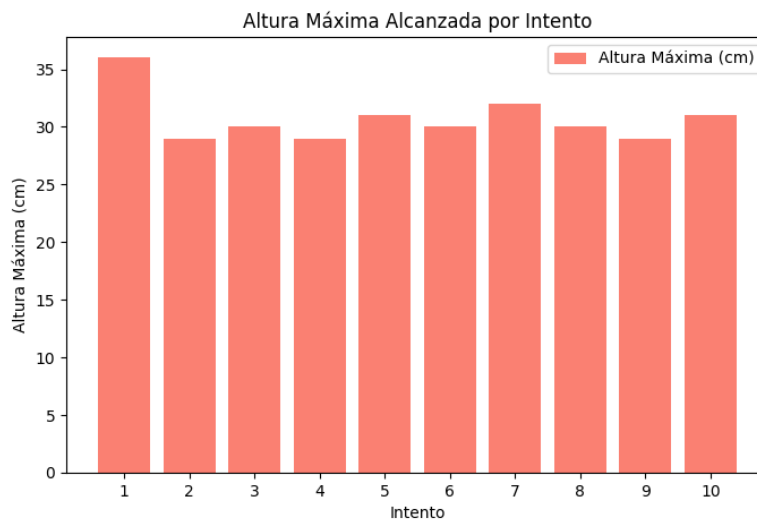


Fig. 3.37: Resultados Tabla 3.11 de sujeto 2 de relación de angulos con la altura maxima lograda

3.3.14. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 2 con oposición

En la siguiente figura 3.38 es posible apreciar los 10 intentos por separado de cada fase de lanzamiento de la tabla 3.10, en donde tiene relación con el análisis de correlaciones anterior. Es posible apreciar curvas bastante volátiles en comparación a lo que fue el intento efectivo, en donde al momento de pasar por la fase de altura se puede ver que el sujeto prácticamente no tiene una tendencia. (Ver figura 3.38)

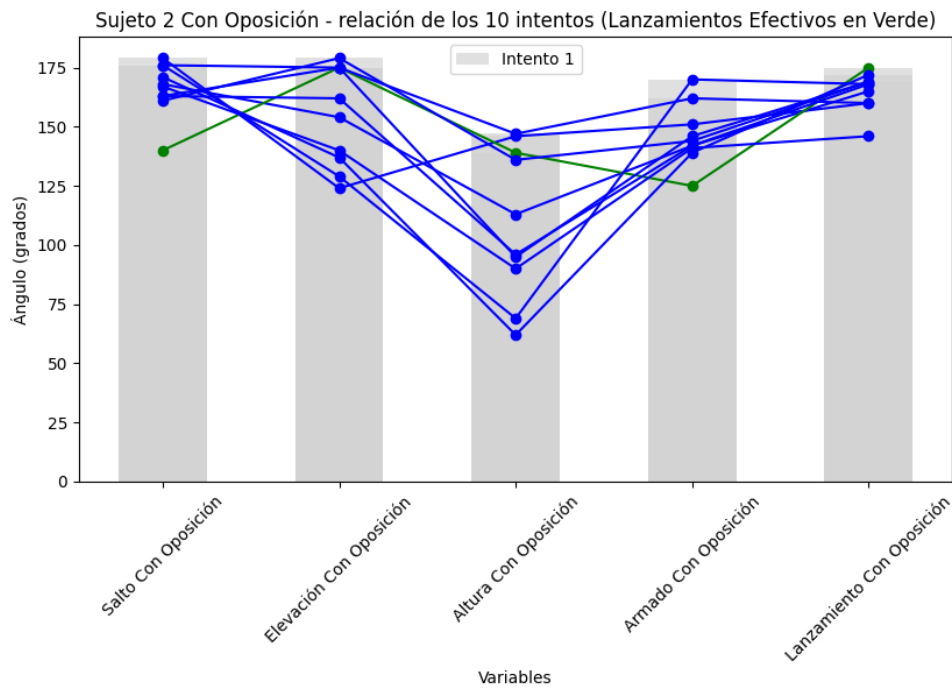


Fig. 3.38: Relación de los 10 resultados de Tabla 3.10

Sujeto numero 3:

La tabla 3.12 fue exitosa en un 0% en **Efectividad 1** en todos los intentos, pero mantuvo rangos efectivos para lograr una **Efectividad 2** efectiva en la fase de elevación, armado y lanzamiento.

Intento	Salto	Elevación	Altura	Armado	Lanzamiento	Efectividad 1
1	179°	164°	125°	112°	131°	NO efectivo
2	149°	174°	97°	127°	137°	NO efectivo
3	145°	179°	99°	132°	136°	NO efectivo
4	112°	116°	178°	109°	113°	NO efectivo
5	176°	179°	129°	128°	135°	NO efectivo
6	168°	151°	108°	121°	138°	NO efectivo
7	157°	169°	130°	141°	143°	NO efectivo
8	172°	152°	114°	85°	129°	NO efectivo
9	131°	159°	103°	97°	113°	NO efectivo
10	157°	161°	101°	120°	142°	NO efectivo
Efectividad 2	NO efectivo	efectivo	NO efectivo	efectivo	efectivo	

Tabla 3.12: Tabla de investigación de efectividad para lanzamiento en suspensión con oposición de sujeto 3

Intento	Altura maxima
1	29
2	31
3	28
4	25
5	29
6	26
7	25
8	24
9	22
10	21

Tabla 3.13: Tabla altura maxima lograda por sujeto 3

3.3.15. Correlación de resultados y tablas 3.12 - 3.13 de sujeto 3

■ Fase de Salto:

Los ángulos en la fase de salto varían significativamente, entre 112° y 179° . Sugiere una falta de control en la postura inicial de salto, lo cual puede contribuir a la fallida **Efectividad 2** en todas las fases. (ver figura 3.39)

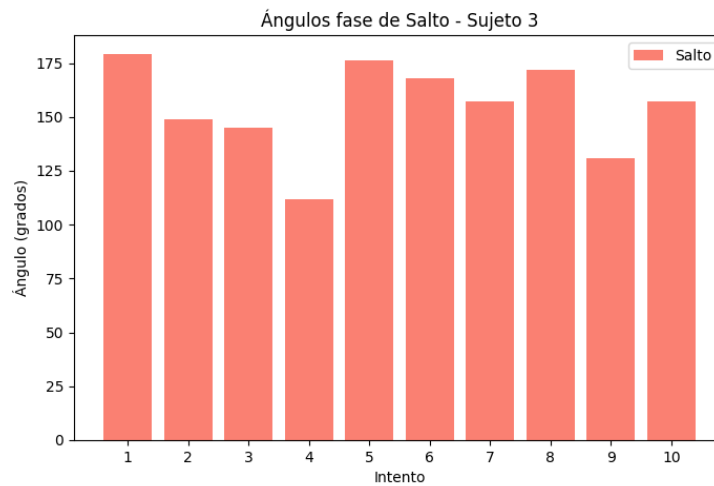


Fig. 3.39: Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de salto

■ Fase de Elevación:

Los ángulos de la fase de elevación mantienen un cierto rango de consistencia, lo cual indica una **Efectividad 2** positiva. (ver figura 3.40)

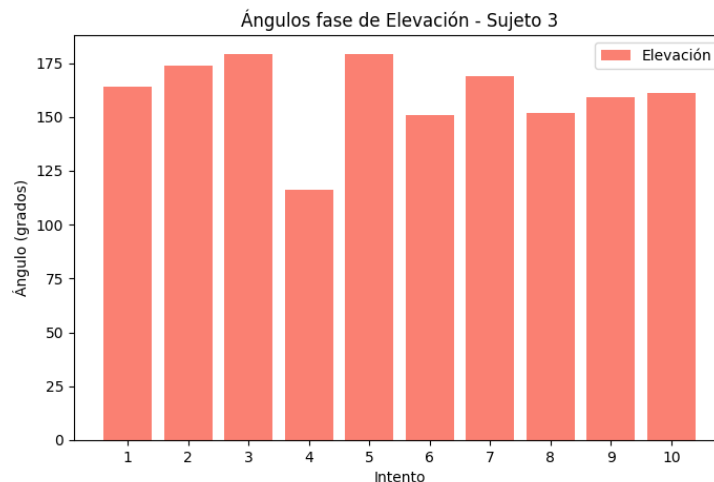


Fig. 3.40: Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de elevación

- **Fase de Altura:**

Los ángulos en la fase de altura no mantienen una consistencia, esto indicando una **Efectividad 2** negativa. No se observan rangos específicos de armado que mejoren el resultado, lo cual podría indicar que trabajar en un ángulo de armado más estable podría ser beneficioso (ver figura 3.41).

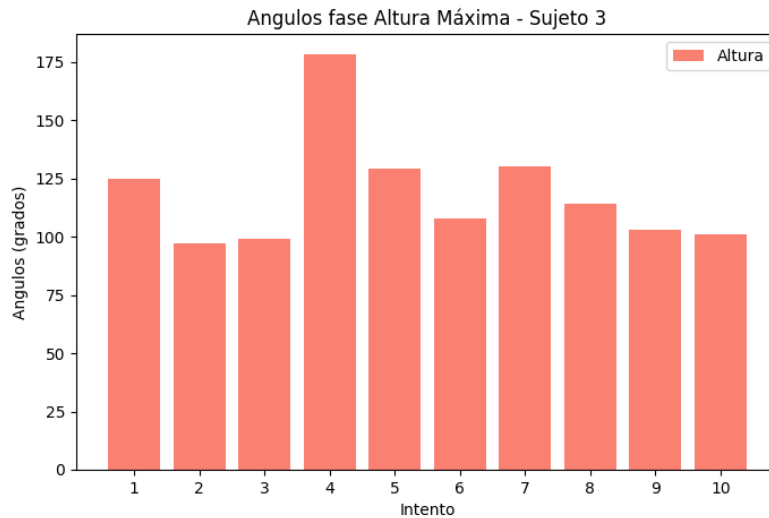


Fig. 3.41: Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de altura

- **Fase de Armado:**

Los ángulos de la fase de armado también presentan un desfase tan amplio por lo que se considera una **Efectividad 2** positiva. (Ver figura 3.42)

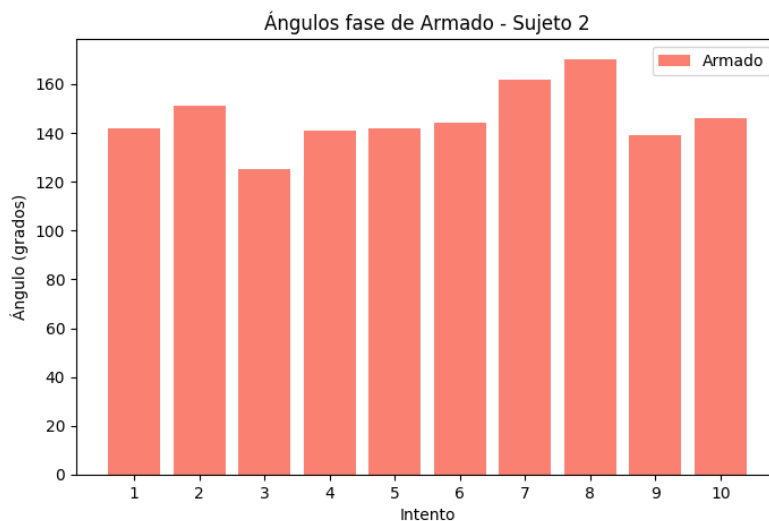


Fig. 3.42: Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de armado

- **Fase de Lanzamiento:**

Los ángulos de lanzamiento oscilan entre 113° y 143° , indicando así una **efectividad 2** efectiva.

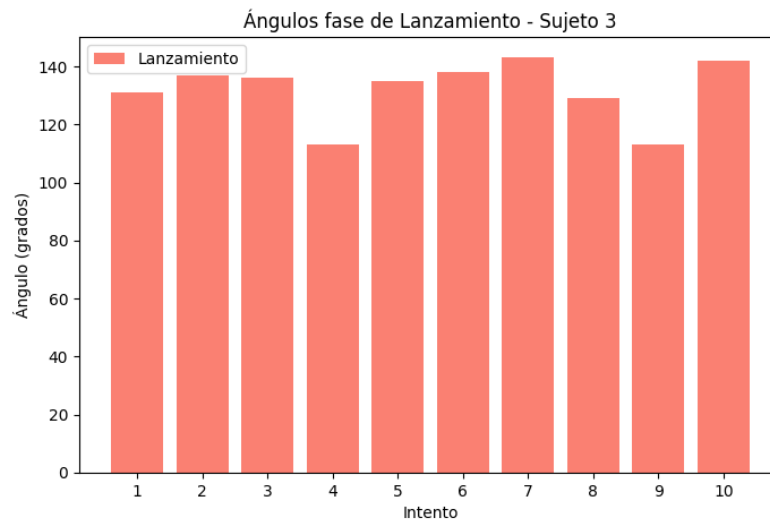


Fig. 3.43: Resultados Tabla 3.12 de sujeto 3 de relación de angulos en fase de lanzamiento

Altura máxima lograda por sujeto 3:

La figura 3.44 nos muestra alturas máximas que están en un rango de 21 cm a 31 cm, con ningún intento exitoso. (ver figura 3.44)

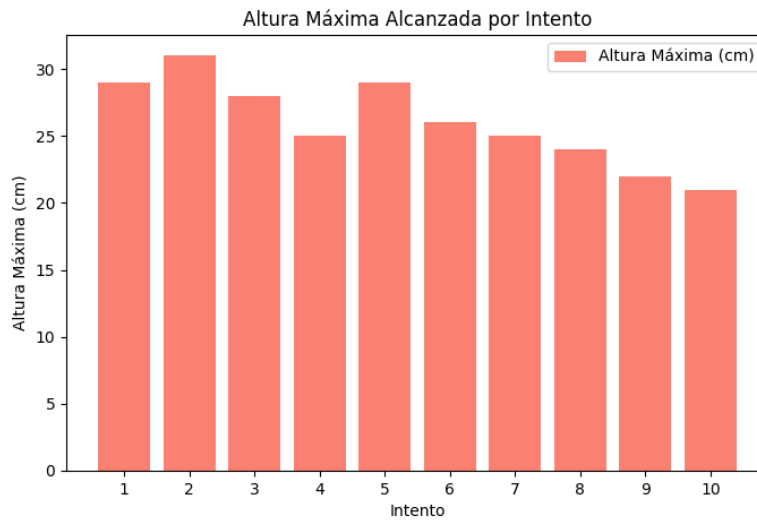


Fig. 3.44: Resultados de altura máxima (cm) de la Tabla 3.13 de sujeto 3

3.3.16. Gráfica relación de los 10 intentos sujeto 3 con oposición

En la siguiente figura 3.45 es posible apreciar los 10 intentos por separado de cada fase de lanzamiento de la tabla 3.12, en donde tiene relación con el análisis de correlaciones anterior. Es posible apreciar curvas bastante volátiles y ángulos bastante elevados, en comparación a lo que fueron los otros sujetos. Por lo tanto, se recomienda ajustar el lanzamiento en torno a la apertura de este, lo cual reduciría los ángulos y daría más estabilidad a la fase de salto y altura. (ver figura 3.45)

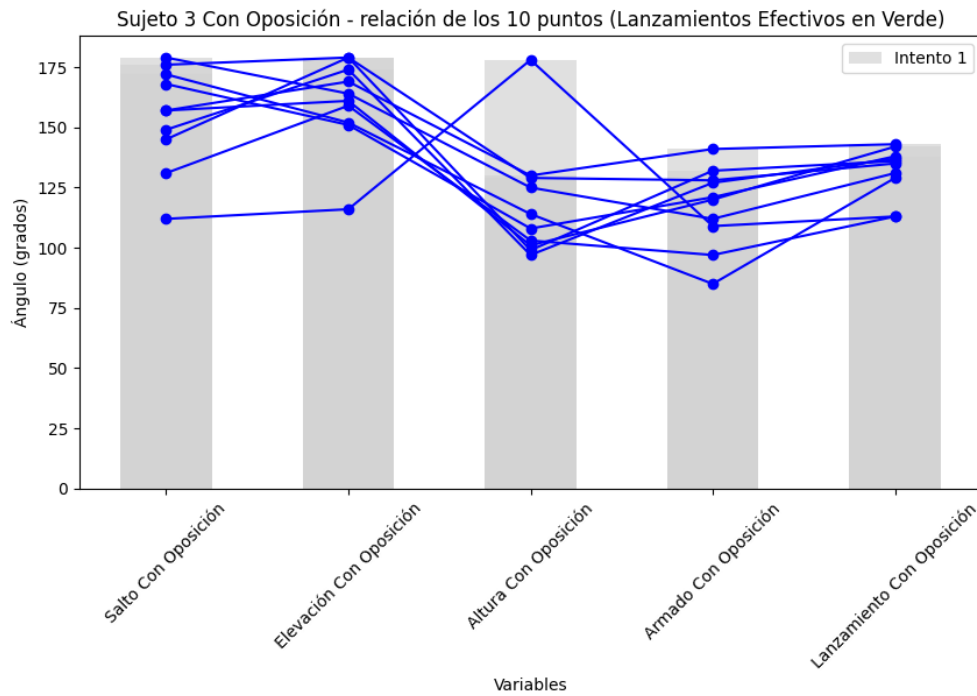


Fig. 3.45: Relación de los 10 resultados de Tabla 3.12

3.3.17. Comparación de resultados de los 10 intentos con y sin oposición

Sujeto 1:

Sujeto número uno mostró mejores curvas (Ver figura 3.47) en lanzamiento con oposición, todo esto debido a la visual de enfoque que le genera el defensivo.

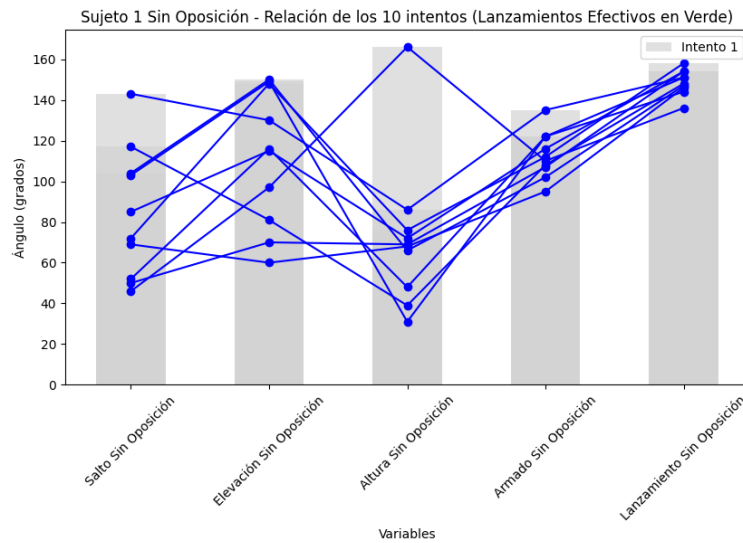


Fig. 3.46: Comparacion de proceso de lanzamiento de tablas 3.2

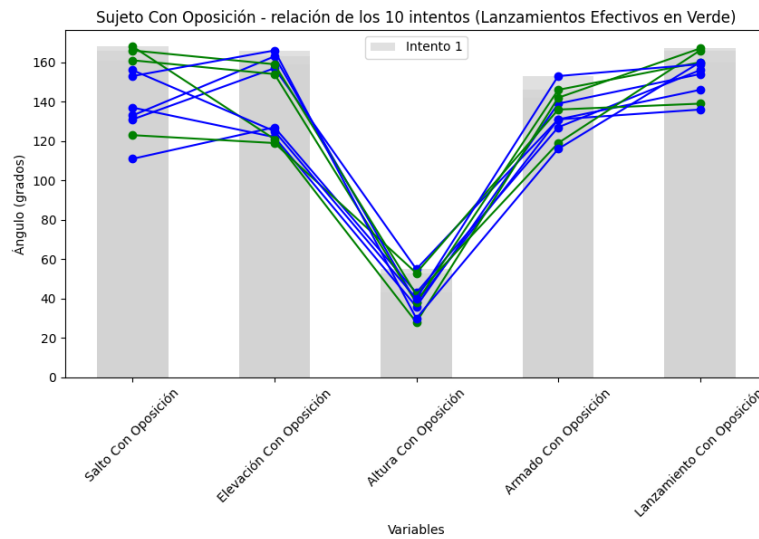


Fig. 3.47: Comparacion de proceso de lanzamiento de tablas 3.8

Sujeto 2:

Sujeto 2 se vio claramente afectado por la influencia defensiva, viendo reducida su efectividad en 60 % (ver figura 3.49).

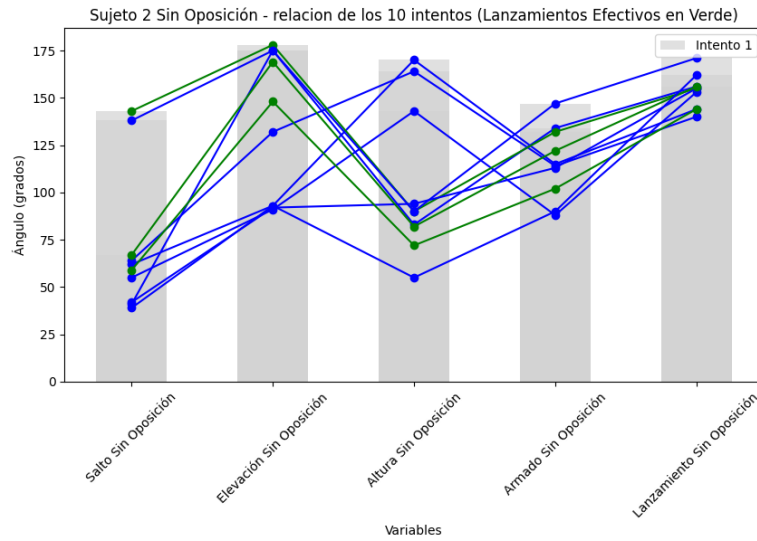


Fig. 3.48: Comparacion de proceso de lanzamiento de tablas 3.4

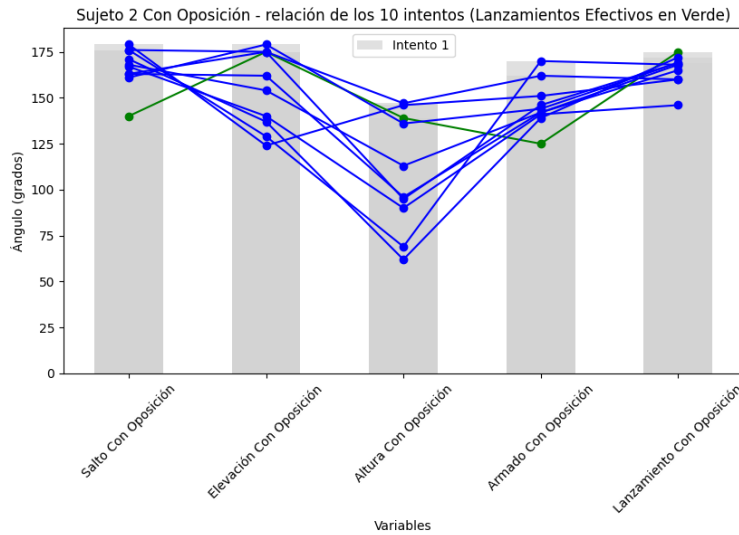


Fig. 3.49: Comparacion de proceso de lanzamiento de tablas 3.10

Sujeto 3:

De igual forma, sujeto número 3 se vio completamente perjudicado con la oposición defensiva, reduciendo su efectividad en un 100% (Ver figura 3.51)

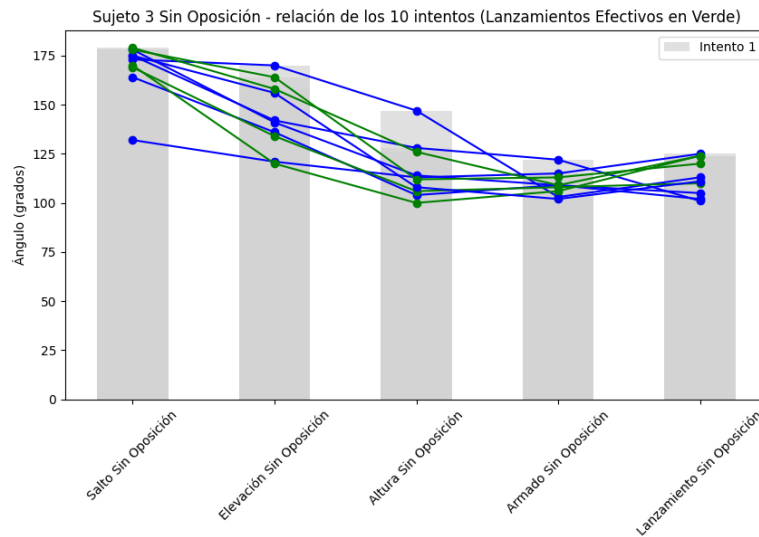


Fig. 3.50: Comparación de proceso de lanzamiento de tablas 3.6

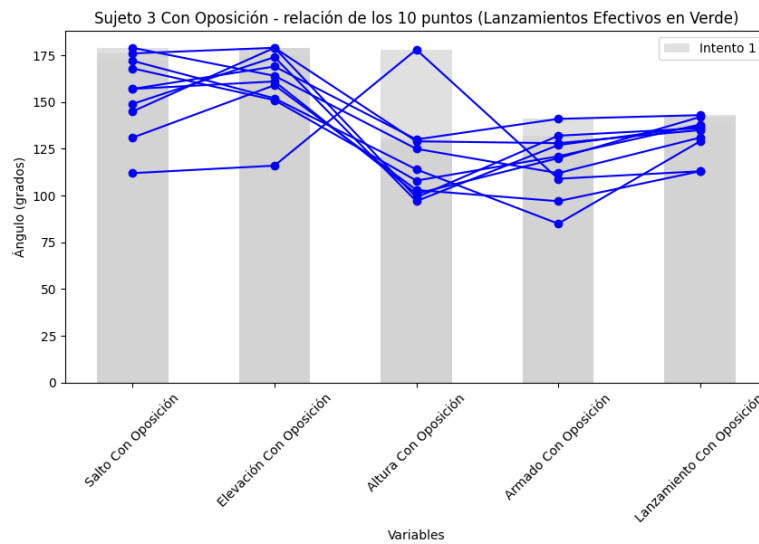


Fig. 3.51: Comparación de proceso de lanzamiento de tablas 3.12

3.3.18. Curva media ideal por sujeto

sujeto 1:

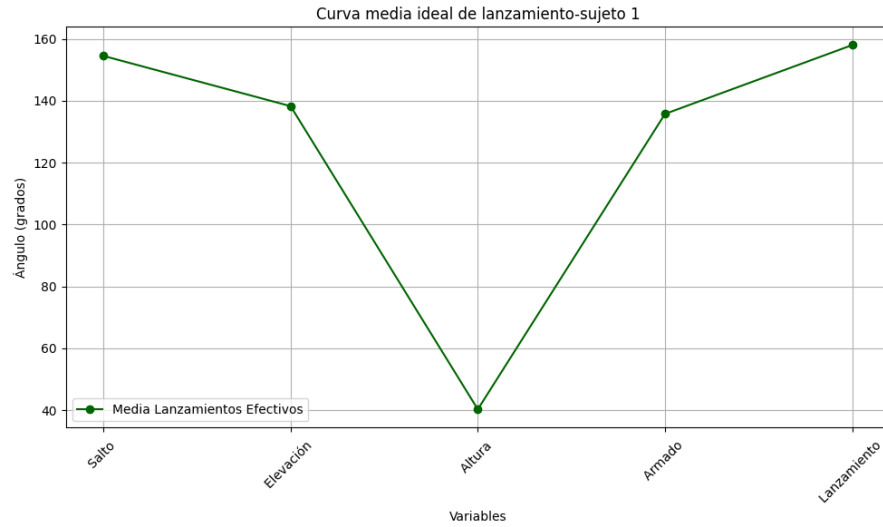


Fig. 3.52: Curva media de lanzamientos efectivos de sujeto 1

sujeto 2:

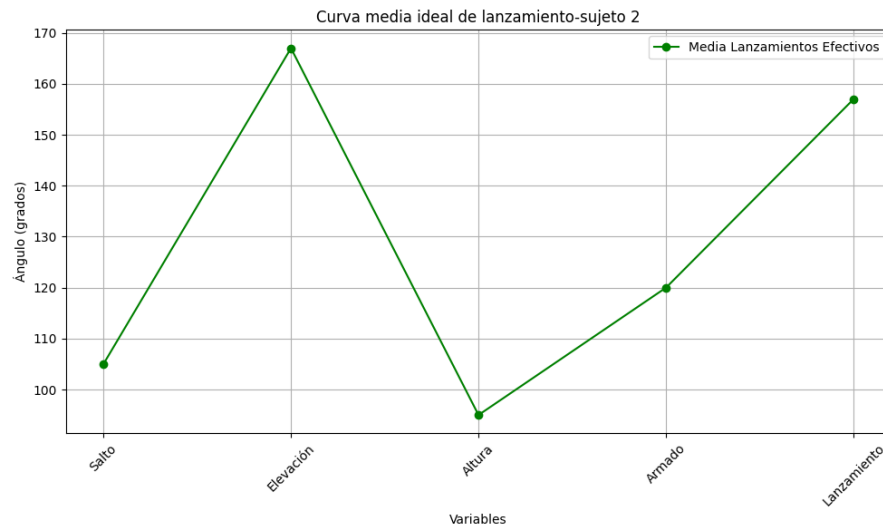


Fig. 3.53: Curva media de lanzamientos efectivos de sujeto 2

sujeto 3:

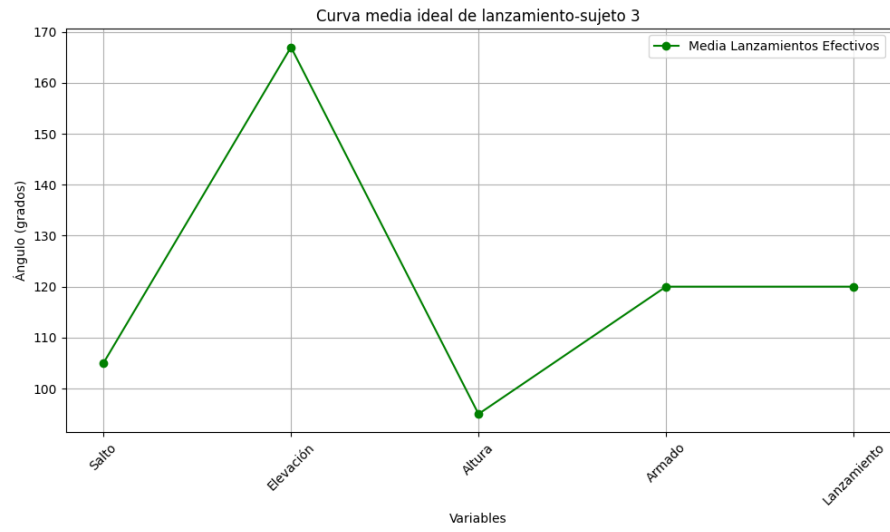


Fig. 3.54: Curva media de lanzamientos efectivos de sujeto 3

3.4. Analisis de resultados

3.4.1. Analisis general para las fases de lanzamiento con y sin oposición

En los resultados obtenidos, en cada fase del lanzamiento (salto, elevación, altura, armado y lanzamiento) se aprecian aspectos importantes sobre la biomecánica del movimiento en balonmano, En donde, a medida que avanzaba esta investigación, se logro apreciar que más allá de encontrar una media común en los lanzamientos, se logró identificar un común individual en los lanzamientos de cada sujeto, viéndose reflejado en las tablas de correlación de resultados de los 10 intentos, Por ende, logrando generar que este enfoque sea más personal con los jugadores. Encontrando las medias ideales de cada sujeto:

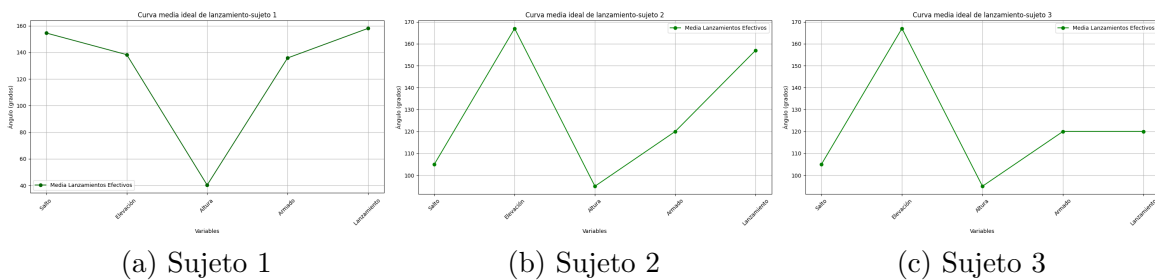


Fig. 3.55: Medias ideales para lanzamientos efectivos de los 3 sujetos.

Sin embargo, fue posible sacar conclusiones para cada fase entorno a efectividades y errores comunes que fueron ocurriendo a lo largo de los más de 500 lanzamientos y frames analizados, los cuales serán explicados a continuación de forma global.

- Fase de Salto:** En esta fase se observó que una inconstancia en los ángulos de la fase de salto, sobre todo en los intentos que no fueron efectivos, impacta de manera negativa en el control y la precisión de el lanzamiento final. Esta fase es muy importante para la preparación de un lanzamiento estable, dado que que un salto con un ángulo constante, permite una mejor transición a las siguientes fases. Los ángulos más altos en el salto parecen favorecer un impulso controlado, mientras que las variaciones en esta fase dan la idea de una falta de consistencia que afecta la efectividad del tiro.
- Fase de Elevación:** En esta fase, la falta de inconsistencia en los ángulos registrados también resulto ser un factor que impacta en la efectividad del lanzamiento. Los ángulos

de elevación superiores a 150° tienden a mejorar la estabilidad del lanzamiento, ya que permiten al jugador alcanzar una postura más favorable para la fase de armado. La inconsistencia en la elevación muestran una conexión directa con la precisión del lanzamiento, lo que indica que mantener un rango óptimo en esta fase puede mejorar el control del movimiento.

- **Fase de Altura Máxima:** En esta fase, los ángulos de los intentos no efectivos, variaron considerablemente, lo que señala una dificultad en mantener consistencia en los ángulos durante el impulso vertical hacia la fase de altura máxima. Los ángulos más bajos en esta fase, alrededor de 90° a 110° , parecieran correlacionarse con una mejor efectividad en los lanzamientos, mientras que los ángulos más altos, superiores a 150° , genera una pérdida de control sobre la fase de altura. Esto indica que lograr una altura controlada y mantener estabilidad podría ser un determinante clave en la precisión del lanzamiento.

Fase de Armado: En esta fase, se encontró una correlación positiva entre la estabilidad en los ángulos de la fase de armado y la efectividad de la fase de lanzamiento final. Un rango de ángulos entre 100° y 135° parece ser favorable, ya que proporciona al jugador una posición adecuada para generar fuerza en la fase de lanzamiento. La constancia en estos ángulos en jugadores con lanzamientos exitosos indica que un armado estable y controlado es un factor crucial para lograr una mayor precisión.

- **Fase de Lanzamiento:** Finalmente, en esta fase, los ángulos entre 140° y 160° favorecieron la efectividad de la fase de lanzamiento. Una menor inconsistencia en los ángulos de esta fase indica una técnica de lanzamiento más precisa y controlada. Los lanzamientos que se realizaron dentro de este rango lograron un mayor éxito a lo largo de los intentos, esto indicando que mantener una consistencia en el ángulo de lanzamiento puede aumentar significativamente la efectividad en el tiro.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que un enfoque en la estabilidad y consistencia de los ángulos en cada fase puede contribuir de manera notable al éxito de los lanzamientos en bala, principalmente en la transición a cada fase, logrando así ofrecer una base sólida para desarrollar entrenamientos más específicos.

3.4.2. Análisis de influencia defensiva

Al analizar el impacto de la presencia de un defensor en la efectividad del lanzamiento en balonmano, los datos muestran que las posiciones y movimientos defensivos influyen significativamente en los ángulos de lanzamiento y en la capacidad del jugador atacante para mantener un control constante en sus fases de movimiento.

- **Variabilidad en los Ángulos de Elevación y Armado:** La presencia de un defensor provoca ajustes en los ángulos de elevación y armado debido a la necesidad de maniobrar alrededor del obstáculo defensivo. Esta variabilidad indica que los jugadores tienden a elevar su brazo o modificar el ángulo de armado para encontrar un ángulo de lanzamiento despejado, lo que puede comprometer la precisión si no se gestiona adecuadamente.
- **Control en la Fase de Altura Máxima:** La altura máxima alcanzada en los lanzamientos con oposición defensiva muestra una tendencia a ser mayor, ya que los jugadores buscan evitar el bloqueo defensivo. Este cambio en la fase de altura implica que los jugadores pueden requerir un mayor control sobre su salto para maximizar la precisión en presencia de un defensor. Sin embargo, esta adaptación también puede desestabilizar otros ángulos, como el de lanzamiento final.
- **Ajuste en el Ángulo de Lanzamiento:** En lanzamientos efectivos realizados frente a un defensor, se observa que los ángulos de lanzamiento tienden a estar en el rango superior de los ángulos efectivos previamente establecidos (140° a 160°). Esto sugiere que los jugadores ajustan el brazo y la postura en el momento de lanzar para lograr un tiro que evite el bloqueo. La constancia en este ángulo final puede ser un factor clave para superar la oposición y mejorar la efectividad.
- **Vizual y orientación de lanzamiento:** En el caso del sujeto 1, fue el único caso que no se vio opacado por la presencia de oposición, este demostró mejorar en su orientación visual y en la precisión de los lanzamientos al jugar el arco atacado por un defensor. El jugador tuvo mejores resultados en este entorno, ya que el defensor le proporcionaba una mejor referencia visual del arco, que lo ayudaba a posicionar su cuerpo y el ángulo de tiro en función de ese punto de referencia. Por lo tanto, el jugador logró ser un 40 % más eficiente con sus tiros. (Ver figura 3.56)

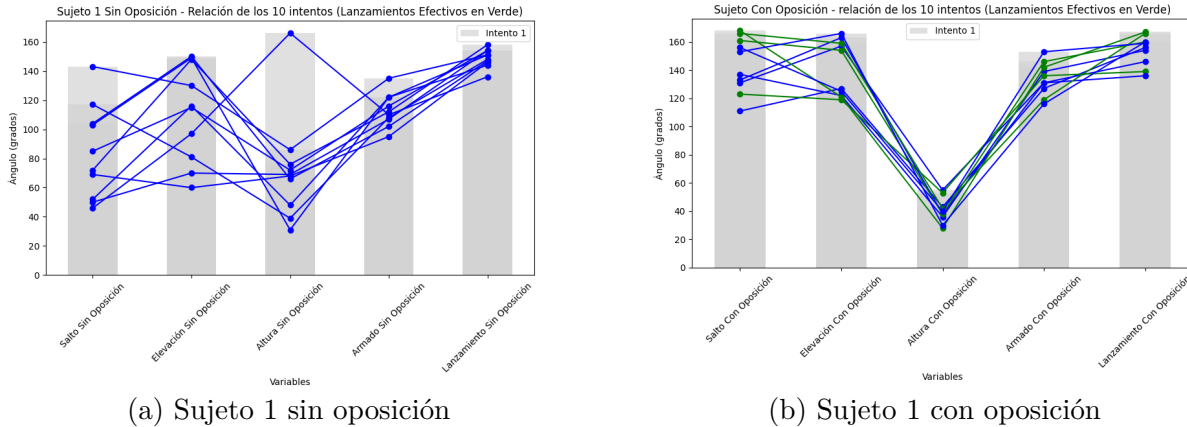


Fig. 3.56: Comparación de lanzamientos sujeto 1

- Estrategia Defensiva y Control en el Lanzamiento:** Desde una perspectiva defensiva, posicionar al defensor en una zona que reduzca las opciones de ajuste en los ángulos de armado y lanzamiento puede limitar la efectividad del atacante. Por tanto, estos resultados subrayan que la defensa no solo debe enfocarse en bloquear directamente el balón, sino en obligar al atacante a realizar ajustes que comprometan su control angular en las fases críticas del lanzamiento.

La influencia de un defensor obliga a los jugadores a modificar sus ángulos en las fases de salto, elevación, y armado, lo cual impacta en la precisión y control del tiro. Estos hallazgos sugieren que, para mejorar la efectividad en presencia de un defensor, es importante trabajar en la estabilidad de los ángulos, la visual de orientación y en la postura en cada fase del lanzamiento, desarrollando estrategias ofensivas que mantengan consistencia a pesar de la presión defensiva. Además, desde el punto de vista defensivo, es ventajoso inducir estos ajustes en el atacante para reducir su precisión y efectividad.

4. Conclusiones

4.1. Conclusión

Para concluir, esta investigación permite llegar a varias conclusiones para optimizar el rendimiento en el balonmano, gracias a los análisis hechos. En donde se destaca la intersección poderosa entre las nuevas tecnologías y el deporte, poniendo en evidencia cómo el machine learning, aplicado mediante modelos avanzados como YOLOv8, puede transformar la evaluación de rendimiento en balonmano.

El análisis preciso de los ángulos en cada fase del lanzamiento permite una comprensión detallada de los movimientos efectivos y de los ajustes necesarios ante la presencia de oposición defensiva. Gracias a la precisión de las herramientas de machine learning y software de análisis de video, como Kinovea, es posible cuantificar aspectos biomecánicos en los jugadores que antes solo se evaluaban visual y subjetivamente, logrando recopilar datos individuales como los del sujeto 1 en lanzamiento con oposición, en donde se logra apreciar una mejora de un 40% en comparación al sin oposición, una curva ideal tendenciosa entorno a sus 10 intentos (Ver figura 3.31) y sobre su curva se identifican ángulos ideales por fase:

	Salto	Elevación	Altura	Armado	Lanzamiento
Ideal	160°	155°	50°	140°	155-160°

Tabla 4.1: Tabla angulos idales de lanzamiento para sujeto 1

y con la ayuda de expertos en el area, identificar hallazgos como la inestabilidad o su contraparte en los ángulos de cada fase, lo cual es esencial para maximizar la efectividad en el lanzamiento. Este enfoque científico proporciona a los entrenadores y jugadores una base sólida para diseñar entrenamientos que optimicen tanto la técnica individual como la respuesta táctica en situaciones de juego reales. Lo que abre nuevas oportunidades para la ciencia en el deporte.

En conclusión, el uso de machine learning en el deporte permite trascender los límites de la observación visual, ofreciendo un análisis riguroso y datos objetivos que impulsan la evolución de las estrategias de entrenamiento. Esta integración de ciencia y tecnología en el balonmano no solo

contribuye al avance del conocimiento deportivo, sino que abre la puerta a aplicaciones prácticas que pueden elevar significativamente el rendimiento y la precisión de los atletas en condiciones de competencia. Futuros estudios que profundicen en estas aplicaciones seguirán ampliando el impacto del machine learning en el deporte, consolidando su papel como herramienta esencial en la preparación de atletas de alto rendimiento.

4.2. Trabajo a futuro

Cabe destacar que estos son los cimientos de una base de datos potencialmente interminable en el balonmano, ya que la información recopilada en esta investigación se centró solo en una de las múltiples acciones que existen en este deporte. Por lo tanto, como trabajo a futuro, se espera ampliar esta base de datos, incluyendo un mayor número de participantes y analizando diversas acciones del balonmano. De igual forma, se considera la posibilidad de extender el estudio a otros deportes, explorando de manera más integral el impacto de la tecnología y el machine learning en el análisis y optimización del rendimiento deportivo.

Por último, en los últimos años, la I.A y las tecnologías de machine learning han dejado de ser una novedad o un enigma, para convertirse en herramientas esenciales y accesibles en el análisis deportivo y otros campos. Hoy en día, el uso de I.A en el deporte ha demostrado ser una metodología tangible, con aplicaciones prácticas que van mucho más allá de la teoría. Estas tecnologías permiten a entrenadores y atletas obtener datos precisos y objetivos que antes solo se podían intuir mediante la observación visual. Esta evolución transforma la forma en que comprendemos el rendimiento deportivo, permitiendo ajustes en tiempo real y un análisis profundo que se basa en datos concretos y patrones de movimiento específicos. La integración de I.A en el deporte ya no es un lujo o una curiosidad, es una necesidad para aquellos que buscan optimizar el rendimiento y llevar sus capacidades al máximo nivel.

Bibliografía

- [1] G. Jocher, A. Chaurasia, J. Qiu, *Ultralytics YOLOv8*, version 8.0.0, 2023. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>.
- [2] J. Charmant, “Kinovea: video analysis software,” 2024. <https://www.kinovea.org/>.
- [3] F. Cancino Morales, “Uso de video y machine learning para evaluación de calidad de entrenamientos de la actividad deportiva balonmano,” PHP, 2024.
- [4] Visual Studio Code. <https://code.visualstudio.com/>.
- [5] Python. <https://www.python.org/>.
- [6] HomeofHandball, “Shorts,” 6-Jul-2016. <https://www.youtube.com/shorts/XQ4xhhV9xhM?feature=share>. [Accessed:MonthDay, Year].
- [7] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2010.
- [8] K. P. Murphy, *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*, Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2012.
- [9] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. <http://www.deeplearningbook.org>.
- [10] J. Rivilla García, “Estudio del lanzamiento en balonmano en función del grado de especificidad e implicación cognitiva,” <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.3282>.

A. ANEXO: Figuras encontradas en Bibliografía o tomas propias

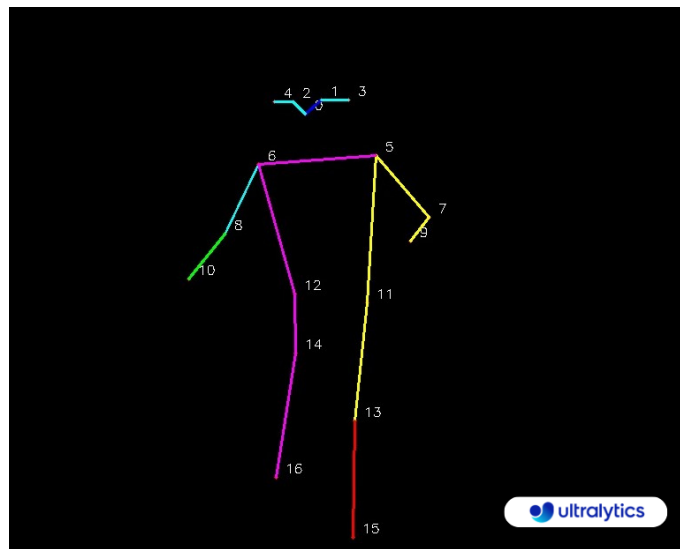


Fig. A.1: KeyPoints Map, Ultralytics [1]

B. ANEXO: Código

```

1 import cv2
2 from ultralytics import YOLO, solutions
3
4 model = YOLO("yolov8m-pose.pt")
5 cap = cv2.VideoCapture("video.mp4")
6 assert cap.isOpened(), "Error reading video file"
7 w, h, fps = (int(cap.get(x)) for x in (cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, cv2.
8         CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, cv2.CAP_PROP_FPS))
9
10 video_writer = cv2.VideoWriter("workouts.avi", cv2.VideoWriter_fourcc(*"mp4v"
11         ), fps, (w, h))
12
13 gym_object = solutions.AIGym(
14     line_thickness=2,
15     view_img=True,
16     pose_type="pushup",
17     kpts_to_check=[6, 11, 12], #keypoints de interes
18 )
19
20 frame_count = 0
21 while cap.isOpened():
22     success, im0 = cap.read()
23     if not success:
24         print("Video frame is empty or video processing has been successfully
25             completed.")
26         break
27     frame_count += 1
28     results = model.track(im0, verbose=False) # Tracking recommended
29     # results = model.predict(im0) # Prediction also supported
30     im0 = gym_object.start_counting(im0, results, frame_count)
31     video_writer.write(im0)
32
33 cv2.destroyAllWindows()
34 video_writer.release()

```

Listing B.1: Código extraído de Ultralytics para detección de ángulos con modelo YOLOv8 [1]

C. ANEXO: Permisos y Consentimiento



Sr. Víctor Méndez.

Me dirijo a usted con el fin de solicitar el uso del gimnasio D los sábados, 31 de agosto y 14 de septiembre, en los horarios que se encuentren disponibles. Mi nombre es Felipe Cancino, soy estudiante de Ingeniería Civil en Telecomunicaciones y actualmente me encuentro en el proceso de elaboración de mi memoria de título, titulada *"Uso de video y Machine Learning para evaluación de calidad en entrenamientos de la actividad deportiva balonmano"*.

La utilización del gimnasio es fundamental para la recopilación de datos y el desarrollo de mi proyecto, ya que me permitirá aplicar técnicas de video y aprendizaje automático para evaluar la calidad en los entrenamientos de balonmano.

Esta solicitud implica la participación de un grupo en específico durante el horario mencionado, por lo que me gustaría informarle que el grupo estará compuesto por cinco jugadores de la universidad los cuales estarán sujetos a un consentimiento informado. Estos jugadores realizarán ejercicios de lanzamiento sencillos y sin riesgo, bajo mi supervisión directa para así cuidar de ellos y los espacios de la universidad.

Adicionalmente, al tratarse de una actividad académica, me gustaría informar que cuento con el respaldo de mi profesor guía, quien avalará esta solicitud mediante una carta formal que adjuntaré una vez sea requerida.

Agradezco de antemano su colaboración y quedo atento a cualquier información adicional que pueda necesitar para formalizar esta solicitud. Estoy a su disposición para coordinar una reunión o proporcionar más detalles sobre el proyecto.

Sin otro particular, me despido atentamente.

X

firma estudiante

X

profesor patrocinante

Fig. C.1: Carta petición de espacios a autoridades pertinentes



Yo, _____, declaro que he sido informado/a sobre el proyecto titulado "Uso de video y Machine Learning para evaluación de calidad en entrenamientos de la actividad deportiva balonmano", dirigido por Felipe Cancino, estudiante de Ingeniería Civil en Telecomunicaciones.

Acepto participar en este proyecto y autorizo la grabación de mis ejercicios durante los entrenamientos. Entiendo que estos videos serán usados únicamente con fines académicos y que mi participación es voluntaria, pudiendo retirarme en cualquier momento sin consecuencias.

También me informaron que los videos y datos serán tratados de manera confidencial, y que no se divulgarán sin mi consentimiento, excepto en el marco del proyecto académico.

Firma del Participante: _____

Fecha: _____

Fig. C.2: Consentimiento informado a firmar por participantes.