



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL PASE EN FUTBOLISTAS UNIVERSITARIOS UTILIZANDO EL  
SOFTWARE KINOVEA Y SENSORES INERCIALES**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERO EN BIOMÉDICA**

**PRESENTADO POR:**

**21911258 CARLOS EDUARDO DIAZ JIMENEZ**

**ASESOR METODOLÓGICO:**

**KARLA MIRIAM REYES**

**SAN PEDRO SULA; OCTUBRE, 2023**

## DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios por su constante guía y dirección en mi vida. A mi padre, Olvin Diaz, le agradezco por inculcarme la determinación para perseguir mis sueños. A mi madre, Danira Jimenez, quien es el pilar que sostiene mi vida, le debo todo lo que soy y me ha enseñado el verdadero significado del amor. Sin su apoyo inquebrantable, no estaría alcanzando esta meta.

A mi abuela, Alma Toro, quien ha sido mi segunda madre, su influencia desde mi infancia ha sido una fuente constante de inspiración para dar siempre lo mejor de mí en todos los aspectos de la vida. Su amor incondicional me ha arropado y ha desempeñado un papel fundamental en la formación de quien soy en la actualidad.

Por último, dedico este logro a la memoria de mi abuelo, Luis Jimenez, aunque nos dejó, sé que siempre estuvo a mi lado guiando mis pasos. Hoy, hago realidad el sueño que tanto anhelabas ver cumplido, y lo hago en tu memoria, con la certeza de que, desde el cielo, estás orgulloso de mí. Te amo y te extraño profundamente.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero manifestar mi sincero agradecimiento a Dios por su guía constante, sus bendiciones y su inagotable misericordia a lo largo de mi trayecto. Agradezco profundamente a mis padres, Olvin Diaz y Danira Jimenez, por su amor incondicional, su apoyo constante y los valiosos consejos que me han brindado, instándome siempre a perseverar y seguir adelante, sin importar los obstáculos que puedan surgir en mi camino.

A mi hermano, Michael Jimenez, quiero expresar mi más sincero agradecimiento. Durante mi carrera universitaria, tu apoyo inquebrantable fue fundamental para mi éxito. Siempre estuviste ahí para motivarme y juntos compartimos los mejores momentos. Te amo.

A mis tíos, Maynor Jimenez y Rosalina Zuniga, quienes me brindaron un hogar durante mi carrera universitaria, agradezco todo su apoyo brindado para cumplir mi meta, a Luisa Jimenez quien me ha brindado todo su amor como a un hijo, y a Rony Jimenez, quien siempre estuvo presente en este viaje y me dio todo su apoyo, gracias familia los amo.

A mis amigas, Belkis Portillo, Grecia Casco, María Carballo, Nataly Rivera les estoy sinceramente agradecido por su valiosa ayuda y sus sabios consejos, los cuales desempeñaron un papel fundamental en la realización de este proyecto. A Oscar Paz, quien ha sido mucho más que un amigo, un verdadero hermano, quiero expresar mi gratitud por acompañarme a lo largo de mi carrera universitaria, por tus consejos y tu apoyo.

Agradezco profundamente a la Ing. Abigail Gabarrete por su apoyo y ayuda, siempre estuvo apoyándome en momentos difíciles, a la Dra. Doris Cardona por su apoyo inquebrantable y sus consejos la llevare en mi corazón por siempre.

## EPÍGRAFE

“La disciplina tarde o temprano vencerá a la inteligencia”

Yokoi Kenji.

## RESUMEN

La biomecánica deportiva es una disciplina especializada que busca optimizar el rendimiento deportivo a través del análisis de aspectos biomecánicos. La investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo y descriptivo, y los datos se obtuvieron mediante el uso de sensores IMUs y el software Kinovea. Los sensores inerciales fueron utilizados para recopilar datos de aceleración lineal, velocidad angular y orientación del atleta durante la ejecución del pase. Estos sensores se colocaron estratégicamente en el cuerpo de los futbolistas para detectar el movimiento y desplazamiento durante el gesto técnico. Los resultados obtenidos a partir de la combinación del software Kinovea y los IMUs permitieron realizar mediciones cinemáticas precisas de ángulos y distancias entre puntos anatómicos clave, lo que proporcionó información valiosa sobre la calidad y eficacia de los movimientos realizados por los deportistas. La metodología utilizada permitió obtener resultados cuantitativos y precisos, lo que fue fundamental para el análisis biomecánico del gesto del pase en futbolistas universitarios. Los IMUs y Kinovea permitieron un análisis detallado de la técnica. Se evaluaron ángulos articulares y distancias, lo que reveló distintos enfoques entre los sujetos. Se encontraron correlaciones significativas entre velocidad, aceleración y flexión de rodilla ejecutante. El análisis de variables antropométricas también mostró correlaciones entre el Índice de Masa Corporal y la flexión de rodilla en ambos tipos de apoyo. Al final se reveló una relación significativa entre la velocidad y la flexión de la rodilla de apoyo durante el gesto técnico.

**Palabras clave: Ángulos, Biomecánica, Deporte, Fútbol, Técnica.**

## **ABSTRACT**

Sports biomechanics is a specialized discipline that seeks to optimize sports performance through the analysis of biomechanical aspects. The research was framed within a quantitative and descriptive approach, and data were obtained using IMU sensors and Kinovea software. Inertial sensors were used to collect data on linear acceleration, angular velocity, and athlete orientation during the execution of the pass. These sensors were strategically placed on the bodies of soccer players to detect motion and displacement during the technical gesture. The results obtained from the combination of Kinovea software and IMUs allowed for precise kinematic measurements of angles and distances between key anatomical points, providing valuable information about the quality and effectiveness of the movements performed by the athletes. The methodology used enabled the acquisition of quantitative and accurate results, which was crucial for the biomechanical analysis of the passing gesture in university-level soccer players. IMUs and Kinovea allowed for a detailed analysis of the technique. Joint angles and distances were evaluated, revealing different approaches among subjects. Significant correlations were found between speed, acceleration, and bending of the executing knee. The analysis of anthropometric variables also showed correlations between Body Mass Index and knee flexion in both types of support. In the end, a significant relationship between speed and bending of the supporting knee during the technical gesture was revealed.

**Keywords: Angles, Biomechanics, Futsal, Technique, Sport**

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	14
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2.1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	16
2.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	17
2.3	JUSTIFICACIÓN.....	17
2.4	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	18
2.4.1	PREGUNTA GENERAL.....	18
2.4.2	PREGUNTA ESPECIFICAS.....	18
2.5	OBJETIVOS.....	19
2.5.1	OBJETIVO GENERAL.....	19
2.5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
III.	ESTADO DEL ARTE.....	20
3.1	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	20
3.1.1	MACROENTORNO.....	20
3.1.1.1	Biomecánica deportiva a nivel internacional.....	20
3.1.1.2	Uso de sensores portátiles en la biomecánica deportiva .....	22
3.1.2	MICROENTORNO.....	23
3.1.2.1	Biomecánica deportiva a nivel centroamericano y del caribe.....	23
3.1.2.2	Uso de tecnología Kinovea en la región centroamericana .....	24
3.2	CONCEPTUALIZACIÓN.....	25
3.2.1	BIOMECÁNICA DEPORTIVA.....	25
3.2.2	CINEMÁTICA .....	27
3.2.3	KINOVEA .....	28

3.2.4	IMU.....	29
3.2.5	FUTSAL .....	30
3.3	TEORÍAS DE SUSTENTO .....	30
3.3.1	BASES TEÓRICAS.....	31
3.3.1.1	Vectores y Escalares.....	31
3.3.1.2	Cinemática del movimiento mecánico.....	32
3.3.1.3	Masa y fuerza .....	35
3.3.1.4	Cálculo de IMC de una persona .....	37
3.3.2	MATERIALES Y MÉTODOS .....	38
3.3.2.1	Arduino nano 33 BLE .....	38
3.3.2.2	Cámaras videográficas .....	39
3.3.2.3	Balanza y Estadiómetro .....	41
3.3.2.4	Analizador de Bioimpedancia.....	42
3.3.3	METODOLOGÍAS APLICADAS POR OTROS AUTORES .....	43
3.3.3.1	Análisis Cinemático de las Demandas Posturales en Partidos de Fútbol Profesional Utilizando Unidades de Medida Inercial .....	43
3.3.3.2	Análisis cinético del empuje y patada lateral en futbolistas .....	44
3.3.3.3	Análisis de las variables cinemáticas en la técnica del pateo en el fútbol .....	45
IV.	METODOLOGÍA .....	47
4.1	ENFOQUE .....	47
4.2	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	47
4.2.1	VARIABLES INDEPENDIENTE.....	48
4.2.2	VARIABLE DEPENDIENTE .....	49
4.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	50
4.3.1	ARDUINO NANO 33 BLE .....	50

4.3.2	SENSOR IMU LSM9DS1 .....	51
4.3.3	MICRO SD CARD ADAPTER HW-125 .....	51
4.3.4	CÁMARA.....	52
4.3.5	RECOLECCIÓN DE TALLA Y PESO.....	52
4.3.6	ANALIZADOR DE BIOIMPEDANCIA.....	53
4.4	MATERIALES.....	53
4.4.1	TRÍPODE .....	53
4.4.2	PROTOBOARD.....	54
4.4.3	POWER BANK .....	54
4.4.4	LIGHTBLUE.....	55
4.5	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	55
4.6	METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....	56
4.6.1	CÓDIGO DE ARDUINO.....	57
4.6.2	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	59
4.7	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	60
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	61
5.1	DATOS RECOPIADOS DURANTE LAS PRUEBAS.....	61
5.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	73
5.2.1	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA .....	74
5.2.2	PRUEBA DE NORMALIDAD Y CORRELACIÓN .....	76
5.2.2.1	Correlación entre variables antropométrica y posturas biomecánicas .....	77
5.2.2.2	Correlación entre aceleración y posturas biomecánicas.....	80
5.2.2.3	Correlación entre velocidad y posturas biomecánicas .....	84
5.3	DISCUSIÓN.....	86
VI.	CONCLUSIONES .....	89

VII.	RECOMENDACIONES .....	90
VIII.	BIBLIOGRAFÍA .....	91

## ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

<b>ILUSTRACIÓN 1</b>	DESPLAZAMIENTO DE UN CUERPO.....	27
<b>ILUSTRACIÓN 2</b>	MOVIMIENTO ANGULAR DE UN CUERPO.....	28
<b>ILUSTRACIÓN 3</b>	- SENSOR INERCIAL WIMU PRO.....	39
<b>ILUSTRACIÓN 4</b>	- EJEMPLO MOTION CAPTURE.....	41
<b>ILUSTRACIÓN 5</b>	- ANALIZADOR DE BIOIMPEDANCIA OMRON .....	42
<b>ILUSTRACIÓN 6</b>	- VICON MOTION SYSTEMS.....	45
<b>ILUSTRACIÓN 7</b>	- CLASIFICACIÓN DE VARIABLES .....	48
<b>ILUSTRACIÓN 8</b>	- DIAGRAMA DE FLUJO.....	58
<b>ILUSTRACIÓN 9</b>	- USO DE BALANZA EN ATLETA .....	61
<b>ILUSTRACIÓN 10</b>	- MEDICIÓN DE LA TALLA EN ATLETA.....	62
<b>ILUSTRACIÓN 11</b>	- USO DE ANALIZADOR DE BIOIMPEDANCIA .....	63
<b>ILUSTRACIÓN 12</b>	- USO DEL SENSOR IMU .....	65
<b>ILUSTRACIÓN 13</b>	- OBTENCIÓN DE LA INCLINACIÓN DEL TRONCO.....	65
<b>ILUSTRACIÓN 14</b>	- OBTENCIÓN DEL ÁNGULO RODILLA EJECUTORA.....	66
<b>ILUSTRACIÓN 15</b>	- OBTENCIÓN DEL ÁNGULO RODILLA APOYO.....	66
<b>ILUSTRACIÓN 16</b>	- OBTENCIÓN DE DISTANCIA ENTRE PIES.....	67
<b>ILUSTRACIÓN 17</b>	- MOVILIDAD ARTICULAR POR SUJETO .....	69
<b>ILUSTRACIÓN 18</b>	- HISTOGRAMA ESTADÍSTICO DE LA INCLINACIÓN DEL TRONCO .....	71
<b>ILUSTRACIÓN 19</b>	- HISTOGRAMA ESTADÍSTICO DE LOS ÁNGULOS DE LA RODILLA DE APOYO .....	72
<b>ILUSTRACIÓN 20</b>	- HISTOGRAMA ESTADÍSTICO DE LOS ÁNGULOS RODILLA EJECUTORA .....	73
<b>ILUSTRACIÓN 21</b>	- GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE IMC E INCLINACIÓN TRONCAL.....	78
<b>ILUSTRACIÓN 22</b>	- GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE IMC Y FLEXIÓN DE RODILLA EJECUTANTE.....	79
<b>ILUSTRACIÓN 23</b>	- GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE IMC Y FLEXIÓN DE LA RODILLA DE APOYO .....	80
<b>ILUSTRACIÓN 24</b>	- GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE ACELERACIÓN E INCLINACIÓN TRONCAL .....	82
<b>ILUSTRACIÓN 25</b>	- GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE ACELERACIÓN Y FLEXIÓN DE RODILLA EJECUTANTE.....	83
<b>ILUSTRACIÓN 26</b>	- GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE ACELERACIÓN Y FLEXIÓN DE RODILLA DE APOYO .....	84
<b>ILUSTRACIÓN 27</b>	- GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE VELOCIDAD Y FLEXIÓN DE LA RODILLA DE APOYO .....	86

## ÍNDICE DE ECUACIÓN

<b>ECUACIÓN 1</b> - VELOCIDAD MEDIA.....	33
<b>ECUACIÓN 2</b> – RAPIDEZ.....	33
<b>ECUACIÓN 3</b> – VELOCIDAD INSTANTÁNEA.....	34
<b>ECUACIÓN 4</b> – ACELERACIÓN INSTANTÁNEA.....	34
<b>ECUACIÓN 5</b> – FUERZA VECTORIAL.....	36
<b>ECUACIÓN 6</b> – FUERZA RESULTANTE.....	36
<b>ECUACIÓN 7</b> – FUERZA DE GRAVEDAD .....	36
<b>ECUACIÓN 8</b> – ÍNDICE MASA CORPORAL .....	37
<b>ECUACIÓN 9</b> – FORMULA PARA CALCULAR MUESTRA DE POBLACIÓN FINITA.....	56
<b>ECUACIÓN 10</b> - CALCULO DE MUESTRA.....	56

## ÍNDICE DE TABLA

<b>TABLA 1</b> – CATEGORIZACIÓN DEL IMC.....	37
<b>TABLA 2</b> – VARIABLES INDEPENDIENTES.....	48
<b>TABLA 3</b> - CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	60
<b>TABLA 4</b> – DATOS RECOPIADOS ANTROPOMÉTRICOS .....	63
<b>TABLA 5</b> – DATOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES BIOMECÁNICAS.....	68
<b>TABLA 6</b> - ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS.....	74
<b>TABLA 7</b> - ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA VARIABLES BIOMECÁNICAS .....	75
<b>TABLA 8</b> - APLICACIÓN DE SHAPIRO-WILK .....	77
<b>TABLA 9</b> - CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE IMC E INCLINACIÓN TRONCAL.....	78
<b>TABLA 10</b> - CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE IMC Y FLEXIÓN DE RODILLA EJECUTANTE.....	79
<b>TABLA 11</b> - CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE IMC Y FLEXIÓN DE RODILLA EJECUTANTE.....	80
<b>TABLA 12</b> - CORRELACIÓN DE SPEARMAN ENTRE ACELERACIÓN E INCLINACIÓN TRONCAL.....	81
<b>TABLA 13</b> - CORRELACIÓN DE SPEARMAN ENTRE ACELERACIÓN Y FLEXIÓN DE RODILLA EJECUTANTE.....	82
<b>TABLA 14</b> - CORRELACIÓN DE SPEARMAN ENTRE ACELERACIÓN Y FLEXIÓN DE RODILLA DE APOYO .....	83
<b>TABLA 15</b> - CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE VELOCIDAD E INCLINACIÓN TRONCAL.....	84
<b>TABLA 16</b> - CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE VELOCIDAD Y FLEXIÓN DE LA RODILLA EJECUTANTE .....	85
<b>TABLA 17</b> - CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE VELOCIDAD Y FLEXIÓN DE LA RODILLA DE APOYO.....	86

## I. INTRODUCCIÓN

La biomecánica deportiva ha ganado reconocimiento en diversas disciplinas deportivas como una ciencia que contribuye al desarrollo y perfeccionamiento de las técnicas de los atletas, así como a la mejora del rendimiento deportivo en general. Además, ofrece valiosa información para la prevención de lesiones, lo que representa una oportunidad para optimizar los procesos en cada deporte practicado. A medida que se expande su aplicación, la biomecánica se posiciona como una herramienta esencial en la búsqueda de la excelencia deportiva y la maximización del potencial atlético.

En países latinoamericanos como Honduras, se presenta un desafío significativo en la aplicación de la tecnología en el campo de la biomecánica. Este desafío se origina principalmente en la escasez de recursos económicos y el elevado costo asociado a la adquisición de tecnologías biomecánicas avanzadas. Esta situación plantea un panorama desfavorable, ya que se limitan considerablemente las oportunidades para llevar a cabo estudios biomecánicos en atletas con el fin de perfeccionar su postura y técnica en gestos específicos, como el pase en el fútbol sala.

El fútbol sala es una disciplina deportiva que se caracteriza por disputarse en un campo de dimensiones reducidas y con un número limitado de jugadores por equipo. En lo que respecta a los aspectos técnicos y tácticos del fútbol sala, es fundamental resaltar los fundamentos técnicos que se aplican en este emocionante deporte. Estos fundamentos abarcan desde el preciso control del balón, hasta los rápidos y precisos pases, los regates ágiles y la efectiva capacidad de finalización. Es especialmente relevante destacar la importancia de una ejecución correcta en el pase, ya que este elemento desempeña un papel fundamental en la consecución de un juego altamente efectivo en esta modalidad deportiva.

El proyecto de investigación se centrará en llevar a cabo un análisis cinemático del gesto técnico del pase en futbolistas universitarios que forman parte del equipo de futsal vinculado a la Liga Nacional de Futsal de Honduras, conocido como "Lobos Universitarios". En este contexto, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las variables biomecánicas involucradas en este gesto técnico, con el propósito de desarrollar una herramienta que pueda ser utilizada por entrenadores para orientar sus decisiones en cuanto a la planificación de entrenamientos destinados a mejorar la ejecución de dicho gesto técnico.

Este documento estará compuesto por un total de siete capítulos. En el segundo capítulo, se abordará el planteamiento del problema y el por qué estudiar este gesto técnico. Posteriormente, en el tercer capítulo, se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente y de los trabajos previos relacionados con la evaluación biomecánica en el contexto deportivo. En el cuarto capítulo, se proporcionará una descripción detallada de la metodología que se empleó para la ejecución del proyecto. Los resultados del proyecto, incluyendo el análisis de los datos recopilados, se expondrán en el quinto capítulo. Los capítulos sexto y séptimo estarán dedicados a la presentación de las conclusiones, la identificación de las limitaciones y fortalezas, así como la formulación de recomendaciones para investigaciones futuras.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En este capítulo se busca identificar el problema que conlleva una mal técnica de gestos biomecánicos en futbolistas, se establecen los objetivos y las preguntas de investigación que permitirán abordar de manera efectiva el problema de ejecutar mal la técnica del pase. Además, se justifica la necesidad de investigar este problema explicando su importancia en el deporte y las razones por las cuales es necesaria abordarlas en futbolistas universitarios.

### **2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

El fútbol, como deporte de equipo, se caracteriza por ser altamente exigente, con crecientes obligaciones y demandas para los jugadores. En este contexto, cualquier mínimo error puede ser aprovechado por el rival, lo que impone una gran responsabilidad sobre los entrenadores para desarrollar ejercicios que permitan mejorar las técnicas de ejecución de los futbolistas.

El gesto técnico del pase es fundamental en el fútbol, pues influye directamente en el rendimiento del juego y la eficacia del equipo. En un estudio realizado por Camacaro et al. (2021) se investigaron las características biomecánicas del paso de apoyo en la carrera previa a la ejecución del golpeo del balón, en el cual se encontró que la velocidad del atleta analizado resultó insuficiente debido a una mala técnica de apoyo, lo que llevó a identificar que la longitud del paso de apoyo tenía un efecto en la velocidad de ejecución. Este hallazgo resalta la importancia de la longitud del paso de apoyo en el rendimiento del gesto técnico del pase en el fútbol.

De forma similar, Sakamoto et al. (2016) mencionaron que varios factores afectan la velocidad del balón, por ejemplo, la velocidad del pie, el lugar de impacto, la rigidez del pie en el punto de impacto y la masa de la pierna que realiza el disparo. En particular, se considera que la velocidad del pie tiene el mayor impacto en la velocidad del balón. Para aumentar la velocidad del balón, se considera importante utilizar técnicas que aumenten la velocidad del balanceo antes del impacto.

Por otra parte, en un estudio realizado entre jugadores de academias amateur y jugadores en equipos formativos profesionales (reservas), Hualpa Loza et al. (2022) indicaron que los jugadores de la academia amateur presentan una distancia más corta entre el pie de apoyo y el pie ejecutor en la fase previa del gesto técnico en el pase. Esta cercanía influye en la fuerza que se transmite al balón al momento del contacto. Por otro lado, los jugadores del grupo Formativas realizan el gesto con mayor fuerza, ya que su separación entre los pies es mayor. En cuanto a los ángulos de flexión de la rodilla

del pie ejecutor, no se observan diferencias significativas. Sin embargo, se encontró una diferencia de aproximadamente nueve grados en el ángulo de flexión de la rodilla del pie de apoyo a favor de los jugadores de equipos formativos profesionales. Esto indica que poseen una mayor estabilidad al realizar el pase.

Estos estudios resaltan la importancia de comprender y mejorar el gesto técnico del pase en el fútbol, considerando aspectos biomecánicos como la longitud del paso de apoyo, la velocidad del balanceo y la estabilidad en la ejecución. Mediante un enfoque preciso y técnico en el entrenamiento, los futbolistas pueden potenciar su capacidad de realizar pases precisos y efectivos, lo que contribuye al rendimiento y éxito del equipo en el juego.

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La ejecución deficiente de la técnica del pase puede afectar negativamente el rendimiento y la eficacia del juego de un equipo de fútbol sala. La falta de precisión en el golpeo del balón puede resultar en pases imprecisos o débiles, lo que limita las posibilidades de conexión con los compañeros de equipo y reduce la eficacia en la construcción de jugadas ofensivas. Además, una técnica inadecuada puede facilitar la interceptación del balón por parte de los adversarios, lo que compromete la posesión y el control del juego. Abordar este problema ayuda en la mejora de la técnica del pase en futbolistas universitarios y, así, optimizar su rendimiento individual y colectivo.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

La técnica del pase es un aspecto fundamental en el fútbol sala, y su correcta ejecución tiene un impacto directo en el rendimiento individual y colectivo de los futbolistas. Un pase preciso y efectivo puede facilitar la construcción de jugadas, la generación de oportunidades de gol y el control del juego, mientras que un pase inadecuado puede limitar las opciones de juego, favorecer al equipo rival y comprometer la efectividad en el ataque.

Por lo tanto, es crucial mejorar la técnica del gesto biomecánico del pase en futbolistas universitarios. Al optimizar esta habilidad, se logrará una mayor fluidez en el juego colectivo, una mejor conexión entre los jugadores y una mayor efectividad en las acciones ofensivas. Además, una técnica adecuada en el pase disminuirá las posibilidades de pérdida de balón, lo que contribuirá a mantener la posesión y el control del juego, reduciendo la posesión del rival y por ende quitándole su ataque ofensivo.

El presente proyecto de investigación se enfoca en un análisis biomecánico sobre las posturas adecuadas que lograrán una corrección en la técnica del gesto del pase en futbolistas universitarios. Se espera que sirva de guía para todos aquellos entrenadores y realicen entrenamientos adecuados implementando en sus entrenamientos ejercicios enfocados en la mejora de la técnica, se espera potenciar el rendimiento individual y colectivo de los futbolistas en el juego.

Esta investigación reviste importancia, ya que la mejora en la técnica del pase en futbolistas universitarios tendrá un impacto directo en el desempeño del equipo y en su competitividad en el ámbito universitario. Además, proporcionará a los jugadores las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos del juego a nivel más alto, mejorando su habilidad para tomar decisiones rápidas y precisas durante los encuentros.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

### 2.4.1 PREGUNTA GENERAL

¿Cuál es la importancia de la relación entre las demandas posturales y biomecánicas en el fundamento del pase en futbolistas universitarios, y cómo influyen en la eficacia y rendimiento del gesto técnico?

### 2.4.2 PREGUNTA ESPECIFICAS

- ¿Cómo se relacionan los datos antropométricos de los futbolistas, como altura, peso, IMC y %GC con la ejecución del gesto técnico del pase?
- ¿Cuáles son los ángulos de flexión requeridos en las diferentes fases de posicionamiento en el gesto técnico del pase, y cómo afectan estos ángulos la precisión y eficacia del pase?
- ¿Cómo se relacionan las demandas posturales y biomecánicas en el fundamento del pase con la aceleración y velocidad durante la ejecución del gesto técnico en los futbolistas universitarios?
- ¿Cuáles son los datos biomecánicos relevantes obtenidos al analizar los videos de futbolistas universitarios ejecutando el pase utilizando el software Kinovea?

## **2.5 OBJETIVOS**

### **2.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Investigar y comprender de manera integral la relación entre las demandas posturales y biomecánicas en el fundamento del pase en futbolistas universitarios y su impacto en la eficacia y rendimiento del gesto técnico.

### **2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar la relación entre los datos antropométricos de los futbolistas, y su influencia en la ejecución del gesto técnico del pase.
- Determinar los ángulos de flexión requeridos en las diferentes fases de posicionamiento en el gesto técnico del pase.
- Relacionar las demandas posturales y biomecánicas en el fundamento del pase con la aceleración y velocidad durante la ejecución del gesto técnico en futbolistas universitarios.
- Analizar los videos capturados de los futbolistas ejecutando el pase con borde interno utilizando el software Kinovea para obtener datos biomecánicos relevantes.

### III. ESTADO DEL ARTE

En esta sección de la investigación se lleva a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva con el objetivo de proporcionar una base teórica sólida para el proyecto. Se inicia con un análisis detallado de la situación actual de la biomecánica deportiva y su aplicación en diferentes contextos. Se examina la literatura existente para comprender cómo se ha aplicado la biomecánica deportiva en el estudio de diversos deportes, incluido el fútbol sala, y se identificarán los desafíos y limitaciones asociados con la realización de estudios biomecánicos en el ámbito deportivo. Además, se analiza las características y ventajas de las distintas herramientas utilizadas en los estudios biomecánicos. Se examina cómo estas herramientas han sido aplicadas en el contexto deportivo, específicamente en el fútbol, para potenciar la investigación biomecánica en este deporte.

#### 3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A continuación, se lleva a cabo un análisis tanto a nivel nacional como internacional acerca de la influencia de la biomecánica en la práctica deportiva, y cómo ha sido empleada para optimizar las técnicas utilizadas en diversas disciplinas.

##### 3.1.1 MACROENTORNO

En esta sección, se evaluarán los factores externos que influyen en la investigación biomecánica en los deportes a nivel internacional. Además, se proporcionan detalles específicos acerca de la aplicación de sensores inerciales en el estudio del rendimiento deportivo.

##### *3.1.1.1 Biomecánica deportiva a nivel internacional*

La biomecánica deportiva es un campo especializado que se enfoca en el análisis y la mejora de los aspectos biomecánicos relacionados con el rendimiento deportivo. Se aplica a diversas disciplinas deportivas, incluido el fútbol, con el objetivo de comprender cómo los principios de la mecánica del movimiento humano pueden optimizar la ejecución técnica y el rendimiento de los atletas.

Perdomo Ogando et al. (2018) mencionan que la biomecánica deportiva se basa en la recopilación de datos experimentales para obtener información valiosa que es esencial en la investigación. Esta información resulta útil y necesaria, ya que permite realizar una planificación adecuada, establecer fundamentos científicos para los gestos deportivos y los sistemas de

entrenamiento, así como llevar a cabo evaluaciones funcionales y pruebas de campo que sirven como indicadores del rendimiento deportivo de los atletas. Además, permite realizar comparaciones en diferentes etapas de la preparación, lo que resulta fundamental para el análisis y seguimiento del progreso en el rendimiento deportivo.

Por ejemplo en países como Colombia Gómez Echeverry et al. (2018) hacen hincapié que en el país se ha encontrado una escasez de investigaciones que utilicen sistemas ópticos de captura de movimiento, principalmente debido a su alto costo. No obstante, es necesario que las instituciones educativas y el sector empresarial unan esfuerzos para adquirir tecnologías más avanzadas, como los sistemas ópticos con marcadores, con el objetivo de mejorar la competitividad del país en ciencia, desarrollo tecnológico e innovación.

En relación a este tema, el investigador peruano Sullón Atoche (2020) hace alusión que los países que presentan mayor cantidad de estudios e investigaciones son aquellos que son potencias mundiales en el rubro del deporte. Sin embargo, en Sudamérica, la situación es diferente, ya que las investigaciones relacionadas con el deporte son escasas y a nivel peruano prácticamente inexistentes.

En Europa, se ha observado un marcado interés en la investigación biomecánica, lo cual se evidencia en un estudio llevado a cabo por Orts López et al. (2019) dicho estudio abordó el desarrollo del proyecto TELETURF durante un periodo de dos años (2017 y 2018) con la colaboración de siete entidades procedentes de diversos países europeos, entre ellos España, Francia, Holanda y Bélgica. Es destacable mencionar la excelente cooperación que ha existido a lo largo de los años entre el Instituto de Biomecánica (IBV) y la Fundación Deportiva Municipal de Valencia, lo cual ha posicionado a esta ciudad como una referente en el ámbito de la investigación biomecánica.

Por otro lado, Campos Granell et al. (2021) señalan que en comparación con otros países europeos, el desarrollo de la biomecánica deportiva en España ha sido lento. Sin embargo, en las últimas décadas se ha logrado un avance significativo gracias a la actividad llevada a cabo en los laboratorios de los departamentos de Educación Física y Deporte de los Institutos Nacionales de Educación Física (INEF), así como en las facultades de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, y en otros centros y departamentos que, aunque no imparten el título de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, han mantenido líneas de investigación y una actividad constante en este campo. En el ámbito de la enseñanza, desde los primeros años de la licenciatura en Educación Física,

la asignatura de Biomecánica deportiva ha sido parte integral de los planes de estudio, tanto como una materia central como una optativa.

Esta revisión bibliográfica proporciona una perspectiva sobre la disparidad en el desarrollo de investigaciones en el campo de la biomecánica deportiva entre países europeos y latinoamericanos. Se evidencia la ventaja que los países europeos poseen en términos de avances en esta disciplina. Además, se resalta la relevancia de la participación de las instituciones educativas en la investigación para fortalecer este campo científico.

### 3.1.1.2 *Uso de sensores portátiles en la biomecánica deportiva*

La cinemática es una rama de la física que se encarga de estudiar el movimiento de los objetos, sin preocuparse por su causa. Los elementos del movimiento son el desplazamiento, la velocidad y la aceleración. En los deportes, se utilizan sensores IMU (Unidad de medición inercial) para el análisis cinemático. La cinemática en los deportes permite a entrenadores y atletas estudiar su técnica y analizar los movimientos deportivos. Las tecnologías de sensores inerciales portátiles para aplicaciones deportivas han experimentado cambios constantes con el objetivo de reducir el tamaño del sensor, optimizar el consumo de energía, mejorar el almacenamiento de datos, potenciar la capacidad de procesamiento y hacerlos ampliamente disponibles a bajo costo. (Rana & Mittal, 2021).

En la actualidad, los dispositivos portátiles o wearables se utilizan ampliamente para el análisis deportivo, siendo un ámbito relativamente nuevo en el que la mayoría de estos productos se han introducido en los últimos diez años. En los últimos tiempos, el análisis de datos en el ámbito deportivo ha ganado popularidad, principalmente gracias a la accesibilidad de sensores portátiles de bajo costo y tamaño reducido.

Por ejemplo, Rana & Mittal (2021) en su estudio hacen referencia sobre los sensores portátiles y recalcan que estos han encontrado su espacio en el ámbito del análisis en tiempo real de datos en el ámbito deportivo. Los avances recientes en tecnología MEMS (Sistemas Microelectromecánicos) y en sensores IMU de baja potencia han impulsado el uso de sensores en miniatura en dispositivos portátiles.

Con el transcurso de los años, la tecnología de dispositivos portátiles ha experimentado continuas renovaciones, enfocadas tanto en mejorar la estética de los productos como en aumentar la precisión de los datos recopilados. Asimismo, se ha evidenciado un progreso significativo en las aplicaciones que acompañan a estos dispositivos, especialmente en lo que respecta al control y

seguimiento de la actividad física. Esta constante evolución implica que, a medida que avanza el tiempo, los dispositivos vestibles se reinventan con el objetivo de proporcionar resultados más confiables y precisos en sus mediciones.(Sullón Atoche, 2020).

La constante evolución de la tecnología en esta área ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar el rendimiento deportivo y proporcionar resultados más confiables en las mediciones. A medida que la investigación continúa en esta dirección, se vislumbra un prometedor futuro para el análisis deportivo, donde la biomecánica y la tecnología seguirán desempeñando un papel fundamental en el desarrollo y la optimización del rendimiento atlético.

### 3.1.2 MICROENTORNO

El siguiente análisis se enfoca en los factores que influyen en la investigación científica de la biomecánica en atletas en la región centroamericana. Se lleva a cabo una evaluación exhaustiva de la tecnología MEMS, examinando detalladamente las herramientas y tecnologías disponibles para su implementación. El objetivo principal de este análisis es identificar las barreras existentes y las oportunidades de mejora en la región en relación con la adopción y utilización de esta tecnología de vanguardia. Además de analizar los factores internos que pueden afectar la investigación científica de la biomecánica en atletas, se examinan detenidamente las condiciones actuales de la tecnología MEMS. Esto implica la evaluación de las capacidades, características y aplicaciones de los sensores inerciales portátiles, así como la identificación de las limitaciones y desafíos técnicos que podrían afectar su implementación efectiva en la región.

#### 3.1.2.1 *Biomecánica deportiva a nivel centroamericano y del caribe*

La adquisición de conocimientos sobre la técnica deportiva desempeña un papel fundamental en el proceso de dirección del entrenamiento deportivo, ya que es crucial para alcanzar un alto rendimiento. En el caso específico del Fútbol, el dominio del pase tiene una influencia significativa en los resultados obtenidos. Por lo tanto, es de gran importancia examinar detalladamente las particularidades de esta habilidad. A nivel regional, países como Costa Rica y Cuba se destacan por su compromiso y avance en la investigación de la biomecánica deportiva.

El fútbol es probablemente uno de los deportes más populares del mundo, con varios jugadores activos a nivel mundial. Rojas-Valverde et al. (2017) menciona en sus resultados que las variables cinemáticas en juegos con dimensiones reducidas (SSG) son relevantes debido al uso extendido de este tipo de métodos de entrenamiento para equipos de fútbol en Costa Rica y en todo el mundo, lo

que proporciona más información a los entrenadores y al personal respecto a qué tipo de variables cambiar para obtener respuestas más altas o bajas en velocidad, distancia o ritmo cardíaco.

En Honduras, no se han registrado estudios biomecánicos específicos en el ámbito del fútbol o futsal. Sin embargo, un estudio realizado por Mejia Mejia et al. (2023) se enfocó en atletas de lanzamiento de jabalina durante el Campeonato Centroamericano Mayor de Atletismo 2022. El estudio arrojó conclusiones significativas, destacando que, a pesar de la existencia de otras variables que influyen en el rendimiento en el lanzamiento de jabalina, la velocidad de lanzamiento, especialmente su componente horizontal, presenta la asociación más fuerte con la distancia lograda.

Bicet Zaldívar (2019) en un estudio con atletas cubanas de 15 años que practican futbol hace hincapié que la distancia del pie de apoyo al balón en todos los casos estudiados está por encima de los valores asumidos en la teoría consultada (10-15 cm), lo que provoca pérdida de potencia en el golpeo al balón al tener que girar demasiado la cadera de la pierna de apoyo para lograr darle la dirección de vuelo al balón.

Esta revisión bibliográfica revela un notable interés en el análisis de las variables cinemáticas en diversos estudios deportivos. Sin embargo, en comparación con países líderes en el ámbito, la investigación biomecánica se encuentra rezagada en la región. Esto indica que, a pesar de la existencia de algunos estudios en el campo de la biomecánica deportiva, la región en general presenta un nivel de investigación biomecánica inferior en comparación con países destacados en este campo.

### *3.1.2.2 Uso de tecnología Kinovea en la región centroamericana*

Kinovea es un software de código abierto y gratuito, diseñado con el propósito de facilitar el análisis del movimiento humano. Su conjunto de funcionalidades se enfoca en cuatro misiones principales: captura, observación, anotación y medición. Al ser una herramienta de código abierto, permite a los investigadores y profesionales personalizar y adaptar el software a sus necesidades específicas. Con la capacidad de capturar y visualizar secuencias de video, Kinovea brinda a los usuarios la capacidad de realizar análisis detallados del movimiento humano, lo que resulta fundamental en campos como la investigación deportiva, la biomecánica y la rehabilitación física. (Kinovea, s. f.)

El uso de la tecnología Kinovea en la región centroamericana ha sido de gran beneficio para diversas disciplinas relacionadas con el estudio del movimiento humano. Gracias a su disponibilidad

como software de código abierto y gratuito, ha permitido a investigadores, profesionales y entrenadores deportivos aprovechar sus funcionalidades avanzadas.

Por ejemplo, Mejia Mejia et al., (2023) en su investigación menciona que para el análisis biomecánico, se filmó la ejecución del lanzamiento de jabalina sobre el plano sagital con una cámara posicionada a 12 m de dicho plano, perpendicular, y a una altura de 1.50 m, con una distancia horizontal de 5 metros con respecto a la línea de falta, el sistema de referencia se realizó con una cuadrícula de 2 x 2 metros. El procesamiento y digitalización de los datos se realizó con el software Kinovea.

En otro caso, Bicet Zaldívar (2019) en su investigación se colocó una cámara fija a una altura de 1.5 m. y a una distancia perpendicular al plano del movimiento de 4 m, con su eje óptico coincidiendo con el eje transversal, de manera que la mayoría de los segmentos del cuerpo de cada atleta se encuentre en el plano de filmación. Una segunda cámara se colocó en el plano frontal, a una distancia al plano del movimiento de 4 m. En la muestra objeto de investigación, edición de los videos tomados y digitalización se utilizó el software Kinovea.

La revisión bibliográfica evidencia el extenso uso del software Kinovea en investigaciones cinemáticas de atletas en diversas disciplinas deportivas. Kinovea ha demostrado ser una herramienta ampliamente adoptada en estudios que analizan el movimiento humano, permitiendo un análisis detallado y preciso de los diferentes aspectos biomecánicos y técnicos de los atletas. Su versatilidad y funcionalidades avanzadas han contribuido significativamente a la comprensión y mejora del rendimiento deportivo. Investigadores y profesionales del deporte han encontrado en Kinovea una solución eficiente y confiable para el análisis cinemático en sus estudios y análisis de movimiento.

## **3.2 CONCEPTUALIZACIÓN**

A continuación, se proporcionarán los fundamentos esenciales necesarios para comprender la investigación en cuestión. Asimismo, se presentará una referencia teórica que abarcará las características principales tanto del sistema Kinovea como de los sensores IMU, los cuales serán utilizados en el estudio propuesto.

### **3.2.1 BIOMECÁNICA DEPORTIVA**

La biomecánica deportiva ha ganado reconocimiento en diversas disciplinas deportivas como una ciencia que contribuye al desarrollo y perfeccionamiento de las técnicas de los atletas, así como

a la mejora del rendimiento deportivo en general. Además, ofrece valiosa información para la prevención de lesiones, lo que representa una oportunidad para optimizar los procesos en cada deporte practicado. A medida que se expande su aplicación, la biomecánica se posiciona como una herramienta esencial en la búsqueda de la excelencia deportiva y la maximización del potencial atlético.

Se define como biomecánica a "La ciencia que examina las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano y el defecto que ellas producen" (Ramon Suarez, 2009, p. 16). Esta definición encapsula la esencia de la biomecánica, que busca comprender y analizar cómo las fuerzas y los movimientos afectan el rendimiento y el funcionamiento del cuerpo humano en el ámbito deportivo. Al aplicar los principios de la biomecánica, se pueden identificar deficiencias y mejorar la técnica de los atletas, así como prevenir lesiones y optimizar el rendimiento deportivo en general. La incorporación de los conocimientos biomecánicos en la práctica deportiva se ha convertido en una herramienta esencial para los entrenadores, científicos y profesionales del deporte que buscan maximizar el potencial de los atletas y promover un desempeño óptimo.

La biomecánica deportiva tiene su origen en la cinesiología, según varios autores, debido a que las técnicas deportivas son adaptaciones de los movimientos básicos. El enfoque de estudio en esta disciplina biomecánica se centra en las técnicas deportivas, las cuales se clasifican en grupos según sus características comunes en cada deporte. Esta clasificación permite analizar y comprender las particularidades biomecánicas de cada técnica deportiva específica, identificando los patrones de movimiento, las fuerzas involucradas y los efectos que producen en el rendimiento del atleta. El estudio detallado de las técnicas deportivas desde una perspectiva biomecánica es fundamental para optimizar el desempeño, corregir errores técnicos y prevenir lesiones en el ámbito deportivo.

Según Muñoz & Garrido (2012) dentro del campo de la biomecánica deportiva, se pueden distinguir dos áreas fundamentales con sus respectivas tareas específicas. En primer lugar, se encuentra el área del material deportivo se enfoca en optimizar y mejorar los elementos utilizados en la práctica deportiva, incluyendo la reducción de peso sin comprometer las propiedades funcionales de los accesorios, el desarrollo de dispositivos y metodologías de registro para análisis biomecánico, el aumento de la durabilidad y resistencia de los materiales, así como la búsqueda de materiales mejoradores del rendimiento. Por otro lado, se centra en el estudio y análisis de las técnicas deportivas, describiéndolas en detalle, identificando y corrigiendo errores o deficiencias, y proponiendo técnicas más eficientes para maximizar el rendimiento deportivo de los atletas.

### 3.2.2 CINEMÁTICA

La cinemática es una rama fundamental de la física que se encarga de estudiar el movimiento de los objetos sin considerar las fuerzas que lo causan. Es una disciplina que se enfoca en describir, analizar y predecir el movimiento en términos de posición, velocidad y aceleración, sin profundizar en las causas que lo generan. Según Hamill et al. (2017), "La rama de la mecánica que describe los componentes espaciales y temporales del movimiento se denomina cinemática. La descripción del movimiento involucra la posición, velocidad y aceleración de un cuerpo si considerar las fuerzas que causan el movimiento" (P. 294).

Según Gonzalez et al. (2019) La cinemática, en su enfoque espacial, se enfoca en ubicar los cuerpos mediante el uso de coordenadas y ángulos, y proporciona una descripción minuciosa de sus movimientos en términos de tiempo, desplazamientos, velocidades y aceleraciones. El análisis cinemático puede dividirse en dos categorías principales: lineal y angular.

"La cinemática lineal es un área específica de la cinemática que se refiere en particular al movimiento en línea recta" (Hamill et al., 2017, p. 297). El movimiento en línea recta puede manifestarse como una traslación o como un movimiento curvilíneo, ambos implicando un desplazamiento desde un punto A hasta un punto B. En la Figura 1 se presenta una descripción más detallada del movimiento lineal, proporcionando una representación gráfica del desplazamiento.

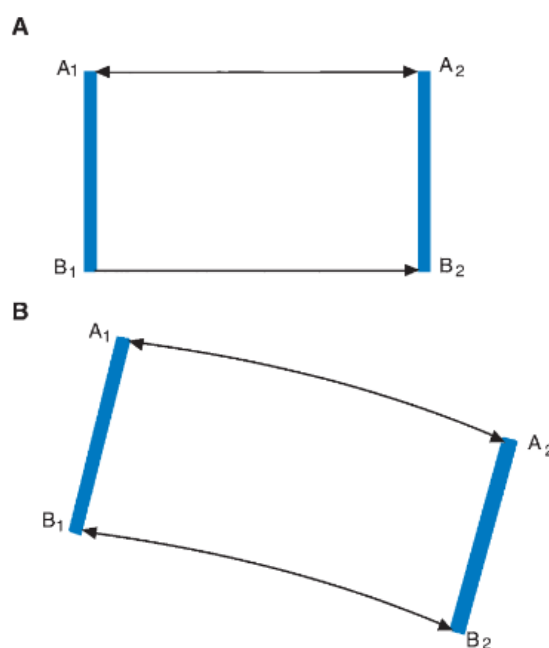


Ilustración 1 - Desplazamiento de un cuerpo.

Fuente: (Hamill et al., 2017, p. 297)

El movimiento angular se produce cuando un cuerpo gira alrededor de un eje, sin experimentar un desplazamiento lineal uniforme. La cinemática angular se encarga de describir este tipo de movimiento, centrándose en las variables angulares sin considerar las fuerzas que lo generan (Hamill et al., 2017, p. 319). En la Figura 2 se presenta un ejemplo ilustrativo de un movimiento angular específico, proporcionando detalles precisos sobre su trayectoria y características.

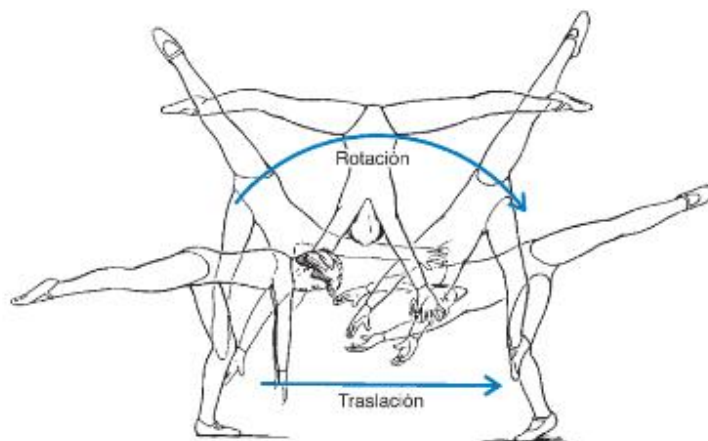


Ilustración 2 - Movimiento angular de un cuerpo.

Fuente: (Hamill et al., 2017, p. 319)

### 3.2.3 KINOVEA

Kinovea es un software de análisis de movimiento de código abierto ampliamente utilizado en investigaciones y estudios biomecánicos. Según Puig-Diví et al. (2019) Kinovea es una herramienta fácil de usar, portátil y gratuita que se puede utilizar en situaciones reales de campo; no se requiere experiencia previa para obtener mediciones precisas y confiables. Kinovea ha sido validado como una herramienta para evaluar variables relacionadas con el tiempo.

Una de las características distintivas de Kinovea es su capacidad para realizar análisis cinemáticos detallados. Balsalobre-Fernández et al. (2014) concluye que el método de análisis cinemático usando Kinovea tiene una alta tasa de precisión, confiabilidad y validez para medir el tiempo de vuelo de los saltos verticales. Esto facilita la descripción cuantitativa y la comparación de los movimientos realizados por los sujetos de estudio.

Otra funcionalidad destacada de Kinovea es su capacidad para realizar análisis espaciales y temporales de los movimientos capturados. El software permite la creación de sistemas de referencia y la medición precisa de distancias, ángulos y trayectorias en los videos de movimiento. Además, ofrece herramientas de sincronización y superposición de videos, lo que permite la comparación

simultánea de diferentes repeticiones o sujetos. Esto facilita la detección de patrones, desviaciones y mejoras en el rendimiento deportivo.

Kinovea también se destaca por su capacidad de análisis cualitativo y la generación de informes visuales. Prakash et al. (2022) por ejemplo hace uso del software en su estudio para analizar la flexión y extensión de las articulaciones de la rodilla y la cadera mediante la colocación de marcadores en las regiones del epicóndilo y el trocánter de las articulaciones de la rodilla y la cadera.

### 3.2.4 IMU

La Unidad de Medición Inercial es un dispositivo electrónico utilizado en aplicaciones de medición y análisis de movimiento. Según Ciklacandir et al. (2022) "los sensores de unidad de medida inercial son sistemas livianos, portátiles, de bajo costo y fáciles de implementar que consisten en componentes pequeños". Los sensores inerciales, son ampliamente empleados en la biomecánica deportiva, han demostrado ser herramientas fundamentales gracias a sus características distintivas, ofreciendo resultados fiables en los análisis realizados. Estos dispositivos proporcionan datos precisos sobre el movimiento humano, permitiendo investigaciones detalladas en este campo científico.

Uno de los principales usos de las IMUs se encuentra en la captura y análisis del movimiento humano. Según Rana & Mittal (2021) "Una unidad de sensor IMU mide la aceleración angular, la aceleración lineal (fuerza) y, a veces, también el campo magnético". Al combinar esta información los sensores inerciales pueden calcular con precisión la aceleración lineal, la velocidad angular y los ángulos de las articulaciones, lo que proporciona una representación detallada del movimiento corporal en diferentes actividades y disciplinas. La amplia adopción de los sensores inerciales en la comunidad científica y deportiva se debe a su capacidad para capturar datos en tiempo real, su portabilidad y su facilidad de uso. Estos dispositivos se pueden utilizar tanto en entornos de laboratorio como en situaciones reales de campo, lo que brinda la oportunidad de realizar investigaciones en condiciones más cercanas a la realidad de los deportistas.

La confiabilidad de los datos arrojados por los sensores inerciales ha sido respaldada por numerosos estudios en biomecánica deportiva. Su utilización en investigaciones ha permitido obtener información valiosa sobre aspectos clave del rendimiento humano, como la evaluación de la técnica, la medición de fuerzas y momentos articulares, y el análisis de la cinemática y cinética del movimiento.

### 3.2.5 FUTSAL

El Futsal, también conocido como fútbol sala, es una disciplina deportiva que se juega en un campo con pequeñas dimensiones y con un número limitado de jugadores por equipo. Según la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA) define al Futsal como una modalidad de fútbol que se juega en espacios reducidos y con equipos compuestos por cinco jugadores, incluyendo al portero. Además, la FIFA menciona que el Futsal se caracteriza por su ritmo rápido, su énfasis en la técnica individual, la habilidad en espacios reducidos y la creatividad en el juego (FIFA,2021).

El Futsal ha experimentado una evolución significativa a lo largo de su historia. Desde sus inicios en Uruguay en la década de 1930, el deporte se ha expandido a nivel mundial, con la creación de competiciones internacionales y el reconocimiento de la FIFA como la entidad reguladora. Este reconocimiento ha llevado a una mayor profesionalización del deporte, con ligas nacionales y competiciones internacionales de alto nivel que atraen a jugadores y aficionados de todo el mundo.

En cuanto a los aspectos técnicos y tácticos del Futsal, es importante destacar los fundamentos técnicos que se emplean en el juego. Estos incluyen el control preciso del balón, los pases rápidos y precisos, los regates ágiles y la finalización efectiva. Desde el punto de vista táctico, el Futsal implica estrategias como la presión defensiva intensa, la construcción de juego desde la defensa, las transiciones rápidas entre la defensa y el ataque, y la coordinación y colaboración en equipo para crear oportunidades de gol (Sanmiguel-Rodríguez et al., 2021).

La táctica desempeña un papel fundamental en el deporte, incluido el Futsal, y se considera un aspecto crucial para el éxito de un equipo. "El sistema de juego en el Futsal se refiere a la disposición estratégica de los jugadores en el campo durante el desarrollo del partido. En la actualidad, existen varios sistemas tácticos ampliamente utilizados, siendo los más comunes el 2-2, 1-2-1, 3-1 y 4-0. Es importante tener en cuenta que no existe un sistema de juego perfecto, ya que cada equipo debe elegir aquel que se ajuste mejor a las habilidades individuales de sus jugadores, a la situación del partido o al estilo de juego del equipo contrario." (Cáceres, 2010, p. 101).

### **3.3 TEORÍAS DE SUSTENTO**

En el presente apartado se describen las bases teóricas que sustentan la investigación y cómo estas ayudarán a lograr los objetivos propuestos.

### 3.3.1 BASES TEÓRICAS

#### 3.3.1.1 *Vectores y Escalares*

En esta sección, se proporcionan una conceptualización sólida y completa de los conceptos de vectores y escalares, así como su relevancia en el análisis del movimiento en el fútbol, es esencial comprender que los vectores son cantidades físicas que tienen tanto magnitud como dirección. Pueden representar aspectos como la velocidad, la aceleración y la fuerza. Por otro lado, los escalares son cantidades que solo tienen magnitud, como la masa o el tiempo.

Pérez Ruiz & Villegas Sáez (2021) define a un escalar como "aquella magnitud que está completamente definida cuando se conoce su valor y sus unidades. Las personas están más familiarizadas con las magnitudes escalares y en la forma de operar con ellas. Ejemplo de magnitud escalares son la masa, el tiempo, la temperatura, la densidad, el volumen, la energía, etc." (p. 207). En otras palabras, un escalar, en términos técnicos, se refiere a una cantidad física que se caracteriza únicamente por su magnitud. En otras palabras, un escalar es una medida o valor numérico que no tiene asociada una dirección específica en el espacio.

Otra definición dada por Hamill et al., (2017) menciona que "Un escalar son componentes que pueden ser descritos totalmente por su magnitud o cantidad, ejemplo de ellos son la distancia, la aceleración, y la velocidad escalar de un atleta" (p. 288). Un escalar es una cantidad física que se caracteriza únicamente por su magnitud numérica, sin tener una dirección o sentido asociado en el espacio. En otras palabras, es una medida cuantitativa que no incluye información sobre su orientación o ubicación.

En el contexto de la investigación sobre el análisis cinemático en futbolistas, los escalares desempeñan un papel fundamental al permitir la medición y cuantificación de diversas magnitudes relevantes. Por ejemplo, la masa corporal de un futbolista se considera un escalar importante para evaluar aspectos relacionados con la fuerza, el equilibrio y la resistencia física. Además, el tiempo es otro escalar clave en el análisis cinemático. Al registrar y cuantificar el tiempo que tarda un futbolista en realizar un pase, se pueden obtener datos precisos sobre la velocidad de ejecución y la eficiencia en el movimiento. Estos valores temporales son esenciales para evaluar y comparar el desempeño de los jugadores en diferentes situaciones de juego.

A diferencia de un escalar, una magnitud vectorial se caracteriza por estar completamente definida cuando se conocen varios aspectos: su valor, dirección, sentido, punto de aplicación y

unidades correspondientes. El ciudadano promedio suele tener menos familiaridad con el uso y la manipulación de este tipo de magnitudes. Algunos ejemplos de magnitudes vectoriales incluyen el desplazamiento, la velocidad, la fuerza, entre otras. (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 208).

También Hamill et al. (2017) mencionan que “Los vectores son cantidades que no pueden ser completamente descritas únicamente por su valor numérico, sino que también requieren información sobre su dirección. Es decir, un vector se define por su magnitud y su dirección. Un ejemplo común de esto es cuando se desplaza un objeto, ya que para describir completamente dicho desplazamiento es necesario conocer tanto la distancia recorrida como la dirección en la que se realizó.” (p. 288).

En el análisis cinemático, los vectores son utilizados para representar cantidades físicas que tienen tanto magnitud como dirección. Estas magnitudes vectoriales, como la velocidad, la aceleración y la fuerza, son fundamentales para comprender y cuantificar el movimiento de un atleta durante el juego. Por ejemplo, al analizar el pase en el fútbol, el vector de velocidad nos proporciona información sobre su magnitud y dirección, lo que nos ayuda a comprender la trayectoria y la velocidad con la que se realiza el pase. El entendimiento de los conceptos de vectores y escalares es esencial para el análisis cinemático de un atleta en el fútbol y otros deportes. Los vectores, al considerar tanto la magnitud como la dirección, nos proporcionan información detallada sobre el movimiento de los jugadores, mientras que los escalares nos permiten cuantificar y medir magnitudes relevantes para evaluar el rendimiento físico y otros aspectos clave en el desempeño deportivo.

### 3.3.1.2 *Cinemática del movimiento mecánico*

Para el estudio de la cinemática del movimiento mecánico, resulta fundamental adquirir un conocimiento exhaustivo sobre los conceptos de rapidez, velocidad media, velocidad instantánea y aceleración de los cuerpos. A continuación, se proporcionará una descripción más precisa de cada uno de estos conceptos, incluyendo su fórmula correspondiente y una explicación detallada.

- Velocidad media = “Es la magnitud vectorial, numéricamente igual a la razón de cambio que se establece entre el desplazamiento total que un cuerpo experimenta y el tiempo total empleado en realizar dicho desplazamiento.” (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 232). La unidad de medición en que se expresa la velocidad media es unidades de longitud por unidades de tiempo, por ejemplo, m/s, km/h, cm/s, etc.

La velocidad media es de suma importancia para el estudio de la cinemática de un atleta, ya que proporciona información sobre la rapidez promedio con la que se desplaza

durante un determinado período de tiempo, al calcular la velocidad media, se considera el desplazamiento total dividido por el tiempo total empleado.

Su fórmula es:

$$\vec{v}_m = \frac{\vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \dots + \vec{s}_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Ecuación 1- Velocidad Media

Fuente: (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 232)

- Rapidez = “La rapidez es la magnitud escalar, numéricamente igual al valor de la velocidad en cada instante y tiene sus mismas unidades.” (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 233). Se puede observar que, en el contexto del movimiento mecánico, la velocidad se define como un vector, mientras que la rapidez es un escalar. La velocidad se caracteriza por su valor numérico, unidades de medida, dirección y sentido, mientras que la rapidez se caracteriza únicamente por su valor numérico y unidades.

Es importante comprender esta distinción para un análisis preciso del movimiento en términos de velocidad y rapidez. La velocidad, al ser un vector, proporciona información completa sobre cómo y hacia dónde se desplaza un objeto en un sistema de coordenadas específico. En contraste, la rapidez es una cantidad escalar que simplemente indica cuán rápido se mueve un objeto sin tener en cuenta la dirección en la que se desplaza.

Su fórmula es:

$$v_m = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

Ecuación 2 – Rapidez

Fuente: (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 233)

- Velocidad instantánea = “Es la magnitud vectorial definida como el límite a que tiende la velocidad media cuando el intervalo de tiempo tiende a cero.”(Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 236). En otras palabras, se puede expresar que la velocidad instantánea se define como la primera derivada del vector de posición respecto al tiempo. En un punto determinado de la trayectoria de una partícula, la velocidad instantánea se representa como un vector tangente a dicha trayectoria.

Su fórmula es:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{v}_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Ecuación 3 – Velocidad instantánea

Fuente: (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 236)

En el contexto de la cinemática, la velocidad instantánea proporciona información precisa sobre la magnitud y la dirección del movimiento de una partícula en un instante específico. Su cálculo implica determinar la tasa de cambio de la posición de la partícula con respecto al tiempo y, por ende, se representa como un vector tangente que indica la dirección en la que la partícula se desplaza en ese punto de la trayectoria. Durante un estudio del gesto técnico del pase en un atleta, se puede aplicar la velocidad instantánea para analizar el movimiento en un punto determinado durante la ejecución del pase.

- Aceleración instantánea = “Es la magnitud vectorial que caracteriza la variación de la velocidad instantánea en el tiempo. La aceleración es la medida cuantitativa de la rapidez de cambio de la velocidad.”(Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 238). En el contexto de diversos movimientos deportivos, es crucial comprender tanto la velocidad como la aceleración experimentada por un cuerpo. Una aceleración adecuada permite que el atleta adquiera una velocidad apropiada en una fase específica del movimiento, lo cual es fundamental para alcanzar los objetivos establecidos y obtener los registros deseados. Por ejemplo, el análisis de la aceleración instantánea durante el gesto técnico del pase proporciona información clave sobre cómo el atleta cambia su velocidad en relación con el tiempo en ese momento específico. Esto permite evaluar y optimizar aspectos técnicos y biomecánicos del gesto del pase, como la coordinación de los segmentos corporales, la fuerza aplicada y la secuencia temporal de los movimientos.

Su fórmula es:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

Ecuación 4 – Aceleración instantánea

Fuente: (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 238)

La unidad de medición de la aceleración es unidad de distancia por unidad del tiempo al cuadrado, es decir, m/s<sup>2</sup>, cm/s<sup>2</sup>, km/h<sup>2</sup>, etc.

En el estudio cinemático del gesto técnico del pase en un atleta, los conceptos de velocidad media, rapidez, velocidad y aceleración instantáneas desempeñan un papel fundamental. Estos

conceptos son de gran importancia para comprender y analizar en detalle el movimiento durante la ejecución del pase.

### 3.3.1.3 *Masa y fuerza*

Para un estudio cinemático es importante adquirir un conocimiento exhaustivo sobre los conceptos de masa y fuerza de los cuerpos. A continuación, se proporcionará una descripción más precisa de cada uno de estos conceptos, incluyendo su fórmula correspondiente y una explicación detallada.

Según Pérez Ruiz & Villegas Sáez (2021) manifiestan “La masa es una magnitud escalar que caracteriza la medida cuantitativa de la inercialidad. la medida de las propiedades gravitacionales y de la energía total del cuerpo.” (p. 293). En otras palabras, la masa proporciona información sobre la resistencia de un cuerpo al cambio de su velocidad, así como sobre las interacciones gravitacionales del cuerpo con otros objetos y la energía total contenida en el mismo. Es una medida de la cantidad de materia que compone el cuerpo y se expresa en kilogramos (kg). La masa influye en la inercia del cuerpo, es decir, su tendencia a resistir cambios en su movimiento.

En el ámbito de la física, se reconoce que el estado de equilibrio o movimiento mecánico de los cuerpos está determinado por la naturaleza de sus interacciones con otros cuerpos. Estas interacciones pueden manifestarse como atracciones o repulsiones, las cuales generan fuerzas sobre el cuerpo en cuestión. Por lo tanto, es necesario introducir el concepto de fuerza para comprender adecuadamente cómo estas interacciones afectan el comportamiento de los cuerpos.

Arenas (2020) menciona “La fuerza se puede definir como toda acción que tiende a alterar el estado de reposo de un cuerpo al cual se aplique.” (p. 33). Hay muchas clases de fuerzas, por ejemplo, la fuerza de gravedad con la cual se esta familiarizado o el simple empuje que se puede ejercer sobre un objeto. Toda cantidad de fuerza posee dirección y magnitud, por lo tanto, se denomina cantidad vectorial.

Además, se puede definir como “Una magnitud vectorial que caracteriza la medida cuantitativa de las interacciones entre los cuerpos. La fuerza cuantifica el valor de las interacciones que provocan el cambio de velocidad o la deformación de los cuerpos.” (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 296). La unidad de fuerza en el SI es el newton (N), y es una unidad derivada ya que 1N equivale a 1 Kg\*m/s.

Dado que la fuerza es una magnitud vectorial, es posible representar cualquier fuerza en un sistema de ejes cartesianos mediante sus componentes. Esto implica descomponer la fuerza en

direcciones específicas y expresar cada componente como un vector en función de los ejes de coordenadas., es decir:

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y + \vec{F}_z$$

Ecuación 5 – Fuerza Vectorial

Fuente: (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 296)

Cuando un cuerpo objeto de estudio se ve sometido a la acción de dos o más fuerzas, es posible determinar la fuerza resultante de manera analítica utilizando la fórmula:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

Ecuación 6 – Fuerza Resultante

Fuente: (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 296)

Una fuerza de igual magnitud, igual dirección, con sentido contrario al de la fuerza resultante y que actúa en el mismo punto de aplicación, se denomina fuerza equilibrante.

Una fuerza de gran relevancia en la naturaleza, ampliamente conocida por cada individuo, es la denominada fuerza de gravedad. Se puede mencionar que "Es la fuerza que ejerce la tierra sobre todos los cuerpos que se encuentran cercanos a su superficie. La fuerza de gravedad que actúa sobre todas las partes de un cuerpo puede ser concentrada en un solo punto determinado que se denomina centro de gravedad o centro de masa."(Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 301). La magnitud de la fuerza de gravedad que actúa sobre un objeto de masa m se calcula de la siguiente manera.

$$F = mg$$

Ecuación 7 – Fuerza de gravedad

Fuente: (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 301)

El centro de gravedad o centro de masa según Pérez Ruiz & Villegas Sáez (2021) "Es un punto característico del cuerpo donde se concentra toda la acción de la fuerza de gravedad. En un cuerpo homogéneo el centro de gravedad coincide con el centro geométrico del cuerpo." (p. 302). El centro de gravedad puede estar situado dentro o fuera del cuerpo, en el contexto de los atletas, mientras ejecutan diversos movimientos mecánicos, el centro de gravedad varía su posición relativa con respecto a las partes del cuerpo debido a las diferentes posturas adoptadas. Esto se debe a que el centro de gravedad depende de la distribución de masa en el cuerpo del atleta y su posición se ve

afectada por los cambios en la configuración corporal durante la realización de movimientos específicos.

### 3.3.1.4 Cálculo de IMC de una persona

En el contexto del entrenamiento deportivo, resulta esencial tener un conocimiento aproximado del índice de masa corporal IMC. "El índice de masa corporal es un valor numérico que permite determinar si una persona se encuentra en el peso correcto de acuerdo con su talla y su masa." (Pérez Ruiz & Villegas Sáez, 2021, p. 295). Según la OMS (2018) el IMC se calcula dividiendo el peso de una persona en kilogramos por el cuadrado de la talla en metros. Es decir:

$$IMC = \frac{m(kg)}{T^2(m)^2}$$

Ecuación 8 – Índice Masa Corporal

Fuente: Dato sacado de la OMS (2018)

Conocer el IMC de un atleta puede ser útil en el entrenamiento deportivo, ya que puede ayudar a evaluar su estado de salud y a establecer objetivos de composición corporal. Pérez Ruiz & Villegas Sáez (2021) afirma "El índice de masa corporal es un indicador importante para caracterizar el estado físico del atleta." (p. 686). El IMC proporciona una medida general de la relación entre el peso y la altura de un atleta, lo que puede ser indicativo de su nivel de masa muscular y grasa corporal. En la Tabla 1 se observa las categorías de las personas según los valores del IMC definidas por las OMS.

Tabla 1 – Categorización del IMC

<b>IMC (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Categoría</b>
<b>Menos de 16</b>	Bajo peso severo
<b>16 a 17</b>	Bajo peso moderado
<b>17 a 18.5</b>	Bajo peso
<b>18.5 a 25</b>	Peso normal
<b>25 a 30</b>	Sobrepeso
<b>30 a 35</b>	Obesidad tipo 1
<b>35 a 40</b>	Obesidad tipo 2
<b>Mas de 40</b>	Obesidad tipo 3

Fuente: (Elaboración Propia, 2023)

Al monitorear el IMC a lo largo del tiempo, los entrenadores y profesionales de la salud pueden identificar cambios en la composición corporal del atleta y ajustar los planes de entrenamiento y nutrición en consecuencia. Por ejemplo, un aumento en el IMC puede indicar un aumento de masa muscular, mientras que una disminución puede señalar una pérdida de peso o una disminución de masa muscular.

### 3.3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección, se expondrán con detalle los diversos materiales y métodos que han sido empleados en la investigación relacionada con futbolistas. Estos elementos son de suma importancia, ya que son la base fundamental para la realización y ejecución del estudio en cuestión.

#### 3.3.2.1 *Arduino nano 33 BLE*

El Arduino Nano 33 BLE es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador nRF52840 de Nordic Semiconductor. Es parte de la familia de placas Arduino Nano, que son versiones compactas y versátiles de las placas Arduino más populares. El término "BLE" en su nombre se refiere a "Bluetooth Low Energy" (Bluetooth de baja energía), que es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para consumir muy poca energía, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren una larga duración de la batería, como dispositivos portátiles, sensores y dispositivos de Internet de las cosas.

Según el sitio web oficial de Arduino (2022) La placa Nano 33 BLE presenta una incompatibilidad con señales de 5V debido a que su rango de entrada/salida (I/O) es de 3.3V y no es tolerante con voltajes más altos. Por lo tanto, es fundamental evitar conectar directamente señales de 5V a esta placa, ya que esto podría ocasionar daños irreversibles. Adicionalmente, es importante destacar que a diferencia de las placas Arduino Nano que permiten la operación con 5V, en el caso de la Nano 33 BLE, el pin de 5V no proporciona un suministro de voltaje directo. En su lugar, dicho pin está conectado mediante un puente a la entrada de alimentación USB.

La placa Arduino NANO 33 BLE cuenta con una arquitectura que incorpora una unidad de medición de inercia (IMU) LSM9DS1 de 9 ejes y un consumo de energía reducido en comparación con otras placas de dimensiones similares. Esta característica habilita la creación de dispositivos portátiles y proyectos de detección de movimiento que requieren una comunicación con otros dispositivos a corta distancia. Este enfoque es de gran utilidad para la recopilación de datos en el estudio cinemático

de los atletas bajo análisis. Gracias a ello, es posible obtener información crucial sobre la aceleración y velocidad durante la ejecución del gesto técnico.

El sensor se colocará entre las escápulas, específicamente en la región de la vértebra torácica 1 y 2, utilizando un chaleco de pecho. Esta ubicación ha sido seleccionada basándose en investigaciones previas de otros autores que han utilizado el sensor inercial WIMU Pro en esta misma posición. Oliva-Lozano et al. (2020) en su estudio menciona que los datos fueron recogidos por dispositivos WIMU Pro (Figura 3). El sensor se trata de unidades de medición inercial inalámbricas compuestas por cuatro acelerómetros triaxiales, tres giroscopios triaxiales, un magnetómetro triaxial y un barómetro. Además, estos dispositivos son sistemas de posicionamiento global (GPS).



Ilustración 3 - Sensor inercial WIMU Pro

Fuente: (Oliva-Lozano et al., 2020)

### 3.3.2.2 Cámaras videográficas

Una cámara videográfica es un dispositivo tecnológico que se utiliza para grabar videos de alta calidad con fines diversos, como capturar eventos deportivos, producciones cinematográficas, documentales, entre otros. Su principal función es la de registrar secuencias de imágenes en movimiento y almacenarlas en formato digital. Las cámaras videográficas modernas están equipadas con una amplia gama de características y tecnologías avanzadas, tales como alta resolución de imagen, estabilización de imagen, opciones de enfoque automático y manual, ajustes de velocidad de fotogramas, y diferentes formatos de compresión para la grabación de video.

La combinación de una cámara videográfica de alta calidad y el uso de Kinovea brinda la posibilidad de obtener videos precisos y detallados, lo que facilita el análisis y el estudio de movimientos, técnicas y rendimiento en diversas disciplinas. Esta sinergia tecnológica es

especialmente valiosa en el ámbito deportivo, la medicina deportiva, la biomecánica y la fisioterapia, entre otros campos de aplicación.

Por ejemplo Mejia Mejia et al. (2023) en su estudio mencionan que para el análisis biomecánico, se filmó la ejecución del lanzamiento de jabalina sobre el plano sagital con una cámara (120 fps.) posicionada a 12 m de dicho plano, perpendicular, y a una altura de 1.50 m, con una distancia horizontal de 5 metros con respecto a la línea de falta. El sistema de referencia se realizó con una cuadrícula de 2 x 2 metros. El procesamiento y digitalización de los datos se realizó con el software Kinovea.

En el mismo contexto Hualpa Loza et al. (2022) en su estudio describen el procedimiento utilizado para la recolección de datos en su investigación. Cada deportista fue grabado en video mientras ejecutaba el gesto técnico del pase con borde interno. Para analizar los datos biomecánicos obtenidos, se utilizó el programa Kinovea.

En otro caso, Gómez Echeverry et al. (2018) hacen referencia al término Mocap (Motion capture o captura del movimiento), el cual se refiere a un conjunto de técnicas utilizadas para registrar el movimiento del cuerpo humano y representar los datos de manera digital. Estas técnicas capturan información espaciotemporal del movimiento. El Mocap tiene diversas aplicaciones, entre ellas, la optimización del rendimiento deportivo. Sin embargo, es importante destacar que esta técnica de grabación tiene ciertas limitaciones, ya que requiere el uso de marcadores para redimensionar el objeto de estudio en un espacio tridimensional (figura 4).

Es relevante señalar que este último enfoque es poco utilizado debido al difícil acceso a la tecnología requerida. El uso de la técnica de Mocap para la captura del movimiento se ve limitado por la disponibilidad de recursos tecnológicos y la complejidad asociada con su implementación. Esta situación hace que su aplicación sea menos frecuente en comparación con otras metodologías de análisis biomecánico, que pueden ser más accesibles y adecuadas para ciertos contextos de investigación.

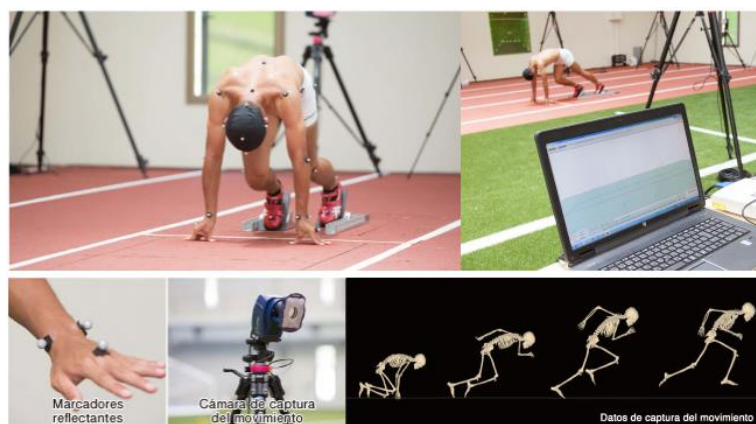


Ilustración 4 – Ejemplo Motion Capture

Fuente: (Sports Performance Research Center)

### 3.3.2.3 Balanza y Estadiómetro

Una balanza es un instrumento de medición utilizado para determinar el peso de un objeto o sustancia con gran precisión. Consiste en una plataforma o plato suspendido de un brazo, donde se coloca el objeto que se desea pesar. Las balanzas son dispositivos fundamentales en diversas áreas, como la industria, el comercio, la cocina, la investigación científica, la medicina y el deporte.

La balanza es una herramienta esencial en el estudio de un atleta, ya que proporciona una medición precisa y objetiva del peso corporal. El control y seguimiento del peso son fundamentales para evaluar la composición corporal del atleta y su rendimiento físico. Con la información obtenida a través de la balanza, los investigadores y entrenadores pueden monitorear la variación del peso a lo largo del tiempo, lo que les permite ajustar el programa de entrenamiento y la dieta para optimizar el desempeño deportivo. Además, la balanza ayuda a identificar cambios en la masa muscular y grasa corporal, lo que resulta crucial para el diseño de estrategias de entrenamiento personalizadas y la prevención de problemas relacionados con el peso, como el sobrepeso o la desnutrición.

Por otro lado, Un estadiómetro es un instrumento utilizado para medir la talla o altura de una persona con alta precisión. Consiste en una regla vertical que está fijada a una superficie estable, como una pared, y posee una escala graduada en centímetros o pulgadas que permite obtener una lectura exacta de la estatura de una persona.

El proceso de medición con un estadiómetro es sencillo: el individuo se coloca de pie con los pies juntos, la espalda recta y los talones, glúteos y omóplatos en contacto con la pared. Luego, el observador alinea el vértice de la cabeza y el talón con la regla del estadiómetro, tomando en cuenta

la postura recta del sujeto. Al deslizar la mirada hacia abajo, se registra la estatura en la escala graduada. El estadiómetro es ampliamente utilizado en entornos médicos, deportivos, antropométricos y de investigación, ya que proporciona una medición precisa y fiable de la estatura, lo que es esencial para el seguimiento del crecimiento, la evaluación de la composición corporal, la selección de deportes adecuados y el monitoreo del desarrollo físico en diversas áreas de estudio.

Conocer la estatura del atleta es fundamental para calcular índices de masa corporal, estandarizar evaluaciones y establecer parámetros de referencia en el campo de la antropometría. La estatura también es un factor importante para determinar el potencial de ciertas disciplinas deportivas y evaluar el crecimiento y desarrollo físico de los deportistas jóvenes. Además, en combinación con otras mediciones antropométricas, como el peso corporal, la estatura permite calcular relaciones relevantes para la valoración de la composición corporal y la proporción del cuerpo.

#### 3.3.2.4 *Analizador de Bioimpedancia*

El analizador de impedancia bioeléctrica (BIA) (Figura 5), es una herramienta de medición no invasiva utilizada para evaluar la composición corporal de una persona. Funciona mediante la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad a través del cuerpo y la medición de la resistencia que ofrece el tejido a esa corriente.

Estos dispositivos suelen tener electrodos que se colocan en puntos específicos del cuerpo, como las manos y los pies, para que la corriente eléctrica pase a través del torso. Una vez que se obtienen las mediciones, el dispositivo realiza cálculos y proporciona información sobre el porcentaje de grasa corporal, la masa muscular, el agua corporal total y otros parámetros relacionados con la composición corporal. Es importante mencionar que la precisión de las mediciones puede variar según la calidad del dispositivo y las condiciones del sujeto (hidratación, edad, sexo, etc.).



Ilustración 5 – Analizador de Bioimpedancia Omron

Fuente: (Wallapop).

La Bioimpedancia ha adquirido popularidad como una herramienta de evaluación y seguimiento del estado nutricional, permitiendo la medición de parámetros bioeléctricos estrechamente relacionados con los aspectos biológicos del cuerpo. Entre estos parámetros se incluyen el agua corporal total (ACT), así como el porcentaje de grasa corporal, el índice de masa corporal (IMC) y el metabolismo basal (MB), entre otros. Esta técnica no invasiva se basa en la resistencia eléctrica de los tejidos corporales y brinda valiosa información sobre la distribución de masa magra y grasa en el cuerpo, lo que resulta útil para evaluar el equilibrio nutricional y realizar ajustes en programas de dieta y ejercicio de manera personalizada. (Quesada Leyva et al., 2016).

### 3.3.3 METODOLOGÍAS APLICADAS POR OTROS AUTORES

En la presente sección, se analizarán diversas metodologías que han sido empleadas por investigadores para el estudio cinemático de atletas. A partir de esta revisión, se evidenciará la importancia de un estudio biomecánico para el mejoramiento de las diversas técnicas empleadas en los distintos deportes.

#### 3.3.3.1 *Análisis Cinemático de las Demandas Posturales en Partidos de Fútbol Profesional Utilizando Unidades de Medida Inercial*

En la Segunda División de fútbol de España, se llevó a cabo un estudio a lo largo de 13 microciclos consecutivos, cada uno compuesto por un partido. Para obtener datos, se emplearon sensores portátiles equipados con unidades de medida inerciales, los cuales registraron variables relacionadas con el tiempo, la aceleración y la velocidad en diferentes ángulos de inclinación del tronco. Cabe mencionar que el estudio se realizó siguiendo los Estándares Éticos en Investigación en Ciencias del Deporte y el Ejercicio, y se contó con la autorización del club para recopilar los datos durante la temporada competitiva. Asimismo, se obtuvo la aprobación del comité de bioética institucional para llevar a cabo esta investigación.

Sus autores Oliva-Lozano et al. (2020) mencionan que la recopilación de datos se realizó mediante dispositivos WIMU Pro durante los partidos. Estos dispositivos son unidades de medición inercial inalámbricas que incluyen cuatro acelerómetros triaxiales, tres giroscopios triaxiales, un magnetómetro triaxial y un barómetro. Además, estos dispositivos también cuentan con sistemas de posicionamiento global (GPS).

Después de completar la recopilación de datos numéricos, se procedió con el análisis estadístico, donde se obtuvieron estadísticas descriptivas para evaluar el porcentaje de tiempo que los jugadores de fútbol dedicaron a cada zona de inclinación del tronco, así como las fuerzas G experimentadas y la inclinación del tronco requerida para diferentes umbrales de velocidad. Para verificar la normalidad de los datos, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, mientras que la prueba de Levene se utilizó para evaluar la homogeneidad de varianzas. Además, se determinó la esfericidad mediante la prueba de Mauchly. Para analizar las relaciones entre las variables, se empleó un modelo lineal con análisis de varianza de diseño mixto para medidas repetidas, donde se consideró la posición de juego como una variable entre sujetos en dicho análisis.

La metodología de investigación utilizada en este estudio es un diseño cuantitativo con análisis estadísticos para obtener conclusiones a partir de datos numéricos. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos y pruebas inferenciales para examinar diferentes variables relacionadas con el gesto técnico del pase en futbolistas. Se utilizaron para resumir y describir las variables de interés, como el porcentaje de tiempo que los jugadores pasaron en cada zona de inclinación del tronco, las fuerzas G experimentadas y la inclinación del tronco requerida para cada umbral de velocidad.

### 3.3.3.2 *Análisis cinético del empeine y patada lateral en futbolistas*

El objetivo de este estudio fue analizar la cinética de las patadas utilizando el empeine y el pie lateral en futbolistas de ambos géneros, con el fin de comprender las similitudes y diferencias en la mecánica subyacente de ambas técnicas. Se seleccionaron futbolistas masculinos y femeninos, quienes realizaron patadas máximas utilizando ambas técnicas. Los movimientos de los jugadores y las fuerzas de reacción del suelo se registraron mediante un sistema de captura de movimiento con una frecuencia de 250 Hz, junto con el uso de una plataforma de fuerza registrando a 1000 Hz.

Los participantes fueron 12 jugadores especializados en fútbol de una universidad con un departamento de educación física (6 mujeres,  $158.7 \pm 6.7$  cm de altura y  $58.0 \pm 5.7$  kg de peso; 6 hombres,  $175.0 \pm 5.8$  cm de altura y  $66.4 \pm 6.8$  kg de peso). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes antes de su participación en este estudio. Todos los procedimientos realizados en este estudio fueron aprobados por el Comité de Ética del Instituto de Ciencias de la Salud y el Deporte, Universidad de Tsukuba, Japón. (Sakamoto et al., 2016).

Los autores pidieron a cada participante que calentara, y luego, pateara un balón de fútbol que había sido colocado hacia una portería ubicada a 10 m de distancia, utilizando la pierna dominante a

máxima fuerza. Se realizó la captura de imágenes utilizando 10 cámaras infrarrojas (Vicon Motion Systems, Oxford, Reino Unido); se recopilaron datos de coordenadas tridimensionales (3D) para cada parte del cuerpo (16 puntos antropométricos con marcadores reflectantes adjuntos) durante el movimiento de patada a una frecuencia de 250 Hz (Figura 6). Asimismo, se colocó una plataforma de fuerza de la marca Kistler, ubicada junto al balón, para medir la fuerza de reacción del suelo en el punto de contacto con la pierna de apoyo. Esta plataforma de fuerza registró los datos a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz.

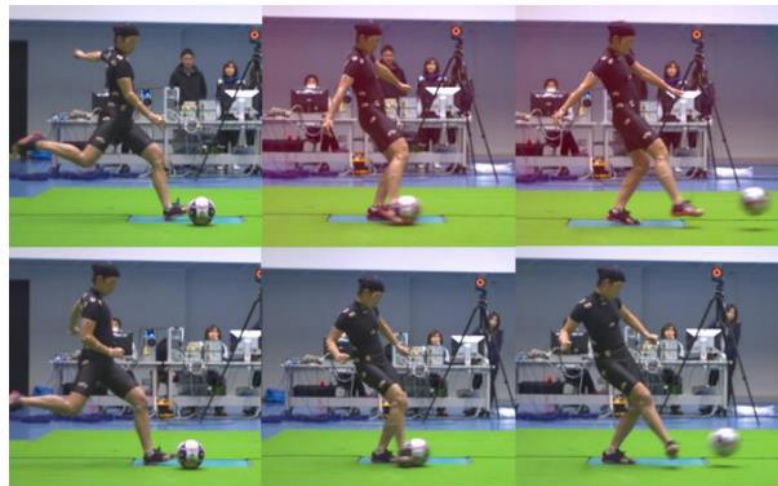


Ilustración 6 - Vicon Motion Systems.

Fuente: (Sakamoto et al., 2016).

### 3.3.3.3 *Análisis de las variables cinemáticas en la técnica del pateo en el fútbol*

El propósito de este estudio consistió en analizar las variables cinemáticas presentes en la técnica del pateo en el fútbol, tomando como referencia criterios de eficiencia biomecánica. La investigación se enmarcó en un enfoque descriptivo, con un diseño de campo, y se llevó a cabo mediante un estudio de caso con la participación de una atleta de 15 años.

En este estudio se utilizaron métodos de registro biomecánico cualitativo y cuantitativo con el propósito de realizar una evaluación exhaustiva y sistemática del gesto en cuestión. Ambos métodos se apoyaron en el uso de videografía tridimensional (3D), donde las cámaras 3D permitieron capturar el movimiento óptico mediante sensores y modelos esqueléticos magnéticos, lo que facilitó el seguimiento directo de los ángulos de articulación a través de sensores inerciales como acelerómetros y giróscopos. Esta metodología permitió visualizar la destreza del gesto desde múltiples planos:

frontal, sagital y transversal, lo que brindó la oportunidad de identificar con detalle los aspectos del movimiento desde diversas dimensiones y direcciones.

En el estudio, se dispusieron dos cámaras de alta velocidad a una distancia horizontal de 15 metros y una altura de 1,20 metros. Estas cámaras tenían una velocidad de grabación de 120 FPS (cuadros por segundo) y se posicionaron estratégicamente: una en el plano sagital de la ejecución del gesto y otra en el plano frontal.

## **IV. METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se exponen exhaustivamente el diseño de la investigación, destacando su enfoque metodológico, las técnicas empleadas y los instrumentos seleccionados para abordar con precisión el tema propuesto. De igual forma, se procede a definir de manera precisa las variables clave que fueron objeto de estudio, así como la población objetivo y la técnica de muestreo adoptada para respaldar rigurosamente el desarrollo de la investigación.

### **4.1 ENFOQUE**

Este proyecto de investigación se enmarca en una metodología de enfoque cuantitativo. Este enfoque fue seleccionado con base en la utilización de métodos de recolección y análisis de datos numéricos, los cuales fueron obtenidos mediante el empleo de sensores IMU (Unidades de Medición Inercial) y el software Kinovea. La elección de esta metodología permitió obtener resultados cuantitativos y precisos, los cuales serán fundamentales para el análisis biomecánico del gesto del pase en futbolistas universitarios.

La elección de esta metodología permitió la utilización de avanzadas tecnologías, para llevar a cabo la recolección y análisis de datos numéricos en tiempo real. Estas herramientas de vanguardia brindaron una detallada comprensión de los aspectos biomecánicos involucrados en el acto del pase, lo que fortalece el estudio y proporciona una base sólida para el análisis del rendimiento deportivo en el fútbol sala universitario. Con un enfoque decidido en la cuantificación y la precisión científica, esta investigación busca arrojar nueva luz sobre la técnica del pase en futbolistas universitarios y contribuir al desarrollo de programas de entrenamiento más efectivos en esta disciplina deportiva.

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

A continuación, se exponen minuciosamente las variables independientes y dependientes que constituyen el núcleo central de la investigación (Figura 7). Estas variables revisten una relevancia primordial, al desempeñar un papel fundamental como pilares en torno a los cuales se estructurarán las fases subsiguientes de la recolección y el análisis de datos. Su adecuada identificación y definición constituirá una base conceptual sólida que permitirá establecer con precisión el enfoque y los objetivos de la investigación. De igual manera, facilitará la selección de las metodologías más apropiadas para la recolección y el análisis de datos, garantizando la exactitud y confiabilidad de los resultados obtenidos.



Ilustración 7 - Clasificación de variables

Fuentes: (Elaboración propia, 2023)

#### 4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTE

Las variables independientes se refieren a aquellas que ejercieron influencia o efecto sobre la variable dependiente en el contexto de la investigación. Todas estas variables se encuentran detalladas en la tabla 2, proporcionando una visión sistemática y organizada de su contribución en el estudio.

Tabla 2 – Variables independientes

VARIABLES	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO	INDICADOR DE CALIFICACIÓN
<b>Variables Biomecánicas</b>	Inclinación de Postura	Ángulo de inclinación del tronco durante la ejecución del pase.	Cuantitativa	Numerica	Kinovea	Entre 90 y 180 grados
	Flexión de rodilla de ejecución	Ángulo que debe formar la rodilla en la parte posterior del cuerpo antes de impactar el balón.	Cuantitativa	Numerica	Kinovea	Entre 0 y 180 grados
	Flexión de rodilla de pie de apoyo	Ángulo que debe formar la rodilla que se encuentra como apoyo al lado del balón.	Cuantitativa	Numerica	Kinovea	Entre 0 y 180 grados
	Distancia entre pies	Separación entre ambas piernas al momento de ejecutar el gesto técnico.	Cuantitativa	Numerica	Kinovea	Entre 0 y 1 metro
	Distancia del jugador al balón	Trayecto que el jugador debe recorrer hasta llegar al contacto con el balón.	Cuantitativa	Numerica	Kinovea	Entre 0 y 10 metros

	<b>DIMENSIONES</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>TIPO DE VARIABLE</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>INDICADOR DE CALIFICACIÓN</b>
	Tiempo de ejecución	Tiempo que se demora en ejecutar la acción; Se toma desde el inicio de la carrera hasta el momento de contacto con el balón.	Cuantitativa	Númerica	Kinovea, IMU	Numérico en segundos
	Aceleración lineal (media aritmética)	Variación de la velocidad del jugador durante la ejecución del gesto técnico.	Cuantitativa	Númerica	IMU	Numérico en m/s <sup>2</sup>
	Velocidad (media aritmética)	Velocidad máxima que alcanza el jugador al realizar el pase.	Cuantitativa	Númerica	IMU	Numérico en m/s
	Centro de gravedad	Posición vertical del centro de masa del cuerpo del futbolista durante el gesto del pase, esta influye en la estabilidad y el equilibrio del jugador durante la ejecución.	Cuantitativa	Númerica	Kinovea	Numérico en grados
<b>Variables Antropométricas</b>	Peso	Masa corporal del futbolista.	Cuantitativa	Númerica	Balanza	Numérico en Kg
	Talla	Altura del futbolista medida desde la planta del pie hasta la parte superior de la cabeza.	Cuantitativa	Númerica	Estadimetro	Numérico en m
	Índice de masa corporal	Evaluación de relaciones proporcionales específicas.	Cuantitativa	Númerica	Analizador de bioimpedancia	Bajo peso: IMC < 18.5 Peso normal: IMC entre 18.5 y 24.9 Sobrepeso: IMC entre 25.0 y 29.9 Obesidad: IMC > 30.0
	Porcentaje de grasa corporal	Indica la cantidad de grasa que se encuentra en el cuerpo en relación con el peso total.	Cuantitativa	Númerica	Analizador de bioimpedancia	Nivel esencial: 2-5% Nivel atlético: 6-13% Nivel fitness: 14-17% Nivel aceptable: 18-24% Nivel encima del promedio: 25-31% Nivel obeso: > 32%

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

#### 4.2.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Se define como variable dependiente la calidad del gesto técnico del pase que el futbolista brinda. La calidad del gesto técnico puede evaluarse mediante diferentes criterios, como precisión,

potencia, dirección, control y fluidez del pase. Esta variable representa la habilidad y eficacia del futbolista para ejecutar un pase de alta calidad, teniendo en cuenta los aspectos biomecánicos involucrados en el gesto.

### **4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS**

En el presente apartado, se detallaron las técnicas y los instrumentos esenciales utilizados en el desarrollo del proyecto de investigación. Entre estos recursos, se incluyen plataformas para la recolección y exportación de datos, así como instrumentos necesarios para asegurar la adecuada ejecución de la investigación. Su elección y descripción minuciosa permitirá una comprensión exhaustiva de los medios empleados para obtener y analizar los datos relevantes para el estudio.

#### **4.3.1 ARDUINO NANO 33 BLE**

El Arduino Nano 33 BLE es una placa de desarrollo electrónica que se basa en el microcontrolador nRF52840 de Nordic Semiconductor. Pertenece a la familia de placas Arduino, reconocidas por su carácter de código abierto y su capacidad para simplificar la creación de prototipos y proyectos de electrónica. Este modelo en particular se destaca por su integración de tecnología Bluetooth de baja energía (BLE), lo que le permite establecer comunicaciones inalámbricas eficientes y de bajo consumo con otros dispositivos, como smartphones, tablets y otros microcontroladores compatibles con BLE.

En el contexto de este proyecto de investigación en futbolistas, el Arduino Nano 33 BLE se empleó para establecer una conexión bidireccional con un smartphone, actuando como el dispositivo periférico mientras el smartphone asumía el rol de dispositivo central. A través de la tecnología Bluetooth, el smartphone y el Arduino se vinculan, permitiendo al smartphone enviar comandos precisos al Arduino para iniciar y detener la recopilación de datos en momentos específicos durante la ejecución del pase por parte de los futbolistas. Esta comunicación bidireccional posibilita un monitoreo remoto y en tiempo real de la recopilación de datos biomecánicos relevantes durante la ejecución del gesto técnico del pase.

De esta forma, al recibir la señal adecuada del smartphone, el Arduino Nano 33 BLE inicia el proceso de recolección de datos a partir de los sensores y dispositivos conectados, permitiendo la adquisición de información crucial sobre la técnica de los futbolistas. Asimismo, cuando se indica que la recopilación de datos debe detenerse, el smartphone envía otro comando a través de Bluetooth

para detener el proceso de recolección y, posteriormente, facilitar el procesamiento y análisis de los datos recopilados.

#### 4.3.2 SENSOR IMU LSM9DS1

El sensor LSM9DS1 fue empleado para la recolección de la aceleración lineal durante el desarrollo de la investigación. El LSM9DS1 es un sensor inercial de 9 ejes que integra acelerómetros, giróscopos y magnetómetros en una única unidad. Está diseñado para medir con precisión la aceleración en tres ejes distintos (ejes x, y, z), lo que permite obtener información detallada sobre el movimiento lineal de los objetos o sujetos a los que está adherido.

Durante la ejecución de la técnica del pase en futbolistas, el sensor LSM9DS1 se posicionó estratégicamente en el cuerpo del jugador entre las escapulas, específicamente en la región de la vértebra torácica 1 y 2, para capturar las aceleraciones lineales generadas durante el gesto técnico. Al registrar los datos de aceleración en los tres ejes, el sensor permitió obtener una visión integral del movimiento y desplazamiento del cuerpo del futbolista durante el proceso del pase.

De igual manera, se calculó la magnitud de la aceleración para obtener un solo valor representativo en lugar de tener tres valores separados correspondientes a los ejes X, Y y Z. Al realizar este cálculo, se obtiene un solo valor numérico que indica la intensidad total de la aceleración experimentada por el sensor LSM9DS1 durante la ejecución del gesto técnico del pase.

Para obtener la velocidad a partir de los datos de aceleración, se utiliza el método de integración numérica del trapecio. La integración numérica es una técnica matemática que permite estimar el valor de una función a partir de sus valores discretos en intervalos regulares. En este caso, se integra la aceleración para calcular la velocidad del movimiento.

#### 4.3.3 MICRO SD CARD ADAPTER HW-125

El módulo Micro SD Card Adapter HW-125 fue utilizado como una interfaz para guardar los datos recopilados durante el proceso de medición en una memoria externa. Una vez que el dispositivo central, envía la orden de detener la colección de datos, se procedía a transferir la información recopilada hacia la tarjeta microSD conectada al adaptador.

El uso de este módulo y la tarjeta microSD permitieron una solución eficiente y práctica para el almacenamiento de datos, ya que brinda la posibilidad de acceder a la información recopilada en un momento posterior para su análisis y procesamiento. Además, al utilizar una memoria externa, se evita

sobrecargar la memoria interna del Arduino Nano 33 BLE y se facilita la transferencia de datos a otros dispositivos o sistemas para un análisis más exhaustivo y detallado.

#### 4.3.4 CÁMARA

En el proceso de estudio del gesto técnico, se utilizó una cámara para la grabación de los futbolistas durante la ejecución de la técnica del pase. Esta cámara fue colocada en una posición adecuada para capturar el movimiento y los detalles relevantes de la técnica. Se empleó la cámara del iPhone 13 pro para grabar las ejecuciones de los futbolistas durante la técnica del pase. El iPhone 13 pro cuenta con una cámara de alta calidad que permite capturar videos con resolución y nitidez adecuadas para el análisis de movimientos deportivos.

El iPhone 13 pro cuenta con un sistema de cámara dual en la parte trasera, que incluye un sensor principal de 12 megapíxeles y un sensor ultra gran angular de 12 megapíxeles. También es capaz de grabar videos en resolución 4K a 24, 30 o 60 cuadros por segundo, lo que permite obtener imágenes nítidas y de alta calidad durante la grabación de movimientos deportivos como la técnica del pase en futbolistas. Además, el iPhone 11 ofrece características adicionales como estabilización de imagen óptica, enfoque automático rápido y la capacidad de capturar imágenes en modo ráfaga.

#### 4.3.5 RECOLECCIÓN DE TALLA Y PESO

La recolección de los datos antropométricos, específicamente la talla y el peso de los atletas, se realizó mediante el uso de una balanza y un estadímetro. Para obtener mediciones precisas y confiables, los atletas fueron instruidos a colocarse sobre la balanza sin zapatos y adoptar una postura firme con la mirada dirigida hacia el frente. De esta manera, se aseguró la estabilidad durante las mediciones y se minimizó la posibilidad de errores que pudieran afectar la exactitud de los datos antropométricos.

Asimismo, para la medición de la talla de los atletas, se empleó el estadímetro, donde los sujetos se posicionaron junto a una pared, manteniendo una postura firme y sin calzado para garantizar la precisión de la medición. El estadímetro permitió obtener las medidas de altura de cada atleta de manera efectiva y siguiendo un protocolo estandarizado.

La utilización de estos instrumentos y el cuidado en la ejecución de las mediciones contribuyeron a asegurar la calidad y fiabilidad de los datos antropométricos recolectados, fundamentales para el

análisis y evaluación de la relación entre las variables antropométricas y la ejecución de la técnica del pase en futbolistas.

#### 4.3.6 ANALIZADOR DE BIOIMPEDANCIA

Para el cálculo del Índice de Masa Corporal (IMC) y el porcentaje de Grasa Corporal , se empleó un analizador de bioimpedancia Omron modelo HBF-306. Este dispositivo utiliza la técnica de bioimpedancia eléctrica para obtener mediciones precisas de la composición corporal de los individuos. Al ingresar los datos como peso, talla y edad del atleta, el analizador proporciona los valores del IMC y el % de GC, lo que permite evaluar el estado nutricional y la cantidad de grasa corporal presente en el organismo. Esta herramienta resulta de gran utilidad en la investigación, ya que brinda información relevante sobre la condición física de los atletas y contribuye a una evaluación integral de su rendimiento deportivo.

### **4.4 MATERIALES**

En el presente apartado, se presentan los materiales fundamentales utilizados en el desarrollo del proyecto de investigación. Estos materiales fueron seleccionados cuidadosamente para garantizar una ejecución adecuada de la investigación, asegurando la precisión y confiabilidad de los datos recopilados durante el desarrollo del proyecto. Su utilización proporcionó la infraestructura necesaria para llevar a cabo las pruebas y el análisis biomecánico requerido, contribuyendo al logro de los objetivos planteados en la investigación.

#### 4.4.1 TRÍPODE

Un trípode es un dispositivo utilizado para mantener la estabilidad y soporte de cámaras, videocámaras u otros equipos electrónicos o fotográficos. Está compuesto por tres patas telescópicas conectadas a una placa o cabezal en la parte superior, donde se coloca el equipo a sostener. El trípode es ampliamente utilizado en la fotografía y la videografía, ya que proporciona una base sólida y estable para capturar imágenes y grabar videos sin que haya movimientos no deseados que puedan afectar la calidad del resultado final. Esto es especialmente útil en situaciones de poca luz o cuando se necesita utilizar velocidades de obturación lentas, lo que requeriría una mano firme para evitar imágenes borrosas.

En el caso de la investigación, el trípode fue utilizado para brindar estabilidad y firmeza al iPhone mientras se grababa al atleta realizando la técnica del pase. La cámara del iPhone se colocó de manera

horizontal al plano de captura para obtener una imagen clara y estable del atleta mientras ejecutaba el gesto técnico. Al utilizar el trípode, se aseguró que la cámara permaneciera inmóvil durante la grabación, evitando sacudidas o movimientos no deseados que pudieran afectar la calidad del video. Esta estabilidad permitió una captura precisa y detallada del gesto técnico del atleta, lo que resulta fundamental para el análisis posterior en el software Kinovea.

#### 4.4.2 PROTOBOARD

Un protoboard, también conocido como placa de pruebas o breadboard, es una herramienta fundamental en electrónica y prototipado que permite crear y conectar circuitos electrónicos de manera provisional, sin la necesidad de soldar los componentes. Está compuesto por una matriz de orificios metálicos dispuestos en filas y columnas, que permiten insertar y conectar fácilmente los componentes electrónicos.

En el caso de la investigación, el Protoboard fue utilizado para realizar el montaje del Arduino Nano 33 BLE y del adaptador microSD. Primero, se insertaron los pines del Arduino en la matriz del protoboard, permitiendo su correcta conexión con otros componentes. Luego, el adaptador microSD fue ubicado en otro sector del protoboard, asegurando que los pines de conexión estuvieran correctamente alineados con los orificios del protoboard. Una vez montados el Arduino y el adaptador microSD en el protoboard, se procedió a establecer las conexiones eléctricas entre ambos.

#### 4.4.3 POWER BANK

Un power bank, también conocido como batería externa o cargador portátil, es un dispositivo portátil que almacena energía eléctrica en su interior para luego suministrarla a otros dispositivos electrónicos. Está diseñado para proporcionar una fuente de alimentación móvil y conveniente, lo que lo convierte en una solución práctica para cargar dispositivos como teléfonos móviles, tabletas, cámaras y otros dispositivos electrónicos.

En el contexto de la investigación, el power bank se utilizó para alimentar el Arduino Nano 33 BLE, la elección de utilizar un power bank como fuente de energía se basó en su capacidad para proporcionar una alimentación constante y estable al Arduino, lo que es fundamental para asegurar la precisión y la continuidad de los datos recopilados. Además, el hecho de que el power bank sea un dispositivo portátil facilitó la movilidad del sistema de recolección de datos, lo que permitió realizar las mediciones, adaptándose a las necesidades del estudio en el contexto de atletas en movimiento.

#### 4.4.4 LIGHTBLUE

LightBlue es una aplicación móvil diseñada para establecer una conexión inalámbrica entre dispositivos electrónicos mediante tecnología Bluetooth de baja energía (BLE). Esta aplicación permite una interacción eficiente y versátil entre smartphones y otros dispositivos compatibles con BLE, como microcontroladores, sensores y otros aparatos electrónicos.

LightBlue fue utilizada para conectar el smartphone al Arduino Nano 33 BLE. La aplicación facilitó una comunicación bidireccional entre ambos dispositivos, permitiendo al smartphone actuar como el dispositivo controlador y al Arduino como el dispositivo controlado. A través de esta conexión Bluetooth, el smartphone envió comandos y señales específicas al Arduino para iniciar y detener la recolección de datos biomecánicos durante la ejecución de la técnica del pase en futbolistas universitarios.

Gracias a la conexión estable y eficiente que LightBlue estableció entre el smartphone y el Arduino, se logró una sincronización efectiva para iniciar y detener la recolección de datos en el momento preciso durante la ejecución del gesto técnico del pase en los futbolistas universitarios. Esta comunicación fluida y fiable contribuyó al éxito del estudio, permitiendo obtener información biomecánica valiosa que sirvió como base para el análisis y la comprensión de la técnica del pase en el contexto deportivo.

### **4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA**

El presente estudio se enfocó en analizar la técnica del pase en un grupo específico de estudiantes universitarios que participan en un equipo llamado "Lobos Universitarios," vinculado a la Liga Nacional de FUTSAL de Honduras. Durante la investigación, se obtuvieron datos en tiempo real sobre la ejecución de la técnica del pase por parte de los atletas.

En total, se constituyó una población compuesta por 15 atletas universitarios, todos pertenecientes al género masculino, quienes otorgaron previamente su consentimiento para participar en el estudio. La recopilación de datos en ellos resultó fundamental para llevar a cabo un análisis exhaustivo de las distintas posturas adoptadas en aras de lograr una técnica de ejecución efectiva.

En cuanto a la muestra seleccionada para la investigación, esta se configuró mediante un enfoque probabilístico, empleando el método de muestreo aleatorio simple. Este criterio de selección se

justificó debido a que la población bajo estudio era de naturaleza finita. Para determinar el tamaño apropiado de la muestra, se aplicó la fórmula pertinente para el cálculo de la muestra en una población finita (Ecuación 9).

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{d^2(N - 1) + z^2 * p * q}$$

Ecuación 9 – Formula para calcular muestra de población finita.

Fuente: (Aguilar-Barojas, 2005)

Donde:

n: tamaño mínimo de la población objetivo.

N: tamaño de la población.

Z: nivel de confianza deseado.

p: proporción aproximada del fenómeno en estudio.

q: proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (1-p).

d: nivel de precisión absoluta.

Para determinar el tamaño de muestra necesario, se estableció un nivel de confianza del 95% y se asumió una probabilidad 'p' y 'q' del 50% cada una, junto con un margen de error 'd' del 5%. De esta manera, el resultado obtenido fue el tamaño de muestra requerido:

$$n = \frac{(15)(1.96)^2(50\%)(50\%)}{(5\%)^2(15 - 2) + (1.96)^2(50\%)(50\%)} = 15$$

Ecuación 10 - Calculo de muestra.

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

## 4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología de estudio empleada en esta investigación se estructuró en dos etapas distintas. En la primera fase, se llevó a cabo una revisión minuciosa de las variables de interés, y se diseñó y programó un código de Arduino que permitiera la captura de los datos relevantes. Luego, se procedió a la recolección de datos mediante ejercicios específicos definidos previamente.

#### 4.6.1 CÓDIGO DE ARDUINO

Se empleó una placa de Arduino Nano 33 BLE que incluye un sensor IMU. Se procedió a desarrollar un código que permitiera controlar el sensor de manera remota desde un dispositivo central. Desde dicho dispositivo central, se enviaba una señal para iniciar la lectura de los datos de aceleración lineal cuando el jugador iniciaba el pase, y posteriormente, otra señal para detener la recolección de datos.

El código fue diseñado con el propósito de que contara y acumulara las muestras obtenidas durante la ejecución del pase. Posteriormente, calculara la media aritmética de todos los datos recolectados en los ejes X, Y, y Z. Además, se determinará el valor de la magnitud de la aceleración. Asimismo, se realizará el cálculo del tiempo transcurrido por el atleta durante toda la ejecución de la técnica.

A partir de los datos obtenidos de la aceleración, se hizo el cálculo de la velocidad lineal experimentado por el jugador cuando realiza la técnica. Al igual que con la aceleración, la velocidad se determinó como la media aritmética de todos los datos recolectados por el sensor durante la ejecución del pase.

Todos estos datos recopilados, incluyendo la aceleración, la velocidad lineal y el tiempo de ejecución, se almacenaron cuidadosamente en una tarjeta SD. Esta elección del método de almacenamiento permitió la posterior extracción y análisis exhaustivo de los datos recolectados para cada atleta participante en el estudio.

Para facilitar la comprensión del funcionamiento del código, se elaboró un diagrama de secuencia lógica (Ilustración 8) que ilustra de manera clara y visual el flujo de acciones durante la captura de datos. El diagrama muestra cómo el dispositivo central envía señales para iniciar y detener la lectura de datos en sincronización con el inicio y finalización del ejercicio de pase. Luego, se realiza el procesamiento de los datos para calcular la aceleración promedio, la magnitud de la aceleración, el tiempo de ejecución y la velocidad lineal.

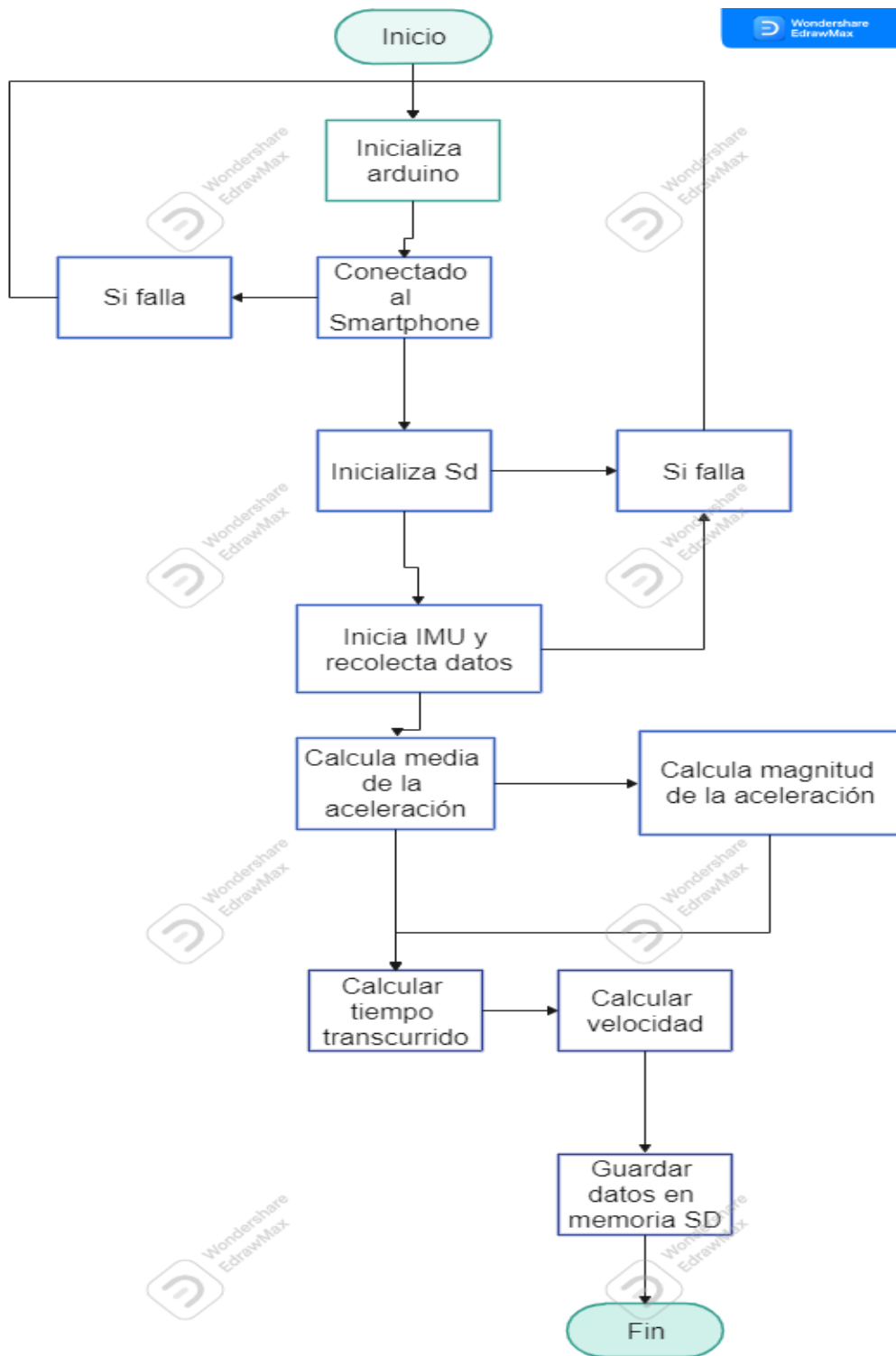


Ilustración 8 – Diagrama de flujo

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

#### 4.6.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se llevó a cabo mediante el uso del sensor IMU ubicado entre las escápulas del atleta, en la región de las vértebras torácicas 1 y 2. Este sensor nos proporcionó información vital, como la aceleración, el tiempo y la velocidad del movimiento. Además, se registró un video de la ejecución del atleta para posteriormente realizar un análisis más detallado mediante el software Kinovea, la cámara se situó a 1.5 metros de altura respecto al suelo, y a 2 metros de distancia del atleta enfocándolo en el plano sagital de ejecución, se colocó una segunda cámara para capturar el plano frontal de la ejecución del futbolista.

Con esta combinación de tecnologías, se obtiene una amplia gama de datos precisos y relevantes sobre la técnica del pase del atleta. El uso del sensor IMU brinda información sobre la aceleración y la velocidad en tiempo real, mientras que el análisis de video con Kinovea permitió una revisión minuciosa de la ejecución, lo que facilita una evaluación más completa y profunda del rendimiento del atleta.

Se llevó a cabo el estudio en una modalidad para ejecutar el pase la cual fue con el jugador en una postura estática el ejercicio se realizó en parejas, donde el ejecutor del pase porto el sensor, y el compañero fue el receptor ubicado a una distancia de 10 metros. Esta disposición permitió medir con precisión la efectividad del pase y evaluar la capacidad del jugador para enviar el balón con exactitud hacia su compañero.

La decisión de realizar esta modalidad de ejecución del pase permitió evaluar la efectividad y precisión del pase en diferentes contextos dentro del terreno de juego cuando se practica este deporte. Esto enriqueció nuestro entendimiento de los aspectos biomecánicos y técnicos involucrados en esta habilidad clave del fútbol. Se espera que los resultados obtenidos de este estudio contribuyan significativamente al desarrollo y perfeccionamiento de la técnica del pase, tanto en atletas universitarios como en jugadores de alto rendimiento. La información recopilada brindara un valioso apoyo para entrenadores y profesionales del deporte, permitiéndoles diseñar estrategias específicas para mejorar el desempeño y la precisión en el campo de juego.

## 4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la siguiente sección, se describen en detalle todas las actividades llevadas a cabo (ver Tabla 3) durante un lapso de 10 semanas para la ejecución del proyecto de investigación final.

Tabla 3- Cronograma de actividades

Actividades para el desarrollo del proyecto de investigación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
Selección de la muestra	■									
Revisión de literaturas		■	■							
Elaboración del código		■	■							
Autorización por parte de la institución			■	■						
Recolección de datos de atletas			■	■						
Análisis y selección de datos relevantes					■	■				
Análisis de los videos utilizando el software Kinovea					■	■				
Extracción de datos del sensor					■	■				
Análisis estadístico de los datos							■	■		
Búsqueda de patrones y relaciones							■	■		
Interpretación de resultados								■	■	
Finalización del proyecto										■

Fuente: (Elaboración Propia,2023).

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran las respuestas a las preguntas de investigación planteadas, con las que se evaluó la viabilidad del proyecto y se discutieron los hallazgos en relación con la literatura existente. En general, fue un capítulo clave que permitió analizar e interpretar los datos obtenidos a través de pruebas realizadas.

### 5.1 DATOS RECOPIADOS DURANTE LAS PRUEBAS

La recopilación de variables antropométricas se posiciona como pilar fundamental en el desarrollo de esta investigación, dada su esencial relevancia en el análisis exhaustivo del desempeño deportivo. En la ilustración 9, se observa cómo se obtuvo el peso del atleta haciendo el uso de una balanza, consolidando así la base indispensable de datos para el estudio, esta técnica se le aplicó a los 15 sujetos de estudio.



Ilustración 9 – Uso de balanza en atleta

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

La adquisición precisa del peso del atleta desempeñó un papel crucial al permitirnos introducir meticulosamente los datos en el analizador de bioimpedancia. De manera paralela, el procedimiento de medición de la talla, cuyo desarrollo se expone de manera visual en la ilustración 10, desempeñó un rol igualmente esencial. Ambas mediciones son esenciales para el cálculo preciso del Índice de Masa Corporal (IMC).



Ilustración 10 – Medición de la talla en atleta

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Partiendo de la aplicación de esta técnica de obtención de la estatura de los atletas, se establece una base de datos fundamental. En un segundo momento, se empleó un analizador de bioimpedancia para calcular tanto el Índice de Masa Corporal (IMC) como el porcentaje de grasa corporal (%GC). En la Figura 11, se presenta detalladamente el proceso de adquisición de datos en un atleta específico. Es necesario contar con información precisa, como la estatura y el peso del atleta, para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos. Además, se realiza una configuración específica en el analizador para ajustarse al perfil del atleta, lo que contribuye a garantizar mediciones de mayor precisión.



Ilustración 11 - Uso de analizador de bioimpedancia

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

La utilización de esta herramienta reviste una gran importancia al velar por las medidas antropométricas, fundamentales para asegurar un rendimiento óptimo de los atletas en el campo de juego. La Tabla 4 exhibe una exposición detallada de los valores numéricos obtenidos, los cuales corresponden a las variables antropométricas de los deportistas universitarios que integran el equipo de fútbol de los Lobos Universitarios.

Tabla 4 – Datos recopilados antropométricos

<b>Sujeto</b>	<b>Edad</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Talla (cm)</b>	<b>IMC</b>	<b>%GC</b>
<b>Sujeto 1</b>	22	64.4	169	23.2	13.7
<b>Sujeto 2</b>	24	62.2	170	21.5	13.4
<b>Sujeto 3</b>	23	58.6	175	19.3	12.25
<b>Sujeto 4</b>	21	59.2	168	21	13.8
<b>Sujeto 5</b>	20	66.7	173	22.3	12.7
<b>Sujeto 6</b>	24	64.1	171	22	11.3
<b>Sujeto 7</b>	22	68.8	162	26.2	14.2
<b>Sujeto 8</b>	17	48.1	162	18.4	10.2
<b>Sujeto 9</b>	22	54.2	162	21.2	14
<b>Sujeto 10</b>	22	67.1	169	23.5	10.9

<b>Sujeto</b>	<b>Edad</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Talla (cm)</b>	<b>IMC</b>	<b>%GC</b>
<b>Sujeto 11</b>	21	71	164	26.4	15.4
<b>Sujeto 12</b>	18	69	173	23.1	9.5
<b>Sujeto 13</b>	28	77.4	174	25.6	16.3
<b>Sujeto 14</b>	24	76.7	176	24.8	15.2
<b>Sujeto 15</b>	25	93.2	167	33.4	22.6

Fuente: (Elaboración Propia,2023).

Al analizar detenidamente los datos presentados en la Tabla 4, es evidente que la gran mayoría de los sujetos exhiben una condición física en un estado óptimo. No obstante, llama la atención el caso del sujeto número 15, el cual destaca por presentar un nivel notable de sobrepeso, una observación que encuentra respaldo en la Tabla 1. En esta última tabla, se asigna al sujeto en cuestión a la categoría de obesidad tipo I debido a su elevado índice de masa corporal y un porcentaje de grasa corporal que excede los límites considerados normales.

El uso del sensor IMU en el atleta fue por medio de un chaleco que no influía de manera directa en el desarrollo del gesto técnico del pase, se puede observar en la ilustración 12. Los deportistas compartieron de manera unánime su comodidad al llevar puesto el chaleco y el sensor, destacando que estos elementos no afectaron en absoluto la fluidez ni la naturalidad de sus movimientos. La totalidad de los 15 sujetos participantes en el estudio expresaron una satisfacción favorable con respecto al dispositivo utilizado, subrayando su efectividad y la ausencia de inconvenientes en su utilización.



Ilustración 12 - Uso del sensor IMU

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

La incorporación del sensor IMU en la investigación desempeñó un papel fundamental al proporcionar datos cruciales como la aceleración y velocidad del atleta. Situar el sensor en una posición que no interfiriera con los movimientos del atleta resultó de vital importancia. Asimismo, el software Kinovea surgió como un aliado esencial al posibilitar la adquisición y análisis de una diversidad de datos fundamentales, abarcando mediciones de ángulos articulares y distancias significativas. Esta herramienta se evidencia claramente en las ilustraciones subsiguientes, que ofrecen una representación visual concreta de los resultados obtenidos.

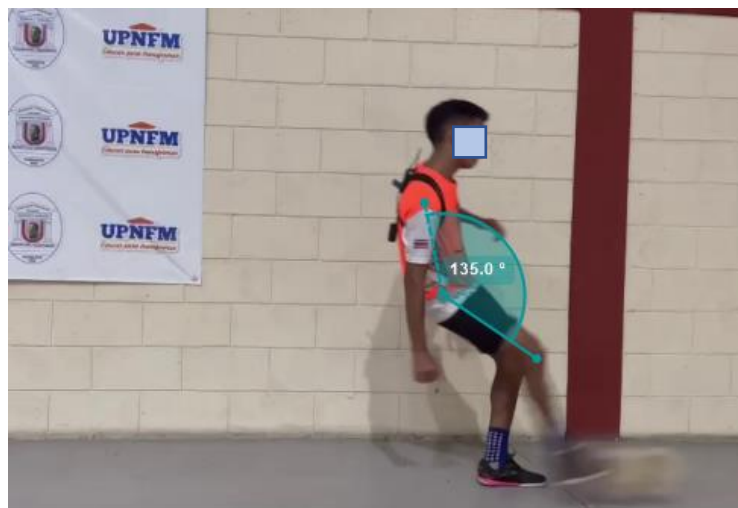


Ilustración 13 - Obtención de la inclinación del tronco

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

En la ilustración 13, se presenta una representación visual detallada del proceso de captura del ángulo del tronco en el instante crítico en que el futbolista realiza el golpeo al balón. Este conjunto de datos cobra una relevancia significativa al proporcionar pautas concretas sobre la posición óptima que el jugador debe adoptar para ejecutar pases más precisos y efectivos hacia sus compañeros en el campo de juego. La inclinación del tronco tiene un impacto directo en la visión del jugador y en su habilidad para colocar al compañero en una posición ventajosa.

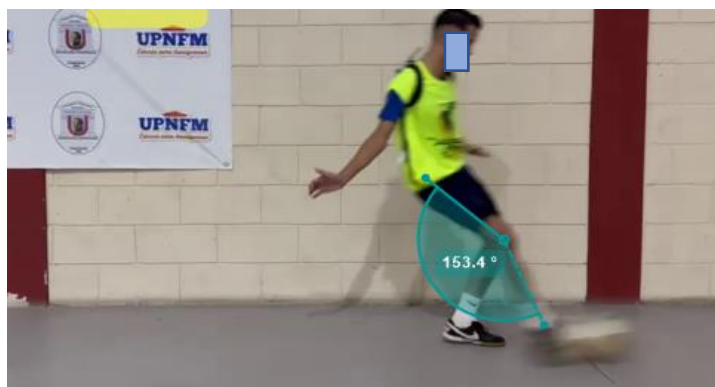


Ilustración 14 – Obtención del ángulo rodilla ejecutora

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Asimismo, Kinovea demostró ser una herramienta invaluable al calcular el ángulo de la rodilla del ejecutante en el momento de entrar en contacto con el balón. El programa realiza un seguimiento preciso de la trayectoria del segmento requerido, lo que resulta esencial para obtener información detallada al momento de su requerimiento. En la ilustración 14, se aprecia claramente cómo es posible obtener el ángulo específico en el instante del golpeo.



Ilustración 15 - Obtención del ángulo rodilla apoyo

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

De forma similar, la obtención del ángulo de la rodilla en el pie de apoyo no presentó mayores desafíos. Kinovea demostró ser altamente preciso en la obtención de ángulos al rastrear trayectorias, como se ilustra en la Figura 15. En dicha ilustración, se ejemplifica el ángulo de flexión de un jugador en el pie de apoyo al momento de impactar el balón. Este nivel de precisión es un recurso fundamental en el análisis de la técnica deportiva.

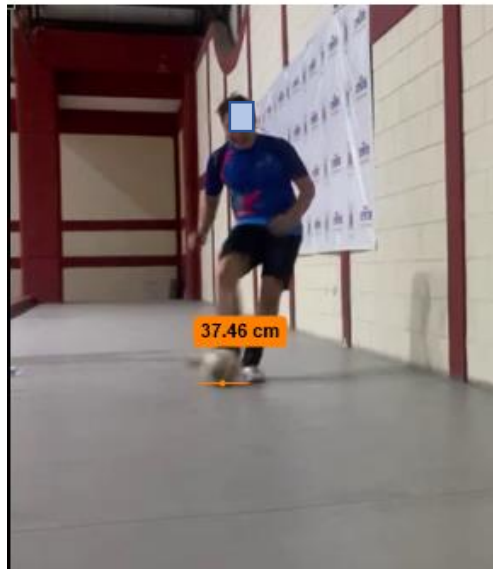


Ilustración 16 - Obtención de distancia entre pies

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Además, la grabación de video en el plano frontal resultó invaluable para medir la distancia entre el pie de apoyo y el pie ejecutante, tal como se muestra en la Ilustración 16. Kinovea demostró su precisión, siempre y cuando se realice la calibración adecuada. En este contexto, se emplea la altura del jugador para garantizar mediciones reales al momento de ser requeridas. Este enfoque meticuloso contribuye a la solidez de los resultados obtenidos.

En la tabla 5, se proporciona una exposición de los valores numéricos obtenidos de las variables biomecánicas capturadas por el IMU y el software Kinovea durante la ejecución del gesto técnico del pase de los deportistas universitarios pertenecientes al equipo de fútbol de los Lobos Universitarios. Estas mediciones abarcan diversas variables que son esenciales para comprender la ejecución y eficacia del movimiento.

Tabla 5 – Datos obtenidos de las variables biomecánicas

<b>Sujeto</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Aceleración (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Inclinación troncal (grados °)</b>	<b>Flexión Rodilla Ejecutante (grados °)</b>	<b>Flexión Rodilla Apoyo (grados °)</b>	<b>Distancia entre pies (cm)</b>	<b>Distancia Jugador Balón (cm)</b>
<b>Sujeto 1</b>	8.21	9.42	0.87	122	151	99	45.85	147
<b>Sujeto 2</b>	17.83	10.1	1.77	116	142	111	42.28	190.91
<b>Sujeto 3</b>	9.91	9.61	1.03	128	155	108	51.44	165.71
<b>Sujeto 4</b>	17.34	10.2	1.7	135	141	133	41.5	180.71
<b>Sujeto 5</b>	14.28	10.2	1.4	120	167	121	39.27	176
<b>Sujeto 6</b>	12.21	9.91	1.23	128	154	117	47.17	200
<b>Sujeto 7</b>	17.81	9.68	1.83	128	164	132	48.24	203.69
<b>Sujeto 8</b>	13.87	10.89	1.27	135	154	114	43.63	199.74
<b>Sujeto 9</b>	13.51	10.98	1.23	137	165	110	42.23	196.43
<b>Sujeto 10</b>	14.7	10	1.47	126	164	138	45.47	214
<b>Sujeto 11</b>	14.1	10.59	1.33	117	149	120	42.8	200
<b>Sujeto 12</b>	10.2	9.52	1.07	133	154	115	47.68	212
<b>Sujeto 13</b>	15.1	10.49	1.43	112	146	132	37.46	200
<b>Sujeto 14</b>	11.83	9.62	1.23	143	161	117	43.78	151.66
<b>Sujeto 15</b>	17.2	12.55	1.37	137	167	117	48.98	191.79

Fuente: (Elaboración Propia,2023).

A continuación, y haciendo uso de estos datos se da un ejemplo concreto que ejemplifica este análisis el cual se encuentra en la ilustración 17. En este gráfico de barras, se representan visualmente los ángulos característicos que emergen en el tronco, la flexión de la rodilla de apoyo y la flexión de la rodilla ejecutora, en el instante preciso en el que el pie ejecutor establece contacto con el balón. Esta representación gráfica brinda una perspicaz visualización de las variaciones angulares entre los sujetos de estudio. La figura captura de manera esencial las divergencias y similitudes en la ejecución biomecánica, aportando una dimensión gráfica a la evaluación de la técnica y el rendimiento de los futbolistas en el momento culminante del pase.

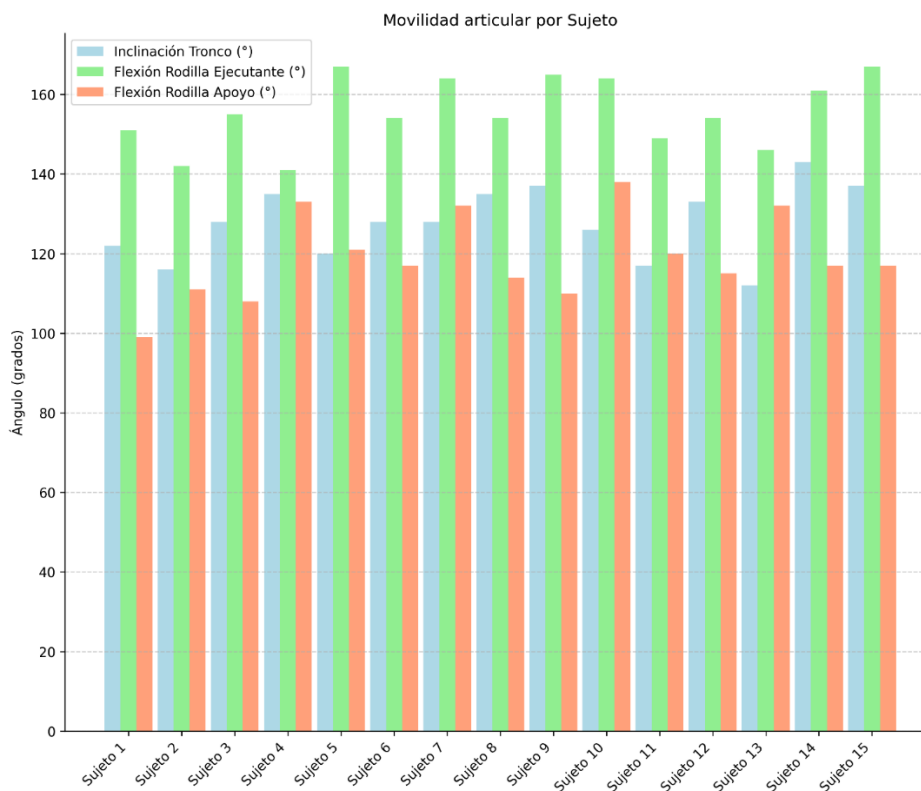


Ilustración 17 – Movilidad Articular por Sujeto

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

A partir de estos datos podemos hacer un análisis de cada sujeto en cuanto a la postura tomada a la hora de ejecutar el gesto técnico estudiado, cada sujeto presenta una diferente técnica, aunque algunos coinciden en algunos ángulos. El Sujeto 1 muestra una inclinación del tronco alta, lo que podría requerir ajustes en la postura para mejorar la visión del campo y la estabilidad durante el pase. Sus flexiones de rodilla están dentro de rangos normales, lo que podría indicar una técnica balanceada en términos de potencia y estabilidad.

Los sujetos 2, 3, 6, 10 y 11 exhiben una inclinación del tronco y flexiones de rodilla moderadas. Los ángulos indican una técnica equilibrada y una postura adecuada para el pase. Parece que han logrado una ejecución efectiva del pase, que podría estar respaldada por un equilibrio entre potencia y control. El Sujeto 4 presenta una inclinación del tronco notable, lo que podría influir en la estabilidad y la proyección del pase. Sus flexiones de rodilla varían en función de la ejecución y el apoyo, lo que podría requerir una evaluación más detallada para determinar su impacto en la técnica.

Los sujetos 5, 7, 12, 14 y 15 En este grupo, la inclinación del tronco es notable y las flexiones de rodilla son razonables. Estos ángulos parecen estar relacionados con una técnica enfocada en la

potencia del pase. Sin embargo, es importante mencionar que la inclinación pronunciada del tronco podría tener un impacto en la visión y la precisión del pase.

En el sujeto 8 La inclinación del tronco es alta, lo que podría afectar la visión y la estabilidad. Las flexiones de rodilla están dentro de rangos normales, lo que podría permitir un control adecuado del pase. El sujeto 9 también presenta una inclinación del tronco notable y flexiones de rodilla razonables. A diferencia de los otros sujetos con características similares, se señala que esta inclinación pone en compromiso su estabilidad, lo que podría afectar su capacidad para mantener una postura sólida durante el pase. En el Sujeto 13 la inclinación del tronco es baja, favoreciendo la visión. Las flexiones de rodilla están dentro de rangos normales, indicando una técnica que podría apuntar a un control preciso del pase.

Adicionalmente, se incorporan histogramas estadísticos que brindan una representación visual de la distribución de estas mismas variables. Estos histogramas proporcionan una comprensión más profunda al mostrar en qué rangos específicos se concentran los datos derivados de los ángulos articulares generados por los futbolistas durante la ejecución del pase. Estas representaciones gráficas enriquecen la interpretación y el análisis de los resultados.

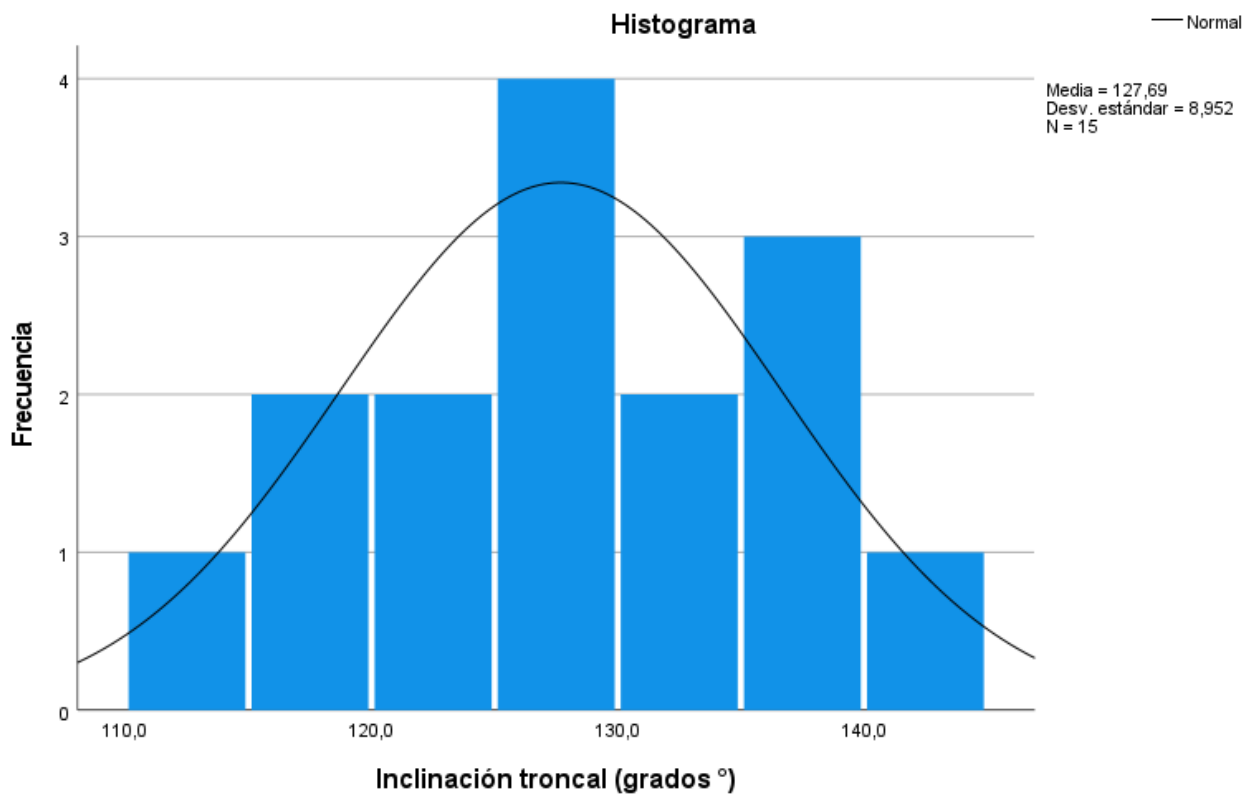


Ilustración 18 – Histograma estadístico de la inclinación del tronco

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

La Ilustración 18 presenta un histograma estadístico que visualiza de manera efectiva la distribución de la inclinación del tronco. Este gráfico muestra una curva que sugiere una distribución normal de los datos. Al analizar este histograma, se puede inferir que la mayoría de los sujetos estudiados tienen una inclinación del tronco que oscila entre los 110 y 140 grados, con una media de aproximadamente 127.7 grados. Este análisis proporciona una representación cuantitativa y detallada de las posturas observadas en los atletas durante la ejecución del pase.

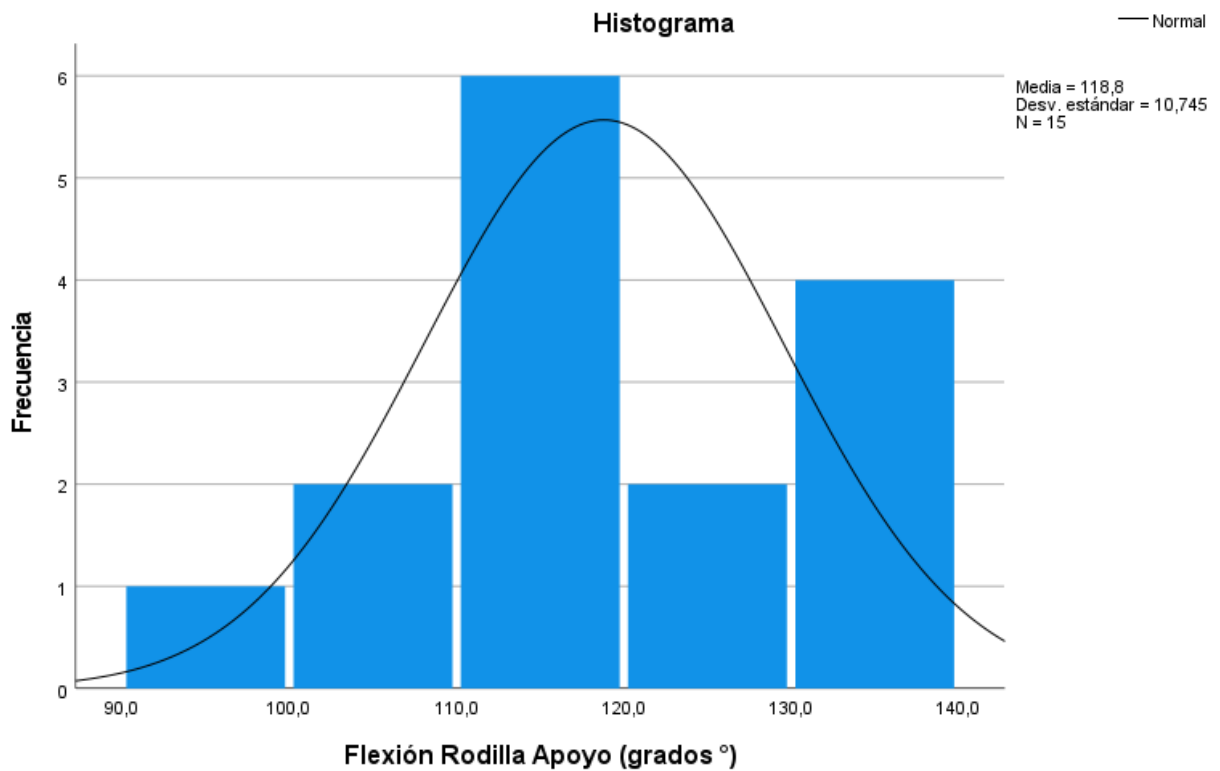


Ilustración 19 – Histograma estadístico de los ángulos de la rodilla de apoyo

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Además, el histograma estadístico de los ángulos de la rodilla de apoyo, como se aprecia en la Ilustración 19, muestra una distribución de datos notablemente uniforme, representando una curva equilibrada. Al examinar este histograma, se observa que los participantes presentan una variedad de flexiones en la rodilla de apoyo que se sitúa entre los 90 y 140 grados, con una media de aproximadamente 118.8 grados. Este análisis proporciona una visión detallada de las posturas relacionadas con la rodilla de apoyo durante la ejecución, destacando la consistencia en la flexión observada en los sujetos.

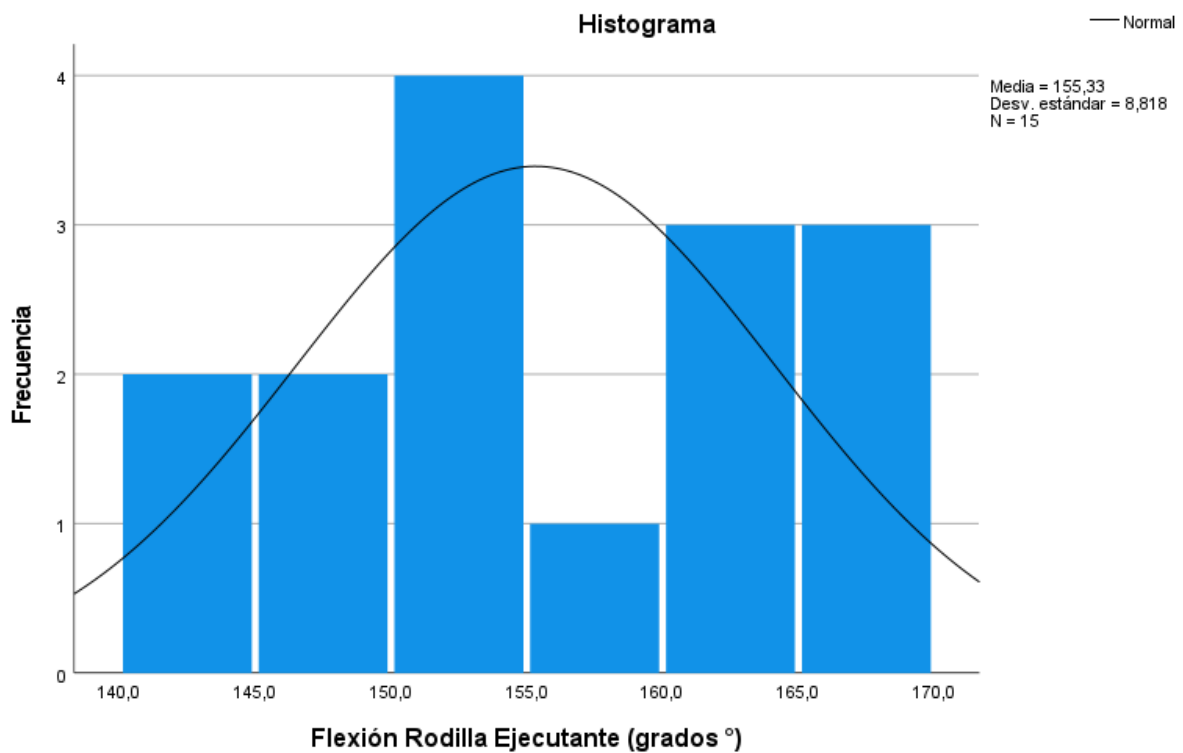


Ilustración 20 – Histograma estadístico de los ángulos rodilla ejecutora

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

De igual forma, el histograma estadístico que muestra los ángulos de la rodilla del ejecutante, tal como se presenta en la Ilustración 20, exhibe una distribución de datos en forma de campana, lo que refleja patrones recopilados de manera eficaz. Este análisis desvela que los participantes se encuentran mayormente en un rango de flexión que oscila entre los 140 y 170 grados, con una media estadística de aproximadamente 155.33 grados. Estas observaciones proporcionan una visión minuciosa de las variaciones en la flexión de la rodilla del ejecutante durante la ejecución del pase, destacando la consistencia en los ángulos observados en la muestra.

## 5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En esta sección se expone el análisis estadístico-descriptivo llevado a cabo utilizando los datos adquiridos en el estudio, cuyos resultados han sido objeto de interpretación, permitiendo una evaluación objetiva de la información recopilada. En esta perspectiva, se emplearon procedimientos estadísticos mediante la utilización del software de visualización de datos Excel, permitiendo así la exposición y análisis pormenorizado de los datos correspondientes a las variables intrínsecas al estudio concerniente a los futbolistas.

### 5.2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

A continuación, se presenta la estadística descriptiva de cada variable. Esta presentación no solo proporciona una instantánea de los valores de las variables de estudio, sino que también es fundamental para comprender media, error y la desviación estándar. Esta información es esencial para identificar patrones, tendencias inusuales o valores atípicos en los conjuntos de datos, lo que a su vez contribuye a una interpretación más sólida y fundamentada de los resultados de la investigación. Dentro de la Tabla 6, se encuentra plasmada una visión completa y minuciosa de la estadística descriptiva relacionada con las variables antropométricas bajo estudio en esta investigación.

Tabla 6 - Estadística descriptiva variables antropométricas

	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Talla (cm)</b>	<b>IMC</b>	<b>%GC</b>
<b>Media</b>	66.71333333	169	23.46	13.6966667
<b>Error estándar</b>	2.761519021	1.24211801	0.93328911	0.81106142
<b>Desviación estándar</b>	10.69531718	4.81070235	3.6146132	3.14122739
<b>Varianza muestral</b>	114.3898095	23.1428571	13.0654286	9.86730952

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

La interpretación detallada de los valores reflejados en esta tabla es esencial para una comprensión rigurosa de las características inherentes a las dimensiones antropométricas de la población sometida al estudio. Se obtuvieron datos como:

El peso promedio, situado en torno a 66.71 kg, la desviación estándar de 10.70 kg refleja la dispersión de los datos respecto a esta media, destacando la variabilidad en los pesos individuales. La varianza muestral de 114.39 evidencia el grado de dispersión de los pesos con relación a la media ponderada.

La estatura media, registrada es de 169 cm, la desviación estándar de 4.81 cm cuantifica la variabilidad de las alturas individuales en relación con esta media, mientras que la varianza muestral de 23.14 señala la extensión de esta variabilidad.

El Índice de Masa Corporal medio, cifrado en 23.46, es una medida crucial de la composición corporal. La desviación estándar de 3.61 subraya la dispersión de los índices individuales respecto a esta medida central, complementada por una varianza muestral de 13.07, que delinea la dispersión con mayor profundidad.

El promedio del porcentaje de grasa corporal, aproximado en 13.70%, posee un valor significativo en la evaluación de la composición corporal. La desviación estándar de 3.14 cuantifica la variabilidad

en los porcentajes individuales con respecto a esta media, mientras que la varianza muestral de 9.87 añade una dimensión adicional a la evaluación de esta variabilidad.

De igual forma, se procedió a llevar a cabo un análisis estadístico exhaustivo de las variables biomecánicas intrínsecamente asociadas a la ejecución del gesto técnico del pase en los deportistas. Los resultados de este análisis se encuentran sintetizados en la Tabla 7, permitiendo una evaluación detallada de los datos obtenidos.

Tabla 7 - Estadística descriptiva variables biomecánicas

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Varianza Muestral</b>
<b>Aceleración (m/s<sup>2</sup>)</b>	10.2507	0.2066	0.8002	0.6403
<b>Velocidad (m/s)</b>	13.8733	0.7715	2.988	8.9279
<b>Inclinación Tronco (grados °)</b>	127.7	2.3242	9.0016	81.0286
<b>Flexión Rodilla Ejecutante (grados °)</b>	155.33	2.2695	8.7896	77.2571
<b>Flexión Rodilla Apoyo (grados °)</b>	118.8	2.7765	10.7535	115.6381
<b>Distancia Jugador Balón (cm)</b>	188.6427	5.2786	20.4438	417.9492
<b>Distancia entre Pies (cm)</b>	44.5187	0.9817	3.8021	14.4559

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

La Tabla 7 despliega una extensa estadística descriptiva de las variables biomecánicas asociadas a la ejecución del gesto técnico del pase en los deportistas. En relación con la aceleración, se observa un promedio de 10.2507 m/s<sup>2</sup>, lo que indica un proceso controlado y uniforme de aceleración en el gesto. La baja desviación estándar 0.2066 resalta la consistencia en los valores entre los participantes. Adicionalmente, la varianza muestral 0.6403 confirma la homogeneidad en los niveles de aceleración.

En cuanto a la velocidad, se aprecia una media de 13.8733 m/s, lo que sugiere una ejecución fluida y dinámica en el pase. La desviación estándar 0.7715 sugiere una moderada variabilidad en los

valores de velocidad entre los deportistas. Esta observación se ve respaldada por una varianza muestral 8.9279 que refuerza la presencia de una variabilidad moderada en los niveles de velocidad.

En lo que concierne a la inclinación del tronco, se identifica una media de  $127.7^\circ$ , reflejando una posición significativa del cuerpo durante el gesto técnico del pase. La desviación estándar 2.3242 señala una dispersión moderada en las inclinaciones individuales. Por otro lado, la varianza muestral 81.0286 subraya la amplitud de la variabilidad presente en las inclinaciones del tronco.

La flexión de la rodilla ejecutante muestra un valor medio de  $155.33^\circ$ , indicando una postura característica durante la ejecución del gesto técnico. Esta flexión se acompaña de una desviación estándar 2.2695 que cuantifica la variabilidad en los ángulos individuales. Asimismo, la varianza muestral 77.2571 destaca la extensión de esta variabilidad angular.

En cuanto a la flexión de la rodilla de apoyo, se presenta un promedio de  $118.8^\circ$ , que señala la importancia de esta posición en el proceso de ejecución. La desviación estándar 2.7765 y la varianza muestral 115.6381 reflejan la variabilidad angular entre los participantes.

La distancia entre el jugador y el balón presenta un valor promedio de 188.6427 cm, lo que brinda perspicacia sobre la relación espacial durante la ejecución del gesto. La desviación estándar 5.2786 y la varianza muestral 417.9492 capturan la dispersión de esta distancia entre los deportistas. La distancia entre los pies a la hora del golpeo al balón arroja un promedio de 44.5187 cm, proporcionando información sobre la postura y el equilibrio en el momento de la ejecución.

## 5.2.2 PRUEBA DE NORMALIDAD Y CORRELACIÓN

En esta fase, se llevaron a cabo pruebas de normalidad en diversas variables con el fin de determinar si era apropiado emplear pruebas paramétricas o no paramétricas en el análisis. El nivel de significancia se estableció en 0.05, lo que indica un 95% de confianza en los resultados, y el margen de error se fijó en 0.05. Dado que el tamaño de la muestra constaba de 15 sujetos, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para llevar a cabo esta evaluación. Para evaluar la distribución de los datos, se plantearon las siguientes hipótesis, Si  $p\text{-valor} < 0.05$  se rechaza  $H_0$ , Si  $p\text{-valor} > 0.05$  se acepta  $H_0$  y rechaza  $H_1$ :

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos se distribuyen de manera normal.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 8 - Aplicación de Shapiro-Wilk

<b>Prueba de normalidad</b>			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
<b>IMC</b>	0.898	15	0.88
<b>Aceleración (m/s<sup>2</sup>)</b>	0.837	15	0.012
<b>Velocidad (m/s)</b>	0.945	15	0.452
<b>Inclinación troncal (grados °)</b>	0.963	15	0.752
<b>Flexión Rodilla Ejecutante (grados °)</b>	0.933	15	0.303
<b>Flexión Rodilla Apoyo (grados °)</b>	0.958	15	0.655

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Los resultados obtenidos a través de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y registrados en la tabla 8 revelan que, en la mayoría de las variables, el valor p es superior a 0.05. Sin embargo, en el caso de la variable de aceleración, se observa un valor p inferior a 0.05. En consecuencia, para los análisis de correlación relacionados con esta variable, se optará por utilizar el coeficiente de correlación Rho de Spearman, mientras que para las demás variables se aplicará el coeficiente de correlación de Pearson.

#### 5.2.2.1 *Correlación entre variables antropométrica y posturas biomecánicas*

En la Tabla 9, se presenta un análisis de correlación de Pearson entre la variable IMC y la inclinación del tronco. En este contexto, se plantearon dos hipótesis: H0, que establece que no existe una correlación significativa entre las variables IMC e Inclinación troncal, y H1, que sugiere que hay una correlación significativa entre ambas variables. El estadístico de prueba se empleó de la siguiente manera: si el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H0), y si el valor p es mayor o igual a 0.05, se acepta H0 y se rechaza H1.

Tabla 9 - Correlación de Pearson entre IMC e Inclinación troncal

		Inclinación troncal (grados °)
IMC	Correlación de Pearson	0
	Sig. (bilateral)	0.999
	N	15

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Los resultados arrojados son los siguientes: para la variable IMC, el valor p es de 0.999, mientras que, para la Inclinación troncal, el valor p también es de 0.999. Dado que ambos valores p son mayores que 0.05, se procede a aceptar la hipótesis nula (H0) y a rechazar la hipótesis alternativa (H1), lo que conduce a la conclusión de que no existe una correlación significativa entre las dos variables. Esto se puede observar en la ilustración 21.

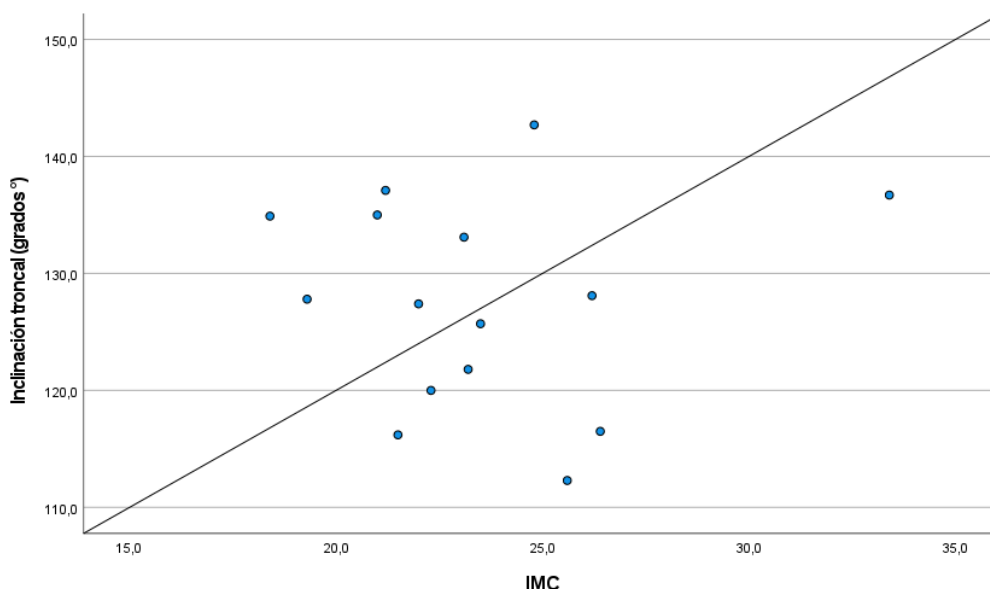


Ilustración 21 - Grafico de dispersión entre IMC e inclinación troncal

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Luego, se procedió al análisis estadístico mediante la correlación de Pearson entre la variable IMC y la flexión rodilla ejecutante. En este caso, igual se formularon dos hipótesis: H0, que sostiene que no existe una correlación entre las variables IMC y flexión rodilla ejecutante; y H1, que plantea la existencia de una correlación entre ambas variables. El criterio de prueba se estableció de la siguiente manera: si el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H0); si el valor p es igual o mayor que 0.05, se acepta H0 y se rechaza H1.

Tabla 10 - Correlación de Pearson entre IMC y Flexión de rodilla ejecutante

		<b>Flexión Rodilla Ejecutante (grados °)</b>
<b>IMC</b>	Correlación de Pearson	0.343
	Sig. (bilateral)	0.21
	N	15

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Los resultados presentados en la Tabla 10 indican lo siguiente: para la variable IMC, el valor del p-valor es 0.210, y para la variable flexión rodilla ejecutante, también es 0.210. Dado que en ambos casos el valor p es mayor que 0.05, se procede a aceptar la hipótesis nula (H0) y a rechazar la hipótesis alternativa (H1), concluyendo que no existe una correlación significativa entre ambas variables. Estos resultados se muestran en la ilustración 22.

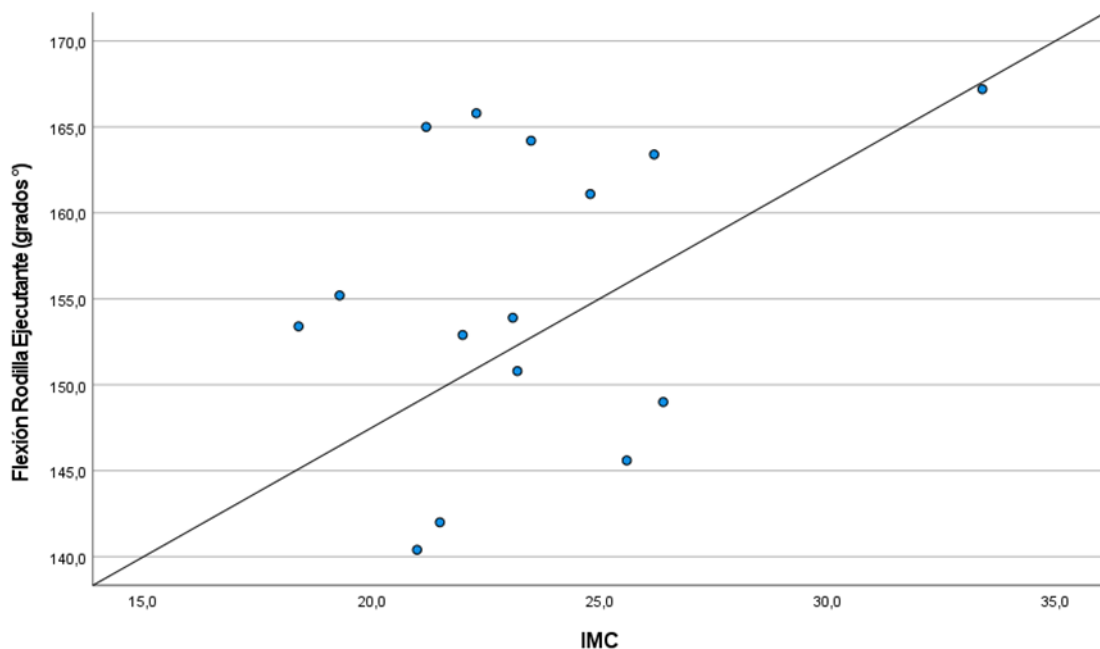


Ilustración 22 - Grafico de dispersión entre IMC y Flexión de rodilla ejecutante

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Posteriormente, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre el IMC y la flexión de la rodilla de apoyo, de igual forma se usan las hipótesis: H0, que establece que no existe correlación entre las variables IMC y Flexión Rodilla Apoyo, y H1, que plantea la existencia de una correlación entre estas variables. De la misma manera el valor estadístico de prueba se aplicó de la siguiente manera: si el valor del p-valor es menor que 0.05, se rechaza H0; si el valor del p-valor es mayor o

igual a 0.05, se acepta H0 y se rechaza H1. Los resultados de este análisis se presentan en detalle en la Tabla 11.

Tabla 11- Correlación de Pearson entre IMC y Flexión de rodilla apoyo

		<b>Flexión Rodilla Apoyo (grados °)</b>
<b>IMC</b>	Correlación de Pearson	0.241
	Sig. (bilateral)	0.388
	N	15

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Los resultados estadísticos indican lo siguiente: para la variable IMC, y para la variable Flexión Rodilla Apoyo, el p-valor es igual a 0.388. Dado que en ambos casos el p-valor es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H1), concluyendo que no existe una correlación significativa entre estas dos variables. Estos hallazgos se respaldan visualmente en la Ilustración 23.

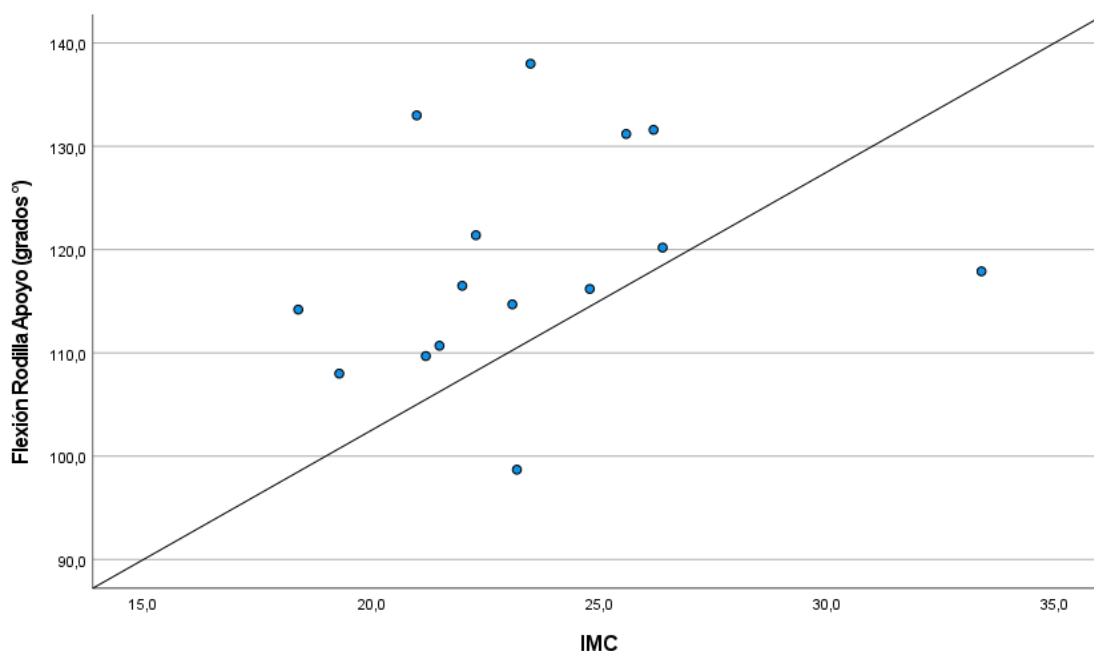


Ilustración 23 - Grafico de dispersión entre IMC y Flexión de la rodilla de apoyo

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

### 5.2.2.2 Correlación entre aceleración y posturas biomecánicas

A continuación, se llevará a cabo un análisis estadístico utilizando la correlación de Spearman, como se estableció previamente tras la prueba de normalidad, para evaluar la relación entre la variable

de aceleración y las posturas biomecánicas. Comenzaremos examinando la correlación entre la aceleración y la inclinación del tronco durante la ejecución del gesto técnico. Se plantearon las siguientes hipótesis: H0: No existe correlación entre las variables Aceleración e Inclinación Troncal H1: Existe correlación entre las variables Aceleración e Inclinación Troncal. El criterio para el análisis será el siguiente: Si el p-valor es menor a 0.05, se rechazará la hipótesis nula (H0); si el p-valor es mayor o igual a 0.05, se aceptará H0 y se rechazará H1.

Tabla 12 - Correlación de Spearman entre aceleración e Inclinación troncal

		<b>Inclinación troncal (grados °)</b>	
<b>Rho de Spearman</b>	<b>Aceleración (m/s<sup>2</sup>)</b>	Coefficiente de correlación	0.97
		Sig. (bilateral)	0.732
		N	15

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

En la Tabla 12 se presentan los resultados estadísticos de la correlación entre estas variables. Los resultados arrojan que la aceleración y la inclinación troncal tienen un p-valor de 0.732. Dado que ambos p-valores son mayores que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H1), lo que indica que no existe una correlación significativa entre estas dos variables. Estos hallazgos se respaldan con más detalle en la Ilustración 24.

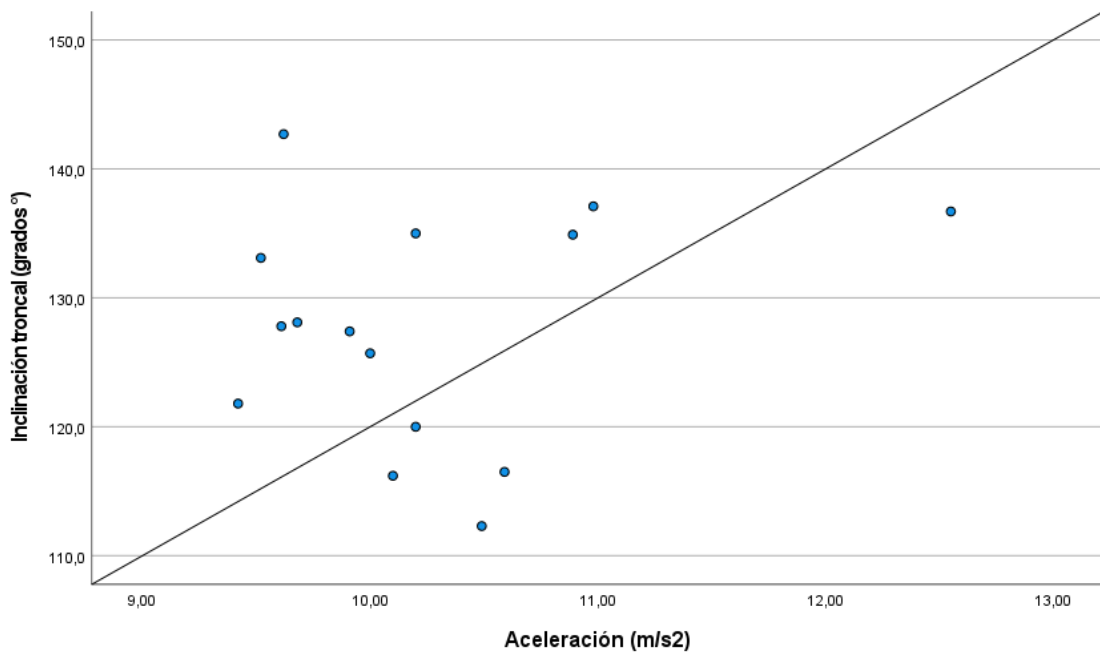


Ilustración 24 - Grafico de dispersión entre aceleración e inclinación troncal

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Luego, se llevó a cabo el análisis estadístico de las variables de aceleración y flexión de la rodilla ejecutante. De igual manera se plantearon las dos hipótesis siguientes: H0: No existe correlación entre las variables aceleración y flexión rodilla ejecutante, H1: Existe correlación entre las variables aceleración y flexión rodilla ejecutante, donde se rechaza H0 si el p-valor < 0.05, y se acepta H0 y se rechaza H1 si el p-valor >= 0.05.

Tabla 13 - Correlación de Spearman entre aceleración y flexión de rodilla ejecutante

Rho de Spearman	Aceleración (m/s <sup>2</sup> )	Flexión Rodilla Ejecutante (grados °)	
		Coeficiente de correlación	0.145
	Sig. (bilateral)	0.607	
	N	15	

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

En la tabla 13, se presentan los resultados del análisis aplicado, los cuales arrojaron los siguientes resultados: aceleración y flexión rodilla ejecutante tienen un p-valor de 0.607. Dado que  $p > 0.05$  en ambos casos, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H1), lo que indica que no existe una correlación significativa entre las dos variables. Estos hallazgos se respaldan visualmente mediante la gráfica que se muestra en la ilustración 25.

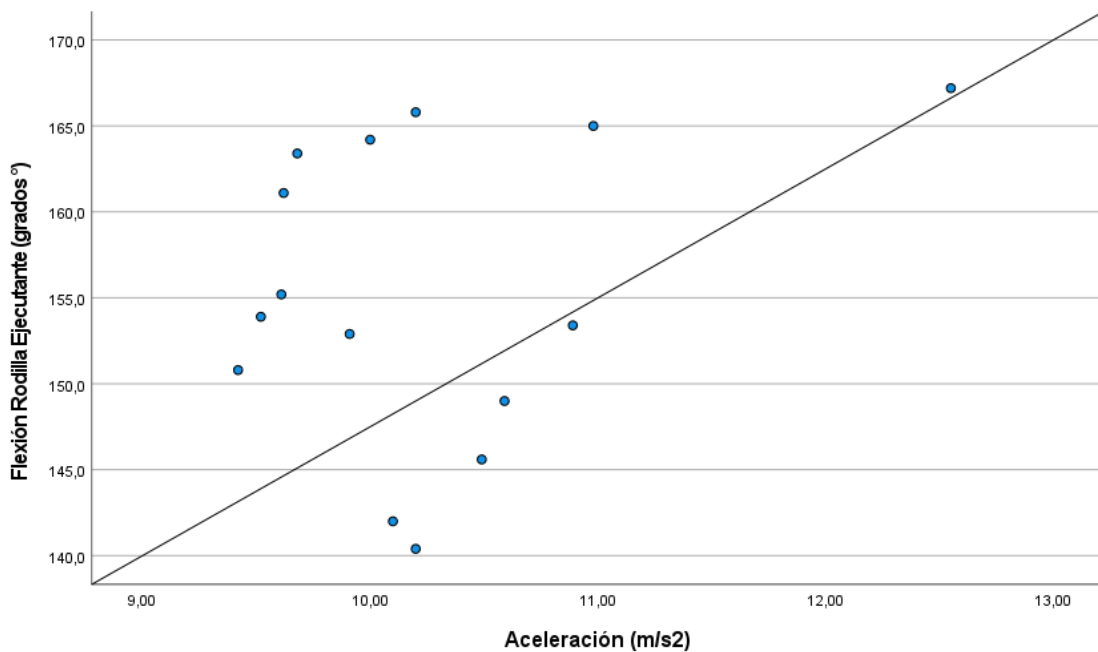


Ilustración 25 - Grafico de dispersión entre aceleración y flexión de rodilla ejecutante

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

De manera similar, se realizó un análisis estadístico para evaluar la correlación entre las variables de aceleración y flexión rodilla apoyo. Siguiendo la misma metodología, se formularon las siguientes hipótesis; H0: No existe correlación entre las variables aceleración y flexión rodilla apoyo, H1: Existe correlación entre las variables aceleración y flexión rodilla apoyo. El estadístico de prueba se estableció de la siguiente manera: Si el p-valor < 0.05, se rechaza H0; Si el p-valor >= 0.05, se acepta H0 y se rechaza H1.

Tabla 14 - Correlación de Spearman entre aceleración y flexión de rodilla de apoyo

<b>Rho de Spearman</b>		<b>Flexión Rodilla Apoyo (grados °)</b>	
		<b>Aceleración (m/s<sup>2</sup>)</b>	
		Coeficiente de correlación	0.245
		Sig. (bilateral)	0.379
		N	15

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

En la Tabla 14, se presentan los resultados obtenidos tras el análisis estadístico de las variables de aceleración y flexión de rodilla de apoyo. En ambos casos, los valores de p-valor fueron calculados en 0.379. Dado que estos valores son mayores que 0.05, de acuerdo con los criterios establecidos, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H1). Esto conduce a la conclusión

de que no existe una correlación significativa entre las dos variables en estudio. Estos hallazgos se respaldan de manera visual en el gráfico que se muestra detalladamente en la Ilustración 26.

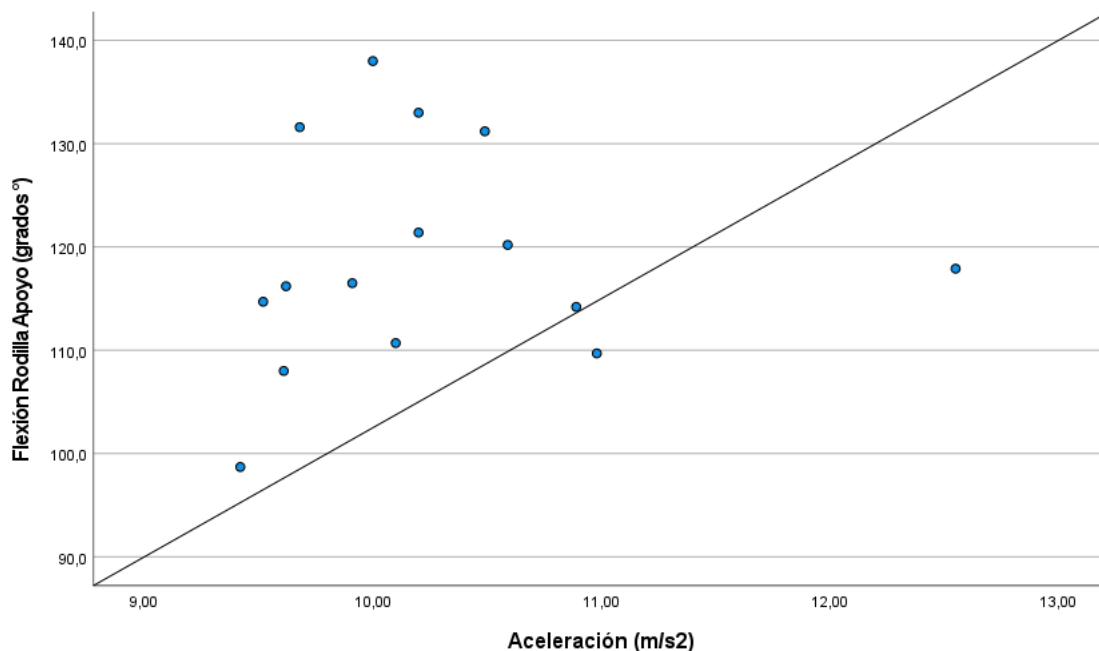


Ilustración 26 - Grafico de dispersión entre aceleración y flexión de rodilla de apoyo

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

### 5.2.2.3 Correlación entre velocidad y posturas biomecánicas

En esta sección, aplicamos un análisis de correlación de Pearson para evaluar la posible relación entre la velocidad y las posturas biomecánicas. Se comenzó con la velocidad e inclinación del tronco, planteando dos hipótesis: H0 (no existe correlación) y H1 (existe una correlación entre las variables). Usamos un nivel de significancia de 0.05, entonces si el p-valor es <0.05, rechazamos H0, indicando correlación. Por el contrario, si es  $\geq 0.05$ , aceptamos H0, concluyendo que no hay correlación. Esto informa sobre la relación entre velocidad e inclinación troncal, ayudando a entender la biomecánica del movimiento deportivo.

Tabla 15 - Correlación de Pearson entre velocidad e Inclinación troncal

		<b>Inclinación troncal (grados °)</b>
<b>Velocidad (m/s)</b>	Correlación de Pearson	-0.94
	Sig. (bilateral)	0.738
	N	15

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

En la Tabla 15, se muestran los resultados de este análisis. Los valores son los siguientes: Velocidad e Inclinación troncal con un p-valor de 0.738. Dado que ambos p-valores son mayores que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H1), lo que indica que no existe una correlación significativa entre estas dos variables.

De igual forma se evaluó la posible correlación entre la velocidad y la flexión de la rodilla ejecutante. Se establecieron dos hipótesis de correlación: H0, que sostiene que no hay una correlación entre estas variables, y H1, que sugiere que existe una correlación entre ellas. El estadístico de prueba se basa en un nivel de significancia de 0.05. Si el valor de p-valor es menor que este valor, se rechaza la hipótesis nula (H0), lo que indicaría una correlación significativa entre velocidad y flexión de la rodilla ejecutante. Si el p-valor es igual o mayor a 0.05, se acepta H0 y se rechaza H1, concluyendo que no existe una correlación significativa.

Tabla 16 - Correlación de Pearson entre velocidad y flexión de la rodilla ejecutante

		<b>Flexión Rodilla Ejecutante (grados °)</b>
<b>Velocidad (m/s)</b>	Correlación de Pearson	-0.4
	Sig. (bilateral)	0.887
	N	15

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 16. Los valores obtenidos para Velocidad y Flexión Rodilla Ejecutante arrojaron p-valores de 0.887 en ambos casos. Dado que  $p > 0.05$  en ambas variables, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H1), concluyendo que no existe una correlación significativa entre estas dos variables.

Se aplicó un análisis similar para determinar la correlación entre la velocidad y la flexión en la rodilla de apoyo durante la ejecución de un pase. En este caso, se plantearon las hipótesis de correlación de la siguiente manera: H0 estableció que no existe correlación entre las variables Velocidad y Flexión Rodilla Apoyo, mientras que H1 sugirió que existe correlación entre estas variables. El estadístico de prueba se basó en un nivel de significancia de 0.05. Si el valor de p-valor era menor que 0.05, se rechazaba la hipótesis nula (H0), indicando así una correlación significativa entre la velocidad y la flexión de la rodilla de apoyo. Si el p-valor era igual o mayor a 0.05, se aceptaba H0 y se rechazaba H1, concluyendo que no existía una correlación significativa.

Tabla 17 - Correlación de Pearson entre velocidad y flexión de la rodilla de apoyo

	<b>Flexión Rodilla Apoyo (grados °)</b>	
<b>Velocidad (m/s)</b>	Correlación de Pearson	0.626
	Sig. (bilateral)	0.013
	N	15

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

En la Tabla 17 se presentan los resultados de este análisis. Los valores de p-valor para Velocidad y Flexión Rodilla Apoyo son ambos iguales a 0.013, lo que indica que  $p < 0.05$ . Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), concluyendo que existe una correlación significativa entre las dos variables. Además, el grado de intensidad en ambas variables es de 0.626, lo que se interpreta como una correlación positiva fuerte. Estos datos se pueden observar en el gráfico de la ilustración 27.

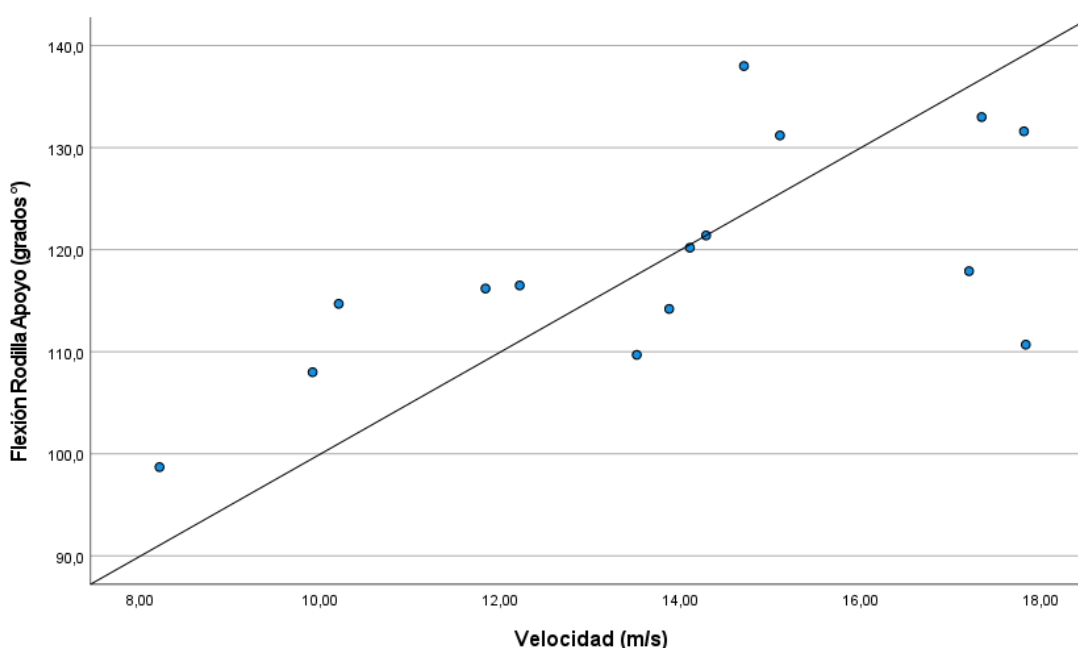


Ilustración 27 - Gráfico de dispersión entre velocidad y flexión de la rodilla de apoyo

Fuente: (Elaboración propia, 2023).

### 5.3 DISCUSIÓN

En este análisis, se evaluaron las relaciones entre diversas variables antropométricas y biomecánicas utilizando pruebas estadísticas apropiadas. Se aplicaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar la distribución de los datos y, en función de los resultados, se eligieron

las pruebas de correlación adecuadas: la correlación de Pearson para las variables que seguían una distribución normal y la correlación de Spearman para las que no la seguían.

En cuanto a la correlación entre el Índice de Masa Corporal (IMC) y las posturas biomecánicas, los resultados mostraron que no existía una correlación significativa entre el IMC y la inclinación del tronco, la flexión de la rodilla ejecutante y la flexión de la rodilla de apoyo. Esto implica que, en esta muestra específica de 15 sujetos, el IMC no influyó significativamente en estas posturas biomecánicas.

En relación con la correlación entre la aceleración y las posturas biomecánicas, se encontró que no había una correlación significativa entre la aceleración y la inclinación del tronco, la flexión de la rodilla ejecutante y la flexión de la rodilla de apoyo. Esto sugiere que la aceleración no estaba directamente relacionada con estas posturas biomecánicas en la muestra estudiada.

Finalmente, en lo que respecta a la correlación entre la velocidad y las posturas biomecánicas, se encontró un índice de correlación negativa fuerte entre la velocidad y la inclinación del tronco, lo que indica que a medida que la velocidad aumenta, la inclinación del tronco tiende a disminuir. Así mismo, no se encontró una correlación significativa entre la velocidad y la flexión de la rodilla ejecutante, pero de gran manera, se encontró una correlación positiva y estadísticamente significativa entre la velocidad y la flexión de la rodilla de apoyo, lo que implica que, a mayor velocidad, la flexión de la rodilla de apoyo tiende a aumentar.

Este análisis proporciona información valiosa sobre las relaciones entre las variables antropométricas y biomecánicas en el contexto de la actividad física estudiada. Los resultados sugieren que el IMC y la aceleración no influyeron significativamente en las posturas biomecánicas, mientras que la velocidad mostró una correlación significativa, con la flexión de la rodilla de apoyo. Estos hallazgos pueden ser útiles para comprender mejor los factores que afectan las posturas biomecánicas y su incidencia en el rendimiento deportivo de los atletas durante etapas competitivas, como también identificar errores posturales, que servirán al entrenador para hacer las correcciones necesarias para un óptimo rendimiento.

En un estudio similar, realizado por Hualpa Loza et al. (2022) se exploraron los ángulos articulares generados por jóvenes futbolistas que forman parte de un equipo formativo, también conocido como reservas especiales. Sus resultados arrojaron un promedio de 111.2 grados para la flexión de la rodilla ejecutora y 139.4 grados para la flexión de la rodilla de apoyo. Comparando estos hallazgos con los obtenidos en nuestro análisis, donde registramos un promedio de 155.3 grados para la rodilla

ejecutante y 118.8 grados para la rodilla de apoyo, surge una notoria diferencia que podría ser influenciada, en parte, por la naturaleza distintiva de los deportes practicados. Es fundamental destacar que estos jóvenes futbolistas se dedican al fútbol 11, lo que implica una serie de demandas biomecánicas diferentes en comparación con el futsal.

Asimismo, en el estudio de Hualpa Loza et al., se reportaron promedios de aceleración y velocidad notables. Obtuvieron una aceleración media de  $36,589 \text{ m/s}^2$  y una velocidad media de  $4,1665 \text{ m/s}$ . En contraste, en nuestro estudio, los resultados mostraron una aceleración promedio de  $10.2507 \text{ m/s}^2$  y una velocidad de  $13.87 \text{ m/s}$ . Estas discrepancias son significativas y podrían deberse a las diferencias fundamentales en los contextos deportivos.

Una de las principales limitaciones de esta investigación radica en la escasa disponibilidad de información detallada sobre las diferencias biomecánicas específicas entre deportes, como el futsal y el fútbol 11. Esta limitante dificultó la contextualización precisa de nuestros hallazgos en relación con investigaciones previas. Para futuros estudios, es esencial abordar esta carencia de literatura, explorando más a fondo las diferencias en las demandas biomecánicas y de rendimiento entre estos deportes. Esto permitiría una comprensión más sólida de cómo las particularidades de cada disciplina influyen en los atletas y en sus resultados.

De igual manera, para la presente investigación, se recomienda a futuro establecer mayores indicadores de análisis de correlación, como por ejemplo ver como la velocidad y aceleración de relacionan con las variables antropométricas del atleta. De igual forma los resultados podrían verse influenciados por la heterogeneidad en las características de los sujetos, como la experiencia en el fútbol y la técnica individual. Para futuras investigaciones sería beneficioso analizar grupos de sujetos más homogéneos, como ser estudio por posiciones de juego.

## VI. CONCLUSIONES

- En el marco de esta investigación sobre la relación entre las demandas posturales y biomecánicas en el fundamento del pase en futbolistas universitarios y su impacto en la eficacia y rendimiento del gesto técnico, se logró obtener resultados significativos que contribuyen a una comprensión más profunda de este tema. A través de un riguroso análisis, se ha arrojado luz sobre varios aspectos clave relacionados con el pase en el fútbol y cómo factores antropométricos, ángulos de flexión y velocidad pueden influir en su ejecución.
- Los datos antropométricos de los futbolistas, como el Índice de Masa Corporal (IMC), no mostraron una correlación significativa con la inclinación del tronco, la flexión de la rodilla ejecutante ni la flexión de la rodilla de apoyo durante la ejecución del pase. Esto sugiere que, en esta muestra de futbolistas universitarios, el IMC no tuvo un impacto directo en las posturas biomecánicas relevantes para el pase.
- Se determinaron los ángulos de flexión requeridos en las diferentes fases de posicionamiento como la flexión de rodilla ejecutante y flexión de rodilla de apoyo en el gesto técnico del pase. Estos valores proporcionan una referencia importante para los entrenadores y deportistas, ya que indican los rangos óptimos de movimiento para lograr una ejecución efectiva del pase.
- No se encontraron correlaciones significativas entre las demandas posturales y biomecánicas en el pase y la aceleración de los futbolistas durante la ejecución del gesto técnico. Esto indica que las posturas no están directamente relacionadas con la capacidad de aceleración de los futbolistas en esta población.
- Se identificó una correlación significativa entre la velocidad de los futbolistas y la flexión de la rodilla de apoyo durante la ejecución del pase. A medida que la velocidad aumenta, la flexión de la rodilla de apoyo tiende a aumentar. Esta relación puede ser relevante para optimizar la velocidad en la ejecución del pase y podría ser objeto de consideración en el entrenamiento.
- El uso del software Kinovea permitió obtener datos biomecánicos relevantes como los ángulos de flexión a partir de la revisión de videos de futbolistas ejecutando el pase con borde interno. Esto brindó una herramienta valiosa para la evaluación detallada de la técnica de pase y el análisis de las variables biomecánicas involucradas en el gesto técnico.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se sugiere llevar a cabo estudios adicionales para explorar nuevas relaciones potenciales y su impacto en la ejecución. Un área de interés podría ser investigar cómo las variables antropométricas influyen en la velocidad y aceleración del atleta durante la ejecución del gesto técnico. Estos análisis más profundos podrían proporcionar información valiosa para comprender mejor los factores subyacentes que afectan el rendimiento en el deporte y, en particular, en la técnica de pase en futbolistas universitarios.
- En futuras investigaciones, se sugiere explorar la ejecución de diferentes tipos de pases, como pases largos, cortos o penales, con el fin de examinar cómo los datos varían en comparación con los resultados obtenidos en este estudio. Esto ampliará la comprensión de las demandas posturales y biomecánicas en una gama más completa de situaciones de juego y podría proporcionar información adicional sobre la técnica y el rendimiento en el fútbol universitario.
- Dado que este estudio se llevó a cabo en una etapa competitiva, sería valioso considerar la posibilidad de realizar un análisis similar en una etapa precompetitiva en investigaciones futuras. Esto permitiría comparar y contrastar los resultados obtenidos en ambas etapas y determinar si existen diferencias significativas en las demandas posturales y biomecánicas durante la ejecución del pase. Este enfoque podría proporcionar una visión más completa de cómo evolucionan estos aspectos a lo largo de la temporada y ayudaría a los entrenadores a adaptar sus estrategias de entrenamiento en consecuencia.
- Se recomienda el uso de marcadores en el cuerpo del atleta al utilizar Kinovea. Esta práctica mejorará la precisión y confiabilidad de las mediciones obtenidas durante el análisis biomecánico. La aplicación de marcadores facilitará un seguimiento más preciso de los movimientos y permitirá una evaluación detallada de la técnica del atleta, lo que a su vez contribuirá a una investigación más rigurosa y resultados más confiables.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar-Barojas, S. (s. f.). *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud*.
2. Arenas, F. C. (2020). *Física universitaria*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas.  
<https://elibro.net/es/ereader/unitechn/174517>
3. Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). The Concurrent Validity and Reliability of a Low-Cost, High-Speed Camera-Based Method for Measuring the Flight Time of Vertical Jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 528. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318299a52e>
4. Bicet Zaldívar, A. (2019). *Estudio biocinemático con el golpeo al balón con el empeine total en el fútbol* [BachelorThesis, Facultad de Cultura Física y Deportes].  
<http://repositorio.uho.edu.cu/xmlui/handle/uho/6014>
5. *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento*. (2009). Funámbulos Editores.
6. Cáceres, F. J. G. (2010). *Iniciación táctica al Fútbol Sala*. Wanceulen S.L.
7. Camacaro, M., Colina, A., & Zissu, M. (2021). Análisis de las variables cinemáticas en la técnica del pateo en el fútbol a partir de criterios de eficiencia biomecánicos. *SPORT TK-Revista EuroAmericana de Ciencias del Deporte*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.6018/sportk.429211>
8. Campos Granell, J., Gutiérrez Dávila, M., & Campos Coll, J. M. (2021). Evolución de la Biomecánica Deportiva a partir de las tesis doctorales realizadas en España entre los años 1980 y 2019. *Biomecánica*, 28(1). <https://doi.org/10.5821/sibb.28.1.10519>
9. Cikalacandir, S., Ozkan, S., & Isler, Y. (2022). A Comparison of the Performances of Video-Based and IMU Sensor-Based Motion Capture Systems on Joint Angles. *2022 Innovations in*

10. Gómez Echeverry, L. L., Jaramillo Henao, A. M., Ruiz Molina, M. A., Velásquez Restrepo, S. M., Páramo Velásquez, C. A., & Silva Bolívar, G. J. (2018). Sistemas de captura y análisis de movimiento cinemático humano: Una revisión sistemática. *Prospectiva*, 16(2 (julio-diciembre)), 24-34.
11. Gonzalez, M., Arrayales, E., & Villa-Angulo, C. (2019). *Biomecánica en la actividad física y deporte: Concepto y aplicación Biomecánica en la actividad física y deporte: concepto y aplicación*. 94, 9-15.
12. Hamill, J., Knutzen, K. M., & Derrick, T. R. (2017). *Biomecánica: Bases del movimiento humano (4a. ed.)*. Wolters Kluwer Health. <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/125887?page=294>
13. Hualpa Loza, D. A., Sarabino Cuichan, R. A., Cerón Ramírez, J. C., Hualpa Loza, D. A., Sarabino Cuichan, R. A., & Cerón Ramírez, J. C. (2022). Biomecánica del pase con borde interno entre futbolistas prejuveniles y juveniles de Formativas y Academia. *Podium. Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*, 17(2), 527-540.
14. *Kinovea*. (s. f.). Recuperado 11 de julio de 2023, de <https://www.kinovea.org/features.html>
15. Mejía Mejía, N. F., Torres Ramírez, A. M., Menéndez Amador, C. E., Rodríguez Galo, V. L., Baide Ordoñez, F. R., & Restrepo Marín, A. (2023). Análisis biomecánico del lanzamiento de jabalina: Campeonato Centroamericano Mayor de Atletismo 2022. *Revista Académica Internacional de Educación Física*, 3(1), 41-50.

16. Muñoz, E. A. A., & Garrido, A. F. B. (2012). Conceptualización de la biomecánica deportiva y biomecánica de la educación física. *Revista Educación Física Chile*, 270, Article 270. <http://revistas.umce.cl/index.php/refc/article/view/2068>
17. Oliva-Lozano, J. M., Maraver, E. F., Fortes, V., & Muyor, J. M. (2020a). Kinematic Analysis of the Postural Demands in Professional Soccer Match Play Using Inertial Measurement Units. *Sensors*, 20(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/s20215971>
18. Oliva-Lozano, J. M., Maraver, E. F., Fortes, V., & Muyor, J. M. (2020b). Kinematic Analysis of the Postural Demands in Professional Soccer Match Play Using Inertial Measurement Units. *Sensors*, 20(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/s20215971>
19. Oliva-Lozano, J. M., Maraver, E. F., Fortes, V., & Muyor, J. M. (2020c). Kinematic Analysis of the Postural Demands in Professional Soccer Match Play Using Inertial Measurement Units. *Sensors*, 20(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/s20215971>
20. Orts López, E., Magraner Llavador, L., Aleixandre Micho, R., Puigcerver Palau, S., & Alcántara Alcover, E. (2019). La herramienta formativa idónea para mantener en óptimas condiciones los campos de césped artificial. *Revista de biomecánica*, 66, 54-60.
21. Perdomo Ogando, J. M., Pegudo Sánchez, A. G., & Capote Dominguez, T. E. (2018). Premisas para la investigación biomecánica en la cultura física. *Revista Cubana de Educación Superior*, 37(2), 104-114.
22. Pérez Ruiz, O. A., & Villegas Sáez, A. F. (2021). *Fundamentos de biomecánica deportiva*. Editorial Universitaria. <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/188663>
23. Prakash, S., Devaraj, A., & Karthik, V. (2022). Kinematic Analysis on Specific Joints During Practice of Sun Salutation Yoga Postures. *2022 6th International Conference on Intelligent*

<https://doi.org/10.1109/ICICCS53718.2022.9788186>

24. Puig-Diví, A., Escalona-Marfil, C., Padullés-Riu, J. M., Busquets, A., Padullés-Chando, X., & Marcos-Ruiz, D. (2019). Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PLOS ONE*, *14*(6), e0216448. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216448>
25. Quesada Leyva, L., León Ramentol, C. C., Betancourt Bethencourt, J., & Nicolau Pestana, E. (2016). Elementos teóricos y prácticos sobre la bioimpedancia eléctrica en salud. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, *20*(5), 565-578.
26. Rana, M., & Mittal, V. (2021). Wearable Sensors for Real-Time Kinematics Analysis in Sports: A Review. *IEEE Sensors Journal*, *21*(2), 1187-1207. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3019016>
27. Rojas-Valverde, D. F., Morera-Castro, M., Montoya-Rodríguez, J., & Gutiérrez-Vargas, R. (2017). DEMANDAS CINEMÁTICAS EN DOS TIPOS DE ESPACIOS REDUCIDOS EN JUGADORES UNIVERSITARIOS DE FÚTBOL DE COSTA RICA. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, *15*(1), Article 1. <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v15i1.29640>
28. Sakamoto, K., Numazu, N., Hong, S., & Asai, T. (2016). Kinetic Analysis of Instep and Side-foot Kick in Female and Male Soccer Players. *Procedia Engineering*, *147*, 214-219. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.216>
29. Sanmiguel-Rodríguez, A., González-Víllora, S., & Arufe-Giráldez, V. (2021). Fútbol sala y alto rendimiento: Revisión sistemática de la literatura 2015-2020. *Cultura, Ciencia y Deporte*, *16*(49), 465-476. <https://doi.org/10.12800/ccd.v16i49.1587>

30. Sullón Atoche, E. A. (2020). Control de la actividad física con tecnología vestible (wearables).

Una revisión sistemática. *Repositorio Institucional* - UCV.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58834>