

**CARACTERIZACIÓN BIOMECÁNICA DEL REMATE SIN CARRERA DE IMPULSO Y  
ESTIMACIÓN DE LA FUERZA APLICADA, EN DEPORTISTAS DE ALTO  
RENDIMIENTO DE LA LIGA DE VOLEIBOL ARENA DE BOGOTÁ**

**VALENTINA PEREA TORRES**

**Trabajo Dirigido**

**Tutor**

**Ing. Luis Eduardo Rodríguez Cheu  
Ing. Wilson Alexander Sierra Arévalo**



**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO  
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ D.C  
2023**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es el fruto de 5 años y medio, en los que viví y experimenté miles de sensaciones que hoy en día me ayudan a reconocer todo lo que he logrado y a sentirme orgullosa de mis logros.

En primer lugar, gracias a Dios, a mis padres, hermanos y abuelos; sin ustedes no habría sido posible absolutamente nada, son mi razón de ser, mi gran motor, mi ejemplo a seguir, me inspiran, me apoyan y me hacen mucho más fuerte. Gracias por acompañarme en mi proceso y proyecto de vida, todo lo que hoy en día soy es gracias a ustedes.

A mis amigos y amigas más cercanas y compañeros que han estado en mi vida académica y personal de una u otra forma, gracias por cada vivencia, por cada traspasada, por los momentos felices y tristes y por hacer parte de todos aquellos buenos recuerdos de la universidad y de lo personal que tanto ha influido en mi vida académica.

Un especial agradecimiento a Mate, por su gran apoyo y ayuda, por animarme a sacar mis proyectos adelante y por acompañarme en este camino.

A mis duplas y compañeras de equipo, por cada partido y viaje, gracias por reafirmar mi pasión y gusto por el voleibol y voleibol de arena, sin duda alguna es lo que me inspira para este trabajo de grado. A Isa, por creer en este trabajo y ayudarme en cada momento, infinitamente agradecida porque sin tu ayuda no hubiese sido posible culminarlo.

A los ingenieros Luis Rodríguez y Wilson Sierra por guiarme durante todo este trabajo, por cada una de las enseñanzas, consejos, tiempo, ayudas y principalmente por la motivación a cumplir mis objetivos.

Quiero expresar mi especial agradecimiento a Leonardo, Laura, Carlos, Rubén, Arturo, deportistas de la liga y Adriano por su desinteresada colaboración y por el tiempo que dedicaron en este trabajo. Gracias por estar y apoyarme en el momento que lo necesité.

También a cada uno de los profesores y personas que han contribuido a mi formación personal, académica, deportiva y sin duda alguna han dejado grandes enseñanzas en mi vida.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS .....	10
2.1. General.....	10
2.2. Específicos .....	10
3. ESTADO DEL ARTE .....	11
4. MARCO TEÓRICO .....	14
4.1. Análisis cinemático .....	14
4.1.1. Articulación del hombro.....	15
4.1.2. Articulación del codo .....	15
4.1.3. Movimientos anatómicos.....	16
4.2. Análisis dinámico .....	19
4.2.1. Deltoides anterior .....	19
4.2.2. Deltoides posterior .....	19
4.2.3. Pectoral mayor .....	20
4.2.4. Dorsal ancho .....	21
4.2.5. Tríceps braquial cabeza larga .....	21
4.2.6. Bíceps braquial .....	22
4.3. Somatotipo .....	22
4.3.1. Ectomorfismo .....	23
4.3.2. Mesomorfismo.....	23
4.3.3. Endomorfismo.....	23
5. METODOLOGÍA.....	24
5.1. Realización de las pruebas experimentales.....	24
5.2. Identificación del somatotipo de cada sujeto.....	25
5.3. Preprocesamiento de los datos adquiridos .....	26
5.4. Desarrollo de algoritmo para procesamiento.....	26
6. RESULTADOS .....	27
6.1. Medidas antropométricas y somatotipo.....	27
6.2. Set del laboratorio.....	33
6.3. Instrumentación y calibración del sujeto .....	34
6.4. Análisis cinemático .....	38
6.4.1. Rangos de movimientos articulares – Articulación del hombro.....	39
6.4.2. Rango de movimiento articular – Articulación del codo .....	42
6.5. Análisis dinámico .....	44

7. DISCUSIÓN.....	60
8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	62
9. CONCLUSIONES.....	63
REFERENCIAS.....	64
ANEXOS.....	65

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Articulación glenohumeral [8].	15
Ilustración 2. Articulación húmero radio-cubital [9].	16
Ilustración 3. Planos anatómicos [10].	17
Ilustración 4. Movimiento de flexión-extensión del hombro [11].	17
Ilustración 5. Movimiento de abducción-aducción del hombro [11].	18
Ilustración 6. Movimiento de rotaciones externas- internas del hombro [11].	18
Ilustración 7. Músculo deltoides anterior [12].	19
Ilustración 8. Músculo deltoides posterior [12].	20
Ilustración 9. Músculo deltoides posterior [12].	20
Ilustración 10. Músculo dorsal ancho [12].	21
Ilustración 11. Músculo tríceps braquial cabeza larga [13].	21
Ilustración 12. Músculo bíceps braquial [13].	22
Ilustración 13. Clasificación del somatotipo [14].	23
Ilustración 14. Etapas para el desarrollo del trabajo. Fuente propia	24
Ilustración 15. Etapas para el desarrollo de la prueba experimental. Fuente propia	25
Ilustración 16. Somatocarta y sus clasificaciones [16].	25
Ilustración 17. Medida de talla. Fuente propia	29
Ilustración 18. Medida de perímetro. Fuente propia	29
Ilustración 19. Medida de pliegue cutáneo. Fuente propia	30
Ilustración 20. Medida de diámetro. Fuente propia	30
Ilustración 21. Distribución general del somatotipo de los sujetos. La representación de cada sujeto corresponde: sujeto 1-amarillo, sujeto 2-azul, sujeto 3-naranja y sujeto 4-verde. Fuente propia	31
Ilustración 22. Somatotipo sujeto 1. Fuente propia	31
Ilustración 23. Somatotipo sujeto 2. Fuente propia.	31
Ilustración 24. Somatotipo sujeto 3. Fuente propia	32
Ilustración 25. Somatotipo sujeto 4. Fuente propia	32
Ilustración 26. Disposición de las cámaras en el laboratorio. Fuente propia	34
Ilustración 27. Configuración del laboratorio para la realización de las pruebas. Fuente propia	34
Ilustración 28. Distribución de los sensores de sEMG. Fuente propia	34
Ilustración 29. Ubicación del sensor en el dorsal ancho. Fuente propia	34
Ilustración 30. Ejemplo de algunos marcadores ubicados en torso. Fuente propia	35
Ilustración 31. Ejemplo de algunos marcadores ubicados en tren inferior. Fuente propia	35
Ilustración 32. Ubicación del punto anatómico para colocar marcador en la rodilla. Fuente propia	35
Ilustración 33. Ejemplo de algunos marcadores ubicados en tren superior. Fuente propia	35
Ilustración 34. Postura base. Fuente propia	36
Ilustración 35. Postura de motociclista. Fuente propia	36
Ilustración 36. Movimientos dinámicos en articulación de cadera. Fuente propia	36
Ilustración 37. Movimientos dinámicos en la articulación de rodilla. Fuente propia	36
Ilustración 38. Cargue del brazo. Fuente propia	37
Ilustración 39. Aceleración del brazo. Fuente propia	37
Ilustración 40. Golpeo al balón. Fuente propia	37
Ilustración 41. Desaceleración del brazo. Fuente propia	37
Ilustración 42. Flexión-Extensión del hombro sujeto 1. Fuente propia	40
Ilustración 43. Flexión-Extensión del hombro sujeto 2. Fuente propia	40
Ilustración 44. Flexión-Extensión del hombro sujeto 3. Fuente propia	40

Ilustración 45.Flexión-Extensión del hombro sujeto 4. Fuente propia.....	40
Ilustración 46.Abducción-Aducción del hombro sujeto 1. Fuente propia .....	41
Ilustración 47.Abducción-Aducción del hombro sujeto 2. Fuente propia .....	41
Ilustración 48.Abducción-Aducción del hombro sujeto 3. Fuente propia .....	41
Ilustración 49.Abducción-Aducción del hombro sujeto 4. Fuente propia .....	41
Ilustración 50.Rotaciones Externas-Internas del hombro sujeto 1. Fuente propia .....	42
Ilustración 51.Rotaciones Externas-Internas del hombro sujeto 2. Fuente propia .....	42
Ilustración 52.Rotaciones Externas-Internas del hombro sujeto 3. Fuente propia .....	42
Ilustración 53.Rotaciones Externas-Internas del hombro sujeto 4. Fuente propia .....	42
Ilustración 54.Flexión-Extensión del codo sujeto 1. Fuente propia.....	43
Ilustración 55.Flexión-Extensión del codo sujeto 2. Fuente propia.....	43
Ilustración 56.Flexión-Extensión del codo sujeto 3. Fuente propia.....	43
Ilustración 57.Flexión-Extensión del codo sujeto 4. Fuente propia.....	43
Ilustración 58.sEMG normalizada deltoides anterior -sujeto 1. Fuente propia .....	45
Ilustración 59.sEMG normalizada deltoides anterior -sujeto 4. Fuente propia .....	45
Ilustración 60.sEMG normalizada deltoides posterior -sujeto 1. Fuente propia .....	45
Ilustración 61.sEMG normalizada deltoides posterior -sujeto 4. Fuente propia .....	45
Ilustración 62.sEMG normalizada pectoral mayor -sujeto 1. Fuente propia.....	45
Ilustración 63.sEMG normalizada pectoral mayor -sujeto 4. Fuente propia.....	45
Ilustración 64.sEMG normalizada dorsal ancho -sujeto 1. Fuente propia.....	46
Ilustración 65.sEMG normalizada dorsal ancho -sujeto 4. Fuente propia.....	46
Ilustración 66.sEMG normalizada tríceps braquial cabeza larga -sujeto 1. Fuente propia	46
Ilustración 67.sEMG normalizada tríceps braquial cabeza larga -sujeto 4. Fuente propia	46
Ilustración 68.sEMG normalizada bíceps braquial -sujeto 1. Fuente propia .....	46
Ilustración 69.sEMG normalizada bíceps braquial -sujeto 4. Fuente propia .....	46
Ilustración 70.Señal sEMG deltoides anterior sujeto 1. Fuente propia .....	47
Ilustración 71.Señal sEMG deltoides anterior sujeto 2. Fuente propia .....	48
Ilustración 72.Señal sEMG deltoides anterior sujeto 3. Fuente propia .....	48
Ilustración 73.Señal sEMG deltoides anterior sujeto 4. Fuente propia .....	49
Ilustración 74.Señal sEMG deltoides posterior sujeto 1. Fuente propia.....	49
Ilustración 75.Señal sEMG deltoides posterior sujeto 2. Fuente propia.....	50
Ilustración 76.Señal sEMG deltoides posterior sujeto 3. Fuente propia.....	50
Ilustración 77. Señal sEMG deltoides posterior sujeto 4. Fuente propia.....	51
Ilustración 78.Señal sEMG pectoral mayor sujeto 1. Fuente propia .....	51
Ilustración 79.Señal sEMG pectoral mayor sujeto 2. Fuente propia .....	52
Ilustración 80.Señal sEMG pectoral mayor sujeto 3. Fuente propia .....	52
Ilustración 81.Señal sEMG pectoral mayor sujeto 4. Fuente propia .....	53
Ilustración 82.Señal sEMG dorsal ancho sujeto 1. Fuente propia .....	53
Ilustración 83.Señal sEMG dorsal ancho sujeto 2. Fuente propia .....	54
Ilustración 84.Señal sEMG dorsal ancho sujeto 3. Fuente propia .....	54
Ilustración 85.Señal sEMG dorsal ancho sujeto 4. Fuente propia .....	55
Ilustración 86.Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga sujeto 1. Fuente propia .....	55
Ilustración 87.Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga sujeto 2. Fuente propia .....	56
Ilustración 88.Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga sujeto 3. Fuente propia .....	56
Ilustración 89.Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga sujeto 4. Fuente propia .....	57
Ilustración 90.Señal sEMG bíceps braquial sujeto 1. Fuente propia.....	57
Ilustración 91.Señal sEMG bíceps braquial sujeto 2. Fuente propia.....	58
Ilustración 92.Señal sEMG bíceps braquial sujeto 3. Fuente propia.....	58
Ilustración 93.Señal sEMG bíceps braquial sujeto 4. Fuente propia.....	59

### **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Medidas antropométricas de los sujetos. Fuente propia.....	28
Tabla 2. Clasificación del somatotipo de los sujetos. Fuente propia.....	30
Tabla 3. Resultados estadísticos del análisis cinemático de las articulaciones de interés. Fuente propia .....	38
Tabla 4. Resultados estadísticos del análisis dinámico de los músculos. Fuente propia..	44

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 1938, es fundada la Asociación Colombiana de Voleibol con la participación de únicamente 4 ligas de las 32 posibles en el país, las ligas fueron Cundinamarca, Santander, Chocó y Boyacá. Tres años después, en 1941, el voleibol en Colombia tiene su primera participación competitiva en los Juegos Deportivos Nacionales celebrados en la ciudad de Bucaramanga. Luego de 14 años desde la primera competencia oficial, el 25 de marzo de 1955 se constituye la Federación Colombiana de Voleibol (FCV); institución encargada de regir el voleibol en Colombia, tanto la modalidad de piso como arena.

Con el pasar del tiempo, este deporte ha tomado gran importancia a nivel nacional en las diferentes ligas y a nivel internacional el voleibol colombiano se ha posicionado como un referente suramericano que ha estado en constante desarrollo.

En la actualidad, las ligas de Bogotá, Antioquía, Valle, Bolívar, Santander y Cundinamarca se destacan por contar con deportistas de alto rendimiento en ambas modalidades. Estos atletas han alcanzado trayectoria tanto a nivel nacional como internacional.

Es importante resaltar el significativo crecimiento y reconocimiento en los últimos años de este deporte en Colombia, lo que lo ha llevado a consolidarse como una disciplina en constante desarrollo.

Es así, como Colombia clasificó en el 2022 por primera vez en la historia a un Mundial de Voleibol Arena organizado y avalado por la FIVB. El evento se realizó en Roma-Italia con la representaron de una dupla femenina y masculina. Este logro es un claro ejemplo del progreso y la calidad alcanzada por los atletas colombianos en el voleibol de arena, y sin duda, marca un hito significativo en el panorama deportivo del país.

A pesar del corto tiempo que la disciplina lleva en el país, el voleibol de arena colombiano ha logrado importantes avances y ha conseguido destacadas posiciones en el podio en diversos campeonatos suramericanos, centroamericanos y bolivarianos. Este éxito demuestra el talento y dedicación de los deportistas y pone de manifiesto el potencial y el futuro prometedor de esta disciplina en el país. No obstante, es necesario reconocer que en los campeonatos panamericanos y mundiales existe una gran brecha a nivel competitivo que ha sido un obstáculo para llegar al podio de dichos campeonatos.

Es de gran importancia mencionar que, a nivel mundial, Brasil ha sido el único país suramericano en obtener medalla olímpica en la disciplina de voleibol arena en rama masculina y femenina, es así como el voleibol brasileño es un referente mundial. Por lo que, siendo países fronterizos es indispensable entender cuáles son las falencias, debilidades o diferencias que existen entre los deportistas colombianos y brasileños o, por el contrario, si es un problema sistemático y técnico de los procesos deportivos.

Existen diversas soluciones posibles para abordar este problema desde la ingeniería biomédica. Una de ellas consiste en realizar el análisis biomecánico de los deportistas, la cual se fundamenta en el análisis de la cinética y cinemática de sus movimientos o gestos



deportivos. El análisis biomecánico permite obtener un profundo entendimiento de cómo se comporta el cuerpo durante la práctica deportiva y así proporcionar información valiosa para mejorar los métodos de entrenamiento físico y técnico.

La importancia de la caracterización del gesto deportivo se debe a que, por medio de esta, es posible realizar mejoras y potencializar el rendimiento de los deportistas. Además, el análisis biomecánico permite evidenciar errores técnicos que repercuten en una inadecuada ejecución de los movimientos, lo cual, aumenta la incidencia de lesiones deportivas.

Al revisar la bibliografía disponible acerca de la biomecánica en el voleibol, se ha encontrado que la gran mayoría de estudios son enfocados a la biomecánica del salto y lo relacionado a miembros inferiores, como se muestra en las referencias expuestas en el estado del arte. Sin embargo, de manera muy reducida se encontró estudios basados en la biomecánica del gesto de remate orientado en miembros superiores, pues el gesto técnico de remate en el voleibol es un movimiento complejo que involucra una gran cantidad de grupos musculares que comprende músculos de miembros superiores, torso y miembros inferiores.

Por lo anteriormente mencionado y como deportista de voleibol de arena, me intrigo conocer acerca de la ciencia que hay detrás del gesto de remate y lograr brindar ideas y/o soluciones que pueden ser el inicio de un gran desarrollo en pro del deporte.

A lo largo de los años que llevo practicando este deporte, una de las mayores falencias técnicas que he tenido es la mala ejecución del gesto de remate, es por ello, que desde mi contexto profesional decidí realizar como trabajo de grado este estudio.

A lo largo del documento, se encontrará un estado del arte que incluye los estudios de interés en donde han realizado análisis biomecánico de tren superior de gestos deportivos de disciplinas comparables como voleibol, tenis y balonmano. En el marco teórico, se describen las articulaciones y músculos que se analizarán en este trabajo, además de diferentes conceptos necesarios para el entendimiento de este.

Finalmente, se explica la metodología con la que se desarrolló el trabajo y los resultados obtenidos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Caracterizar el gesto deportivo de remate sin carrera de impulso en deportistas de voleibol arena de la liga de voleibol de Bogotá, para ello, se analizarán variables cinemáticas y dinámicas del miembro superior usado para el golpe.

### **2.2. Específicos**

- a) Identificar variables biomecánicas relevantes y de alto impacto en el gesto deportivo de remate a partir de un estudio del estado del arte.
- b) Realizar un protocolo de valoración en el laboratorio de Ingeniería de la Rehabilitación y Análisis del Movimiento de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito a partir de una prueba experimental instrumentada con 4 participantes.
- c) Desarrollar un análisis cinemático y dinámico con los datos obtenidos y la discusión con resultados obtenidos en el estado del arte.

### 3. ESTADO DEL ARTE

El desarrollo del presente trabajo de grado es la continuación del trabajo dirigido realizado anteriormente titulado “Biomecánica del remate sin carrera de impulso, en deportista de alto rendimiento de la liga de voleibol arena de Bogotá”[1]; en donde, se realizó una revisión de literatura con el objetivo de generar un estado del arte sobre el análisis biomecánico del gesto de remate en voleibol y como resultado de dicho trabajo se diseñó un protocolo experimental para medir y evaluar las variables cinemáticas y dinámicas que caracterizan el gesto de remate sin carrera de impulso, además, determinar el somatotipo de los deportistas mediante los pliegues cutáneos.

Para el diseño del protocolo experimental, se tuvo en cuenta cuatro (4) artículos de los cuales dos (2) son relacionados al análisis cinemático del tren superior, los cuales se titulan:

- *“Upper-body kinematics in team-handball throw, tennis serve, and volleyball spike”* [2].

Es un estudio experimental que tiene como objetivo analizar la cinemática del tren superior en el gesto de lanzamiento de balonmano, servicio de tenis y remate de voleibol; los cuales por sus características técnicas los gestos deportivos guardan similitud. El grupo de participantes es de treinta (30) deportistas; diez (10) por cada deporte. La configuración experimental consistía de ocho (8) cámaras Vicon MX13, en donde se implementaron 39 marcadores reflectivos de 14 milímetros de diámetro para el análisis cinemático. Antes de iniciar las pruebas, los sujetos realizaron un calentamiento y luego los movimientos indicados para cada deporte.

Como resultados relevantes obtuvieron que la pelvis y tronco se encontraban rotados hacia atrás ( $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$ ) en el saque de tenis. También que en el remate de voleibol el tronco se encontraba más hiperextendido ( $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ) a comparación del lanzamiento en balonmano.

Como conclusiones de este estudio, se tiene que en el voleibol las velocidades angulares de flexión en el hombro se maximizan durante la fase ascendente para aumentar potenciar la altura del salto. Por otro lado, las diferencias entre las rotaciones internas y flexión del hombro en la fase de preparación para el ataque se comparan con el servicio en tenis y lanzamiento en balonmano. Se concluye también que los movimientos del antebrazo son similares, pero no idénticos entre los deportes. Específicamente en el remate de voleibol, la rotación interna y flexión del hombro depende del movimiento del brazo en el despeque.

- *“Differences in 3D kinematics between volleyball and beach volleyball spike movements”* [3].

Es un estudio experimental, su objetivo es identificar las diferencias en la cinemática del salto de remate de voleibol y voleibol arenas, las cuales se desarrollan en diferentes superficies. El grupo de participantes es de ocho (8) deportistas masculinos; quienes realizaron el salto de remate en ambas superficies. Contaron con una configuración

experimental de un sistema de captura de movimiento con ocho (8) cámaras para obtener los datos cinemáticos.

Como resultados relevantes, se destaca que la flexión del hombro no tiene diferencias entre las superficies ( $144 \pm 6.9$  para voleibol de piso y  $149 \pm 11.8$  para voleibol de arena). En este estudio se concluye que existen adaptaciones técnicas significativas que se asocian al cambio de la superficie, en donde se evidencia diferencias en el movimiento del centro de masa asociadas al salto en las dos (2) superficies y no se evidenciaron diferencias en los movimientos del tren superior.

Los otros dos (2) artículos, hacen referencia al análisis dinámico de los músculos del tren superior presentes durante la realización del gesto deportivo de remate, titulados:

- *“Shoulder Muscle Recruitment Patterns and Related Biomechanics during Upper Extremity Sports”* [4].

Este artículo de revisión se enfoca en analizar la actividad muscular cuantificada mediante electromiografía intramuscular de siete (7) músculos de la articulación del hombro durante el gesto deportivo de diez (10) deportes. Los músculos analizados fueron el manguito rotador, deltoides, pectoral mayor, dorsal ancho, tríceps y bíceps braquial y músculos escapulares.

Para el deporte de interés en este trabajo, analizaron los resultados expuestos en los artículos de revisión en donde el grupo de participantes eran quince (15) deportistas femeninas, se cuantificó la contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC) mediante electrodos de alambre fino (invasivo) en los músculos deltoides, supraespinoso, redondo mayor, dorsal ancho y pectoral mayor.

Como resultados relevantes, durante la fase de iniciación del remate y saque en voleibol se presenta la actividad máxima en el deltoides anterior, infraespinoso y supraespinoso, estos son de gran importancia y participan en la elevación del brazo (deltoides anterior y supraespinoso) y la iniciación de la rotación del hombro (infraespinoso). Además, en la fase de preparación el hombro se encuentra en su máxima rotación externa y eso explica la alta actividad del infraespinoso y redondo mayor.

En este estudio se concluye que durante los movimientos por encima de la cabeza se presenta alta actividad de los músculos del manguito rotador de 54% - 71% en el remate y saque de voleibol.

- *“Electromyographic analysis of shoulder function during the volleyball serve and spike”* [5].

En objetivo de este estudio experimental es describir el patrón de electromiografía (EMG) y las intensidades relativas de ocho (8) músculos durante la ejecución del saque y remate en voleibol. Los participantes fueron quince (15) deportistas sin lesiones; diez (10) hombres y cinco (5) mujeres. La configuración experimental se basa en cinematografía de alta

velocidad sincronizada con el análisis de electromiografía. Para la medición de actividad eléctrica en los músculos usaron electrodos de doble hilo (invasivo) en el deltoides anterior, supraespinoso, infraespinoso, redondo menor, subescapular, redondo mayor, dorsal ancho y pectoral mayor.

Como resultado se obtuvo que el deltoides anterior mostró una actividad del 58% MMT (Test manual de la fuerza muscular), el supraespinoso del 71% MMT, el infraespinoso del 60% MMT durante la fase de preparación del remate. Por otra parte, el pectoral mayor, dorsal ancho, redondo mayor y redondo menor mostraron mayor actividad en la fase de aceleración del remate.

En conclusión, el deltoides anterior y supraespinoso se encuentran presentes en todas las fases del gesto de remate y saque en voleibol; se encargan de elevar y sostener el húmero. Por otro lado, el infraespinoso y redondo menor actúan de forma independiente durante la aceleración del brazo en posiciones por encima de la cabeza. Por último, se evidenció que la actividad muscular del servicio tiene un patrón similar al del remate, pero las amplitudes son menores.

Los artículos descritos anteriormente, son la base para la selección de variables cinemáticas y los músculos que se analizarán en la prueba experimental.

Para llevar a cabo el análisis cinemático, se hace uso del sistema de captura de movimiento óptico multicámara basado en marcadores con seguimiento de posición 3D; para este trabajo la tecnología disponible para la captura de movimiento es Vicon. Por otra parte, el análisis dinámico se realiza mediante el uso de sensores de electromiografía de superficie (sEMG); los sensores usados son modelo Trigno Avanti de la marca Delsys los cuales cuentan con comunicación inalámbrica y permite conectarse e integrarse con el sistema de Vicon Nexus.

La realización de la prueba, la cual se explica a detalle en el protocolo experimental cuenta de dos (2) fases, descritas a continuación;

- La primera fase consiste en la toma de datos personales, medidas antropométricas y variables básicas médicas. Basados en un formulario previamente diseñado en una hoja de Excel, se realiza la toma de veintisiete (27) variables como talla, peso, pliegues cutáneos, diámetros, longitudes, entre otras medidas antropométricas con el objetivo de determinar el somatotipo de cada deportista. Además, algunas de las medidas antropométricas son datos requeridas y necesarias en el software Vicon Nexus para realizar el procesamiento de las capturas de movimiento.
- La segunda fase consiste en la instrumentación y realización de la prueba, en donde se le colocan cuarenta y tres (43) marcadores reflectivos al participante de acuerdo con la guía y modelo de cuerpo completo de Vicon. Además, se distribuyen seis (6)

sensores de sEMG en seis (6) músculos del tren superior usando el protocolo de SENIAM y las técnicas expuestas en el libro de PEROTTO.

Una vez terminada la instrumentación, se procede a realizar las capturas de calibración y realización de la prueba; la cual consiste en realizar el gesto de remate sin carrera de impulso ni salto, únicamente movimiento de tren superior. Se realizan diez (10) repeticiones del gesto.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. Análisis cinemático**

A partir del análisis cinemático es posible analizar el movimiento de las articulaciones generado sin tener en cuenta las fuerzas que causan el movimiento. Para este trabajo, se analizan dos (2) articulaciones del tren superior: hombro y codo.

Las articulaciones son estructuras en donde se unen dos (2) o más huesos, permitiendo la generación de diferentes movimientos como flexión-extensión, abducción-aducción, rotación externa-interna, pronación-supinación, entre otros. Las articulaciones se componen principalmente de hueso cartílago, ligamentos y tendones, además de otras estructuras que varían dependiendo del tipo de articulación.

Existen tres (3) tipos de articulaciones que se clasifican según la amplitud de movimiento [6]:

- **Inmóviles o fibrosas:** también llamadas sinartrosis, son articulaciones fijas en donde los huesos están unidos por tejido fibroso, compuesto principalmente por colágeno. Es el tipo de articulación menos compleja y se encuentra principalmente en el cráneo.
- **Semimóviles o cartilaginosas:** también llamadas anfiartrosis, son articulaciones con movimiento limitado en donde los huesos se encuentran unidos por tejido fibrocartilaginoso. Este tipo de articulación está presente principalmente en la columna vertebral y pelvis.
- **Móviles o sinoviales:** también llamadas diartrosis, son articulaciones con un amplio rango de movilidad en donde los huesos están unidos por una cápsula articular fibrosa que contiene líquido sinovial. Este tipo de articulación es la más común y compleja, algunas son el hombro, rodilla, cadera, entre otras. Es importante mencionar que de este tipo se derivan otros subtipos de acuerdo con el movimiento que realizan, los subtipos son: artrodia, enartrosis, troclear, trocoide, condílea y selar (en silla de montar).

Las articulaciones sinoviales por su gran actividad son altamente sensibles a patologías y lesiones. Las lesiones y accidentes deportivos son muy comunes y hacen parte de la actividad, se estima que la tasa de lesiones deportivas en la población es de 15,4 por 1000 personas y el 80% de las lesiones deportivas compromete tejidos blandos [7].

#### 4.1.1. Articulación del hombro

También nombrada articulación glenohumeral, es de tipo enartrosis; se caracteriza por tener un extremo redondo de un hueso largo que encaja en la cavidad de otro hueso. Es considerada una de las más complejas debido a su alta movilidad y ejecución de movimientos en los tres (3) planos anatómicos. Esta articulación permite movimientos de flexión-extensión, abducción-aducción, rotaciones internas-externas y circunducción.

La articulación glenohumeral es conformada por tres (3) huesos principales: clavícula, omóplato y húmero. La cabeza redonda del húmero se encaja en la cavidad glenoidea del omóplato. La estabilidad de la articulación se debe a las otras estructuras que la componen, tales como tendones, músculos (supraespinoso, infraespinoso, redondo menor y subescapular) y ligamentos (capsular, coracohumeral y glenohumerales).

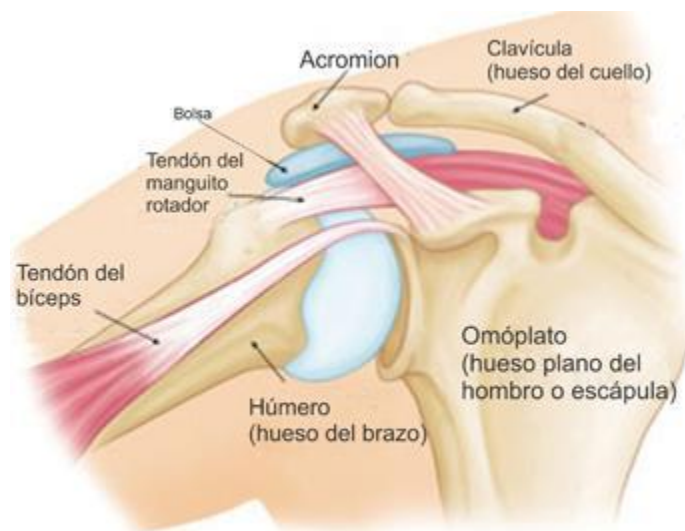


Ilustración 1. Articulación glenohumeral [8].

#### 4.1.2. Articulación del codo

También conocida como articulación húmero radio-cubital, la cual se subdivide en tres (3) articulaciones: húmero-radial, húmero-cubital y la radio-cubital, que se encuentran contenidas en la misma capsula articular. Esta articulación es de tipo troclear o también conocido como bisagra ya que permite el movimiento en un (1) plano anatómico, es decir solo realiza flexión-extensión. Es importante mencionar que la articulación radio-cubital es

la responsable del movimiento de pronación y supinación, por lo que es posible incluir dos (2) movimientos adicionales a la articulación del codo.

Esta articulación se compone por tres (3) huesos principales: húmero, cúbito y radio. Los epicóndilos son protuberancias de la cabeza inferior del húmero, las cuales encajan en las fosas del cúbito y radio. La estabilidad de la articulación se debe a las otras estructuras que la componen, tales como tendones, músculos (bíceps, tríceps, ancóneo, pronadores y supinadores) y ligamentos (colateral medial y colateral lateral).

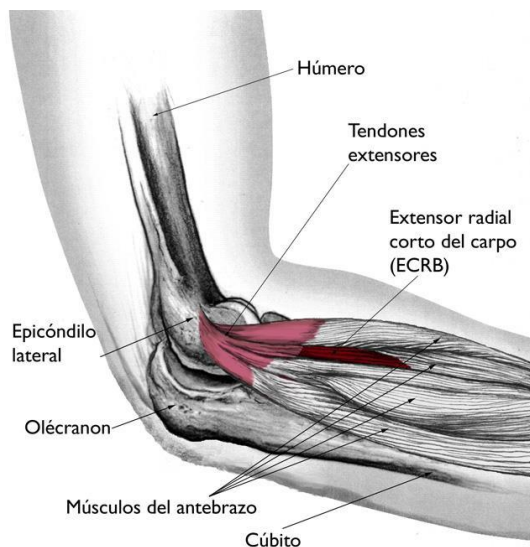


Ilustración 2. Articulación húmero radio-cubital [9].

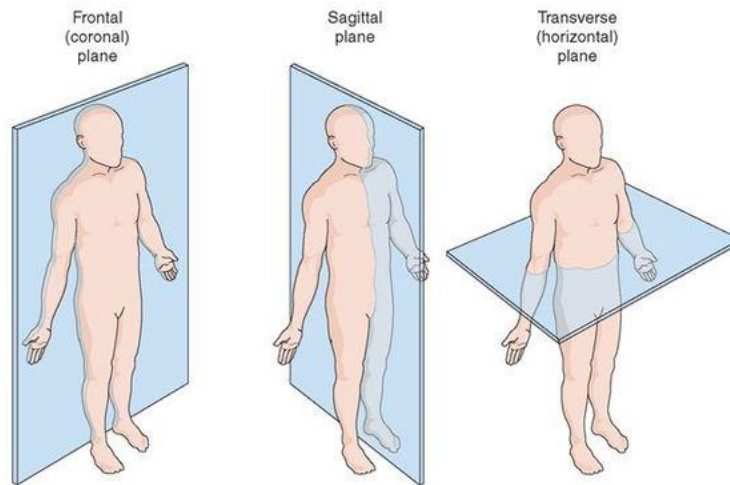
#### 4.1.3. Movimientos anatómicos

Los movimientos anatómicos se producen en las articulaciones, las cuales, dependiendo de su grado de libertad, tienen la capacidad de ejecutar diferentes movimientos alrededor y en relación con un eje o plano anatómico.

Los planos anatómicos son líneas imaginarias que atraviesan al ser humano en diferentes direcciones y permiten describir de manera precisa movimientos, posiciones o localizar una estructura. Son tres (3) planos: coronal, sagital y transversal.

- Plano coronal: plano vertical que divide al cuerpo en anterior (frente) y posterior (atrás).
- Plano sagital: plano vertical que divide al cuerpo en derecha e izquierda.
- Plano transversal: plano horizontal que divide al cuerpo en superior (arriba) e inferior (abajo).



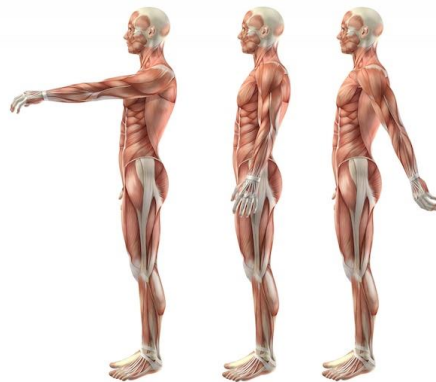


*Ilustración 3. Planos anatómicos [10].*

Todos los movimientos tienen una acción antagónica, por lo tanto, es posible agruparlos en pares. Los principales movimientos son:

➤ **Flexión-Extensión**

Son movimientos que se realizan en direcciones sagitales sobre el plano frontal. La flexión es el doblamiento de la articulación e implica disminuir el ángulo entre las dos (2) estructuras en cuestión. La extensión es el enderezamiento y el movimiento opuesto de la flexión, por lo tanto, se busca aumentar el ángulo.



*Ilustración 4. Movimiento de flexión-extensión del hombro [11].*

➤ **Abducción-Aducción**

Son movimientos que se realizan en direcciones o alrededor del eje anteroposterior sobre el plano frontal. La abducción es el alejamiento de la articulación e implica que las estructuras que participan del movimiento se alejan plano medial (hace referencia al plano sagital evaluado justo en la línea media). La aducción es el acercamiento, es decir que las estructuras se acercan al plano medial.



*Ilustración 5. Movimiento de abducción-aducción del hombro [11].*

➤ **Rotaciones Externas-Internas**

Son movimientos que se realizan alrededor de un eje longitudinal sobre el plano sagital. La rotación externa es el movimiento rotatorio en donde la estructura se aleja del plano medial. Por su parte, la rotación interna es cuando la estructura se acerca al plano medial.



*Ilustración 6. Movimiento de rotaciones externas- internas del hombro [11].*

## 4.2. Análisis dinámico

El análisis dinámico mediante el uso de electromiografía de superficie (sEMG) mide la actividad eléctrica de los músculos, esto permite analizar patrones de la actividad muscular con el objetivo de mejorar los entrenamientos, prevenir lesiones, mejorar la técnica, entre otros. En este trabajo, se mide la actividad eléctrica de seis (6) músculos del tren superior: deltoides anterior, deltoides posterior, pectoral mayor, dorsal ancho, tríceps cabeza larga y bíceps braquial.

### 4.2.1. Deltoides anterior

Es una de las porciones del músculo deltoides, también conocida como porción clavicular ya que se origina de la superficie superior y el borde anterior del tercio lateral de la clavícula, desciende hacia el cuerpo del húmero y converge en un tendón junto con las otras dos (2) porciones del deltoides, que se inserta en la tuberosidad deltoidea.

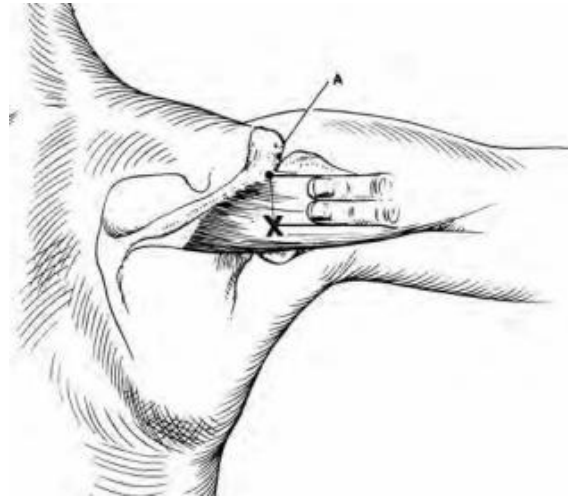
El deltoides anterior junto con el pectoral mayor permite el movimiento de flexión del brazo y rotaciones internas, también está presente durante el movimiento de abducción.



*Ilustración 7. Músculo deltoides anterior [12].*

### 4.2.2. Deltoides posterior

Es una de las porciones del músculo deltoides, también conocida como porción espinal debido a que se origina en la espina de la escapula. Al igual que en la porción clavicular desciende hacia el cuerpo del húmero y converge en un tendón. El deltoides posterior junto con el dorsal ancho permite el movimiento de extensión del brazo y rotaciones externas, también está presente durante el movimiento de abducción.



*Ilustración 8. Músculo deltoides posterior [12].*

#### **4.2.3. Pectoral mayor**

Es un músculo superficial en forma de abanico ubicado en el plano anterior de la caja torácica. El pectoral mayor se origina en tres (3) porciones (clavicular, esternocostal y abdominal) que convergen lateralmente al tendón y se inserta en la cresta del tubérculo mayor del húmero. Participa en diferentes movimientos como aducción, rotaciones internas y flexión del hombro.



*Ilustración 9. Músculo deltoides posterior [12].*

#### 4.2.4. Dorsal ancho

Es el músculo más ancho, también conocido como músculo gran dorsal se origina por las regiones torácicas baja y lumbar por lo que se dividen en cuatro (4) porciones (vertebral, costal, iliaca y escapular) que convergen y se insertan en el piso del surco intertubercular del húmero entre el pectoral mayor y el redondo mayor. Debido a las diferentes direcciones de las fibras, este músculo participa en la extensión, rotaciones internas y aducción del hombro.

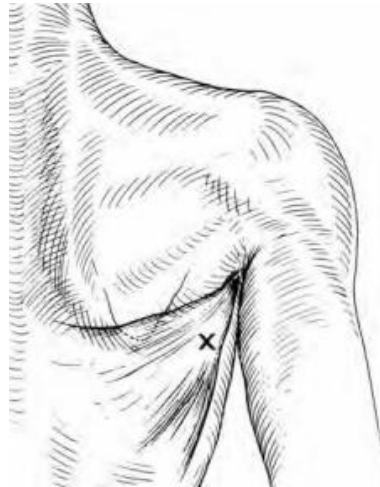


Ilustración 10. Músculo dorsal ancho [12].

#### 4.2.5. Tríceps braquial cabeza larga

Es uno de los principales músculos del brazo, posee tres (3) porciones; la porción larga, vasto interno y vasto externo. Cada una de las porciones tiene orígenes distintos, la cabeza larga del tríceps se origina en la cavidad glenoidea de la escápula y a través del mismo tendón se insertan las tres (3) cabezas en el olécranon del cúbito. Este músculo es compartido por la articulación del hombro y del codo, el principal movimiento que este permite es la extensión del codo, extensión y aducción del hombro.

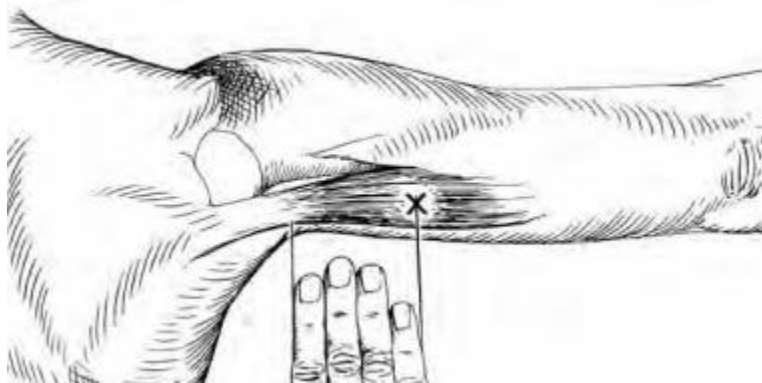
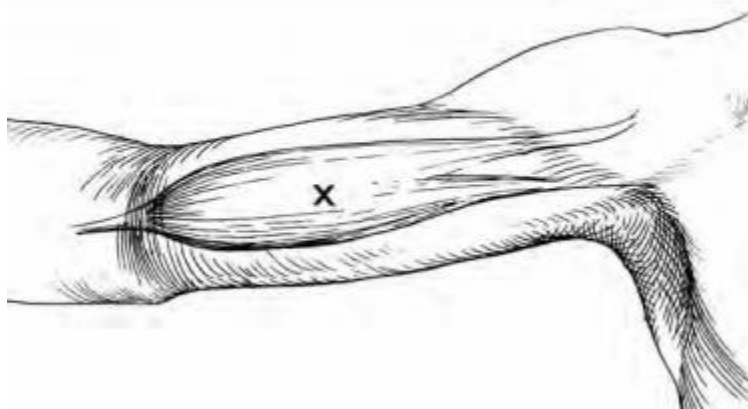


Ilustración 11. Músculo tríceps braquial cabeza larga [13].

#### 4.2.6. Bíceps braquial

Es otro de los principales músculos del brazo, posee dos (2) porciones que se unen en un mismo cuerpo; la porción corta o interna y la porción larga o externa. El bíceps se origina en la escápula y el tendón se inserta en la tuberosidad bicipital del radio. Al igual que el tríceps, el bíceps es considerado biarticular, es importante mencionar que las cabezas que componen el bíceps permiten movimientos opuestos, por lo tanto, este músculo está presente principalmente en la flexión del codo y en movimientos de abducción-aducción del hombro, rotaciones internas del hombro y supinación del antebrazo.

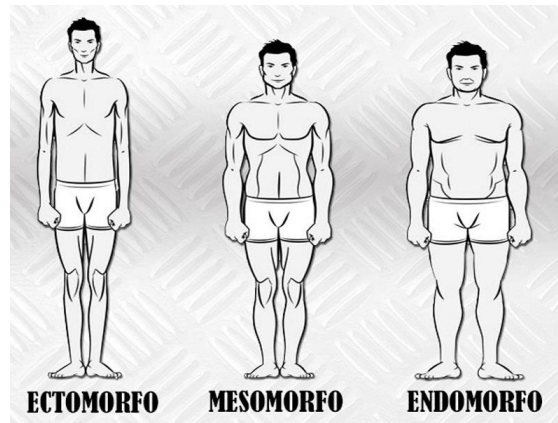


*Ilustración 12. Músculo bíceps braquial [13].*

#### 4.3. Somatotipo

El somatotipo hace referencia a la clasificación de los cuerpos humanos. Esta teoría fue desarrollada en la década de 1940 por William Herbert Sheldon, un psicólogo estadounidense. Se utiliza para describir el físico de una persona en términos de forma y composición, y se basa en tres (3) componentes: ectomorfos, mesomorfos y endomorfos, que representan diferentes características de la constitución corporal.

De acuerdo con estas clasificaciones, las personas obtienen características de uno (1), dos (2) o los tres (3) tipos de cuerpos, con una tendencia marcada a un solo tipo de cuerpo. Es importante mencionar que este método utiliza medidas antropométricas como circunferencias y pliegues cutáneos para determinar los valores de cada componente y así representarlo gráficamente en la somatocarta.



*Ilustración 13. Clasificación del somatotipo [14].*

#### **4.3.1. Ectomorfismo**

Se caracteriza por la poca acumulación de grasa corporal, apariencia estilizada, músculos y extremidades largas. Los ectomorfos tienen dificultades para ganar peso y poseen un metabolismo rápido, por lo que no hay un fácil desarrollo o ganancia muscular.

#### **4.3.2. Mesomorfismo**

Se caracteriza por una estructura atlética con bajos niveles de grasa corporal y dimensiones promedias. Los mesomorfos tienen predisposición a desarrollar con facilidad masa muscular y poseen un metabolismo normal.

#### **4.3.3. Endomorfismo**

Se caracteriza por la tendencia de acumulación de grasa corporal, cintura gruesa y una estructura ósea de proporciones grandes y redondeada. Los endomorfos tienen predisposición a aumentar de peso con facilidad y poseen un metabolismo lento.

## 5. METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo de grado tiene un enfoque experimental, cualitativo y cuantitativo, acompañado de un proceso observacional necesario para el procesamiento de los datos. El componente experimental se realiza en base al protocolo experimental y consentimiento informado resultado del trabajo dirigido “Biomecánica del remate sin carrera de impulso, en deportista de alto rendimiento de la liga de voleibol arena de Bogotá” [15]. La metodología que se implementa para llevar a cabo el trabajo consiste en cuatro (4) etapas mostradas en la figura 14.

1. Realización de las pruebas experimentales
2. Identificación del somatotipo de cada participante
3. Preprocesamiento de los datos adquiridos en las pruebas experimentales
4. Realización de algoritmo para procesamiento de los datos adquiridos



*Ilustración 14. Etapas para el desarrollo del trabajo. Fuente propia*

### 5.1. Realización de las pruebas experimentales

En esta etapa se realizaron las pruebas experimentales de acuerdo con protocolo experimental nombrado anteriormente. Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de Ingeniería de la Rehabilitación y Análisis del Movimiento de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

La prueba contó de dos (2) etapas:

1. La primera etapa consistió en revisar que el consentimiento informado estuviese debidamente diligenciado y se hizo el registro del participante basado en un formulario en donde se registraron datos personales y medidas antropométricas, cabe resaltar que en esta etapa se contó con la ayuda de un profesional del área de la salud.
2. En la segunda etapa se llevó a cabo la instrumentación del participante en donde se colocaron cuarenta y tres (43) marcadores reflectivos y seis (6) sensores de electromiografía de superficie. Una vez que el sujeto fue instrumentado, se le proporcionó una explicación del movimiento que debía realizar, mientras su entrenador supervisaba y dirigía su calentamiento.

El movimiento a realizar consistía en el gesto de remate sin carrera de impulso ni salto, ejecutado únicamente con la acción de las estructuras de los miembros superiores.





Ilustración 15. Etapas para el desarrollo de la prueba experimental. Fuente propia

## 5.2. Identificación del somatotipo de cada sujeto

En esta etapa se identificó el somatotipo de cada uno de los sujetos, esto se realizó mediante un análisis cuantitativo a partir del uso de una calculadora de somatotipo en Excel; la cual requiere de datos y medidas antropométricas obtenidas en la fase 1 de la etapa anterior. La calculadora obtiene los tres (3) valores de los componentes del somatotipo de acuerdo con las distintas fórmulas y ecuaciones estandarizadas para dicho propósito, los valores se representan gráficamente mediante un eje de coordenadas (X, Y); donde la intersección representa el punto que corresponde al somatotipo del sujeto y dependiendo de su ubicación se clasifica y describe su somatotipo (ver ilustración 16).

Las ecuaciones para calcular el punto (X, Y) son:

$$\text{eje } X = \text{ectomofia} - \text{endomorfia}$$

$$\text{eje } Y = (2 * \text{mesomorfia}) - (\text{endomorfia} + \text{ectomofia})$$

Algunas de las medidas necesarias son perímetros, diámetros y pliegues cutáneos, los cuales se miden con cinta métrica y adipómetro.

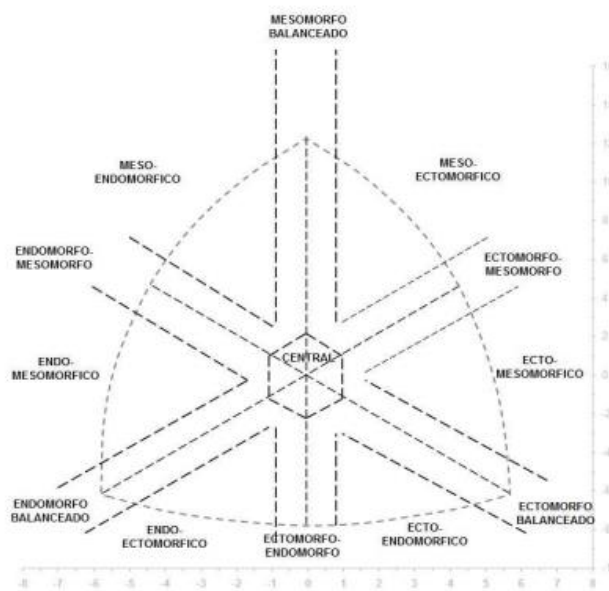


Ilustración 16. Somatocarta y sus clasificaciones [16].

### **5.3. Preprocesamiento de los datos adquiridos**

Para el preprocesamiento de los datos, se utilizó Nexus; el cual es el software de modelado y herramienta de procesamiento para el análisis del movimiento de Vicon.

Para el preprocesamiento, es necesario realizar un proceso de calibración. Durante las capturas, se le pidió al participante que realizará diferentes posturas y movimientos dinámicos necesarios para la calibración funcional, tales como la postura base, postura del motociclista, flexión y extensión de rodilla y cadera, se encuentran ilustradas y mencionadas en la ilustración 34, 35, 36 y 37.

La calibración funcional usa múltiples cuadros de datos en donde la articulación de interés se encuentra en movimiento, lo que permite estimar con mayor precisión el verdadero centro y eje de la articulación.

Se realizó la calibración funcional de rodilla y cadera, que, aunque no son las articulaciones de interés para el estudio, son de gran importancia para el modelo automático de cuerpo completo "Plug-in Gait".

Por cada participante se creó un sujeto que contiene información de las medidas antropométricas requeridas por el modelo de "Plug-in Gait", así como los parámetros de calibración calculados en la calibración funcional. Las medidas antropométricas son de gran importancia ya que el modelo las requiere para calcular directamente la cinética y cinemática a partir de las posiciones de los marcadores.

Como resultado del preprocesamiento se obtuvo un archivo de extensión '.c3d' que significa "coordinate 3D" y confina en un solo archivo de manera eficiente todos los datos de la sesión de registro: cinemáticos (trayectorias y rangos de movimientos articulares) y fisiológicos (señales de electromiografía de superficie).

### **5.4. Desarrollo de algoritmo para procesamiento**

Una vez obtenido el archivo '.c3d', se desarrolló un algoritmo en Python que logra leer y extraer la información necesaria para obtener los resultados gráficos de:

- Cinemática de la articulación del hombro y codo, mediante los rangos de movimientos articulares.
- Registro de la señal de sEMG y valor RMS de la actividad muscular medida en los músculos mencionados en el protocolo experimental.

Las señales de sEMG se normalizan bajo el criterio de pico máximo de amplitud. El cual es uno de los métodos recomendados por el ABC de electromiografía [17].

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Medidas antropométricas y somatotipo

De acuerdo con la primera etapa del protocolo experimental, los sujetos que participaron de la prueba fueron cuatro (4) deportistas igual a un porcentaje del 100% del género femenino, de las cuales tres (3) pertenecían al grupo principal de estudio (deportistas de voleibol de arena) ya que cumplían con los siguientes criterios para participar del estudio:

#### Criterios de inclusión

- Tener conocimiento claro de la técnica de remate
- No tener ninguna lesión en las extremidades del tren superior
- Ser deportista activo de la liga de voleibol arena de Bogotá
- Disponer del tiempo para realizar el protocolo en una sesión

#### Criterios de exclusión

- No tener conocimiento claro de la técnica de remate
- Presentar lesión reciente en las extremidades del tren superior.
- No pertenecer a la liga de voleibol arena de Bogotá
- No contar con el tiempo para realizar el protocolo en una sesión

La deportista restante, no cumplía con los criterios de inclusión, pero su participación es de gran importancia para la comparación de los resultados cualitativos y cuantitativos (deportista de lucha olímpica).

Las cuatro (4) participantes, son deportistas de alto rendimiento de la liga de Bogotá de sus respectivas disciplinas.

Los sujetos que participaron del estudio tenían edad promedio de  $20 \pm 4,3$  años,  $1637,25 \pm 103,9$  mm de estatura y  $59,2 \pm 8,6$  kg de peso.

Todos los participantes del estudio se encontraban en buen estado de salud y en óptimas condiciones físicas, lo que significa que no presentaban enfermedades o condiciones médicas que pudieran afectar de manera significativa los resultados de la investigación. Esta condición asegura la validez y fiabilidad de los datos recopilados, al reducir la posibilidad de interferencias o sesgos que puedan alterar las conclusiones del estudio.

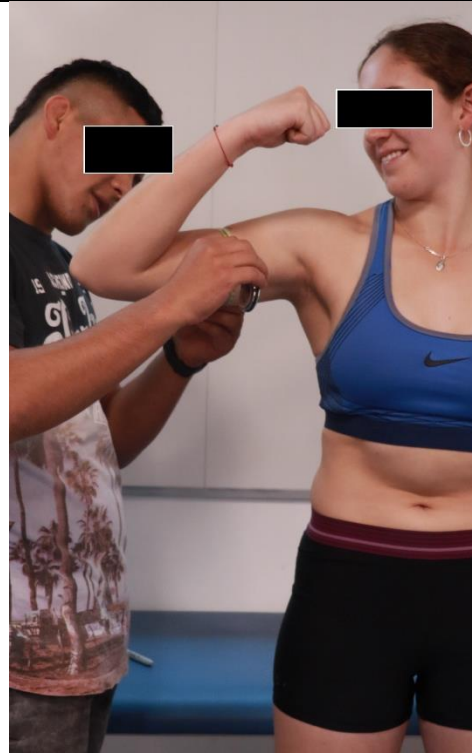
Tabla 1. Medidas antropométricas de los sujetos. Fuente propia

	Voleibol de arena			Lucha olímpica
	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4
Edad (años)	21	16	18	26
Estatura (mm)	1704	1730	1615	1500
Peso (Kg)	69,7	61,9	55,6	49,6
Mano dominante	Izquierda	Derecha	Derecha	Derecha
Longitud pierna derecha (mm)	965	1005	915	870
Longitud pierna izquierda (mm)	980	985	905	840
Ancho de la rodilla derecha (mm)	85	80	77	76
Ancho de la rodilla izquierda (mm)	80	80	79	77
Ancho del tobillo derecho (mm)	75	70	66	61
Ancho del tobillo izquierda (mm)	75	70	64	60
Compensación del hombro derecho (mm)	80	75	76	60
Compensación del hombro izquierdo (mm)	85	70	70	65
Ancho del codo derecho (mm)	54	60	49	46
Ancho del codo izquierdo (mm)	54	60	49	46
Ancho de la muñeca derecha (mm)	54	60	49	46
Ancho de la muñeca izquierda (mm)	53	55	48	44
Espesor de la mano derecha (mm)	12,2	30	23	18
Espesor de la mano izquierda (mm)	12,7	30	23	15

Es de gran importancia mencionar que las medidas antropométricas, diámetros, perímetros y pliegues cutáneos fueron tomadas por el profesional de la salud como se puede observar en la ilustración 17, 18, 18 y 20. Como se mencionó anteriormente, las medidas antropométricas mostradas en la tabla 1 son necesarias y requeridas por el software de reconstrucción y modelado de preprocesamiento de Nexus, por otro lado, las medidas tomadas son necesarias para identificar el somatotipo de cada sujeto.



*Ilustración 17. Medida de talla. Fuente propia*



*Ilustración 18. Medida de perímetro. Fuente propia*



Ilustración 19. Medida de pliegue cutáneo. Fuente propia

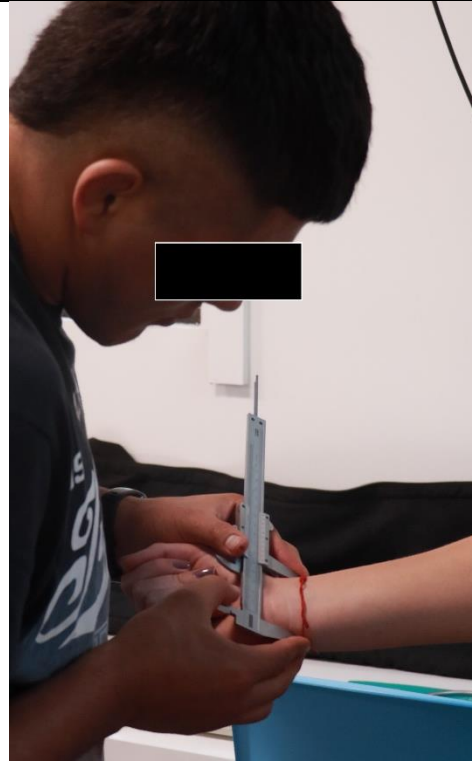


Ilustración 20. Medida de diámetro. Fuente propia

Al tener todas las medidas necesarias para identificar el somatotipo, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 2. Clasificación del somatotipo de los sujetos. Fuente propia

	Voleibol de arena			Lucha olímpica
	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4
Componente endomórfico	3,30	3,08	2,41	1,57
Componente mesomórfico	3,32	2,23	2,24	1,96
Componente ectomorfo	1,72	3,43	2,39	1,30
Coordenada (X, Y)	(-1.57, 1.63)	(-0.35, -2.05)	(-0.02, -0,32)	(-0.27, 1.06)
Clasificación del participante	Mesomorfo– Endomorfo	Endomorfo– Ectomorfo	Central	Mesomorfo balanceado

## Somatocarta

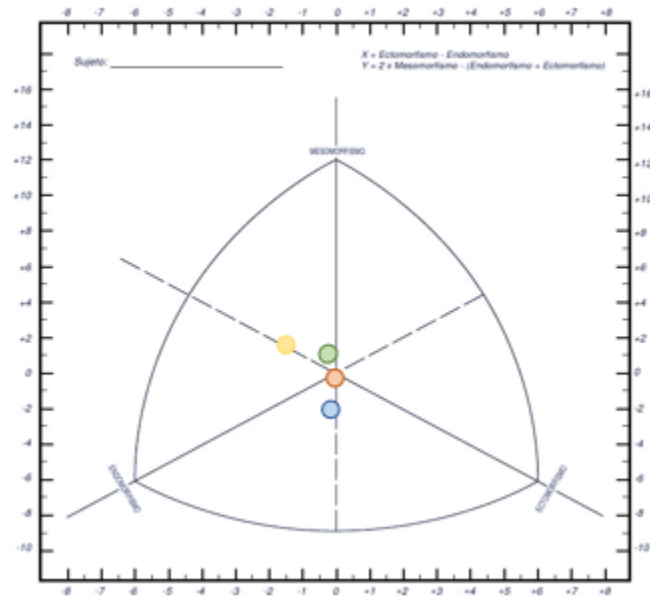


Ilustración 21. Distribución general del somatotipo de los sujetos. La representación de cada sujeto corresponde: sujeto 1-amarillo, sujeto 2-azul, sujeto 3-naranja y sujeto 4-verde. Fuente propia

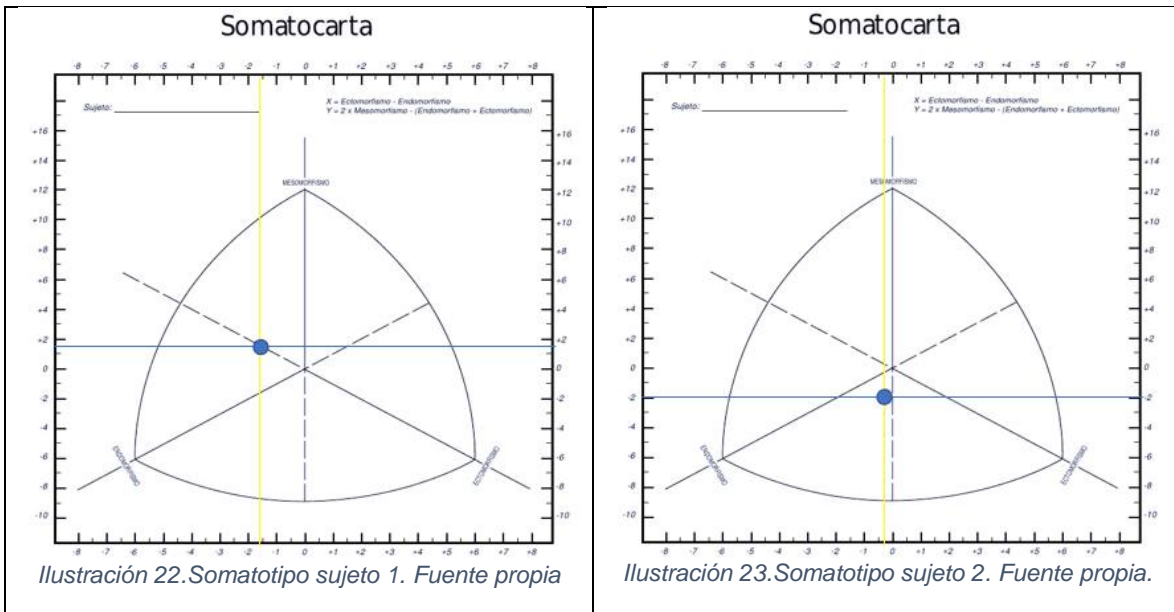
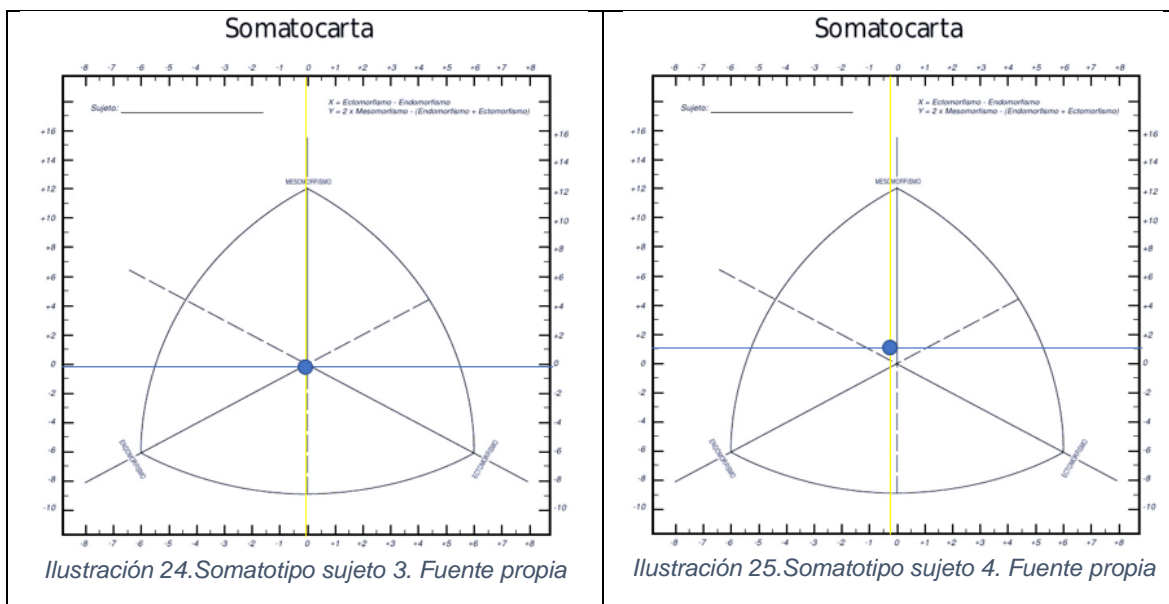


Ilustración 22. Somatotipo sujeto 1. Fuente propia

Ilustración 23. Somatotipo sujeto 2. Fuente propia.



A partir de los resultados, para los cuatro (4) participantes se obtienen somatotipos que por su cercanía podrían ubicarse dentro de la zona central, pero para ser rigurosos se clasifican en diferentes somatotipos. Los somatotipos resultantes correspondientes a cada sujeto se describen a continuación:

1. Mesomorfo–Endomorfo (sujeto 1): los dos componentes son iguales o no se diferencian en más de 0,5. Se puede evidenciar robustez musculoesquelética y adiposidad relativa.
2. Endomorfo–Ectomorfo (sujeto 2): los dos componentes son iguales o no se diferencian en más de 0,5. Para este caso se evidencia adiposidad y delgadez relativa.
3. Central (sujeto 3): entre los componentes no existen diferencias mayores a la unidad, por lo que se puede evidenciar características de los tres (3) componentes como robustez musculoesquelética, adiposidad y delgadez relativa.
4. Mesomorfo balanceado (sujeto 4): predomina el componente mesomorfo y entre los otros dos no se diferencian en más de 0,5. Por lo tanto, se evidencia la robustez musculoesquelética.

A nivel general se evidenció que para el 50% de la muestra el componente mesomórfico es mayor y por tanto dominante, para el 25% el componente mayor es el ectomorfo y dominó sobre el somatotipo y para el 25% restante el componente mayor es el endomórfico, pero



no existe dominancia de éste sobre el somatotipo ya que las diferencias entre los otros componentes son mínimas y por tanto su clasificación se define como central o balanceado.

A partir de la evidencia, en el trabajo de grado titulado “CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOTORA DE LAS JUGADORAS DE VOLEIBOL PLAYA DEL CIRCUITO NACIONAL COLOMBIANO” se concluye que hay una tendencia del 33,33% de los sujetos es endomorfo balanceado y el 25% es central. Con muestras heterogéneas en el 49,99% restante; 16,66% siendo Endo-Mesomórfico, 8,33% Ecto-Endomórfico y 8,33% Ectomorfo balanceado [18].

De acuerdo con los resultados obtenidos el 33,33% de la población que cumple con los criterios de inclusión se encuentra dentro de los somatotipos característicos de deportistas colombianas femeninas de voleibol de arena, aunque la clasificación del somatotipo del 66,66% restante de la población de interés no se encuentre dentro de los resultados característicos es importante mencionar que la relación y distribución no se aleja y guardan ciertos rasgos característicos entre las clasificaciones. Además, uno de los factores que puede influir en la similitud de los resultados es el rango de edad de la población estudiada, ya que hay una diferencia de más de 10 años.

Para el caso de lucha olímpica, los deportistas de esta disciplina en sus dos (2) géneros se encuentran muy bien clasificados como mesomorfos, por lo que el resultado obtenido con el sujeto 4 es aceptado y muy bueno ya que se clasifica como mesomorfo balanceado.

## **6.2. Set del laboratorio**

La configuración del laboratorio consta de 8 cámaras Vicon que se encuentran en una disposición en la que engloban un área de trabajo como se puede evidenciar en la ilustración 26.

Para la prueba se requirió de un montaje con guayas y prensas tipo C para lograr sostener y suspender el balón de entrenamiento de voleibol. El centro del balón se colocó justo con el centro del laboratorio y los amarres que se hicieron a los extremos del balón estaban a la misma distancia como se puede observar en la ilustración 27.

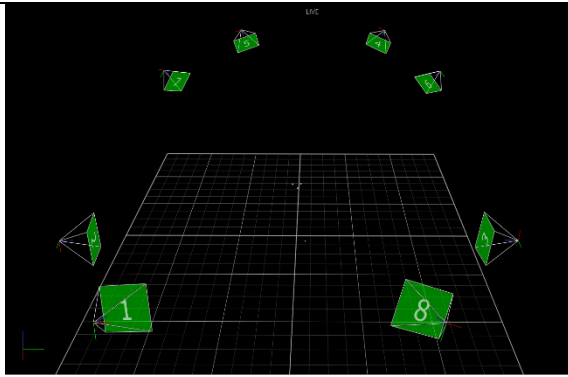


Ilustración 26. Disposición de las cámaras en el laboratorio. Fuente propia

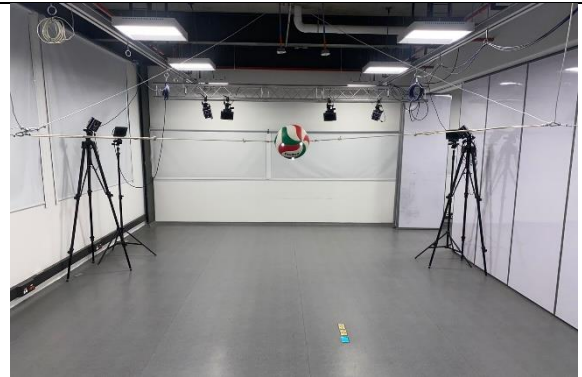


Ilustración 27. Configuración del laboratorio para la realización de las pruebas. Fuente propia

### 6.3. Instrumentación y calibración del sujeto

Antes de iniciar las capturas, se lleva a cabo la instrumentación del participante siguiendo lo planteado en la segunda fase del protocolo experimental. Para el proceso de instrumentación del sujeto, se le colocan seis (6) sensores de sEMG ubicados en los músculos expuestos en el protocolo experimental. Cada uno de los sensores se ubicó de acuerdo con las técnicas expuestas en el libro de PEROTTO y el protocolo de SENIAM, como se muestra en la ilustración 28 y 29.

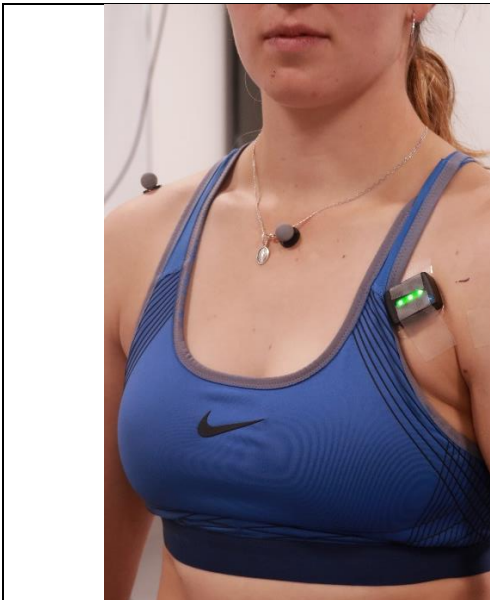


Ilustración 28. Distribución de los sensores de sEMG. Fuente propia



Ilustración 29. Ubicación del sensor en el dorsal ancho. Fuente propia

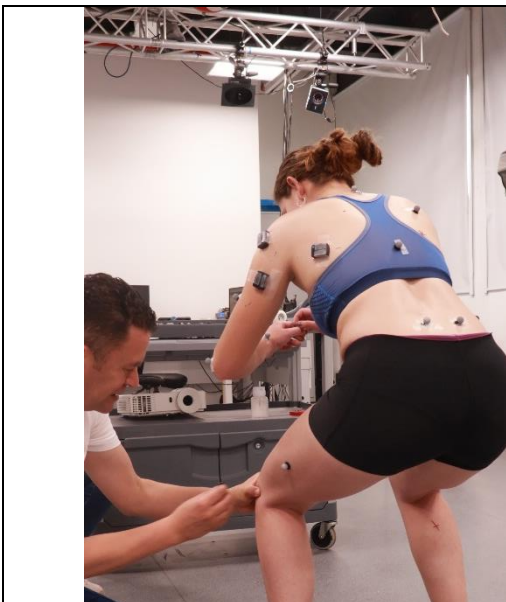
Seguido a la ubicación de los sensores, se adhieren los cuarenta y tres (43) marcadores reflectivos de acuerdo con modelo de cuerpo completo de VICON, como se puede evidenciar en la ilustración 30, 31, 32 y 33.



*Ilustración 30. Ejemplo de algunos marcadores ubicados en torso. Fuente propia*



*Ilustración 31. Ejemplo de algunos marcadores ubicados en tren inferior. Fuente propia*



*Ilustración 32. Ubicación del punto anatómico para colocar marcador en la rodilla. Fuente propia*



*Ilustración 33. Ejemplo de algunos marcadores ubicados en tren superior. Fuente propia*

Una vez terminada la instrumentación del sujeto, se procede a iniciar las capturas de calibración. Las capturas de calibración funcional abarcan diferentes posturas y movimientos dinámicos, los usados en la prueba fueron la postura base, postura de motociclista y movimientos articulares de la cadera y flexo extensión de la articulación de la rodilla. Estas posturas se y movimientos se muestran en la ilustración 34, 35, 36 y 37.



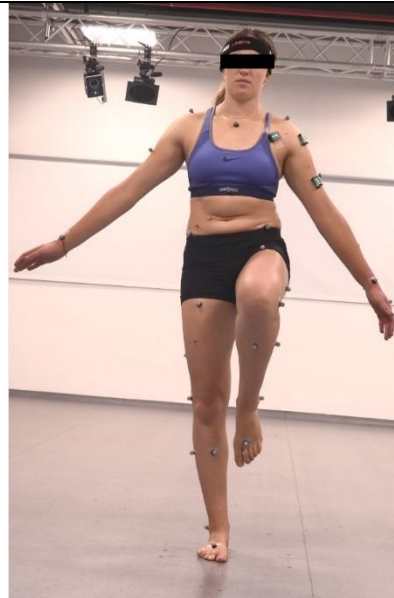
*Ilustración 34. Postura base. Fuente propia*



*Ilustración 35. Postura de motociclista. Fuente propia*



*Ilustración 36. Movimientos dinámicos en articulación de cadera. Fuente propia*



*Ilustración 37. Movimientos dinámicos en la articulación de rodilla. Fuente propia*

Al finalizar las capturas de calibración, se iniciaron las capturas del gesto deportivo. Es de gran importancia mencionar que durante las pruebas contamos con la compañía y participación del entrenador de voleibol arena de la liga de Bogotá; quién estuvo supervisando la correcta ejecución del gesto de remate sin carrera de impulso.



*Ilustración 38. Cargue del brazo. Fuente propia*



*Ilustración 39. Aceleración del brazo. Fuente propia*



*Ilustración 40. Golpeo al balón. Fuente propia*



*Ilustración 41. Desaceleración del brazo. Fuente propia*

En las ilustraciones 38, 39, 40 y 41, se muestran las fases del gesto deportivo de remate sin carrera de impulso.

Luego de finalizar todas las capturas de los participantes se procede a iniciar con la calibración funcional de los registros para obtener el archivo '.c3d' de cada participante.



#### 6.4. Análisis cinemático

Para realizar el análisis cinemático se desarrolló un algoritmo en Python 3.7 en un cuaderno de Jupyter dentro del entorno de Visual Studio Code. Es importante mencionar que con el uso del software Mokka fue posible realizar las observaciones de eventos importantes durante los registros como el inicio y fin del gesto.

Gracias al algoritmo desarrollado, se obtuvieron las curvas características de los rangos de movimientos articulares para el hombro y codo de cada sujeto. Además, se llevaron a cabo los cálculos estadísticos, incluyendo el rango máximo, mínimo y promedio con desviación estándar. Estas medidas permiten resaltar información relevante acerca de las características y la variabilidad de los datos recolectados

Cada uno de los sujetos realizó diez (10) repeticiones del gesto por lo que se tienen diez (10) registros por cada uno, de los cuales se utilizaron cinco (5) registros para realizar el análisis cinemático y estadístico. Se seleccionan únicamente cinco (5) registros con el propósito de manejar un volumen de información más específica y descartar las primeras y últimas capturas, donde el sujeto está adaptándose al experimento o podría presentar fatiga, lo que podría afectar la ejecución adecuada del gesto deportivo.

En la tabla 3, se muestran los resultados estadísticos obtenidos de acuerdo con el promedio del ángulo máximo, ángulo mínimo, ángulo promedio y desviación estándar por cada movimiento, esto se realizó a partir de los cinco (5) registros de cada sujeto.

Tabla 3. Resultados estadísticos del análisis cinemático de las articulaciones de interés. Fuente propia

			Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4
Hombro (°)	Flexión-Extensión	Máximo	14,26	10,26	18,6	-6,89
		Mínimo	6,68	1,52	8,39	-10,09
		Promedio	12,52 ± 3,36	4,2 ± 3,53	14,38 ± 3,79	-8,14 ± 1,23
	Abducción-Aducción	Máximo	87,33	74,84	89,99	66,58
		Mínimo	58,13	67,59	69,34	40,08
		Promedio	80 ± 11,01	71,67 ± 2,91	82,59 ± 8,4	51,42 ± 9,96
	Rotaciones Externas-Internas	Máximo	-20,84	3,46	-9,08	-1,19
		Mínimo	-27,47	-1,25	-25,77	-43,54
		Promedio	-24,78 ± 2,24	0,86 ± 1,85	-19,17 ± 7,18	-18,14 ± 15,82
Codo (°)	Flexión-Extensión	Máximo	73,61	72,26	72,03	117,18
		Mínimo	65,25	65,23	68	66,45
		Promedio	68,85 ± 3,6	68,15 ± 2,68	69,55 ± 1,49	88,41 ± 19,45

#### **6.4.1. Rangos de movimientos articulares – Articulación del hombro**

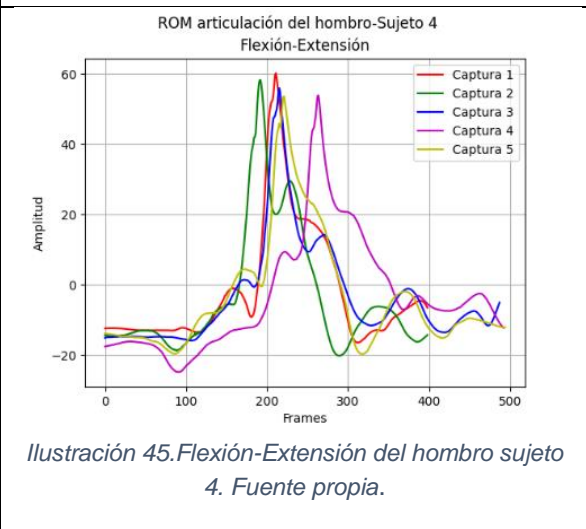
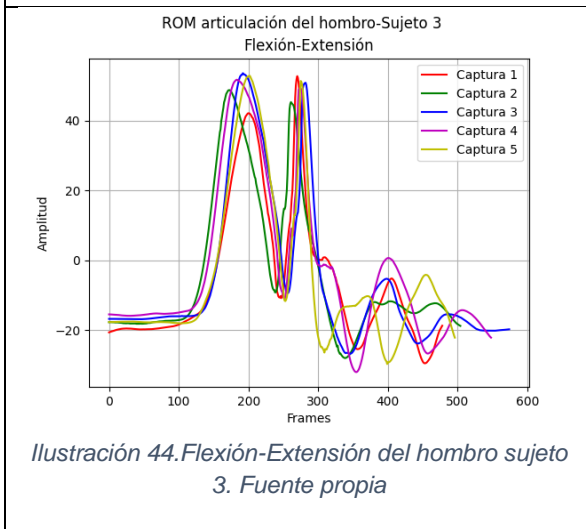
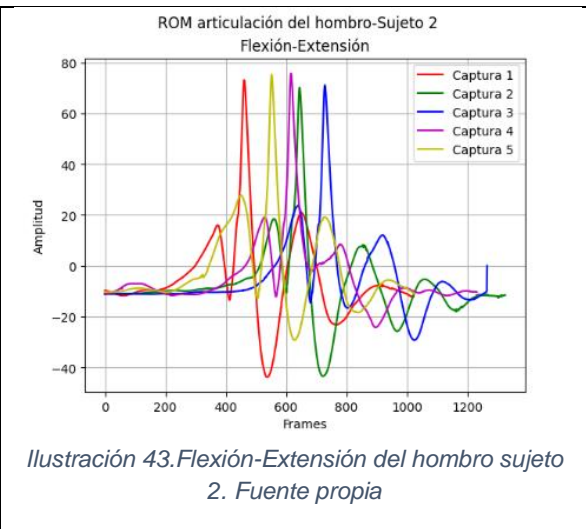
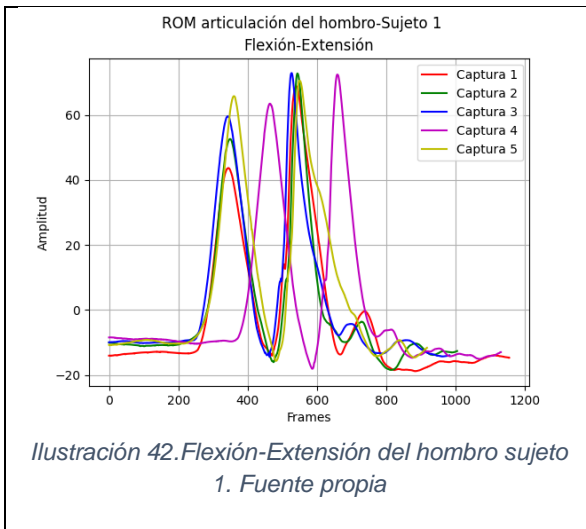
En las ilustraciones 42, 43, 44 y 45, se muestran el rango de movimiento (ROM) de los sujetos en la flexión-extensión del hombro de todo el registro.

Durante el gesto de remate, se observa que el movimiento de extensión predomina y se da en dos (2) de los momentos importantes obteniendo las amplitudes más altas en el movimiento; el primero se da justo en el momento de cargue del brazo y el segundo se da cuando el brazo se encuentra totalmente extendido antes del contacto con el balón.

Es posible evidenciar que el sujeto 1 y sujeto 3 (ilustración 43 y 44, respectivamente) tienen un gesto deportivo muy poco variable, es decir que el gesto de remate está muy bien aprendido y por tanto las curvas pueden diferir sobre el eje x, pero guardan cierta similitud en su forma y amplitud.

Al comparar el ROM del sujeto 4 mostrado en la ilustración 45, es posible evidenciar con claridad la alta variabilidad en la realización del gesto. Lo anterior se debe a que, al no ser deportista del deporte de interés, no cuenta con el conocimiento de la técnica, por tanto, durante las ejecuciones no es posible evidenciar un patrón, así como en la continuidad del movimiento.

Los sujetos 1 y 2 presentaron mayores ángulos de extensión del hombro mayores a 60°, en la relación del movimiento flexión-extensión, los sujetos 1 y 3 presentan los mayores ángulos.



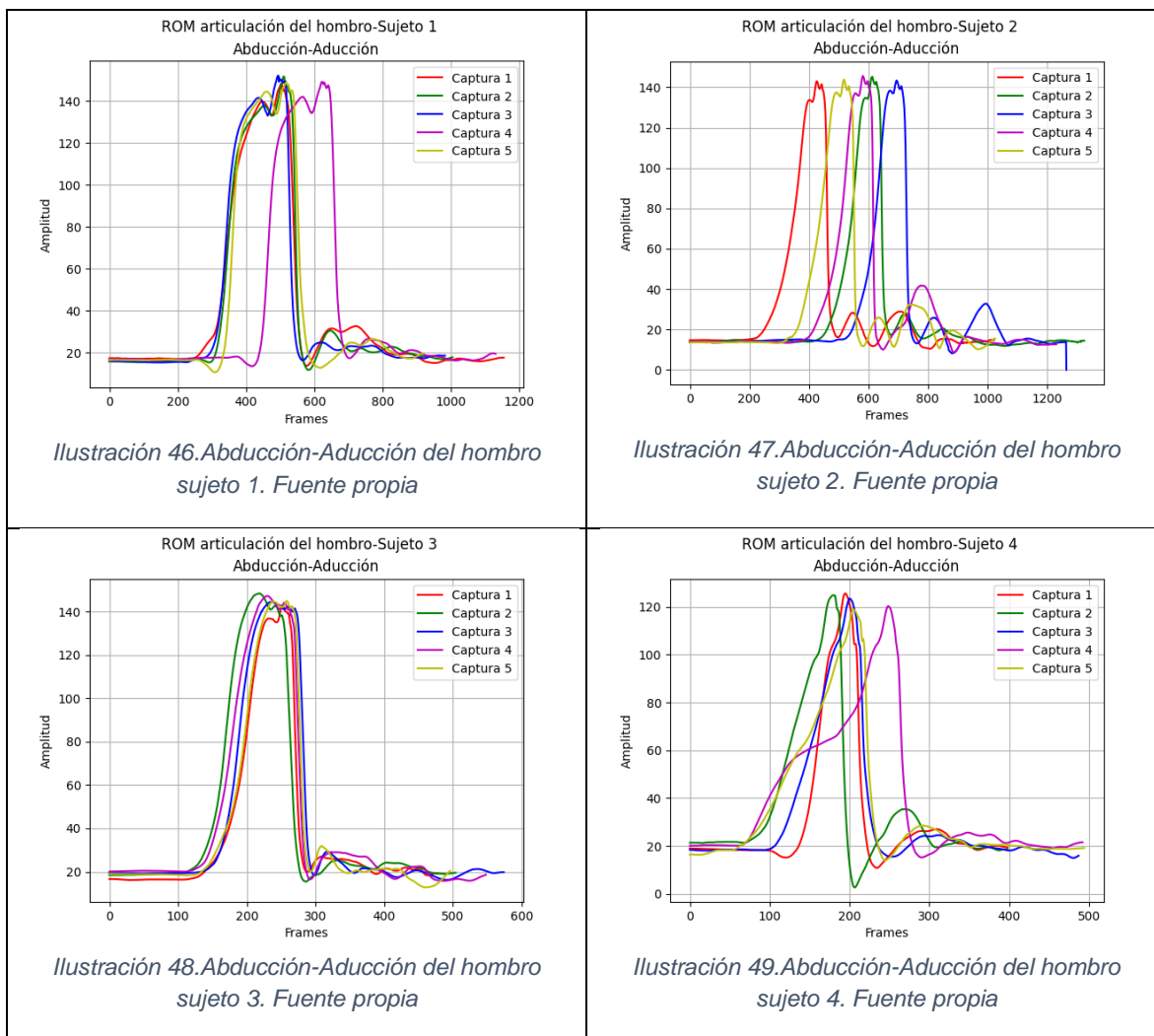
Por otro lado, en las ilustraciones 46, 47, 48 y 49, se muestran el rango de movimiento (ROM) de los sujetos en la abducción-aducción del hombro de todo el registro. En donde se evidencia que la abducción es el movimiento dominante durante el gesto y se presenta el mayor grado de abducción justo cuando la articulación del codo se encuentra sobrepasando a la articulación del hombro en el planto posterior.

Para este movimiento, es posible evidenciar en las ilustraciones 46, 47 y 48 que corresponder a los sujetos 1,2 y 3, respectivamente, un patrón en el movimiento y se guarda relación en la amplitud.

En términos observacionales, el contacto con el balón se da justo en la segunda cresta de la onda y relacionándolo con el movimiento de extensión, el brazo se encuentra en la fase de aceleración y al impactar el balón se desacelera y el brazo sigue su trayectoria.



Así pues, al comparar el ROM del sujeto 4 mostrado en la ilustración 49, se evidencian grandes diferencias con el ROM de los otros sujetos, pero una similitud entre sus propios registros, esto se debe a que independientemente de conocer la técnica el brazo busca ejecutar el movimiento natural luego de mantener un extensión y abducción.

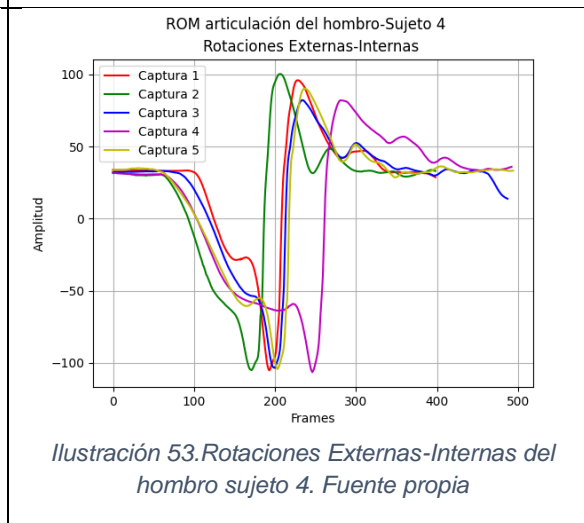
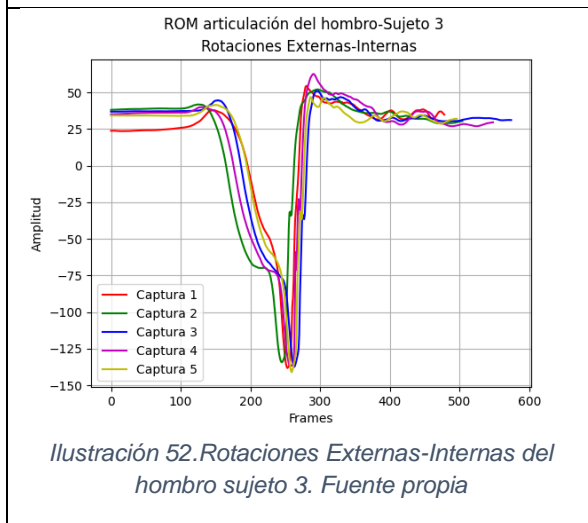
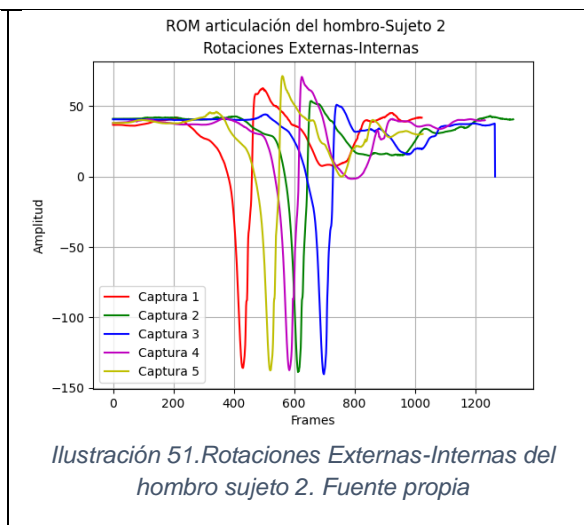
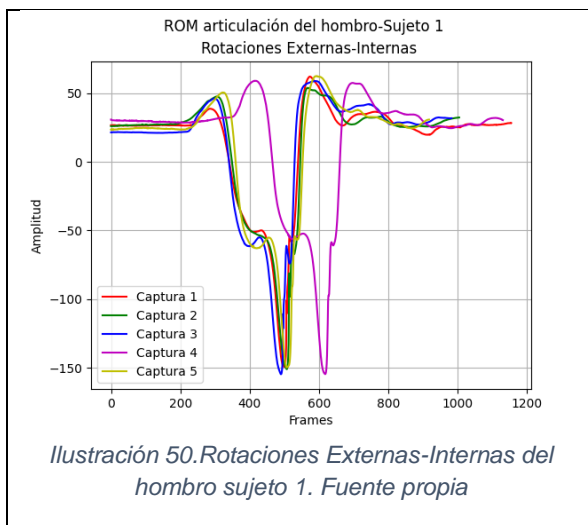


En las ilustraciones 50, 51, 52 y 53, se muestran el rango de movimiento (ROM) de los sujetos en las rotaciones externas-internas del hombro de todo el registro.

Es importante mencionar que tridimensionalmente, las rotaciones externas- internas del hombro se evidencian en el eje z, es por lo que las trayectorias y ángulos del movimiento se evidencian con valores negativos.

Para este movimiento, el ángulo mayor se da justo en el momento en el que el codo se encuentra más anterior que el hombro, en esta etapa de aceleración justo antes de impactar el balón. Por otro lado, el valle menor se da justo en el impacto al balón.

En este momento, es donde mayor cuidado se debe tener pues el golpe al balón tiene una consecuencia y reacción sobre el brazo y sus estructuras. Es justo por la repetición e impacto del movimiento que las articulaciones de hombro y codo deben estar lo mayor estables posibles para contrarrestar dichas fuerzas y/o vibraciones externas.



#### 6.4.2. Rango de movimiento articular – Articulación del codo

En las ilustraciones 54, 55, 56 y 57, se muestran el rango de movimiento (ROM) de los sujetos en la flexión-extensión del codo de todo del gesto deportivo.

Esta articulación de tipo bisagra solo permite el movimiento de flexión-extensión, pero es de gran importancia durante la ejecución del gesto, pues la fuerza generada por los músculos de articulación del hombro debe ser transmitida y la articulación del codo tiene lugar en esta función.

En el gesto, se evidencia una predominancia de la flexión del codo y su mayor ángulo de flexión se da cuando la articulación del codo se encuentra sobrepasando a la articulación del hombro en el planto posterior. En este momento, se presenta el mayor ángulo de flexión del codo y a su vez el mayor ángulo de abducción del hombro.

Nuevamente es posible apreciar que el ROM del sujeto 4 mostrado en la ilustración 57, presenta una alta variabilidad en la realización del gesto en comparación con el ROM del sujeto 1,2 y 3 que por su naturaleza y entrenamiento en el deporte presentan mínima variabilidad entre sus registros y existen una pequeña diferencia en el patrón del movimiento.

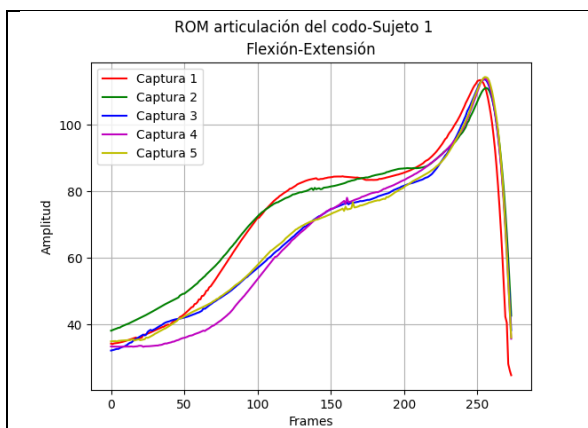


Ilustración 54. Flexión-Extensión del codo sujeto 1.  
Fuente propia

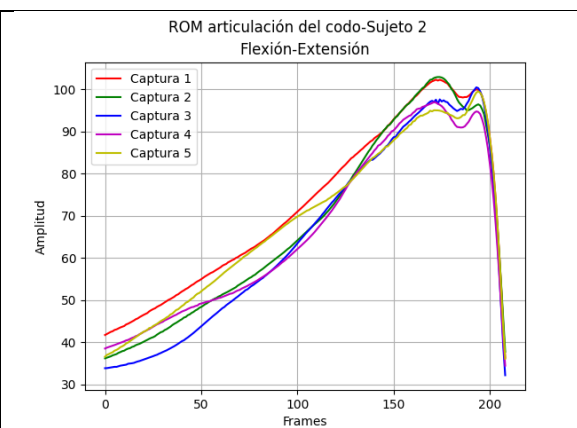


Ilustración 55. Flexión-Extensión del codo sujeto 2.  
Fuente propia

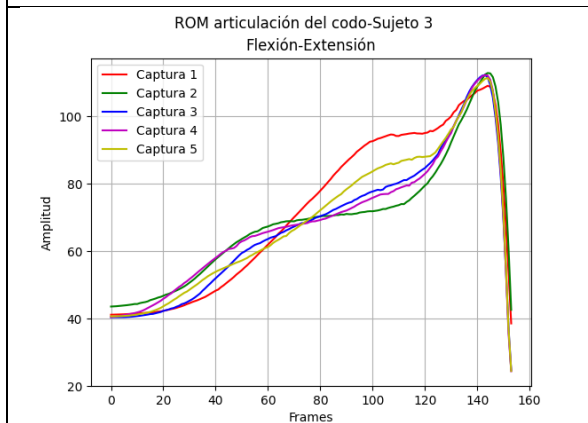


Ilustración 56. Flexión-Extensión del codo sujeto 3.  
Fuente propia

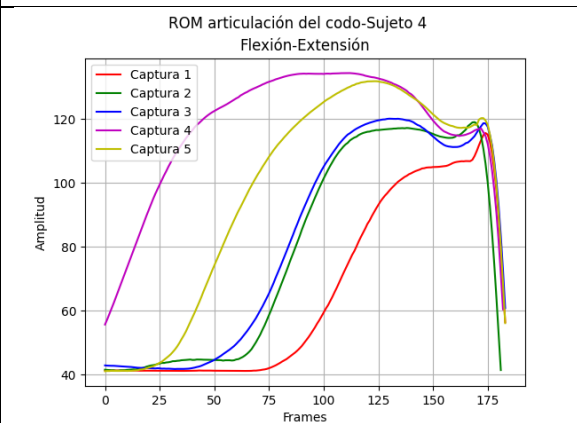


Ilustración 57. Flexión-Extensión del codo sujeto 4.  
Fuente propia

## 6.5. Análisis dinámico

Al igual que para el análisis cinemático, se desarrolló un algoritmo para obtener la señal de electromiografía de superficie y calcular el valor RMS de las señales obtenidas en los registros de los participantes.

Cada uno de los sujetos realizó diez (10) repeticiones del gesto por lo que se tienen diez (10) registros por cada uno, de los cuales se utilizaron cinco (5) registros para realizar el análisis dinámico y estadístico.

En la tabla 4, se muestran los resultados estadísticos obtenidos de acuerdo con el valor RMS de los voltajes de cada músculo evaluado.

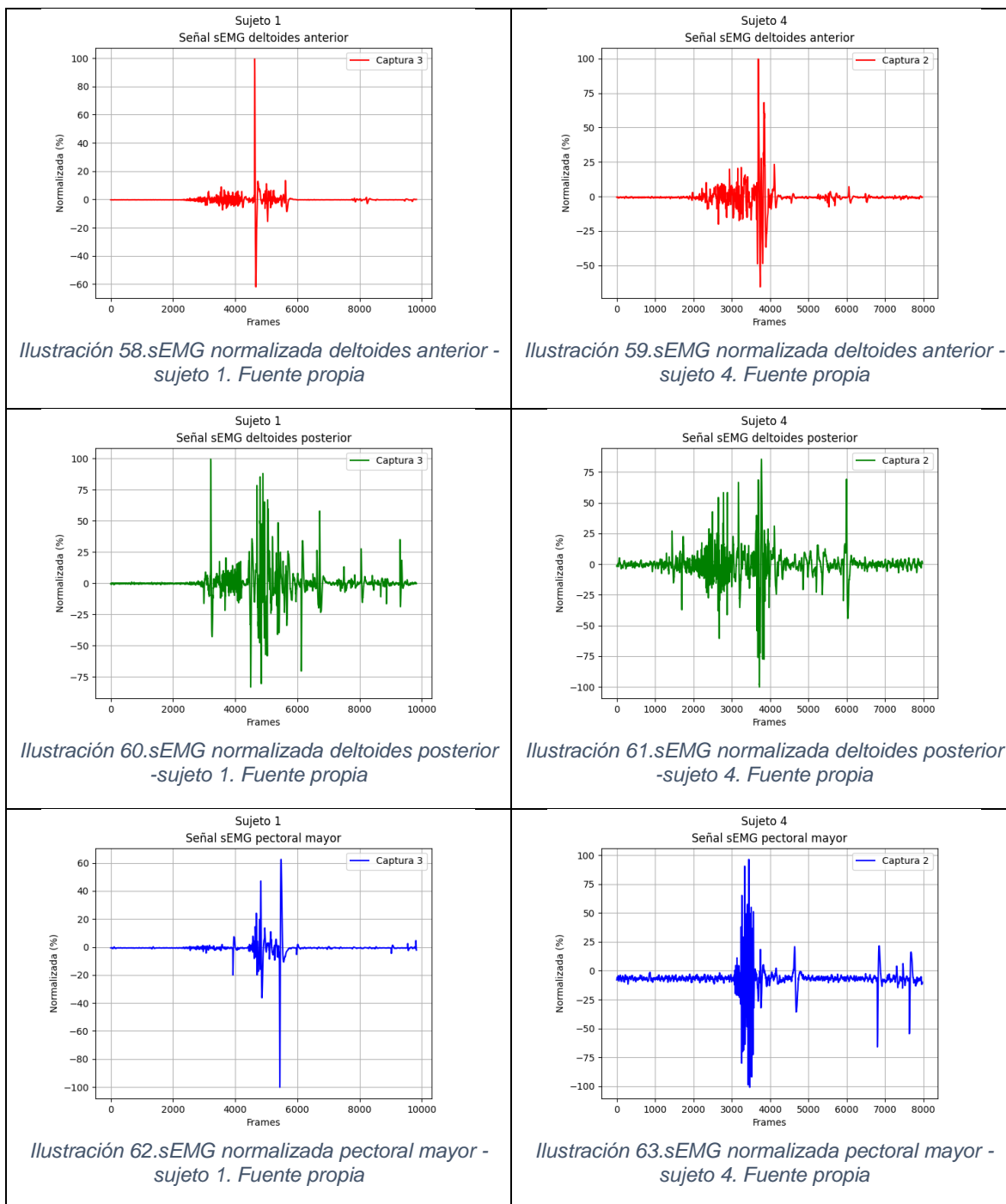
Tabla 4. Resultados estadísticos del análisis dinámico de los músculos. Fuente propia

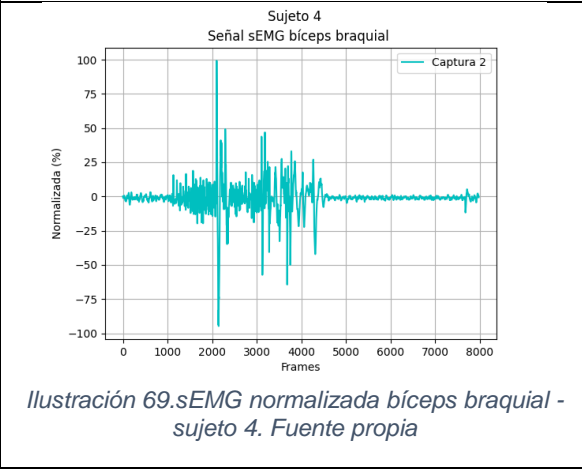
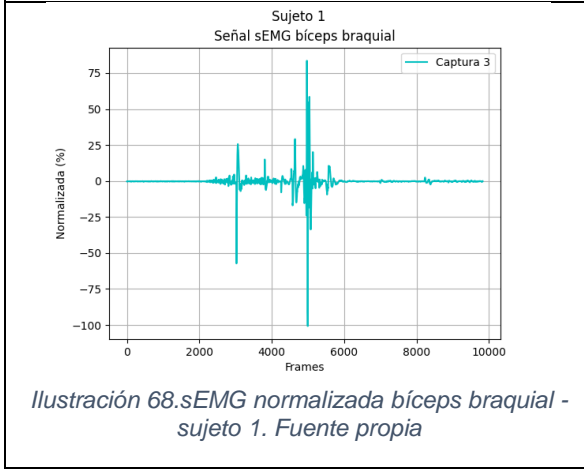
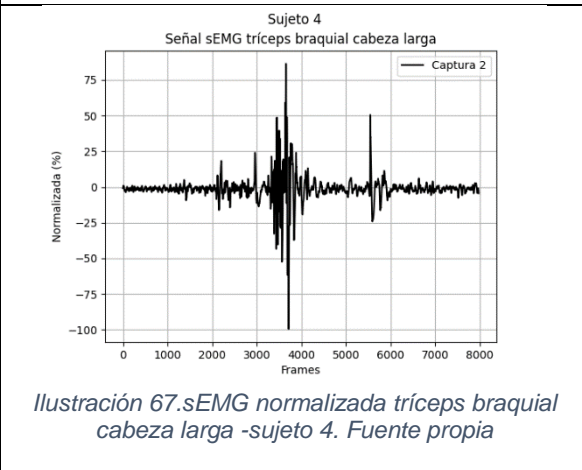
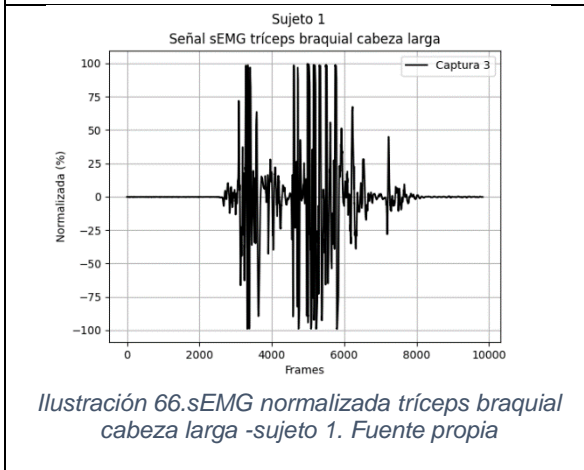
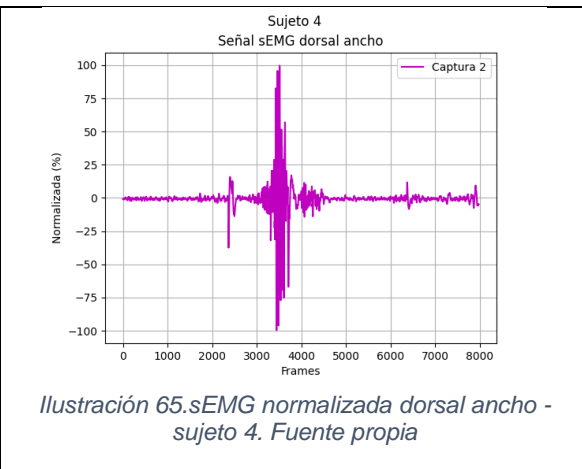
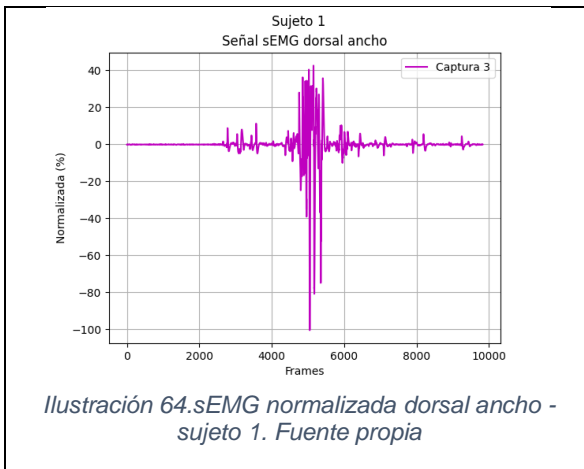
			Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4
<b>VALOR RMS</b>	Deltoides anterior	Máximo	0,6328	0,2047	0,1836	0,3661
		Mínimo	0,1155	0,1574	0,1287	0,2288
		Promedio	<b>0,4 ± 0,25</b>	0,17 ± 0,01	0,14 ± 0,02	<b>0,30 ± 0,05</b>
	Deltoides posterior	Máximo	0,2159	0,1027	0,1827	0,1617
		Mínimo	0,0826	0,0782	0,1222	0,0937
		Promedio	0,17 ± 0,05	0,08 ± 0,01	0,15 ± 0,02	0,12 ± 0,02
	Pectoral mayor	Máximo	0,4096	0,1399	0,9299	0,084
		Mínimo	0,1148	0,0783	0,3513	0,0689
		Promedio	0,27 ± 0,14	0,10 ± 0,02	<b>0,67 ± 0,23</b>	0,07 ± 0,00
	Dorsal ancho	Máximo	1,126	19,725	0,9889	0,1389
		Mínimo	0,0909	16,183	0,3163	0,0898
		Promedio	<b>0,49 ± 0,43</b>	<b>17,67 ± 1,33</b>	<b>0,78 ± 0,27</b>	0,11 ± 0,01
	Tríceps braquial cabeza larga	Máximo	3,508	0,2404	0,5619	0,1976
		Mínimo	2,926	0,175	0,0982	0,108
		Promedio	<b>3,21 ± 0,24</b>	<b>0,21 ± 0,02</b>	<b>0,24 ± 0,19</b>	0,13 ± 0,03
Bíceps braquial	Máximo	0,6167	0,3429	0,1463	0,2582	
	Mínimo	0,3785	0,1942	0,0593	0,0775	
	Promedio	0,51 ± 0,1	<b>0,25 ± 0,08</b>	0,09 ± 0,03	<b>0,15 ± 0,07</b>	

Es importante mencionar que los voltajes obtenidos de la actividad muscular se encuentran en una escala de milivoltios, el canal análogo de los sensores midió las señales en escala de voltios y por tanto sus valores RMS son pequeños, por lo que se decide multiplicar todas las variables obtenidas por una constante de 1000.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis cinemático, se observa que los sujetos 1 y 3 presentan una mayor experticia y madurez en el gesto deportivo en

comparación con los sujetos 2 y 4. A continuación, se presentan las curvas normalizadas de la actividad muscular de los músculos específicos para el sujeto 1 y el sujeto 4.





Es relevante destacar que, aunque las señales están normalizadas, no se pueden comparar directamente entre sujetos debido a que se requiere un procesamiento adicional para llevar a cabo la normalización sobre el eje longitudinal.

En el caso del sujeto 1, se observa una mayor actividad en el deltoides posterior, el cual participa en los rangos de movimiento del hombro. Asimismo, durante el movimiento de

flexión y extensión del codo, se evidencia una mayor actividad muscular en el tríceps braquial de cabeza larga.

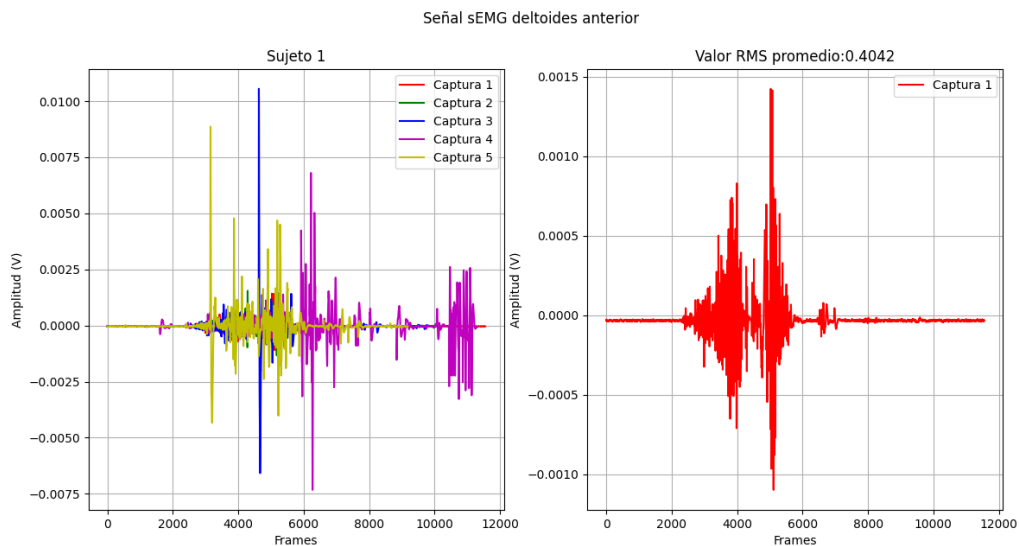
Para el sujeto 4, quien no está familiarizado con la técnica del gesto, se observó una actividad muscular en los 6 músculos igual o mayor al 75%. Esto puede indicar que debido a la naturaleza de su deporte (lucha olímpica), el sujeto presenta una elevada actividad muscular que se relaciona con sus condiciones físicas y su somatotipo (mesoformo balanceado).

El valor RMS o raíz media cuadrática de la señal es el voltaje eficaz y es utilizado para dar una aproximación a un valor constante para señales de corriente alterna y este valor no depende de la frecuencia en señales de corriente alterna.

Se agruparon los resultados de acuerdo con los grupos musculares, es por lo que en las ilustraciones mostradas a continuación se muestran los cinco (5) registros de sEMG por cada participante y el primer registro del grupo muscular junto con el valor RMS promedio. En las ilustraciones 70, 71, 72 y 73, se observan las señales de sEMG del deltoides anterior obtenidas durante la realización del gesto deportivo.

Es posible evidenciar que la activación es prolongada y esto se debe a que se encuentra presente en el movimiento de flexión rotaciones internas de hombro y abducción, por lo que su actividad eléctrica se encuentra durante la fase de cargue del brazo y aceleración.

El sujeto 1, presentó el mayor valor RMS.



Señal sEMG deltoides anterior

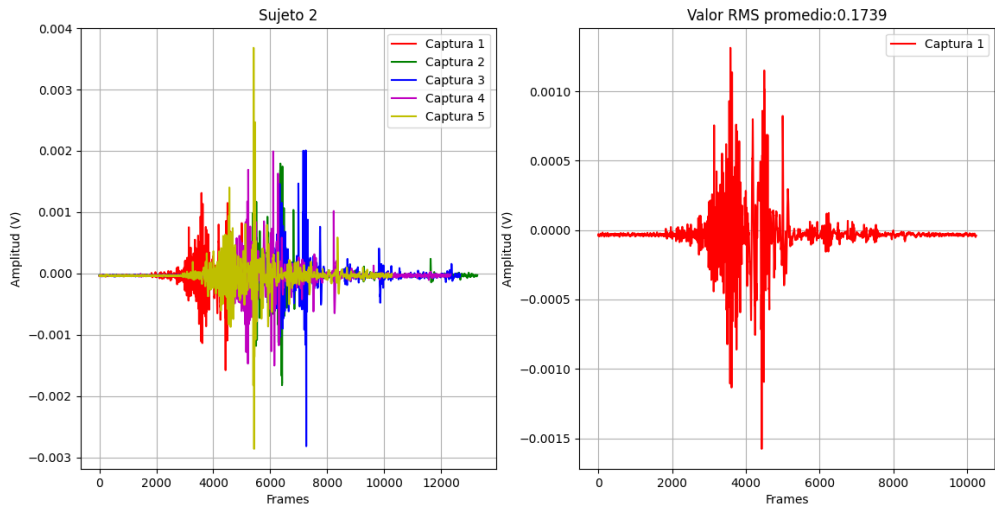


Ilustración 71. Señal sEMG deltoides anterior sujeto 2. Fuente propia

Señal sEMG deltoides anterior

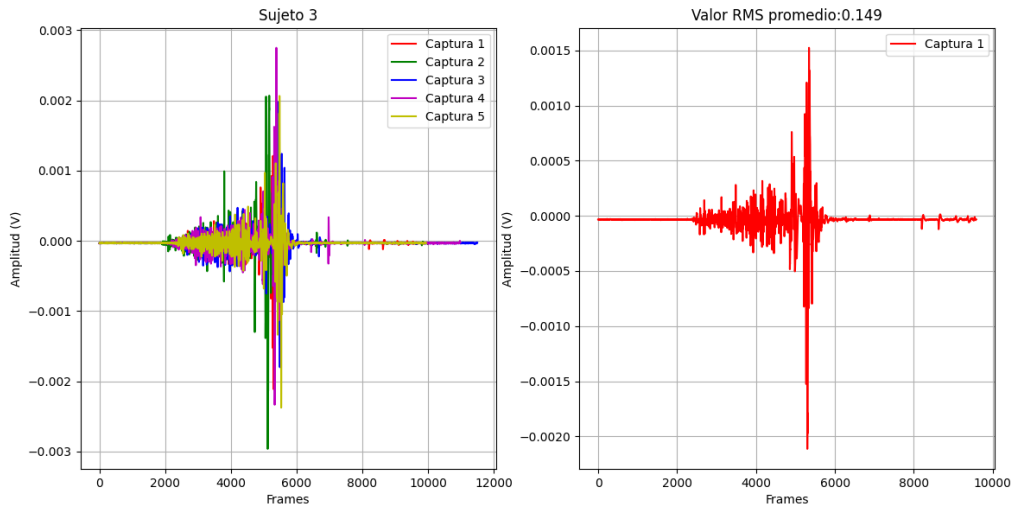


Ilustración 72. Señal sEMG deltoides anterior sujeto 3. Fuente propia



Señal sEMG deltoides anterior

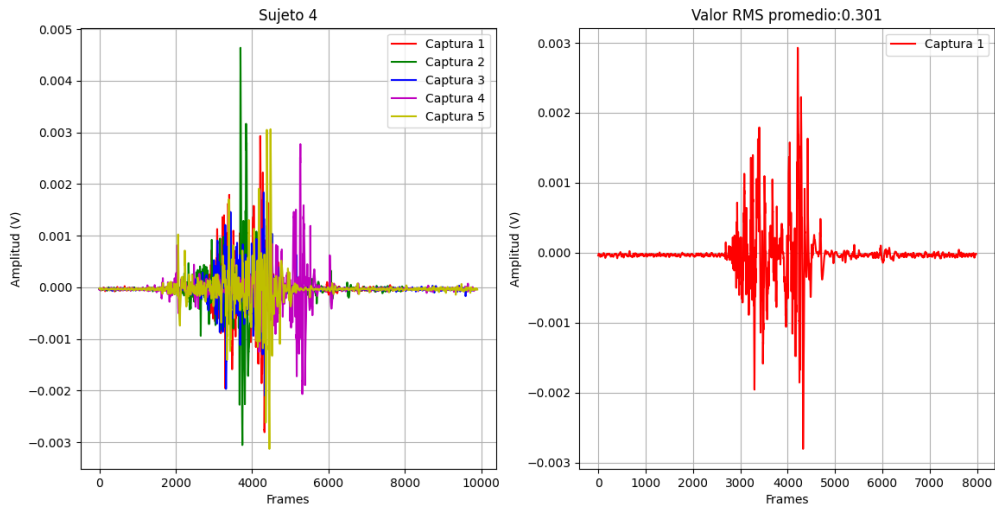


Ilustración 73. Señal sEMG deltoides anterior sujeto 4. Fuente propia

En las ilustraciones 74, 75, 76 y 77, se observan las señales de sEMG del deltoides posterior obtenidas durante la realización del gesto deportivo.

La activación de este músculo se da en pocos instantes del gesto, pues su participación no es tan activa como la del deltoides anterior, este se encuentra presente en el movimiento de extensión y rotaciones externas de hombro y abducción, por lo que su actividad eléctrica se encuentra predominando en la abducción del hombro.

Los valores de RMS arrojados por los sujetos son mínimos, y nuevamente el sujeto 1 presentó el mayor valor RMS.

Señal sEMG deltoides posterior

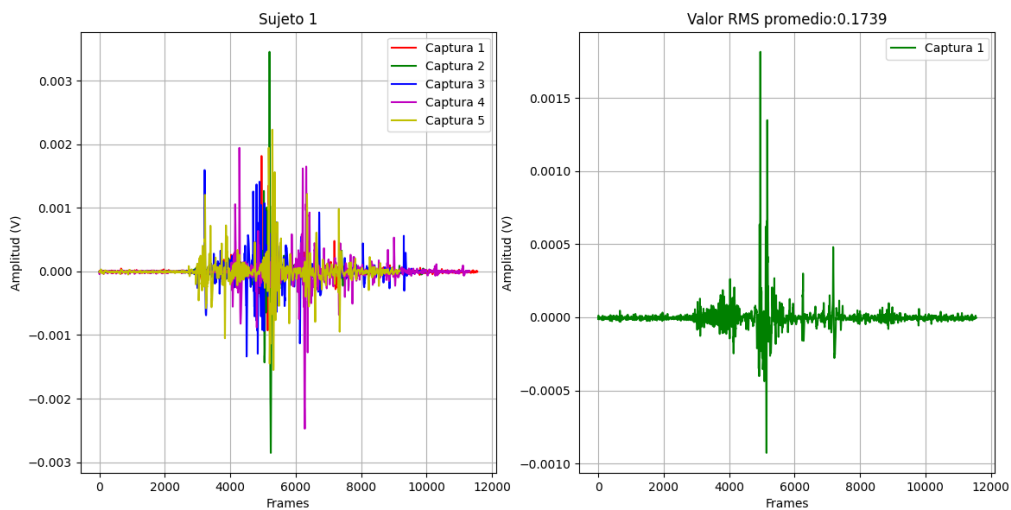


Ilustración 74. Señal sEMG deltoides posterior sujeto 1. Fuente propia

Señal sEMG deltoides posterior

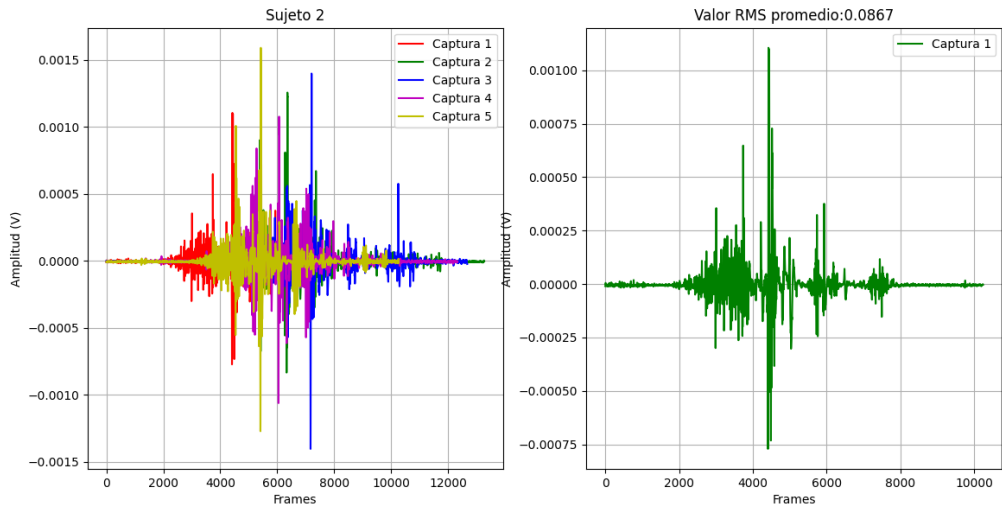


Ilustración 75. Señal sEMG deltoides posterior sujeto 2. Fuente propia

Señal sEMG deltoides posterior

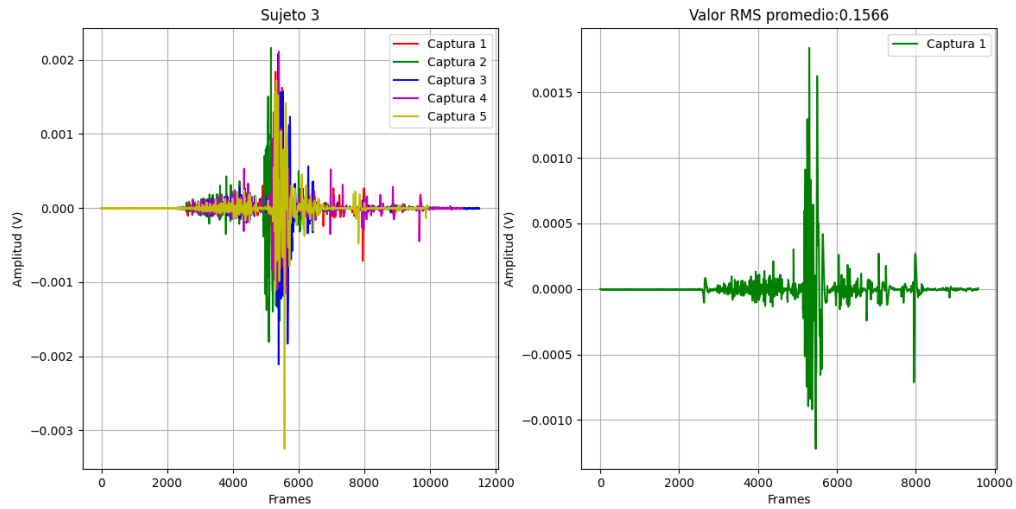


Ilustración 76. Señal sEMG deltoides posterior sujeto 3. Fuente propia

Señal sEMG deltoides posterior

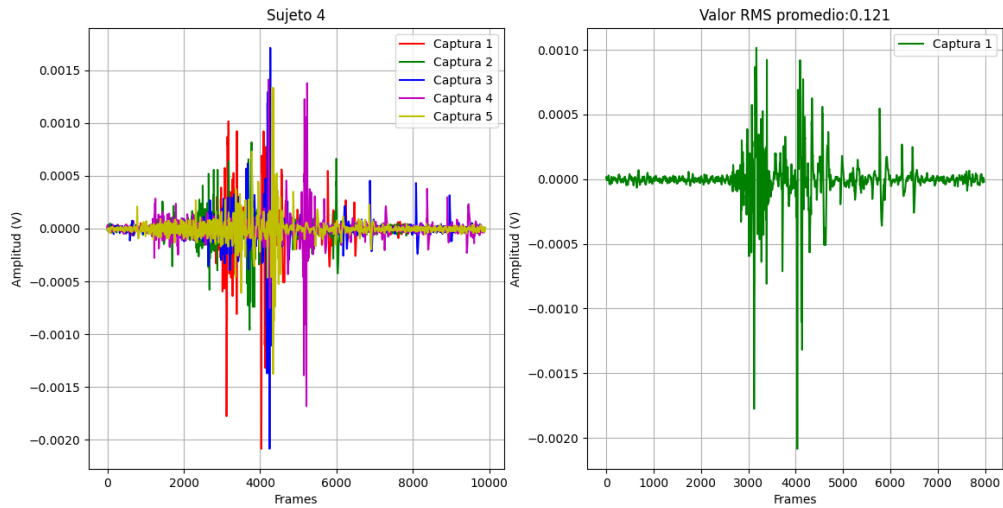


Ilustración 77. Señal sEMG deltoides posterior sujeto 4. Fuente propia

En las ilustraciones 78, 79, 80 y 81, se observan las señales de sEMG del pectoral mayor obtenidas durante la realización del gesto deportivo.

En donde se aprecia que la activación de este musculo no es tan larga ni amplia, este se encuentra presente en movimientos de aducción, rotaciones internas y flexión del hombro. Así pues, su actividad eléctrica no es tan importante y no tiene gran contribución al gesto deportivo.

Los valores de RMS arrojados por los sujetos también son mínimos, y para este musculo el sujeto 3 presentó el mayor valor RMS.

Señal sEMG pectoral mayor

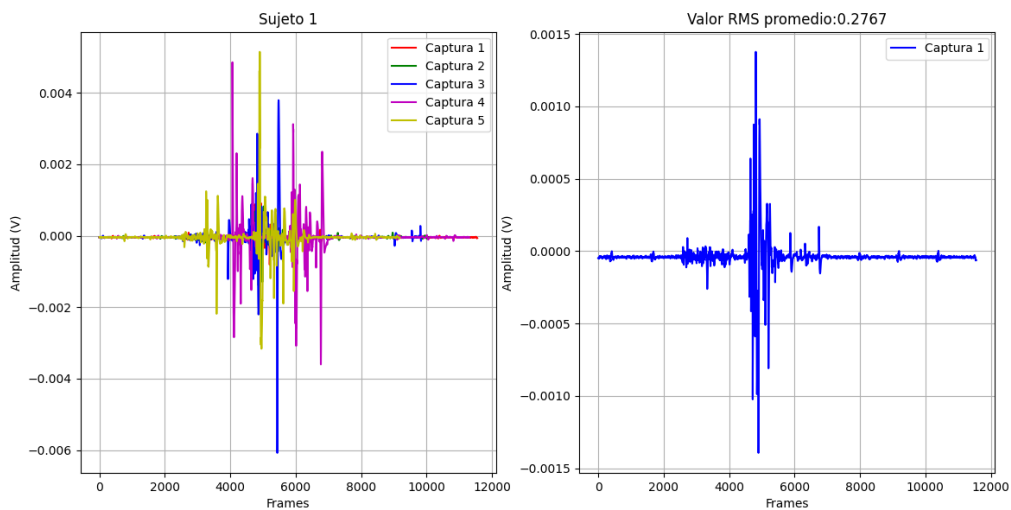


Ilustración 78. Señal sEMG pectoral mayor sujeto 1. Fuente propia

Señal sEMG pectoral mayor

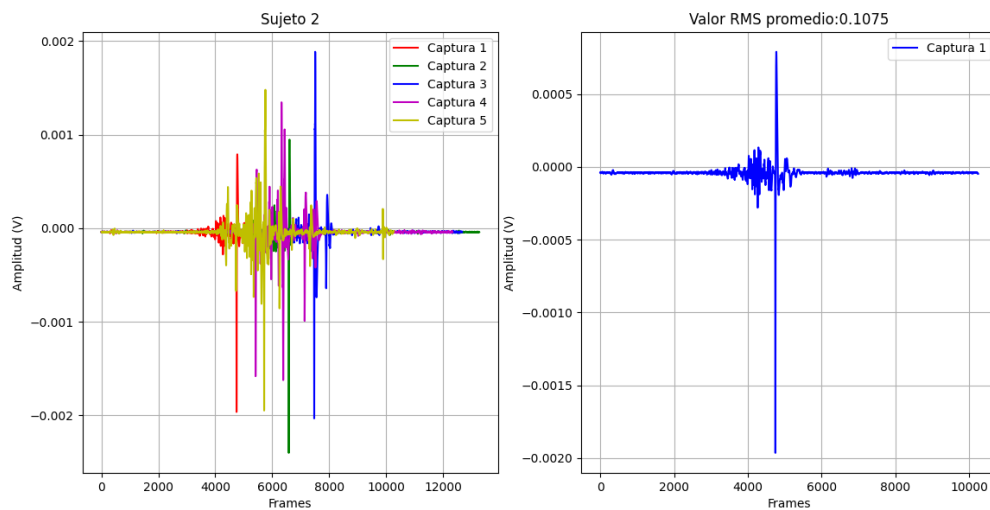


Ilustración 79. Señal sEMG pectoral mayor sujeto 2. Fuente propia

Señal sEMG pectoral mayor

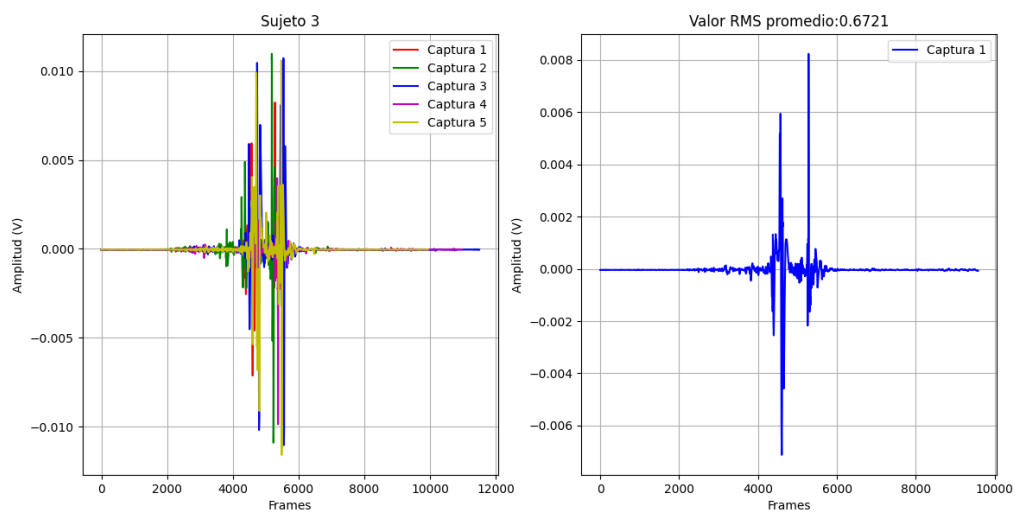


Ilustración 80. Señal sEMG pectoral mayor sujeto 3. Fuente propia

Señal sEMG pectoral mayor

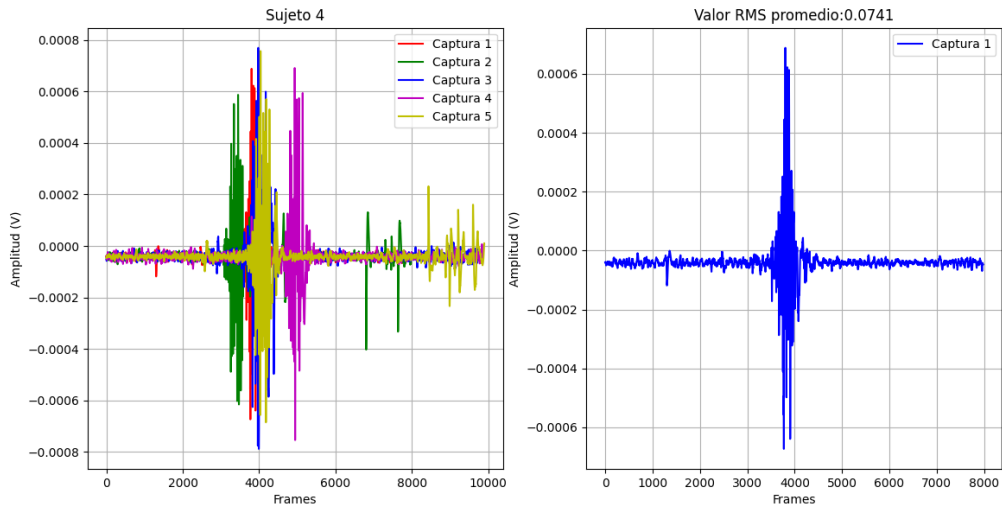


Ilustración 81. Señal sEMG pectoral mayor sujeto 4. Fuente propia

En las ilustraciones 82, 83, 84 y 85, se observan las señales de sEMG del dorsal ancho obtenidas durante la realización del gesto deportivo.

Al igual que el deltoides anterior, este músculo participa en la extensión, rotaciones internas y aducción del hombro, por lo tanto, su activación contribuye a la realización del gesto especialmente por la extensión del hombro.

Este fue uno de los músculos que mayor valor RMS tuvo en los sujetos 1, 2 y 3; quienes son las deportistas de voleibol arena. Para este caso, el sujeto 3 presentó el mayor valor RMS.

Señal sEMG dorsal ancho

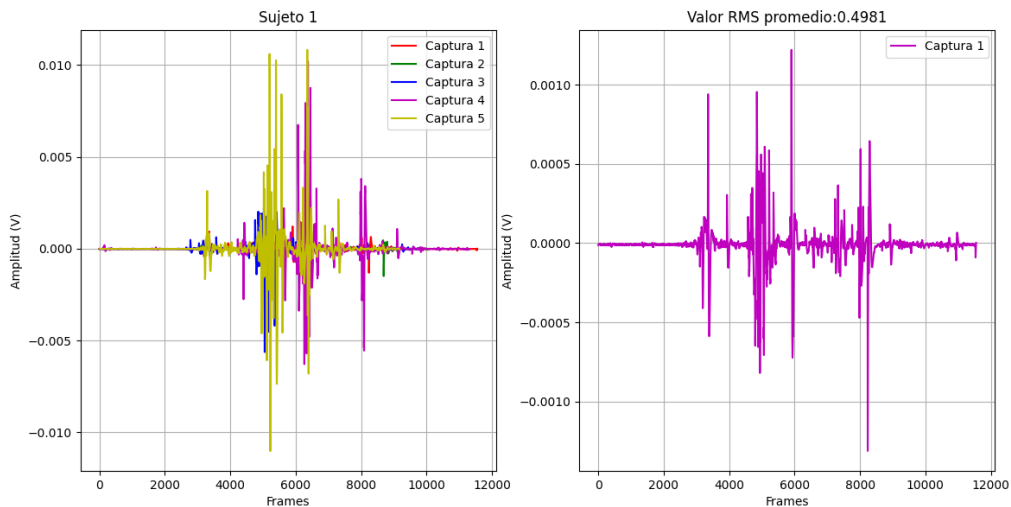


Ilustración 82. Señal sEMG dorsal ancho sujeto 1. Fuente propia

Señal sEMG dorsal ancho

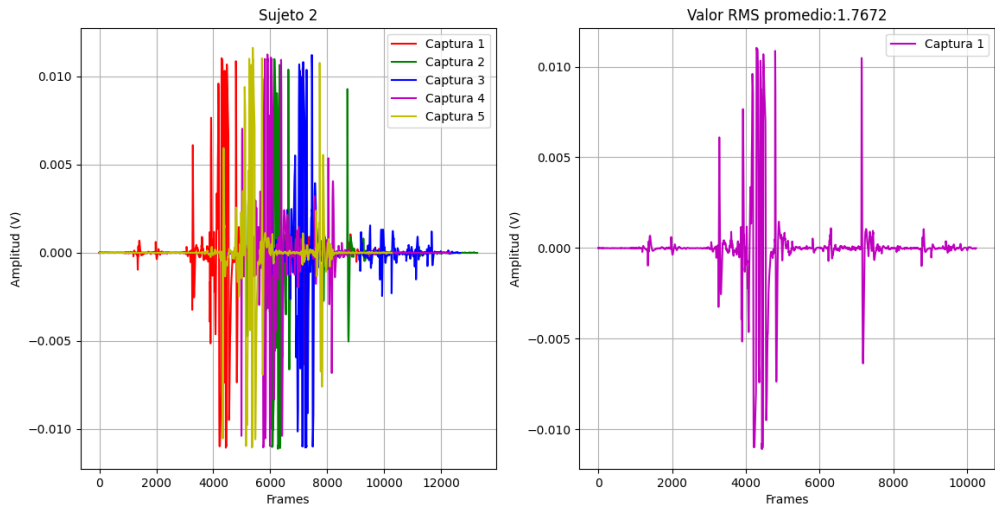


Ilustración 83. Señal sEMG dorsal ancho sujeto 2. Fuente propia

Señal sEMG dorsal ancho

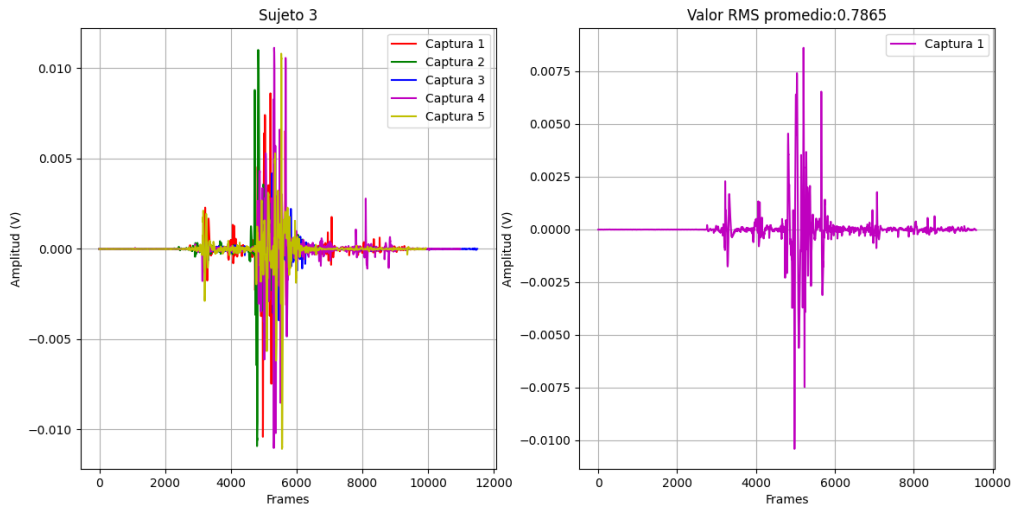
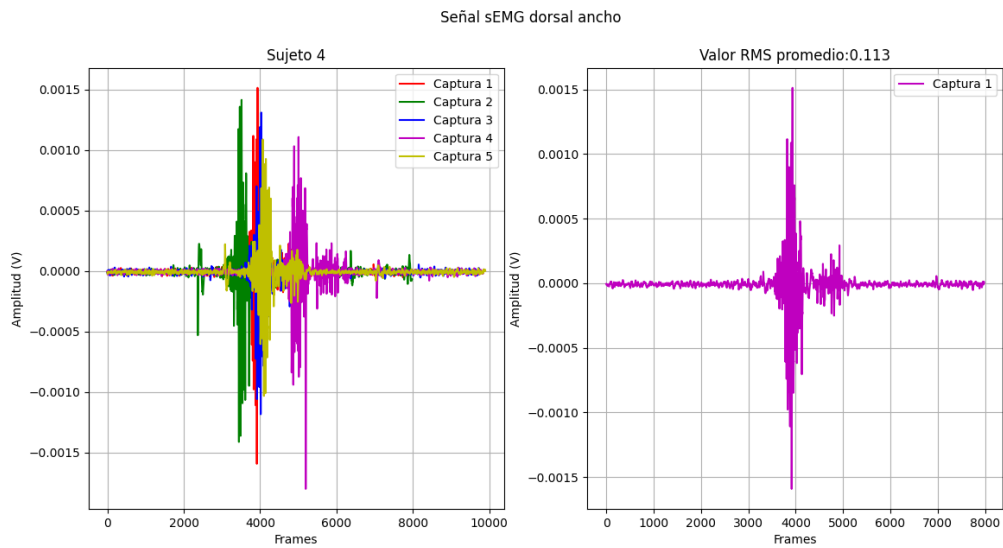


Ilustración 84. Señal sEMG dorsal ancho sujeto 3. Fuente propia

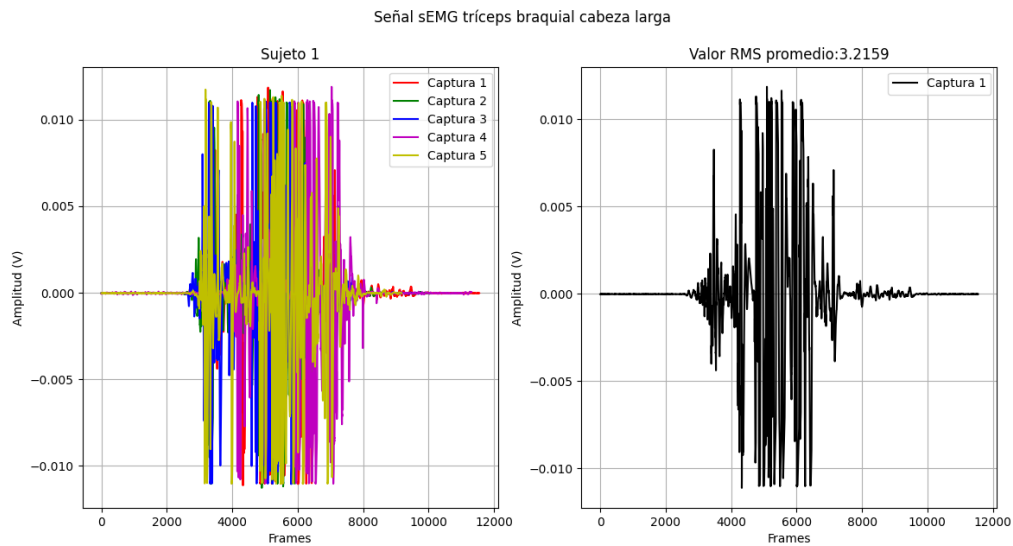


*Ilustración 85. Señal sEMG dorsal ancho sujeto 4. Fuente propia*

En las ilustraciones 86, 87, 88 y 89, se observan las señales de sEMG del tríceps braquial cabeza larga obtenidas durante la realización del gesto deportivo.

Este músculo participa en la extensión del codo, extensión y aducción del brazo, por lo que se esperaba una participación considerable durante la realización del gesto.

Específicamente este músculo tuvo una gran variación entre las participantes, y es posible observar que solo el sujeto 1 logró tener una gran activación del músculo a lo largo del registro.



*Ilustración 86. Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga sujeto 1. Fuente propia*

Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga

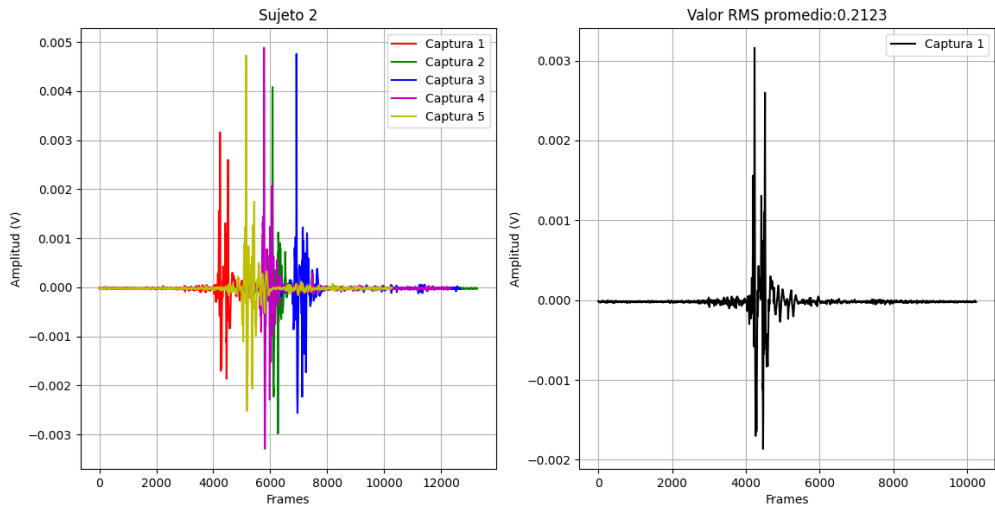


Ilustración 87. Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga sujeto 2. Fuente propia

Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga

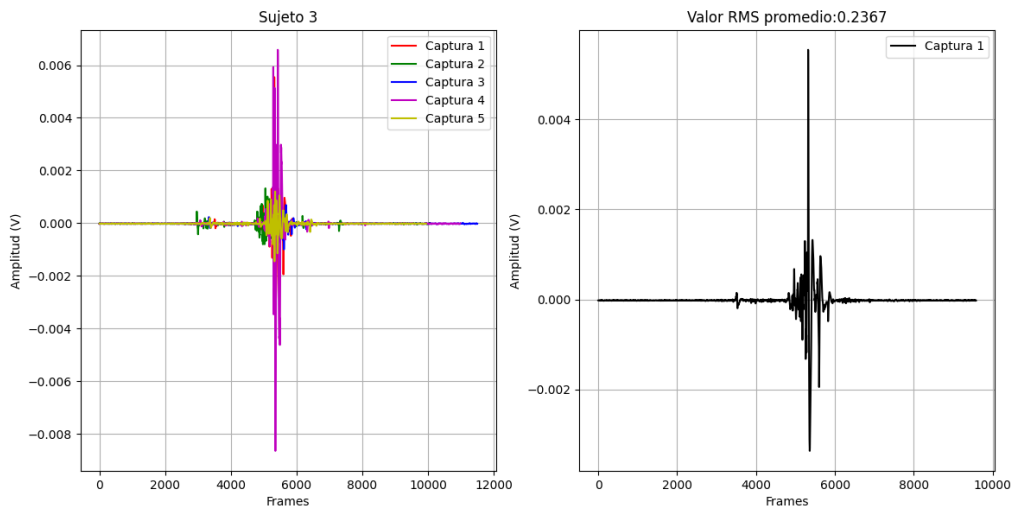


Ilustración 88. Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga sujeto 3. Fuente propia



Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga

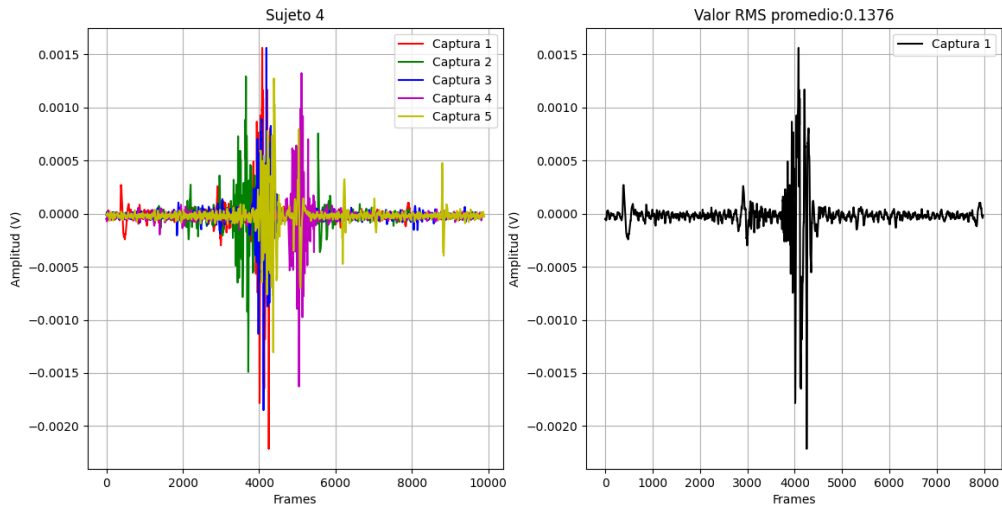


Ilustración 89. Señal sEMG tríceps braquial cabeza larga sujeto 4. Fuente propia

Por último, en las ilustraciones 90, 91, 92 y 93, se observan las señales de sEMG del bíceps braquial obtenidas durante la realización del gesto deportivo.

Este músculo participa en la flexión del codo, abducción, aducción y rotaciones internas del hombro. Al igual que el tríceps, se esperaba que su actividad estuviese en gran parte del gesto, pero solo se evidencia un valor RMS alto en el sujeto 1 y 2 pero la activación solo se da en un instante.

Señal sEMG bíceps braquial

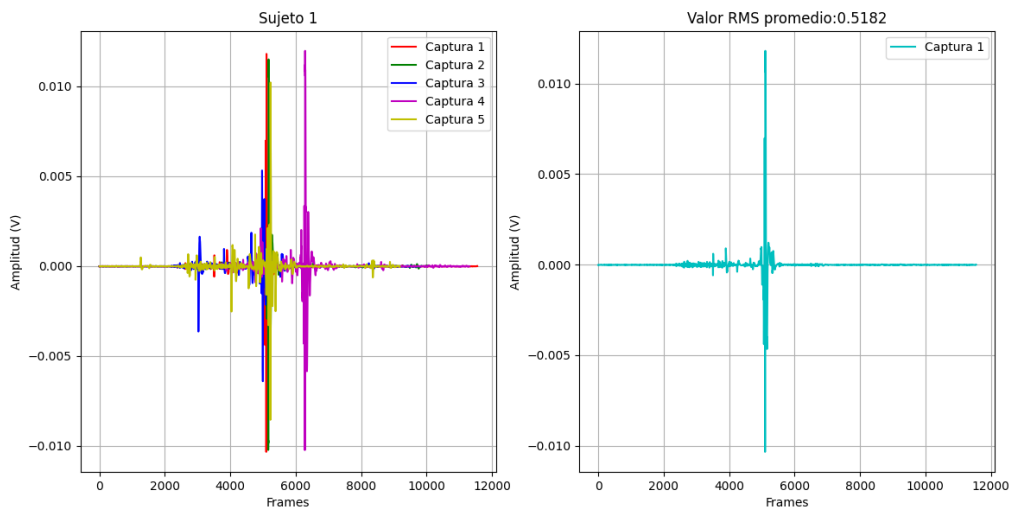


Ilustración 90. Señal sEMG bíceps braquial sujeto 1. Fuente propia

Señal sEMG bíceps braquial

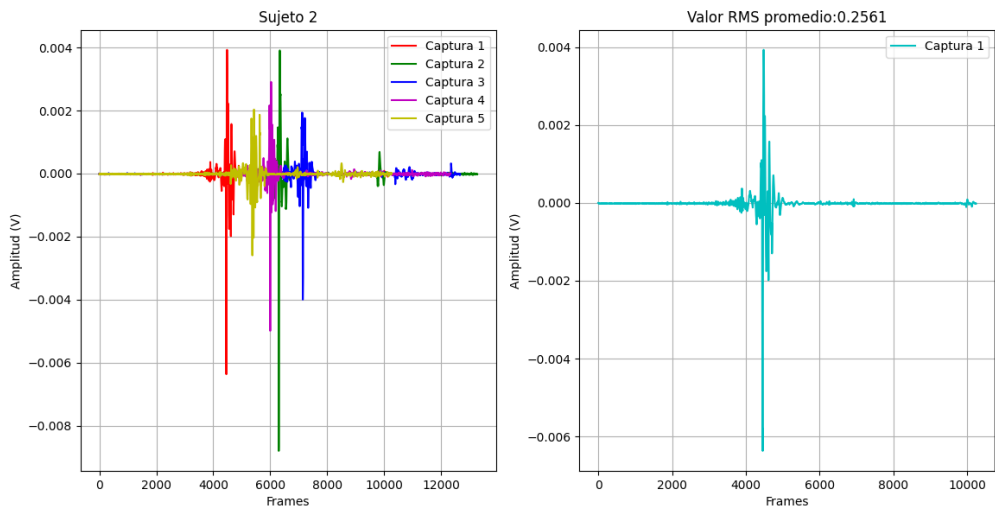


Ilustración 91. Señal sEMG bíceps braquial sujeto 2. Fuente propia

Señal sEMG bíceps braquial

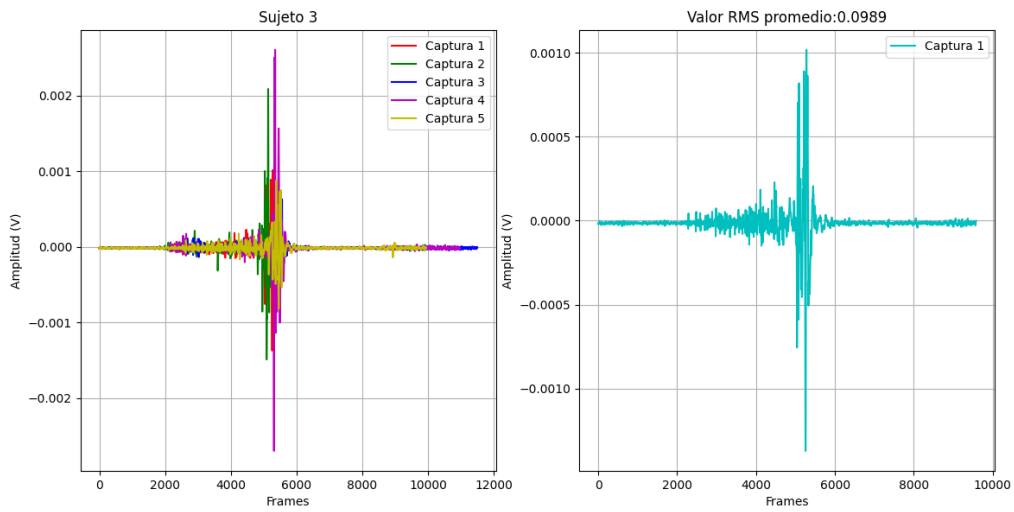


Ilustración 92. Señal sEMG bíceps braquial sujeto 3. Fuente propia

Señal sEMG bíceps braquial

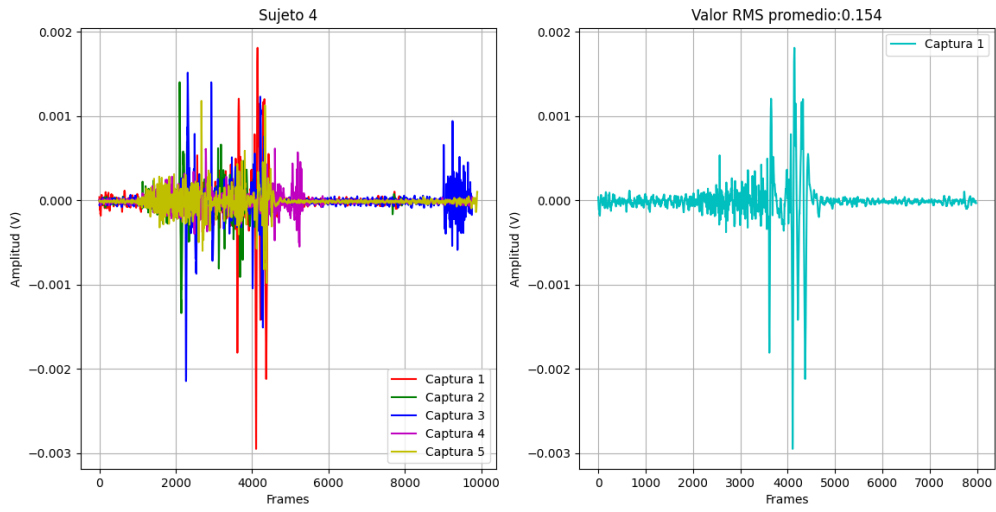


Ilustración 93. Señal sEMG bíceps braquial sujeto 4. Fuente propia

## 7. DISCUSIÓN

Para el presente trabajo, se planteó la caracterización biomecánica del gesto de remate en deportistas de voleibol de arena sin carrera de impulso, lo cual representa un primer acercamiento a este gesto específico con la limitación de movimiento en las extremidades inferiores. Los resultados obtenidos permitieron identificar patrones en las curvas características del rango de movimiento de flexión-extensión del hombro y codo, así como en la abducción-aducción y rotaciones externas-internas del hombro.

Estos patrones biomecánicos tienen una base sólida y coherente, ya que existe una relación entre la asimilación neuromotora del sistema de activación por parte del cerebro, lo que permite que una persona entrenada y familiarizada con el deporte o gesto pueda realizar movimientos precisos y sincronizados. Esto se refleja en la reducida variabilidad de las curvas, lo cual indica un mayor grado de experiencia en los deportistas analizados (sujeto 1 y sujeto 3). Estos hallazgos resaltan la importancia del entrenamiento y la familiarización con el gesto específico en el rendimiento biomecánico y la ejecución técnica en el voleibol de arena.

Además de identificar los patrones mencionados anteriormente, el análisis se destaca por las comparaciones realizadas con el sujeto 4. Sus rangos de movimientos difieren por completo, y se observa imprecisión, desincronización y alta variabilidad en sus curvas. Estos hallazgos resaltan la importancia de la experiencia y el entrenamiento específico en el gesto de remate, ya que los deportistas más experimentados exhibieron una ejecución más precisa y consistente en comparación con el sujeto 4, que no está familiarizado con la técnica del gesto ni el deporte en cuestión.

En el análisis de los rangos de movimiento articular para el sujeto 1, quien es considerado como referencia debido a su experiencia en el deporte, se obtienen los siguientes resultados: en el plano sagital, se presenta un rango de movimiento de  $(-14^\circ / 72.5^\circ)$  en flexión-extensión del hombro, mientras que en el plano frontal se registra un rango de  $(14.5^\circ / 152^\circ)$  en abducción-aducción del hombro. Por otro lado, en el plano sagital se evidencia un rango de  $(-58^\circ / 155^\circ)$  en rotaciones externa-interna del hombro, y en el mismo plano sagital, el rango es de  $(21^\circ / 114^\circ)$  en flexión-extensión del codo. Estos valores proporcionan una clara descripción de la amplitud de movimiento que el sujeto 1 puede alcanzar en cada articulación analizada durante el gesto de remate.

En uno de los artículos de base para este estudio, se muestra que el remate en el voleibol presenta una hiperextensión del hombro con un ángulo de  $-64 \pm 16$ , en los resultados obtenidos se tiene que el 50% de los sujetos participantes de la prueba presentaron ángulos de extensión del hombro mayores a  $60^\circ$ . La flexión del codo se encuentra  $117 \pm 9$ , de los resultados obtenidos el 100% de los sujetos presentaron ángulos de extensión mayores a  $100^\circ$ . Esto permite establecer una relación positiva y coherente en la caracterización biomecánica. Es importante resaltar que, en los artículos previos, el gesto se realiza de

forma completa incluyendo la carrera de impulso o aproximación y el salto. Sin embargo, en nuestro estudio, al analizar únicamente la acción de los miembros superiores, se pueden obtener resultados específicos sobre la participación de estas estructuras en la ejecución del gesto.

Por otra parte, al considerar el análisis dinámico realizado en estudios previos presentados en el estado del arte, se llega a la conclusión de que el deltoides anterior, infraespinoso y supraespinoso desempeñan un papel importante en la fase de preparación del gesto de remate. Es posible afirmar esto con base en los resultados obtenidos, ya que se observó que, en cada uno de los sujetos, el valor RMS de la actividad del deltoides anterior es mayor. Además, en el caso del sujeto 1, se destacó una mayor actividad del deltoides posterior, lo que indica su contribución significativa a la elevación del brazo durante el gesto de remate. Estos hallazgos concuerdan con los estudios previos y brindan una visión más completa sobre la participación muscular en la preparación de este movimiento deportivo.

## 8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

A partir del trabajo realizado, se evidencia que la muestra de sujetos participantes es reducida, compuesta por un grupo de tan solo cuatro (4) individuos, con un total de cuarenta (40) registros en la base de datos. Por lo tanto, se sugiere ampliar significativamente la cantidad de participantes para enriquecer y diversificar la información y la base de datos. Para lograr lo anteriormente mencionado, es recomendable y necesario incluir tanto deportistas de ambos géneros como de diferentes categorías. De esta manera, se podrán obtener conclusiones más sólidas y generalizadas que permitan un análisis más completo y exhaustivo de los datos recopilados.

Por otro lado, considero que para este trabajo habría sido interesante incluir la definición de más variables cinemáticas, como velocidades y aceleraciones, con el propósito de establecer relaciones entre estas magnitudes y su influencia en el gesto deportivo. Esto habría permitido una caracterización más detallada basada en las distintas subfases del gesto, ofreciendo así un análisis más completo y profundo de la participación de dichas variables en el movimiento.

Teniendo en cuenta el análisis dinámico mediante electromiografía de superficie (sEMG), resulta fundamental mejorar el procesamiento de las señales adquiridas. Para esto, es necesario aplicar filtros, rectificaciones y normalizaciones basadas en la máxima contracción voluntaria (MVC). Estos procedimientos permiten realizar comparaciones estandarizadas entre los sujetos y determinar con mayor precisión la contribución de los diferentes músculos en la ejecución del gesto deportivo, tanto en su totalidad como en sus subfases. Así, se obtendrán datos más confiables y significativos para el análisis de la participación muscular durante el movimiento deportivo.

Para mejorar el análisis de resultados, es necesario implementar un enfoque estadístico completo que permita identificar correlaciones entre las diferentes variables biomecánicas y antropométricas. Esto implica considerar no solo los datos cinemáticos y electromiográficos, sino también la información antropométrica y el somatotipo de cada sujeto. Al incluir estos datos adicionales, se podrán establecer relaciones significativas entre las características físicas de los participantes y su desempeño en el gesto deportivo. Esta integración de información proporcionará una visión fundamentada sobre los factores que influyen en el rendimiento deportivo, brindando información útil y de interés a entrenadores, fisioterapeutas, deportólogos, preparadores físicos y otros profesionales, quienes podrán tomar decisiones claras y efectivas para optimizar el entrenamiento y la técnica de los deportistas.

Por último, cabe resaltar el notable interés del entrenador de la liga de voleibol arena de Bogotá; quién estuvo presente y acompañando la realización de las pruebas, en seguir avanzando con este análisis con el objetivo de perfeccionar la técnica de las deportistas. Para ello, se plantea la posibilidad de implementar la caracterización del gesto completo en situaciones y ambiente real de la disciplina. Asimismo, se sugiere incluir una prueba de aciertos y errores como parte de la caracterización, lo cual permitiría una evaluación del desempeño de los deportistas en relación con la ejecución del gesto.

## 9. CONCLUSIONES

De las características evidenciadas, la cinemática de la articulación del hombro y codo son una muy buena guía para establecer patrones del gesto de remate pues fue posible evidenciar que el gesto deportivo se convierte en un gesto automatizado por el deportista, por tanto, puede funcionar como un criterio de evaluación de la técnica con el paso del tiempo. Como se pudo evidenciar en las ilustraciones del ROM del sujeto 4, sus movimientos son el claro ejemplo de que existen grandes diferencias en cuanto a la ejecución técnica y no técnica, en donde se evidencia que los ángulos articulares pueden guardar proporción en algunos momentos, pero la trayectoria del movimiento difiere en cuanto a forma.

En el análisis dinámico, es posible evidenciar que la activación muscular del deltoides anterior, dorsal ancho, tríceps braquial cabeza larga y bíceps braquial se encuentran en un valor RMS mayor en comparación con otros músculos. A esto se le agrega que, aunque el sujeto 4 pertenece a otra disciplina, el somatotipo de los cuatro (4) sujetos se encuentran muy relacionados y comparten características corporales.

A nivel general, el sujeto 1 se mantuvo con registros de valores RMS altos para casi todos los músculos y su clasificación en el somatocarta fue de Mesomorfo-Endomorfo lo que significa presenta robustez musculoesquelética y adiposidad relativa, lo que puede ser una relación entre estos dos aspectos.

EL sujeto 3, mantuvo muy poca variabilidad entre sus gestos deportivos, lo que puede ser un indicativo de precisión y efectividad a la hora de realizar ejercicios técnico- tácticos.

Es posible concluir que la extensión del hombro y codo, son variables de gran importancia al momento de relacionar la cinemática y dinámica ya que durante el gesto de remate existe una predominancia de movimiento de extensión de estas dos (2) articulaciones y hay una relación con la activación muscular de los grupos musculares encargados de esos movimientos.

## REFERENCIAS

- [1] V. Perea, “Biomecánica del remate sin carrera de impulso, en deportista de alto rendimiento de la liga de voleibol arena de Bogotá,” 2023.
- [2] H. Wagner, J. Pfusterschmied, M. Tilp, J. Landlinger, S. P. von Duvillard, and E. Müller, “Upper-body kinematics in team-handball throw, tennis serve, and volleyball spike,” *Scand. J. Med. Sci. Sport.*, vol. 24, no. 2, pp. 345–354, 2014, doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01503.x.
- [3] M. Tilp, H. Wagner, and E. Muller, “Differences in 3D kinematics between volleyball and beach volleyball spike movements,” *Sport. Biomech.*, vol. 7, no. 3, pp. 386–397, 2008, doi: 10.1080/14763140802233231.
- [4] E. RF and A. JR, “Shoulder muscle recruitment patterns and related biomechanics during upper extremity sports,” *Sport. Med.*, vol. 39, no. 7, pp. 569–590, 2009, [Online]. Available: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ccm&AN=105395182&site=ehost-live>.
- [5] J. Brault, A. S. Rokito, F. W. Jobe, J. Brault, and M. Pink, “Electromyographic analysis of shoulder function during the volleyball serve and spike \* Electromyographic analysis of shoulder serve and spike function during,” no. August, pp. 256–263, 2016.
- [6] A. R. L. Michel Latarjet, *Anatomía Humana*, 2020. ed. 2020.
- [7] J. A. Osorio Ciro, M. P. Clavijo Rodríguez, E. Arango V., S. Patiño Giraldo, and I. C. Gallego Ching, “Lesiones deportivas,” *Iatreia*, vol. 20, no. 2, pp. 167–177, 2007, doi: 10.17533/udea.iatreia.4396.
- [8] OrthoInfo, “Dolor de hombro y problemas comunes del hombro (Shoulder Pain and Common Shoulder Problems).” <https://orthoinfo.aaos.org/es/diseases--conditions/dolor-de-hombro-y-problemas-comunes-del-hombro-shoulder-pain/> (accessed Jul. 01, 2023).
- [9] OrthoInfo, “Codo de tenista (epicondilitis lateral) (Tennis Elbow (Lateral Epicondylitis)).” <https://orthoinfo.aaos.org/es/diseases--conditions/codo-de-tenista-epicondilitis-lateral-tennis-elbow-lateral-epicondylitis/> (accessed Jul. 01, 2023).
- [10] Infogram, “Planos y Ejes Anatomicos.” <https://infogram.com/planos-y-ejes-anatomicos-1h7j4dvejzr194n> (accessed Jun. 10, 2023).
- [11] Freepik, “Freepik.” <https://www.freepik.es/> (accessed Jul. 08, 2023).
- [12] S. Iv, “SHOULDER JOINT,” 2023.
- [13] S. Iii, “ARM,” 2023.
- [14] S. Fitness, “¿Qué es y para qué sirve el Somatotipo Corporal?” <https://www.serfitness.net/que-es-y-para-que-sirve-el-somatotipo-corporal/> (accessed Jul. 01, 2023).
- [15] I. Principal *et al.*, “Protocolo de medición y formulario de consentimiento informado,” pp. 1–9, 2023.
- [16] M. Sillero, “El Somatotipo,” *Teoría de Kinantropometría*, pp. 43–58, 2006.
- [17] Peter Konrad, “The ABC of EMG,” 2006.
- [18] E. Inchuchala Correa and D. P. Sandoval Chantrez, “Caracterización morfológica y motora de las jugadoras de voleibol playa del circuito nacional colombiano.,” Jun. 2016, Accessed: Feb. 18, 2022. [Online]. Available: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/9523>.



## **ANEXOS**

Aval del comité de ética Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito



**AVAL 01-2023**

**COMITÉ DE ETICA DE INVESTIGACIÓN**

<b>Asistentes</b>	<b>Cargo</b>
Martha Pimienta Giraldo	Subdirectora de fomento y desarrollo a la investigación
Ricardo Martínez Roza	Médico y profesor de Ingeniería Biomédica
Gladys Rocio González Leal	Profesora Centro de Estudios Ambientales

EL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, certifica mediante la presente acta del 11 de junio de 2023 que se revisó la propuesta **“Caracterización biomecánica del remate sin carrera de impulso y estimación de la fuerza aplicada, en deportistas de alto rendimiento de la liga de voleibol arena de Bogotá”** de la estudiante Valentina Perea Torres cuyos tutores son Luis Eduardo Rodríguez Cheu y Wilson Alexander Sierra Arévalo profesores de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

**Se revisaron los siguientes documentos:**

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

**Adicionalmente se revisaron los siguientes aspectos:**

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

Adicionalmente se revisó que la investigación no vulnerará la dignidad de los sujetos, no constituye una amenaza bajo ninguna circunstancia, ni causa daño emocional ni moral a los investigados y se ajusta a estándares científicos y éticos propios



## Concepto

EL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN de la Escuela Colombiana de Ingeniería, **aprueba el protocolo “Caracterización biomecánica del remate sin carrera de impulso y estimación de la fuerza aplicada, en deportistas de alto rendimiento de la liga de voleibol arena de Bogotá”**. De conformidad con la legislación vigente, este proyecto se clasifica como:

### INVESTIGACIÓN SIN RIESGO PARA USUARIOS Y PACIENTES

Para constancia de lo anterior se firma en la ciudad de Bogotá D.C., el 13 de junio de dos mil veinte tres (2023)

**Martha Cecilia Pimiento Giraldo**  
Miembro del Comité de Ética de la Investigación

**Ricardo Martínez Roza**  
Miembro del Comité de Ética de la Investigación

**Gladys Rocio González Leal**  
Miembro del Comité de Ética de la Investigación