

# Análisis de Fiabilidad en la Estimación de Funcionalidad de la Rodilla Mediante Video-Análisis

C. Andrade-Terán<sup>1</sup>, D. Espinosa<sup>1</sup>, M. Panamá<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

## Resumen

El objetivo del trabajo es evaluar la fiabilidad para estimar la funcionabilidad de la rodilla en ejercicios básicos mediante una técnica de video-análisis de bajo coste y no invasiva. Los datos fueron obtenidos a partir de marcadores anatómicos reflectivos que realizan la función de caracterizar el movimiento, ubicados en sujetos sanos siguiendo el protocolo CGM2, con tres sesiones experimentales por sujeto. El movimiento se registró mediante la cámara de vídeo de un smartphone, a 30 fps. Los videos fueron analizados mediante el software libre Tracker, y los cálculos cinemáticos (posiciones, velocidades, aceleraciones y EIR) se realizaron con software propio desarrollado en MATLAB siguiendo la metodología de movimiento en un solo plano. Se realizó el análisis calculando el coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el error estándar medio (SEM) entre operador y entre sesión. La repetibilidad del ejercicio por un mismo sujeto es alta (ICC superiores a 0,89), sin embargo, es complejo lograr esta repetibilidad entre sujetos en diferentes sesiones (ICC entre 0,68 y 0,85), por lo que se requiere controlar mejor la instrumentación y las condiciones en las que se realizan las sesiones sean las mismas.

**Palabras clave:** Eje instantáneo de rotación, Biomecánica, Cinemática de la rodilla, Video-análisis, Fiabilidad

## Abstract

The objective of the work is to evaluate the reliability to estimate the functionality of the knee in basic exercises using a low-cost and non-invasive video-analysis technique. The data were obtained from reflective anatomical markers that perform the function of characterizing movement, located in healthy subjects following the CGM2 protocol, with three experimental sessions per subject. The movement was recorded by the video camera of a smartphone, at 30 fps. The videos were analyzed using the free software Tracker, and the kinematic calculations (positions, speeds, accelerations and EIR) were made with own software developed in MATLAB following the methodology of movement in a single plane. The analysis was performed by calculating the intraclass correlation coefficient (ICC) and the mean standard error (SEM) between operator and between sessions. The repeatability of the exercise by the same subject is high (CHF greater than 0.89), however, it is complex to achieve this repeatability between subjects in different sessions (CHF between 0.68 and 0.85), so it is necessary to better control the instrumentation and the conditions in which the sessions are carried out are the same.

**Keywords:** Biomechanics, Instant axis of rotation, Knee kinematics, Video analysis, Reliability

---

## Correspondencia:

Cristian Andrade Terán

E-mail: cristian.andrade01@epn.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0220-7481>

## Introducción

La articulación de la rodilla es una de las más complejas del cuerpo, además la más vulnerable a lesiones y deformaciones de su función [1]. Una medida fiable del movimiento de la rodilla permite valorar correctamente la gravedad de la lesión o deformación [2], por lo tanto, es necesario indagar en métodos que permitan esta medida. La evaluación del nivel de dolor y del grado de funcionalidad principalmente se le ha llevado a cabo con escalas y cuestionarios, que solo recolectan la percepción del paciente. Las técnicas biomecánicas para medir la funcionalidad de la rodilla se vuelven así una herramienta útil para obtener datos de la articulación en actividades simples y cotidianas [3].

El avance tecnológico permite acceder a dispositivos con mayores y mejores funciones, tales como teléfonos inteligentes, computadoras de alto rendimiento y otros. Nuevas técnicas y metodologías pueden ser empleadas y desarrolladas a partir de estos dispositivos. El video-análisis se vuelve una tendencia en recolección y procesamiento de datos biomecánicos en movimientos físicos tanto de cosas como de personas y animales [4]. En los deportes ya se implementa tecnología para analizar el movimiento de los jugadores para potenciar, mejorar y corregir las posturas y técnicas de los jugadores. En voleibolistas aplicando la biomecánica mediante análisis cinemático se ha controlado parámetros de variación angular en codo, hombro, rodilla con el fin de mejorar su desempeño [5]. En jugadores de fútbol tomando como instrumento de medida el video-análisis se ha desarrollado satisfactoriamente técnicas biomecánicas de análisis de la recepción del balón a media altura.

La técnica de video-análisis, mediante marcadores técnicos y anatómicos ubicados convenientemente, disminuye costos en la medición de movimientos en articulaciones del cuerpo sin presentar errores considerables en los datos. Sin embargo, es necesario verificar la fiabilidad de los resultados obtenidos, Toro et al. [6] en 2018 realizaron el análisis del eje instantáneo de rotación del movimiento de flexoextensión del cuello mediante vídeo-

análisis con varios sujetos logrando índices de fiabilidad aceptables, demostrando que dicha técnica es aplicable a la valoración funcional en movimientos continuos. Zagal [7] analizó el comportamiento de la rodilla mediante video y eje finito helicoidal, validando sus datos con el sistema VICON obteniendo errores inferiores.

Los análisis biomecánicos, aplicando tecnología disponible, representan una gran herramienta que puede ser explotada para reducir costos en análisis clínicos, estudios de movimientos y malformaciones en las articulaciones principales del cuerpo, siempre y cuando las mediciones presenten alta fiabilidad. Por esto, el presente estudio analiza los índices que presenta la técnica de video-análisis en la medida del eje instantáneo de rotación del movimiento de la rodilla, con ejercicios repetitivos simples en diferentes sesiones y sujetos.

## Biomecánica de la Rodilla

La rodilla se encarga de transferir grandes cargas en gran rango de movilidad, absorbe fuerzas, velocidades e impactos en actividades cotidianas, deportes y flexiones forzadas que ocurren. Una rodilla saludable se mueve, con suavidad y facilidad, permitiendo movimientos fluidos sin presentar dolor ni esfuerzo elevado. Para prevenir y tratar lesiones, desviaciones y patologías es necesario comprender la biomecánica de esta articulación [8]. Las estructuras que comprende la rodilla son las siguientes: huesos, músculos, ligamentos y tendones. El fémur, la tibia y la patela o rótula conforman la articulación de la rodilla, el peroné es otro hueso que se une a la tibia sin participar directamente en la articulación, este presenta movimiento no significativo cuando la rodilla se mueve. Además, la rodilla es una articulación sinovial, es decir, la articulación está envuelta en una capsula que contiene líquido sinovial que sirve como lubricante y sus principales movimientos: eextensión, flexión, rotación medial, rotación lateral [9, 10].

### *Ejes de la rodilla*

La flexión y extensión de la rodilla se lleva a cabo sobre su eje transversal en el plano

sagital, al mismo tiempo visto desde el plano frontal el eje transversal atraviesa los cóndilos femorales horizontalmente. Este eje al ser horizontal forma un ángulo  $81^\circ$  con el fémur y de  $93^\circ$  con la pierna. Por esta razón cuando la rodilla se encuentra en flexión completa, el eje de la pierna no se posiciona exactamente detrás del eje del fémur [11]. El segundo sentido de movimiento de la rodilla se presenta solamente en la flexión, ya que la estructura mecánica de la rodilla hace imposible este movimiento en la extensión, el eje de rotación de este movimiento es el eje longitudinal. Existe un tercer eje de movimiento en la rodilla, pero no supone un movimiento, es simplemente el eje en donde un pequeño desplazamiento lateral de la rodilla en flexión ocurre. Este movimiento no afecta a la rodilla, sin embargo, si transmite cierto movimiento al tobillo de 1 a 2 cm., de amplitud solamente en la flexión. [7] En extensión la cara posterior de la pierna se aleja del muslo, no hay una extensión absoluta de la pierna, sin embargo, si se alcanza una extensión máxima a partir de la posición inicial de referencia. A partir de la máxima extensión se puede realizar un movimiento, de forma pasiva, de  $5^\circ$  a  $10^\circ$  de extensión, llamada hiperextensión [11].

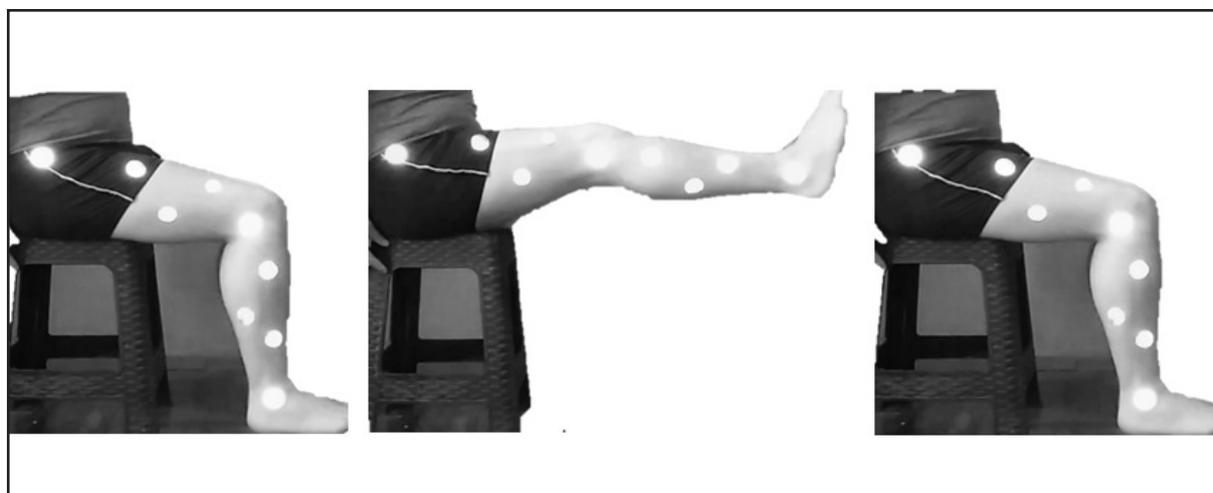
## Metodología

Se utiliza la técnica de video-análisis para estudiar el movimiento en extensión comple-

ta de la rodilla y flexión pasiva, para lo que se colocan marcadores anatómicos debidamente distribuidos en puntos específicos en un solo plano de captura. Para esto se convoca a tres sujetos que no presentan antecedentes clínicos de malformaciones o incapacidades en cuanto a movimiento de la rodilla, se colocan los marcadores de tal forma que estos sean fácilmente reconocibles en los videos, ya que estos serán tratados con software de seguimiento de fotogramas y posteriormente analizados con software de procesamiento de datos; principalmente se analiza el eje instantáneo de rotación (EIR), el rango máximo de movimiento ROM, velocidades y aclaraciones durante los ejercicios para cada sujeto.

### *Especificación del ejercicio*

El movimiento realizado en el ejercicio consiste en el sujeto sentado con el muslo y caderas apoyados en el soporte, el pie apoyado en el suelo dejando la tibia casi perpendicular al fémur. A partir de esta posición se realiza la extensión de la rodilla hasta la mayor capacidad de movimiento por cada sujeto de prueba. La serie consta de extender la pierna hasta intentar alinearla con la cadera. Mantener 5 segundos y volver a la posición inicial, la Figura 1 ilustra los movimientos realizados durante las sesiones, estos movimientos fueron realizados en ciclos controlados y se trata de que el movimiento tenga una alta repetibilidad entre sujetos e intrasujeto.



**Figura 1.** Movimientos realizados en el ejercicio

### Marcadores

Los marcadores anatómicos fueron creados a través de cinta reflectiva, para mediante la luz emitida por la cámara estos sean fáciles de reconocer en el proceso de seguimiento del movimiento de cada uno por separado. Estos marcadores fueron colocados de acuerdo con el protocolo CGM2 (Figura 2) presentado recientemente por Vicon Peak®, Oxford, Reino Unido, el cual es una evolución del modelo CGM (Conventional Gait Model) propuesto en los años 90s, este se adapta mejor a la cinemática corporal y ejercicios con fotometría y video análisis [12]. Este protocolo permite tomar diferentes perspectivas de los movimientos anatómicos de las extremidades inferiores

y facilitan la captura de los diferentes marcadores en movimiento [13].

El protocolo CGM2 se adapta al tipo de experimento realizado en la rodilla ya que este está diseñado para capturar perspectivas de los miembros inferiores desde las cámaras sin que los marcadores sean obstaculizados por el mismo movimiento de la extremidad, la Figura 3 muestra la ubicación de los marcadores anatómicos en los ejercicios realizados y que partes del esqueleto representan.

De acuerdo con este protocolo se extrajeron las posiciones que nos serán útiles para realizar el seguimiento del movimiento en la extensión de la rodilla utilizando el método tracker a cada punto. La tabla 1, presenta los 9 marca-

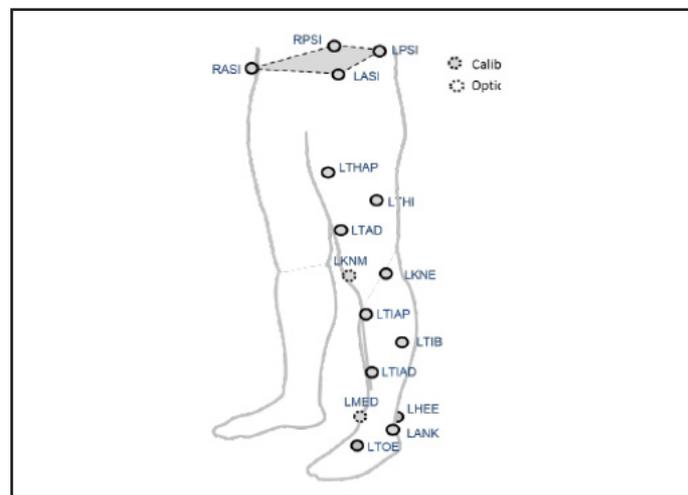


Figura 2. Protocolo CGM2 para posicionamiento de marcadores

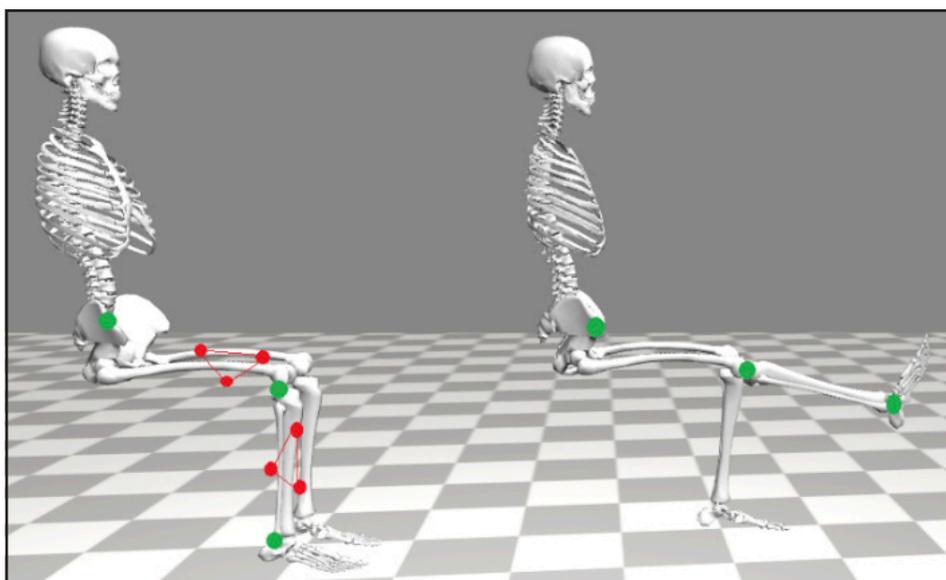


Figura 3. Posición de marcadores de rastreo en la posición mínima y máxima del ejercicio

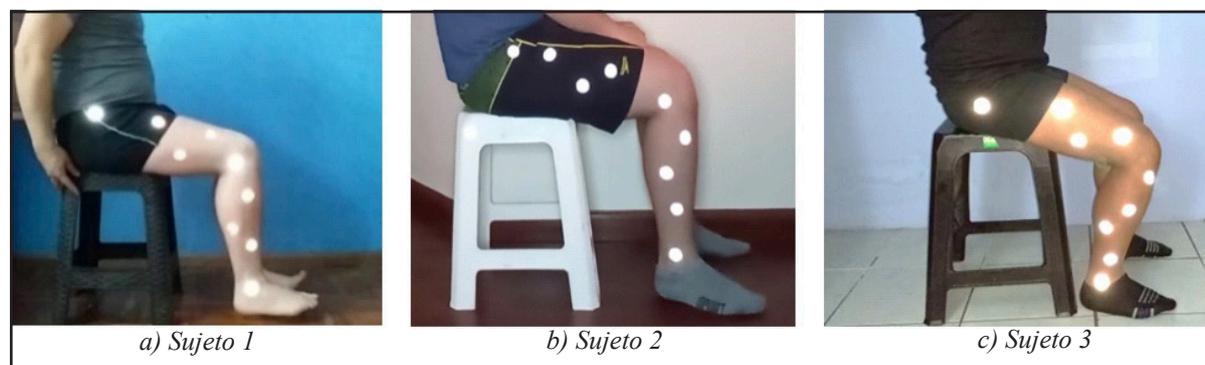
dores utilizados en el ejercicio y las posiciones en las cuales fueron colocados.

Los 9 marcadores dispuestos son colocados de acuerdo con las especificaciones de la tabla 1 sobre la piel de los sujetos de estudio, esquematizados en la figura 4. Como se observa, todos los marcadores dispuestos son visibles a la cámara y se distinguen correctamente entre

ellos, además permiten diferenciar claramente la posición anatómica que representan. Todos estos marcadores tal como fue diseñado el protocolo antes descrito no son obstruidos por el movimiento del cuerpo dejando así fácilmente capturar todos los movimientos descritos por cada uno de ellos al realizar la extensión de la rodilla.

Nombre	Abreviatura	Descripción / Definición
Espina Iliaca Anterior posterior	LPSI	Colocado directamente sobre la espina ilíaca posterior superior izquierda
Muslo derecho lateral	RTHI	Colocado sobre la superficie lateral inferior 1/3 del muslo derecho
Muslo derecho distal	RTHAD	Colocado sobre la superficie distal inferior 1/3 del muslo derecho
Muslo derecho proximal	RTHAP	Colocado sobre la superficie proximal inferior 1/3 del muslo derecho
Rodilla lateral derecha	RKNE	Colocado en la parte mas prominente del hueso en la rodilla
Pantorrilla derecha proximal	RTIAP	Colocado sobre la superficie proximal superior de la pantorrilla derecha
Pantorrilla derecha lateral	RTIB	Colocado sobre la superficie lateral superior de la pantorrilla derecha
Pantorrilla derecha distal	RTIAD	Colocado sobre la superficie distal superior de la pantorrilla derecha
Tobillo lateral derecho	RANK	Colocado en el maléolo lateral del peroné pierna derecha

**Tabla 1.** Descripción de los marcadores utilizados en el experimento y su respectiva posición [13]



**Figura 4.** Marcadores colocados en los sujetos de estudio en posición de inicio de ciclo

### Captura del movimiento

Para realizar el seguimiento de los marcadores durante el ejercicio propuesto se utilizó una cámara dispuesta paralela al plano del movimiento con el fin de transformar el análisis a 2D y disminuir la complejidad de captura. Se realiza 3 videos en cada sesión para los 3 sujetos estudiados, estos contienen 6 ciclos de extensión completa y flexión pasiva, dichos videos son etiquetados y almacenados digitalmente para ser analizados utilizando Tracker, Figura 5.

Tracker es una herramienta gratuita de modelado y análisis de video construida en el marco Java de Open Source Physics (OSP). Está diseñado para ser utilizado en la educación física. El modelado de video de Tracker

es una forma poderosa de combinar videos con el modelado por computadora. Los movimientos descritos por cada marcador individualmente se obtuvieron en coordenadas rectangulares con referencia a un punto absoluto (0,0,0) colocado en la silla fija al suelo, posteriormente fueron transformados a posiciones, velocidades y aceleraciones angulares teniendo como punto pivote local al marcador de la cadera (Ver figura 3).

### Fiabilidad y correlación

El procedimiento experimental realizado a los 3 sujetos de estudio en 3 distintas sesiones, contempló las variables de la muestra establecidas en la tabla 2. La fiabilidad fue analizada intrasesión e intercesión, además de a la varia-

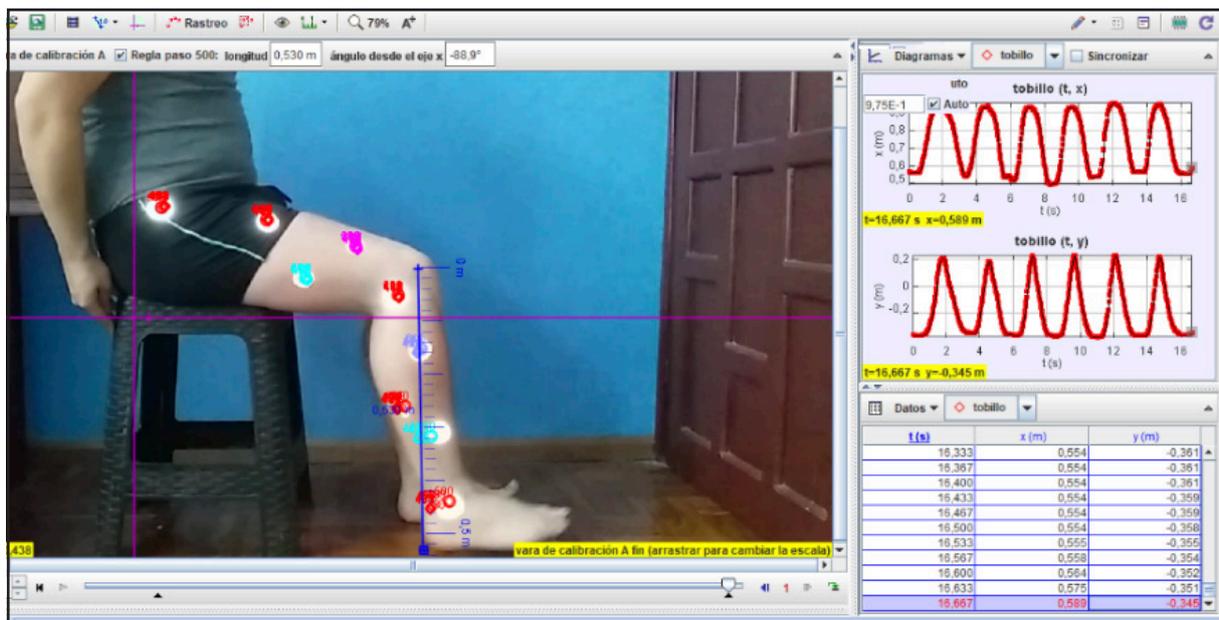


Figura 5. Captura de los movimientos en Tracker software de analisis de video

	Mínimo	Máximo	Media
<b>Edad</b>	27	32	29.5
<b>Altura (cm)</b>	160	180	170
<b>Peso (Kg)</b>	65	83	74

Tabla 2. Variables sociodemográficas de la muestra

bilidad entre ciclos en cada sesión, en cuanto a desplazamiento ( $fi_r$ ) y rango de movimiento ( $RO_r$ ). Algoritmos de suavizado y de filtrado fueron aplicados a las señales obtenidas en los ejercicios, para realizar comparaciones en posición angular, velocidad y aceleración durante el ejercicio. La influencia de las variables sociodemográficas de la muestra en el movimiento de la rodilla en el ejercicio aplicando un análisis de ANOVA.

## Resultados y discusión

Los resultados se obtuvieron a través del análisis 2D de la extensión y flexión de la pierna desde la posición estática con el individuo sentado hasta la mayor extensión lograda por

cada sujeto, siendo  $0^\circ$  con la pierna apoyada en el suelo al inicio del ciclo y el ángulo máximo el alcanzado en la extensión completa de la rodilla, el cual se evidenció difiere notoriamente entre sujeto.

Los movimientos monitoreados para los sujetos en una sesión de control son los presentados en la Figura 6, evidenciando disimilitudes para cada sujeto debido a las diferentes condiciones antropométricas de cada uno.

En la gráfica se observa el movimiento de la pierna de cada uno de los sujetos, estos varían notablemente para cada sujeto, también influye la variabilidad de cada uno al momento de realizar el ejercicio en la sesión, ya que no existen restricciones en la velocidad de movimiento, es por ello por lo que la extensión varía.

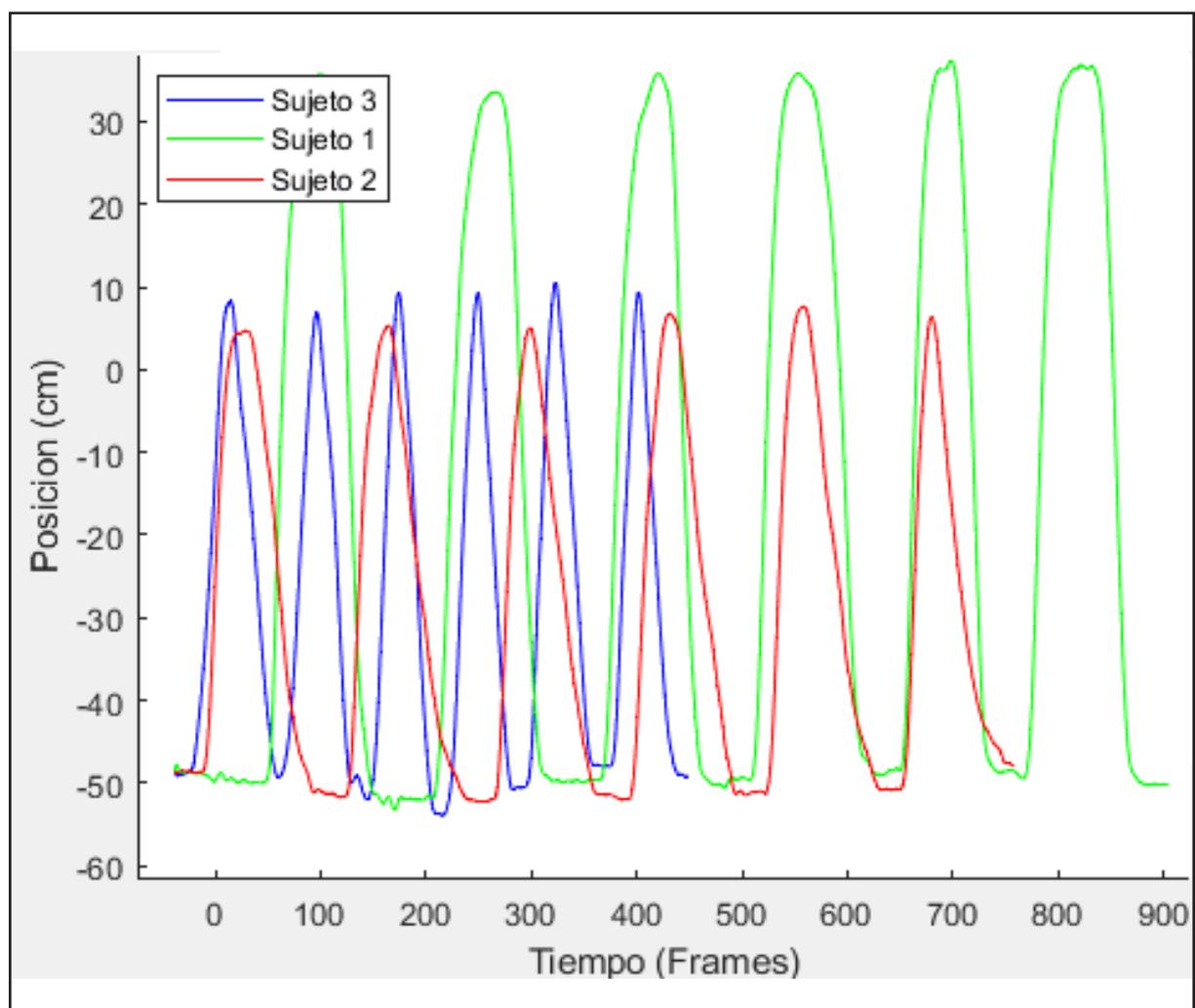


Figura 6. Posición (cm) vs tiempo (frames)

### Eje instantáneo de rotación (EIR)

Las gráficas del eje instantáneo de rotación son obtenidas a partir del procesamiento de la señal de movimiento angular obtenida en el movimiento cíclico en extensión y flexión de la rodilla. De la figura 7 a la 9 presentan las

gráficas de este eje para los 3 sujetos en las 3 sesiones, izquierda sin aplicar filtro a la señal y derecha con la señal filtrada.

Al comparar las gráficas es notable el cambio que existe al aplicar el filtro a los valores obtenidos del movimiento de la rodilla en

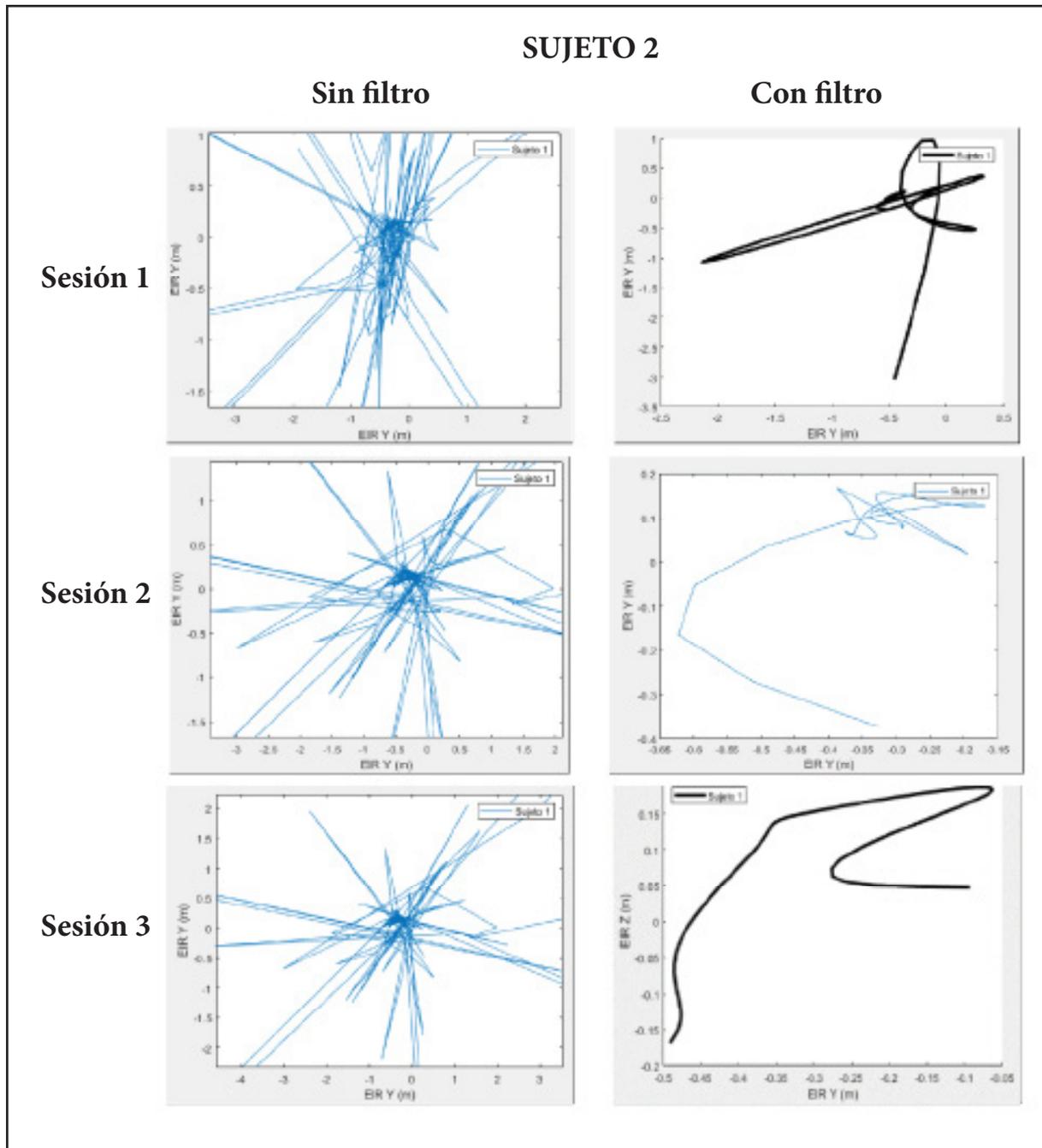
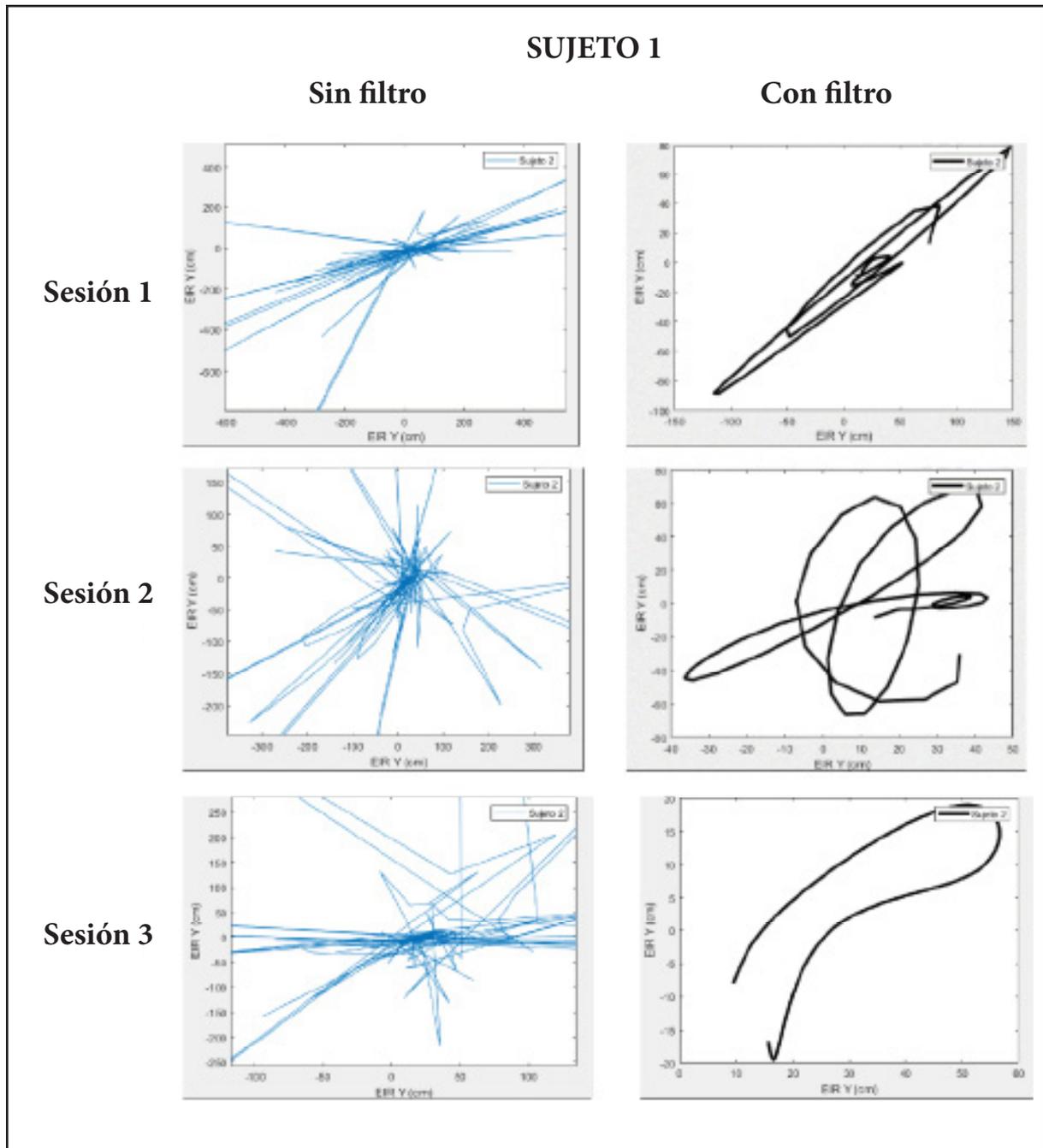


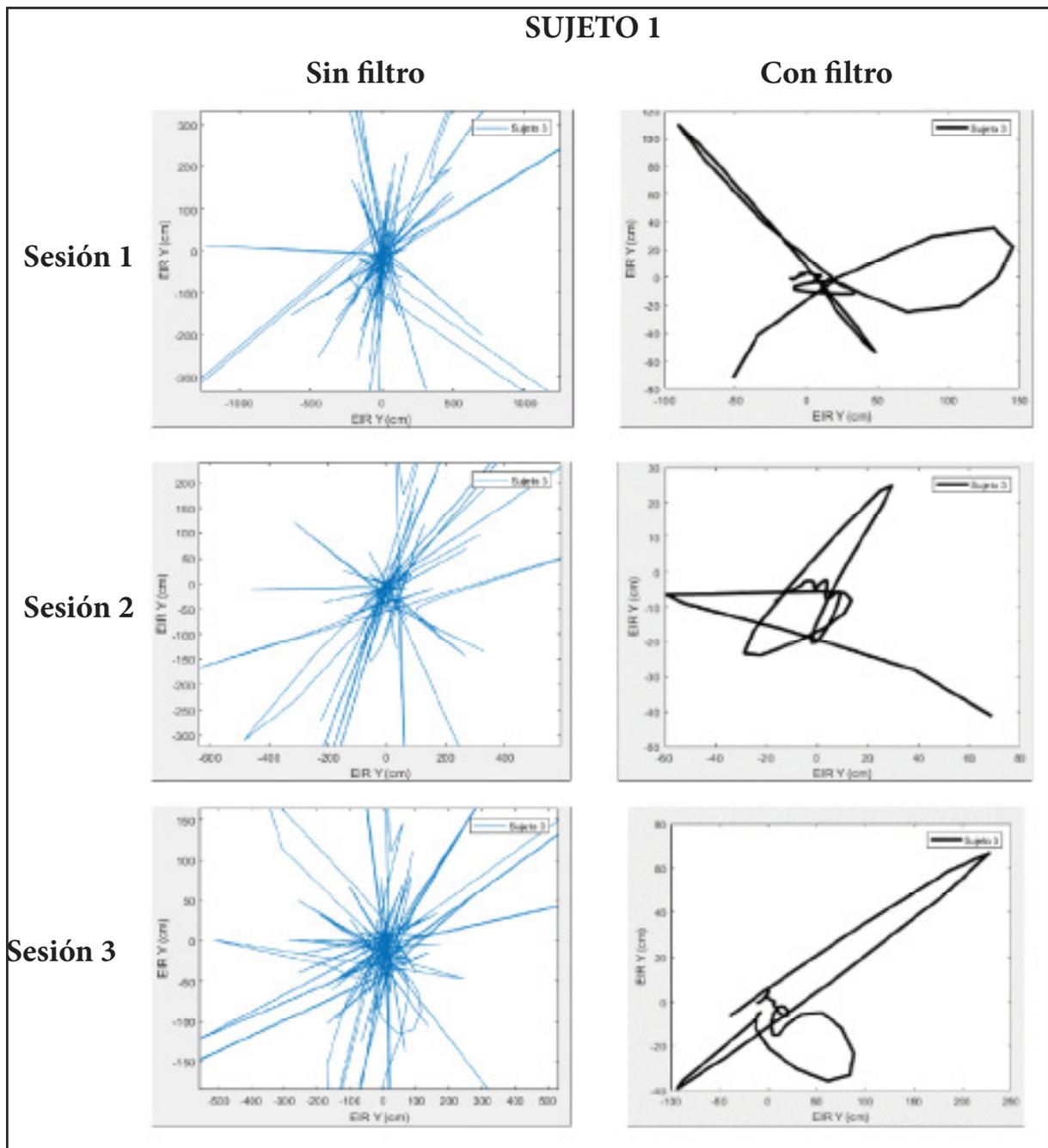
Figura 7. Comportamiento del EIR medio en el plano sagital sujeto 1 en las 3 sesiones

cada sesión para cada uno de los sujetos, ya que con esto se evita la presencia de singularidades en los extremos de cada gráfica lo que distorsiona el análisis de los datos. Se observa además comparando las gráficas con filtro

de cada sujeto, en cada sesión, que, si bien las gráficas a simple vista parecen muy distintas, la tendencia que tienen en términos de movimiento es muy similares.



**Figura 8.** Comportamiento del EIR medio en el plano sagital sujeto 2 en las 3 sesiones



**Figura 9.** Comportamiento del EIR medio en el plano sagital sujeto 3 en las 3 sesiones

### *Movimientos armónicos vs Movimiento real*

En las Figuras 10 y 11, se tienen los movimientos armónicos ideales y los obtenidos en el ejercicio, respectivamente, de la rodilla tanto para la velocidad angular como para la aceleración angular.

Se observa que tanto las gráficas de velocidad como aceleración angulares de cada sujeto se asemejan a las gráficas ideales de movimiento armónico en cuanto a su tendencia central sin embargo son claras las di-

versas fluctuaciones existentes dentro del cual se encuentran el mayor porcentaje de gráficas obtenidas. Esta área establecida entre rangos puede servir para realizar comparaciones entre personas que tengan movimientos normales en comparación a los patrones, o si padece alguna patología la cual puede ser detectada para prevenir alteraciones físicas o dolencias en un futuro con alguna persona. Cabe recalcar que se estableció un intervalo de confianza del 95% para este análisis

### Fiabilidad

La figura 12a muestra la variabilidad existente entre ciclos para el  $fi_r$  en una misma sesión de un individuo y se resalta la media de estos ciclos, media con la cual se analiza la fiabilidad intersesiones e intrasesiones con los tres sujetos de estudio. La figura 12b, presenta las gráficas de velocidad angular superpuestas de los segmentos correspondientes a los 6 ciclos y la respectiva media, así como la figura 12c para las aceleraciones correspondientes a cada ciclo.

Para cada sesión se registraron las variables cinemáticas principales y los datos correspondientes de interés para cada individuo para llevar un control de los resultados de interés para el ejercicio propuesto. La tabla 3 detalla los datos obtenidos en cada sesión realizada para cada sujeto, con sus características, se obtuvo el ángulo de desplazamiento máximo, el mínimo y con estos el rango total de operación en el ejercicio.

### Indicadores de fiabilidad

El Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC) y el Error Estándar Del Promedio (SEM) permiten realizar de manera detallada el análisis de fiabilidad del movimiento, analizando la repetitividad del movimiento entre el mismo sujeto, entre sesiones y entre los sujetos estudiado. El indicador CMC Coeficiente de Correlación Múltiple (CMC) permite analizar la correlación entre variables funcionales, para el cálculo se tomó en cuenta los grados de libertad. La tabla 3 analiza los índices de fiabilidad existente entre ciclos para un sujeto en una misma sesión para determinar la capacidad de repetir el movimiento de la misma forma 6 veces durante el ejercicio, para lo cual se tomó varias comparaciones entre ciclos.

En el experimento se llevó a cabo 3 sesiones en 2 días diferentes para todos los sujetos del experimento, con lo que se presentaron cambios en las condiciones iniciales de instru-

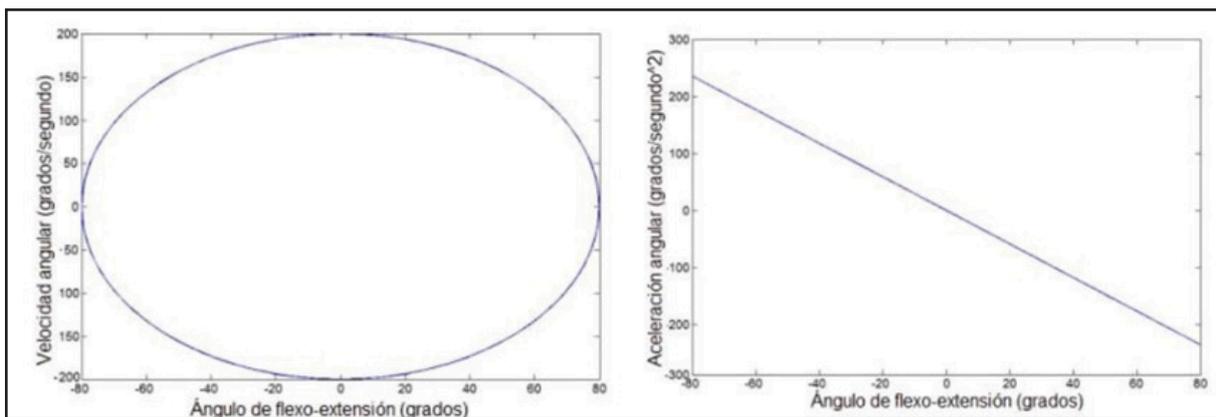


Figura 10. Velocidad y aceleración angular vs Ángulo (ideal) [14]

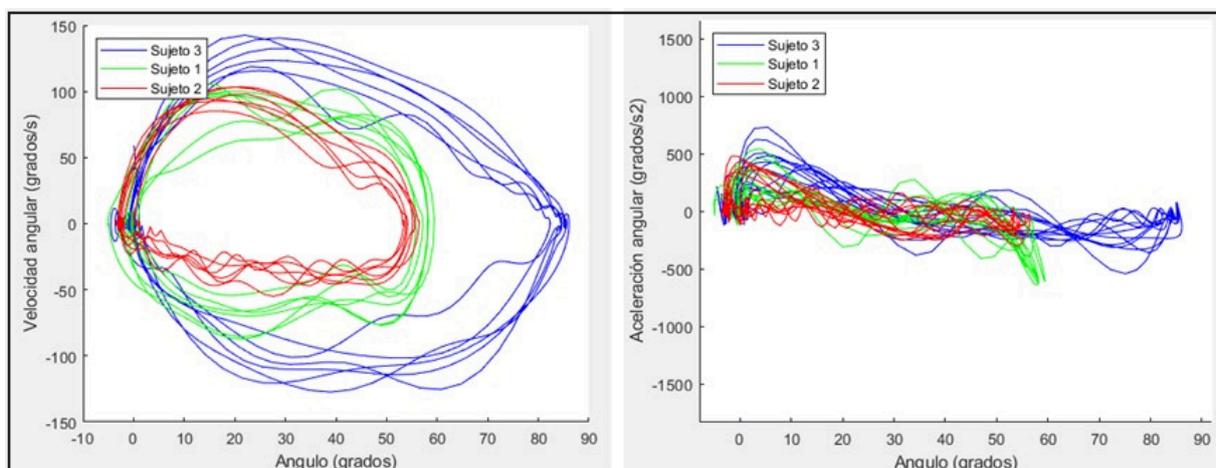
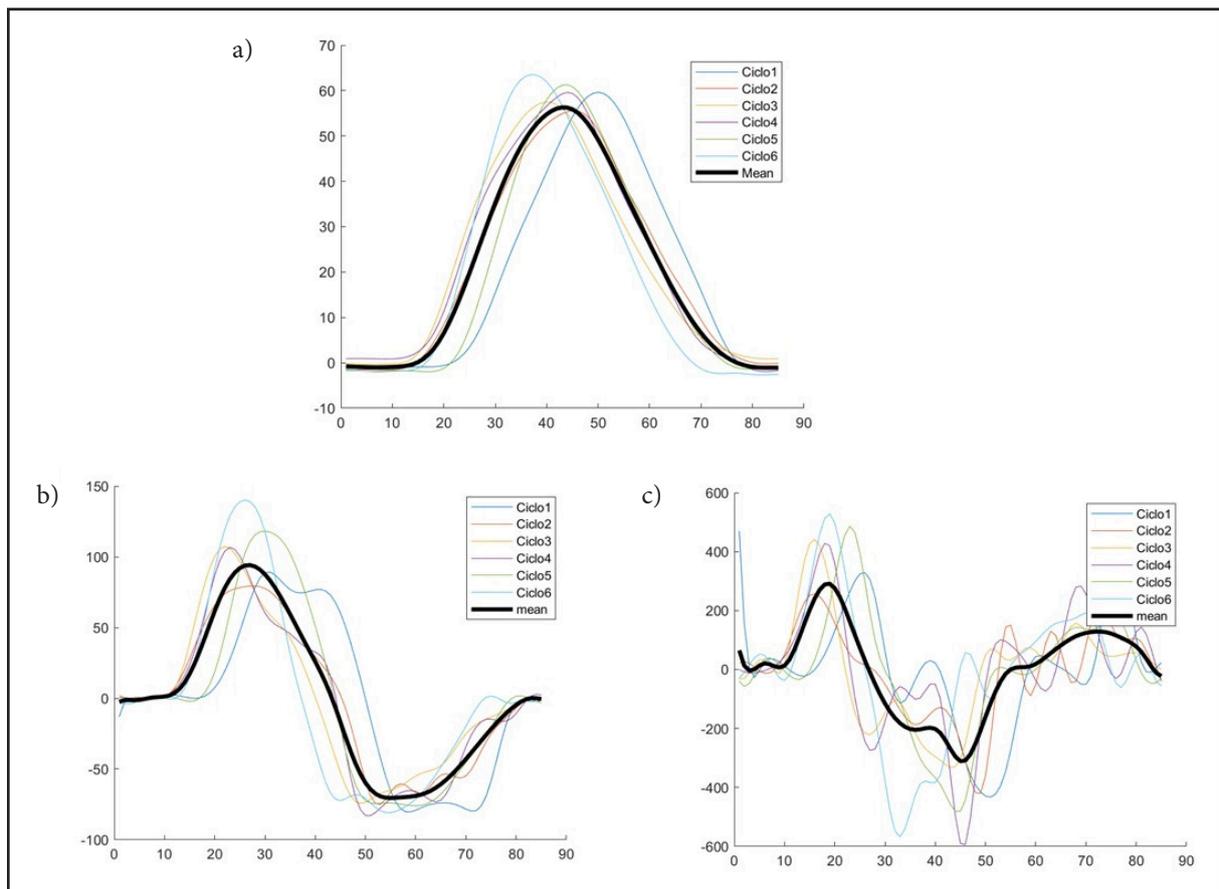


Figura 11. Gráficas velocidad y aceleración vs ángulo de cada sujeto



**Figura 12.** Media de ciclos realizados en una toma de la muestra: a) posición angular, b) velocidad angular, c) aceleración angular

Sujetos	Sesiones	Edad [años]	Peso [kg]	Talla [cm]	Masa pierna [kg]	fimax [°]	fimin [°]	ROM [°]
1	1	28	74	174	17.14	48.9	-0.3957	49.2957
1	2	28	74	174	17.14	59.0734	2.7582	61.83
1	3	28	74	174	17.14	56.2999	-1.0829	57.38
2	1	27	83	180	18.97	52.36	-2.26	54.63
2	2	27	83	180	18.97	46.78	-5.87	52.65
2	3	27	83	180	18.97	62.82	1.97	60.84
3	1	32	65	160	14.85	52.5	13.9	38.59
3	2	32	65	160	14.85	50.78	26.34	24.44
3	3	32	65	160	14.85	51.79	14.02	37.76

**Tabla 3.** Variables cinemáticas obtenidas en cada sesión para cada sujeto

mentación y de ambiente. La tabla 5 presenta el análisis de fiabilidad entre sesiones comparando la sesión 1 con la 2 y luego la 1 con la 3.

Como se observa se tiene valores negativos y cercanos a cero para la posición angular máxima esto se debe a que existen varianzas muy bajas o nulas, sin embargo, para las demás variables se tienen valores muy buenos superiores al 0,75 en ICC y valores para SEM no muy altos.

En el análisis de fiabilidad con variables funcionales se tomó los valores medios de la posición angular para cada sujeto en la respectiva sesión y así comparar su variabilidad. La tabla 6 muestra los valores de los indicadores obtenidos, de la misma forma se comparó la

sesión 1 con la 2 y la sesión 1 con la 3.

#### Comparación

Se recolectó datos bibliográficos de mediciones de la extensión de rodilla, en los cuales se utilizan otras técnicas y protocolos de experimentación, para poder comparar los indicadores de fiabilidad con los obtenidos en el presente estudio. Fernandez y Zuil [15], presentaron un estudio realizado a la movilidad de rodilla mediante goniómetro e inclinómetro, de donde se extrae datos de fiabilidad únicamente del movimiento de extensión de la rodilla semejante al realizado en este estudio. La tabla 7 muestra dichas comparaciones en cuanto ICC e IC (Intervalo de confianza).

Ciclos	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
ICC	0.8944	0.9550	0.9858	0.9466	0.8920
SEM	6.9509°	4.4483°	2.5452°	4.7287°	7.7677°
CMC	0.8938	0.9548	0.9857	0.9463	0.9454

**Tabla 4.** Indicadores de fiabilidad intrasujeto para un ejercicio de 6 ciclos

	ICC		SEM	
	1-2	1-3	1-2	1-3
fimax	-1.0923	0.0282	5.8060°	4.0815°
fimin	0.8310	0.9566	5.6978°	1.8646°
ROM	0.6899	0.8513	9.4465°	3.3234°

**Tabla 5.** ICC y SEM para la fiabilidad intersesión de las variables numéricas (fimax fimin ROM)

	CMC		SEM	
	1-2	1-3	1-2	1-3
sujeto 1	0.8738	0.8808	2.5431	6.7402
sujeto 2	0.6408	0.5835	12.5318	16.7878
sujeto 3	0.8957	0.9994	2.2149	0.2105

**Tabla 6.** Indicadores de fiabilidad funcionales entre sujetos

	ICC		IC	
	Intersesión	Intrasesión	Intersesión	Intrasesión
Goniómetro [15]	0.8738	0.8808	2.5431	6.7402
Inclinómetro [15]	0.6408	0.5835	12.5318	16.7878
Vídeo-Análisis	0.8957	0.9994	2.2149	0.2105

**Tabla 7.** Comparación de Indicadores de fiabilidad entre diferentes técnicas

Se puede concluir con la comparación indicadores de fiabilidad inferiores con video-análisis sin embargo no se encuentran fuera de rango y son aceptables, lo que se traduce en un método de análisis funcional de la rodilla que puede ser utilizado en análisis biomecánicos en sujetos que aporten resultados fiables. Cabe recalcar que el ejercicio realizado en este estudio puede ser mejorado aumentando la población y mejorando las condiciones de medición en cuanto a calibración de operadores, para así poder obtener una mejor comparación entre métodos.

#### Análisis ANOVA

Mediante el análisis ANOVA se buscó estimar la importancia de cada factor estudiado en los

resultados, así determinar que variables antropométricas que influyen notablemente en el ejercicio. Al tratarse de una muestra muy disminuida en cantidad es complicado analizar la variabilidad que causan los factores antropométricos, para este análisis se ha tomado en cuenta los factores descritos en la tabla 3 y mediante regresión se ha obtenido la masa de la pierna derecha para ser tomado como factor de influencia en el movimiento. A continuación, la figura 13 presenta una gráfica comparativa entre las posiciones angulares con la influencia de la estatura de cada sujeto.

También se encontró como factor de influencia notable la masa de la pierna, la figura 14 muestra la comparativa de los datos obtenidos con respecto a la media.

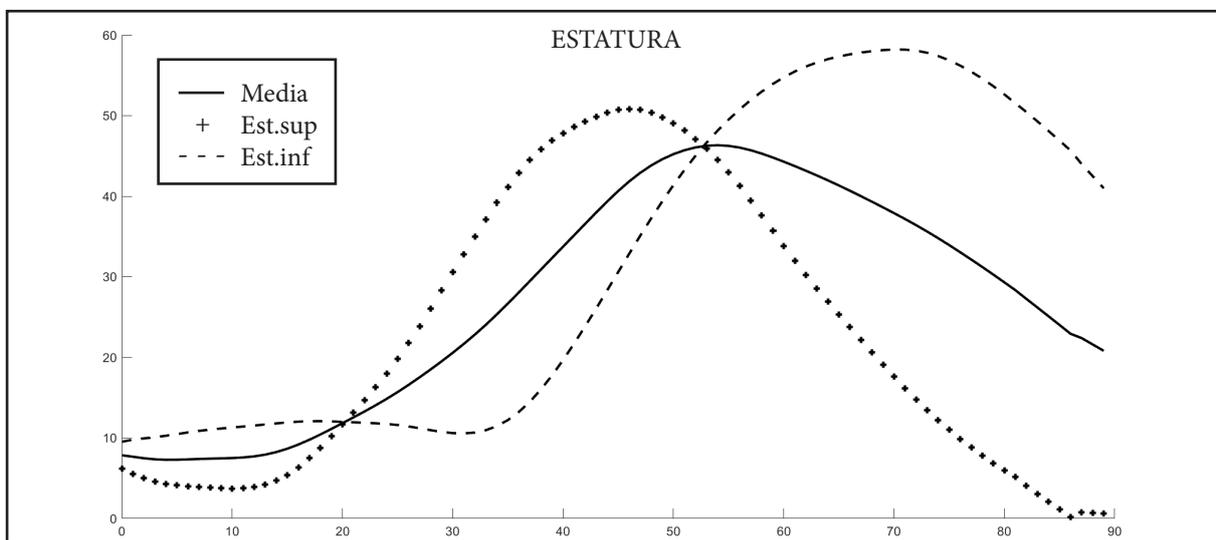


Figura 13. Comparación con los datos de estatura como factor de importancia

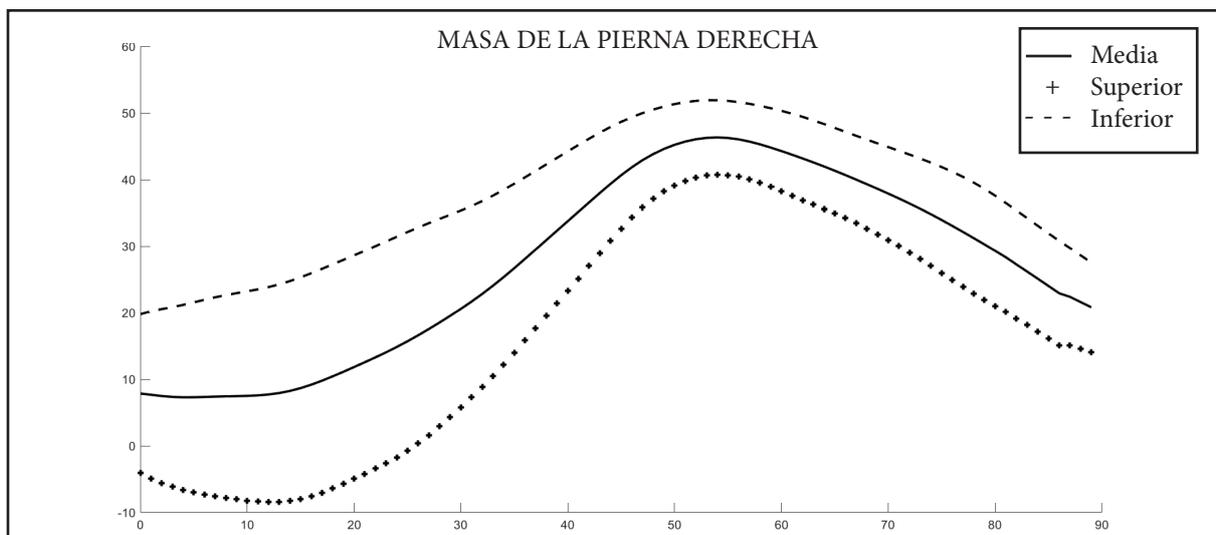


Figura 14. Comparación con los datos de la masa de la pierna como factor de importancia

## Conclusiones

- La técnica de video-análisis es una herramienta no invasiva que permita realizar análisis de movimientos del cuerpo con una buena fiabilidad utilizando pocos recursos, esta simplifica el movimiento tridimensional a un solo plano facilitando la captura del movimiento, el tratamiento de datos y la obtención de resultados.

- Se evidenció cambios notables en las variables funcionales debido a las características antropométricas de los sujetos estudiados, tales como estatura, peso y sus derivados. Además, al tratarse de un ejercicio físico poco complejo la repetibilidad del ejercicio por un mismo sujeto es alta (ICC superiores a 0,89), sin embargo, es complejo lograr esta repetibilidad entre sujetos en diferentes sesiones (ICC entre 0,68 y 0,85).

- La posición de los tres sujetos muestra la dependencia de las características en cuanto a tamaño y dimensiones de las extremidades de cada sujeto, el sujeto 2, quien es el que muestra el mayor tamaño en su extremidad inferior, posee una amplitud en su curva mayor que las del sujeto 1 y 3.

## Recomendaciones

- Es indispensable para obtener resultados más confiables que las pruebas y ensayos del experimento sean controlados bajo los mismos parámetros y condiciones en el tiempo de las sesiones, posición inicial, posición exacta de los marcadores, etc.

- Se recomienda realizar el experimento con cámaras o captadores de video de alta calidad, para tener un mejor resultado en el análisis y procesamiento de los datos en el software.

## Bibliografía

1. **Panesso MC, Trillos MC, Guzman I.** Biomecánica clínica de la rodilla. Universidad del Rosario, Colombia, 2008.
2. **Beltran-Alacreu H, Navarro-Fernandez G, San Juan-Burgueño J, Gonzalez-Sanchez, Lermalara S, Rodriguez-Lopez O, Muñoz-García D.** Fiabilidad intra e interevaluador de un sensor inercial para el rango de movimiento de la rodilla en sujetos asintomáticos. *Fisioterapia* 2019;41(3):123-130.
3. **Gómez Pellín A, Pedrero Sánchez JF, Pitarch Corresa S, Peydro de Moya MF, Martínez Pérez M, Tomás i Chenoll J, Caprara G, Peris Serra JL, López Pascual J, Atienza CM.** Investigación en tecnologías de valoración funcional biomecánica para el seguimiento clínico objetivo y fiable de pacientes con prótesis de rodilla. Instituto de Biomecánica de Valencia, Valencia, 2020.
4. **Pérez Fernández LM.** El vídeo análisis: un nuevo enfoque para la didáctica de la interpretación. *Universitat d'Alacant | Universitat Jaume I | Universitat de València*, 2019.
5. **Shicay-Arias FR, Moscoso-García RF.** Análisis biomecánico de la técnica del remate en voleibolistas juveniles. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía* 2021(6) n° Extra, 2.
6. **Venegas W, Page del Pozo A, Orejuela I, Cruz C.** Análisis del eje instantáneo de rotación del movimiento de flexoextensión del cuello mediante vídeo análisis: fiabilidad y análisis de errores. *3C Tecnología* 2018;7(1).
7. **Zagal Molina J.** Análisis de video del comportamiento cinemático de la rodilla, usando el método de eje finito helicoidal. 2017.
8. **Peña E, Calvo B, Doblaré M.** Biomecánica de articulación de la rodilla tras lesiones de ligamentos. *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería* 2006;22(1).
9. **Serrano C.** Articulación de la rodilla. 22 marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/articulacion-de-la-rodilla>.
10. **Iturriaga V, Mena P, Oliveros R, Cerda C, Torres D, del Sol M.** Importancia del Líquido Sinovial en la Articulación Temporomandibular y sus Implicancias en la Patología Articular. *International Journal of Morphology* 2018;36(1): 297-302. DOI: 10.4067/S0717-95022018000100297.
11. **Girard L.** Diseño y construcción de prototipo de prótesis de rodilla. Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla., Puebla, 2008.
12. **Horsak B, Schwab C, Leboeuf F, Kranzl A.** Reliability of walking and stair climbing kinematics in a young obese population using a standard kinematic and the CGM2 model. *Gait Posture*. *Gait & Posture* 2021;83:96-99.
13. **Torres A.** Evaluación de Métodos Anatómicos y Funcionales para Determinar el Centro de Articulación de la Cadera. Universidad del Rosario, Bogotá, 2020.
14. **Zuluaga M, Gómez G, Guzmán A.** Manejo de la rigidez extraarticular en extensión de rodilla secundaria a fijación externa con cuadricepsplastia de Judet entre 2002-2004 en el Hospital Universitario del Valle. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología* 2005;20(2):50-65.
15. **Escobar M, Fernández G, Zuil J.** Fiabilidad y correlación en la evaluación de la movilidad de rodilla. *Fisioterapia* 2012;2(34):73-78.