



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES  
UNIDAD LEÓN**

**TEMA:**

**ANÁLISIS CINEMÁTICO HÍBRIDO DE CORREDORES DE  
FONDO DEL EQUIPO REPRESENTATIVO DE  
ATLETISMO DE LA ENES, UNIDAD LEÓN**

**FORMA DE TITULACIÓN:**

**ACTIVIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADO EN FISIOTERAPIA**

**P R E S E N T A:**

**EDUARDO ALDEBARAN AVIÑA HUERTA**

**TUTOR:**

**Dr. Mauricio Alberto Ravelo Izquierdo**

**ASESOR:**

**Mtro. Adrián Jefe Elías Jiménez**



**ENES UNAM  
UNIDAD LEÓN**

**León, Guanajuato, México**

**2024**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

---

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>4</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>Capítulo 1 - MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
Biomecánica.....	9
Definición de Biomecánica.....	9
Biomecánica en Fisioterapia.....	11
Biomecánica de la Carrera.....	13
Fases de la Carrera.....	13
Parámetros de la Carrera.....	15
Sistemas de Captura de Movimiento.....	18
Unidades de Medición Inercial.....	19
Software Kinovea para análisis de video bidimensional.....	20
Atletismo.....	21
Definición de Atletismo.....	21
Historia del Atletismo.....	21
La Carrera Atlética.....	22
Equipo de Atletismo en la ENES UNAM León.....	24
<b>Capítulo 2 - ANTECEDENTES.....</b>	<b>25</b>
<b>Capítulo 3 - PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>27</b>
Planteamiento del problema.....	27
Justificación.....	29
Objetivos del estudio.....	30
<b>Capítulo 4 - METODOLOGÍA.....</b>	<b>31</b>
Enfoque de investigación.....	31
Diseño del estudio.....	31
Selección de la muestra.....	31
Recolección de la muestra.....	31
Criterios de inclusión.....	32
Criterios de exclusión.....	32
Criterios de eliminación.....	32
Recursos.....	33
Desarrollo del Proyecto.....	35
<b>Capítulo 5 - RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>Capítulo 6 - DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
<b>Capítulo 7 - CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>50</b>
Anexo 1. Carta de Petición - Encargado de Selecciones Deportivas.....	50
Anexo 2. Carta de Petición - Entrenadora del equipo varonil de atletismo.....	51
Anexo 3. Consentimiento Informado.....	52
Anexo 4. Datos del participante.....	53

Anexo 5. Cartel del proyecto.....	55
Anexo 6. Constancia de participación.....	56

## AGRADECIMIENTOS

---

A la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de tener una formación profesional, así como los recursos para poder terminarla en una de las mejores universidades de Latinoamérica.

A la Dra. Laura Susana Acosta Torres, por todo el apoyo brindado tanto a los estudiantes como a las instalaciones de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León.

A la Licenciatura en Fisioterapia, por mostrarme una visión diferente de una profesión en el área de la salud, una carrera tan humana y noble.

A todos los profesores que fueron parte de mi enseñanza durante la carrera, agradezco el tiempo y conocimiento compartido para tener la mejor formación.

Al programa de Becas de apoyo de manutención por brindarme los recursos para solventar las situaciones presentadas durante la licenciatura.

A la Mtra. Claudia Romero, el Ing. Leonel Sánchez, la alumna Judith Delgado y el Ing. Alan Rivas por aportar sus conocimientos y tiempo para la realización de esta investigación.

## DEDICATORIA

---

A mi mamá Juana; sus esfuerzos, sacrificios y trabajo constante, me han brindado la oportunidad de tener una excelente educación. Su apoyo incondicional me ha generado mucha confianza, lo que me ha permitido superar cualquier situación. Eres la mejor.

A mi hermano Diego, por todo el apoyo que me ha brindado; sus consejos, experiencias y ejemplo de vida, me han convertido en una persona de la cual estoy orgulloso. Te quiero y admiro mucho.

A mis tíos, Alicia y Benjamín, por transmitirme su amor por el atletismo, además de ser un apoyo importante en mi formación como persona.

A las personas cercanas que se adelantaron en el camino; mi papá Jaime, mi abuelita Lucía, Manuel, y mi mejor amigo Marco, que fueron una parte esencial en mi vida, los quiero mucho y siempre los llevaré en mi corazón.

A mi tutor, el Dr. Mauricio Ravelo, por toda la confianza que me brindó, todos los consejos y el conocimiento compartido, así como su paciencia y ayuda para esta investigación.

A mi asesor, el Mtro. Adrián Elías, ya que gracias a su pasión por la biomecánica, logró despertar mi interés en la investigación. Agradezco todo el conocimiento compartido, así como el apoyo y recursos materiales para llevar a cabo este proyecto.

A mi coach de atletismo, la Mtra. Leticia García, por su incondicional contribución. Su dedicación ha permitido formar y mantener unido el equipo de atletismo. La motivación y disciplina que transmite, me hizo mejorar en el deporte.

A los participantes del equipo de atletismo que me apoyaron en mi investigación: Samuel, Chava, Kevin, Andrés, Daniel, Edgar y Manuel, que accedieron a participar sin dudarlo. Sin ustedes, este trabajo no hubiera sido posible.

A mis compañeros de servicio social “Las Tortugas Ninja”, Romyna, Edgar y Hugo, por el tiempo y las vivencias que compartimos en esta etapa. Los aprecio bastante.

A las mejores personas que pude haber conocido en mi etapa universitaria; Joanna, Ximena, Abraham, Rubí, Karen y Diego, fueron un pilar importante para mí. Siempre tendrán un lugar en mi corazón, los amo amigos.

A tí, Israel, por demostrarme tu apoyo incondicional, y ser parte de mi motivación. Te amo.

A mis mascotas, Vicky, Lola y Chiquis; que son una parte importante de mi vida, las amo mucho.

## RESUMEN

---

**Introducción.** En los últimos años, se han utilizado los sistemas de medición de captura de movimiento en el área de la salud deportiva. Por consiguiente, la biomecánica ha utilizado bastantes instrumentos innovadores para el estudio y evaluación del gesto deportivo. Esto es un gran avance para la fisioterapia, ya que la tecnología puede ser aprovechada para evaluar con mayor exactitud la técnica deportiva mediante un análisis biomecánico y contar con indicadores objetivos en los procesos de entrenamiento y rehabilitación.

**Objetivo.** Explicar el potencial uso, dentro de fisioterapia, de un análisis cinemático híbrido en los corredores de fondo del equipo representativo de atletismo de la ENES, Unidad León.

**Método.** Estudio cuasiexperimental transversal, con 8 atletas del equipo representativo de atletismo de la ENES Unidad León, a quienes se les realizó una prueba de carrera única en caminadora con la utilización de unidades de medición inercial y captura de video bidimensional para su posterior análisis con un software de captura de movimiento.

**Resultados.** Se realizaron 8 pruebas de carrera, de las cuáles se logró obtener el ángulo de cadera y rodilla de los participantes en las distintas fases de la carrera, que se representaron mediante gráficas de manera grupal. Los rangos articulares promedio de los 8 participantes son de  $65^{\circ} \pm 9^{\circ}$  para la rodilla izquierda y de  $64^{\circ} \pm 7^{\circ}$  para la rodilla derecha. Para la cadera, el rango de movimiento promedio de todos los participantes es de  $40^{\circ} \pm 4^{\circ}$  grados para el lado derecho y  $39^{\circ} \pm 5^{\circ}$  grados para el lado izquierdo.

**Conclusiones.** La aplicación de un sistema híbrido para el análisis cinemático de la carrera en el equipo de atletismo de la ENES, Unidad León, permitió al fisioterapeuta identificar el comportamiento de ambos miembros inferiores con el cálculo de los rangos articulares de cadera y rodilla.

**Palabras clave:** *Inertial measurement units, Motion capture software, Biomechanical running analysis.*

## INTRODUCCIÓN

---

En los últimos años, se han utilizado los sistemas de medición de captura de movimiento en el área de la salud deportiva. Por consiguiente, la biomecánica ha utilizado bastantes instrumentos innovadores para el estudio y evaluación del gesto deportivo. Esto es un gran avance para la fisioterapia, ya que la tecnología puede ser aprovechada para evaluar con mayor exactitud la técnica deportiva mediante un análisis biomecánico y contar con indicadores objetivos en los procesos de entrenamiento y rehabilitación (Dingenen et al., 2018).

Dentro de las herramientas para realizar una captura de movimiento, el modelo tridimensional es la mejor opción para el análisis biomecánico, sin embargo, es una opción muy limitada debido a su alto costo y complejidad de uso. Para esto, existen otras herramientas que nos brindan la información de un análisis de manera confiable, como lo son las unidades de medición inercial y el análisis de video bidimensional mediante el uso de un software de captura de movimiento (O' Reilly et al., 2018; Mitternacht et al., 2022).

Esta investigación surge de la necesidad de aplicar las herramientas tecnológicas a nuestro alcance para realizar un estudio biomecánico de la carrera aplicado por un fisioterapeuta en la ENES Unidad León para obtener un análisis objetivo en un ambiente clínico universitario.

Para esto, se llevó a cabo una captura de movimiento de la carrera en los participantes del equipo varonil de atletismo de la ENES Unidad León, con el uso de unidades de medición inercial y marcadores reflectivos para la utilización del software Kinovea mediante grabación de videos bidimensionales.

Parte de la finalidad de esta investigación, es que el fisioterapeuta pueda describir los resultados de este análisis para utilizar este método de estudio biomecánico como herramienta para el uso clínico, así como familiarizarse con el avance tecnológico en el área de la salud.

## Capítulo 1 - MARCO TEÓRICO

---

A continuación, se presentan los fundamentos teóricos necesarios para el entendimiento de la presente investigación; para su mayor comprensión, han sido divididos en el siguiente orden:

- Biomecánica
- Biomecánica de la carrera
- Sistemas de captura de movimiento
- Atletismo

### **Biomecánica**

#### **Definición de Biomecánica**

La biomecánica es la ciencia que estudia las leyes de la mecánica y el movimiento para ser aplicadas en el ser vivo (Balthazard, 2015). Se trata de una rama de estudio donde se relacionan los conceptos de anatomía, fisiología muscular y articular, para el estudio de los gestos, técnicas y posturas del ser humano (Dufour et al.,2018). Es una rama de estudio multidisciplinaria, ya que es utilizada en diversos campos de la ciencia como la física, biología, medicina, bioingeniería, fisioterapia, entre otras.

Ahora bien, existen varios principios físicos en los que se basa la biomecánica, uno de los más importantes para el análisis del movimiento del cuerpo humano, es la dinámica; que es una rama de la física en la cual se estudia el movimiento de un cuerpo, en relación a las fuerzas que actúan sobre el mismo (Estrada, 2018).

La dinámica se clasifica de la siguiente manera:

*Cinemática.* Estudia el movimiento de un cuerpo sin tomar en cuenta las causas que lo producen.

*Cinética*. Estudia las causas o fuerzas que generan el movimiento (Balthazard, 2015).

## **Planos y ejes de movimiento**

Para un mejor entendimiento de los movimientos; el cuerpo humano se divide de la siguiente manera (Figura 1):

### **Planos anatomicos**

*Plano sagital*. Es una línea imaginaria vertical que divide al cuerpo en dos partes, derecha e izquierda. Todo lo que se aleje del plano sagital se le denomina lateral, y lo que se acerque al plano, se le llama medial.

*Plano coronal*. Línea vertical que segmenta al cuerpo en dos; una parte anterior (ventral) y otra posterior (dorsal).

*Plano transversal*. Línea horizontal que divide al cuerpo en una zona superior y una zona inferior. Lo que se encuentra por encima de este plano se le llama craneal, y lo que se encuentra por debajo del plano, se le considera caudal (Balthazard et al.,2015; Tortora, 2018).

### **Ejes de movimiento**

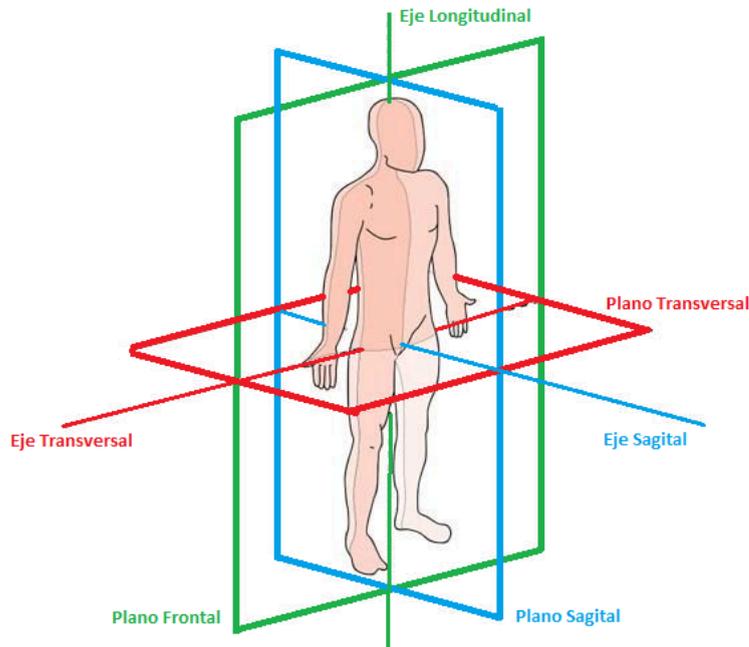
*Eje longitudinal*. Intersección de los planos sagital y frontal donde se realizan los movimientos de rotación.

*Eje sagital*. Se da en la unión del plano sagital con el plano transversal, en este eje se producen los movimientos de abducción y aducción.

*Eje transversal*. Se forma en el cruce del plano frontal y plano transversal. Se generan los movimientos de flexión y extensión (Morrone,2020).

## Figura 1

### Planos y ejes anatómicos



Nota. Elaboración propia del autor desde (Morrone, 2020).

## Biomecánica en Fisioterapia

La fisioterapia usa la biomecánica para estudiar el movimiento musculoesquelético, o sea, tratar de encontrar alguna alteración, disfunción o compensación relacionada con alguna disfunción ósea, articular o muscular.

Para su mayor comprensión, la fisioterapia aplica la biomecánica de acuerdo a la estructura que se encuentra en movimiento (hueso, músculo o articulación). A continuación se describe la definición de cada una de ellas:

**Osteocinemática.** Estudia los movimientos de los huesos en el espacio, sin tomar en cuenta el movimiento intrínseco en la articulación o la musculatura que se contrae.

**Artrocinemática.** Son los movimientos que se realizan dentro de la articulación.

*Músculos.* Son las principales estructuras para generar y controlar el movimiento de manera voluntaria por su capacidad contráctil; ayudan al equilibrio, postura y acciones del cuerpo humano (D’Freitas,2012; Morroni,2020).

Los conceptos anteriores son aplicables a cualquier tipo de movimiento, y pueden ser estudiados y analizados con el conocimiento de un fisioterapeuta. Dentro de las ramas de estudio en la fisioterapia en la que se aplican para analizar el gesto deportivo, se encuentra la biomecánica deportiva.

### **Biomecánica Deportiva**

Dentro de la biomecánica deportiva se aplican los métodos de la mecánica con el objetivo de analizar minuciosamente el gesto deportivo, para evaluar la efectividad y el rendimiento del atleta de acuerdo al deporte practicado (Pérez et al.,2015).

Por tanto, como parte de la adaptación y rehabilitación del fisioterapeuta deportivo, usa la biomecánica para estudiar el gesto deportivo, adaptaciones de los patrones básicos motores que se desarrollan durante el crecimiento y se definen según las destrezas del deporte practicado (Aedo Muñoz et al.,2016).

Las técnicas deportivas se clasifican de acuerdo a las acciones motrices similares que agrupan cada deporte. La tabla 1 muestra la siguiente clasificación.

**Tabla 1.**

*Clasificación de técnicas deportivas.*

<b>Técnica Deportiva</b>	<b>Definición</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Deportes de fuerza rápida</b>	Movimientos de intensidad máximo en periodos cortos de tiempo	Halterofilia, saltos y lanzamientos atléticos, 100 metros lisos
<b>Deportes de resistencia</b>	Alta exigencia de condición física, en tiempos prolongados	Carreras atléticas de fondo, ciclismo, natación

<b>Deportes de exactitud y expresión</b>	Requerimiento de precisión durante la ejecución, con expresión artística	Gimnasia, patinaje, nado sincronizado
<b>Juegos deportivos y deportes de combate</b>	Interacción activa entre los jugadores y aplicación combinada de técnicas	Baloncesto, voleibol, tenis, bádminton

*Nota. Elaboración propia del autor desde (Izquierdo,2008; Aedo Muñoz et al.,2016).*

## **Biomecánica de la Carrera**

### **Ciclo de la carrera**

El ciclo de carrera se define como un periodo de pasos que se realizan de manera constante y con velocidad; dependerá del tiempo y la distancia en que se realiza el apoyo de cada pie para calcular su duración. La unidad básica para estudiar la carrera se denomina zancada, cada dos zancadas, se considera un ciclo de carrera (Lacouture et al.,2013).

La zancada es la distancia que existe entre la transición del apoyo de un pie sobre el otro pie, es decir, la longitud entre el apoyo del pie derecho y el pie izquierdo. Así pues, un ciclo de carrera sería el momento en que un pie realiza el contacto con el suelo, hasta que el mismo pie lo contacta de nuevo. La distancia de la zancada es diferente en cada persona, y dependerá de la velocidad del atleta, así como de la longitud de los miembros inferiores (Lacouture et al.,2013).

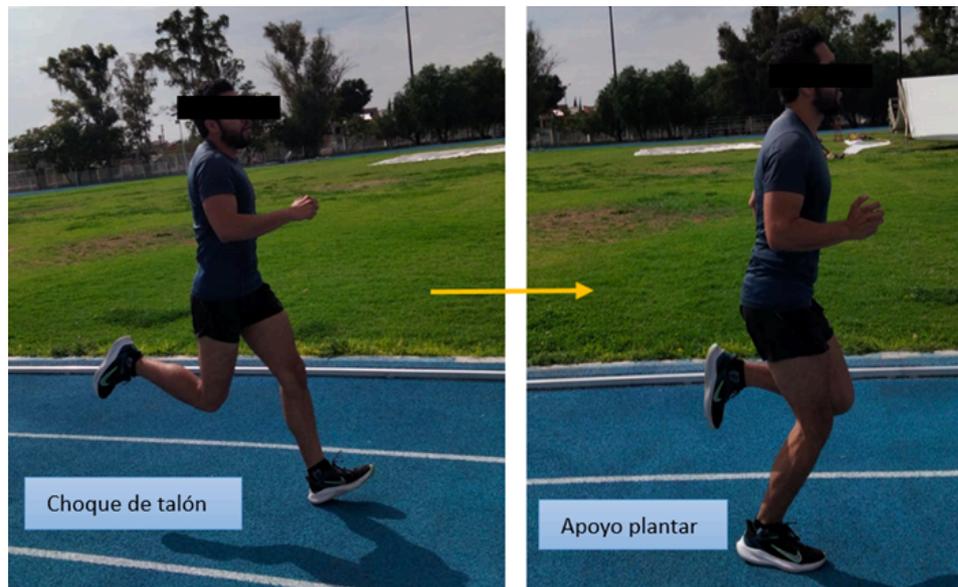
### **Fases de la Carrera**

#### **1. Fase de apoyo o amortiguación**

Esta fase inicia cuando el pie realiza el primer contacto con el suelo, generalmente se realiza con el talón; posteriormente se hace un apoyo total del pie (Figura 2). Durante esta fase hay una disminución de la velocidad; el tiempo de contacto del pie con el suelo determinará la velocidad de la carrera (Quiroga,2018).

## Figura 2

### Fase de apoyo



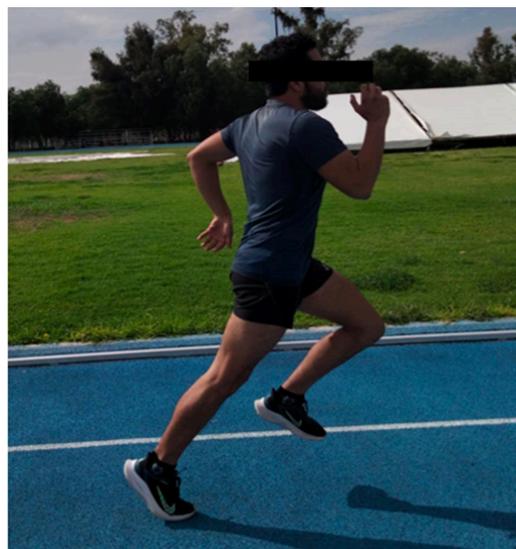
*Nota. Elaboración propia del autor*

## 2. Fase de impulso

Se realiza una extensión máxima de cadera y rodilla, el pie transiciona de un apoyo de metatarsos hacia los dedos del pie (Figura 3), finalizando el impulso cuando el pie pierde contacto con el suelo (Quiroga,2018).

## Figura 3

### Fase de impulso



*Nota.Elaboración propia del autor*

### 3. Fase de vuelo

Es el tiempo en que la pierna permanece en el aire (Figura 4); durante esta fase, la velocidad tiende a disminuir por la ausencia de propulsión (Quiroga,2018).

**Figura 4**

*Fase de vuelo*



*Nota. Elaboración propia del autor*

### Parámetros de la Carrera

La carrera se describe mediante diversos parámetros que se clasifican de la siguiente manera: Espaciales, temporales, espacio temporales, cinemáticos y cinéticos. En las Tablas 2-5 se presenta la definición de cada uno.

**Tabla 2**

*Parámetros Espaciales*

<b>Longitud de zancada</b>	Longitud que se da entre dos contactos sucesivos de talón de la misma pierna
<b>Longitud de paso</b>	Distancia entre el contacto inicial de talón de una pierna y contacto de talón de la pierna contralateral
<b>Ancho de paso</b>	Espacio entre los dos pies (base de

	sustentación)
<b>Altura del paso</b>	Altura del piso al pie para evitar el arrastre
<b>Ángulo del paso</b>	Orientación del pie al momento del apoyo

*Nota. Elaboración propia del autor desde (Agudelo et al., 2013; Villa et al., 2008)*

**Tabla 3**

*Parámetros Temporales*

<b>Balanceo</b>	Porcentaje en el cual la pierna se encuentra en el aire para avanzar hacia adelante.
<b>Doble apoyo</b>	Ambos pies tienen contacto con el suelo
<b>Periodo de zancada</b>	Tiempo en el que se realizan dos contactos iniciales de la misma pierna
<b>Periodo de apoyo</b>	Duración en la que el pie toca el suelo, hasta que despega los dedos del mismo
<b>Periodo de balanceo</b>	Periodo en el que hay despegue de los dedos del pie hasta el contacto de talón del mismo pie
<b>Cadencia</b>	Cantidad de pasos en un tiempo determinado (lo más común es un minuto)

*Nota. Elaboración propia del autor desde (Agudelo et al., 2013; Villa et al., 2008)*

**Tabla 4**

*Parámetros Espaciotemporales*

<b>Velocidad</b>	Distancia recorrida en relación al tiempo
<b>Velocidad de balanceo</b>	Duración en la que el miembro inferior tarda desde la aceleración inicial hasta dar el siguiente paso
<b>Velocidad media</b>	Se da calculando la cadencia por la longitud de zancada
<b>Cadencia</b>	Número de pasos por un tiempo determinado

*Nota. Elaboración propia del autor desde (Agudelo et al., 2013; Villa et al., 2008)*

## Tabla 5

### Parámetros Cinemáticos

Son los valores de los ángulos articulares del sujeto en cuestión al momento de realizar la carrera.

Plano Frontal	Plano Sagital	Plano Transversal
<ul style="list-style-type: none"><li>• Oblicuidad de la pelvis</li><li>• Aducción - abducción de cadera</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Basculación de pelvis</li><li>• Flexo - extensión de cadera</li><li>• Flexo - extensión de rodilla</li><li>• Dorsiflexión - plantiflexión de tobillo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rotación pelvis</li><li>• Rotación interna - externa de cadera</li><li>• Rotación interna - externa de rodilla</li><li>• Ángulo de progresión del pie</li></ul>

*Nota. Elaboración propia del autor desde (Agudelo et al., 2013; Villa et al., 2008)*

### Parámetros Cinéticos

#### Gráficas de momentos en las articulaciones

#### Gráficas de potencias en articulaciones

- Fuerza de reacción antero - posterior
- Fuerza de reacción medio - lateral
- Fuerza de reacción vertical

**Gráficas del centro de presión antero - posterior** (Agudelo et al., 2013; Villa et al., 2008).

La obtención de estos parámetros contribuyen a realizar un estudio biomecánico de una manera objetiva para la evaluación de la carrera, sin embargo; es importante determinar qué tipo de variable se estudia ya que algunos parámetros pueden ser más relevantes que otros. (Villa et al., 2008). De igual manera, hay que considerar que los datos varían entre los participantes, e incluso, entre el mismo sujeto en diferentes pruebas, por lo que se deben de tomar en cuenta los datos más

representativos, los cuáles se mantendrán constantes en el estudio de la carrera (Agudelo et al.,2013).

### **Sistemas de Captura de Movimiento**

La evidencia reciente sobre el estudio de la cinemática ha demostrado que existen diferentes técnicas y sistemas para la captura del movimiento, los cuáles han sido utilizados en disciplinas relacionadas al área de la salud, ingeniería y ciencia deportiva (Gómez et al.,2018; García,2019).

Dichos dispositivos se clasifican de la siguiente manera:

**Sistema óptico.** Se trata de un conjunto de cámaras calibradas para detectar marcadores que se encuentran en el cuerpo a estudiar, ya sea reflectantes, auto iluminados, o bien, sin el uso de marcadores. Este tipo de sistema está especializado para generar parámetros en tres dimensiones.

**Unidades de Medición Inercial.** Son dispositivos que contienen acelerómetros, giroscopios y magnetómetros que ayudan a medir la rotación de los segmentos corporales así como la velocidad angular. Se puede utilizar fuera de un ambiente o laboratorio experimental.

**Sistemas Magnéticos.** La captura de movimiento se produce por medio de la actividad producida por las antenas receptoras que se encuentran en el cuerpo. Han sido una forma de captura frecuente debido a que se puede utilizar fuera de un laboratorio, sin embargo, su grado de precisión no se considera del todo confiable en comparación con otros sistemas.

**Fluoroscopia.** Se ha hecho uso para estudiar la posición y orientación del pie en un sólo plano con el desarrollo de un hardware especializado.

**Ultrasonido.** Utilizado a la par con un sistema de análisis de movimiento por computadora, permite visualizar la cinemática de las articulaciones.

Así mismo, dentro de la biomecánica deportiva, suelen utilizarse dos maneras para interpretar los estudios cinemáticos: el análisis cuantitativo y el análisis cualitativo.

*Análisis Cuantitativo.* Es la descripción de los movimientos en términos numéricos, como por ejemplo; ángulos de los rangos de movimiento articular, distancia recorrida, velocidad del atleta, entre otros. Esto dependerá de las variables a estudiar del deporte seleccionado (Ramón Suárez,2009).

*Análisis Cualitativo.* Es una evaluación subjetiva por parte de algún especialista; en este caso, el fisioterapeuta deportivo; quien analiza la técnica deportiva, identifica alguna anomalía musculoesquelética o mala técnica del performance en el atleta. El análisis cualitativo es el más usado dentro del ámbito fisioterapéutico (Ramón Suárez,2009).

## **Unidades de Medición Inercial**

La unidad de medición inercial (IMU, por sus siglas en inglés), es un dispositivo electrónico pequeño e inalámbrico capaz de cuantificar y representar información como la velocidad angular, orientación y fuerzas gravitacionales de los movimientos en tres ejes (x, y, z), por medio de acelerómetros, giroscopios y magnetómetros (Kim et al.,2021; Castellanos et al.,2021).

## **Componentes de una Unidad de Medición Inercial**

*Acelerómetro.* Mide las fuerzas de gravedad mediante un sistema de coordenadas. Cuando el dispositivo se encuentra en reposo la gravedad es  $-9.8\text{m/s}^2$  (-1g); al iniciar el movimiento, el valor cambia de acuerdo a las fuerzas de inercia.

*Giroscopio.* Contiene una rueda o disco giratorio que calcula la velocidad angular con el cambio de orientación del eje de la rueda.

*Magnetómetro.* Determina el campo magnético local. El más común es una brújula que cuantifica la dirección del campo magnético de la Tierra (UAV Navigation,2022).

La captura y recopilación de los datos del movimiento se generan a través de la combinación de algoritmos específicos de cada componente antes mencionado (Kim et al.,2021).

Este sistema es económico y sencillo de utilizar; los sensores se aplican de manera no invasiva en el paciente, de esta forma, se sincronizan con una aplicación para la captura de los datos del movimiento. Posteriormente, se usa un software para la representación de los datos, donde a la par se realiza un análisis estadístico.

La utilización de unidades de medición inercial, permiten una evaluación objetiva, además de la facilidad de capturar el movimiento en un entorno sin restricciones, lo que permite al área médica hacer uso de ellas para la mejora en procesos de rehabilitación y corrección de técnica deportiva. (Whelan et al.,2015)

### **Software Kinovea para análisis de video bidimensional**

Kinovea es un software de acceso gratuito que permite la visualización de imágenes y videos bidimensionales con el fin de estudiar el movimiento humano. Es compatible con el sistema operativo Windows y cuenta con diversas aplicaciones para capturar, observar y medir el movimiento. Diversos estudios han utilizado este programa para la captura de diferentes deportes, con el fin de evaluar el gesto deportivo para una evaluación biomecánica (Kinovea, 2023; Runco et al.,2017; Sánchez-Pay, 2018).

La evaluación del movimiento se realiza a través de íconos, marcadores, escritura, angulaciones, mediciones, seguimiento de trayectorias, entre otras herramientas. Las instrucciones para utilizar este software se encuentran en su sitio web: <https://www.kinovea.org/> . (Kinovea, 2023; Lluch, 2012).

### **Filtros electrónicos**

Los filtros electrónicos son dispositivos que discriminan o dejan pasar una determinada frecuencia a través de una señal eléctrica para modificar su amplitud. Dentro de un estudio biomecánico, se puede utilizar para reducir el ruido o frecuencias externas que pueden tener los dispositivos de análisis para un resultado más preciso (Bocco et al.,2011)

Hay diversos tipos de filtros de acuerdo al objetivo que se quiera cumplir, en esta investigación, se utilizarán los filtros Chebyshev y Butterworth, siendo los más utilizados en la bibliografía para eliminar el ruido externo en las frecuencias para el análisis biomecánico.

## **Atletismo**

### **Definición de Atletismo**

El atletismo es un deporte que abarca diferentes disciplinas que se consideran actividades motrices esenciales para el ser humano como la carrera, marcha, saltos y lanzamientos. Éstas son realizadas bajo un reglamento con el fin de vencer a sus oponentes en diferentes categorías como velocidad, distancia, altura o resistencia. (Valero et al.,2014).

### **Historia del Atletismo**

Este es el deporte más antiguo de la historia; sus orígenes se remontan desde la bipedestación del ser humano, ya que desde ese momento se adquieren las actividades motrices como la carrera, el salto y lanzamiento de objetos; acciones que se realizan dentro de esta rama deportiva. (Rius Sant,2005; Hornilloz,2000).

La evidencia de las primeras carreras en forma de competencia se han encontrado a través de pinturas rupestres y cerámica en el antiguo Egipto y Mesopotamia. (Ayala et al.,2017). De igual manera se ha estudiado que en diversas culturas del mundo, han aplicado técnicas de atletismo ya sea para juegos, rituales, empleo, e incluso en sus celebraciones (Rius Sant,2005).

En cuanto al atletismo, como lo conocemos hoy en día, tiene sus inicios en Inglaterra en los siglos XVIII y XIX; donde los colegios militares empezaron a incluir deportes y ejercicios como parte de la currícula escolar. Estas actividades deportivas incluían carreras, saltos, lanzamientos y caminatas que se efectuaban en un mismo evento. La primera competencia de la que se tiene evidencia es la del Eton College en 1837. (Hornilloz,2000; Comité Olímpico Internacional [COI],2023).

A partir de ahí, el deporte se popularizó y se llevaron a cabo competencias de índole profesional en otras partes del mundo, como Estados Unidos, Reino Unido, entre otras naciones (COI,2023).

Fue en el año 1896 donde el atletismo se integró en los Juegos Olímpicos; además de tener una mayor relevancia por la creación de la Federación Internacional de Atletismo (IAAF, por sus siglas en inglés) el 17 de Julio de 1912, integrada por diversos países como Alemania, Canadá, Chile, EE.UU., Gran Bretaña, Suecia, Rusia, por mencionar algunos (COI,2023)

### **La Carrera Atlética**

Como se ha mencionado anteriormente, el atletismo abarca diferentes disciplinas, sin embargo; para esta investigación, el objeto de estudio será la carrera atlética lisa, por lo que en el siguiente apartado se darán algunas características de la misma.

La carrera atlética se define como un “conjunto de acciones motrices cíclicas en las que se repite de forma periódica cada una de las partes que componen su estructura, y que representan una habilidad básica de locomoción y una prolongación natural de andar; se encuentran las carreras lisas, las de obstáculos y las de relevos” (Valero et al.,2014).

La carrera lisa también tiene una clasificación, de las cuáles derivan las carreras de velocidad, medio fondo y fondo. La Tabla 6 muestra las características de cada clasificación.

**Tabla 6***Clasificación de las carreras atléticas lisas*

<b>Carreras Atléticas Lisas</b>		
<b>Velocidad</b>	100m	Es la distancia más corta del programa olímpico. Los participantes corren 100m rectos de un óvalo de 400m (pista).
	200m	Se recorre la mitad de la distancia de la pista de 400m, requiere la experiencia de correr una curva a velocidad máxima.
	400m	Es una vuelta completa a la pista de atletismo, se corre en un carril designado.
<b>Medio Fondo</b>	800m	La distancia más corta de medio fondo, se realizan dos vueltas completas a la pista de atletismo.
	1500m	Es la distancia más común del medio fondo, consiste en 3 vueltas y 3 cuartos de la pista de atletismo.
<b>Fondo</b>	5000m	Con mayor exigencia aeróbica, en esta categoría se recorren 12 vueltas y media a la pista de 400m.
	10000m	Se realiza un recorrido de 25 vueltas a la pista, es la máxima distancia que se realiza dentro de la pista atlética.
	Medio Maratón	Este tipo de carrera se realiza en ruta, fuera de la pista de atletismo, se trata de recorrer 21.0975Km, es de las carreras recreativas más famosas.
	Maratón	La carrera más extensa del programa olímpico, se recorren 42.195km, y al igual que el medio maratón; se realiza en una ruta fuera de la pista de atletismo.

Nota. Elaboración propia del autor desde (World Athletics,2023)

Cada categoría de carrera atlética lisa tiene sus propias características, ya sea por la variación en las distancias, correr a velocidades diferentes, e incluso, distintos niveles de resistencia de acuerdo a la prueba elegida, no obstante; comparten la misma acción efectuando el patrón de la carrera de forma constante sin realizar otro gesto fuera de esta acción biomecánica; como lo suelen hacer en otras pruebas como saltos, lanzamientos o actividades combinadas.

### **Equipo de Atletismo en la ENES UNAM León**

El equipo representativo de atletismo de la ENES UNAM Unidad León, se creó a partir del 20 de abril del 2022, iniciando con 15 atletas a cargo de la Mtra. Laura Leticia García Sánchez; desde entonces se realizan dos entrenamientos por semana.

Su preparación les permitió participar en la “Tercera carrera recreativa de la ENES León 2022”, de los cuales, 3 de ellos obtuvieron pódium. Semestre a semestre se ha incrementado el número de integrantes del equipo; hoy en día han recibido asesoría y acompañamiento deportivo 31 atletas, 12 hombres y 18 mujeres.

## Capítulo 2 - ANTECEDENTES

---

El estudio biomecánico de la carrera se ha beneficiado con el uso de sensores portátiles como las unidades de medición inercial; esto se debe a la cuantificación de las variables cinéticas, cinemáticas y espaciotemporales que nos brindan estos dispositivos.

En relación con esto, Horsley et al (2021), investigaron sobre la fiabilidad de las unidades de medición inercial en cuanto a la ubicación en el cuerpo específicamente para evaluar las variables espaciotemporales de la carrera. La colocación de los sensores fue diversa entre el pie, la tibia, la cadera, el sacro, la columna lumbar, el tronco y la columna torácica; en donde sólo hubo una diferencia significativa en el sensor de la columna torácica, que se puede considerar como el menos confiable. Ahora bien, las ubicaciones con mejores marcadores fueron el pie, la tibia y la columna lumbar, donde se concluye que se pueden adquirir datos válidos, en especial, la longitud de la zancada.

Así mismo, Zeng et al (2022), determinaron la validez del uso de las IMUs en análisis biomecánicos de la carrera en sujetos sanos, donde se realiza la prueba en dos ocasiones a los mismos participantes, para comparar los resultados. De igual manera, se estudiaron las variables espaciotemporales y cinemáticas tales como: longitud de zancada, ángulos articulares del plano sagital, tiempo de apoyo y velocidad de carrera. Este estudio demostró la confiabilidad de las unidades de medición inercial como moderada a excelente para las variables espaciotemporales, sin embargo, indica una diferencia en los ángulos articulares del miembro inferior, por lo que recomiendan tener cautela al momento de capturar estos datos.

La localización de las IMUs se emplean en tibia, pie y columna lumbar, realizando las pruebas de carrera en caminadora para identificar el patrón o anomalías en la forma de correr y comprobar la viabilidad en un entorno clínico. Al igual que en los estudios anteriores, se destaca el uso de las unidades de medición inercial para el estudio de la carrera en corredores recreativos para analizar las variables cinemáticas y espaciotemporales (Mason et al.,2023).

Ahora bien, en el caso del uso del software kinovea para el estudio de videos bidimensionales, Dingenen et al (2018) estudiaron la confiabilidad del video bidimensional para medidas cinemáticas como los rangos de movimiento del miembro inferior en un plano frontal y sagital con el uso de Kinovea, donde 21 corredores recreativos realizaron la carrera en una caminadora, con la colocación de marcadores reflectivos en las articulaciones. Se realizaron dos pruebas en días distintos para comparar los resultados. Se concluyó que se deben de incluir al menos 7 pasos para alcanzar y mantener una media estable en relación con los ángulos articulares, por lo que se determinó una confiabilidad excelente en el uso de videos bidimensionales para la evaluación de la cinemática de la carrera en entorno clínicos.

De igual manera, Fernández-González et al (2020a), utilizaron Kinovea para evaluar la fiabilidad del software en el cálculo de variables espaciotemporales de la marcha respecto a un sistema tridimensional de análisis de movimiento (VICON). Se realizaron 5 registros de prueba de marcha en cada sesión, se realizaron dos sesiones con una semana de diferencia entre ellas, los resultados mostraron que los parámetros estudiados en sujetos sanos, tienen una excelente confiabilidad al compararse los datos obtenidos con Kinovea y el sistema VICON de análisis tridimensional, lo que hace a este software, una herramienta accesible y fácil de usar para obtener datos objetivos en un ambiente clínico.

En otro estudio realizado por Fernández-González et al (2020b), se evaluó el rango de movimiento de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo en la fase de contacto inicial de la marcha, realizando la comparación con Kinovea y un sistema tridimensional. Participaron 50 sujetos sanos examinados con un intervalo de una semana entre las dos herramientas de evaluación. Hubo una buena correlación para los ángulos mencionados durante el contacto inicial, por lo que se concluyó que ambas herramientas pueden ser utilizadas para una interpretación clínica.

Aunque diversos estudios hacen una comparación con un sistema tridimensional, actualmente no existen estudios que proporcionen una evaluación utilizando las unidades de medición inercial en conjunto con el análisis de video bidimensional con un software como Kinovea para la evaluación de parámetros cinemáticos durante la carrera.

## Capítulo 3 - PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

---

### Planteamiento del problema

El estudio del movimiento humano es un área que cobra cada vez más importancia debido a que tiene bastante utilidad en diferentes ramas de la ciencia, como lo son la medicina, la biomédica, ciencias del deporte, fisioterapia y rehabilitación (Aurbach et al.,2017). Dichas investigaciones se realizan para obtener una referencia cuantitativa sobre los movimientos que se consideran normativos, así como los patológicos; y posteriormente ayudan a realizar una comparativa después de un entrenamiento o intervención terapéutica (Cuesta - Vargas et al.,2011).

Durante los últimos 15 años, los sistemas de medición de captura de movimiento se han utilizado en el área de la salud deportiva. En consecuencia, la biomecánica ha utilizado numerosos instrumentos innovadores para el estudio y evaluación de los gestos deportivos. Este es un gran avance para la fisioterapia, ya que la tecnología puede utilizarse para evaluar con mayor precisión la técnica deportiva y proporcionar indicadores cuantitativos en los procesos de entrenamiento y rehabilitación (Dingenen et al., 2018).

La carrera es una de las técnicas más estudiadas debido a que es fundamental en la mayoría de las prácticas deportivas, además de considerarse una actividad motriz esencial para el ser humano, y con ella podemos adquirir información para la mejora del rendimiento deportivo (Valero et al.,2014; Morales et al.,2021).

Ahora bien; dentro de la fisioterapia, el estudio de las variables del movimiento es fundamental para la comprensión del gesto motor, la adaptación de los movimientos fisiológicos en la técnica deportiva, de modo que, tiene como objetivo identificar desequilibrios musculares e incluso la retroalimentación para una mejoría en el ámbito deportivo (Alfonso,2019).

Actualmente, existen autores que consideran el análisis de video tridimensional como la mejor alternativa para la realización de un estudio biomecánico, gracias a la exactitud y precisión de sus variables, no obstante; es una opción muy limitada para el uso clínico por el alto costo de los materiales, así como requerir una capacitación especializada, por lo que se llegan a utilizar otras herramientas innovadoras de más fácil acceso (Damsted et al., 2015; Peebles et al., 2020).

Dentro de estas herramientas, se encuentran sistemas de captura de movimiento que funcionan a través de sensores o marcadores, que son estudiados mediante programas computacionales electrónicos que evalúan videos bidimensionales, y unidades de medición inercial para el registro de la orientación angular y el movimiento de un segmento corporal (O' Reilly et al., 2018; Mitternacht et al., 2022). Dichas herramientas son utilizadas para facilitar el estudio del movimiento humano en ambientes clínicos, siendo de gran utilidad por su facilidad de uso.

Tanto las unidades de medición inercial como la captura de movimiento en video bidimensional, se han empleado en distintas áreas de la salud cuando no se cuenta con un equipo o laboratorio especializado de biomecánica; se han logrado calcular variables cinemáticas, espacio temporales, espaciales, tales como, arcos de movimiento, longitud de paso, aceleración, velocidad, entre otros (Norris et al., 2014; Reinking et al., 2018). Sin embargo, ninguna de estas herramientas han sido utilizadas para un estudio biomecánico de manera conjunta, es decir, un estudio híbrido, dentro de un ambiente clínico universitario.

Ahora bien, siendo la carrera uno de los gestos deportivos más estudiados, y con la reciente creación del equipo de atletismo en la ENES, Unidad León, aún no cuenta con una herramienta establecida para el estudio del movimiento dentro de la selección deportiva.

Por lo que se deriva la siguiente pregunta de investigación:

***¿Cuál es el potencial uso, en fisioterapia, de un análisis cinemático híbrido en corredores de fondo del equipo representativo de atletismo de la ENES, Unidad León?***

## Justificación

El estudio cinemático desde un enfoque cuantitativo ha tomado gran relevancia por todas las variables biomecánicas que puede brindar para un mejor estudio del movimiento humano. Este tipo de análisis ha sido bien recibido en el ámbito deportivo con la intención de estudiar el gesto deportivo para una mejora o corrección del mismo (Sánchez-Pay,2018).

Los sistemas de captura de movimiento tridimensionales han sido los más certeros para el estudio del movimiento humano, sin embargo; no se considera adecuado para aplicarse en un entorno clínico por su elevado costo y su complejidad de uso. Por otro lado, la captura mediante el video bidimensional es una forma práctica para analizar la cinemática del cuerpo humano (Damsted et al.,2015).

La captura de movimiento bidimensional y las unidades de medición inercial han sido utilizadas para el análisis de la carrera con un alto grado de confiabilidad respecto al sistema de movimiento tridimensional para el cálculo de variables cinemáticas, especialmente, el rango de movimiento articular de cadera y rodilla en el plano sagital. (Bastiaansen et al., 2020; Peebles et al.,2020). Dichas variables son de gran ayuda para realizar un análisis de la carrera desde el punto de vista de un fisioterapeuta.

Ahora bien, estas herramientas pueden ser utilizadas por fisioterapeutas, de una manera híbrida, ya que como profesionales de la salud, tienen el conocimiento de las estructuras y movimientos del cuerpo humano, especialmente a nivel biomecánico, además de ser una herramienta sencilla de comprender y de fácil acceso. Esto permitirá al fisioterapeuta familiarizarse con una tecnología innovadora en la investigación del movimiento.

## **Objetivos del estudio**

### **Objetivo general**

- Explicar el potencial uso, dentro de fisioterapia, de un análisis cinemático híbrido en los corredores de fondo del equipo representativo de atletismo de la ENES, Unidad León

### **Objetivos específicos**

- Describir los resultados del análisis cinemático desde el punto de vista de un fisioterapeuta
- Enunciar los alcances y limitaciones de la utilización de un sistema híbrido de captura de movimiento para un análisis cinemático de la carrera

## Capítulo 4 - METODOLOGÍA

---

A continuación, se presenta la metodología empleada en esta investigación, de acuerdo a Hernández Sampieri (2014).

### Enfoque de investigación

El enfoque de este estudio es **cuantitativo**, ya que el análisis cinemático nos arrojará datos numéricos.

### Alcance del estudio

Esta investigación es **exploratoria** ya que se está estudiando un tema novedoso.

### Diseño del estudio

**Transversal:** Se hará la recolección de los datos en un único momento.

**Cuasi-experimental:** Se realizará el estudio en un único grupo donde los sujetos no se eligieron al azar, y no hay grupo control.

**Descriptivo:** Por los instrumentos de evaluación y las características de los participantes de esta investigación.

### Selección de la muestra

La selección de la muestra es **no probabilística o dirigida por conveniencia**, cumpliendo los criterios de inclusión, formando parte del equipo varonil de atletismo de la ENES UNAM León.

### Recolección de la muestra

La recolección de la muestra se llevó a cabo con una invitación de manera personal a los integrantes del equipo varonil de atletismo de la ENES UNAM León, donde se explicó el proceso y motivo de la investigación. Se les indicó que deberían de tener el 80% de asistencias a los entrenamientos, es decir, haber asistido a por lo

menos 28 entrenamientos de los 35 que se consideraron en el periodo de Agosto 2022 - Enero 2023. Se tomaron en cuenta los entrenamientos debido a que deben de practicar el deporte estudiado de manera frecuente, esto, con fines de aplicar el análisis de la carrera en un atleta experimentado.

Posteriormente, se les proporcionó un cuestionario para brindar datos personales, peso, talla, edad, para valorar su índice de masa corporal, así como mencionar algún padecimiento actual o lesión que les impida realizar la prueba de la investigación. (*Anexo 4*).

### **Criterios de inclusión**

- Integrantes del equipo varonil de atletismo de la ENES UNAM León
- Integrantes que hayan firmado el consentimiento informado
- Rango de edad entre 20 y 30 años
- Integrantes con al menos 80% de asistencia a los entrenamientos de atletismo en el periodo Agosto 2022 - Enero 2023

### **Criterios de exclusión**

- Lesiones que impidan realizar la carrera
- Patologías cardíacas o pulmonares
- Índice de masa corporal por debajo de 18.5 y superior a 25
- Sujetos que se nieguen a realizar la prueba

### **Criterios de eliminación**

- Sujetos que no asistan a la prueba del estudio
- Participantes que no estén de acuerdo con el consentimiento informado
- No acudir con vestimenta o equipo necesario a la prueba

## Recursos

### Recursos Espaciales

Área de gimnasio de la clínica de fisioterapia de la ENES, Unidad León

### Recursos Humanos

- Investigador: Llevar a cabo la investigación e interpretación de los resultados
- Tutor y asesores de investigación: Orientación y revisión de la investigación
- Ingenieros biomecánicos: Post procesamiento de los datos obtenidos
- Equipo varonil de atletismo de la ENES, Unidad León: Participantes de la prueba

### Recursos Materiales

A continuación, en la Tabla 7, se presentan los recursos materiales para realizar el análisis biomecánico de la carrera.

**Tabla 7**

*Recursos Materiales*

Recurso Material	Imagen Descriptiva
Caminadora	

<p><b>Dos tripies</b></p>	
<p><b>3 Unidades de Medición Inercial (MMR, MBientLab)</b></p>	
<p><b>6 marcadores reflectivos</b></p>	
<p><b>Dos smartphones</b></p>	
<p><b>Cinta doble cara</b></p>	

*Nota. Elaboración propia del autor*

## Desarrollo del Proyecto

### Descripción del estudio

Las pruebas biomecánicas se realizaron en el periodo de Enero - Marzo 2023, con la previa autorización del encargado de las selecciones deportivas y la entrenadora del equipo varonil de atletismo, mediante una carta de petición. (Anexos 1 y 2).

Posterior al llenado del cuestionario de antecedentes personales, y verificar el porcentaje de asistencia a los entrenamientos; los participantes elegidos para el estudio fueron citados para realizar su prueba. Sólo se evaluó a un sujeto por semana, al cual, se le brindó un consentimiento informado, donde se explica el desarrollo y objetivo de la investigación. (Anexo 3).

### Preparación de los Instrumentos y Participantes

Se utilizó la caminadora del gimnasio de la clínica de fisioterapia de la ENES UNAM León, en donde se colocaron ambos tripies a una distancia de 1.90m de los laterales de la caminadora, como se muestra en la Figura 5, con el fin de tener una imagen completa del atleta a valorar. Luego, se colocó un smartphone en cada tripie, con el flash activado, para la grabación de la carrera.

### Figura 5

#### *Colocación de instrumentos de medición*

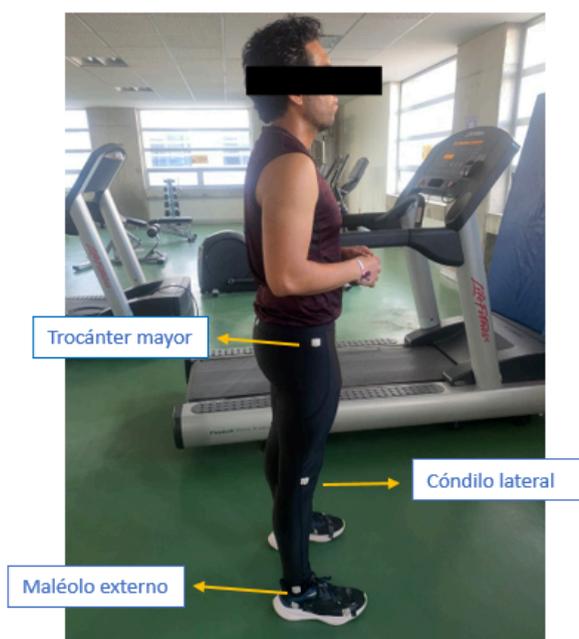


*Nota. Elaboración propia del autor*

A los participantes se les indicó que acudieran con leggins negros, calzado deportivo y playera adecuada para correr. Se colocaron marcadores reflectivos en las siguientes prominencias óseas de ambos miembros inferiores: Trocánter mayor del fémur, cóndilo lateral del fémur, maléolo lateral.

## Figura 6

### *Colocación de marcadores reflectivos*



*Nota. Elaboración propia del autor*

De igual manera, se colocaron las tres unidades de medición inercial en las siguientes zonas:

- Cara anterior de muslo derecho, en zona media entre cresta ilíaca anterosuperior y tuberosidad tibial
- Cara anterior de muslo izquierdo, en zona media entre cresta ilíaca anterosuperior y tuberosidad tibial
- Zona media entre espinas ilíacas posterosuperiores

Los tres sensores se sujetaron con bandas elásticas para evitar la caída de los mismos, y teniendo la misma dirección, como se muestra en la figura 7. Los datos del sensor inercial se registraron a 25 [Hz].

## Figura 7

### Colocación de Unidades de Medición Inercial



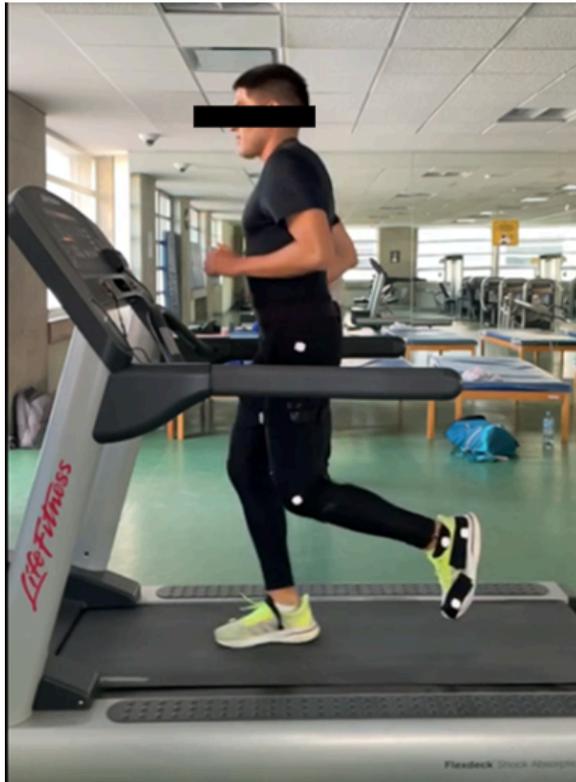
*Nota. Elaboración propia del autor*

Ahora bien, las unidades de medición inercial se sincronizaron con la app MetaBase mediante un dispositivo telefónico para guardar la información generada durante la prueba.

Una vez colocados los marcadores y las unidades de medición inercial, se inició la prueba realizando marcha en la caminadora a 5 km/h; posteriormente, se aumentó la velocidad a 8 km/h para iniciar la carrera (Figura 8). Se capturó video sagital para el lado izquierdo y derecho a una frecuencia de muestreo de 30 y 240 [Hz], respectivamente. Se grabaron 10 ciclos de carrera y al finalizar, se guardaron los datos en la app MetaBase, concluyendo la prueba con el atleta.

## Figura 8

### *Ejecución de la prueba*



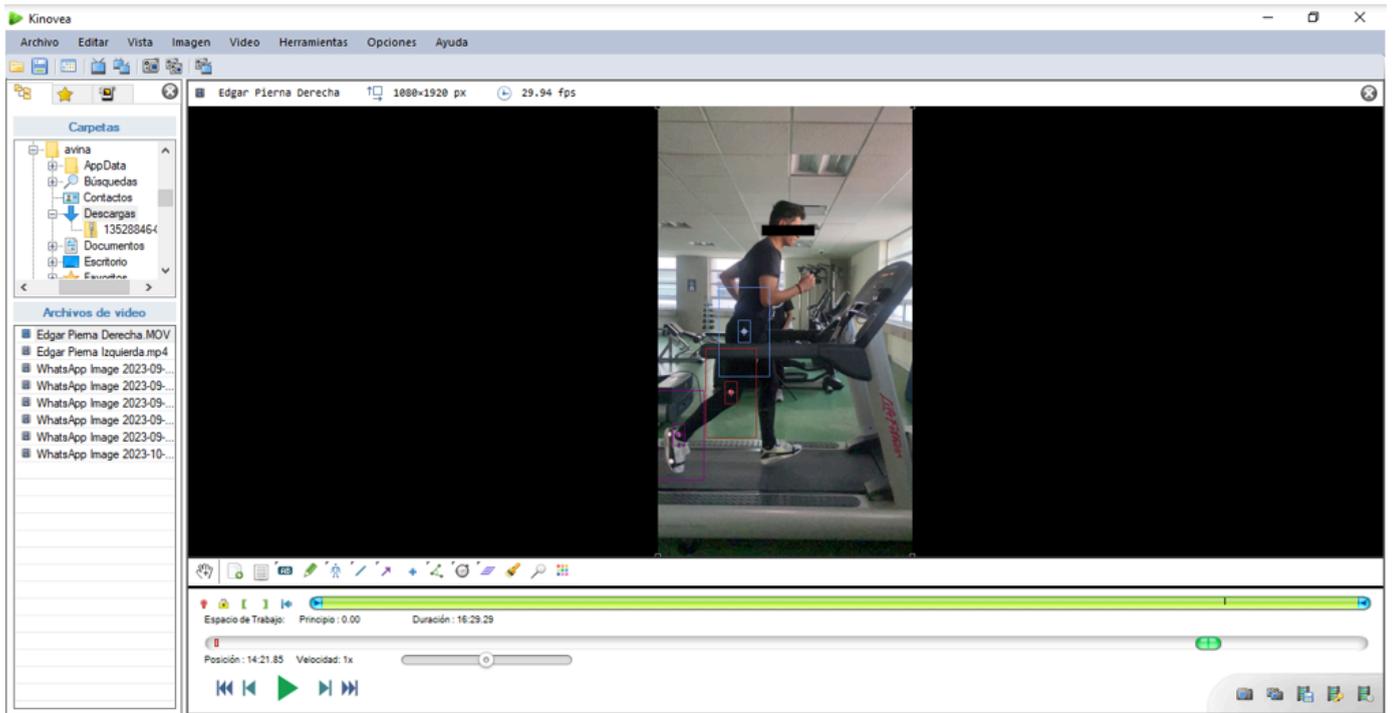
*Nota. Elaboración propia del autor*

## Procesamiento de los datos obtenidos

Después del registro, los datos se importaron y procesaron en el software MATLAB 2017b. Los datos del sensor inercial se filtraron utilizando un filtro Butterworth de paso bajo con una frecuencia de corte de 5 [Hz]. Los marcadores anatómicos se digitalizaron a partir de los videos, utilizando el software Kinovea 9.15 (Figura 9) . Para los datos de vídeo, se utilizó un filtro Chebyshev de 10 [Hz]. Los ángulos de la cadera y la rodilla se calcularon utilizando datos capturados de sensores inerciales y cámaras de vídeo, respectivamente.

## Figura 9

### *Digitalización de marcadores reflectivos en Kinovea*



*Nota. Elaboración propia del autor*

## Capítulo 5 - RESULTADOS

---

La muestra estuvo conformada por 8 de los 12 integrantes del equipo varonil de atletismo de la ENES UNAM León; se excluyeron 4 sujetos ya que tuvieron menos del 80% de asistencia a los entrenamientos establecidos.

**Tabla 8**

*Descripción de la muestra*

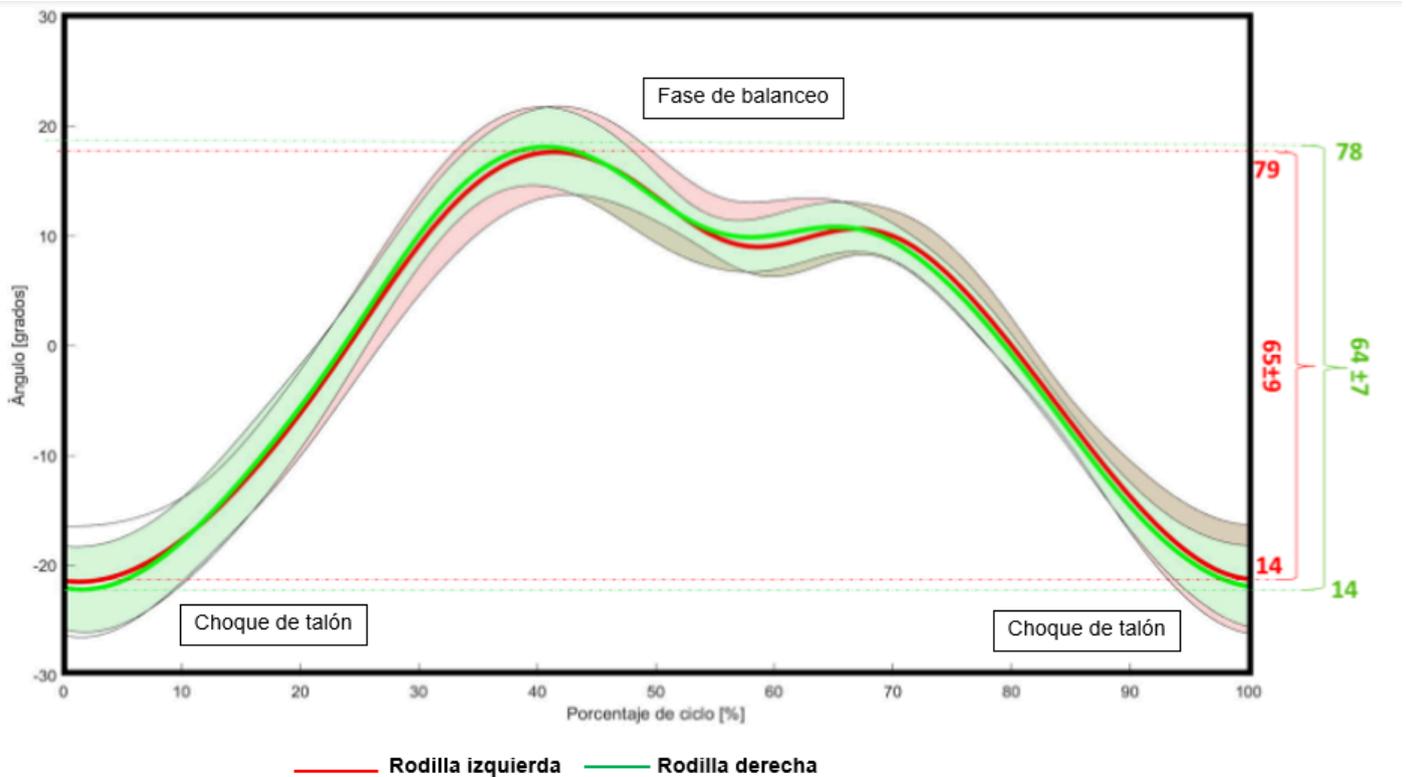
Sujeto	Edad	Altura	Peso	IMC	Asistencias a entrenamientos
Sujeto 1	26	1.72m	70kg	23.7	91%
Sujeto 2	21	1.82m	78kg	23.5	100%
Sujeto 3	22	1.78m	72kg	22.7	82%
Sujeto 4	28	1.70m	65kg	22.5	94%
Sujeto 5	20	1.73m	62kg	20.7	100%
Sujeto 6	22	1.68m	59kg	20.9	97%
Sujeto 7	22	1.78m	62kg	19.6	91%
Sujeto 8	26	1.75m	75kg	24.5	100%

*Nota. Elaboración propia del autor*

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los análisis biomecánicos; se muestran las gráficas de los ángulos articulares de cadera y rodilla, realizados con las unidades de medición inercial y análisis de video bidimensional con el software Kinovea respectivamente, de manera grupal. Para cada gráfica se obtuvo el promedio de cada rango de movimiento articular de ambos miembros inferiores entre los 8 participantes del estudio, así como su desviación estándar.

**Figura 10**

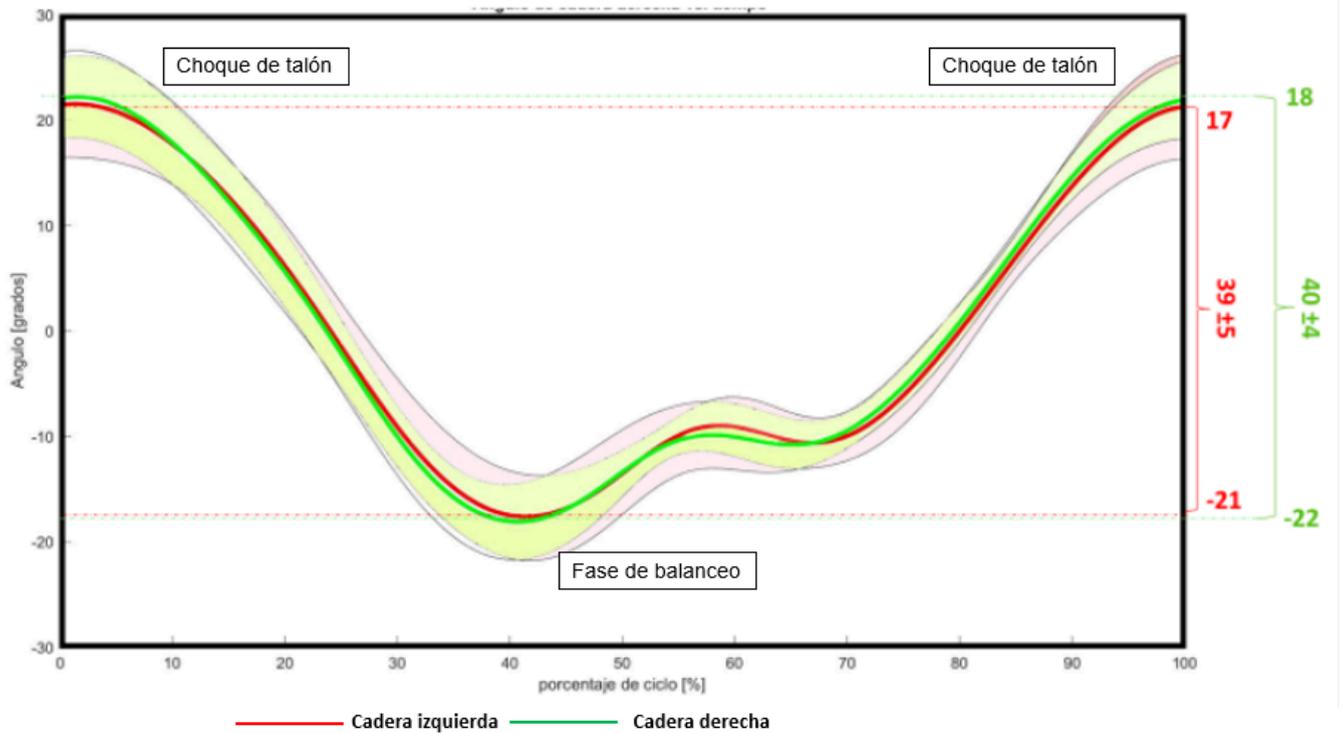
*Flexión / Extensión media de rodilla durante un ciclo de carrera para 8 atletas*



De acuerdo a la gráfica, el promedio de los rangos articulares de los 8 participantes son de  $65^{\circ} \pm 9^{\circ}$  para la rodilla izquierda y de  $64^{\circ} \pm 7^{\circ}$  para la rodilla derecha. Esto, teniendo como un rango mínimo de  $14^{\circ}$  para ambas rodillas, que se representa en la fase de choque de talón, y un rango máximo de  $79^{\circ}$  para la rodilla izquierda y de  $78^{\circ}$  para la rodilla derecha, durante la fase de balanceo.

**Figura 11**

*Flexión / Extensión media de cadera durante un ciclo de carrera para 8 atletas*



Para la cadera, el rango de movimiento promedio de todos los participantes es de  $40^{\circ} \pm 4^{\circ}$  grados para el lado derecho y  $39^{\circ} \pm 5^{\circ}$  grados para el lado izquierdo. El rango articular máximo de la cadera derecha es de  $18^{\circ}$  y el mínimo de  $-22^{\circ}$ , a diferencia del lado izquierdo siendo el máximo de  $17^{\circ}$ , y el mínimo de  $-21^{\circ}$ , que representan la fase de choque de talón y fase de balanceo, respectivamente.

Las gráficas nos indican que cada atleta tiene diferencias entre los rangos de movimiento dinámicos de la cadera y la rodilla entre pierna derecha e izquierda, los cuales están asociados con diferencias en la movilidad al correr. Sin embargo, las diferencias de los rangos articulares entre cadera y rodilla no muestran una diferencia significativa por las características similares de los atletas.

## Capítulo 6 - DISCUSIÓN

---

De acuerdo a los resultados, la información obtenida nos da pauta a reconocer los ángulos articulares de cadera y rodilla, de manera que pudieron ser interpretados para reconocer el comportamiento del miembro inferior derecho e izquierdo durante la carrera del atleta. Esto ayuda al fisioterapeuta a ser más objetivo al realizar un análisis biomecánico con el uso de herramientas tecnológicas dentro de un ambiente clínico.

Ahora bien, los resultados de este estudio muestran los alcances que se pueden obtener al utilizar las unidades de medición inercial para el cálculo del ángulo de cadera; datos que coinciden con la investigación realizada por Hernández et al (2020), en donde hicieron uso de unidades compuestas por acelerómetros, giroscopios, en conjunto de marcadores reflectivos para los ángulos del miembro inferior en comparación de un sistema optoelectrónico. Se reportó que no se observó ninguna tendencia específica de sesgo entre estos dos sistemas, sin embargo, hubo una diferencia poco significativa en el valor de flexión de cadera, que se atribuye al desplazamiento de los marcadores sobre la ropa del atleta, aspecto que también pudo estar presente en esta investigación.

De igual manera, Weygers et al (2020), realizaron una revisión sistemática para evaluar la confiabilidad del uso de unidades de medición inercial para estudiar los rangos de movimiento de los miembros inferiores, en donde determinaron que se requiere una zona anatómica bien definida para la localización de las IMU's para evitar un cálculo erróneo, sin embargo, al igual que Hernández et al (2020), el estudio mostró que estas unidades pueden tener un sesgo generado por el ruido externo debido a su arquitectura microelectrónica. Dicho ruido, también se consideró en esta investigación, es por eso que se utilizaron programas para filtrar este tipo de ruidos y evitar sesgos significativos.

Un aspecto importante de este estudio, fue el uso de las unidades de medición inercial en un ambiente externo, es decir, ajeno a un laboratorio especializado de biomecánica, con el fin de evaluar la cinemática articular, idea que

se comparte con el estudio realizado por Lee et al (2022), donde exploran la metodología del uso de estas unidades en diferentes actividades tanto deportivas como de la vida diaria para estudiar la precisión de variables biomecánicas.

Por otro lado, se utilizó el análisis de video bidimensional mediante el software Kinovea para calcular los rangos de movimiento de rodilla durante la carrera. Fernández-González et al (2020b), evaluó la confiabilidad del software Kinovea en comparación con un sistema tridimensional en participantes sanos. Los resultados mostraron buena correlación, ya que hubo concordancias similares entre estos sistemas para los ángulos de cadera, rodilla y tobillo, a pesar de ello, recomiendan interpretar estos datos con cautela.

Un estudio similar realizado por Damsted et al (2015), presenta a 18 corredores analizados en días distintos por el mismo método de video bidimensional para comparar los resultados posteriores al análisis del rango de movimiento de cadera y rodilla. Los grados articulares de rodilla variaron de 3° a 8° y de cadera de 3° a 7° de diferencia entre la primera y la segunda prueba, aún así, determinaron este rango como confiable para seguir haciendo uso de un sistema bidimensional en un ambiente clínico para pacientes sanos.

Con respecto a estos estudios, la similitud con este trabajo, es que todas las investigaciones se realizaron en pacientes sanos, esto, debido a que se está realizando una validación para el uso de una tecnología.

## Capítulo 7 - CONCLUSIONES

---

- La aplicación de un sistema híbrido para el análisis cinemático de la carrera en el equipo de atletismo de la ENES, Unidad León, permitió al fisioterapeuta identificar el comportamiento de ambos miembros inferiores con el cálculo de los rangos articulares de cadera y rodilla.
- La accesibilidad y facilidad de estas herramientas permitieron al fisioterapeuta realizar un análisis cinemático dentro de un ambiente clínico universitario.
- Los resultados obtenidos se consideran confiables a partir de la bibliografía revisada, por lo que se puede implementar este método como herramienta fisioterapéutica.
- Quedan asentados los primeros argumentos académicos de que el análisis cinemático híbrido es una herramienta para evaluar funciones biomecánicas dentro de la carrera

### Limitaciones del estudio

- Debido al momento histórico de la población que estuvo en el presente estudio, se tuvo la limitante de no tener género femenino, lo cual pudiera tener áreas de estudio y de interés para futuras investigaciones.

## REFERENCIAS

---

- Aedo Muñoz E., Bustamante Garrido A. (2016). Conceptualización de la Biomecánica Deportiva y Biomecánica de la Educación Física. *El Físico de Chile UMCE*, 63-68.
- Agudelo, A. I., Briñez, T. J., Guarín, V., Ruiz, J. P., Zapata, M. C. (2013). Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. *CES Movimiento y Salud*. 1(1), 29-43.
- Alfonso, J. (2019) Herramientas tecnológicas para el estudio e intervención de la biomecánica en el deporte de alto rendimiento: una mirada desde fisioterapia. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 8(3): 67-78.
- Aurbach M., Wagner K., Süb F., Dendorfer S. (2017). Implementation and validation of human kinematics measured using IMUs for musculoskeletal simulations by the evaluation of joint reaction forces. *Regensburg Center of Biomedical Engineering*, 62: 205-211.
- Ayala, C. F., Ramírez, M. X., Ocampo, C. A. (2017). Atletismo de pista olímpico: Señales históricas(1). *Lúdica Pedagógica*. (25), 9-20.
- Balthazard P., Currat D., Degache F. (2015). Fundamentos de biomecánica. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 36(4):1-8.
- Bastiaansen, B.J., Wilmes, E., Brink, M.S., de Ruiter, C.J., Savelsbergh, G.J., Steijlen, A., Jansen, K.M., van der Helm, F.C., Goedhart, E.A., van der Laan, D., Vegter, R.J., Lemmink, K.A. (2020). An Inertial Measurement Unit Based Method to Estimate Hip and Knee Joint Kinematics in Team Sport Athletes on the Field. *Journal of Visualized Experiments*, 159: 1-8. <https://doi.org/10.3791/60857>
- Bocco, F., Giana, F., Ramos, P. (2011). Procesadores de audio: Filtros, Generalidades. *Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica*, 1-9.
- Castellanos, J.A., Montealegre, L.M., Martínez, B.D., Gallo, J.J., Almanza, O. (2021). Uso de sensores inerciales en fisioterapia: Una aproximación a procesos de evaluación del movimiento humano. *Universidad y Salud*., 23(1), 55-63. <https://doi.org/10.22267/rus.212301.214>
- Comité Olímpico Internacional. (2023). *Atletismo - Noticias, atletas, resúmenes y más*. <https://olympics.com/es/deportes/atletismo/>

Cuesta-Vargas A., William J. (2011). Estudio de la cinemática y fiabilidad inter e intraterapeutas de la manipulación vertebral cervical basada en sensores inerciales. *Asociación Española de Fisioterapeutas*, 33(1): 25-30.

Damsted G., Oestergaard R., Henrik L. (2015). Reliability of video-based quantification of the knee and hip angle at foot strike during running. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(2): 147-154.

D'Freitas, N. (2012). Cinemática articular. *Revista de la Sociedad Venezolana de Ciencias Morfológicas*, 18: 15-20.

Dingenen, B., Barton, C., Janssen, T., Benoit, A., Malliaras, P. (2018). Test-retest reliability of two-dimensional video analysis during running. *Physical Therapy in Sport*, 33: 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.06.009>

Dufour, M., Pillu, M. (2018). *Biomecánica funcional. Miembros, cabeza, tronco*. (2ed.) Editorial Elsevier.

Estrada, Y. (2018). *Biomecánica: De la física mecánica al análisis de gestos deportivos*. Ediciones USTA.

Fernández-González, P., Cuesta-Gómez, A., Miangolarra-Page, J.C., Molina-Rueda, F. (2020a). Reliability and Validity of Kinovea to Analyze Spatiotemporal Gait Parameters. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 1-13.

Fernández-González, P., Koutsou, A., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Miangolarra-Page, J. C., Molina-Rueda, F. (2020b). Reliability of Kinovea Software and Agreement with a Three-Dimensional Motion System for Gait Analysis in Healthy Subjects. *Sensors*, 20(11): 3154. <https://doi.org/10.3390/s20113154>

García, S. B. (2019). *Análisis biomecánico de alteraciones en cintura escapular posterior al tratamiento fisioterapéutico en pacientes mastectomizadas*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].

Gómez L., Jaramillo A., Ruiz M., Velásquez S., Páramo C., Silva G. (2018). Sistema de captura y análisis de movimiento cinemático humano: una revisión sistemática. *PROSPECTIVA*, 16(2): 24-34.

Hernández, R., Collado, C. F., Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6a ed.). McGraw-Hill.

Hernandez, V., Dadkhah, D., Babakeshizadeh, V., Kulic, D. (2020). Lower body kinematics estimation from wearable sensors for walking and running: A deep learning approach. *Gait & Posture*, (83), 185-193.

<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.10.026>

Hornilloz, I. (2000). *Atletismo*. Editorial Inde.

Horsley, B., Tofari, P., Halson, S., Kemp, J., Dickson, J., Maniar, N., Cormack, S. (2021). Does site matter? Impact of inertial measurement unit placement on the validity and reliability of stride variables during running: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 51: 1449-1498.

<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01443-8>

Izquierdo Redin, M. (2008). *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.

Kim, B.H., Hong, S.H., Oh, I.W., Lee, Y.W., Kee, I.H., Lee, S.Y. (2021). Measurement of Ankle Joint Movements Using IMUs during Running. *Sensors*, 21 (12), 4240. <https://doi.org/10.3390/s21124240>

Kinovea (s.f.). Consultado el 07 de Octubre de 2023. <https://www.kinovea.org/>

Lacouture P., Colloud F., Decatoire A., Monnet T. (2013). Estudio biomecánico de la carrera a pie. *EMC - Podología*, 15(3),1-20.

[https://doi.org/10.1016/S1762-827X\(13\)65196-2](https://doi.org/10.1016/S1762-827X(13)65196-2)

Lee, C., Lee, J. (2022). Inertial Motion Capture-Based Wearable Systems for Estimation of Joint Kinetics: A Systematic Review. *Sensors*, 22, 2507.

<https://doi.org/10.3390/s22072507>

Lluch, J. (2012). Análisis de imágenes: Aplicación de Kinovea en podología. *El Peu*, 33(2): 30-33.

Mason, R., Pearson L. T., Barry, G., Young, F., Lennon, O., Godfrey, A., Stuart, S. (2023). Wearables for running gait analysis: A systematic review. *Sports Medicine*, 53: 241-268. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01760-6>

Mitternacht J., Hermann A., Carqueville P. (2022). Acquisition of Lower-Limb Motion Characteristics with a Single Inertial Measurement Unit—Validation for Use in Physiotherapy. *Diagnostics*, 12(1640). <https://doi.org/10.3390/diagnostics12071640>

Morales A., Sánchez A., Pérez A., Montes J., Sánchez J., Portela A. (2021). Procedimiento para el análisis de los primeros pasos en carrera de los velocistas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6). [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i6.1154](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1154)

Morrioni M. (2020). *Anatomía Funcional e Imágenes, Sistema Locomotor*. Milán, Italia: Edi.Ermes.

Norris, M., Anderson, R., Kenny, I. (2014). Method analysis of accelerometers and gyroscopes in running gait: A systematic review. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 228(1): 3-15. <https://doi.org/10.1177/1754337113502472>

O' Reilly M., Caulfield B., Ward T., Johnstone W., Doherty C. (2018). Wearable inertial sensor systems for lower limb exercise detection and evaluation: A Systematic Review. *Springer International Publishing*. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0878-4>

Peebles, A., Carroll, M., Socha, J., Schmitt, D., Queen, R. (2020). Validity of using automated two-dimensional video analysis to measure continuous sagittal plane running kinematics. *Annals of Biomedical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10439-020-02569-y>

Pérez P., Llana S. (2015). *Biomecánica Básica Aplicada a la Actividad Física y el Deporte*. Barcelona: Paidotribo.

Quiroga, J. (2018). Técnica de carrera velocistas vs fondistas. *Sporttraining*, 77. <https://www.sporttraining.es/2022/01/27/articulo-tecnica-de-carrera-velocistas-vs-fondistas/>

Ramón Suárez G. (2009). *Biomecánica Deportiva y Control del Entrenamiento*. Serie Expomotricidad; 4. Medellín: Funámbulos Editores.

Reinking, M., Dugan, L., Ripple, N., Schleper, K., Scholz, H., Spadino, J., Stahl, C., McPoil, T. (2018). Reliability of two-dimensional video-based running gait analysis. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(3): 453-461. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6044590/>

Runco, A., Lanzarini, L. (2017). Herramientas de software aplicadas a la educación física; objeto de aprendizaje Kinovea. *TE&ET La Matanza*, 122-132.

Sánchez-Pay, A. (2018). El uso del Kinovea para el análisis biomecánico desde una perspectiva cuantitativa. *Trances*, 10(6):725-738.

Tortora G., Derrickson B. (2018). *Principios de Anatomía y Fisiología*. 15ª edición. Madrid: Editorial Panamericana.

UAV Navigation, Grupo Oesía. (2022, 10 de febrero). ¿Qué es una IMU y para qué se utiliza?. <https://www.uavnavigation.com/es/empresa/blog/que-es-un-imu>

Valero A., Gómez A. (2014). *Fundamentos del Atletismo: Claves para su enseñanza*. Madrid: Pila Teleña.

Villa, A., Gutiérrez, E., Pérez, J. C. (2008). Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Revista Ingeniería Biomédica*. 2(3), 16-26.

Weygers, I., Kok, M., Konings, M., Hallez, H., De Vroey, H., Claeys, K. (2020). Inertial Sensor-Based Lower Limb Joint Kinematics: A Methodological Systematic Review. *Sensors*, 20(3), 673. <https://doi.org/10.3390/s20030673>

Whelan, D., O'Reilly, M., Ward, T., Delahunt, E., Caulfield, B. (2015). Evaluating performance of the single leg squat exercise with a single inertial measurement unit. *REHAB'15*. <http://dx.doi.org/10.1145/2838944.2838979>

World Athletics. (2023). *Our Sport*. <https://worldathletics.org/our-sport>

Zeng, Z., Liu, Y., Hu, X., Tang, M., Wang, L. (2022). Validity and reliability of inertial measurement units on lower extremity kinematics during running: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine - Open*. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00477-0>

## ANEXOS

---

### *Anexo 1. Carta de Petición - Encargado de Selecciones Deportivas*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Escuela  
Nacional de  
Estudios  
Superiores  
Unidad León

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD LEÓN

Asunto: Carta de Petición

León, Guanajuato a 24 de Enero del 2023

Dr. Mauricio Alberto Ravelo Izquierdo

Encargado de selecciones deportivas de la ENES UNAM León

P r e s e n t e

Por medio de la presente solicito a usted que me sea permitido llevar a cabo el proyecto de investigación **“Análisis cinemático híbrido de corredores de fondo del equipo representativo de atletismo de la ENES, Unidad León”** con los integrantes del ya mencionado equipo, mismo que se llevará a cabo en las instalaciones de la clínica de fisioterapia de la ENES UNAM León.

La muestra necesaria para llevar a cabo este proyecto de investigación serán los integrantes varones del equipo de atletismo que cumplan con los criterios de inclusión del estudio, con los cuales se realizará una prueba única, la cual consiste en realizar ciclos de carrera utilizando dispositivos para su posterior análisis biomecánico.

Sin más por el momento me despido de usted.

Saludos Cordiales.

Muchas gracias.

ATENTAMENTE

---

P.F.T. Eduardo Aldebaran Aviña Huerta

**Anexo 2. Carta de Petición - Entrenadora del equipo varonil de atletismo**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Escuela  
Nacional de  
Estudios  
Superiores  
Unidad León

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD LEÓN

Asunto: Carta de petición

León, Guanajuato a 24 de Enero del 2023

Mtra. Laura Leticia García Sánchez

Coach del equipo varonil de atletismo de la ENES UNAM León

P r e s e n t e

Por medio de la presente solicito a usted que me sea permitido llevar a cabo el proyecto de investigación **“Análisis cinemático híbrido de corredores de fondo del equipo representativo de atletismo de la ENES, Unidad León”** con los integrantes del ya mencionado equipo, mismo que se llevará a cabo en las instalaciones de la clínica de fisioterapia de la ENES UNAM León.

La muestra necesaria para llevar a cabo este proyecto de investigación serán los integrantes varones del equipo de atletismo que cumplan con los criterios de inclusión del estudio, con los cuales se realizará una prueba única, la cual consiste en realizar ciclos de carrera utilizando dispositivos para su posterior análisis biomecánico.

Sin más por el momento me despido de usted.

Saludos Cordiales.

Muchas gracias.

ATENTAMENTE

---

P.F.T. Eduardo Aldebaran Aviña Huerta

**Anexo 3. Consentimiento Informado**



**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**



FECHA: \_\_\_\_\_

Este consentimiento informado va dirigido a los integrantes del equipo varonil de atletismo de la ENES UNAM León y guste participar en la investigación denominada: “Análisis cinemático híbrido de corredores de fondo del equipo representativo de atletismo de la ENES, Unidad León”.

Yo, Eduardo Aldebaran Aviña Huerta, egresado de la licenciatura de Fisioterapia de la ENES UNAM Unidad León, llevaré a cabo dicha investigación, cuyo propósito es analizar la biomecánica de la carrera con unidades de medición inercial aplicado a la fisioterapia.

La participación del voluntario en esta investigación es libre y completamente autónoma, por lo que puede retirarse del estudio si así lo desea al igual que recuperar la información obtenida. De igual manera, el voluntario no realizará ningún tipo de gastos ni recibirá remuneración alguna por su participación, la cual, se considera de riesgo mínimo para la salud de acuerdo con el artículo 17 de la Ley General de Salud, por lo que, si durante la realización de la investigación ocurriera algún incidente o eventualidad, el investigador y la institución no se harán responsables de las posibles consecuencias.

Esta investigación incluye una muestra única, donde se tomarán datos del participante, así como toma de material fotográfico para realizar ciclos de carrera utilizando dispositivos (IMUs) para su posterior análisis biomecánico; la prueba tendrá una duración aproximada de 40 minutos.

Se guardará una estricta confidencialidad sobre los datos e imágenes de cualquier tipo, los cuales serán resguardados, preservando la imagen e identidad del voluntario participante. Dicha información se compartirá con el voluntario antes de hacerse disponible al público.

Yo \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ años de edad, he leído y comprendido en su totalidad la información anterior, riesgos si los hubiera y beneficios directos e indirectos de mi participación en el estudio. Mis preguntas sobre dicho proyecto han sido respondidas satisfactoriamente y los datos que proporcioné son verídicos, por lo que acepto de manera voluntaria y autónoma que se me incluya en el proyecto de investigación denominado: “Análisis cinemático híbrido de corredores de fondo del equipo representativo de atletismo de la ENES, Unidad León”.

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del participante

Yo, \_\_\_\_\_ he explicado los propósitos y procedimientos de la investigación que se emplearán, así como los beneficios y escasos riesgos durante la investigación. Así mismo, confirmo haber respondido al voluntario todas las preguntas realizadas acerca del estudio.

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del evaluador

Anexo 4. Datos del participante

DATOS DEL PARTICIPANTE



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

“Análisis cinemático híbrido de corredores de fondo del equipo representativo de atletismo de la ENES, Unidad León”



FECHA:

\_\_\_\_\_

Información Personal

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

Edad: \_\_\_\_\_ Género: \_\_\_\_\_

Fecha de nacimiento: \_\_\_\_\_

Lugar de nacimiento: \_\_\_\_\_

Signos Vitales

FC \_\_\_\_\_ FR \_\_\_\_\_

T/A \_\_\_\_\_ SPO2 \_\_\_\_\_

Antecedentes Personales No Patológicos

Tabaquismo \_\_\_\_\_ Alcoholismo \_\_\_\_\_

Actividad física que realiza \_\_\_\_\_

Peso \_\_\_\_\_ Talla \_\_\_\_\_ IMC \_\_\_\_\_

Antecedentes Personales Patológicos

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

¿Presenta alguna lesión musculoesquelética actualmente que le impida realizar la carrera?

\_\_\_\_\_

## Anexo 5. Cartel del proyecto



# HYBRID KINEMATIC ANALYSIS OF DISTANCE RUNNERS OF THE ENES REPRESENTATIVE ATHLETICS TEAM, UNAM, LEÓN

AVIÑA, E., ELÍAS, A., RAVELO, M., DELGADO, M., SÁNCHEZ, L., ROMERO, C. AND RIVAS, A

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD LEÓN

## INTRODUCTION

Over the past 15 years, motion capture measurement systems have been used in the area of sports health. Consequently, biomechanics has used many innovative instruments for the study and evaluation of sports gestures. This is a great advance for physiotherapy, since technology can be used to more accurately evaluate sports technique and to provide quantitative indicators in the training and rehabilitation processes. The kinematic analysis provides data to a compare of the same subject to correct their sports technique and improve their performance, since there may also be a kinematic change in the lower limbs. (Fukuchi et al, 2008; Dingenen et al, 2018).

## METHODS

Treadmill running tests were carried out on 8 male participants 24.8±2.7 years old, 70.2± 3.9 [kg] weight and 1.75±4.61 [m] height from the athletics representative team from the university. Three inertial sensors (MMR, MBient Lab) were placed in each participant at the anterior aspect of the right and left thigh. Inertial sensor data were recorded at 25 [Hz]. Additionally, three anatomical markers were placed in each leg at the great trochanter, femoral condyle and the lateral malleolus. Sagittal video was captured for left and right side at a sampling rate of 30 and 240 [Hz], respectively. Cameras were placed at 1.90 m from the subject. Anatomical markers were digitalized from the videos, using Kinovea 9.15 software. Participants were asked to run for 30 [seconds] at a fixed speed of 8 [km/h], which allowed a capture of at least 10 steps. After recording, data was imported and processed in MATLAB 2017b software. Inertial sensor data was filtered using a low pass Butterworth filter with a cut off frequency of 5[Hz]. For video data, a 10 [Hz] Chebyshev filter was used. Hip and knee angles were calculated using data captured from inertial sensors and video cameras respectively.

## OBJECTIVE

The objective of this research is to perform a kinematic analysis of running by using inertial sensors and motion capture software to measure knee and hip joint ranges from video capture.

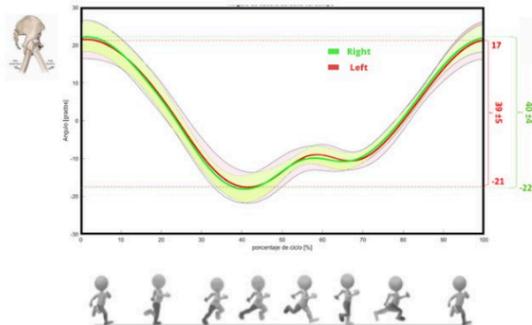


Figure 1. Mean Hip flexion/extension during a running cycle for 8 athletes

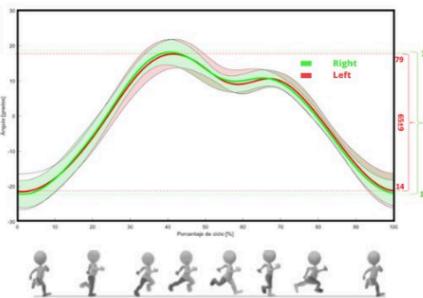


Figure 2. Mean Knee flexion/extension during a running cycle for 8 athletes

## DISCUSSION

According to the previously reviewed studies (Damsted et al, 2015; Dingenen et al, 2018), reliability can be affirmed in the use of the Kinovea software for measuring knee flexion angles, as well as its relationship with hip angles. There is no significant difference between right and left leg in runners between 20 and 30 years old. The hybrid use of sensors and software increases accessibility to acquire kinematic data in indoors and outdoors trials.

## RESULTS

On average for all participants, the right knee has ranges of 66 degrees for the right side and 65 degrees for the left knee. With a greater range of motion in the extension phase on the right side. For the hip, the average range of motion for all participants is 40 degrees for the right side and 39 degrees for the left side. Every athlete has differences between their hip and knee dynamic ranges of motion. Which are associated with differences in mobility while running.

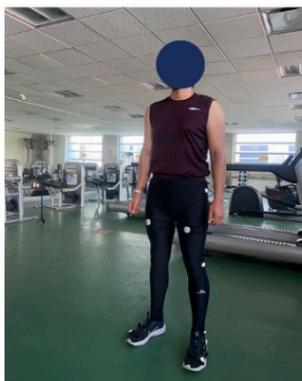


Figure 3. Placement of accelerometers on the anterior surface of the right and left thigh



Figure 4. Placement of markers on the greater trochanter, femoral condyle and lateral malleolus

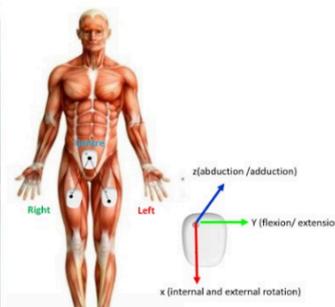


Figure 5. Reference system of inertial motion units

## FUTURE WORK

- Develop sports technique and injury prevention by improving the range of motion of the hip and knee. The training goal for athletes is to have similar ranges of motion for the right and left sides during running. The validation of the kinematic data will be the next step to detect the accuracy of the hip and knee flexion angles.

## ACKNOWLEDGMENTS

To the students of the subject of Kinesiology and Biomechanics 2022-2023, to Professor Laura Leticia García Sánchez and to the representative athletics team of the ENES, León. And special thanks to Sebastian Espino Gonzalez

## REFERENCES

- Fukuchi, R. K., & Duarte, M. (2008). Comparison of three-dimensional lower extremity running kinematics of young adult and elderly runners. *Journal of Sports Sciences*, 26(13), 1447–1454. <https://doi.org/10.1080/02640410802209018>; Damsted, G., Oestergaard, R., Henrik, L. (2015). Reliability of video based quantification of the knee and hip angle at foot strike during running. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(2): 147-154; Dingenen, B., Barton, C., Janssen, T., Benoit, A., & Malliaras, P. (2018). Test-retest reliability of two-dimensional video analysis during running. *Physical Therapy in Sport*, 33, 40–47. doi:10.1016/j.ptsp.2018.06.009

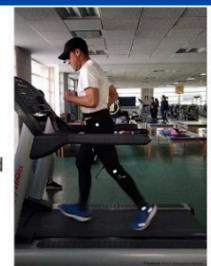


Figure 6. Placement of anatomical markers



La Universidad Nacional Autónoma de México  
a través del Instituto de Neurobiología

Otorga el Presente Reconocimiento a:

*Eduardo Aldebaran Avíña Huerta*

Por su participación en la Exposición de Carteles de las  
30 Jornadas Académicas del Instituto de Neurobiología

Con el trabajo titulado

**ANÁLISIS CINEMÁTICO HÍBRIDO DE CORREDORES DE FONDO DEL EQUIPO  
REPRESENTATIVO DE ATLETISMO DE LA ENES, UNIDAD LEÓN**

Campus UNAM Juriquilla, Qro. 29 de Septiembre de 2023  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

*M. Díaz M*  
DR. MAURICIO DÍAZ MUÑOZ  
SECRETARIO ACADÉMICO