



TESINA

Presentada para acceder al título de grado de la carrera de:
CICLO de COMPLEMENTACIÓN CURRICULAR de LICENCIATURA
en ACTIVIDAD FÍSICA

Título: "Análisis biomecánico de la carrera de un deportista amateur
en el test de 30 metros".

Autores:

Ruiz Fabio Rafael Nro. 23.589.256

Gobetti Esteban Federico Nro. 25.630.447

Director: Lic. Holzmann Juan Pablo

Codirectora: Lic. Mildenberger Clarisa

Lugar: Rosario

Fecha de Presentación:

26/08/2022

Firmas de Autores

Two handwritten signatures are shown at the bottom of the page. The signature on the left is written in black ink and appears to be 'Fabio Ruiz'. The signature on the right is also in black ink and appears to be 'Esteban Gobetti'.

Agradecimientos

A la memoria de mi padre Saturnino Rafael

A mi querida madre Maria Laura

A mis hijos Avril y Valentin

Resumen

Los ángulos de movimientos, amplitud de zancada, frecuencia y velocidad, son identificadas por el análisis biomecánico siendo, todas estas variables, determinantes en la prueba anaeróbica de 100 metros. Para ello, la aplicación del test de 30 metros permite observar y analizar su desplazamiento en la fase de máxima velocidad, entre los 30 y 60 metros.

En este trabajo se analizó la biomecánica de carrera en el test de 30 metros, sobre la carrera de un deportista amateur.

Para la búsqueda bibliográfica se utilizó la base de datos de PubMed, Medeline, la Biblioteca Virtual de Salud (BVS), Scholar Google y SciELO, con el fin de registrar conocimientos científicos sobre el estudio abordado. Se realizó un estudio descriptivo, con un diseño de reporte de caso observacional, analizando la técnica de la carrera en sus diferentes fases en el test de 30 metros. Desde lo biomecánico, se analizaron la frecuencia, longitud de paso, ángulos del tobillo, rodilla, cadera, tronco y brazos en el plano sagital; datos que fueron analizados en el software Kinovea 9.4.

Los resultados encontrados indicaron que en los primeros 15 metros el deportista registró menor longitud de paso y una mayor frecuencia de paso. En cambio, en el segundo parcial efectuó una mayor longitud de paso, pero a su vez disminuyó su frecuencia de paso.

A partir de los datos recopilados y el análisis de los resultados obtenidos, se presenta a este método de valoración como un test práctico, de rápida producción y un procesamiento de datos relativamente simple; destacando que se realiza con una tecnología de bajo o nulo costo, lo que permite su accesibilidad a cualquier profesional.

ÍNDICE

I INTRODUCCIÓN.....	1
II OBJETIVOS.....	2
III MARCO TEÓRICO.....	3
IV JUSTIFICACIÓN.....	17
V MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
VI RESULTADOS.....	21
VII DISCUSIÓN.....	27
VIII CONCLUSIONES.....	30
IX REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS.....	31
X ANEXOS.....	35

I INTRODUCCIÓN

Las numerosas variables, entre ellas, ángulos de movimientos, amplitud, frecuencia y velocidad de la zancada, son identificadas por el análisis biomecánico, pudiendo manifestarse de manera variada en los atletas de edades tempranas cuando se observa el desplazamiento de los mismos. Todas estas variables son determinantes en la prueba anaeróbica de 100 metros.

A través del análisis biomecánico se podrá observar la relación entre longitud, frecuencia de zancada y la velocidad alcanzada por el deportista. Por otra parte, la aplicación del test de 30 metros permite observar su desplazamiento, estimando la velocidad máxima frecuencial realizando movimientos cíclicos,(1,2) donde el glúteo mayor es quien desempeña un papel esencial en la estabilización de la pelvis y columna vertebral siendo este uno de los músculos extensores de la cadera.(3)

Los profesionales que conozcan sobre la biomecánica de la carrera y que apliquen estas herramienta como el kinovea, y los datos aportados por los diferentes autores de este trabajo, brindarán y potenciarán a un más al deportista.(3,4)

La acción más importante que tiene esta prueba es la velocidad máxima de carrera. Para esta se tendrá en cuenta la fase máxima de velocidad de 30 a 60 metros.(5)

Los aportes que brinda la biomecánica en este trabajo en la técnica de la carrera serán imprescindibles en el desarrollo de la técnica circular, además la llegada activa y en zarpazo del pie al suelo permitirá una tracción importante que minimizará el frenado de la fase de amortiguación o apoyo.(6) Como así la reactividad del pie y la correcta transmisión de fuerzas de impulso a la cadera será fundamental, donde el muslo de la pierna libre se eleva hasta la horizontal, en la cual todo el ciclo de la carrera deberá estar alineado desde pie, rodilla, cadera y hombro.(6) Esto demandará al deportista un menor consumo de oxígeno, menor fatiga, mayor fuerza reactiva del pie para realizar un buen impulso logrando una óptima longitud de paso con sus contracciones en las distintas fases. Por otra parte, realizarlo con la técnica defectuosa, provocará correr de forma pendular, no terminando con el impulso, la cadera estaría baja logrando carecer de reactividad en el tobillo y por ende una postura tensa. Esto demandará mayor consumo de oxígeno, más fuerza externa, acumulación de fatiga, más propenso a lesionarse.(6–8) La finalidad de este trabajo consiste analizar la biomecánica del ciclo de la carrera.

II OBJETIVOS

II a-Objetivo General:

Analizar la biomecánica de la carrera de un deportista amateur en la ejecución del test de 30 metros

II b-Objetivos Especifico:

- Determinar la frecuencia de pasos en los 15 metros iniciales y finales de los 30 metros.
- Medir la longitud de pasos en los 15 metros iniciales y finales de los 30 metros.
- Cuantificar los ángulos del tren inferior y superior

III MARCO TEÓRICO

III.a) Test de 30 metros

En la realización del test de 30 metros, la velocidad lanzada es alcanzada en su máxima expresión por el deportista, donde utilizará la pierna libre en flexión con una rápida entrada hacia la dirección de carrera que le permitirá elevar con más soltura la rodilla y preparar mejor la llegada del pie al suelo.(9)

Es un procedimiento realizado bajo condiciones estandarizadas (de acuerdo con criterios científicos). Su objetivo es la medición de una o más características delimitables empíricamente del nivel individual de la condición. también es una medición que deberá proveer una información lo más cuantitativa posible acerca del grado relativo de manifestación individual de facultades motrices condicionales. Representa una herramienta (instrumento) de medición que provee información/datos para la evaluación de una determinada capacidad física en forma directa sin la necesidad de cálculos matemáticos, permitiendo un resultado más confiable que los test indirectos. Este test valora su nivel de potencia anaeróbica aláctica (velocidad de aceleración + lanzada).(9)

La palabra test procede del latín “testa” que quiere decir prueba, de allí su amplia difusión como término que identifica las herramientas y los procedimientos de evaluación. Es el instrumento utilizado para poner a prueba o de manifiesto determinadas capacidades o cualidades o características de un individuo. No tiene otra misión que la de medir. El uso de los test nació debido a la necesidad de adquirir instrumentos de apreciación objetiva de diferentes facultades individuales, control de los procesos de entrenamiento a corto, medio, largo plazo y ofrece la posibilidad de diagnosticar las carencias existentes, especialmente las físicas, (para corregir errores).

Tabla de calificación de velocidad 30 metros- Adultos					
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Insuficiente	Malo
Velocidad 30 (m/s)	3.88	3.97	4.06	4.15	4.24

Tabla 1: calificación de velocidad de 30 metros.(9)

30 metros lanzados valor medio de sujetos de experimento masculino de 18-25 años	
No deportista	3.66 (seg)
Deportistas experimentados	3.40
Corredores de velocidad (10.4-11.5)	2.97
Valor orientativo para carrera de velocidad lanzada	
Masculino	3.00 (seg)
Femenino	3.40

Tabla 2: calificación de velocidad de 30 metros lanzados.(9)

La curva de velocidad de las carreras de 30 y 100 metros muestran que el aumento de esta en los primeros 10-20 metros(10) es semejante para todos los grandes velocistas (en ambos se consumieron 7.4 m/seg en 10 metros). Por lo tanto, en la carrera de 100 metros el corredor puede crear una curva de crecimiento de la velocidad semejante a la de una carrera de 30 m.(10) Cuando aumenta la frecuencia de los pasos se hace más fuerte el empuje, aumenta la longitud de los pasos y se incrementa la velocidad.(10) La velocidad aumenta como consecuencia del incremento simultáneo de la longitud y la frecuencia de los pasos.(10) La longitud de paso para un velocista es igual a $7\frac{3}{4}$ - 9 pies y la frecuencia de 5 pasos por segundo. Después de cierto límite se hace imposible el aumento simultáneo, cuando aumenta uno, el otro comienza a disminuir.(10)

El test de 30 metros lanzado, es una prueba específica para obtener datos para la carrera de los 100 metros, cuyo objetivo es medir la velocidad máxima que se daría entre los 20 y 25 metros del test,(9,11,12) desde el mismo inicio del esfuerzo hasta la finalización, utilizando las fibras FTa y FTb, en la cual el combustible predominante es el ATP-PC y su recuperación es inmediata.(9)

Esto le permitirá al deportista que maximice las fuerzas que los músculos generan, aumentando sumamente las posibilidades de que éste alcance la velocidad máxima que se espera de él o de ella, dado su potencial genético y su entrenamiento. También incrementa la eficiencia neuromuscular.(13)

La eficacia de la velocidad determina el nivel de habilidades de la misma, que son representado por valores de variables cinéticas y cinemáticas.(12) El objetivo principal de un sprint es cubrir la distancia en el menor tiempo posible mediante la maximización del componente horizontal de la velocidad del centro de masa de los corredores.(12) El desplazamiento se produce por medio de movimientos cíclicos de las extremidades inferiores basados en aceleraciones y desaceleraciones continuas,(12) con los miembros inferiores que actúan como resortes responsables de levantar la masa corporal sobre la superficie.(12)

La velocidad de carrera está representada por la longitud y la frecuencia de pasos, y su asimetría durante el movimiento es propia del ser humano y no representa patología si su valor no es significativo.(12) Para maximizar la velocidad de carrera es necesario aumentar proporcionalmente ambas variables. Por lo tanto, la longitud de paso debe realizarse a lo largo de una línea alineada con la dirección de marcha (línea recta), en lugar de un lado a otro.(12) El sprint eficiente está relacionado con la colocación el pie posiblemente más cerca de la ubicación de la vertical proyección del centro de gravedad del cuerpo del corredor en el piso.(12) Para contrarrestar la horizontalidad desaceleración, el pie, después del contacto con el suelo, debe moverse hacia atrás con respecto a el centro de gravedad general con la velocidad horizontal que es mayor que la velocidad de la general.(12)

Con el aumento de la velocidad de movimiento, el rango de movimiento en las extremidades inferiores se vuelve mayor.(12) Sin embargo la duración de la fase de apoyo se reduce mientras que la fase de vuelo se alarga.(12) Produciendo la velocidad máxima en los 30 metros, por efecto de la flexión dorsi-plantar realizada

en todo el rango de movimiento.(12) Esto se puede atribuir al uso de energía elástica liberada en el ciclo de la longitud de paso.(12)

Las variables cinemáticas, como el ángulo de la rodilla, el ángulo de la cadera, el ángulo del tobillo, la rotación y la extensión del hombro son de importancia clave para la técnica del sprint.(12) En donde la sincronización específica del movimiento de las extremidades superiores con respecto a los miembros inferiores es necesaria durante un sprint.(14,15)

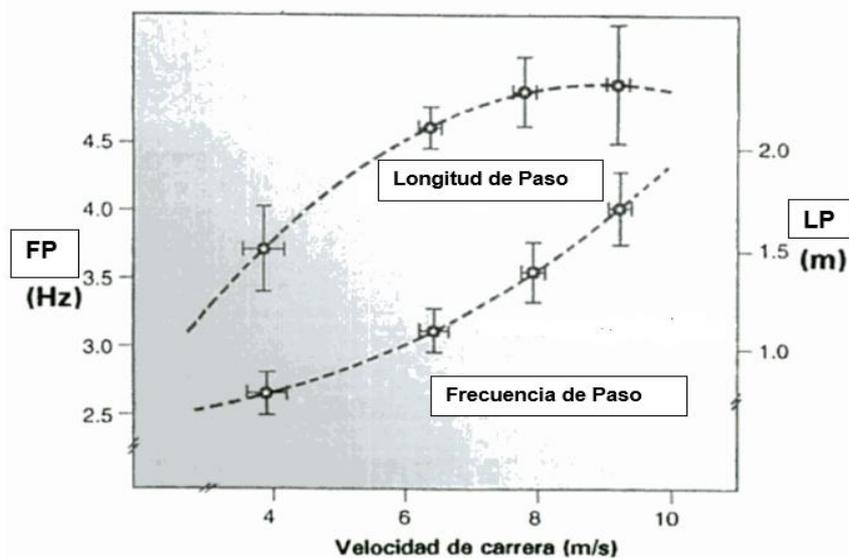


Imagen 1: Relación de la frecuencia y la longitud de paso con la velocidad.(16)

III. b) Carrera de 100 metros

La carrera de 100 metros llanos comprende realizar el menor tiempo posible en la pista outdoor, a la máxima velocidad posible, partiendo desde los tacos colocados en los mismos andariveles. Participan ocho atletas, mínimo por serie, siendo ésta la cantidad con la que consta una pista avalada por la International Asociación de Atletismo (IAAF), actualmente llamada Organismo Mundial del Atletismo (World Athletics). La velocidad máxima resulta de vital importancia para exprimir al máximo las posibilidades del deportista.(17–19)

La carrera es un gesto complejo y de fina concentración motora, cuya técnica eficiente está determinada por la biomecánica, para realizar un ciclo de carrera más estable en su rango de movimiento articular y lograr conseguir velocidades más allá de 12m/s, cerca de 43 km/h.(20,21)

III.c) La Cinemática

La cinemática dentro de la biomecánica deportiva es la encargada de recolectar y analizar datos referidos a variables temporales, espaciales y la combinación entre ambas, como pueden ser: frecuencia y período; distancia, posición y desplazamiento; velocidad, rapidez y aceleración.(21) Y en el desarrollo de la marcha humana, puede ser dividida, de acuerdo a las velocidades, en: marcha, carrera y sprint,(7) en el presente trabajo se analizará el sprint. Tanto la fase de apoyo como la fase de oscilación, en este ciclo el contacto inicial hasta el despegue y desde el despegue hasta el contacto inicial respectivamente, pasan por un momento de absorción y uno de generación.(7)

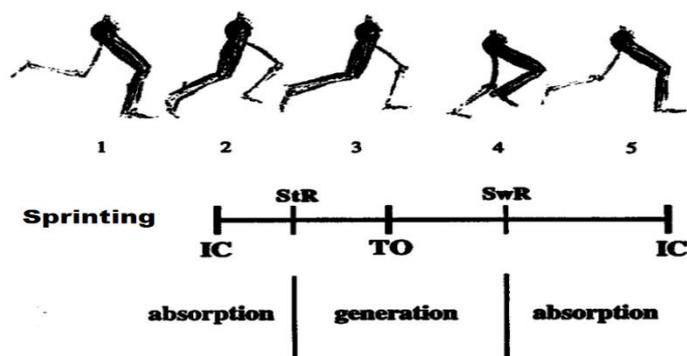


Imagen 2: Secuencia de carrera. IC (Contacto inicial); StR (inversión de la fase de apoyo); TO (Despegue); SwR (inversión de la fase de oscilación); Absorption (Absorción), Generation (Generación).(7)

La carrera de velocidad cuenta con distintas fases: tiempo de reacción, puesta en acción, aceleración, máxima velocidad y resistencia a la velocidad.(22)

Podemos decir que el tiempo de reacción transcurre entre el inicio del estímulo elicitor (disparo) y el inicio de la respuesta solicitada al sujeto. Un tiempo de reacción mayor de 210 milisegundos es pésimo, sin embargo, un tiempo de reacción menor de 130 milisegundos es excepcional.(22) En donde la puesta en acción que es aquella parte de la carrera en la que el corredor realiza la partida de manera lanzada y alcanza entre un 35-40% de la velocidad media en carrera. A su vez la aceleración en el atleta alcanza su máxima velocidad producto de los movimientos explosivos y repetitivos que le permiten desarrollar su aceleración dentro de esta fase, se distinguen dos subfases:

- ✓ fase de aceleración inicial que se manifiesta durante los primeros 20 metros; donde se genera un incremento de la velocidad producto del aumento de la amplitud y frecuencia de la zancada, mientras que en los siguientes 10 metros se producen incrementos de velocidad de hasta un 70 % (3.88 m/s), de frecuencia de un 20 % (4.40 Hz) y de amplitud del 43 % (1.92 m).(19)
- ✓ fase de aceleración extendida que va del 20 a los 40 metros, donde la velocidad se incrementa un 49% (~7.56 m/s), y la amplitud alcanza los 2.49 m. En esta fase la elevada velocidad se produce por el gran aumento de la amplitud de zancada que experimenta el deportista, lo que permite alargar la fase de vuelo, que es donde más rápido se produce el desplazamiento.(19)

La velocidad máxima, se pueden distinguir cuatro fases:

- ✓ Fase de Inicio del Pico de Velocidad. Ocurre entre el 40 y el 50 m, donde aún se mantiene la aceleración, aunque no con tanto incremento. La velocidad se sitúa en unos 11.55 m/s, primer pico de velocidad de la prueba, provocado por un aumento del 2% en frecuencia y amplitud de zancada.(19)
- ✓ Entre el 50 y el 60 m se produce la fase de Regulación de la Velocidad I. En este tramo se alcanza una velocidad de 11.48 m/s, baja respecto al tramo anterior por una disminución significativa de la amplitud y tan sólo un ligero aumento de la frecuencia de zancada.(19)
- ✓ Entre el 60 y el 70 m está la fase de Regulación de la Velocidad II. La velocidad aumenta de nuevo, hasta los 11.53 m/s por el motivo opuesto a la bajada del anterior tramo, aumenta la amplitud y disminuye la frecuencia. Con esto queda evidenciada la necesidad de tener una amplia fase de vuelo para tener un rápido avance.(19)
- ✓ La fase de Máxima Velocidad se produce entre los 60 y 70 m, alcanzando los 11.70 m/s, segundo pico de velocidad, que a diferencia del primero, viene provocado por un aumento de la amplitud de la zancada (13 cm respecto a la anterior fase), sin embargo, la frecuencia baja a los 4.57 Hz, mientras que entre el 40 y el 50 m se situaba en los 4.67 Hz.(19)

Por último, la resistencia a la velocidad que se manifiesta a partir de los 80 metros, que también es un factor determinante en el último tramo de la carrera, incidiendo sobre la resistencia específica de la prueba y evitando la caída brusca de velocidad durante los últimos 20 m de la prueba se produce una disminución de la velocidad de 0.48 m/s provocado por una disminución de la frecuencia del 3% y del 1% de la amplitud.(19,22)

Fases de la carrera de velocidad



Imagen 3: Secuencias de las fases de la carrera es propia del deportista (imagen propia)

III.d) Análisis Cinemático

La velocidad de desplazamiento comprende a la frecuencia y a la longitud de paso. Éstas, están influenciadas por el mayor o menor desplazamiento angular de los diferentes segmentos del tren inferior, en la cual el aumento de la velocidad es producto del aumento de la frecuencia como de la amplitud de paso, con una progresiva reducción del tiempo de apoyo.

Se entiende como frecuencia de paso a la cantidad de contactos que se realicen en determinado periodo de tiempo, el cual es el producto del tiempo de apoyo y el tiempo de vuelo (es dependiente de la velocidad vertical alcanzada previa al despegue. La altura de despegue y la resistencia generada por el aire durante la fase de vuelo), mientras que la longitud se refiere a la distancia que recorre el centro de masa del corredor que corresponde a la distancia entre el primer y el segundo apoyo del mismo pie si hablamos de zancada, o entre el apoyo de un pie y el apoyo del contrario si se habla de distancia de paso.(16,23)

Entre los 10 y los 30 metros, la velocidad horizontal se incrementa debido al incremento de la amplitud de zancada. Esta se estabiliza sobre los 40-50 metros, alcanzando ahí el atleta aproximadamente el 95% de su máxima velocidad horizontal. Ambos hechos se producen antes en el caso de las mujeres.(24)

Tanto la longitud como la frecuencia de zancada son entrenables, si se alarga en demasía la longitud de zancada, alcanzará un punto en el que va tener más tiempo de contacto, por lo tanto esto llevará a una mayor desaceleración disminuyendo la velocidad.(16)

La articulación del ángulo de la rodilla no debe exceder los 170 grados, si el contacto se produce delante o detrás de este punto, disminuye la eficiencia del impulso; si el apoyo ocurre por delante del punto ideal frenará en exceso la carrera, mientras que si se produce por detrás de éste reducirá el alcance del efecto impulsor.(25)

El ángulo de la cadera se mide entre el segmento muslo y la vertical con objeto de que no se vea afectado por la flexión del tronco.(24)

III.e) Centro de Masa (CdM)

Estos momentos están descriptos a partir de las diferentes ubicaciones espaciales que toma el centro de gravedad (CG), considerando al período de absorción como aquel donde el CG se encuentra cayendo desde el punto más alto alcanzado en la fase de vuelo, mientras que el período de generación es aquel en que se busca elevar y adelantar el CG. Podemos considerar dos momentos dentro de la fase de oscilación: la oscilación inicial y la oscilación final, las cuales están divididas por la oscilación media.

La variación que tienen los corredores de 100 metros, finalistas en los JJ.OO. de Londres, es de $4 \text{ (cm)} \pm 1 \text{ (cm)}$.(26,27) Además, concluyen que el desplazamiento vertical del centro de masa disminuye de acuerdo al aumento de la velocidad.(28)

La trayectoria que describe el centro de gravedad depende en gran parte del impulso, pues está supeditado a la velocidad horizontal y al ángulo e intensidad de la impulsión. Y ambas dan una resultante que será la suma de éstas.(14,23)

Por otro lado, la longitud de la parábola dependerá de la rapidez y fuerza de extensión de la pierna que impulsa. El ángulo de impulsión debe oscilar entre 50 y 55 grados.(26)

III.f) Ciclo completo del Sprint

Para el análisis de un ciclo completo del sprint es preciso identificar dónde se encuentran las fases de vuelo que, como se nombró anteriormente, es la diferencia más puntual que se encuentra con la marcha convencional. El vuelo se encuentra luego del despegue y previo al contacto inicial.(14)

La fuerza vertical que es el componente de fuerza más alto en la carrera y alcanza los valores máximos de hasta tres veces del peso corporal, se puede dividir en dos tipos: Fuerzas de impacto de alta frecuencia (> 12 Hz) y fuerzas activas de bajas frecuencias (< 8 Hz). Las fuerzas de impacto son el resultado de una colisión entre dos objetos y ocurren durante los primeros 20-30 metros de postura dentro de la fase excéntrica.(29)

La fuerza horizontal (anteroposterior) transmite el frenado durante la carrera, ocurriendo durante la primera mitad de la postura desde el contacto de inicio con la postura media, esta y el tiempo de frenado deben ser muy pequeños para evitar la pérdida de velocidad, mientras que las fuerzas propulsoras ocurren durante la segunda mitad desde la postura media hasta el despegue.(29)

Las fuerzas medio laterales se realizan durante la fase de apoyo con una magnitud relativamente pequeña en comparación con las fuerzas verticales y anteroposterior.(29)

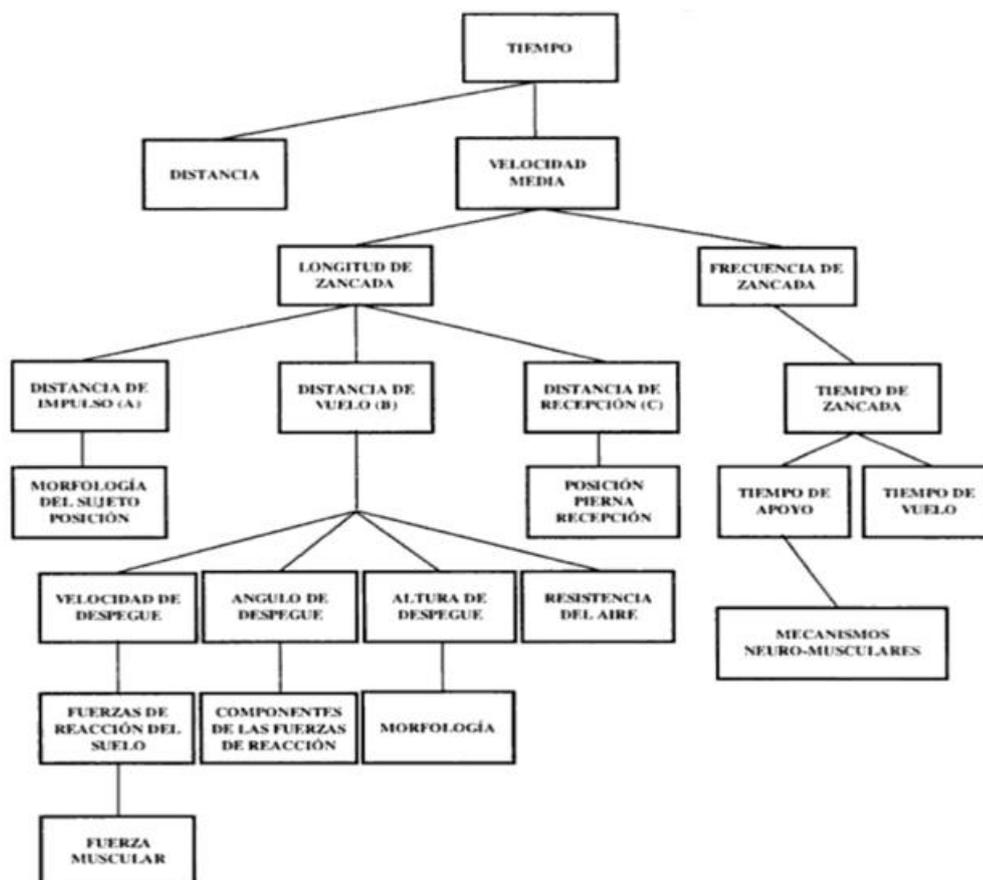


Imagen 4: Análisis cualitativo.(16)

III. g) Antecedentes relevantes en la carrera de 100 metros

Lamont Marcell Jacobs (Italia) se adjudicó la medalla de oro de los juegos olímpicos de Tokyo 2020 realizando un tiempo de 9.80". Actualmente el Récord olímpico lo mantiene Usain Bolt en Londres 2012 con una marca de 9.63.(30)

El récord mundial llevado a cabo en Berlín por Usain Bolt de Jamaica en 2009 sigue vigente con un tiempo de 9.58", con un total de 41 pasos, frecuencia de paso 4.28 Hz y amplitud de paso 2.44 metros.(6,31)

En Argentina, el récord nacional, se encuentra en 10.23". alcanzado por Carlos Gats en 1998 en el campeonato Iberoamericano de Lisboa.(32)

III.h) Triple Extensión

Se debe tener en cuenta estos tres elementos principales: postura, acción de los brazos y acción de las piernas. La postura se refiere a la alineación del cuerpo. Ésta cambia en función de las fases en que se encuentra el sprint en un momento en concreto. Durante la aceleración hay una inclinación pronunciada, esto depende del nivel del deportista, lo cual ayuda a vencer a la inercia. A medida que el atleta se acerca

a su velocidad máxima de carrera la postura debería ser más erecta (alrededor de 80 grados). Independiente de la fase de sprint, uno debería poder trazar una línea recta desde el tobillo de la pierna de apoyo pasando por la rodilla, la cadera, el torso y la cabeza cuando la pierna del deportista está completamente extendida, justo antes que el pie pierda el contacto con el suelo (triple extensión).(13)

En ésta, la traslación horizontal es "mayor" cuanto más oblicua es la fuerza de aplicación contra el piso, siendo este momento un 40% del ciclo de carrera, mientras que, en su fase de vuelo, la cual representa un 60%, la técnica se vuelve preponderantemente circular con un ciclo anterior.(16)

III.i) Técnica de Carrera

Ésta comprende tres fases, la de amortiguación, la de impulso y la de vuelo. En la fase de contacto amortiguación se inicia cuando el pie toma contacto con el suelo.(6) El pie, al bajar, pasa de apuntar el suelo con el talón a efectuar el contacto con el exterior del metatarso. Es una acción rápida de zarpazo. El pie nunca entra de talón, aunque en ocasiones pueda parecerlo a simple vista. Cuanto mayor es la velocidad de carrera, el apoyo se efectúa más cerca de los dedos, quedando por delante del centro de gravedad. Esto implica una acción de frenado. Si el talón contacta con el suelo, la acción de frenado es mucho mayor y provoca, además de la pérdida de velocidad, un aumento de la flexión de la rodilla y un descenso de la cadera. En esta fase la musculatura extensora del muslo y pie realiza un importante trabajo excéntrico (evita la flexión del muslo). Los tendones se tiran como muelles, si esto no sucediese, las caderas bajarían hasta los talones. Los músculos isquiotibiales traccionan atrás compensando en partes el frenado del apoyo.(6)

El talón de la otra pierna que ha llegado al isquiotibial se mantiene pegado a él. La rodilla, alcanza la rodilla de la pierna de apoyo para sobrepasarla y los muslos llegan a estar paralelos antes de cruzarse en tijera para iniciar el camino hacia la horizontalidad de la fase de impulso.(6)

En esta fase la bóveda plantar se deforma y acumula una energía elástica que se liberará juntamente con la de los tendones en la fase de impulsión. A mayor velocidad de carrera, menor será el ángulo de flexión de la rodilla cuando el centro de gravedad pase sobre el apoyo del pie. A partir de este momento finaliza la fase de amortiguación y comienza la de impulso. En esta fase el atleta mantiene el tronco recto gracias a la acción de la cadera.(6)

La fase de impulso comienza en el momento en el que el centro de gravedad sobrepase el apoyo. Los extensores del muslo y del pie comienzan la contracción

responsable de la extensión del muslo. A la contracción muscular se sumará la liberación de la energía elástica de los tendones y de la bóveda plantar. Un pie reactivo y elástico es determinante para correr con eficacia.(6)

Esta extensión tiene como objetivo fundamental empujar al frente la cadera y acelerar el centro de gravedad.

El pie pasará de un apoyo del metatarso y exterior (de la fase de contacto) hacia los dedos y al interior; la impulsión finaliza siempre en el dedo gordo. Es frecuente una moderada rotación externa del pie.

La articulación de la rodilla alcanza su máxima extensión y lanza la cadera en retroversión, adelante. Y a medida que el muslo va alcanzando la horizontalidad, forma con el otro muslo un ángulo denominado tándem de carrera en el momento final de la impulsión (a mayor velocidad de carrera mayor tándem), donde el talón se va separando más del glúteo hasta que la tibia está perpendicular al suelo. Momento en que el pie busca la máxima flexión dorsal para preparar la acción de zarpazo.(6)

La otra pierna inicia la fase con el talón en el isquiotibial. La rodilla comenzará a avanzar y a subir, sobrepasando la de la pierna de apoyo. Si el talón se despega del isquiotibial, la rodilla no se elevará tanto y el pie irá a buscar el suelo haciendo un péndulo y no un círculo (carrera pendular).(6)

En la fase de vuelo se da una transición entre el impulso y el apoyo. Se caracteriza por la acción circular del talón de la pierna que ha finalizado el impulso. La pierna se flexiona por la rodilla y el talón va a buscar el isquiotibial, del que no se despegará hasta bien entrada la fase de impulsión.

La pierna libre pasa de la horizontal con flexión de rodilla (máximo tándem) a buscar activamente el suelo con una extensión de la articulación de la rodilla y el pie va a buscar el suelo con el talón (que con la acción de zarpazo evitará el contacto)

Los brazos se mueven flexionados por el codo unos 90°, en sentido contrario a la pierna correspondiente. En la fase de apoyo el ángulo suele ser mucho mayor. A mayor velocidad de carrera mayor amplitud de braceo. Los brazos arrastran al tronco de forma que la línea de hombros y la de caderas se van cruzando en planos paralelos. (cuando la cadera derecha avanza, el hombro derecho retrocede y viceversa). Las manos irán semiabiertas, sin crisar los puños, de manera que la yema del pulgar y el índice se toquen.(6)

La importancia de los brazos es estabilizar el torso para que la potencia pueda seguir transfiriéndose eficientemente a través de las caderas. Es esta capacidad de transferir potencia de manera efectiva a través del centro de masa lo que no solo mejora la tasa de aceleración, sino que también facilita alcanzar la velocidad máxima, manteniendo esas velocidades máximas y reduciendo la tasa de desaceleración.

Entonces, como se puede ver, los brazos influyen tanto directa como indirectamente en la capacidad de correr rápido. Al correr, es muy importante mantener las manos relajadas.(33)

La velocidad es el producto de la longitud de la zancada y la frecuencia de la zancada. La longitud y la frecuencia de la zancada están determinadas, en parte, por el movimiento de los brazos.(33)

El ángulo del brazo delantero debe estar entre 60 y 90 grados en el codo y el brazo trasero debe estar entre 90 y 120 grados, también en el codo. Si los ángulos del brazo están fuera de este rango, la mecánica de carrera se verá afectada negativamente.(33)

El rango de movimiento de los brazos generalmente debe ser de la cadera a la mejilla. Es decir, la mano pasa por encima de la cadera por la espalda y sube hasta la altura de la mejilla por delante.(33)

Los movimientos que realiza el tronco en el eje medio-lateral, en el plano sagital son propuestos como flexo-extensión con una amplitud de movimiento entre 2.3° y 23°,(34) aquellos que se corresponden al eje antero-posterior, en el plano frontal son considerados como flexiones laterales, mientras que los producidos en el eje vertical, en el plano transversal son nombrados como rotaciones axiales. En cuanto a la flexo-extensión, se pueden observar dos momentos de valores máximos de angulación (flexión), el primero se genera en el apoyo medio, mientras que el segundo en la oscilación media, obteniendo así un valor mínimo (extensión) en la fase aérea y otro en el momento previo al contacto que da comienzo a un nuevo ciclo de carrera. Refiriéndose al eje antero-posterior, podemos hallar un valor de mayor flexión lateral en el apoyo medio y al comienzo del contacto inicial.(34)

Los movimientos que presenta la pelvis son establecidos como anteversión y retroversión pélvica, produciéndose en el plano sagital con sus rotaciones en el eje medio-lateral, inclinación lateral para su plano frontal con rotación en el eje antero-posterior y rotación externa e interna para el plano transversal, en el eje vertical. Dentro de la posición en que se coloca la pelvis en el momento de la carrera, la cual se encuentra entre 15° a 20° de anteversión,(34) se realizan movimientos de 5° a 7° en el plano sagital y en el plano frontal podemos encontrar variaciones de 10.6°,(35) luego Cairns et al. describe variaciones de 15°.(34) A su vez los cambios de posición que se producen en el plano transversal tienen una amplitud entre 16° y 18°.(36) Se encontraron valores medios de 7.8° y 9.4° de inclinación en el plano sagital, 13.8° y 19.3° en el plano frontal, y rotaciones axiales de 13.3° y 18.3° para mujeres y hombres,(34) analizando las rotaciones sobre el eje medio-lateral podemos observar que durante la absorción la pelvis se inclina posteriormente para luego, una vez pasada

el apoyo medio, se alcance un momento de máxima inclinación anterior al momento del despegue. La amplitud tiende a variar en baja proporción de acuerdo al aumento de la velocidad de carrera según el análisis del movimiento.(34)

Durante el contacto inicial la pelvis se encuentra alineada en el plano frontal, con una posición mínimamente más elevada de la pierna de apoyo con respecto a la pierna contralateral. Una vez que alcanza el momento de apoyo medio, ésta se encuentra en la horizontal para ir inclinándose progresivamente hasta alcanzar su punto más bajo al momento del despegue, respondiendo a la máxima elevación contralateral que se encuentra en la fase de oscilación.(7,37)

La pelvis en el momento previo al contacto inicial se encuentra externamente rotada hasta el momento del apoyo medio, donde alcanza su máxima rotación externa, para luego comenzar a rotar internamente hasta lograr la neutralidad en el momento del despegue. Una vez dentro de la oscilación media alcanza su máxima rotación interna, continuamente a esto el segmento rota externamente preparándose para recibir el contacto inicial. Las rotaciones que realiza la cadera se llevan a cabo en el eje medio lateral, en el plano sagital se conocen como flexo-extensión; las producidas en el eje antero posterior, sobre el plano frontal, se consideran aducción y abducción. Aquellas producidas en el eje vertical, en el plano transversal se consideran rotaciones, tanto externa como interna.(7,37)

III. j) Complejo Lumbo Pélvico

El complejo lumbo pélvico o core, que comprende la musculatura abdominal, paraespinal, glútea, diafragma, piso pélvico y cadera, actúa sinérgicamente para estabilizar la columna lumbar transmitiendo la fuerza durante las demandas funcionales del cuerpo. En esto se afirma que todos los movimientos son generados a partir del core y son trasladados a las extremidades superiores e inferiores.

La incapacidad para transferir fuerzas desde el núcleo hacia las extremidades puede resultar en disminución de la eficiencia o lesión. Y en su parte inferior incluye la pelvis, la cual afecta la función y estabilidad del miembro inferior; el core comprende los músculos abdominales y lumbares.(3)

III.k) Cinemática Angular

En la cadera hay valores que varían de acuerdo al método y la tecnología utilizada para la adquisición de datos, encontrando flexiones máximas de 42° y extensiones máximas de 25° tomando como referencia la vertical, para estudios realizados en 2D.(34,38)

La siguiente articulación de la rodilla, formada por tibia, fémur y rótula, posee movimientos de flexo-extensión sobre el plano sagital, en el eje transversal y de rotación interna y externa en el plano transversal, sobre el eje vertical (siempre y cuando la rodilla se encuentre en flexión).(37)

Durante la fase de absorción, la rodilla se encuentra flexionada en aproximadamente 45° ,(7) 35° (8) y entre 30° y 50° , en el apoyo medio,(29) los primeros autores como Novacheck y Mann encontraron datos de menor flexión en el sprint en comparación con la carrera y la marcha. En la fase de propulsión la rodilla alcanza valores de extensión de 20° .(7) Los valores angulares, formados por la cara posterior de muslo y pierna, de $149.4^\circ \pm 4.3^\circ$ durante el contacto inicial, $126.5^\circ \pm 10.0^\circ$ en el apoyo medio, y valores de $151.6^\circ \pm 14.7^\circ$ en el despegue.(8)

Alcanzando la fase de vuelo la rodilla llega a su máxima flexión de 130° para corredores de élite especializados en velocidad y de 90° a 105° para una carrera a 3.2 y 3.9 m/s respectivamente.(7)

En cuanto a las adaptaciones espaciales que toma la articulación en el plano transversal se puede observar una rotación interna de la rodilla, la cual alcanza su máximo valor, de entre 5° y 10° , en el apoyo medio para luego rotar externamente cerca del 70% del apoyo (considerando 0% al contacto inicial y 100% al despegue), actuando de manera asincrónica con las rotaciones de la tibia, que se encuentra en máxima rotación interna en el apoyo y comienza a rotar externamente una vez comenzada la fase de propulsión.(39)

La articulación del tobillo que posee movimientos de flexo-extensión en el plano sagital, de aducción-abducción en el plano transversal y pronación-supinación en el plano oblicuo.(7,37) El rango de movimiento que demuestra la articulación del tobillo en la flexo-extensión durante el sprint es de 30° , encontrándose 10° de flexión dorsal y 20° de flexión plantar (extensión dependiendo del autor) a velocidades de 9 m/s.(7)

Los movimientos pronación y supinación son realizados por un complejo de movimientos que lleva a cabo todo el pie. La pronación se produce gracias a una dorsiflexión, una rotación interna de tibia, una abducción del antepié y una eversión del retropié, en caso de que el contacto inicial se produzca con el talón; mientras que durante la supinación se desarrollan los movimientos contrarios.(39,40)

Una vez que el pie hace contacto con el suelo éste se encuentra en supinación, lo cual se va perdiendo a lo largo de la fase de absorción para pasar a una pronación que va a permitir absorber las fuerzas generadas en la caída. Se comienza a supinar después de la mitad del apoyo medio, el pie cae el arco medial hacia la supinación para realizar el último empuje en la fase de generación o propulsión.(39)

IV JUSTIFICACIÓN

El análisis biomecánico en la ejecución del test de 30 metros lanzado es importante porque permite analizar la máxima velocidad en 30 metros ya que tuvo 30 metros de aceleración, y las distintas variables, para contrastar con la literatura descripta, como así también su condición actual según los parámetros registrado en el test.

El aporte de este análisis biomecánico es obtener datos precisos del deportista para incrementar la potencialidad del gesto motor en la velocidad y evitando posibles lesiones.

La relevancia de este estudio es que toda la comunidad deportiva tenga en cuenta este estudio para abordar la biomecánica, haciendo hincapié en la fase de impulso para realizar una fase de vuelo óptima.

Ya que esta comunidad no realiza este tipo de análisis con un deportista utilizando el test de 30 metros, como también la utilización de filmaciones y transferencia al software kinovea

V MATERIAL Y MÉTODOS

Se profundizó la temática en donde se realizó una búsqueda bibliográfica a través de la Biblioteca virtual de Salud (BVS), PubMed, Medline, Scholar Google y SciELO, con el fin de registrar conocimientos científicos sobre el estudio abordado.

Las combinaciones de dicha búsqueda fueron las siguientes: (triple extensión de cadera) AND (mh:(ciclo anterior)) OR (mh:(velocidad lanzada)). (mh:(biomecánica)) OR (postura) AND (mh:(carrera)). (análisis de movimiento) OR (mh:(velocidad de Carrera)) AND (mh:(movimiento estándar)) OR (mh:(performance atletismo)) AND (mh:(cinemática)) AND (mh:(competición)) AND (mh:(fotogrametría)).

Tras la consulta del título y abstract de los resultados obtenidos, con el fin de seleccionar artículos relacionados con la temática, se han aplicado los siguientes criterios de inclusión:

- Que se aplique la frecuencia y longitud de paso en la carrera de velocidad
- Que describa los ángulos del tren inferior y superior
- Que contemplen análisis biomecánico entre longitud y frecuencia de pasos
- Que la aplicación de la fase de la carrera sea sobre la fase de velocidad
- Que su idioma sea inglés o español
- Que sean publicados de 2000 y a 2021. Si bien constituye un periodo extenso en el marco de la cantidad de las publicaciones científicas actuales, la escasa literatura específica sobre el tema, así como la especificidad de los criterios de inclusión hace necesario un amplio rango de tiempo para la búsqueda.

Palabras claves:

Biomecánica, atletismo, carrera, cinemática, velocidad

Se encontraron con las siguientes combinaciones de palabras:

“Biomecánica” or “postura” and “carrera”. 489 resultados.

“análisis de movimiento” and “velocidad de carrera”. 449 resultados

“cadera” or “pelvis” and “carrera”. 132 resultados

“Biomecánica” or “postura” and “carrera”. 244 resultados

“Cinemática” and “velocidad carrera”. 229 resultados

“carrera de velocidad” and “análisis cinemático”. 43 resultados

“rendimiento atlético” or “carrera” or “prueba de esfuerzo”. 1543 resultados

“atletismo” or “fase de velocidad” and “carrera”. 356 resultados

“dinámica inversa” or “biomecánica” and “sprint”. 18 resultados

Se incluyeron artículos científicos, libros, revista científicas para la recolección de información.

Se realizó un estudio descriptivo, con un diseño de reporte de caso observacional, en el cual se analizaron las variables:

- ✓ Frecuencia y longitud de pasos
- ✓ Ángulos del tobillo, rodilla, cadera, tronco y brazo en el plano sagital.

Para este caso, el estudio que se realizó con el deportista amateur, de 18 años de edad, sexo masculino, estatura 1.75 metros, un peso de 68 kg, 1.02 metros de longitud de miembros inferiores, en donde ha participado en dos instancias provinciales

en la prueba de velocidad de 100 metros, el primero en la ciudad de Concordia con un tiempo de 11.46/100 y el último en Concepción del Uruguay, con un tiempo 12.19/100. Ambas pruebas fueron realizadas sobre pista sintética, donde el deportista utilizó zapatillas con clavos.

Previo a la toma de los datos prospectivos se le informó al deportista en qué consistía la entrada en calor y el test de 30 metros lanzado.

En la entrada en calor consistió en una activación de 20 minutos, incluyendo trote con combinaciones de desplazamiento lateral, trote hacia atrás tocar el piso con la mano cada tres pasos (todo de 5 a 7 minutos). Luego se le suman ejercicios de estiramiento de femorales, cuádriceps y aductores. Continuando con balanceos balísticos de piernas 20 repeticiones de costado y de frente. También realizó ejercicios de técnica de carrera: 2 repeticiones por 25 metros skiping bajo (talones al glúteo), 2 repeticiones por 25 metros skiping alto (rodilla arriba), 2 repeticiones por 25 metros de saltado, 2 repeticiones por 25 metros de skiping de costado. Seguidamente estiramiento 3 a 4 minutos. Finalizando con 4 sprints de 25 metros progresivos.(6,13)

El test de 30 metros lanzado comprende entre los 30 metros previo a la línea de cronometraje, cuyo objetivo es medir la velocidad máxima que se da en los 60 metros. Donde el deportista se posicionó en partida alta. A la señal del evaluador, el mismo comenzó a correr lo más rápido posible, al comenzar los 30 metros cronometrados marcado por conos cada 1 metro y por bastones cada 5 metros.(9,11,12)

Para el test se contó con dos profesores, uno ubicado en la línea de inicio de los 30 metros y el otro en la línea de meta. El primer cronometrador, al pasar el deportista, baja el brazo enérgicamente determinando el inicio del cronómetro, mientras que el segundo profesor también activo el cronómetro de manera simultánea, en los primeros 15 metros y últimos 15 metros finales del test.

En el test se utilizó el tramo recto, llano y opuesto a la recta principal de Oeste a Este, libre de obstáculos para la medición, ya que en la recta principal no se encontraba en condiciones y presentaba elementos fijos que obstaculizaban la filmación del test.

Al realizarse el test sobre la recta opuesta se tomó la medición del lado izquierdo del deportista sobre el primer andarivel.

Los medios que se utilizaron fueron:

- Borde de la pista demarcada cada cinco metros con una referencia de un bastón de PVC durante los 30 metros, como así también paralelamente un andarivel con conos.
- Trípode de aluminio VF WT 330A profesional extensible de 1.35 metros para cámara y celular. Calibrado a 0.85 cm de altura de la cadera del deportista, ubicada en el plano sagital, a una distancia de 7.50 metros de manera

perpendicular al andarivel y ubicada un metro delante de la mitad del test para registrar todo el mismo de manera precisa y dinámica.

- Celular Samsung Galaxy A21-cámara frontal 13 megapixels-android 10 con la interfaz One UI 2.0.
- El deportista utilizó un enterito deportivo de material Lycra y se le anexó marcadores con cinta adhesiva refractante, colocados en los siguientes puntos: maléolo del tobillo, cóndilo del fémur (rodilla) y trocánter de la cadera,(37) para que el software del Kinovea 9.4 lo registre. Los resultados obtenidos se compararon con las descripciones cinemáticas de la carrera de velocidad.(1,41)

Test de 30 metros

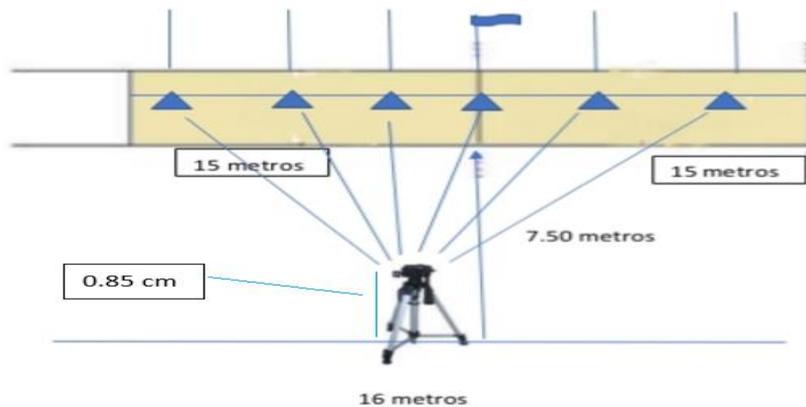


Imagen 5: Trípode profesional extensible, calibrado a 0.85 cm de altura de la cadera del deportista en el plano sagital, a una distancia de 7.50 metros y a los 16 metros del test (imagen propia).

VI RESULTADOS

Todos los datos registrados con el deportista, que se mencionan a continuación, donde en el primer tramo del test realizó una longitud de paso menor que los últimos 15 metros, utilizando una mayor frecuencia de paso. En cambio, en el segundo parcial efectuó una mayor longitud de paso, pero a su vez disminuyó su frecuencia de paso.

Plano Sagital		
Test de 30 metros		
variables	15 metros iniciales	15 metros finales
Longitud de paso pierna izquierda (m)	2.27	2.44
Longitud de paso pierna derecha (m)	2.44	2.48
Número total de pasos	7	6
Frecuencia de Paso (Hz)	4.29	4.08
Velocidad de paso pierna izquierda (m/s)*	9.74	9.95
Velocidad de paso pierna derecha (m/s)*	10.47	10.12
Tiempo (s) 30 metros	3".10/100	
Tiempo (s)	1".63/100	1".47/100
Velocidad (m/s)	9.20	10.20
Velocidad Promedio 30 metros (m/s)	9.67	

Tabla 3: Variables asociadas al paso de carrera.

*La velocidad de paso se calculó multiplicando la frecuencia por longitud

La frecuencia de paso es la cantidad de pasos que el deportista es capaz de ejecutar en una unidad de tiempo.

Plano Sagital				
Test de 30 metros				
variables	15 metros iniciales			
Longitud de pasos pierna izquierda (m)	2.28	2.26	2.27	2.27
Cantidad de pasos (4)				
\bar{x}	2.27 m			
Longitud de pasos pierna derecha (m)	2.45	2.44	2.43	-----
Cantidad de pasos (3)				
\bar{x}	2.44 m			
Variables	15 metros finales			
Longitud de pasos pierna izquierda (m)	2.43	2.44	2.45	-----
Cantidad de pasos (3)				
\bar{x}	2.44 m			
Longitud de pasos pierna derecha (m)	2.48	2.47	2.48	-----
Cantidad de pasos (3)				
\bar{x}	2.48 m			

Tabla 4: Promedio (\bar{x}) de la longitud de paso izquierdo y derecho de los primeros 15 metros iniciales y 15 metros finales.

La amplitud de movimiento en la máxima flexión de tronco en el plano sagital registró 19.1° en el contacto medio, en cambio en la extensión mínima de 4.4° en la oscilación media. En el contacto inicial y en el impulso registró 13.7°

Plano Sagital				
Test de 30 metros				
	Impulso	Oscilación Media	Contacto Inicial	Contacto Medio
Tronco (°)	13.7	4.4	13.7	19.1

Tabla 5: Descripción del tronco en el plano sagital

El rango de movimiento de los brazos debe ser de la cadera a la mejilla, las manos pasan por encima de la cadera por la espalda.

El ángulo del brazo delantero debe estar entre 60 y 90 grados en el codo y el brazo trasero debe estar entre 90 y 120 grados, también en el codo

Plano Sagital				
Test de 30 metros				
	Impulso	Oscilación Media	Contacto Inicial	Contacto Medio
Brazo (°)	62.9	136.3	87.6	88.6

Los movimientos que manifiesta la pelvis en el momento del impulso en la carrera, cuya anteversión de 16.8°.

En el contacto inicial se colocó en una posición de 7.3° y 7.9° para el contacto medio y en la oscilación media su valor de 4.1.

Plano Sagital				
Test de 30 metros				
	Impulso	Oscilación Media	Contacto Inicial	Contacto Medio
Pelvis (°)	16.8	4.1	7.3	7.9

Tabla 6: Descripción de la pelvis en el plano sagital

La cadera en el plano sagital en el contacto inicial obtuvo un valor 30.3°, contacto medio 23.2°, en la oscilación media un valor de 21.4°. Y en el impulso -27.2° en su máxima extensión,

La rodilla en el plano sagital, en el contacto inicial obtuvo un valor de 30.3°, en el contacto medio registró 45.5°, y en el impulso la extensión 20°. Refiriéndonos a los valores angulares del segmento posterior de la rodilla durante el contacto inicial, el deportista obtuvo una medición de 149.6°, en el apoyo medio el valor registrado alcanzó 142.8°, en el impulso marcó un valor de 155.3°. En la oscilación media en la angulación anteroposterior registrada 138.6° y 47.8°.

El tobillo en el plano sagital, en el contacto inicial arrojó un valor de 11.4° en la flexión dorsal, en la flexión plantar en el contacto medio 20.1°.

En la oscilación media registro -27.6° y en el impulso un valor de -46.2°.

Plano Sagital				
Test de 30 metros				
	Impulso	Oscilación Media	Contacto Inicial	Contacto Medio
Cadera (°)	-27.2	21.4	30.3	23.2
Angulación de la rodilla del miembro anteroposterior				
	Impulso	Oscilación Media	Contacto Inicial	Contacto Medio
Rodilla (°)	20.0	138.6	30.3	45.5
Rodilla (°)	155.3	47.8	149.6	142.8
	Impulso	Oscilación Media	Contacto Inicial	Contacto Medio
Tobillo (°)	-46.2	-27.6	11.4	20.1

Tabla 7: Descripciones angulares en el plano sagital

Descripción cinemática de la carrera en el test de 30 metros

Descripción angular (°) de la pelvis en función del ciclo de carrera

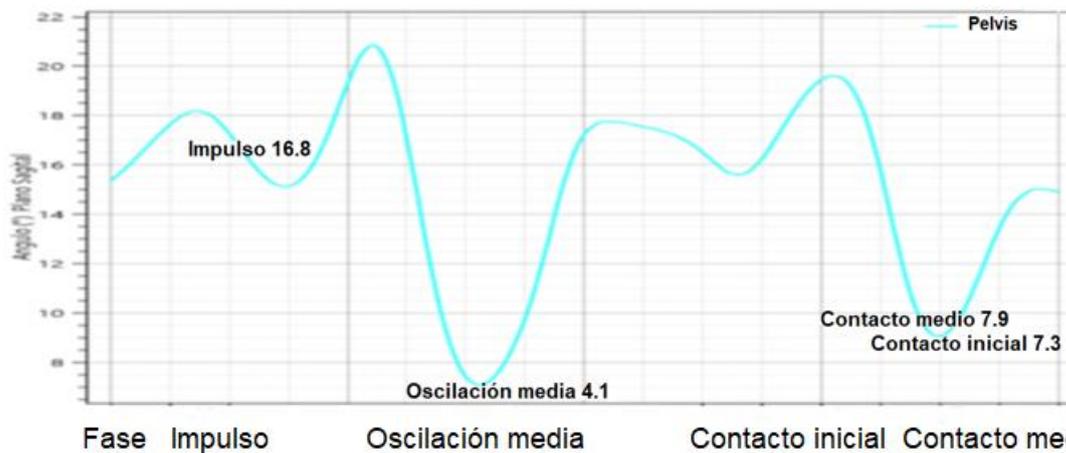


Gráfico 1: Descripción angular de la pelvis (°), en el plano sagital, en función del ciclo de carrera

Descripción angular (°) de la rodilla - cadera en función del ciclo de carrera

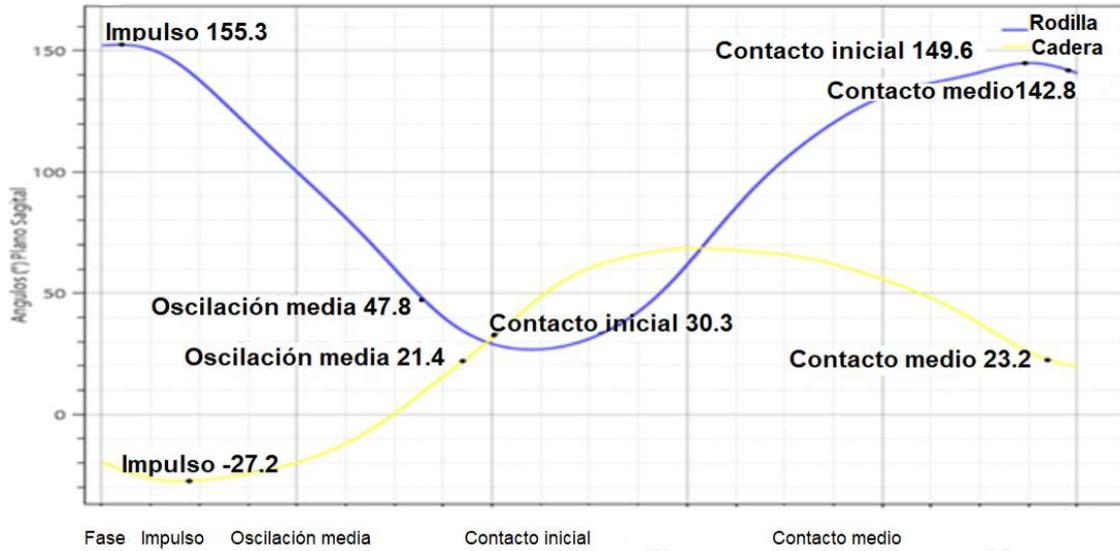


Gráfico 2: Descripción angular de la rodilla - cadera (°), en el plano sagital, en función del ciclo de carrera

Descripción angular (°) del tobillo en función del ciclo de carrera

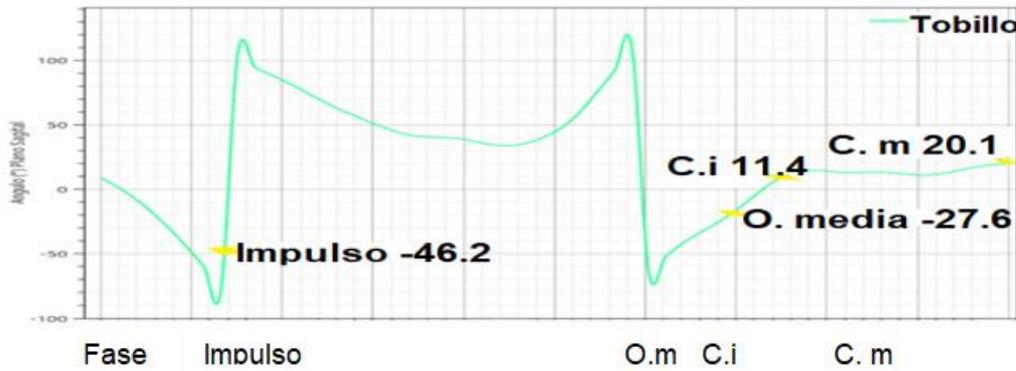


Gráfico 3: Descripción angular del tobillo (°), en el plano sagital, en función del ciclo de carrera

Descripción angular (°) del brazo en función del ciclo de carrera

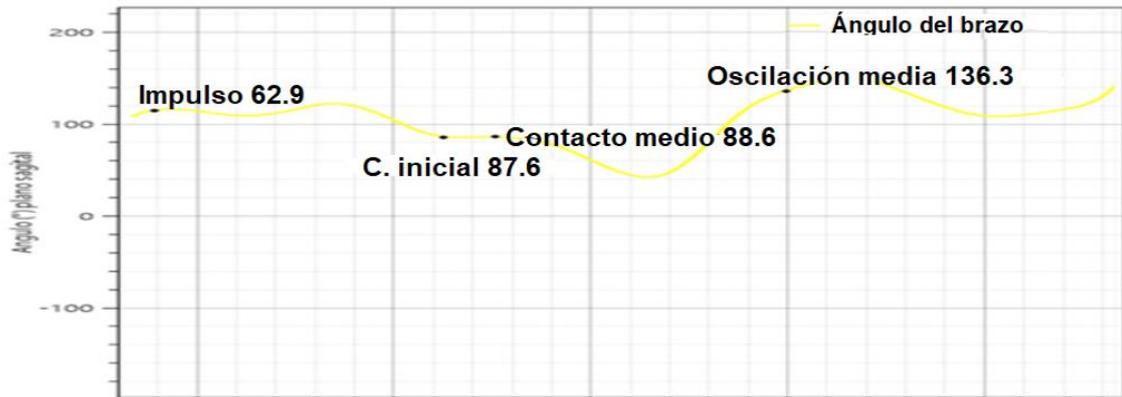


Gráfico 4: Descripción angular del brazo (°), en el plano sagital, en función del ciclo de carrera

Descripción angular (°) del tronco en función del ciclo de carrera

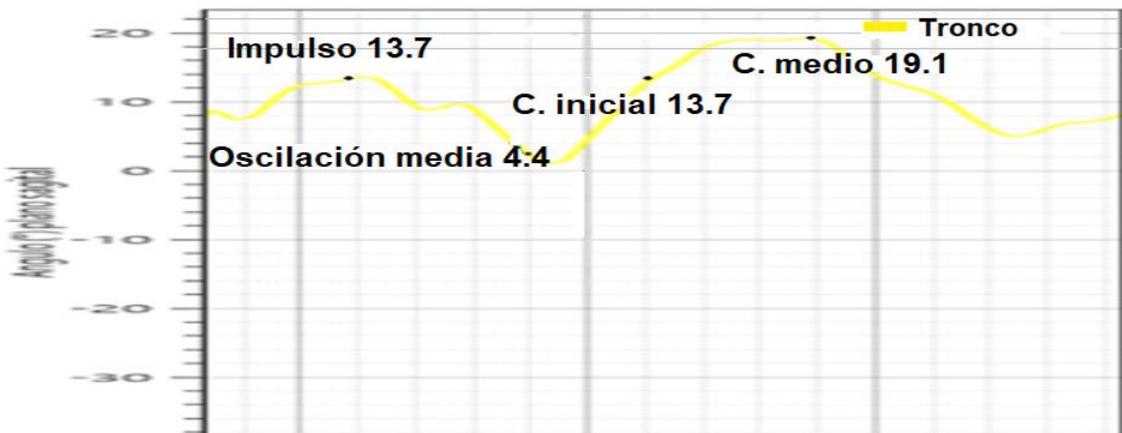


Gráfico 5: Descripción angular del tronco (°), en el plano sagital, en función del ciclo de carrera

VII DISCUSIÓN

En el test de 30 metros lanzados, se analizó la velocidad máxima del deportista amateur, a través de la cinemática de MMII, donde arrojó en los primeros 15 metros del test un promedio de 2.27 metros en la longitud de paso de la pierna izquierda y a su vez la pierna derecha 2.44 metros, con una frecuencia de 4.29 Hz.

En los últimos 15 metros del test registró un promedio de 2.44 metros en la longitud de paso de la pierna izquierda y 2.48 metros en la pierna derecha con una frecuencia de 4.08 Hz.

Cuando aumenta la frecuencia de los pasos se hace más fuerte el empuje, aumenta la longitud de los pasos y se incrementa la velocidad. La velocidad aumenta como consecuencia del incremento simultáneo de la longitud y la frecuencia de los pasos. Después de cierto límite se hace imposible el aumento simultáneo, cuando aumenta uno, el otro comienza a disminuir.(10)

La curva de velocidad de las carreras de 30 y 100 metros muestran que el aumento de esta en los primeros 10-20 metros(10) es semejante para todos los grandes velocistas, donde la longitud del paso para un velocista es igual a $7\frac{3}{4}$ - 9 pies,(10) y la frecuencia de 5 pasos por segundo.(10) teniendo en cuenta que en los 60 metros de la velocidad máxima en una carrera, la frecuencia baja a los 4.57 Hz, mientras que entre el 40 y el 50 m se situaba en los 4.67 Hz.(19)

Siendo que el deportista amateur obtuvo en los 30 metros lanzado del test un total de 13 pasos con una frecuencia de 4.19 Hz.

Teniendo en cuenta estos datos, no hubo proporción entre la frecuencia y longitud de pasos, en los primeros 15 metros. Y en la segunda mitad del test, su frecuencia disminuyó un 5% indicando menos pasos al no desarrollar una velocidad constante en la carrera.

En la cinemática de MMSS, el tronco en el plano sagital en el contacto inicial y en el impulso registró 13.7° , luego en el contacto medio obtuvo un valor de 19.1° y en la oscilación media 4.4° . Los movimientos que realiza el tronco en el eje medio-lateral, en el plano sagital son propuestos como flexo-extensión con una amplitud de movimiento entre 2.3° y 23° ,(34) en cuanto a la flexo-extensión, se pueden observar dos momentos de valores máximos de angulación (flexión), el primero se genera en el apoyo medio, mientras que el segundo en la oscilación media, obteniendo así un valor mínimo (extensión) en la fase aérea y otro en el momento previo al contacto que da comienzo a un nuevo ciclo de carrera. Por otro lado, el brazo analizado en el plano sagital en el contacto inicial determinó un ángulo de 87.6° , contacto medio 88.6° , impulso 62.9° y en la oscilación media 136.3° . El ángulo del brazo delantero debe estar entre 60 y 90 grados en el codo y el brazo trasero debe estar entre 90 y 120 grados, también en el codo. Si

los ángulos del brazo están fuera de este rango, la mecánica de carrera se verá afectada negativamente.(33) La importancia de los brazos es estabilizar el torso para que la potencia pueda seguir transfiriéndose eficientemente a través de las caderas. Es esta capacidad de transferir potencia de manera efectiva a través del centro de masa lo que no solo mejora la tasa de aceleración, sino que también facilita alcanzar la velocidad máxima, manteniendo esas velocidades máximas y reduciendo la tasa de desaceleración.(33)

De acuerdo con lo analizado del rango de movimiento del brazo, la mano pasó por debajo del nivel de la cadera, esto podría llevar al tronco en la flexión y extensión provocar una alteración a la frecuencia y longitud de pasos afectando a la velocidad.

La pelvis en el plano sagital en el contacto inicial se colocó en una posición de 7.3° y 7.9° para el contacto medio, siendo para el impulso 16.8° y en la oscilación media 4.1° . Los movimientos que presenta la pelvis son establecidos como anteversión y retroversión pélvica, dentro de la posición en que se coloca la pelvis en el momento de la carrera, la cual se encuentra entre 15° a 20° de anteversión, se realizan movimientos de 5° a 7° en el plano sagital.(34) También se encontraron valores medios de 7.8° y 9.4° de inclinación en el plano sagital. La pelvis, tanto en el contacto inicial y medio, estaría dentro de los valores medios de la literatura descripta.(34) Mientras que en el impulso se encuentra dentro del rango de anteversión mencionado. En cambio, en la oscilación media la pelvis en lugar de estar en anteversión debería posicionarse en retroversión para buscar la horizontalidad de la misma.

La cadera en el plano sagital en el contacto inicial obtuvo un valor 30.3° , contacto medio 23.2° , impulso, el dato obtenido -27.2° y en la oscilación media 21.4° . En la cadera en la flexiones máximas de 42° y extensiones máximas de 25° tomando como referencia el eje vertical.(38)

Los datos indicarían que el deportista no alcanza a su máxima flexión de cadera por tener la pierna libre en la oscilación media en ciclo posterior, donde el talón se encuentra alejado del isquiotibial produciendo una desaceleración provocada por la flexión obtenida, es producida por la alteración del rango de movimiento del brazo, donde la mano esta tensa y pasando por debajo del nivel de la cadera. En el impulso en su máxima extensión se encontró dentro del rango de movimiento, no manifestando limitaciones.

La rodilla en el plano sagital, en el segmento anterior, el contacto inicial registró un valor de 30.3°, contacto medio midió 45.5°, impulso con un valor de 20°.

Y en el segmento posterior de la rodilla durante el contacto inicial, obtuvo una medición de 149.6°, en el apoyo medio el valor registrado alcanzó 142.8°, impulso marcó un valor de 155.3° y en la oscilación media en la angulación anteroposterior registrada por el deportista 138.6° y 47.8°. Durante la fase de absorción, la rodilla se encuentra flexionada en aproximadamente 45°, (7) 35° (8) y entre 30° y 50°, en el apoyo medio, (29) los primeros autores como Novacheck y Mann encontraron datos de menor flexión en el sprint en comparación con la carrera y la marcha. En la fase de propulsión la rodilla alcanza valores de extensión de 20°. (7) Los valores angulares, formados por la cara posterior de muslo y pierna, de 149.4° ± 4.3° durante el contacto inicial, 126.5° ± 10.0° en el apoyo medio, y valores de 151.6° ± 14.7° en el despegue. (8)

Tanto el contacto inicial, impulso y la oscilación anteroposterior estarían dentro del rango de movimiento, en cambio en el apoyo medio al no encontrarse dentro los parámetros mencionados debido al incremento mínimo de la extensión del tronco provocada por la acción de los brazos.

Finalizando con la articulación del tobillo en el plano sagital, el contacto inicial arrojó un valor de 11.4°, en el contacto medio 20.1°. En cambio, la oscilación media registró -27.6° y el impulso con un valor de -46.2°. El rango de movimiento que demuestra la articulación del tobillo en la flexo-extensión durante el sprint es de 30°, encontrándose 10° de flexión dorsal y 20° de flexión plantar (extensión dependiendo del autor) a velocidades de 9 m/s. (7)

Estos datos indican valores por encima del rango, podría deberse a la poca reactividad del pie, donde la pierna libre en la oscilación media se encuentra en el ciclo posterior provocando una extensión del tronco a raíz de no alcanzar su máxima flexión de cadera, producto de la alteración del movimiento de brazos, donde la mano parecería estar tensa y pasando por debajo del nivel de la cadera, provocando una desaceleración en la mecánica de la carrera.

VIII CONCLUSIONES

En el análisis biomecánico del deportista amateur en el test de 30 metros se observó el lado izquierdo del tren superior e inferior en el plano sagital, en los primeros 15 metros iniciales no hubo una proporción entre la longitud y frecuencia, en los 15 metros finales se observó una relación inversa entre la longitud y frecuencia de paso, incrementándose la longitud de pasos y disminuyendo un 5% la frecuencia. Esto podría deberse al desequilibrio entre el tronco, brazo y cadera provocando una disminución en la aceleración

Los resultados que se obtuvieron en el test de 30 metros indicarían que el deportista estaría en el rango de deportista experimentado, esto estaría relacionado con la prueba de velocidad.

Se sugiere para futuras investigaciones otros test de 30 metros analizando otras variables como el tiempo de contacto y vuelo.

IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Orbe Yumisaca OA, Olmedo Cruz GT, Chancosi EVC, Mosquera Rosales WV, Vega HET. Análisis biomecánico entre sexos de la longitud y frecuencia de la zancada en atletismo de iniciación. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* [Internet]. 2018 [citado el 2 de julio de 2021];37(4):1–8. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03002018000400017&lng=es&nrm=iso&tlng=es
2. Hanley B, Bissas A. Analysis of lower limb work-energy patterns in world-class race walkers. *Journal of Sports Sciences* [Internet]. 2017 [citado el 4 de noviembre de 2021];35(10):960–6. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1206662>
3. Obando JMG. Resistencia Muscular del Complejo Lumbo-Pélvico en Estudiantes de los Grados Diez y Once del Colegio Calasanz, Pereira, 201. 2011;78.
4. Moscatelli F, Mancini N. Biomechanics of sprint running: a methodological contribution. *ARSPA* [Internet]. 2013 [citado el 11 de enero de 2022];(4):84–6. Disponible en: <https://digitalis.uc.pt/handle/10316.2/28382>
5. Floria Martín P, Ferro Sánchez A. Análisis del rendimiento en competición entre corredores de 100 metros lisos de diferente nivel. 2011 [citado el 20 de octubre de 2021]; Disponible en: <https://rio.upo.es/xmlui/handle/10433/9350>
6. Joan Rius Sant. Metodología y Técnicas de Atletismo [Internet]. Primera edición. España: Editorial Paidotribo; 2005. 484 p. Disponible en: <https://pdfcookie.com/documents/metodologia-y-tecnicas-del-atletismo-joan-rius-sant-0nvomdoop328>
7. Novacheck null. The biomechanics of running. *Gait Posture*. 1998;7(1):77–95.
8. Mann RA, Hagy J. Biomechanics of walking, running, and sprinting. *Am J Sports Med*. 1980;8(5):345–50.
9. Martínez López EJ. Pruebas de aptitud física (2a. ed.). [Internet]. Barcelona: Editorial Paidotribo 2011. p.194.; 2011 [citado el 2 de julio de 2021]. Disponible en: <https://colegio5010.com/wp-content/uploads/2018/10/Pruebas-de-aptitud-fisica-copia-2.pdf>
10. Villamarin Menza. Longitud de zancada, frecuencia del paso y dinámica de la velocidad de corredoras de velocidad del Norte del Cauca. *Lúdica pedagóg* [Internet]. 2010 [citado el 2 de julio de 2021];2(15). Disponible en: <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/LP/article/view/561>
11. Prueba de velocidad lanzada de 30 metros Gimnasio Cartwright [Internet]. CARTWRIGHTFINNESS. 2022 [citado el 22 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.cartwrightfitness.co.uk/flying-30m-sprint-test/>
12. ARTUR STRUZIK, *, GRZEGORZ KONIECZNY2, , KAMILA GRZESIK3, , MATEUSZ STAWARZ3, , SŁAWOMIR WINIARSKI4, et al. Relationship between lower limbs kinematic variables and effectiveness of sprint during maximum velocity phase.

13. Brown LE. Entrenamiento de velocidad, agilidad y rapidez. [Internet]. Editorial Paidotribo; 2011 [citado el 29 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5067385>
14. Dugan SA, Bhat KP. Biomechanics and Analysis of Running Gait. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America* [Internet]. 2005 [citado el 20 de diciembre de 2021];16(3):603–21. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1047965105000240>
15. Slawinski J, Bonnefoy A, Levêque JM, Ontanon G, Riquet A, Dumas R, et al. Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start. *J Strength Cond Res*. 2010;24(4):896–905.
16. Sánchez AF. *La Carrera de Velocidad: Metodología Del Análisis Biomecánico*. Lib Deportivas Esteban Sanz; 2001. 232 p.
17. WORLD ATHLETICS. Reglamento de competición y técnico [Internet]. 2020a ed. Monaco: WORLD ATHLETICS; 2019. 286 p. Disponible en: www.worldathletics.org
18. Atletismo en pista cubierta. CSD [Internet]. 2021;39. Disponible en: <http://www.csd.gob.es/es/csd/instalaciones/politicas-publicas-de-ordenacion/normativa-tecnica-de-instalaciones-deportivas/normas-nide/nide-2-18>
19. Romero DÁ, Alday AO. Valoración Biomecánica de la Carrera de Velocidad. *Biomechanical Assesment of Sprint Running*. Universidad de León. 2014;23.
20. Vittori, C. La incidencia del entrenamiento en los parametros (velocidad y frecuencia) del ritmo de la carrera. I Congreso internacional de Atletismo, Salamanca, 6 de abril. UPM [Internet]. 2003;58. Disponible en: http://oa.upm.es/31068/1/TFG_GERMAN_DE_LA_TORRE_ORELLANA.pdf
21. Universidad de Antioquia. Instituto Universitario de Educacion Fisica y Deporte, Ramon Suarez G. *Biomecanica deportiva y control del entrenamiento*. Medellin: Universidad de Antioquia, Instituto de Educacion Fisica y Deportes; 2009.
22. Prieto J. Las fases de los 100 metros lisos [Internet]. *Foroatletismo.com*. 2013 [citado el 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.foroatletismo.com/entrenamiento/las-fases-de-los-100-metros-lisos/>
23. Hunter J, Marshall R, McNair P. Relationships between Ground Reaction Force Impulse and Kinematics of Sprint-Running Acceleration. *Journal of applied biomechanics*. 2005;21:31–43.
24. Noguerras Miranda M. Análisis de la carrera de 100 metros lisos mediante la evaluación del deportista con sistema láser y plantillas instrumentadas [Internet] [PhD Thesis]. Universidad Politécnica de Madrid; 2017 [citado el 13 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://oa.upm.es/49174/>
25. Mariano Garcia- Verdugo Delmas. Analisis de los 100 m. Lisos: velocidad, frecuencia-amplitud, consideraciones técnicas [Internet]. 1972. Disponible en: <https://oa.upm.es/13059/>
26. Pollitt DL, Walker J, Tucker DC, Bissas DA. BIOMECHANICAL REPORT FOR THE IAAF. 2018;59. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/326479199>

27. Bissa, Walker, Tucker and Paradisis A. BIOMECHANICAL REPORT FOR THE IAAF World championships LONDON 2017 100 m Men´s. IAAF [Internet]. 2017;69. Disponible en: <https://www.worldathletics.org/about-iaaf/documents/research-centre>
28. Gullstrand L, Halvorsen K, Tinmark F, Eriksson M, Nilsson J. Measurements of vertical displacement in running, a methodological comparison. *Gait Posture*. 2009;30(1):71–5.
29. Sperlich B, Zinner C, editores. *Marathon Running: Physiology, Psychology, Nutrition and Training Aspects*. 1st ed. 2016. Cham: Springer International Publishing : Imprint: Springer; 2016. 1 p.
30. Lamont Marcell Jacobs hizo historia para Italia al ganar los 100 metros [Internet]. Google Academico. 2021 [citado el 22 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.telam.com.ar/notas/202108/563456-juegos-olimpicos-tokio-2020-atletismo-100-metros-llanos-italia-oro-lamont-marcell-jacobs.html>
31. Matemáticas, 100 metros planos y Usain Bolt – Incyt [Internet]. Instituto de Investigación y proyección sobre ciencia y tecnología. 2016 [citado el 22 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://incyt.url.edu.gt/?p=14733>
32. Las Leonas por Carlos Gats, un especialista en velocidad [Internet]. Argentina.gob.ar. 2020 [citado el 22 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/las-leonas-por-carlos-gats-un-especialista-en-velocidad>
33. Acceleration A. Arm Action for Speed [Internet]. Athletes Acceleration Sports Performance Training. 2014 [citado el 29 de julio de 2022]. Disponible en: <https://athletesacceleration.com/arm-action-speed/>
34. Schache AG, Bennell KL, Blanch PD, Wrigley TV. The coordinated movement of the lumbo–pelvic–hip complex during running: a literature review. *Gait & Posture* [Internet]. 1999 [citado el 4 de abril de 2022];10(1):30–47. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636299000259>
35. Schache AG, Blanch PD, Rath DA, Wrigley TV, Starr R, Bennell KL. A comparison of overground and treadmill running for measuring the three-dimensional kinematics of the lumbo±pelvic±hip complex. *Clinical Biomechanics*. 2001;15.
36. Schache A, Blanch PD, Rath D, Wrigley T, Bennell K. Differences between the sexes in the three-dimensional angular rotations of the lumbo-pelvic-hip complex during treadmill running. *Journal of Sports Sciences* [Internet]. 2003 [citado el 5 de noviembre de 2021];21(2):105–18. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0264041031000070859>
37. Kapandji AI. *Fisiología articular / miembros inferiores / lower limb*. Place of publication not identified: Editorial Medica Panameri; 2010.
38. Cavanagh PR. La biomecánica de la acción de las extremidades inferiores en carreras de larga distancia. *Foot & Ankle* [Internet]. 1987 [citado el 2 de diciembre de 2021];7(4):197–217. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/107110078700700402>

39. Ferber R, Macdonald S. Running Mechanics and Gait Analysis [Internet]. Human Kinetics; 2014. 152 p. Disponible en: https://books.google.es/books?id=qPB6DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
40. Nicola TL, Jewison DJ. The anatomy and biomechanics of running. Clin Sports Med. 2012;31(2):187–201.
41. Mazzeo Emilio y Edgardo, editor. Atletismo para todos. 1°ed. Buenos Aires: Stadium; 2008.

X ANEXOS

Fotograma de los primeros 15 metros de la longitud de pasos

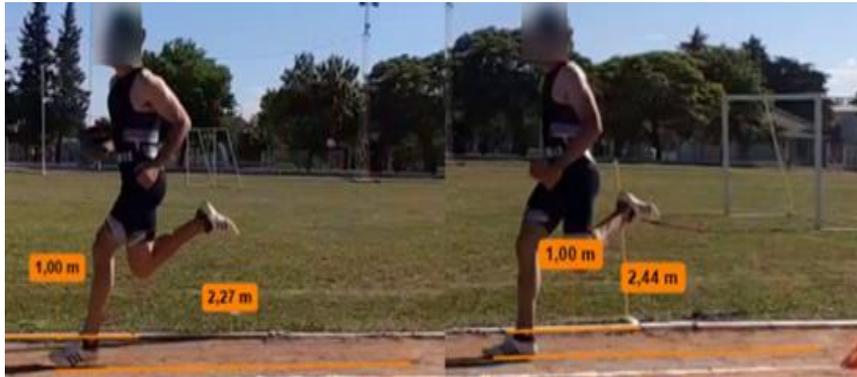


Imagen 1: Apoyo inicial pierna izquierda 2.27m y apoyo inicial pierna derecha 2.44 m (imagen propia)

Fotograma segundo 15 metros finales de la longitud de pasos



Imagen 2: Apoyo inicial pierna izquierda 2.44 m. y apoyo inicial pierna derecha 2.48 m. (imagen propia)

La longitud de paso izquierda como derecha en los dos parciales del test se tuvo en cuenta el promedio (\bar{x}) como lo indica la tabla 2 en Resultado.

Fotograma de la cadera en el plano sagital con respecto al eje vertical.



Imagen 3: Contacto inicial, contacto medio, impulso, oscilación media.

Fotograma de la rodilla del miembro anterior/posterior del muslo en el plano sagital



Imagen 4: Contacto inicial, contacto medio, impulso, oscilación media. (imagen propia)



Imagen 5: Contacto inicial, contacto medio, impulso, oscilación media. (imagen propia)

Fotograma de los ángulos del tobillo en el plano sagital



Imagen 6: Contacto inicial (flexión dorsal), contacto medio (flexión plantar), impulso, oscilación media. (imagen propia)

Fotograma del ángulo de la pelvis en el plano sagital

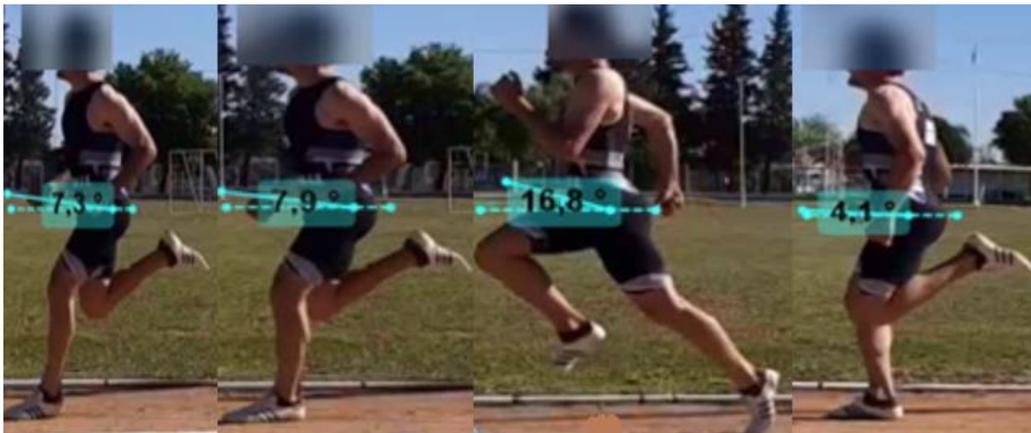


Imagen 7: Contacto inicial, contacto medio, impulso, oscilación media. (imagen propia)

Fotograma del tronco en el plano sagital



Imagen 8: Contacto inicial, contacto medio, impulso, oscilación media. (imagen propia)

Fotograma del brazo en el plano sagital



Imagen 9: Contacto inicial, contacto medio, impulso, oscilación media. (imagen propia)