

# COMPARACIÓN DE LA PISADA ENTRE ATLETAS FONDISTAS Y VELOCISTAS DURANTE LA CARRERA

---

Trabajo de fin de grado

Autor del trabajo: Juan Cifuentes Guzmán  
Tutora: Montserrat Marugán de los Bueis

Grado en Podología  
Barcelona, 8 de Junio del 2015

# ÍNDICE

1. Resumen.....	pág. 1
2. Motivación.....	pág. 2
3. Contextualización e introducción.....	pág. 3
4. Marco teórico.....	pág. 4
4.1 Atletismo.....	pág. 4
4.2 Lá técnica de carrera.....	pág. 5
4.2.1 La carrera.....	pág. 6
4.2.2 Fases de la técnica de carrera.....	pág. 7
4.2.3 Parámetros de la carrera.....	pág. 13
4.2.3 Tipos de técnica.....	pág. 14
4.3 Diferencias técnicas entre fondo y velocidad...	pág. 15
4.3.1 Diferencias biomecánicas entre las carreras de fondo y velocidad.....	pág. 16
4.3.2 Errores comunes al realizar la técnica de carrerasegún autores.....	pág. 17
4.4 Calzado deportivo.....	pág. 18
5. Objetivos e hipótesis.....	pág. 20
6. Material y métodos.....	pág. 21
6.1 Recogida de información.....	pág. 21
6.2 Muestras.....	pág. 21
6.3 Lugar de la recogida de muestras.....	pág. 22
6.4 Material.....	pág. 23
6.5 Criterios para la recogida de muestras.....	pág. 24
6.6 Métodos.....	pág. 25
7. Resultados.....	pág. 30
8. Discusión.....	pág. 34
9. Conclusiones.....	pág. 40
10. Bibliografía.....	pág. 41
11. Agradecimientos.....	pág. 44
12. Anexo.....	pág. 45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig 4.1.</b> Fase de apoyo dividida en sus 3 subfases y, la fase de vuelo_____	página 7
<b>Fig 4.2.</b> Subfase de contacto inicial _____	página 8
<b>Fig 4.3.</b> Subfase de impulsión_____	página 9
<b>Fig 4.4.</b> Subfase de propulsión_____	página 10
<b>Fig 4.5.</b> Posición errónea del tronco respecto a la línea de impulsión_____	página 11
<b>Fig 4.6.</b> Posición correcta del tronco respecto a la línea de impulsión_____	página 11
<b>Fig 4.7.</b> Técnica de carrera circular y pendular _____	página 14
<b>Fig 4.8.</b> Zapatilla de clavos de velocidad_____	página 19
<b>Fig 4.9.</b> Zapatilla de clavos de fondo_____	página 19
<b>Fig 4.10.</b> Zapatilla de running_____	página 19
<b>Fig 6.1.</b> Screenshot del programa Daz Studio 4.7____	página 23
<b>Fig 6.2.</b> Plano durante la toma de muestras_____	página 25
<b>Fig 6.3.</b> Toma de muestras_____	página 26
<b>Fig 6.4.</b> Screenshot del programa FootScan 7USB____	página 27
<b>Fig 6.5.</b> Screenshot del programa FootScan 7USB____	página 28
<b>Fig 6.6.</b> Screenshot del programa Kinovea_____	página 29
<b>Fig 6.7.</b> Screenshot del programa Kinovea_____	página 29

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Datos de las muestras\_\_\_\_\_ página 30

**Tabla 2.** Tiempo de contacto\_\_\_\_\_ página 31

**Tabla 3.** Test de hipótesis del tiempo de contacto\_\_\_\_\_ página 31

**Tabla 4.** Intervalo de confianza del 95%\_\_\_\_\_ página 32

**Tabla 5.** Superficie de contacto del retropié \_\_\_\_\_ página 32

**Tabla 6.** Superficie de contacto del mediopié \_\_\_\_\_ página 32

**Tabla 7.** Superficie de contacto del antepié\_\_\_\_\_ página 32

**Tabla 8.** Superficie total en base a tallaje del pie \_\_\_\_\_ página 33

**Tabla 9.** Ángulo pierna/pie en el contacto inicial\_\_\_\_\_ página 33

## 1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El cuerpo humano está especializado para correr tanto en larga distancia como en velocidad. Este trabajo pretende detallar aspectos concretos de las diferencias existentes entre ambas modalidades mediante su análisis con plataforma de presiones y cámara de alta velocidad. Los objetivos de este estudio son conocer si existen grandes diferencias entre la pisada de atletas velocistas y fondistas durante la carrera, analizando las siguientes variables: Tiempo de contacto, superficie de contacto de retropié, mediopié, antepié y ángulo pierna/pie en el contacto inicial. Se ha realizado un estudio experimental con muestra de 6 fondistas y 6 velocistas con desigual rendimiento y de diferentes clubes catalanes.

Los resultados muestran semejanzas entre atletas de la misma disciplina y ligeras diferencias entre ambas, y que los aspectos que influyen son la técnica de carrera junto al nivel de rendimiento del atleta.

**Palabras clave:** fondistas, velocistas, biomecánica de carrera, huella plantar, atletismo.

### ABSTRACT

The human body has specialized to run long distances and to run at high speed as well. This essay focuses on detailing concrete aspects from the existing differences between both modalities through the analysis performed with a pressure platform and a high speed camera. The goal of this study is to know if there are important differences between the step of sprinters athletes and long distance athletes in a race analyzing the next variables: Time of contact, area of contact of rearfoot, midfoot, and forefoot, and leg/foot angle with initial contact. An experimental study has been done with 12 subjects (6 long distance runners and 6 sprinters) with different performances and from different catalan athletics associations.

The results conclude that it does exist similarities between athletes in the same discipline and some differences when compared both of them and that the aspects of most importance are the technique and the performance of each athlete.

**Keywords:** long distance runners, sprinters, biomechanical of race, footprint, athletics.

## 2. MOTIVACIÓN

Vinculado a un club de atletismo desde mi etapa juvenil hasta la actualidad, son muchas las inquietudes e incertidumbres que aparecen, en cuestión, con mi deporte favorito.

Son 14 años viendo a atletas saltar, lanzar, marchar y correr. Correr y correr. Estando tan estandarizado y, siendo algo tan innato y natural para desplazarte rápidamente, pienso: ¿por qué unos corren tan rápido y otros no lo consiguen?, ¿por qué otros pueden aguantar durante tanto tiempo corriendo? Y además, ¿por qué lo pueden hacer a ritmos altos?

Muchas de estas cuestiones han sido respondidas con estudios de carácter fisiológico, basándose en las fibras rápidas o lentas, trabajo aeróbico o anaeróbico y un sinfín de estudios sobre teoría del entrenamiento. Pero, ¿y el pie? ¿cómo actúa y cómo repercute el pie en las diferentes modalidades del atletismo?

Habiendo visualizado un sinfín de atletas correr a lo largo de mi carrera deportiva, y siendo alumno de una de las especialidades de la salud como es la podología; tras acudir a un curso de últimos avances en instrumental específico para analizar biomecánicamente al paciente, me hace pensar en qué diferencias existen en carrera entre atletas de fondo y de velocidad a nivel de extremidades inferiores. Me figuro un gran estudio en el que analice pisadas con cámaras de alta velocidad, con cámaras 3D, plataformas de presiones y láseres, sensores que transfieran información real a un entorno virtual. La limitación instrumental y de tiempo disponible para realizar este trabajo me conduce a centrarme en un estudio más accesible a la realidad a la que estoy sujeto y decido centrarme en el estudio basado en las diferencias entre la pisada de un fondista y un velocista con plataforma de presiones.

### **3. CONTEXTUALIZACIÓN E INTRODUCCIÓN**

Cuando el ser humano aún no poseía herramientas para la caza, ya hizo uso de las armas que le venían incorporadas en su cuerpo con el fin de poder alimentarse; armas que no son otras que la coordinación, un sistema de glándulas sudoríparas que regula la temperatura del cuerpo y, la paciencia. El humano obtuvo el desarrollo de su cuerpo, que se produce por la ingesta de proteínas mediante la carne animal, gracias al gran Kudú, un antílope africano que carece de mecanismos de termorregulación tan elaborados como el humano; la metodología denominada caza por persistencia, practicada por las antiguas tribus africanas, los Bosquimanos, consiste en una inteligente persecución dotada de postas distribuidas por la sabana en las que se evita dejar descansar al antílope, hidratarse o posarse bajo una sombra para bajar la temperatura. Una vez el animal desfallece por fatiga la victoria es un hecho<sup>1</sup>.

Además de permitir hacer largas distancias, el físico humano está dotado de características que favorecen y facilitan la carrera bípeda, alcanzando hasta 45km/h el hombre más veloz de planeta<sup>2</sup> y pudiendo hacerlo hasta los 64km/h<sup>3</sup>.

El presente trabajo consta de dos partes, por un lado búsqueda bibliográfica y por otro lado experimental/empírica. La primera parte de este proyecto pretende conceptualizar y analizar la técnica de carrera en las modalidades de velocidad y fondo, en atletismo, tratando de dar una visión sobre la posición que afecta en la biomecánica de extremidades inferiores durante la carrera.

Para la determinación de la parte experimental se ha tomado como muestra a un grupo de 12 sujetos que practican atletismo de nivel amateur hasta alto rendimiento, de los cuales 6 son corredores de

velocidad y los 6 restantes son corredores de larga distancia; donde el fin es comparar diferentes parámetros de la pisada durante la carrera, mediante plataforma de presiones y análisis con cámara de alta velocidad.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 ATLETISMO**

Según la RAE<sup>4</sup> el atletismo es un conjunto de actividades y normas deportivas que comprenden las pruebas de velocidad, saltos y lanzamiento; de igual forma diferentes autores describen el atletismo: Isidro Hornillos Baz<sup>5</sup> dice que es un conjunto de prácticas deportivas integradas por habilidades y destrezas básicas en el comportamiento motriz del ser humano, como son las carreras, marcha, saltos y lanzamientos, realizadas bajo unas normas que regulan la competición<sup>5</sup>. En cambio la descripción que le da Joan Rius Sant<sup>6</sup> es una suma de especialidades que culturalmente se han agrupado bajo este nombre general. Las especialidades del atletismo moderno son cinco: las carreras, los saltos, los lanzamientos, la marcha atlética y las pruebas combinadas. Dentro del atletismo, la especialidad que tiene más afluencia es la carrera, que se divide en: carreras de velocidad, carreras de mediofondo y carreras de fondo.

Las pruebas que son consideradas oficiales son las que se llevan a cabo en las olimpiadas y que están reconocidas por la IAAF (International association of athletics federations) correspondientes a la categoría senior, ya que en categorías inferiores puede haber variaciones en las distancias, son las siguientes:

-Para las carreras de Velocidad:

100metros lisos	100metros	vallas	en	mujeres
200metros lisos	110metros	vallas	en	hombres
400metros lisos	400metros	vallas		

-Para las carreras de Mediofondo:

800metros lisos	1500metros lisos
-----------------	------------------

-Para las carreras de Fondo:

3000metros lisos	3000metros obstáculos
5000metros lisos	10000metros lisos
Maratón (42195metros)	

\*Las pruebas que no están especificadas comparten distancia ambos sexos<sup>7</sup>.

## **4.2 LA TÉCNICA DE CARRERA**

Dentro de ese conjunto de actividades físicas, cabe destacar lo innato del ser humano en cuanto a correr se refiere. El niño corre sin un estímulo externo o petición del adulto que le exija hacerlo, lo hace por inercia, por adelantarse o acortar tiempo. Para llegar más rápido.

La práctica del atletismo, como ocurre con cualquier deporte, consta de la parte de preparación física (el entrenamiento) y de la parte en que se pone a prueba todo el trabajo realizado durante la parte de preparación física (la competición)<sup>8</sup>.

Teniendo en cuenta que el ser humano adopta unas doctrinas "aleatorias" en cuanto a la técnica de carrera durante la infancia; así pues, en la parte de entrenamiento debe trabajarse de forma específica cada una de las

fases de la carrera, tratando de perfeccionar al máximo cada detalle, gesto, movimiento y posición con el fin de pulir los hábitos de coordinación adquiridas en el transcurso de la vida cuando el correr era un juego del que solo preocupaba ir rápido sin tener en cuenta cómo<sup>8 9</sup>.

#### **4.2.1 La carrera**

Según Miguel Vélez Blasco<sup>10</sup>, profesor en el grado de INEFC, durante la carrera interviene un 47% de la masa del cuerpo, donde brazos y piernas rotan, crean momentos de inercia y, requieren una gran fuerza muscular para desarrollar la gran variedad de movimientos de las palancas óseas que se dan durante la carrera.

De hecho, la carrera es una progresión de la deambulaci3n en la que se ven incrementada la frecuencia de apoyos y por el contrario, disminuye el tiempo de contacto del pie en el suelo<sup>10</sup>.

El cuerpo est1a sometido a fuerzas internas y externas durante las diferentes fases de la carrera; como fuerzas internas se consideran la contracci3n muscular conc3ntrica y exc3ntrica, y las fuerzas reactivas (el1sticas y/o reflejos) de m1sculos y tendones. Como fuerzas externas destacan la fuerza de reacci3n del suelo y el viento a favor, donde una velocidad de 1m/s de viento a favor puede suponer una mejora de 0,07 segundos<sup>10</sup>.

A diferencia de la deambulaci3n, un ciclo de carrera se llama zancada. Est1a establecido universalmente, seg1n convenio, que la zancada parte de el primer contacto de un pie con el suelo, por ejemplo pie derecho, hasta que el mismo pie vuelve de nuevo a esa posici3n de contacto inicial, es cuando comenzar1a la segunda zancada.

#### 4.2.2. Fases de la técnica de carrera.

La carrera se divide en 2 fases, que a su vez tienen diversas subfases. Estas dos se conocen como fase apoyo y la fase de vuelo.

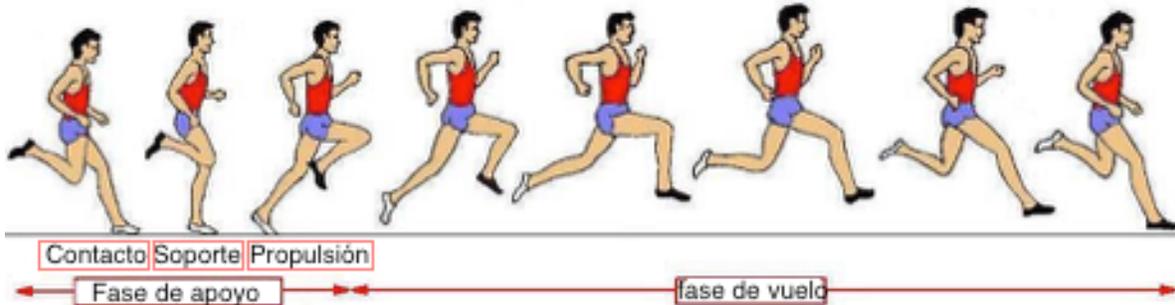


Fig. 4.1 Está representada la fase de apoyo dividida en sus 3 subfases y, la fase de vuelo. Imagen obtenida de los apuntes de Miquel Vélez Blasco.

##### - Fase de apoyo

En esta fase se realiza la toma de contacto del pie con el suelo, después recurre a un apoyo completo o semicompleto del pie (idílicamente debe ser semicompleto) y finaliza con la impulsión.

No hay un convenio para determinar en qué punto exacto empieza y acaba la subfase de apoyo total, ya que se considera una transición entre el contacto inicial (fase negativa de la carrera) y la impulsión (fase positiva de la carrera)<sup>11</sup>.

En la parte de toma de contacto, el pie va a impactar con el suelo mediante una ligera flexión plantar y con un primer apoyo a través de la zona lateral del metatarso, producido por la inversión de antepié con la que se accede a esta fase de la zancada; ipso facto contacta todo el antepié, repartiendo así la carga en una superficie mayor e incrementando la estabilidad del atleta. El ángulo de contacto del pie con la horizontal del suelo es aproximadamente  $30^\circ$ <sup>12</sup>.

La musculatura posterior de la pierna actúa excéntricamente para frenar la caída de talón. La rodilla y toda la musculatura que le concierne actúan

como esponja absorbiendo parte del impacto que recibe de la fuerza de reacción del suelo, dosificándolo y transmitiendo a las articulaciones más proximales fuerzas inferiores.

El tronco se encuentra con una ligera flexión de  $10^{\circ}$ . Flexión que debe mantenerse durante toda la carrera.

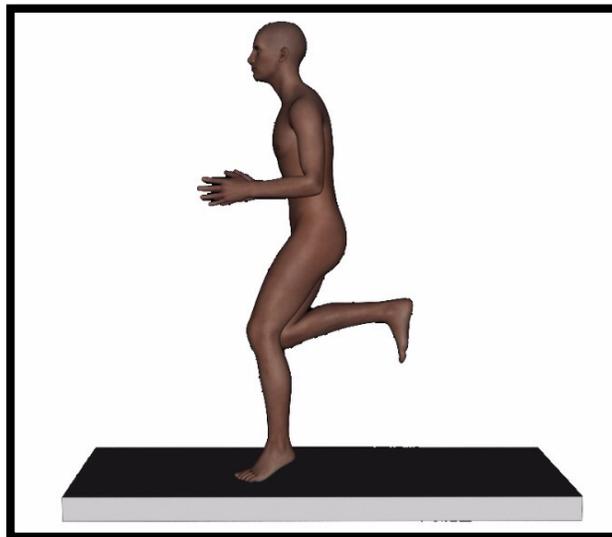


Fig. 4.2 Protitpo en posición de subfase de contacto inicial. Imagen obtenida mediante DazStudio.

En cuanto al braceo, Frank Dick<sup>15</sup> asegura que el ángulo en la articulación del codo debe ser de  $90^{\circ}$ , y pese a que Ralph Mann<sup>12</sup> asegura en su estudio que el braceo no tiene mayor relevancia, autores como Hinrichs<sup>13</sup> se decantan por la opinión que el braceo es totalmente necesario para la estabilidad y además sirve de impulso para el atleta.

Según Miquel Vélez<sup>10</sup>, la fase de amortiguación se considera la fase negativa de la carrera, ya que el centro de masas desciende y pierde velocidad, esto es producido al realizar un apoyo por delante de la articulación coxofemoral, lo que comporta que uno de los vectores de la fuerza va orientado en sentido contrario al desplazamiento.

Según Dyson<sup>11</sup> dependiendo del nivel técnico, de hipertrofia y madurez física del atleta, el talón progresará con una caída hacia el suelo, cambiando energía potencial por cinética en dirección opuesta al avance de la carrera; en este momento la tibia avanza hasta producir una ligera flexión dorsal de la articulación tibio-peroneo-astragalina; hasta este punto se consideraría la zona de apoyo 'total'.

Esta fase de apoyo total, por Miquel Vélez<sup>10</sup> es descrita como la fase de

soporte, fase en que la tibia está perpendicular y coincide con el centro de masas verticalmente; en esta fase no se ejerce ningún tipo de fuerza horizontal, por lo tanto no se aumenta la velocidad, el tipo de fuerza que se ejerce por la musculatura en este punto es de carácter excéntrico y con el fin de evitar que el centro de masas descienda. Cada vez que el centro de masas cae, el cuerpo debe ejercer una contracción concéntrica para retomar la altura idónea, condicionando así a llevar un trabajo tanto excéntrico como concéntrico simultáneamente aumentando el consumo de energía y aproximando notablemente el periodo de fatiga muscular.

Generalmente, el momento en que la tibia sobrepasa la vertical, la zona de retropié comienza a dejar de recibir carga y a elevarse progresivamente del suelo, incrementándose la presión en la zona de antepié; con esta liberación de carga empieza la fase de impulsión, que a su vez alterna con el fin de la transicional fase de contacto total<sup>10</sup>.

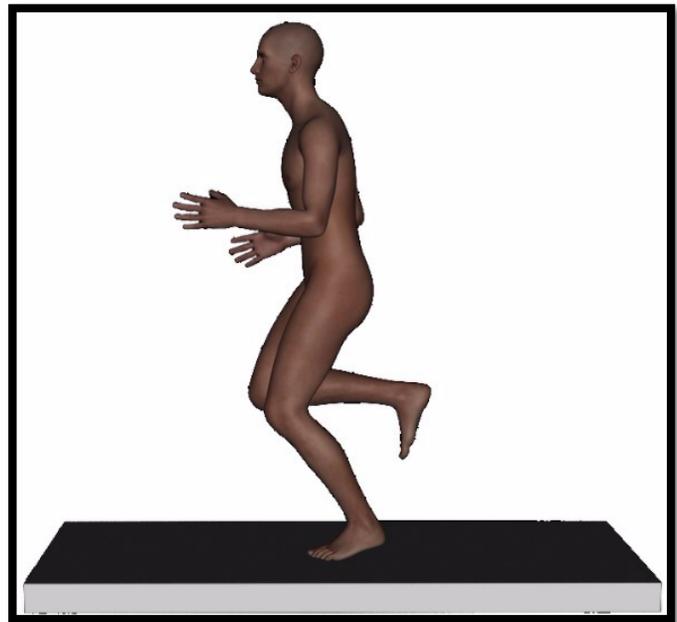


Fig. 4.3 Prototipo en subfase de impulsión, podemos observar la tibia adelantada respecto al centro de masas. Imagen obtenida mediante DazStudio

Para Campos y Gallach<sup>8</sup> la fase de impulsión se produce por la extensión del pie y la rodilla, iniciándose cuando las caderas, que vienen proyectadas por el impulso precedente, se encuentran en el punto más bajo de su trayectoria y han pasado a estar perpendiculares a la base metatarsiana del primer dedo, para terminar algo más avanzadas, con

objeto de facilitar el impulso y no hacer una parábola excesivamente alta, aprovechando más la proyección del cuerpo hacia delante.

El dinamismo de la extensión está relacionado con el ritmo y la velocidad de la carrera a través de un ángulo de impulso pie-pelvis. Se presiona con el pie como si se pretendiera echar el terreno hacia atrás cuidando su extensión hasta terminar sobre la punta de los dedos. Esta presión se inicia por la parte exterior del pie y finaliza presionando más con la interna, es decir, con la base del primer dedo <sup>10 16</sup>.

Díez García<sup>17</sup>, destaca la completa extensión de la pierna de impulsión, considerando este gesto la fase positiva y principal de la carrera. El ángulo que se produce en la impulsión, tomando como vértice la punta del pie y como hipotenusa la pierna en dirección al centro de gravedad, Díez asegura que la angulación ideal para esta fase es de 40-45°, en caso de ser abierto se realizarían saltos y de ser muy cerrado se acortaría la longitud de la zancada.

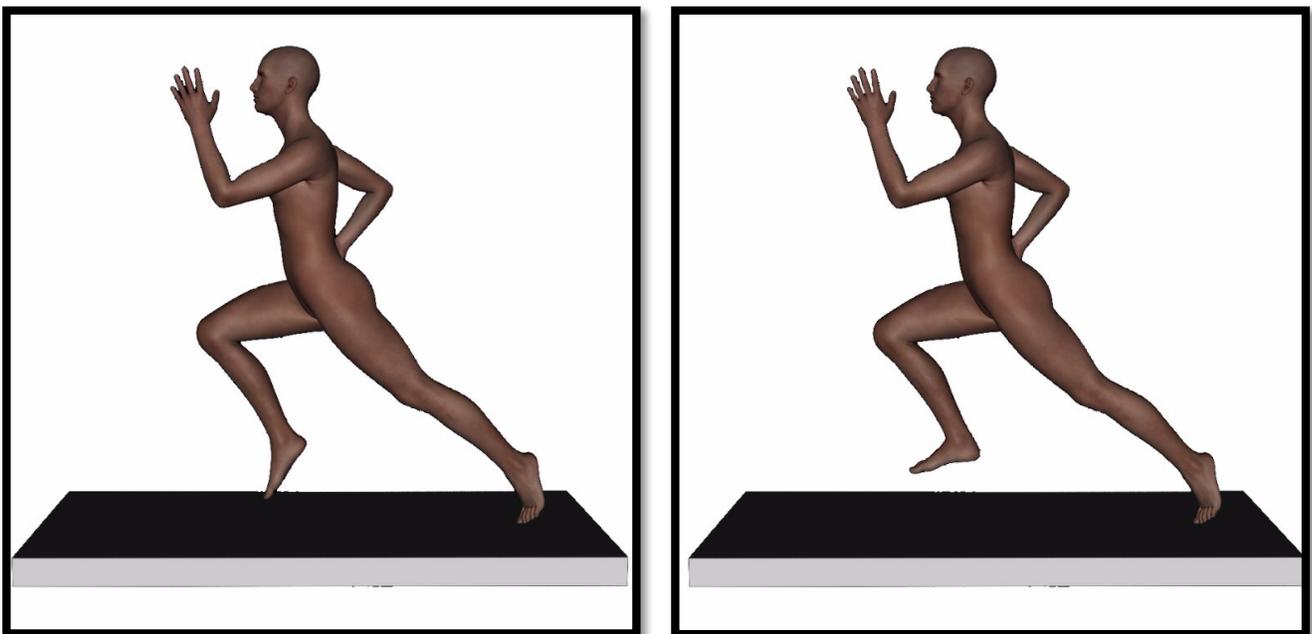


Fig. 4.4 Los prototipos de la imagen representan la posición del cuerpo en el momento de la propulsión, no obstante el de la izquierda tiene pie libre está en flexión plantar, error común en corredores que se inician. El prototipo de la derecha tiene el pie de la pierna libre en posición correcta. Imagen obtenida mediante DazStudio.

Miquel Vélez<sup>10</sup> describe la subfase de impulsión como: el momento en que las articulaciones de la pierna de apoyo realizan una extensión (pelvis, rodilla y tobillo), extendiendo la rodilla hasta el punto previo al bloqueo; se crea en este momento la máxima distancia entre piernas y apertura de brazos. Esta posición está descrita como 'tándem de carrera'. Vélez<sup>10</sup> añade que la musculatura que realiza esta función mediante contracción concéntrica: flexores plantares, tríceps sural, el cuádriceps; mediante contracción isométrica: semimembranoso, semitendinoso y bíceps femoral.

La subfase termina a través del hallux, que es el último en perder el contacto con el suelo, esta superficie de impulso es conocida como 'arco de impulso'<sup>10</sup>.

El tobillo de la pierna libre tiene una flexión plantar formando un ángulo pierna-pie de entre 95 y 120° aproximadamente<sup>18</sup>.

Antiguamente se recomendaba realizar la impulsión con el tronco en la misma línea que se encuentran pie y pierna, pero un estudio realizado por Mariano García-Verdugo<sup>16</sup> demostró que la máxima eficiencia se encuentra irguiendo el tronco, modificando así el Centro de Gravedad y haciéndolo pasar por la línea de impulsión de pie y pierna.



Fig. 4.5 Se puede observar como el tronco no sigue la línea de impulsión de pierna y pie. Imagen obtenida del artículo: 'Análisis de los 100m. lisos: velocidad, frecuencia amplitud, consideraciones técnicas'.



Fig. 4.6 Se puede observar como el tronco sigue la línea de impulsión de pierna y pie. Imagen obtenida del artículo: 'Análisis de los 100m. lisos: velocidad, frecuencia amplitud, consideraciones técnicas'.

- *Fase de vuelo*

Se llama fase de vuelo debido a que ninguna parte del cuerpo está en contacto con el suelo, es la diferencia más significativa entre correr y caminar.

En esta fase, los extensores sufren una relajación muscular según el principio de tensión relajación de Mariano García-Verdugo<sup>16</sup>.

Díez García<sup>17</sup> destaca que la parábola que forma el centro de masa del cuerpo en esta fase, está determinada por la impulsión (tándem) y la altura de la rodilla, que a su vez hace de timón. La fase de vuelo comienza cuando el centro de gravedad pasa delante de la cabeza de los metatarsianos de la pierna de impulso y termina cuando el pie de la pierna libre contacta con el suelo.

Rius<sup>6</sup> describe la fase como la transición entre el impulso y el apoyo. Se caracteriza por la acción circular del talón que ha finalizado el impulso. La rodilla se flexiona progresivamente, llevando el talón hacia el glúteo que no se despegará hasta entrada la fase de impulsión de la pierna contralateral.

Por otro lado Polischuk<sup>19</sup> afirma que una vez el pie pierde el contacto con el suelo una vez ha finalizado la subfase de impulsión, y la pierna inicia, primero por inercia y después voluntariamente, la acción de recogida. La fase de vuelo, desde el punto de vista mecánico, está sujeta a las leyes físicas del tiro parabólico, la teoría dice que en el vacío, la angulación ideal del tiro parabólico es de 45°, dado que en una pista de atletismo existe el aire como fuerza de rozamiento, la angulación idónea oscila entre los 40° y los 43°.

### - *La pierna libre*

La pierna libre corresponde al final del vuelo, en el momento en que una pierna contacta con el suelo, la que queda libre de carga pasa a hacer un trabajo de flexión tanto en cadera como en rodilla y tobillo. La flexión de cadera en esta fase, depende esencialmente del psoas ilíaco, según un estudio realizado a Asafa Powell<sup>20</sup>.

### **4.2.3 Parámetros de la carrera**

La velocidad es el resultado del producto entre Amplitud y Frecuencia. Como amplitud, en atletismo, se considera desde el punto de despegue del pie que está en fase de impulsión, hasta la toma de contacto del otro pie<sup>10</sup>.

La frecuencia es una unidad de medida que concierne a ciclos por unidad de tiempo, en el caso del atletismo son Apoyos/segundo. Se puede realizar un análisis más específico, incluso llegar a dividir el tiempo de cada paso en:

-Tiempo de contacto: Es el tiempo en que el corredor realiza la fase de contacto. En las pruebas de velocidad este tiempo oscila entre 80/110 milésimas. En las pruebas de mediofondo oscila entre 120/160 milésimas. Por último, en fondo oscila entre 180/200 milésimas.

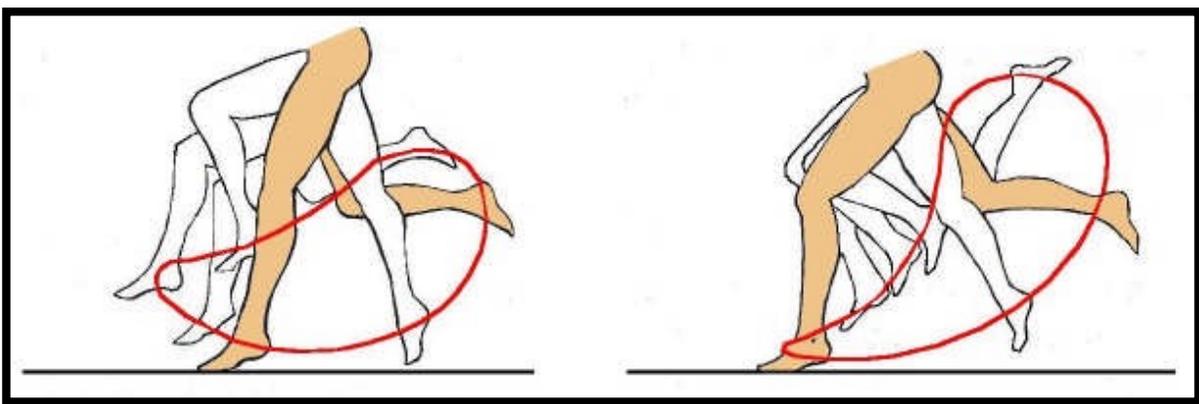
-Tiempo de vuelo: corresponde al tiempo que transcurre desde que termina la subfase de impulsión hasta el contacto inicial del otro pie. En las pruebas de velocidad este tiempo oscila entre 110/140 milésimas. En las pruebas de mediofondo oscila entre 140/150 milésimas. Y en fondo oscila entre 130/150<sup>10</sup>.

### 4.2.3 Tipos de Técnica

Existen 2 tipos de técnica de carrera, estos dos tipos son conocidos como circular y pendular<sup>6</sup>.

En la Carrera pendular, en el momento en que el pie abandona el suelo, sube moderadamente mediante una flexión de rodilla, y cuando se dispone a avanzar a la pierna de apoyo, pasando por la vertical del cuerpo, simula un chut de fútbol. Muslo y pierna realizan una acción de péndulo, que van de atrás hacia adelante. El pie contacta en el suelo cuando está yendo hacia adelante, de manera que no tracciona y ejerce una fuerza hacia atrás; el/la atleta avanza inercialmente<sup>6 10</sup>.

En la Carrera circular, tras abandonar el contacto con el suelo se dirige hacia el glúteo mediante una flexión de rodilla máxima o submáxima a la vez que se realiza una flexión de cadera trasladando el muslo hacia adelante. La rodilla consigue subir hasta la altura de la articulación coxofemoral, el pie describe un recorrido en forma de círculo con lo que le obligue a recibir el impacto contra el suelo con una trayectoria de delante hacia atrás, lo que favorece que haya un vector fuerza en dirección de la Carrera<sup>6 10</sup>.



*Fig. 4.7 en la imagen de la izquierda una zancada tipo circular, donde se puede observar que el conjunto pie/pierna avanza y en el momento en que va a contactar con el suelo hace un movimiento tipo zarpazo. En la derecha se puede observar que la zancada es de tipo pendular, contactando el pie con el suelo justo cuando está en el punto más avanzado respecto al centro de gravedad. Imagen obtenida de los apuntes de Miquel Vélez Blasco.*

### **4.3 DIFERENCIAS TÉCNICAS ENTRE FONDO Y VELOCIDAD**

Existen diferencias significativas, a nivel técnico, entre la modalidad de velocidad y de fondo.

Los cambios que se dan en los parámetros de la carrera están producidos esencialmente por cambios en la biomecánica de la misma.

Vélez<sup>10</sup> destaca que entre corredores de velocidad, el patrón técnico es muy similar; a diferencia del de los corredores de fondo, a estos últimos les caracteriza como corredores de estilo. El estilo de cada corredor en las pruebas de fondo y medio fondo dependen de factores sociales, antropométricos y genéticos.

Lo que puede ser correcto como patrón técnico en un corredor de fondo, puede ser contraproducente para una carrera de velocidad.

El velocista busca eficiencia mecánica. El fondista tiene como prioridad la eficiencia energética<sup>10</sup>.

Eficacia: mayor velocidad de carrera al dirigir las fuerzas de todas las cadenas cinéticas en la dirección y sentido correcto<sup>10</sup>.

Eficiencia: Para una misma aplicación de fuerzas, un gasto energético menor, evitando movimientos o contracciones musculares superfluas, que además de provocar un gasto mayor de energía, supone una disminución de la velocidad<sup>10</sup>.

La primera parte de la carrera de velocidad es exclusivamente de aceleración, tratando de llegar lo más eficiente y rápidamente posible al máximo de velocidad, una vez se alcanza el punto de máxima velocidad es cuestión de tiempo que comience la caída progresiva de velocidad más o menos acentuada, producida por la falta de oxígeno en sangre, la producción de ácido láctico, la fatiga muscular<sup>10</sup>.

En la carrera de medio fondo y fondo, el objetivo principal de la primera fase de carrera es acelerar hasta alcanzar una velocidad crucero, que se mantendrá durante aproximadamente toda la carrera, con sus variaciones condicionadas por la misma carrera en las que habrá subidas y bajadas de ritmo. En este caso, el punto de aceleración máxima se produce al final de la carrera, cuando se requiere de un sprint final para tratar de alcanzar la mejor posición y/o marca<sup>10</sup>.

#### **4.3.1 Diferencias biomecánicas entre las carreras de fondo y velocidad.**

Velocidad:

- Mayor extensión de la articulación del tobillo.
- Menor tiempo de apoyo.
- Mayor elevación de rodillas.
- Mayor amplitud de zancada.
- Mayor recorrido del centro de masas durante el apoyo.
- Inclinación del tronco hasta 65°.
- Mayor tensión muscular.
- Mayor amplitud del recorrido de brazos.
- Menor movimiento de hombro en el plano transversal.

Fondo:

- Mayor tiempo de apoyo del pie en el suelo.
- En pruebas de largo recorrido es habitual ver corredores que talonean (contacto inicial de talón).
- En dichas pruebas, también es habitual ver una caída de talón en corredores de antepié.
- Menor elevación de rodillas.
- Menor amplitud gestual, tándem menos marcado.

- Tronco vertical.
- Recorrido corto de brazos.
- Predominio lateral de hombros, el movimiento de las piernas se compensa con el movimiento de hombros en lugar de compensar a través del movimiento de brazos.
- Menos tensión muscular.
- Descenso más pronunciado del centro de masas.
- Angulación más cerrada en el apoyo, se realiza más bajo.

#### **4.3.2 Errores comunes al realizar la técnica de carrera según autores:**

Elena Alonso<sup>21</sup> nombra los siguientes errores:

- Movimiento lateral de los brazos
- Colocar el tronco con excesiva angulación hacia delante o hacia atrás.
- Rigidez en el cuello.
- Flexionar excesivamente la pierna durante la fase de apoyo.

Enrique Rodríguez<sup>22</sup> señala:

- Baja cadencia de zancadas por minuto.
- Taloneo: el apoyo del pie se realiza iniciándolo con el talón.
- Flexibilidad limitada: condiciona al rango de movimiento, además de favorecer la aparición de lesiones.

#### 4.4 CALZADO DEPORTIVO

El calzado deportivo debe cumplir con unas características con el fin de cubrir las funciones esenciales que no son otras que<sup>23 24</sup>:

- Protección: El principal objetivo es aislar al pie de las condiciones que le rodean, además acostumbra a tener función amortiguadora.
- Facilitación: El calzado debe favorecer la realización de movimiento de las diferentes articulaciones del pie y tobillo sin producir limitaciones funcionales que puedan tener algún tipo de repercusión en la actividad a realizar. También debe ayudar en la interacción entre pie y superficie de contacto, dándole grip y confort.
- Corrección de problemas: En las diferentes partes que conforman el calzado, los fabricantes incorporan materiales con diferentes densidades con el fin de buscar la estabilización del pie en función a las diferentes problemáticas que desarrolla el cuerpo provocadas por la hiperpronación o una supinación excesiva.

##### *Características mecánicas del calzado:*

El calzado debe adecuarse a las necesidades del deportista con el fin de adaptarse tanto al medio en el que se utiliza (asfalto, pista, tierra), como a las necesidades biomecánicas del pie. Las características que debe tener son<sup>23 24</sup>:

- Amortiguación, con el fin de disminuir las fuerzas de impacto.
- Flexibilidad, las diferentes articulaciones del pie realizan movimientos de amplio rango durante la práctica; el calzado debe favorecer y permitir que estos movimientos se realicen de la forma más cómoda y eficiente.
- Peso, es una característica fundamental para no arrastrar un gran lastre en cada apoyo que perjudicaría a la eficiencia energética.

- Tracción/agarre, es primordial de cara a la fase de impulsión, esencialmente durante la fase de aceleración ya que el agarre evita el deslizamiento y favorece que las fuerzas vayan en el sentido de avance.
- Sujeción: el calzado debe ajustarse bien al pie, sin oprimirlo, adaptándose a los ejes de movimiento y a los posibles cambios que se produzcan a nivel morfológico producido por impacto (expansión del pie), o tensiones musculares que puedan provocar rozaduras indeseables.. Para favorecer esta característica, suelen poseer sistemas de encordado o velcros.



*Fig 4.8 Zapatilla de clavos de velocista. Se utiliza exclusivamente en tartán. Se puede observar la altura del retropié cuando el antepié está apoyado.*



*Fig 4.9 Zapatilla de clavos de fondista. Se puede observar una gran diferencia respecto a la altura del retropié que ofrece la zapatilla de la fig 4.8*



*Fig 4.10 Zapatilla running. Contacta retropié, mediopié y favorece el rodamiento a través del antepié*

## **5. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **Objetivo principal:**

- Comparar el tiempo de contacto del pie en el suelo durante la carrera, entre fondistas y velocistas.

### **Objetivos secundarios:**

- Analizar la superficie de contacto de antepié, mediopié y retropié de fondistas y velocistas durante la carrera.
- Valorar y comparar el ángulo que forman pierna y pie en el contacto inicial durante la carrera, en atletas fondistas y velocistas.

### **Hipótesis:**

- Existen grandes diferencias entre la pisada de atletas fondistas y velocistas durante la carrera.

## **6. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **6.1 RECOGIDA DE INFORMACIÓN**

Para la realización del marco teórico se realizó una búsqueda bibliográfica mediante las diferentes bases de datos siguientes:

- PubMed
- Scopus
- Enfispo

También se realizó una examinación a través de buscadores secundarios como:

- GoogleScholar

Las palabras utilizadas fueron:

Running, barefoot, athletics, track and field, pressure platform, footprint, biomechanics, shoes.

Además de artículos de base de datos, se realizó una búsqueda exhaustiva en bibliografía publicada en libros que se pueden obtener a través del CRAI UB, en la biblioteca del Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC).

### **6.2 MUESTRAS**

En este proyecto de estudio, para la realización de la parte experimental se seleccionó una muestra de atletas de diferentes clubes catalanes (Pratenc A.A., FCB, C.A. Mollet, L'hospitalet), en el cual participaron un total de 14 corredores.

El periodo de la toma de datos duró aproximadamente 1 mes; de entre los participantes, 6 son corredores de velocidad y los otros 6 de fondo. De las 12 personas válidas que participaron en el proyecto, 3 eran mujeres y los 9 restantes hombres; con edades comprendidas entre los 17 y los 41 años.

De las 14 muestras recogidas, 2 se excluyeron por correr únicamente con el calzado running y negarse a hacerlo sin calzar.

Los criterios de inclusión de los atletas eran los siguientes:

- Atletas que practiquen atletismo a nivel competición.
- Haber participado en campeonatos de Cataluña o de mayor relevancia.
- Tener los patrones técnicos de su disciplina bien interiorizados.
- Aceptar participar en el estudio corriendo descalzos sobre tartán.
- Mostrar ausencia de patologías.

Los criterios de exclusión de los atletas eran los siguientes:

- Atletas no federados.
- Negarse a correr descalzo sobre tartán.
- No dominar los criterios técnicos básicos de la técnica de carrera.

### **6.3 LUGAR DE RECOGIDA DE MUESTRAS**

La recogida de muestras se realizó en 3 pistas de atletismo diferentes: En el CEM Singer del Prat de Llobregat, en la Mar Bella de Barcelona y en el centro de alto rendimiento Joaquim Blume.

## 6.4 MATERIAL

- Para la grabación se utilizó un teléfono móvil iPhone 5s con la opción grabación a cámara lenta (120fps).
- El programa DAZ Studio 4.7 se utilizó para la realización del modelo de corredor, ya que representa una simulación real del cuerpo humano y permite una total maleabilidad del prototipo.



Fig. 6.1 Screenshot del programa DAZ Studio 4.7 durante la manipulación del prototipo.

- La recogida de pisadas se realizó mediante la plataforma de presiones RS Scan®.  
Las especificaciones de la plataforma de presiones son las siguientes:  
Las dimensiones de la plataforma son 57,8cm de largo, 41,8 de ancho y 1,2cm de alto; el peso de la plataforma es de 4,2kg; contiene un total de 4096 sensores resistivos con un captación de 500 imágenes por segundo (500Hz) y un rango de presión que oscila entre 1-127 N/cm<sup>2</sup> <sup>25</sup>.
- El software de la plataforma es el programa: Footscan 7USB

- El software que se utilizó para el cálculo de ángulos de las grabaciones a cámara lenta fue Kinovea 0.8.15.
- Para los marcadores de las piernas se utilizó neurotape, colocándolo en cabeza de 5º metatarsiano, maleolo peroneal con su proyección al suelo y en cabeza de peroné.
- En el suelo se colocó un marcador blanco de XX cm para tener una referencia métrica para calcular la velocidad del atleta.

## **6.5 CRITERIOS PARA LA RECOGIDA DE MUESTRAS**

Inicialmente se determinaron los criterios que se iban a seguir para la realización del proyecto.

El atleta debe correr 30 metros bajo la siguiente consigna:

- Atletas de velocidad deben correr a velocidad máxima.
- Atletas de fondo debe correr a velocidad crucero a la cual correrían una prueba de fondo.

Se establecen 30 metros, ya que es una distancia a la cual los velocistas alcanzan una velocidad cercana a la máxima.

Todos los atletas corren bajo las mismas condiciones; en pista de atletismo, realizando previamente una prueba con calzado, para tratar de acertar el paso en la plataforma. Se puede modificar la carrera hasta un máximo de  $\pm 1,25$  metros, es decir correr entre 28,75m y 31,25m de carrera con el fin de ajustar la pisada encima de la plataforma. Se determina  $\pm 1,25$ m debido a que una zancada eficiente en velocistas oscila entre los 2 metros y los 2,5 metros.

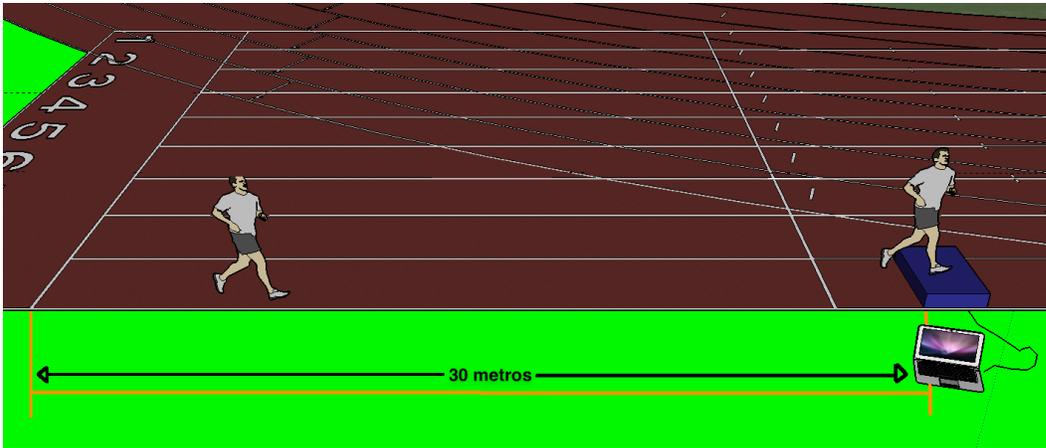


Fig. 6.2 Imagen realizada mediante el programa Sketchup. Representa la situación que se dio en la pista en el momento de la recogida de muestras. El cajón azul representa la plataforma, conectada al ordenador.

Una vez se consigue determinar el punto de salida del atleta, se le incorporan unos marcadores en cabeza de peroné, quinto radio, maléolo peroneal y su proyección al suelo, mediante esparadrapo. A todos los atletas se le realizará una grabación a cámara lenta (120fps), y estos marcadores se usarán para poder analizar en kinovea el ángulo del pie en el momento previo al contacto con el suelo, o en cualquier momento del apoyo (fig 6.2).

La grabación se realizó en el plano sagital perfil derecho, por lo tanto todas las muestras que tendremos serán de pies derechos.

## 6.6 MÉTODOS

### Grabación

La grabación se realizó en la pista de atletismo, con la cámara colocada a 2 metros del lateral más cercano de la plataforma sobre un trípode (fig 6.3)

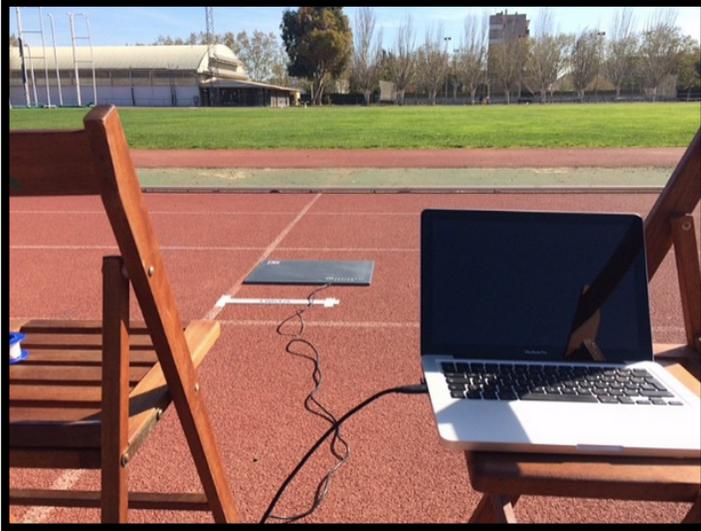


Fig. 6.3 Imagen tomada en el momento de la recogida de muestras.

## **FootScan 7USB**

El software asociado a la plataforma es muy intuitivo de usar.

Realicé los siguientes pasos:

- 1- Tras abrir el programa, pulsar F2 para abrir la base de datos.
- 2- Clicar el botón Añadir paciente y colocar nombre, apellidos y fecha de nacimiento, además exige agregar el peso del paciente y el número de calzado.
- 4- Una vez está el paciente incluido en la base de datos, clicamos sobre él y después en Dinámica.
- 5- Para poner en marcha la toma de presiones debemos pulsar F2 o el botón del muñeco sombreado andando señalado por la flecha Rosa.
- 6- Damos la salida al corredor y en cuanto la plataforma note algún tipo de contacto realizará la toma de presiones.

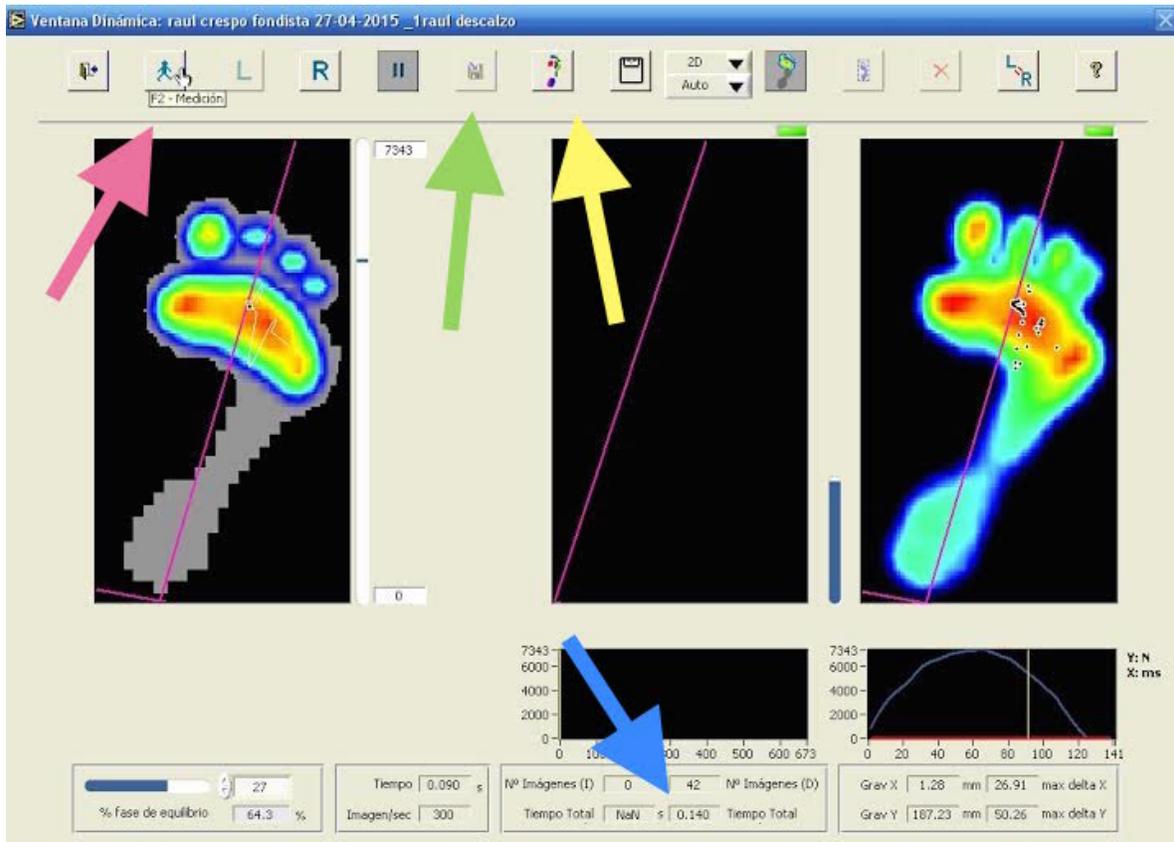


Fig. 6.4 Pantalla principal de muestras en dinámica del programa Footscan 7USB.

7- Para guardar la muestra pulsar el diskette señalado por la flecha verde (fig 6.4), o pulsando F7 en el teclado.

8- Para pasar a visualizar los datos captados por la plataforma de presiones debemos pulsar F8 o clicar en el icono señalado por la flecha amarilla (fig. 6.4).

9- En el siguiente menú podemos visitar diferentes pestañas, donde podremos ver: Fuerza ejercida por las diferentes partes del pie. Presiones del pie durante el paso. Superficie de contacto en  $\text{cm}^2$ . Además de otras opciones. Para este estudio tendremos en cuenta las siguientes: tiempo de contacto, área de presión (fig. 6.5).

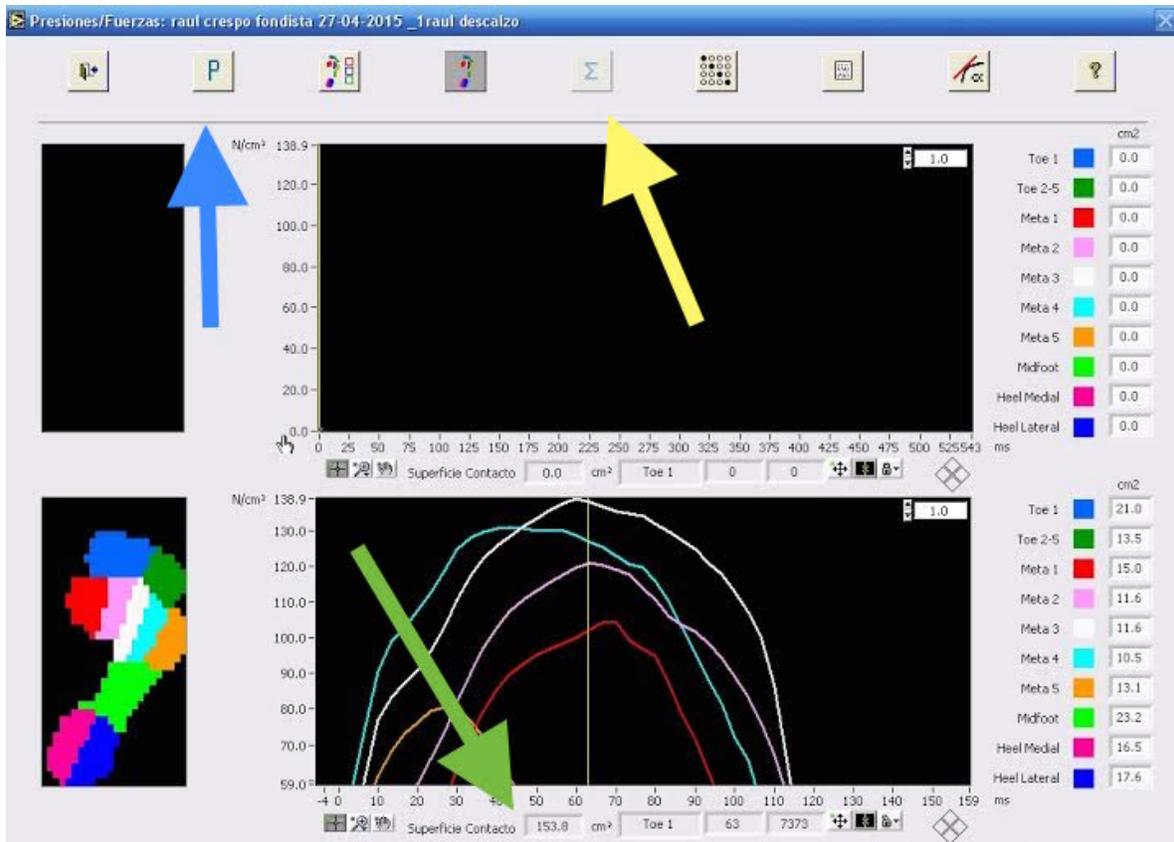


Fig. 6.5 Imagen correspondiente al programa FootScan 7USB que nos muestra las diferentes opciones dentro del apartado de presiones.

## Kinovea

Para la realización del análisis de ángulos en el momento previo al contacto inicial, se utilizó el programa Kinovea 0.8.15.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1- Abrir el archivo a analizar. Archivo / Abrir archivo de vídeo / Seleccionar el archivo.

2- Una vez el programa ha procesado el vídeo, se debe indicar a la velocidad que fue grabado. Movimiento / Especificar la velocidad de origen. En mi caso se realizó una grabación a 120fps (fig. 6.6).

3- Para analizar el ángulo, el primer paso es seleccionar el fotograma previo al contacto del pie con el suelo, mediante el botón que indica la flecha Marrón (fig. 6.7).

4- Una vez tenemos el fotograma elegido, pulsamos el botón Ángulo, que está indicado con la flecha azul (Fig. 6.7).

5- Solo queda marcar los puntos del ángulo, primero marcamos el vértice del ángulo pierna/pie, en este caso está indicado con flecha verde (fig. 6.7) y, acto seguido arrastramos con el cursor los dos puntos que corresponderán a cabeza de 5º metatarsiano y cabeza de peroné.

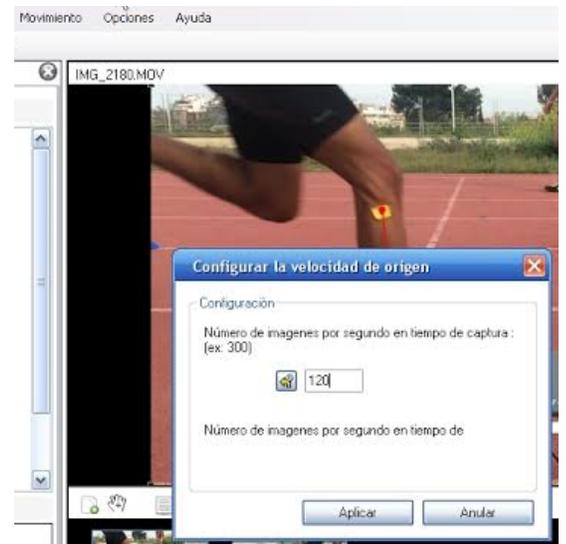


Fig. 6.6 Imagen correspondiente a la calibración del programa kinovea.

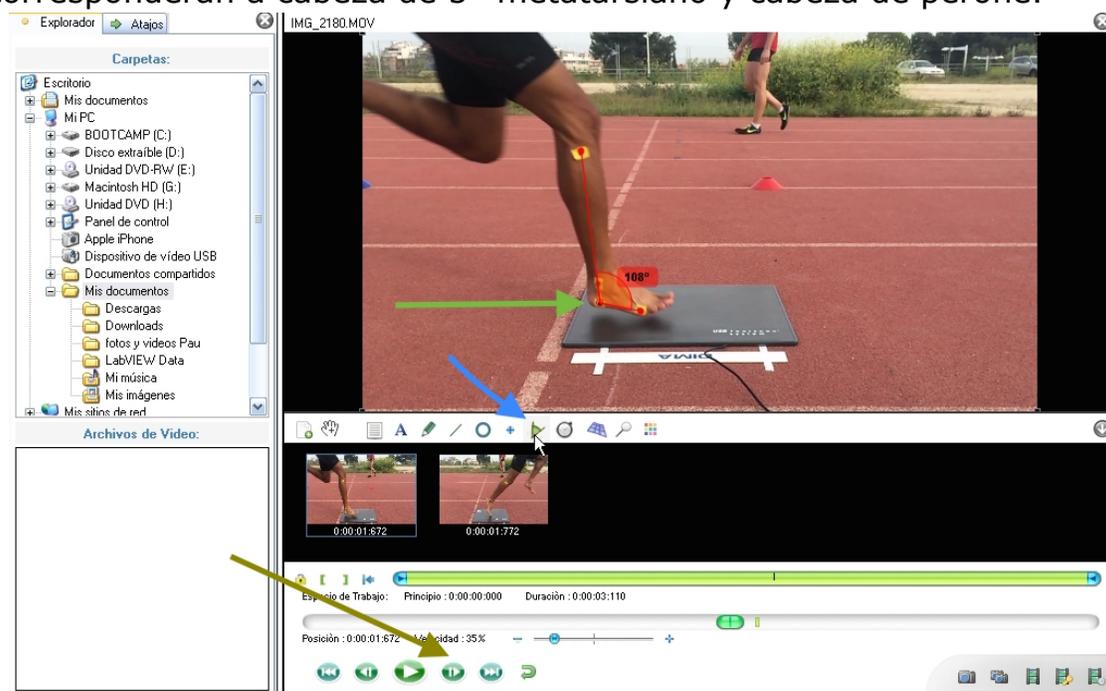


Fig. 6.7 Pantalla principal del programa kinovea.

## 7. RESULTADOS

Se recogieron todos los datos y se ordenaron en una tabla según velocistas y fondistas.

Tabla 1 Datos correspondientes a las muestras..

	Veloc 1	Veloc 2	Veloc 3	Veloc 4	Veloc 5	Veloc 6
t contacto	0,103	0,103	0,113	0,093	0,123	0,12
Sup. Contacto	191,2	185,2	176,2	180,3	187,1	168,8
Ángulo pie/pierna	113	108	114	107	120	112
Peso	69	60	72	66	65	53
Número pie	9	9	7	7,5	9	5,5
Edad	21	17	28	22	29	26

	Fond 1	Fond 2	Fond 3	Fond 4	Fond 5	Fond 6
t contacto	0,143	0,153	0,12	0,14	0,187	0,147
Sup. Contacto	169,9	200,6	188,2	153,8	212	194,2
Ángulo pie/pierna	108	108	113	126	106	115
Peso	60	70	70	66	72	65
Número pie	7,5	9,5	8,5	8	10,5	8,5
Edad	31	41	21	40	40	35

Abreviatura: t -> tiempo  
 sup -> superficie  
 Veloc -> Velocista  
 Fond -> Fondista

Unidades de medida

tiempo: segundos  
 superficie: cm<sup>2</sup>  
 ángulo: grados  
 peso: kg  
 número pie: tallaje UK  
 Edad: años

Los datos obtenidos mediante la plataforma de presiones y el programa de análisis de vídeo Kinovea, se volcaron al paquete estadístico StatCrunch.

Las tablas 2, 5, 6, 7 y 9 corresponden al resultado de la opción de Summary Stats. Nos muestra las siguientes variables: media de las muestras, varianza, la desviación estándar, el error estándar, la mediana, el rango y, los valores mínimos y máximos.

Parámetro	n	Media	Varianza	Desviación estándar	Error estándar	Mediana	Rango	Min	Max
<b>Tiempo Contacto Fondistas</b>	6	0.148	0.00048	0.022	0.0089	0.145	0.067	0.12	0.187
<b>Tiempo Contacto Velocistas</b>	6	0.109	0.00013	0.011	0.0046	0.108	0.03	0.093	0.123

Tabla 2 Tiempo de contacto en segundos en fondistas y velocistas.

Diferencia	Diferencia de la muestra	Error estándar	DF	T-Stat	P-valor
$\mu_1 - \mu_2$	0.039	0.010	7.542	3.865	0.0053

Tabla 3 Test de hipótesis

$\mu_1$  : Media de tiempo de contacto Fondistas  
 $\mu_2$  : Media de tiempo de contacto Velocistas  
 $\mu_1 - \mu_2$  : Diferencia entre 2 medias.  
 $H_0$  :  $\mu_1 - \mu_2 = 0$ ; El tiempo de contacto es igual entre fondistas y velocistas  
 $H_A$  :  $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ ; El tiempo de contacto es diferente entre fondistas y velocistas.  
 (without pooled variances)

La cuestión planteada en el estudio hace referencia a que el tiempo de contacto del pie en el suelo en fondistas es mayor al tiempo de contacto en velocistas.

En el test, la hipótesis que se pone a prueba es que el tiempo es igual en ambas poblaciones (fondistas y velocistas). Se rechaza esta hipótesis con una diferencia de 0.039 segundos mayor en el tiempo de apoyo de los fondistas respecto al de los velocistas, con un error estándar de 0.01.

Con los valores presentados en la tabla, se rechaza la hipótesis nula, y podemos deducir que la diferencia es estadísticamente significativa, dado que el P-valor corresponde a un 0.0053.

Diferencia	Diferencia de la muestra	Error estándar	DF	L. Limit	U. Limit
$\mu_1 - \mu_2$	0.039	0.01	7.54	0.015	0.062

Tabla 4 Intervalo de confianza del 95%

$\mu_1$  : Media de tiempo de contacto Fondistas  
 $\mu_2$  : Media de tiempo de contacto Velocistas  
 $\mu_1 - \mu_2$  : Diferencias entre las 2 medias.  
(without pooled variances)

Estableciendo un intervalo de confianza del 95%, la diferencia promedio del tiempo de contacto entre fondistas y velocistas es de 0.015 y 0.062 segundos.

Parámetro	n	Media	Varianza	Desviación estándar	Error estándar	Mediana	Rango	Min	Max
Superficie de contacto retropié fondistas	6	19.92	3.82	1.95	0.8	20.5	5.8	16.4	22.2
Superficie de contacto retropié velocistas	6	19.83	22.39	4.73	1.93	21.6	12.4	10.7	23.1

Tabla 5 Superficie de contacto de retropié en fondistas y velocistas en %, respecto al apoyo completo.

Parámetro	n	Media	Varianza	Desviación estándar	Error estándar	Mediana	Rango	Min	Max
Superficie de contacto mediopié fondistas	6	24.82	10	3.16	1.29	24.95	9	19.6	28.6
Superficie de contacto mediopié velocistas	6	24.28	43.01	6.56	2.68	26.75	15.9	14.4	30.3

Tabla 6 Superficie de contacto de mediopié en fondistas y velocistas en %, sobre el apoyo completo.

Parámetro	n	Media	Varianza	Desviación estándar	Error estándar	Mediana	Rango	Min	Max
Superficie de contacto antepié fondistas	6	55.25	14.77	3.84	1.57	54.55	9	50.8	59.8
Superficie de contacto antepié velocistas	6	55.9	27.63	5.26	2.15	55.5	12.6	50	62.6

Tabla 7 Superficie de contacto de antepié en fondistas y velocistas en %, respecto al apoyo completo

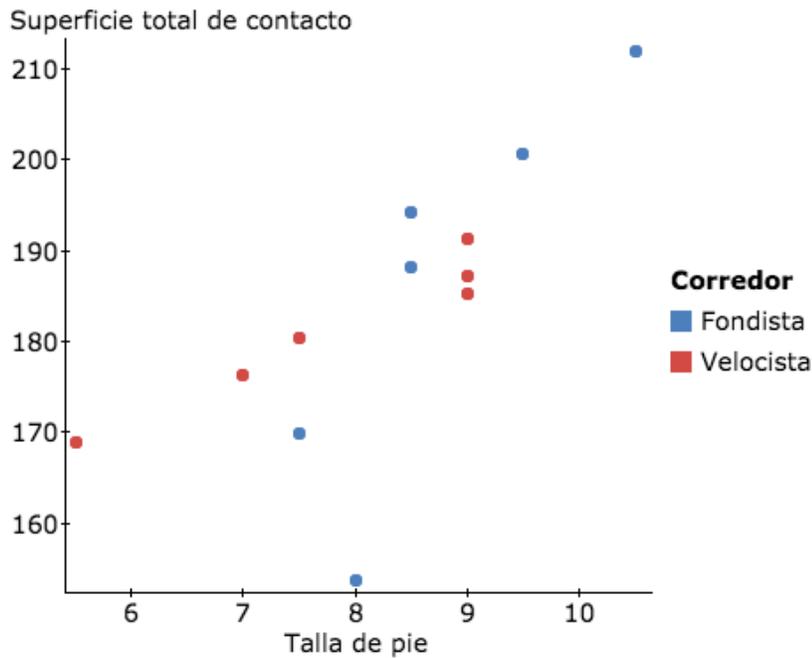


Tabla 8 Diagrama de puntos que relaciona superficie de contacto en  $\text{cm}^2$  y tallaje de pie.

El diagrama de puntos permite ver la dispersión o variabilidad de los datos, según la distribución; en el caso de la Tabla 8, podemos deducir que hay una relación directa entre ambas características; a mayor talla de pie, mayor superficie de contacto.

Parámetros	n	Mean	Varianza	Desviación estándar	Error estándar	Mediana	Rango	Min	Max
ángulo pierna/pie Fondistas	6	111.7	76.3	8.73	3.57	110.5	26	100	126
ángulo pierna/pie Velocistas	6	111.17	28.17	5.31	2.17	110	14	106	120

Tabla 9 Ángulo de incidencia de la articulación del tobillo en el momento de contacto inicial durante la carrera.

## 8. DISCUSIÓN

No existe gran controversia entre los diferentes autores a la hora de describir la técnica de carrera.

Existe desactualización teórica en cuanto al patrón técnico, ya que gran parte de la información referente al análisis de la técnica de carrera se encuentra en libros de hace más de 30 años, en los que se daba una perspectiva general, analizando posiciones y ángulos orientativos, pocas veces desde un punto de vista biomecánico específico contrastado. Esto puede deberse a que no existen dos cuerpos iguales y establecer un patrón técnico estandarizable a todos los atletas es prácticamente imposible; así pues, el mayor condicionante para no que no se haya desarrollado una base técnica a nivel biomecánico extrapolable a todos los atletas, es por el factor antropométrico<sup>26 27 28</sup>.

Si ponemos como ejemplo a dos corredores de la misma altura, con el centro de masas 10 centímetros más alto un sujeto respecto al otro y, además existe una diferencia en la flexibilidad en isquiosurales entre ambos sujetos, y una disimetría de extremidades inferiores, la biomecánica será totalmente diferente y cada uno adoptará un patrón adaptado a sus necesidades antropométricas.

Es paradójico que en pleno apogeo del running se considere que la bibliografía se encuentre desactualizada, no ocurre así en todos los aspectos. Actualmente se realizan muchísimos estudios relacionados con los factores biomecánicos del running, no obstante suelen ir dirigidos a las lesiones musculares asociadas al calzado, potencia muscular en extremidad inferior, también dirigidas a comparativas entre las diferentes

modas que aparecen, por ejemplo, correr con calzado minimalista o maximalista.

Los resultados de este estudio no son extrapolables a la sociedad, debido a que la muestra es de carácter reducido, por lo tanto corresponden a las muestras estudiadas y no a la población fondista y velocista. Ese es uno de los factores a tener en cuenta en futuros estudios para hacer válidos los resultados poblacionales.

Además, pese a que el programa Kinovea no está reconocido como material apto para realizar estudios válidos, se utilizó con el fin de poder valorar los ángulos de incidencias.

Otro de los factores a tener en cuenta y que actúan como grandes condicionantes es la plataforma de presiones, al tener 1,2cm de altura implica una gran alteración en la toma de muestras, tanto a nivel físico como psíquico. El hecho de correr descalzo y sobre un terreno abrasivo como es el tartán modifica la biomecánica de carrera.

Y por último, el calzado<sup>24</sup>; velocistas y fondistas utilizan diferentes calzados al realizar sus correspondientes pruebas, por lo tanto sería conveniente utilizar algún sistema que permita la recogida de muestras mientras utilizan el calzado específico de su especialidad, ya que la plataforma de presiones podía utilizarse con calzado running, pero no con zapatillas de clavos que son las que se utilizan sobre tartán en pista de atletismo.

No obstante, los resultados obtenidos son válidos para las condiciones en que se tomaron en este estudio piloto.

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos en el presente proyecto de estudio podemos deducir lo siguiente:

## Tiempo de contacto

En el tiempo de contacto del pie en el suelo durante la carrera, para los 6 fondistas analizados fue de  $0,148 \pm 0,022s$  y para los velocistas de  $0,109 \pm 0,011s$ , deduciendo así que existen grandes diferencias en el tiempo de contacto. Cavanagh<sup>12</sup> en un estudio realizado a atletas de larga distancia establece que el tiempo de contacto de la pisada oscila entre  $0,15s$  y  $0,20s$ , estando la media de los fondistas del presente estudio inapreciablemente por debajo del límite bajo dictado por Cavanagh. Esto puede deberse a que 5 de los 6 atletas fondistas a los que se le realizó la recogida de muestras poseía una marca considerada de alto rendimiento, por lo que su velocidad crucero era bastante elevada; a mayor velocidad de carrera, menor tiempo de contacto<sup>26</sup>.

En un estudio realizado por Ferro<sup>26</sup>, determina que el tiempo de contacto corriendo a una velocidad de  $8m/s$  es de  $0,128s$ . Este tiempo estaría por encima de la media de las muestras obtenidas en el presente proyecto ( $0,109s$ ), por lo que podríamos deducir que los atletas corrían a velocidades superiores de  $8m/s$ .

Además de la media obtenida referente a los dos grupos de 6 muestras, destaca la diferencia entre el tiempo de contacto del atleta más rápido,  $0,093s$ , por debajo de 1 décima de segundo en el tiempo en que su pie contactaba con el fondista menos veloz, el cual doblaba el tiempo de contacto con una marca de  $0,187s$ , aproximándose a las 2 décimas de segundo.

En este caso, únicamente se han podido comparar los datos obtenidos con referencia al ángulo del tobillo en el momento del contacto inicial del presente estudio piloto con un libro de la bibliografía (Ferro<sup>26</sup>), el motivo es que en el resto de estudios descritos en artículos y libros encontrados la ilustración gráfica hacía referencia a atletas que taloneaban, lo que

indica en términos generales que existe una carencia de patrón técnico, y este factor altera muchísimo los resultados pasando de una posición de flexión dorsal en atletas que talonean, a una flexión plantar en atletas que apoyan de antepié.

El total de la muestra de este proyecto corresponde a atletas que iniciaban el contacto entre pie y suelo a través de 4ª y 5ª cabeza metatarsal; este tipo de contacto es el que Hay<sup>29</sup> describe como modelo técnico correcto.

Por lo tanto se corresponde intuitivamente con el modelo estudiado por Ferro (atletas estudiados en pista de atletismo a velocidades de 5.5m/s, 6.5m/s, 7.5m/s y 8m/s), además aclara que no se pueden establecer unas reglas fijas ya que podemos encontrarnos, excepcionalmente, algún caso de velocista que talonee.

Ferro<sup>26</sup> y Vélez<sup>10</sup> destacan que de las mayores diferencias que hay entre la carrera del velocista y el fondista reside en que los velocistas deben realizar siempre la técnica de carrera circular, debido a que al posicionar el pie justo debajo del centro de gravedad ejerciendo un movimiento de zarpazo, se evita que haya pérdidas producidas por la componente de fuerza de reacción del suelo (FRS) en sentido opuesto al de avance, toda la FRS será para su componente vertical.

### **Superficie de contacto**

En el caso de la superficie de contacto, el programa FootScan 7USB divide la pisada en diferentes partes: retropié (RP), mediopié(MP) y antepié(AP); además da la opción de visualizarlo en unidad de superficie (cm<sup>2</sup>) o porcentaje respecto al total de superficie.

Pese a que esté nombrado según la localización de las zonas en el pie de proximal a distal, en todas las muestras el contacto inicial ocurría en AP

con una progresión hacia MP y apoyando totalmente el RP en casi todos los casos.

Cabe destacar que son muy similares en cuanto a porcentaje de apoyo las medias estudiadas como muestra la tabla 5.

El apoyo de RP en fondistas es del  $19.92 \pm 1.95\%$  frente al  $19.83 \pm 4.73\%$  en velocistas.

Lo interesante de esta parte es que el valor mínimo que se observa en velocistas es de 10.7%, implica que la mayor parte de superficie del apoyo corresponde a MP y AP, por lo que denota una buena biomecánica de carrera asumiendo poca pérdida de energía cinética debido a una buena posición del pie respecto al centro de gravedad. Esto puede estar provocado por un eficiente desarrollo de la musculatura posterior, que excéntricamente previene la caída de talón.

El apoyo de MP en fondistas es de  $24.82 \pm 3.16\%$  y en el caso de los velocistas  $24.28 \pm 6.56\%$ , ambos muy similares, de igual forma que ocurre con el apoyo de AP, que en fondistas es de  $55.25 \pm 3.84\%$  frente al de velocistas que es de  $55.9\% \pm 5.26\%$ .

Los resultados obtenidos en este proyecto de estudio permiten poner en duda diversos artículos de la revisión bibliográfica, ya que todos los corredores realizaban un contacto inicial de antepié y en dichos estudios<sup>30 31 32</sup> afirman que al correr descalzo el pie contacta con el suelo de una forma más plana que al hacerlo calzados, provocando una flexión plantar derivando en un mayor apoyo de AP; dando por hecho que el contacto inicial se realiza de talón.

Por el contrario, Goss y Gross<sup>33</sup> aseguran que un contacto inicial de AP previene lesiones.

## **Superficie de contacto en relación al número de pie**

El diagrama de puntos correspondiente a la tabla 8 expresa fielmente la relación proporcional que existe entre la superficie de contacto y el tallaje del pie. Cabe destacar la única anomalía que se observa en la proporcionalidad de ambas variables: en velocistas existen hasta 3 atletas con el mismo número de pie pero con  $10\text{cm}^2$  de diferencia entre ellos; la explicación lógica reside en que el atleta que menos superficie tiene de los 3, sufre una caída más leve de talón. De igual forma ocurre con el fondista con número de pie 8, que tiene  $15\text{cm}^2$  de superficie de contacto menos que su homólogo de tallaje 7,5.

## **Ángulo pierna/pie en el momento de contacto inicial**

La media del ángulo que forma la articulación de tobillo en el contacto inicial es de  $111.7 \pm 8.73^\circ$  en fondistas y  $111.17 \pm 5.31^\circ$  en velocistas, por lo tanto se puede asegurar que no hay diferencias significativas en dichas muestras.

Cabría destacar que el rango en fondistas es de  $26^\circ$  y en velocistas de  $14^\circ$ , pudiendo deducir que estos últimos oscilan en los mismos valores, dado que la biomecánica de carrera es similar, a diferencia de los fondistas que son corredores de estilo como afirmaba Vélez<sup>10</sup>.

Ferro<sup>26</sup>, en su estudio realizado sobre pista de tartán obtuvo como resultado: para velocistas de 8m/s un ángulo de flexión plantar de tobillo de  $107.5 \pm 3^\circ$ , para corredores de 5.5m/s obtuvo  $115.8 \pm 5$ .

Por lo tanto podemos deducir que los resultados obtenidos de las 12 muestras, se asemejan bastante a los resultado del estudio realizado por Ferro. Oscilarían en una normalidad.

## **9. CONCLUSIONES**

- I. El tiempo de contacto disminuye a mayor velocidad de carrera y aumenta al reducirla.
- II. El apoyo de antepié es mayor respecto al apoyo de retropié durante la carrera.
- III. La técnica de carrera es un factor determinante para mejorar y aumentar la velocidad y la resistencia de carrera
- IV. Existen grandes diferencias en la técnica de carrera entre fondistas y velocistas.
- V. Existen grandes diferencias en la pisada entre fondistas y velocistas.
- VI. No se puede estandarizar un patrón biomecánico debido a las diferencias antropológicas de los seres humanos.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Liebenberg L. The relevance of persistence hunting to human evolution. *J Hum Evol.* 2008; 55(6): 1156-1159
2. Hernández Gómez JJ., Marquina V., Gómez RW. On the performance of Usain Bolt in the 100 metre sprint. *Eur. J. Phys.* 2013; 34:1227-1233
3. Weyand G. P., Sandell F. R., Prime N.L. D., Bundle W. M. The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of Applied Physiology.* 2010; 108(4): 4950-4961
4. Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. 23ª ed. Madrid: Espasa; 2014 [acceso 2 de abril de 2015]. Disponible en: <http://lema.rae.es/drae/?val=atletismo>
5. Hornillos Baz I. Atletismo. España: INDE Publicaciones; 2000.
6. Rius Sant J. Metodología y técnicas de atletismo. España: Paidotribo; 2005.
7. IAAF. Reglas de competición 2014-2015. Monaco: Cedex; 2014. Disponible en: [http://www.rfea.es/revista/libros/IAAF\\_manual2014-2015.pdf](http://www.rfea.es/revista/libros/IAAF_manual2014-2015.pdf)
8. Campos Granell J, Gallach J E. Las técnicas del atletismo, manual práctico de enseñanza. España: Paidotribo; 2004.
9. Romeo Frometa E. Scrubb M E. La enseñanza de la técnica de las carreras en la etapa de iniciación. *EFdeportes.* 2003; (66).
10. Aportación del Profesor Miquel Vélez Blasco de la Universidad de INEFC y entrenador del centro de alto rendimiento CAR Sant Cugat. Disponible en: [http://www.fcatletisme.cat/Ctecnic/documentacio/modelstecnic/2\\_TECNICA\\_CARRERA\\_2011.pdf](http://www.fcatletisme.cat/Ctecnic/documentacio/modelstecnic/2_TECNICA_CARRERA_2011.pdf)
11. Dyson H. G. Mecánica del atletismo. Madrid: Instituto nacional de educación física y deportes de Madrid; 1984.
12. Cavanagh Peter R. Biomechanics of distance running. Illinois: Human Kinetics, 1990.
13. Dick W. F. Development of maximum sprinting speed. *Track Technique.* 1989; 8: 3475-3480

14. Mann V.R. A kinetic Analysis of sprinting. *Medicine and science in sport and exercise*. 1981; 13(5): 325-328.
15. Hinrichs R. N. Upper Extremity Function in running II: Angular momentum considerations. *International Journal of Sport Biomechanics*. 1987; 242-263.
16. García-Verdugo M. Análisis de los 100m. lisos: velocidad, frecuencia-amplitud, consideraciones técnicas. Madrid: Instituto nacional de educación física y deportes; 1972.
17. Díez García M. Un modelo de enseñanza de la carrera. Madrid: M Díez; 2008.
18. Verkhoshansky Y. Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo. Barcelona: Paidotribo; 2002.
19. Polischuk V. Atletismo: Iniciación y Perfeccionamiento. España: Paidotribo; 2000.
20. Body miracle: Súper atletas, rompiendo límites. [Vídeo] Japón: 2011. Disponible en: [http://www.documentaleshd.net/body-miracle-asafa-powell-calidad-mejorada-documental-completo-hq-video\\_5e1259e5e.html](http://www.documentaleshd.net/body-miracle-asafa-powell-calidad-mejorada-documental-completo-hq-video_5e1259e5e.html)
21. Alonso Rodríguez E. Técnica de carrera: postura, mejoras y errores fundamentales [Foroatletismo.com]. Junio 2011. [Acceso el 3 de abril de 2015]. Disponible en: <http://www.foroatletismo.com/entrenamiento/tecnica-de-carrera-postura-mejoras-y-errores-fundamentales/>
22. Rodríguez E. Cinco errores más comunes al correr [deportesvilladela.blogspot.com]. Marzo 2012. [Acceso el 3 de abril de 2015]. Disponible en: <http://deportesvilladela.blogspot.com/2012/03/cinco-errores-mas-comunes-al-correr.html>
23. Abián Vicén J., del Coso Garrigós J., Salinero Martín J J., González Millán C. La biomecánica y la tecnología aplicadas al calzado deportivo. Madrid: IMC; 2013.
24. Benno Maurus N. Biomechanics of running shoes. Illinois: Human Kinetics; 1986.
25. Especificaciones técnicas de la plataforma de presiones. Disponible en: [http://www.rsscan.com/advanced/#tab\\_products](http://www.rsscan.com/advanced/#tab_products)

26. Ferro Sánchez A. La carrera de velocidad: Metodología de análisis biomecánico. Madrid: Librerías deportivas Esteban Sanz, 2001.
27. Roy B. Caracteriques biomecaniques de la course d'endurance. Canadian Journal of Applied Sport Science. 1982; 7(2): 104-115.
28. Frishberg B. A. An analysis of overground and treadmill sprinting. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1983; 15(6): 478-485.
29. James Hay G. The biomechanics of sports techniques. 4<sup>a</sup> ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
30. Lieberman D.E., Venkadesan M., Wrbel W.A., Dauod Al, D' Andrea S, Davis I.S., Et Al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. Nature. 2010; 463(7280): 531-5.
31. Squadrone R, Gallozzi C. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and the shod conditions in experienced barefoot runners. Nature. 2010; 463(7280): 531-5.
32. Wit B., Clercq D.A. Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running. P.J Biomech. 2000; 33(3): 269-
33. Goss DL, Gross MT. Relationships among self-reported shoe type, footstrike pattern, and injury incidence. US Army Med Dep J. 2012; 25-30.

## **11. AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar me gustaría agradecer a Montserrat Marugán, mi tutora, por su paciencia y dedicación, así como por no dudar y mostrar predisposición a cederme su propio instrumental para realizar la recogida de muestras.

Al profesor Lluís Jover por facilitar la comprensión estadística.

Agradecer a todos los atletas que se ofrecieron a colaborar con ganas e ilusión, de igual forma a sus entrenadores por permitirlo pese a la adversidad de las condiciones en que debían hacerlo; en especial a Miguel Ángel Merino por su implicación y ayuda prestadas para el desarrollo del trabajo.

A mi entrenador Chema López por aportar su grano de arena en cuanto a conocimiento e ideas.

También a mi amigo Mario Sánchez por su aporte lingüístico.

A Núria Forteza por sus buenas intenciones y compañía.

Por último, destacar a mis amigos, compañeros y familiares por la confianza y serenidad.

De principio a fin, gracias.

## **12. ANEXO**

### **Anexo 1**

#### **Hoja de consentimiento informado**

Usted ha sido invitado a participar en un proyecto de investigación sobre las diferencias existentes entre la pisada de atletas de larga distancia y de velocidad.

Este proyecto de investigación es realizado por Juan Cifuentes Guzmán, estudiante de 4º curso de Grado en Podología en la Universitat de Barcelona, bajo la tutela de Montserrat Marugán de los Bueis, profesora del departamento de Podología de la Universitat de Barcelona.

En caso de que acepte participar en dicho estudio deberá correr descalzo sobre tartán con el fin de pasar sobre una plataforma de presiones colocada a 30 metros de la salida. Es posible que se precisen varias repeticiones hasta dar un apoyo válido sobre la plataforma. El sistema de valoración utilizado es principalmente visual, por lo que no supone ningún riesgo para su salud. La participación en el estudio implicará aproximadamente unos 20 minutos.

La inclusión en este estudio es estrictamente voluntaria. La información que se recoja será confidencial y no se usará para ningún otro propósito fuera de los de esta investigación.

Usted podrá retirarse del estudio cuando así lo decida, sin tener que dar explicaciones.

En caso de tener dudas o desear recibir más información sobre este proyecto puede contactar con el responsable del estudio al teléfono 647876329 ó al correo electrónico [jcifuegu7@alumnes.ub.edu](mailto:jcifuegu7@alumnes.ub.edu)

**Su firma en este documento significa que ha decidido participar en la investigación después de haber leído y discutido la información prestada en esta hoja de consentimiento.**

Nombre del participante

.....

Firma del participante

.....

Fecha

.....