



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2013/2014

VALORACIÓN BIOMECÁNICA DE LA CARRERA DE VELOCIDAD
BIOMECHANICAL ASSESMENT OF SPRINT RUNNINIG

Autor: David Álvarez Romero

Tutora: Ana Ogueta Alday

Fecha: 3 de septiembre de 2014

VºBº TUTOR/A

VºBº AUTOR/A

RESUMEN:

El siguiente estudio da respuesta a una serie de demandas de los entrenadores de atletismo en la obtención de información cuantitativa sobre el progreso de sus deportistas durante el entrenamiento. Se analizó un grupo de 5 atletas femeninas de categoría junior y promesa, con participación a nivel autonómico y nacional. A través de la aplicación de dos test de 60 y 20 m, y mediante el uso de cinco pares de fotocélulas DSD Láser System (DSD Inc., León, España), dos cámaras Casio Exilim EXFH25 (Casio Inc, Japón) y un ordenador portátil Toshiba, se analizaron las variables que afectan a la carrera de velocidad.

Se obtuvo información referente a los tiempos de la prueba cada 10 m y en su totalidad total; las velocidades por sectores, así como su evolución a lo largo de la prueba, la máxima velocidad y el momento en el que ésta es obtenida; la amplitud de zancada y frecuencia alcanzadas en el punto teórico de máxima velocidad y un análisis de la pronación a máxima velocidad.

Los resultados muestran diferencias en las variables analizadas entre las atletas. Aquellas que consiguen una mejor relación entre todos los parámetros analizados logran los mejores tiempos en la prueba. Son unos test sencillos que pueden ayudar al entrenador a seguir el proceso de evolución de sus deportistas, así como a detectar aspectos a mejorar para un conseguir un óptimo rendimiento.

ABSTRACT:

The aim of this study is to answer to the needs of athletics trainers for getting quantitative information about their athletes' progress during their training sessions. We analysed a group of 5 female athletes of the 17 to 22 year-olds age range who participate at the regional and national levels. Through the application of two tests of 60 and 20 metres, and using five pair of photocells DSD Láser System (DSD Inc., León, España), two video cameras Casio Exilim EXFH25 (Casio Inc, Japon) and a Toshiba laptop, we analysed the variables that affect speed race.

We obtained information about the partial times every 10 metres and the total; the speed in every sector, as well as its evolution throughout the race, the top speed and the moment when it was reached; the stride length and frequency at the top speed, and an analyses of the pronation at top speed

The results show differences in the analysed athletes' variables. Those who got good performances in all the analysed parameters achieved the best times in the tests. These tests could help the trainers to know better the evolution of his athletes, as well as to detect some aspect to be improved.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y PRUEBAS DE VELOCIDAD

La historia del atletismo sólo se puede entender a través de la amplia relación que guarda con la evolución de la humanidad (Ruis, 2005). Las distintas modalidades atléticas no son más que los movimientos motrices básicos que desarrollaban nuestros antepasados en sus actividades cotidianas de caza, huida o pesca, organizadas en la actualidad en distintas competiciones deportivas que giran en torno a la carrera, el salto o el lanzamiento (Ruis, 2005).

En los Juegos Olímpicos de la Antigua Grecia (Siglo VII a.C.) ya destacaba como una de las pruebas más importante, el *stadion*, la cual constaba en recorrer 192,27 m y es la que podría asemejarse a la prueba de los 200 m actuales (Durántez, 2007). Adelantándonos en el tiempo y pasando por alto innumerables representaciones locales de carreras de velocidad, cabe destacar los Juegos de Cotswold (1582-1652), en Inglaterra. Se trata de la primera competición atlética oficial de la que se tiene registro, donde, entre otras muchas pruebas, se desarrollaban carreras pedestres (Ramírez, 2005).

La última fase de este resumen histórico nos acerca al comienzo de los Juegos Olímpicos Modernos. En 1896, el Barón Pierre de Coubertin impulsado por la idea de utilizar el deporte como un medio de comunicación, comprensión y pacificación de los pueblos organiza por primera vez los Juegos Olímpicos Modernos (Durántez, 2007). Este evento acogió nueve deportes (atletismo, ciclismo, esgrima, gimnasia, halterofilia, lucha, natación, tenis y tiro), encontrándose dentro de ellos el atletismo, deporte objeto de este trabajo. Entre otras muchas pruebas, se desarrollaron lo que actualmente conocemos como carreras de velocidad (Aguilar, 2007).

A día de hoy, el atletismo como deporte está formado por cinco modalidades (Ruis, 2005): carreras, saltos, lanzamientos, marcha atlética y pruebas combinadas. Dentro de cada disciplina se distinguen diferentes pruebas oficiales (Tabla 1).

CARRERAS	Velocidad	60 m	100 m	200 m	400 m	
	Fondo	800 m	1500 m	5000 m	10000 m	3000 m obstáculos
	Vallas	60 m	100 m	110 m	400 m	
	Maratón	42 km				
	Relevos	4x100		4x400		

SALTOS	Altura	Pértiga	Longitud	Triple
LANZAMIENTOS	Disco	Martillo	Peso	Jabalina
MARCHA	20 km		40 km	
PRUEBAS COMBINADAS	Heptatlón		Decatlón	

Tabla 1. Clasificación de las distintas pruebas atléticas.

El máximo organismo internacional de atletismo, la International Association of Athletic Federations (IAFF), considera carreras de velocidad el 100, 200 y 400 m lisos, siendo además las pruebas oficiales. Estas pruebas se desarrollan dentro del estadio de atletismo sobre pistas de un perímetro de 400 m, siendo el 100 m celebrado en recta de meta, el 200 parte de curva y la recta de meta, y en el 400 m teniendo que darse una vuelta completa. Por otra parte, cabe destacar que en la temporada de invierno, normalmente llevadas a cabo en pistas de 200 m, se desarrolla una prueba más corta, de 60 m, dentro también de las pruebas de velocidad.

1.2. ESTUDIO DE LA TÉCNICA/BIOMECÁNICA

Entendemos por «técnica deportiva» el factor determinante del rendimiento que engloba el conjunto de movimientos racionales, que conducen al deportista de manera funcional, económica y adaptada a la obtención de óptimos resultados deportivos en el marco del reglamento competitivo vigente (Morante, 1998).

Es por esto que resulta de vital importancia para el rendimiento deportivo la ejecución de una buena técnica para exprimir al máximo las posibilidades del deportista, y de esto se encarga la biomecánica. Mediante este tipo de estudios se puede llegar a obtener resultados empíricos que detallan las distintas características de los atletas y sirven tanto a técnicos como a observadores para evaluar el nivel de sus deportistas.

1.2.1. FASES DE LA CARRERA

A lo largo de la historia ha habido muchas clasificaciones sobre el número de fases en las que se divide una carrera de velocidad. Para la realización de este trabajo vamos a optar por la clasificación de Mero et al. (1992), la cual divide la carrera en cuatro fases:

1. Arrancada: desde el momento en el que el atleta se coloca en la posición de preparados hasta que el pie delantero se despegas del taco de salida.
2. Aceleración: desde el punto anterior hasta que el corredor se coloca en posición vertical. A lo largo de la misma se produce un aumento muy brusco de la velocidad (Figura 1).

3. Máxima velocidad: en esta fase el deportista alcanza su máxima velocidad (intentando mantener esos valores) hasta que se observa una disminución progresiva de la velocidad (Figura 1).
4. Deceleración: desde la disminución de la velocidad hasta el final de la prueba (Figura 1).

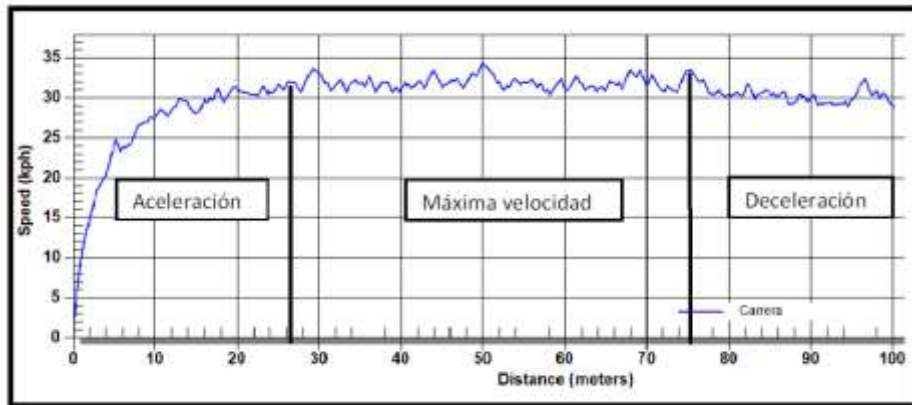


Figura 1. Fases de la carrera de velocidad.

Estas fases no son siempre uniformes y varían en función de factores internos como pueden ser la motivación, técnica o condición física, y de factores externos como el viento, temperatura y tipo de pista. Por lo tanto, la duración de cada una de estas fases es variable inter e intrasujeto.

1.2.2. FASES DE LA ZANCADA

La zancada es la acción motriz predominante en las carreras de velocidad y es importante comprender de qué partes está compuesta (Bergamini, 2011). La zancada es la acción comprendida entre los apoyos de ambas piernas y está compuesta por dos fases: apoyo y suspensión (Figura 2).

La fase de apoyo puede dividirse a su vez en tres subfases, en función de la posición del centro de gravedad (punto donde las fuerzas que aplica la gravedad sobre sus partes producen un momento nulo) (Sangwin, 2009):

- Amortiguación: en esta fase el centro de gravedad se sitúa detrás del apoyo para mitigar el impacto. Se considera que hay un momento de frenado, pero algunos atletas son capaces de transformarlo en energía positiva gracias a una buena técnica.

- Sustentación: el centro de gravedad está vertical al apoyo, se trata de una fase muy corta y de transición en la que el trabajo principal pasa de los músculos flexores a los extensores.
- Impulsión: comienza cuando el centro de gravedad sobrepasa el apoyo. Esta fase es muy importante porque es la de empuje hacia delante y arriba por acción de los músculos extensores de la pierna.

Después del apoyo aparece una fase de actividad locomotora en la que el cuerpo se encuentra sin contacto con el suelo, lo que hemos denominado fase de suspensión. De esta forma, y como se representa en la Figura 2, cada fase de apoyo viene precedida de una de vuelo. Por otra parte, durante esta fase interesa que el centro de gravedad presente la menor oscilación posible y no haya demasiada variación vertical, ya que de haberla se pierde mucha energía horizontal y eso requerirá un mayor tiempo para finalizar la prueba (Mero et al., 1992).

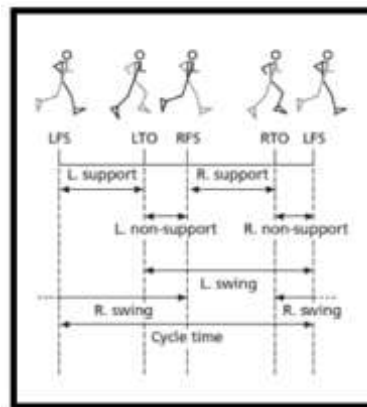


Figura 2. Fases de la zancada.

Cabe destacar que cuanto mayor sea la velocidad de carrera, la fase de vuelo será más larga, acortándose la de apoyo. Novacheck et al. (1998) destacaron que durante la carrera, la duración de la fase de apoyo y de vuelo están, alrededor del 40% - 60% del ciclo de paso, respectivamente, mientras que en la élite, la duración puede llegar a un 20% - 80%, respectivamente. Por lo tanto, parece claro que una buena técnica de carrera, va ligada a tiempos de vuelo largos.

1.2.3. FRECUENCIA Y AMPLITUD

Como destaca Mackala (2007), la amplitud y frecuencia de zancada son dos variables muy importantes a lo largo de las carreras, ya que determinan la velocidad de desplazamiento ($v = Fr \times A$). Una mayor frecuencia y amplitud de zancada permitirán alcanzar una mayor velocidad de carrera, pero la combinación de estas dos variables durante las pruebas de

velocidad es variable. Mackala (2007) analizó en las distintas fases de la carrera (aceleración, máxima velocidad y deceleración) la velocidad, amplitud y frecuencia de un grupo de ocho velocistas de alto nivel a lo largo de una prueba de 100 m lisos para verificar la influencia de estas variables sobre las fases de la carrera y la eficiencia técnica.

- Aceleración: dentro de esta fase distinguimos dos tramos:
 - En primer lugar, una fase de *Aceleración Inicial* durante los primeros 20 m. En ella se produce un gran incremento de la velocidad como resultado del elevado aumento de la amplitud y frecuencia. Durante los primeros 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% (192 cm).
 - Del 20 al 40 m se produce una fase de *Aceleración Extendida*, 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.

- Máxima velocidad: se pueden distinguir otras 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.
 - 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.
 - 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.

- La fase de *Máxima Velocidad* se produce entre los 70 y 80 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.
- **Deceleración:** 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.

1.2.4 SALIDA DE TACOS

La salida se trata del primer elemento que hay que superar en una carrera de velocidad, y su principal propósito es dar un comienzo rápido al desplazamiento del atleta en la dirección de la carrera. Se trata de un gesto complejo ya que el atleta debe pasar de realizar un movimiento acíclico (salida) o un movimiento cíclico (carrera), todo ello de forma coordinada. Su correcta ejecución es importante para el rendimiento ya que condicionará la siguiente fase de aceleración que hemos comentado previamente (Coh y Tomazin, 2006).

A día de hoy, las salidas en las carreras de velocidad se hacen desde tacos. Estos tienen su origen en los pequeños montículos de arena que los atletas creaban bajo sus pies en las antiguas pistas de atletismo, lo que les permitía imprimir una mayor fuerza horizontal y no perder tanta energía vertical como la perdida en las salidas normales. Esta idea evolucionó y desde 1948 la International Association of Athletics Federations (IAAF) incluye entre sus normas el uso de los tacos de salida (Bergamini, 2011).

La salida, como se muestra en la *Figura 3*, está formada por tres fases. En primer lugar el juez da la orden de “A sus puestos”, en este momento los atletas se dirigen a los tacos y se colocan justo detrás de la línea de salida con las manos colocadas a una anchura cómoda e individual para cada corredor. A continuación se produce la señal “Set” con la que los atletas despegan la rodilla trasera del suelo y se incorporan hacia delante y arriba, lo que produce un desequilibrio muy provechoso para el momento de la salida. Por último, con el disparo, el atleta despegas las manos de la pista mientras empuja con las piernas contra los tacos y se despegas de ellos (Coh et al., 2009).

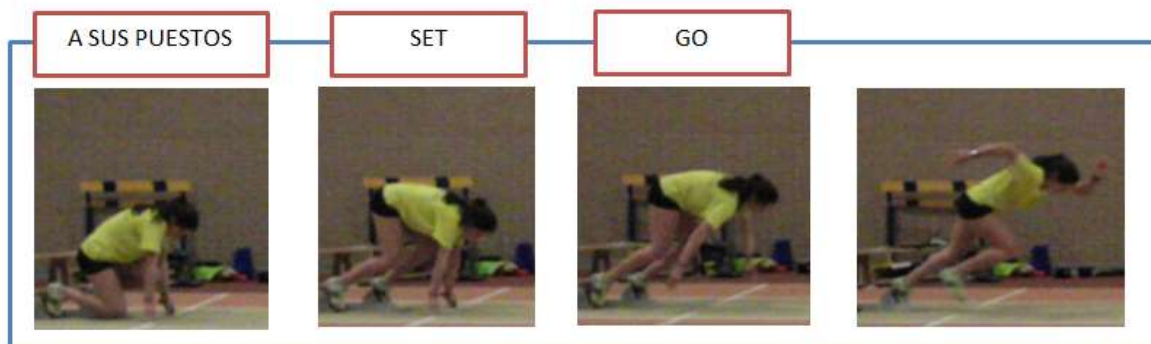


Figura 3. Fases de la salida.

1.3 NECESIDAD DE EVALUACIÓN/ANÁLISIS

El estudio tanto de la técnica como el control del entrenamiento, son de una gran utilidad tanto para el entrenador como para el deportista, ya que les proporcionan información cuantitativa sobre el rendimiento. De esta forma, muchas veces se dan a conocer aspectos que no son apreciables hasta que se realizan mediciones de estas características. Por otra parte, si estas pruebas se realizan con cierta repetitividad, se pueden ver detalles sobre la progresión de cada corredor a lo largo de la temporada, así como la valoración del estado de forma antes de competiciones importantes.

Para llevar a cabo estas evaluaciones muchas veces se ha utilizado material muy complejo, de alto coste económico (e.g. 3D) o con el que se necesita gran tiempo para el análisis e interpretación de los resultados (e.g. digitalización de imágenes), fuera del alcance de cualquier club. Sin embargo, a día de hoy, la tecnología ha ido desarrollándose y haciéndose accesible a todo el mundo, las herramientas de evaluación son de alta precisión, pueden utilizarse en test de campo y aportar información específica acerca del rendimiento deportivo.

Por otro lado, León cuenta con una larga tradición en formación de atletas, impulsando el atletismo desde la base mediante las escuelas deportivas. Gracias a esta colaboración se consigue que muchos atletas lleguen a destacar. El caso más sonado es el de Manolo Martínez (Villadangos del Páramo, 1974), quien logró en la especialidad de lanzamientos de peso un bronce en los Juegos Olímpicos de Atenas 2004, así como un oro en el Campeonato del Mundo de Birmingham 2003 y un bronce en el de Lisboa 2001. Estos resultados produjeron un mayor impulso del atletismo en esta ciudad.

Así, León cuenta a día de hoy, con un CEARD (Centro Especializado de Alto Rendimiento Deportivo). Esta instalación cuenta con una pista de 110 metros, área de salto de altura, pértiga, dos fosos, dos gimnasios y una zona de lanzamientos cubierta. Hacen uso de este centro los mejores lanzadores nacionales e internacionales, junto con atletas de todas las

modalidades: velocistas, vallistas, saltadores. Este centro cuenta con todas las facilidades necesarias para que los deportistas puedan exprimir al máximo todo su rendimiento. En concreto, el Club Sprint Atletismo León cuenta con un grupo de atletas femeninas que llevan en División de Honor (máxima categoría del atletismo femenino), durante los últimos años, permaneciendo de esta forma en lo más alto del atletismo a nivel nacional.

2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este Trabajo Fin de Grado fue llevar a cabo una evaluación de la técnica y biomecánica de la carrera en dos puntos concretos de la temporada en un grupo de velocistas femeninas de medio/alto nivel y entregar al entrenador un informe detallado de las mismas. Como objetivo secundario, se analizó la correspondencia de los resultados obtenidos con los resultados obtenidos en competición para valorar posibles anomalías dentro de las mismas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Sujetos

Participaron 5 corredoras (19 ± 2 años), todas ellas mujeres de nivel nacional e internacional (con tiempos en 60 m de $7.80 \text{ s} \pm 0.2 \text{ s}$). Como criterio de inclusión se seleccionaron aquellas corredoras en las que el entrenador tuviese especial interés en conocer su análisis biomecánico. Se obtuvo de todos los participantes un consentimiento informado por escrito antes de comenzar el estudio.

3.2 Procedimiento

Las valoraciones se realizaron durante los meses de diciembre de 2013 y enero de 2014 en el Centro de Alto Rendimiento Deportivo (CEARD) de León. Ambas pruebas se realizaron a la misma hora (20.00 h) y bajo las mismas condiciones, tras un calentamiento preparatorio que nos permitiese obtener los mejores resultados. Este calentamiento fue dirigido por el propio entrenador y fue similar en ambos días. Las pruebas consistieron, en primer lugar en dos series de 60 m con salida de tacos y a continuación dos 20 m lanzados. Todas ellas intentado hacerlas a la mayor velocidad posible. Para la obtención de los datos en el siguiente estudio contamos con un juego de cinco fotocélulas DSD Láser System (DSD Inc., León, España), dos cámaras Casio Exilim EXFH25 (Casio Inc, Japon) y un ordenador portátil Toshiba.

- 60 m con salida lanzada (Figura 4).

Cada atleta realizó 2 intentos, cada uno de ellos de sesenta metros lisos con salida de tacos. Las atletas tenían que intentar realizar el menor tiempo posible en la prueba. En esta prueba los elementos de registro se dispusieron como se observa en la Figura 4.

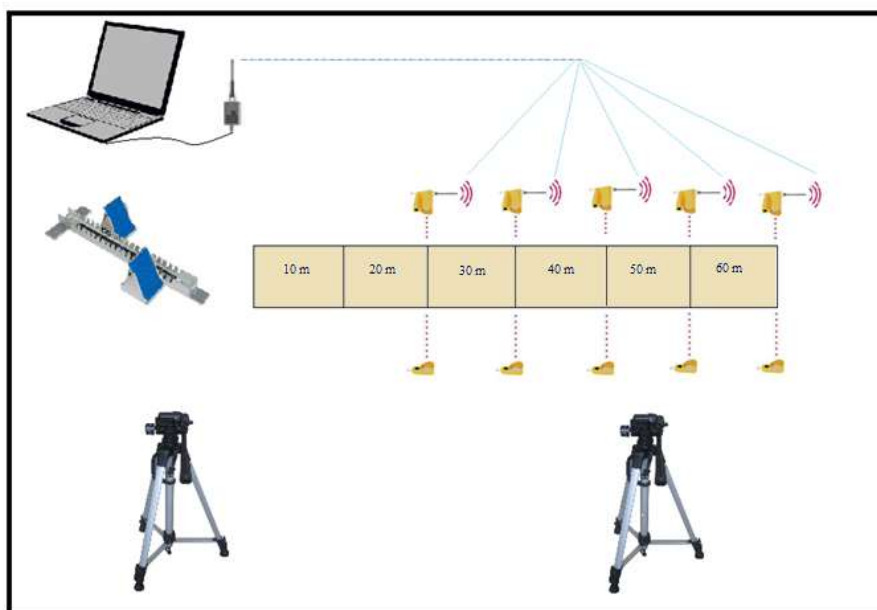


Figura 4. Disposición de los elementos de registro en los 60 m.

Las fotocélulas se colocaron en los metros 20, 30, 40, 50 y 60, y la altura de las mismas fue de 1.30 m. De esta manera, la carrera se fraccionó en sectores de 10 m, exceptuando los primeros 20 m, en los cuales la información era conjunta. Se obtuvieron los tiempos y velocidades medias de cada zona, así como el tiempo medio de la prueba.

También se usaron dos cámaras de alta velocidad, que grababan a 120 Hz. Una de ellas estaba colocada en la parte lateral de la pista entre los metros 40 y 50, lugar donde se alcanza la máxima velocidad de la prueba en mujeres (Sanchez, 2011). Estas imágenes fueron analizadas mediante un software de uso libre (Kinovea 8.15 para Windows, disponible en <http://www.kinovea.org>), obteniéndose a partir de ahí la amplitud y frecuencia de zancada. La otra cámara se colocó en un lateral de la salida de la prueba y su función era grabar las salidas para observar pequeñas variaciones de la misma a lo largo de las distintas carreras.

- 20 m lanzados. (Figura 5)

En segundo lugar, se realizó la prueba de 20 metros lanzados, donde se llevaron a cabo dos repeticiones. En este test tuvieron que correr, partiendo desde el tipo de salida que escogiesen (tres apoyos por lo general) con la distancia previa que necesitasen (escogida libremente), para llegar a los veinte metros entre fotocélulas a máxima velocidad. La organización fue la que se observa en la *Figura 5*.

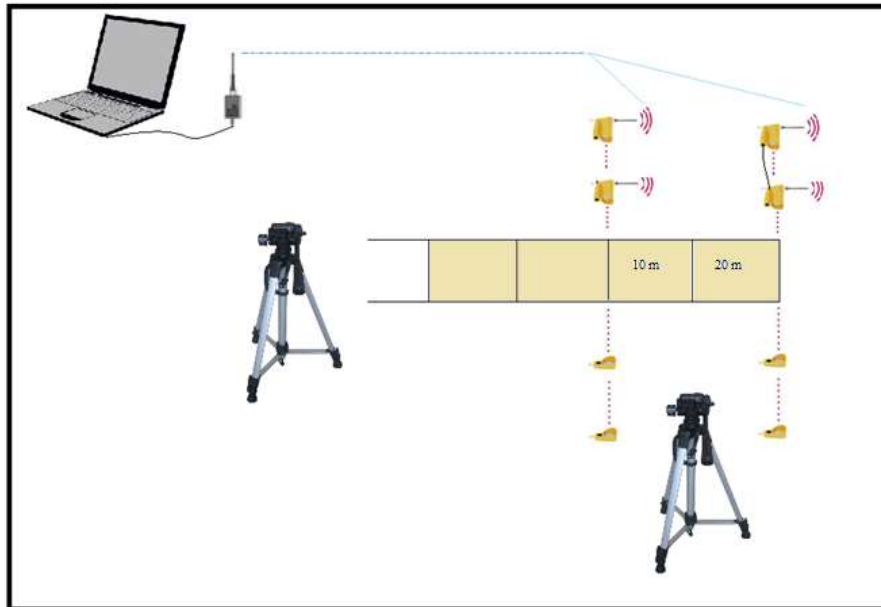


Figura 5. Disposición de los elementos en los 20 m.

Las fotocélulas fueron colocadas con doble haz para una mayor fiabilidad de los datos (García-López et al., 2012). En este caso se recopiló la información de 20 m de la prueba, y los tiempos y velocidades fueron las medias de este sector.

En este caso también se colocó una cámara en el metro 0-10 de la zona de máxima velocidad para obtener y comparar los valores con los de la prueba anterior. La otra, estaba dispuesta transversalmente a la pista y grababa la parte posterior de la carrera de las atletas para ver el tipo de pisada de cada deportista.

4. RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el test de 60 m durante la primera evaluación. Aparecen tanto los tiempos como las velocidades de cada tramo, así como en su totalidad. En la última columna está el resultado conseguido en la competición de ese fin de semana (14/12/13).

Se observa que casi todas las corredoras tienen la misma tendencia, obteniendo la máxima velocidad del 40-50, excepto la más rápida que consigue su máxima en los últimos 10 m de la prueba.

Tabla 2. Tiempos y velocidades por parciales de la primera prueba 12/12/13.

Distancia		0-30 m	30-40 m	40-50 m	50-60 m	Total	Competición 14/12/13
Clara	Tiempo (s)	4,559	1,155	1,128	1,105	7,947	7,81
	Velocidad media (km/h)	23,68	31,16	31,91	32,57	27,18	
Raquel	Tiempo (s)	4,671	1,146	1,130	1,169	8,116	7,91
	Velocidad media (km/h)	23,12	31,41	31,85	30,79	26,61	
Sandra	Tiempo (s)	4,722	1,179	1,148	1,211	8,260	8,11
	Velocidad media (km/h)	22,87	30,53	31,35	29,72	26,15	
Carolina	Tiempo (s)	4,754	1,169	1,204	1,241	8,368	8,23
	Velocidad media (km/h)	22,71	30,79	29,90	29,00	25,81	

En la Tabla 3 se muestra la información referente a velocidad y tiempos en los sectores de la segunda prueba, así como el total. Estos datos se comparan con la competición realizada el fin de semana anterior (15/02/14). En el caso de una corredora (Raquel), el primer sector no se midió hasta los 30 m por problemas técnicos con las fotocélulas, y Clara no compitió ese fin de semana.

Tabla 3. Tiempos y velocidades por parciales de la segunda prueba 20/02/14.

Distancia		0-20 m	20-30 m	30-40 m	40-50 m	50-60 m	Total	Competición 15/02/14
Clara	Tiempo (s)	3,478	1,158	1,113	1,161	1,155	8,065	
	Velocidad media (km/h)	20,70	31,08	32,34	31,00	31,16	26,78	
Distancia		0-30 m						
Raquel	Tiempo (s)	4,788		1,174	1,167	1,195	8,324	7,79
	Velocidad media (km/h)	22,55		30,66	30,84	30,12	25,94	

Rocío	Tiempo (s)	3,592	1,198	1,170	1,239	1,224	8,423	8,19
	Velocidad media (km/h)	20,04	30,05	30,76	29,05	29,41	25,64	
Carolina	Tiempo (s)	3,643	1,25	1,186	1,148	1,211	8,438	7,89
	Velocidad media (km/h)	19,76	28,8	30,35	31,35	29,72	25,59	

En la Tabla 4 se comparan los tiempos obtenidos en el test de 60 m en la primera y segunda evaluación, y la mejor marca de la temporada, así como la fecha en la que se obtuvo. Se observa como prácticamente todas las deportistas consiguen su mejor tiempo la semana anterior o la misma a la realización de la segunda prueba.

Tabla 4. Comparativa de ambas pruebas y mejor tiempo en competición

	Primera prueba 12/12/14	Segunda Prueba 20/02/14	Mejor tiempo y fecha de obtención
Clara	7,947	8,065	7,76 22/02/14
Raquel	8,116	8,324	7,79 15/02/14
Carolina	8,368	8,438	8,03 01/03/14
Sandra	8,26		7,79 15/02/14
Rocío		8,423	7,88 22/02/14

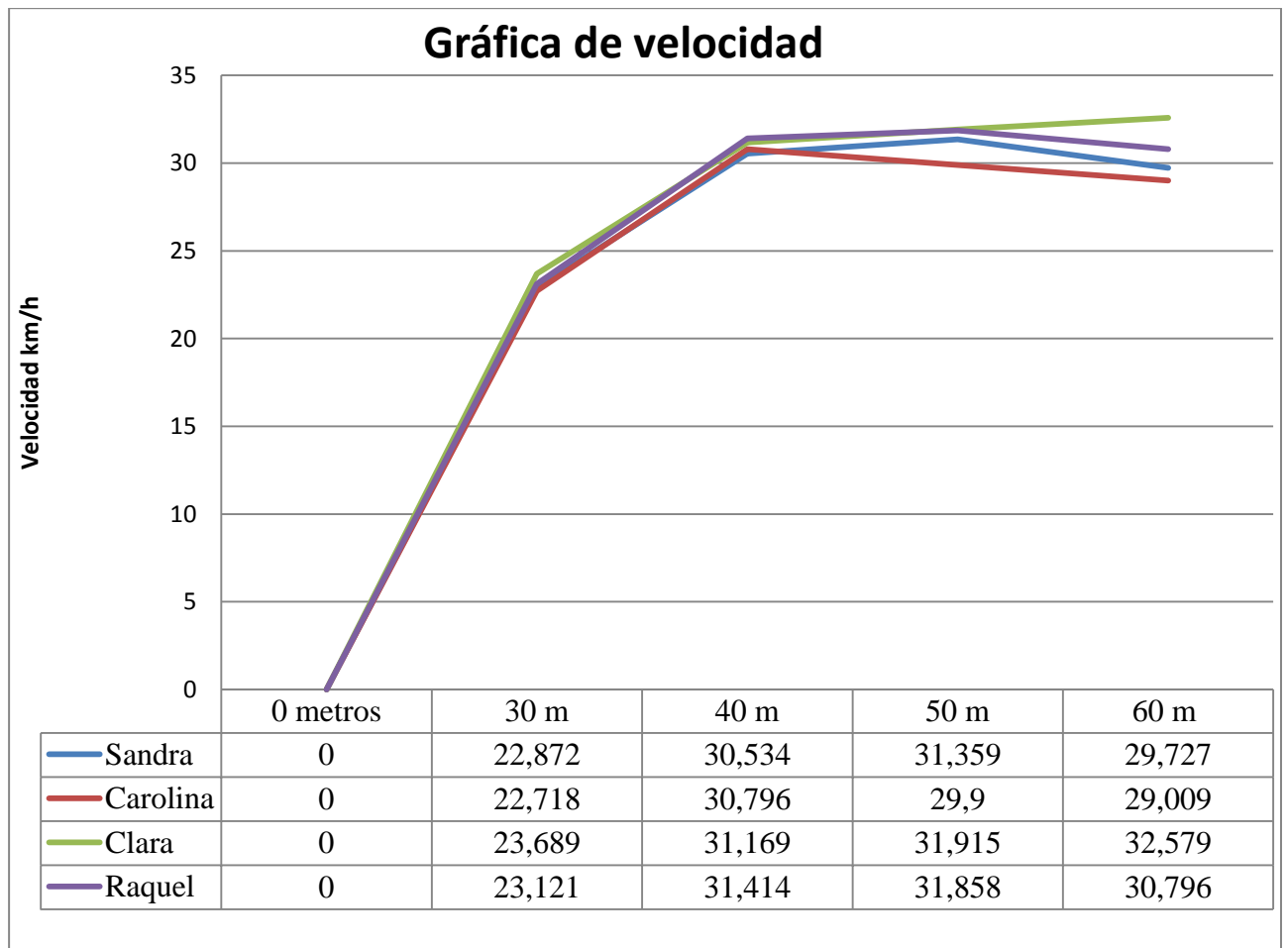
En la Tabla 5 aparecen los datos de velocidad, frecuencia y amplitud en el tramo teórico de máxima velocidad, entre los 40 y 50 m.

Tabla 5. Análisis de la frecuencia y amplitud de la primera prueba 12/12/13

Primera medición	Velocidad m/s	Frecuencia Hz	Amplitud m
Clara	8,86	5,05	1,75
Raquel	8,84	4,95	1,78
Sandra	8,71	5,45	1,59
Carolina	8,30	5,00	1,66

En la Tabla 7 aparece una gráfica en la que se muestra la evolución de la velocidad a lo largo de los diferentes sectores de la prueba. Esto nos da una idea visual del incremento generalizado de la velocidad hasta el metro 50 y la posterior leve disminución de tres de las atletas hasta el final de la prueba. En el caso de la otra atleta, la velocidad sigue aumentando.


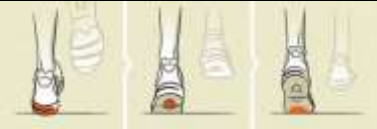

Tabla 7. Gráfica de velocidades por sectores



En la Tabla 8 se muestran los datos obtenidos acerca de la pronación en fase de máxima velocidad. Debajo se muestran los grados de referencia para la pronación. Se observa que todas tienden a la pronación neutra, menos Carolina que muestra una pisada asimétrica, teniendo con la izquierda una pronación neutra y con la derecha una hiperpronación.

Tabla 8. Análisis de la pronación.

Análisis pronación		
	Pierna izquierda	Pierna derecha
Clara	8°	14°
Raquel	11°	10°
Sandra	6°	9°
Carolina	11°	24°

		
Patrón de corredor supinador (< 5°)	Patrón de corredor neutro (5°-15°)	Patrón de corredor pronador (> 15°)

5. DISCUSIÓN

Para analizar algunos de los resultados vamos a hablar en primer lugar de las fases de máxima velocidad y deceleración de la carrera:

- La fase de máxima velocidad se debe tratar de alargar los máximos metros posibles, ya que en ella se producirán los tiempos más cortos. La mayoría de las atletas femeninas en una prueba de velocidad corta la alcanzan entre los metros 40-50 m (Sánchez, 2011). En este caso 30.9 ± 1.1 km/h es la media en este sector de las atletas. Es muy importante que la fase de máxima velocidad sea lo más larga posible porque es la que mejores tiempos produce. Debe de estar muy presente en los entrenamientos contenidos que mejoren la resistencia a la velocidad para que se alargue esta fase y la deceleración aparezca lo más cerca de la meta posible. Por ejemplo, se observa que Clara, la atleta más rápida, llega al 60 m a máxima velocidad (32.57 km/h). Esto supone un factor de rendimiento muy determinante, ya que en los últimos metros se puede obtener una ventaja sustancial respecto a las rivales si se es capaz de mantener o aumentar la velocidad máxima.
- La fase de deceleración en una prueba tan corta como es la de 60 m debe ser mínima. En la mayoría de las atletas se observa una disminución de la velocidad

durante los últimos 10 m, lo que propicia una pérdida de tiempo que se traduce en puestos a la hora de la competición.

Para explicar mejor las velocidades se han comparado las medias de la prueba con las obtenidas por las mejores diez deportistas españolas en esta prueba. Obtenemos una media de 31,7 km/h por parte de las primeras mientras que las estudiadas tienen una velocidad de 26,43 km/h. Esto nos da una idea de que estas atletas no alcanzan una velocidad media muy elevada durante la prueba lo que propicia un mayor tiempo al final de la misma.

Analizando los tiempos de ambas pruebas se puede observar que las atletas obtuvieron mejores tiempos en la primera evaluación. Esto es debido a que cuando hicimos la primera medición era la primera toma de contacto de la temporada con cronómetro de alta precisión. Esto hizo que las atletas se esforzasen más, mientras que la segunda prueba algunas ya habían tenido sus campeonatos de España, por consiguiente ya estaban con estructuras de entrenamiento de recuperación, mientras que otras tenían los campeonatos ese fin de semana y no querían forzar. Respecto a la diferencia de tiempos entre la primera prueba y la competición se puede resaltar que es muy importante el factor motivacional. La primera medición fue realizada tan solo dos días antes de una competición y el registro de datos resultó $8,16 \pm 0,22$ s, mientras que en la segunda prueba $8,015 \pm 0,26$ s. Esta diferencia hace evidente la influencia de la motivación durante las pruebas oficiales, aportando en este caso una media de 0,145 s de mejora a las atletas. Por estos motivos, resaltar la dificultad de trabajar con atletas de cierto nivel.

Asimismo, las atletas experimentan una bajada de tiempos de $0,377 \pm 0,197$ s de la primera prueba a la mejor marca de la temporada, esto nos indica la gran mejora que se obtiene a lo largo de los meses de entrenamientos. La atleta más rápida de la prueba mejora sólo 0,18 s durante los meses de especificidad del entrenamiento, mientras que Carolina, la corredora de menor nivel, obtiene una mejoría en los tiempos de 0,47 s a lo largo de estos tres meses.

Respecto a los datos obtenidos de la frecuencia y amplitud se cumple que aquellas atletas con una mayor amplitud obtienen menores registros en la frecuencia. Los casos con una alta frecuencia y una baja amplitud se alejan del concepto de técnica ideal en carreras de velocidad, ya que en el momento que más rápido se avanza es cuando el cuerpo se encuentra en la fase de suspensión. Por tanto, lo ideal es aquel equilibrio entre ambas variables que nos permita el suficiente apoyo para obtener una larga suspensión. De esta manera, la media obtenida de todas las atletas es de $5,11 \pm 0,06$ Hz y $1,69 \pm 0,055$ m. Clara, la de mayor nivel, obtiene unos valores de 5,05 Hz y una amplitud de 1,75 m, lo que la permite correr a 8,86 m/s; medidas muy diferentes a las de Carolina, que cuenta con una frecuencia de 5 Hz mientras que su amplitud es de tan solo 1,66 m, esto explica su menor

velocidad de 8,30 m/s. Por consiguiente, las mayores velocidades se consiguen gracias a unas altas frecuencia y amplitud, por lo que deben trabajarse estos parámetro para hacer una carrera más rápida.

Respecto a la pronación y supinación no se obtuvieron datos que indicasen una relación entre el tipo de apoyo y el tiempo de la prueba. Casi todas las atletas mostraron una tendencia a la pronación neutra, por lo que en principio no habría ningún problema. En el caso de Carolina, vemos que la pisada es asimétrica (existen más de 5° de diferencia entre una pierna y otra) y con el pie derecho muestra una pronación excesiva (> 15°). En carreras de velocidad no ha sido estudiado, pero habría que observarla de cerca si empieza a mostrar molestias, ya que una pronación excesiva ha estado ligada a un aumento de lesiones.

6. CONCLUSIONES

La aplicación de unos test de carrera sencillos (60 y 20 m) mediante la utilización de una serie de métodos de medición y el posterior tratado de datos, nos ha permitido obtener información muy relevante sobre las variables que afectan a la carrera de velocidad de estas deportistas (tiempo y velocidad en ambos test, tiempo y velocidad en cada tramo y momento de máxima velocidad, cuantificación de la frecuencia y amplitud de zancada, y análisis de la pronación). Esto nos ha servido para ofrecer información cuantitativa al entrenador sobre sus deportistas en dos momentos puntuales e importantes de la temporada, y es que el entrenador recibió un informe detallado de los datos obtenidos a los pocos días de llevar a cabo cada evaluación (anexos 1 y 2). Su valoración general sobre el estudio ha sido muy positiva.

Las limitaciones de este estudio han sido: a) contar con solamente dos evaluaciones, por lo que la información que se le ha aportado al entrenador podría ser un poco escasa b) no disponer de las mismas corredoras en las dos evaluaciones. Futuros estudios deberían realizarse más veces en una misma temporada, para ver más de cerca la evolución y los resultados del entrenamiento, y contar con mayor número de corredoras, ya que una vez que se montan las fotocélulas y las cámaras es muy sencillo de realizar a un gran número de corredoras.

Por último, queremos destacar la figura del profesional en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en este tipo de mediciones, que en colaboración con el entrenador pueden ayudar en la optimización del rendimiento del deportista.

7. VALORACIÓN PERSONAL

La realización de este estudio me ha servido para utilizar y desenvolverme de primera mano con los instrumentos propios de un análisis biomecánico. Ha sido una muy buena oportunidad de aprender a manejar las fotocélulas, cámaras y los software de análisis deportivo, porque creo que son de gran utilidad a la hora de valorar a deportistas y personas.

Por otra parte el trabajo de investigación me resultó complicado hasta que adquirí algo de soltura. En ese momento se hace muy interesante obtener nuevos conocimientos a través de la lectura y comprensión de artículos de investigaciones publicadas.

Respecto al trato con los deportistas me sentí muy cómodo en todo momento a la hora de realizar las valoraciones y en aquellos momentos en los que había que tomar decisiones rápidas por los problemas derivados del “directo”. Fue muy bonita la experiencia y además era agradable sentir que estaba ofreciendo un servicio un tanto vanguardista y que no está a la orden del día para los deportistas y entrenadores.

Por último, quiero agradecer al David Lazo, el entrenador, la predisposición para realizar este estudio y su interés por el mismo, al CEARD de León su colaboración cediendo las instalaciones que nos facilitaron mucho el trabajo, a las deportistas por el esfuerzo que supuso cada medición y por último a la directora de este trabajo, Ana Ogueta por la continua ayuda que me ha brindado a lo largo de todo el estudio guiándome en todas aquellas cuestiones que lo requerían. Ha sido un placer trabajar junto a ella, gracias.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E. (2007). *Olimpismo e historia contemporánea*. Guillen, M. Los Juegos olímpicos en la historia del deporte. Pág. 113-141. Córdoba: Ed. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Bergamini, E. (2011). *Biomechanics of sprint running: a methodological contribution*. Milán: Lap Lambert Academic Publishing.
- Čoh, M., Peharec, S., Bačić, P., Kampmiller, T. (2009). Dynamic factors and electromyographic activity in a sprint start. *Biology of Sport*, 26 (2): 137, <file:///C:/Users/David/Downloads/fulltext873.pdf> [Consulta: 08/05/14]
- Čoh, M., Tomazin, K. (2006). Kinematic analysis of the sprint start and acceleration from the blocks. *New studies in athletics*, 21 (3): 23-33, <http://www.richwoodstrack.com/rhs_team_area/sprints/tech_Kinematic%20Analysis%20Blocks.pdf> [Consulta: 08/05/14].
- Cristea A., Korhonen MT., Häkkinen K., Mero A., Alén, M., Sipilä, S., Viitasalo, JT., Koljonen, MJ., Suominen, H., Larsson, L. (2008). Effects of combined strength and sprint training on regulation of muscle contraction at the whole-muscle and single-fibre levels in elite master sprinters. *Acta Physiologica* 193 (3): 275-289 [Consulta: 24/05/14]
- Durantez, C. (2007). *Los juegos olímpicos antiguos*. Guillen, M. Los Juegos olímpicos en la historia del deporte. Pág. 23-25. Córdoba: Ed. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- García-López, J., Morante, JC., Ogueta-Alday, A. (2012). El uso de fotocélulas de haz simple y doble para medir la velocidad en carreras: DSD Laser System®. *Rycide* 30 (8): 324-333.
- García-Verdugo, M. (1972). Análisis de los 100 m lisos: velocidad, frecuencia-amplitud, consideraciones técnicas. Madrid: Marfil.
- Giorgiadis, K. (2008). *Juegos olímpicos y olimpismo*. Guillen, M. Los Juegos olímpicos en la historia del deporte. Pág. 15-23. Córdoba: Ed. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Hubiche, JL., Pradet, M. (1999). *Comprender el atletismo su práctica y enseñanza*. Madrid: INDE.
- Mackala, K., (2007). Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New studies in athletics*, 22 (2): 7-16, <<http://www.iaaf.org/development/new-studies-in-athletics>> [Consulta: 12/05/14].
- Martín, P., Ferro, A. (2011). Análisis del rendimiento en competición entre corredores de 100 metros lisos de diferente nivel. *Rycide*, 7 (26): 408-416,

<<http://www.cafyd.com/REVISTA/ojs/index.php/ricyde/article/view/452>>, [Consulta: 03/05/14].

- Martín, R. (1987). Desarrollo de la potencia aeróbica para jóvenes velocistas. *Apunts*, 24: 115-122, <http://www.motricidadhumana.com/Pot_Aerob_Jovenes_Velocistas_rafa_martin_atl_de_p equip_metod_rend_dep_planif_rend.pdf>, [Consulta: 16/05/14].
- Mero, A., Komi, PV., Gregor, RJ. (1992). Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13 (6): 266-274.
- Morante, JC. (1998) La técnica como medio en el proceso de entrenamianiento. *Revista de entrenamiento deportivo (RED)*, 8 (4): 23-27.
- Novacheck, T. (1998). The biomechanics of running. *Gait & posture*, 7(1): 77-95.
- Ramirez, M., Oliveros, G., Cabrera, F., Martín, E. (2005). Los Juegos Olímpicos de la antigüedad, *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 86, <<http://www.efdeportes.com/efd86/jjoo.htm>> [Consulta: 28/04/14].
- Romagnoli, M., Sánchez-Alarcos, J., Arduini, A. (2005). Análisis de la amplitud y frecuencia de paso de carrera a diferentes velocidades en deportistas amateurs. *Sport discuse* N° 60, págs. 21-24.
- Ruis, J. (2005). Metodología ay técnicas de atletismo. España: Ed. Paidotribo.
- Sanchez, C. (2011). Metodología de evaluación de parámetros cinemáticos de la carrera de velocidad por medio de software libre y su contribución a la mejora del rendimiento atlético. *Efdeportes*, N° 64. <<http://www.efdeportes.com/efd63/cienm.htm>> [Consulta: 15/05/14].

ANEXO 1:

INFORME DETALLADO DE LA PRUEBA 12/12/13:

- En la siguiente tabla se exponen los valores del mejor intento de las dos carreras de 60 metros. Como se puede observar, las variables que aparecen son el tiempo y la velocidad obtenidos en cada uno de los cuatro sectores en que se dividía la prueba, así como el tiempo total y la velocidad media total. Por otra parte, está el tiempo realizado en el control de Valladolid del 14 de diciembre de 2013 a modo de comparativa con lo realizado en el test, creemos que podría ser interesante ver las diferencias entre una competición oficial y una medición aislada a modo de cuantificar la influencia de factores externos.

		0-30 m	30-40 m	40-50 m	50-60 m	Total	Competición
Clara	Tiempo (s)	4,559	1,155	1,128	1,105	7,947	7.81
	Velocidad media (Km/h)	23,68	31,16	31,91	32,57	27,18	
Raquel	Tiempo (s)	4,671	1,146	1,13	1,169	8,116	7.91
	Velocidad media (Km/h)	23,12	31,41	31,85	30,79	26,61	
Sandra	Tiempo (s)	4,722	1,179	1,148	1,211	8,26	8.11
	Velocidad media (Km/h)	22,87	30,53	31,35	29,72	26,15	
Carolina	Tiempo (s)	4,754	1,169	1,204	1,241	8,368	8.23
	Velocidad media (Km/h)	22,71	30,79	29,9	29	25,81	

ANEXO 2:

INFORME DETALLADO DE LA PRUEBA DEL 13/02/14:

En esta tabla están reflejados los tiempos y velocidades.

En el caso de Raquel sólo aparece un tiempo en los primeros 30 metros porque hubo un problema en los primeros 20 metros.

Clara al no competir el campeonato autonómico del 15/02/14 he puesto el tiempo del Campeonato de España absoluto del 22/02/14.

Distancia		0-20 m	20-30 m	30-40 m	40-50 m	50-60 m	Total	Competición 15/02/14
Clara	Tiempo (s)	3,478	1,158	1,113	1,161	1,155	8,065	
	Velocidad media (Km/h)	20,70	31,08	32,34	31,00	31,16	26,78	
Distancia		0-30 m						
Raquel	Tiempo (s)	4,788		1,174	1,167	1,195	8,324	7,79
	Velocidad media (Km/h)	22,55		30,66	30,84	30,12	25,94	
Rocío	Tiempo (s)	3,592	1,198	1,17	1,239	1,224	8,423	8,19
	Velocidad media (Km/h)	20,04	30,05	30,76	29,05	29,41	25,644	
Carolina	Tiempo (s)	3,643	1,25	1,186	1,148	1,211	8,438	7,89
	Velocidad media (Km/h)	19,76	28,8	30,35	31,35	29,72	25,59	

En la tabla que se encuentra a continuación se comparan los tiempos totales de las dos pruebas y los mejores tiempos de la temporada de cada atleta.

	Primera prueba 12/12/14	Segunda Prueba 13/02/14	Mejor tiempo
Clara	7,947	8,065	7,76 22/02/14
Raquel	8,116	8,324	7,79 15/02/14
Carolina	8,368	8,438	8,03 01/03/14
Sandra	8,26		7,79 15/02/14
Rocío		8,423	7,88 22/02/14