

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

Curso Académico 2013/2014

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA SALIDA DE VELOCIDAD CON LA TECNOLOGÍA 3D
SPRINT START BIOMECHANICS ANALYSIS WITH 3D TECHNOLOGY

Autor: DANIEL ORTIZ GONZÁLEZ

Tutor: JUAN CARLOS REDONDO CASTÁN

SEPTIEMBRE 2014

VºBº TUTOR

VºBº AUTOR

ÍNDICE

RESUMEN	II
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS.....	III
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.2.- ANÁLISIS TÉCNICO DE LA SALIDA DE VELOCIDAD	2
1.3.- ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO EN 3D	10
2.- OBJETIVOS DEL TRABAJO Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR.....	13
2.1.- OBJETIVOS GENERALES	13
2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2.3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR.....	14
3.- MATERIALES Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	14
4.- RESULTADOS.....	18
5.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	20
6.- FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	27
7. BIBLIOGRAFÍA	29

RESUMEN

El objeto de este trabajo de fin de grado es capturar y analizar un movimiento deportivo con la tecnología de las tres dimensiones (3D). Para demostrar empíricamente los conocimientos adquiridos se presenta este estudio en el cual se valoran las salidas de velocidad de tres sujetos de diferentes niveles: nivel alto; nivel alto pero especialista de una prueba donde la salida de velocidad no es tan determinante (400 metros); y un deportista (triatleta) pero inexperto a la hora de realizar una salida de velocidad. Se analizan la altura del Centro de masas (CM) en la posición de “Listos” y los ángulos de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera en esa posición y en el primer apoyo de carrera, así como la velocidad al salir de los tacos y el tiempo y distancia en lograr el primer apoyo. Se comparan estos resultados con los obtenidos en otros estudios con sujetos de alto nivel y de esta forma son determinados los errores individuales y las diferencias más significativas entre ambos. Finalmente se realiza una valoración con las posibles mejoras que deben introducir para optimizar sus salidas de velocidad.

PALABRAS CLAVE: *Biomecánica, atletismo, salida de velocidad, tecnología 3D, técnica*

ABSTRACT

The purpose of my thesis is the movement analysis of a sport activity using the 3D technology. In order to conduct an empirical demonstration of the acquired knowledge, I have analyzed the sprint starts of three athletes with different levels: of a high level athlete; of a high level athlete but specialized in competitions where the sprint start is not so important (400m sprint) and of an athlete (triathlete), completely unskilled in sprint starts. What I have calculated is the centre of mass (CM) high in the ‘set’ position and the angle measurement of the ankle, knee and hip joints in this position and in the moment of the first contact with the ground. I have also studied the block velocity and the time and distance necessary until the first ground contact. These results have been compared with the ones of high level athletes: in this way it is possible to determinate the individual mistakes and the most significant differences between them. Finally, I have estimated the possible improvements, useful in order to optimize their sprint starts.

KEYWORDS: *Biomechanics, athletics, sprint start, 3D technology, technique*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Secuencia de acción durante la fase de salida de tacos (Hay, 1993).....	4
FIGURA 2. Varilla de calibración de VICON con los ejes x, y, z representados (VICON).	12
FIGURA 3. Modelo cámara T10s con la que se realizó el estudio (VICON).	12
FIGURA 4. Flexión 90º squat. Test RM de Brzycki	14
FIGURA 5. Modelo reconstruido en 3D de 35 marcadores (PlugInGait Full Body) con el que se realizó el estudio.....	16
FIGURA 6. Modelo de 35 marcadores (PlugInGait Full Body) con el que se realizó el estudio (Plano frontal anteroposterior).	17
FIGURA 7. Espacio de grabación con la disposición de las 7 cámaras numeradas y los tacos de salida en la calle 4.	17
FIGURA 8. Espacio de grabación en 3D con la disposición de las 7 cámaras numeradas y el sujeto en los tacos de salida.....	17
FIGURA 9. Posición “Listos” de sujeto A (cadera más retrasada) frente a sujeto B (cadera en verde).....	23

LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS

TABLA 1. VARIABLES CINEMÁTICAS PRINCIPALES ESTUDIADAS EN LA SALIDA DE VELOCIDAD. Elaboración propia a partir de Harland & Steele, 1997; Bezodis, 2009; Jessop, D., 2011.	9
TABLA 2. Resumen de los parámetros de medición de la carrera con sistemas y sensores (Higginson, 2009).	11
TABLA 3. Medidas corporales, fuerza máxima según test RM, edad y marcas personales de los sujetos que han tomado parte del estudio.	15
TABLA 4. Ángulos de la articulación del tobillo con su desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV).	18
TABLA 5. Ángulos de la articulación de la rodilla con su desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV).	18
TABLA 6. Ángulos de la articulación de la cadera con su desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV).	18
TABLA 7. Tiempo de contacto al primer apoyo de los tres sujetos desde su reacción.....	19

<i>TABLA 8. Altura del Centro de masas (CM) de los sujetos en la posición de “listos”.....</i>	<i>19</i>
<i>TABLA 9. Velocidad del Centro de masas (CM) de los sujetos en el momento en el que el pie frontal pierde contacto con el taco.</i>	<i>19</i>
<i>TABLA 10. Distancia del Centro de masas (CM) de los sujetos desde la posición de “listos” hasta el contacto al suelo del primer apoyo.</i>	<i>19</i>
<i>GRÁFICA 2. Evolución de la altura del Centro de masas (CM) durante la fase de salida.....</i>	<i>20</i>
<i>GRÁFICA 1. Evolución de la velocidad horizontal del Centro de masas (CM) durante la fase de salida.</i>	<i>20</i>
<i>TABLA 11. Altura del Centro de masas (CM) en la posición de “listos” de los sujetos A, B y C comparado con los sujetos (sus marcas personales a la derecha) de otros estudios (Harland & Steele, 1997).....</i>	<i>25</i>

1.- INTRODUCCIÓN

La biomecánica es un campo de estudio muy amplio y sobretodo, multidisciplinar. No es un área reservada tan sólo para los entrenadores deportivos o sus atletas. Ésta es usada por múltiples disciplinas en las que se incluyen la biología, la cinesiología, la fisiología del ejercicio, la mecánica, etc.... Y todas entre sí se complementan para obtener los mejores resultados, haciendo posible que los análisis de un fisiólogo del ejercicio puedan ser relevantes y útiles para un biomecánico deportivo o viceversa.

Adrian y Cooper definían en 1995 la biomecánica como *“una rama de la ciencia que permite comprender las interrelaciones entre la estructura y la función del ser vivo con respecto a la cinemática y cinética de movimiento”*.

La biomecánica deportiva es una ciencia que nace de la propia necesidad. Con el paso del tiempo, numerosos acontecimientos deportivos se han dado lugar generando multitud de dudas y preguntas sobre nuestros gestos deportivos: la zancada prodigiosa del fondista Emil Zatopek, la revolución del salto de altura con Dick Fosbury, etc... ¿Cómo determinar cuál es la técnica más eficaz o eficiente para ser el mejor? ¿Cuáles son los factores limitantes de un gesto deportivo concreto? ¿Puede un atleta copiar exactamente los movimientos de otro? Todas estas respuestas que aquí se plantean son las que la biomecánica del ejercicio ha ido contestando desde su aparición, que según la literatura, data de 1887, cuando el matemático alemán Moritz Benedikt pronuncia la palabra “biomecánica” por primera vez.

Muchas veces, alcanzar nuevas técnicas más eficientes revolucionan la práctica del deporte hasta el punto de conseguir cambiar las reglas del mismo. El volteo en natación o la técnica de lanzamiento de jabalina en atletismo son algunos de los ejemplos que podemos encontrarnos. Por lo tanto, observamos como la técnica es un componente muy importante dentro del deporte. Y en otras muchas ocasiones, las nuevas técnicas vienen dadas por los materiales innovadores que van surgiendo gracias a los avances tecnológicos, que de nuevo, pueden llegar a cambiar la reglamentación de un deporte; como ha ocurrido con el taekwondo y su indumentaria, la esgrima y sus sistemas de detección electrónicos, el tenis y sus raquetas más ligeras, etc...

Ante tantos cambios, un entrenador debe estar preparado para poder enseñar a su atleta la técnica que mejor se adapte a sus características y dentro de las normas establecidas en ese momento. Y es aquí de nuevo donde la biomecánica ayuda a asentar

las bases que hagan al entrenador o especialista tomar las decisiones correctas para establecer la mejor técnica a su atleta.

Pero no es aquí donde acaban todos los aspectos relacionados con la mejora de la técnica; ya que una vez decidida la misma, el entrenador todavía se enfrenta al problema de detectar y corregir los errores que el deportista cometa. Y probablemente la mayor dificultad recaiga aquí, en la localización de la causa de ese error. En este aspecto es donde se diferencian a los buenos especialistas, ya que muchos de ellos simplemente intentan corregir el fallo en lugar de la causa del mismo, provocando que el atleta a la larga empeore su técnica y, por lo tanto, sus resultados. Y, ¿cómo puede un entrenador mejorar su habilidad para detectar estos errores? De nuevo aparece la palabra biomecánica, que gracias los conocimientos científicos que aporta, y de manera interdisciplinar, ayuda al entrenador a alcanzar sus propósitos.

El conocimiento que se adquiere puede venir dado por un análisis *cuantitativo* o un análisis *cualitativo* previo. El primero implica la descripción de los movimientos del cuerpo o sus partes en términos numéricos. Tal cuantificación de las características del movimiento ayuda a eliminar las descripciones subjetivas, ya que los datos son obtenidos mediante el uso de instrumentos. El análisis cualitativo intenta describir un movimiento en términos no numéricos. La evaluación del mismo se basa en la habilidad del entrenador para reconocer los momentos críticos de la ejecución o del gesto deportivo. Las conclusiones subjetivas basadas en este tipo de análisis, pueden ser rechazadas o confirmadas por un estudio cuantitativo (Gustavo Ramón Suárez, 2009).

En el presente estudio sobre salidas de velocidad analizadas con la tecnología 3D, aplicamos lo anteriormente dicho. Proporcionar una ayuda de conocimiento al entrenador de atletismo mediante un análisis cinemático cuantitativo a diferentes salidas de velocidad, elaborado con instrumentos sofisticados y analizando aquellas variables más significativas que sirvan a los especialistas determinar los errores principales que se pueden corregir o aquellas técnicas más eficaces (aquellas que consiguen que el atleta recorra una distancia en el menor tiempo posible: movimientos amplios, grandes fuerzas).

1.2.- ANÁLISIS TÉCNICO DE LA SALIDA DE VELOCIDAD

La salida de velocidad o salida de tacos es la primera fase que se lleva a cabo dentro de una carrera de velocidad desde 1928-29 (Bezodis, 2009). La IAAF (Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo) establece que esta primera fase debe realizarse

desde los tacos de salida reglamentarios para aquellas carreras de hasta 400 metros (IAAF OFFICIAL HANDBOOK, 2003). Dentro de esta reglamentación, se dictamina que el juez de salida debe proceder a la ejecución de la misma, una vez que todos los participantes estén preparados, de la siguiente manera:

“A SUS PUESTOS” – En esta consigna, el atleta se sitúa sobre los tacos de salida, con los dedos de las manos apoyados firmemente sobre la pista (por detrás de la línea de salida), con una apertura aproximadamente igual a la anchura de sus hombros y equidistantes del eje del cuerpo. Los pies están en contacto con los dos tacos de salida y la rodilla de la pierna más alejada a la línea de salida está apoyada en la pista (Bergamini, 2011, Morales & Pomares, 2011).

“LISTOS” – Es la segunda fase de la salida, y es la más estudiada por la mayoría de los investigadores. En ella, el atleta levanta la rodilla del suelo y obliga a elevar las caderas y desplazar el centro de gravedad hacia arriba y adelante. Los dos pies quedan completamente apoyados sobre sus respectivos tacos y la línea de los hombros supera ligeramente la línea de salida dejando caer la mayor parte de su peso corporal sobre los brazos, creando un desequilibrio que le ayude a generar mayor velocidad horizontal en el momento de la salida. (Bergamini, 2011, Morales & Pomares, 2011). Baumann (1976) comparó atletas de 100 metros con marcas personales de 10.2-10.6 s, y estableció que la proporción de peso corporal total que soportaban sus manos en esta fase era del 82-73%. Y que cuanto peor era su marca personal, menos peso corporal soportaban sus manos (atletas de 11.6-12.4 soportaban un 67-52% de su peso corporal respectivamente).

“¡YA! / DISPARO” – En esta última fase, la velocidad de reacción del atleta (que no será estudiada en este trabajo), será muy importante ya que hará que este acelere antes o después que otro, independientemente de su nivel posterior corriendo, y por lo tanto, comenzar la carrera con mayor ventaja si su reacción ha sido mucho mejor. No existe un tiempo exacto entre la fase de "listos" y el disparo del juez, por lo que todos los atletas deben estar preparados para reaccionar lo más rápido posible, con especial atención de no realizar una salida falsa anteponiéndose al disparo ($\leq 0'100s$). El atleta reacciona empujando los tacos con las dos piernas simultáneamente y generando su fuerza máxima (aunque se ha demostrado que la pierna delantera reacciona ligeramente más tarde que la pierna más retrasada (Bauman, 1976; Mero et. Al, 1983)), levantando las manos de la pista y lanzando hacia delante el brazo de la pierna adelantada, moviendo enérgicamente los brazos (Bergamini, 2011, Morales & Pomares, 2011). Las manos del atleta dejan la pista aproximadamente 0.15-0.20 s después del disparo de salida (Harland & Steele, 1997).

La siguiente fase que entraría a cabo en la carrera sería la aceleración del atleta una vez generada la fuerza máxima sobre los tacos. Los parámetros cinemáticos que se observan en la zancada del atleta en esta fase son los más cambiantes y dinámicos de toda la carrera. La aceleración del atleta se trata de un movimiento cíclico complejo definido predominantemente por la progresión de la frecuencia y longitud de sus pasos, el tiempo de contacto con el suelo, la fase de vuelo y el centro de gravedad de su cuerpo en el momento de contacto con el suelo (Čoh et al., 2006). Durante la aceleración, el tiempo de contacto tiene que ser lo más breve posible para conseguir un ratio óptimo entre la fase de frenado y la fase de propulsión (Mero & Komi, 1987). Los dos primeros pasos de carrera deben realizarse con el centro de gravedad del cuerpo totalmente por delante de los dos pies cuando entran en contacto con el suelo para minimizar potenciales fuerzas de frenado horizontales (Harland & Steele, 1997). En el estudio de Čoh et al. (2006), se observó como en la fase de aceleración, el tiempo de contacto con el suelo iba disminuyendo, mientras que el tiempo de vuelo iba aumentando progresivamente según avanzaba la carrera.

El propósito de la salida de tacos es facilitar al atleta un desplazamiento eficaz en la dirección de la carrera. Los principales objetivos del atleta en esta fase que aquí estudiamos, fueron resumidos por Tellez & Doolittle en 1984:

- Para establecer una posición equilibrada en los tacos de salida.
- Para obtener una posición del Centro de Masas del cuerpo lo más alto y ligeramente hacia delante de la base de apoyo que se pueda.
- Para aplicar una fuerza contra los tacos de salida cuya línea de acción pase por las articulaciones de tobillo, rodilla y cadera, el centro del tronco y la cabeza.
- Para aplicar esta fuerza contra los tacos de salida y a través del cuerpo en un ángulo aproximado de 45°.
- Para abandonar los tacos de salida con la mayor velocidad posible.



FIGURA 1. Secuencia de acción durante la fase de salida de tacos (Hay, 1993).

Cuanta más corta sea la distancia de la carrera de velocidad, más determinante es cada fase que en ella tiene lugar (salida de tacos - aceleración - velocidad máxima - mantenimiento de la velocidad máxima - desaceleración) (Tellez & Doolittle (1984)). La salida de tacos, al formar parte de la primera fase de la carrera es aún más determinante a pesar de la brevedad de la misma, ya que una mala salida condiciona la aceleración resultante del atleta y por tanto una adquisición de la velocidad máxima más tardía. Como consecuencia, se obtendrá un resultado mucho peor al que podría haber realizado. Tellez & Doolittle (1984) cuantificaron como las fases de la salida de tacos y su aceleración posterior eran el 64% del resultado total de una carrera de 100 metros.

Por ello, una salida de tacos eficiente es uno de los factores más importantes y a tener en cuenta. En la final de 100 metros de los pasados JJOO de Londres 2012, ganar una medalla o no estuvo separado por apenas 0,01 segundos (s); y en los JJOO de Atenas 2004, los cuatro primeros clasificados de la final de 100 metros apenas estuvieron separados por 0,04s (Bezodis, 2009).

Por lo tanto, estamos observando y comprendiendo cómo una salida de tacos tiene gran importancia en el rendimiento y resultado final de un deportista. Es por ello, que esta fase de la carrera ha sido estudiada en numerosas ocasiones y desde los últimos 75 años (e.j. Dickinson, 1934).

El rendimiento de un atleta sobre unos tacos de salida es un problema motor que debe entrenarse, ya que requiere al corredor, en términos de espacio y tiempo, pasar de un movimiento acíclico a un movimiento cíclico lo más rápido posible (Čoh et al., 2006).

El modelo biomecánico ideal ha sido muy estudiado y buscado a lo largo del tiempo, sin embargo, aparece mucha heterogeneidad en los resultados de los estudios. La mayoría de los investigadores que estudiaron la salida de velocidad recogían la información de la posición "listos" del atleta, aunque todos concluían que la eficacia de una salida de velocidad dependía principalmente de la posición del atleta en los tacos, del centro de gravedad del cuerpo en la posición de "listos", el tiempo de reacción y la velocidad en los tacos seguida de su aceleración (Tellez & Doolittle, 1984; Mero, 1988; Harland & Steele, 1997). Para estudiar todos estos aspectos utilizaban diferentes variables cinemáticas o cinéticas para medir el rendimiento de una salida de velocidad. Una de las variables cinemáticas más utilizadas en todos los estudios ha sido la velocidad de salida de los tacos (la velocidad horizontal del Centro de masas (CM) del cuerpo en el instante de la salida del taco) (Mero y Komi, 1990; Mendoza & Schöllhorn, 1993; Mero et al., 2006). Sin embargo, tomar como única referencia esta variable sería un error, ya que la velocidad viene dada

directamente por la producción de impulso horizontal. Y el impulso es igual al producto de la fuerza por el tiempo ($I = F \times t$), y en el caso de que la velocidad en los tacos se viera aumentada, podría ser debido a un aumento de la fuerza neta de propulsión generada, o a un aumento de la duración del empuje. Si aumentamos la velocidad en los tacos de salida y es debido a un aumento del tiempo en los mismos, el resultado se verá afectado negativamente ya que no se realiza la carrera en el menor tiempo posible (Bezodis, 2009). Por lo tanto, con el objeto de ampliar la información, se han buscado otras variables que completen mejor los resultados; una de ellas es la distancia específica (Mero et al., 1983; Mendoza & Schöllhorn, 1993; Mero et al., 2006), pero el problema era que las medidas variaban de entre 2,3 metros a 45 metros. Otra variable utilizada fue la velocidad en una distancia específica (Salo & Bezodis, 2006). Dependiendo del objeto de estudio, es de suma importancia escoger las variables específicas para cuantificar el rendimiento de la salida, y es por ello, que algunos investigadores se vieron obligados a incorporar aún más variables temporales para complementar la información. Baumann (1976), Guissard et al. (1992) incorporaron la aceleración de tacos a sus estudios, mientras que otros investigadores hablaban de la potencia pico y potencia media que los atletas generan en los tacos de salida (Mero et al., 1983; Mendoza y Schöllhorn, 1993).

Sin embargo, a pesar de todas las numerosas variables vistas hasta el momento, la mayoría de los estudios cinemáticos de la salida de tacos analizan como parámetro principal los ángulos de las articulaciones principales que actúan en la salida de velocidad (Borzov, 1978; Mero et al. 1983, 1988, 1990; Harland & Steele, 1997; Čoh et al. 1998). Estos datos eran recogidos para identificar las posiciones que realizaban los velocistas más rápidos y así intentar entender las medidas que se aproximaban más a la salida de tacos “ideal”.

Borzov (1978) fue uno de los primeros investigadores que intentó buscar la posición óptima en la fase “listos” con una muestra de atletas de élite. Sugirió que los mejores velocistas tienden a exhibir ángulos de flexión similares en las articulaciones de sus extremidades inferiores (tobillo, rodilla, cadera), y cuándo la antropometría es diferente entre los atletas, lo que tienden a hacer para igualar esos ángulos de sus articulaciones es separar más los tacos entre sí o que haya más distancia entre el taco delantero y la línea de salida. Borzov (1978) cita valores óptimos medios para el ángulo de la cadera de la pierna frontal de 55° , de 89° para el ángulo de la cadera de la pierna retrasada, 14° para la orientación del tronco por debajo de la horizontal, un ángulo para la rodilla de la pierna frontal de 100° , y un ángulo de la rodilla retrasada de 129° .

Sin embargo, Atwater (1982) recoge datos de ocho atletas americanos de nivel nacional y encuentra que los ángulos óptimos para ejecutar la salida son: ángulo de la

inclinación del tronco en un rango de 9° a 34° por debajo de la horizontal y los ángulos de la rodilla entre 79° y 112° .

Un año más tarde, Mero et al. (1983) analizó la salida de 25 velocistas, cuyas marcas personales variaban desde 10.2 s hasta 11.8 s. Dividió a la muestra en tres sub grupos según la velocidad de su CM a los 2.5 m. En el grupo más rápido ($n=8$) se observó que los ángulos para ambas articulaciones de la cadera en la posición de “listos” fueron los más pequeños (41° para la pierna frontal y 80° para la pierna retrasada). Según otras pruebas realizadas, este grupo era el que presentaba un mayor porcentaje de fibras de contracción rápida (tipo II), y con un nivel mayor en los tests de fuerza y potencia (sentadilla y salto en contra-movimiento). La conclusión a la que llegaron los autores con estos datos fue que las diferencias entre los ángulos de las articulaciones en la posición de “listos” pueden deberse a las diferencias de fuerza, siendo los velocistas más fuertes los que son capaces de adoptar ángulos de las articulaciones más agudos y extender la articulación en un rango mayor. En cuanto a los datos de los ángulos de la rodilla de ambas piernas (111° para la pierna frontal y 134° para la pierna más retrasada) y el ángulo de inclinación del tronco (-29°), no se encontraron diferencias significativas entre ambos sub grupos.

Čoh et al. (1998) recogió información de 23 velocistas (hombres, $n=13$, mejor marca personal 10.73 s; mujeres, $n=11$, mejor marca personal 11.97) del equipo nacional de Eslovenia. En este estudio no hubieron grandes correlaciones entre cualquiera de los ángulos de articulaciones analizados en la posición de “listos” y ninguna de las medidas óptimas de rendimiento. Esto pone de manifiesto una vez más lo difícil que es cuantificar una posición estándar óptima o ideal de la salida de tacos, ya que existe gran variedad de posiciones, independientemente de los niveles de rendimiento alcanzados.

Milanese et al. (2014) estudiaron los efectos de tres ángulos diferentes para la rodilla de la pierna retrasada en la fase de “listos” en sujetos de nivel medio (hombres mejores marcas en 100 m de 12.0 ± 0.1 s, y en mujeres marcas personales de 13.1 ± 0.9 s). Los resultados mostraron como la velocidad horizontal en la salida de los tacos fue significativamente mejor con los 90° , seguido de 115° y por último, 135° ($p < 0.05$ y $p < 0.001$ respectivamente). Durante la fase de empuje de los tacos, el porcentaje de tiempo de empuje de la pierna retrasada es significativamente mejor a 90° , que a 135° ($p < 0.01$). No se encontraron diferencias significativas en el resto de parámetros analizados (tiempo de reacción, velocidad media del centro de masas, fuerza de impulso), lo que hace entrever que la velocidad horizontal es la variable cinemática más afectada por el ángulo de la rodilla de la pierna retrasada durante la salida de velocidad.

Harland & Steele (1997) realizaron una revisión de los aspectos biomecánicos de la salida de velocidad. Identificaron 17 trabajos de investigación que daban datos relacionados

con la posición en los tacos de salida y los ángulos de las articulaciones en la posición de “listos”. Hablaba de los ángulos de articulaciones de los principales estudios de la salida de velocidad (parte de su información aparece en la tabla 1). Analiza también los datos de la posición del centro de gravedad: un estudio de Baumann (1976) establece que la posición del centro de gravedad del cuerpo total se encuentra más alejado de la línea de salida según peor sea el nivel del atleta (0.16m para velocistas rápidos, 0.20m para velocistas medios y 0.27m para velocistas de nivel bajo). Otro estudio de Atwater, (1982) aporta datos de velocistas de clase mundial, en los que la posición de sus centros de gravedad varían a una distancia de la línea de salida de entre 0.12 a 0.20m, y una altura del mismo en la posición de “listos” de entre 0.48 a 0.66 m. Harland & Steele (1997) afirman que estos resultados tan variables en atletas de élite sobre sus posiciones de ajuste, con una aparente no incidencia o efecto en sus rendimientos, abre la posibilidad de que algunos sean capaces de compensar una pobre técnica de salida con unas habilidades físicas excepcionales. Cuando la pierna del atleta pierde contacto con el taco adelantado, se han reportado datos de la alineación del tronco de aproximadamente 45°. Aunque como dato curioso es el dato obtenido de un estudio biomecánico realizado a Ben Johnson (Francis C., 1991), en el que hablan de su técnica de salida “salto”. Ya que gracias a su gran potencia en sus extensores de cadera era capaz de desarrollar una gran aceleración con un alineamiento de su tronco de 65° sobre la horizontal. Harland & Steele (1997) revisan también algunos estudios sobre la aceleración del atleta (del centro de gravedad de su cuerpo) en el momento de salir de los tacos, obteniendo valores (de velocistas muy experimentados: marcas personales entre 10.2 – 10.8 s en 100 m) de entre 8.68 a 11.77 m/seg². En cuanto a la velocidad del atleta (del centro de gravedad de su cuerpo) en el momento de salir de los tacos, revisan estudios que trabajan con velocistas también de alto nivel (marcas personales de entre 10.02 a 10.79 s en 100 m) y reportan valores con un rango de entre 3.46 a 3.94 m/seg. Mientras que velocistas menos experimentados (marcas personales entre 11.5 – 11.85 seg en los 100 m) establecen velocidades de entre 2.94 – 2.95 m/seg.

TABLA 1. VARIABLES CINEMÁTICAS PRINCIPALES ESTUDIADAS EN LA SALIDA DE VELOCIDAD. Elaboración propia a partir de Harland & Steele, 1997; Bezodis, 2009; Jessop, D., 2011.

ESTUDIO	Ángulo (°)rodilla pierna frontal	Ángulo (°) rodilla pierna retrasada	Ángulo (°) cadera pierna frontal	Ángulo (°) cadera pierna retrasada	Ángulo tronco bajo la horizontal (°)	Aceleración (m/seg ²)	Velocidad (m/seg)
Baumann (1976)						8.68 (*) 7.55 (***)	3.6± 0.2 (*) 3.10±0.15(**) 2.9± 0.2 (***)
Borzov (1980)	100 (92–105)	129 (115 - 138)	19-23	8-17	-14 (-8 a - 22)		
Atwater (1982)	89 (56-112)	118 (90-154)			-23 (-9 a - 34)		
Mero et al. (1983)	111	134	41	80	-29	8.68	3.22
Tellez & Doolittle (1984)	90	135					
Mero et al. (1988)	96	126			-21	10.12	3.46± 0.32
Mero & Komi (1990)	99	136	43± 5	80± 11	-21	10.03	3.42± 0.38
Walker (1980)	90	120					
Moore (1980)	90	120					
Coh et al. (1998)	93.75± 8.26	112.72± 13.31	44.78± 6.15	24.91± 4.27	-20.05± 8.60		3.20± 0.19
Milanese(2004)	90						

(*) Velocidad/ Aceleración de salida de los tacos del subgrupo 1 (marcas personales 10.35± 0.12s). (**) Velocidad de salida de los tacos del subgrupo 2 (marcas personales 11.11± 0.16s). (***) Velocidad/ Aceleración de salida de los tacos del subgrupo 3 (marcas personales 11.85± 0.24s).

Toda esta amplia revisión bibliográfica hace ver cómo el estudio cinemático de la posición de “Listos” presenta grandes desviaciones estándar, incluso trabajando con grupos de velocistas de nivel internacional. Sin embargo, se pueden establecer como ángulos de articulaciones óptimos para una salida de velocidad eficaz: 90° para la rodilla de la pierna frontal, y de 120 a 130° para la rodilla de la pierna más retrasada (Harland & Steele, 1997). Utilizaremos todos los datos aquí referidos para poder valorar y cuantificar de una forma más rigurosa y eficaz las técnicas de salida de velocidad de los sujetos analizados en el presente estudio, y poder determinar y corregir los errores técnicos que realicen.

1.3.- ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO EN 3D

Actualmente existen multitud de tecnologías disponibles con las que cuantificar el movimiento de los deportistas de élite o de quienes requieran sus servicios, ya que la demanda del uso de tecnologías para el estudio del movimiento humano va en aumento gracias al auge del deporte en la sociedad. Aumenta el deporte de rendimiento/élite, pero sobretodo aumenta el deporte amateur o popular; quiénes a pesar de estar a un nivel inferior o que realizan una práctica más ligera, no quieren quedarse atrás en cuanto a los últimos avances tecnológicos en calzado, ropa más ergonómica, análisis de pisadas, materiales mucho más avanzados, etc... Y por lo tanto, los investigadores también necesitan aumentar su capacidad de análisis ante tanta demanda. Para ello, a lo largo de la historia se han inventado sistemas de medición que permiten a los investigadores lograr sus propósitos: investigar, cuantificar, entender y, lo más importante, avanzar hacia nuevas metas.

El presente trabajo tiene como finalidad principal comprender y utilizar una tecnología de gran ayuda para la investigación hoy en día: la tecnología 3D. Para entender de donde viene esta tecnología, muestro en la siguiente tabla (TABLA 2) los sistemas de medición existentes para cuantificar parámetros de carrera según Higginson (2009).

TABLA 2. Resumen de los parámetros de medición de la carrera con sistemas y sensores (Higginson, 2009).

SISTEMA / SENSOR	PARÁMETROS QUE MIDE
Motion analysis systems (sistemas de análisis del movimiento)	Ej. 3D - Posición y orientación de segmentos, velocidades lineales y angulares, aceleración.
Plataformas de fuerza	Fuerza de reacción con el suelo, centro de presión, momento articular, potencia.
Sensores de presión	Distribución de la presión, fuerza vertical, parámetros espacio-temporales.
EMG (Electromiografía)	Activación muscular y patrones de sincronización, fatiga muscular.
Acelerómetros	Aceleración y orientación de segmentos. Parámetros espacio-temporales.
Electrogoniómetros	Ángulos relativos de las articulaciones.
Giroscopios	Orientación de segmentos, velocidad angular y aceleración.

Como se observa en la TABLA 2, la tecnología 3D se engloba dentro del sistema de motion analysis o análisis del movimiento. Es el método más común para recoger información sobre posición y orientación del cuerpo en 2D o 3D ya que permite obtener datos de numerosas variables cinemáticas con instrumentos bastante accesibles.

Se trata de una tecnología de excepcional exactitud de la que obtienes datos muy valiosos gracias a su rigurosidad. No existe una técnica mejor para medir y estudiar movimientos complejos del cuerpo humano, ya que graba en los tres ejes del movimiento: x, y, z. La tecnología 3D no es sólo utilizada para el ámbito deportivo; la encontramos en la animación de la mano de videojuegos o películas en 3D, donde analizan los movimientos naturales de los jugadores o actores para revivirlos lo más real posible en sus juegos o cines; en la rehabilitación, con el diseño y fabricación de prótesis, prevención de lesiones...; en la medicina, para reconstrucción de ligamentos, etc...

Dada la gran demanda de utilización de esta tecnología, existen bastantes empresas que comercializan esta técnica, como *Vicon®* o *Motion Analysis®*. En el presente estudio trabajamos con el material de *Vicon®*, que disponen de equipos con cámaras de video de alta velocidad (y no videocámaras comerciales), aptas para registrar movimientos rápidos de forma muy precisa (pueden grabar hasta 1000Hz).

Pero, ¿cómo captar un movimiento en 3D? Es posible reconstruir una imagen con dos cámaras, pero obviamente, cuántas más cámaras estén grabando, aparecerán menos errores y problemas. El sujeto que será grabado tiene en los puntos de referencia que nosotros deseemos (según el modelo que queramos utilizar: si queremos grabar el cuerpo

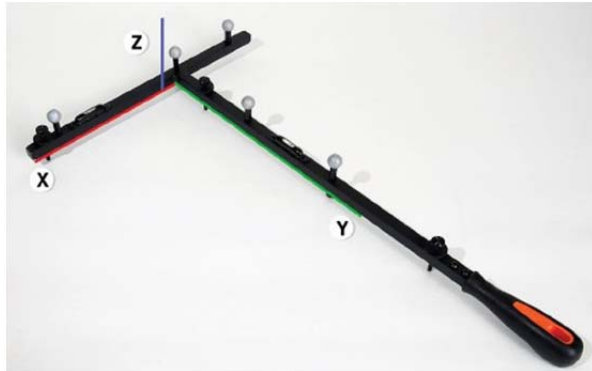


FIGURA 2. Varilla de calibración de VICON con los ejes x, y, z representados (VICON).

entero, si sólo nos interesa la información de una articulación, etc...) unos marcadores pasivos de pequeño tamaño que reflejan la luz infrarroja que emiten los anillos LED de las cámaras de alta velocidad. Pero para que las cámaras sepan donde están esos marcadores que están reconociendo, primero debemos calibrar el espacio donde vamos a proceder a la grabación. Para ello, utilizaremos una varilla de calibración (FIGURA 2), la cual tiene unos marcadores separados por distancias que el software

conoce y que establecerá el punto $x=0$, $y=0$, $z=0$ del espacio, el origen de los ejes. Una vez calibrado el espacio, se debe calibrar al sujeto para que el sistema también reconozca lo que va a medir y cuantificar. Para ello se realiza una grabación del sujeto estática, para que el sistema reconstruya y reconozca los segmentos corporales según los marcadores pasivos que visualiza. Una vez que el sistema tiene toda la información necesaria, procedemos a la grabación dinámica del sujeto, lo que es decir, la grabación del movimiento.

¿Cómo funciona esta grabación? Como hemos dicho anteriormente, las cámaras no son videocámaras comerciales, sino que son específicas para su uso en esta tecnología (FIGURA 3). Disponen de unos anillos LED que rodean la lente de la cámara y que emiten una luz infrarroja que impacta contra los marcadores pasivos del sujeto y, esa luz, una vez que impacta en el marcador, vuelve de nuevo a la cámara, diciéndole en qué punto exacto del espacio calibrado se encuentra ese marcador que ha reflejado. Las cámaras tienen incorporado un pequeño procesador, que les permite recoger esa información y enviarla en 2D al computador central, para que el procesador del equipo informático realice la reconstrucción tridimensional y podamos ver, en vivo, el movimiento. Pero para que la cámara reconozca ese marcador y pueda enviar información fiable al



FIGURA 3. Modelo cámara T10s con la que se realizó el estudio (VICON).

procesador, se necesita que, al menos, dos cámaras visualicen el mismo marcador. Por ello, la organización espacial de las cámaras en el espacio de grabación es muy importante para que los datos sean lo más rigurosos posibles. Deben situarse al menos dos o tres metros del área donde se realizará el movimiento, y posicionadas de tal forma que evite que el propio sujeto tape algún marcador.

Cómo se ha descrito, toda esta información que recogen las cámaras se envían al procesador. Primero, el hardware de Vicon® sincroniza las imágenes en 2D que recibe de las cámaras y es quién envía al procesador del ordenador la información (Software utilizado en este estudio: Nexus® de Vicon®, versión 1.8.3), quien basándose en la geometría de la sala y la posición de las cámaras en la sala, reconstruye gracias a la trigonometría las imágenes en 3D.

Para que la información sea lo más completa posible, se le pueden incorporar al hardware otros sistemas de medición (ya vistos en la TABLA 2), como plataformas de fuerza para ver las fuerzas de apoyo, EMG para tener datos de la actividad muscular, cámara de video para sobreponer imágenes reales con la imagen 3D, etc... Cuanta más cantidad de datos objetivos se obtengan, mejor se podrá valorar al sujeto y ayudarlo a mejorar su rendimiento, prevenir futuras lesiones, compararlo con sujetos de más alto nivel...

2.- OBJETIVOS DEL TRABAJO Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR

2.1.- OBJETIVOS GENERALES

- ✓ Aplicar los conocimientos adquiridos sobre el uso de la tecnología 3D a un estudio empírico sobre la salida de velocidad.
- ✓ Realizar una grabación en 3D y ser capaz de analizar los datos obtenidos.

2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar y cuantificar los parámetros cinemáticos más importantes que se dan en una salida de velocidad mediante una revisión bibliográfica.
- ✓ Hallar los errores técnicos de los sujetos del estudio según los parámetros cinemáticos de referencia.
- ✓ Comparar los parámetros cinemáticos de los sujetos y hallar las diferencias más significativas entre ellos.

2.3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

- ✓ Aplicar los fundamentos científicos de la motricidad humana a la mejora de la técnica y rendimiento del deportista.
- ✓ Seleccionar y saber utilizar los instrumentos, herramientas y equipamientos adecuados para cada tipo de persona y de actividad, identificando críticamente y en equipo multidisciplinar el marco adecuado para las mismas.
- ✓ Interpretar resultados y controlar variables cinemáticas utilizando diferentes métodos y técnicas instrumentales de medición y aplicarlas en sus futuras tareas profesionales en diferentes grupos de población: salud, rendimiento deportivo...
- ✓ Comprender la literatura científica del ámbito de la actividad física y del deporte.
- ✓ Saber aplicar las tecnologías de la información y comunicación al ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- ✓ Ser capaz de reunir e interpretar datos relevantes para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole científica.
- ✓ Ser capaz de transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.
- ✓ Desarrollar habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

3.- MATERIALES Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Participantes

Tres deportistas entrenados formaron parte del estudio (tres hombres de 25 ± 3.05 años). El sujeto A, considerado como el sujeto de nivel alto, es especialista en 110m vallas (internacional con España en categorías menores); el sujeto B, considerado como sujeto de nivel alto, pero especializado en otra prueba donde la salida de velocidad no es tan determinante: especialista en 400m (finalista campeonatos de España) y el sujeto C, considerado como el sujeto inexperto, es un triatleta entrenado (7º en los pasados Campeonatos de Castilla y León). Todos ellos participaron voluntariamente en el estudio y fueron previamente informados del objeto del estudio. En la TABLA 3 se muestran diferentes datos antropométricos de los sujetos, observando cómo



FIGURA 4. Flexión 90° squat. Test RM de Brzycki

en la talla y peso entre el sujeto A y C hay poca variación, mientras que las del sujeto B son ligeramente superiores (>5-6 cm y >10 kg). Las diferencias en la longitud de la pierna, la palanca principal que actúa en la salida, son bastante más significativas (hasta 10cm entre el sujeto B y C y hasta 7 cm entre el sujeto B y A). Se les elaboró un test de fuerza máxima del tren inferior (squat, hasta 90°, FIGURA 4) mediante el cálculo de RM (1 repetición máxima) de Brzycki (Do Nascimento et al., 2007), y así conseguir un parámetro más de medición y obtener mayor información de los sujetos, ya que una óptima salida de velocidad está directamente relacionada con la generación de fuerza máxima sobre los tacos de salida y, posteriormente, con la generación de fuerza explosiva para alcanzar una mayor aceleración (Aerenhouts et al., 2012)

TABLA 3. Medidas corporales, fuerza máxima según test RM, edad y marcas personales de los sujetos que han tomado parte del estudio.

	TALLA (cm)	PESO (kg)	LONGITUD PIERNA (cm)	FMáx (kg)	EDAD	MARCAS PERSONALES (seg)
SUJETO A	177	70	92	229,2	28	11.01 (100 m, 2008)
SUJETO B	182	81	99	219,2	22	11.38 (100 m, 2011) 50.32 (400 m, 2012)
SUJETO C	176	68	89	220,2	24	

Materiales

Para el presente estudio se utilizaron siete cámaras T-Series T10s con tecnología 3D (FIGURA 3) de la empresa VICON® con sus respectivos trípodes, capaces de grabar a 1000 frames por segundo, aunque en este caso realizamos las grabaciones a una velocidad de 100 frames por segundo, ya que así nos aportaba ya suficiente información. Así mismo, teníamos el hardware de VICON® que sincroniza la información en el procesador del ordenador y la varilla de calibración con la que calibrar el espacio (FIGURA 2). Para la captura y análisis de las imágenes se utilizaron el software NEXUS VICON® (grabación y reconstrucción tridimensional del sujeto) y POLYGON VICON® (análisis de múltiples variables de las capturas). Para la ejecución de la salida de velocidad se utilizó un taco de salidas de la marca MONDO®, homologado por la IAAF. El espacio de grabación se realizó en el Centro Especializado de Alto Rendimiento Deportivo (C.E.A.R.D.) de León, España (perteneciente al Consejo Superior de Deportes), en la pista de tartán de 110 m de la que dispone. Al no haber viento y tener una temperatura ambiente agradable por ser una instalación cubierta, los resultados no se vieron afectados por condiciones meteorológicas.

Metodología

El modelo de grabación utilizado fue un modelo de cuerpo completo (PlugInGait Full Body) compuesto por 35 marcadores reflectantes de 12,5 mm repartidos por todas las articulaciones principales (FIGURA 5). Los participantes realizaron un calentamiento general previo de 20 minutos, cada uno según su rutina, y realizaron entre 3 y 4 salidas de tacos previas (5-10 metros), de prueba, para ajustar correctamente la posición de los pies en los tacos. Para el estudio, cada sujeto realizó dos salidas con zapatillas de clavos, con una recuperación aproximada de unos 10 minutos (recuperación completa). Siendo la salida mejor ejecutada la que posteriormente sería objeto del estudio (aquella que no pierde marcadores, que el sujeto ejecuta la salida sin contratiempos...). A parte de ejecutar la salida de tacos, como también se querían comparar parámetros que afecten a los primeros pasos de carrera, los sujetos deben acelerar a máxima velocidad hasta que sobrepasan la última videocámara, a unos 8-9 m de los tacos de salida. El orden de ejecución de las salidas fue en primer lugar el sujeto inexperto (Sujeto C), el sujeto A y el sujeto B, respectivamente. El sujeto C fue el primero en correr, ya que de esta forma los resultados eran más reales porque no estaba influenciado por cómo habían ejecutado las salidas de velocidad los otros dos sujetos (expertos). La posición de los deportistas sobre los tacos era libre (la que utilizan en entrenamientos – competiciones), al igual que la distancia entre los tacos y su altura, ya que cada uno debía ejecutar su propia técnica de salida más cómoda. La única norma existente era que las manos no debían de sobrepasar la línea de salida y que una vez iniciada la carrera, debían correr por su calle (como la reglamentación oficial dice (IAAF, 2003)). Los comandos de salida se pronuncian de viva voz según las normas IAAF (2003): “A sus puestos”, “listos”, “¡Ya!”. Siendo “¡Ya!” el momento en el que el sujeto iniciaba la salida.

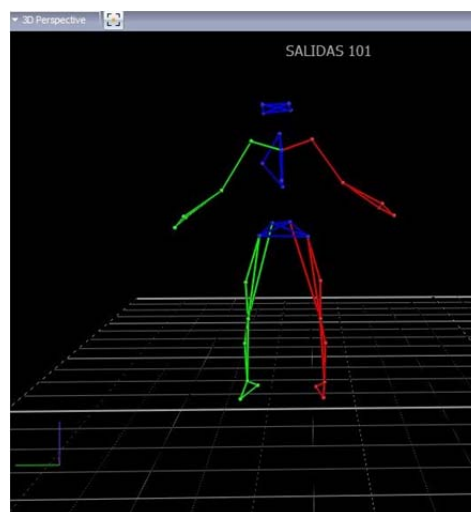


FIGURA 5. Modelo reconstruido en 3D de 35 marcadores (PlugInGait Full Body) con el que se realizó el estudio.



FIGURA 6. Modelo de 35 marcadores (PlugInGait Full Body) con el que se realizó el estudio (Plano frontal anteroposterior).

La disposición de las 7 cámaras (FIGURA 7 y FIGURA 8) fue ajustada previamente, de forma que nos asegurábamos que cada marcador era visualizado al menos por dos videocámaras.



FIGURA 7. Espacio de grabación con la disposición de las 7 cámaras numeradas y los tacos de salida en la calle 4

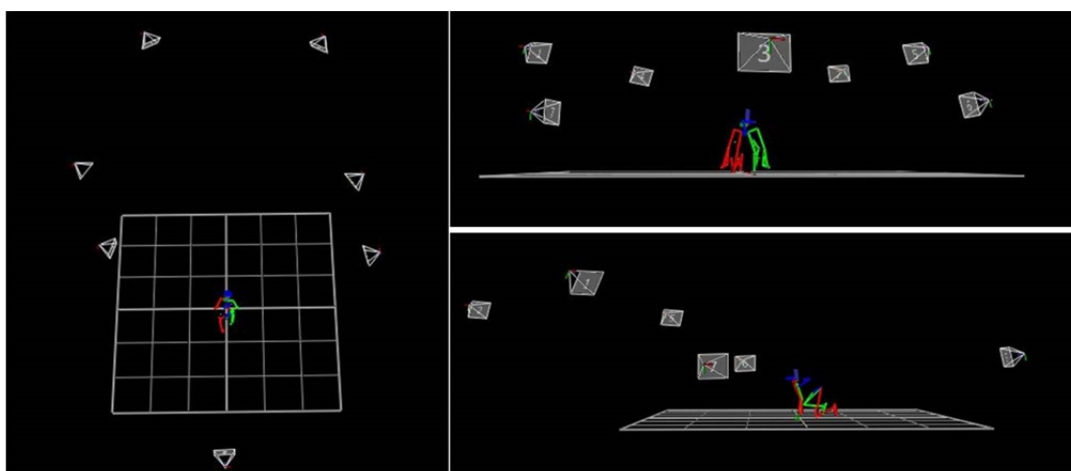


FIGURA 8. Espacio de grabación en 3D con la disposición de las 7 cámaras numeradas y el sujeto en los tacos de salida.

4.- RESULTADOS

Como se ha dicho en la introducción, la mayoría de los estudios cinemáticos de la salida de velocidad analizan los ángulos de las articulaciones principales (rodilla y cadera) que actúan (Borzov, 1978; Mero et al. 1983, 1988, 1990; Harland & Steele, 1997; Čoh et al. 1998). En este caso, se han analizado los ángulos de las tres articulaciones principales: tobillo (TABLA 4), rodilla (TABLA 5) y cadera (TABLA 6). Se han tomado los ángulos en posición de “Listos” (ángulo promedio debido a la variación del mismo en la posición de “Listos”) de ambas piernas: frontal (pierna izquierda para los sujetos A y C y pierna derecha para el sujeto B) y retrasada (pierna derecha para los sujetos A y C y pierna izquierda para el sujeto B), así como los ángulos de las tres articulaciones de la pierna retrasada (la que realiza el primer contacto) en el primer apoyo de carrera.

TABLA 4. Ángulos de la articulación del tobillo con su desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV).

	TOBILLO						1º Apoyo
	frontal			retrasada			
	ÁNGULO (Promedio)	DS	CV	ÁNGULO (promedio)	DS	CV	
SUJETO A	16.26	±1.57	9.66	32.16	±3.22	10.02	14.8
SUJETO B	2.81	±0.78	27.76	12.62	±0.93	7.39	22.5
SUJETO C	0.65	±0.60	92.57	0.82	±3.32	406.36	0.31

TABLA 5. Ángulos de la articulación de la rodilla con su desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV).

	RODILLA						1º Apoyo
	frontal			retrasada			
	ÁNGULO (°) (Promedio)	DS	CV	ÁNGULO (°) (promedio)	DS	CV	
SUJETO A	73.24	±2.06	2.81	143.26	±1.66	1.16	132
SUJETO B	81.88	±1.83	2.23	126.46	±2.11	3.32	129.5
SUJETO C	80.82	±4.78	5.91	109.84	±3.69	5.27	124.5

TABLA 6. Ángulos de la articulación de la cadera con su desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV).

	CADERA						1º Apoyo
	frontal			retrasada			
	ÁNGULO (°) (Promedio)	DS	CV	ÁNGULO (°) (promedio)	DS	CV	
SUJETO A	105.06	±0.26	0.24	72.36	±0.33	0.46	25.4
SUJETO B	97.52	±0.46	0.47	76.32	±0.32	0.42	53.8
SUJETO C	84.25	±1.97	2.33	65.91	±0.92	1.40	64.4

El siguiente parámetro analizado es el tiempo que tardan los sujetos desde la salida hasta el primer apoyo (desde que el pie más retrasado inicia a impulsarse para despegar del taco hasta que entra en contacto con el suelo (primer apoyo)). No podemos calcular el tiempo desde que reaccionan ya que no fue grabado (sería un dato más completo ya que el resultado mostraría la influencia de la capacidad de reacción de cada atleta). Aún así, en la siguiente tabla (TABLA 7) se pueden observar los tiempos que tardaron los tres sujetos en esta acción.

	Tiempo primer apoyo (s)
SUJETO A	0.468
SUJETO B	0.421
SUJETO C	0.517

TABLA 7. Tiempo de contacto al primer apoyo de los tres sujetos desde su reacción.

Uno de los aspectos que más importancia tiene la carrera de velocidad es cómo se traslada el Centro de masas (CM) del corredor. Ya que se necesita la menor ondulación posible del mismo para que la carrera sea lo más eficaz posible. Por lo que un estudio del mismo nos ayuda a entender cómo de eficaz se traslada un atleta. En el presente estudio hemos analizado la altura del CM (TABLA 8), la velocidad del CM (TABLA 9), y distancia del CM hasta el primer apoyo (TABLA 10) de los tres sujetos. Los datos obtenidos de la velocidad del CM son recogidos en el momento de salida del atleta del taco de salida (cuando el pie del taco frontal despegar del mismo (Mero, 1988)). La altura del CM del sujeto fue tomada en la posición de listos y la distancia del CM se midió desde la posición de “listos” hasta el primer apoyo. También ha sido recogida la evolución de la velocidad, aceleración y altura del CM durante toda la fase de salida (GRÁFICA 1 y GRÁFICA 2).

	Altura CM (cm)
SUJETO A	54,8
SUJETO B	50,4
SUJETO C	52,2

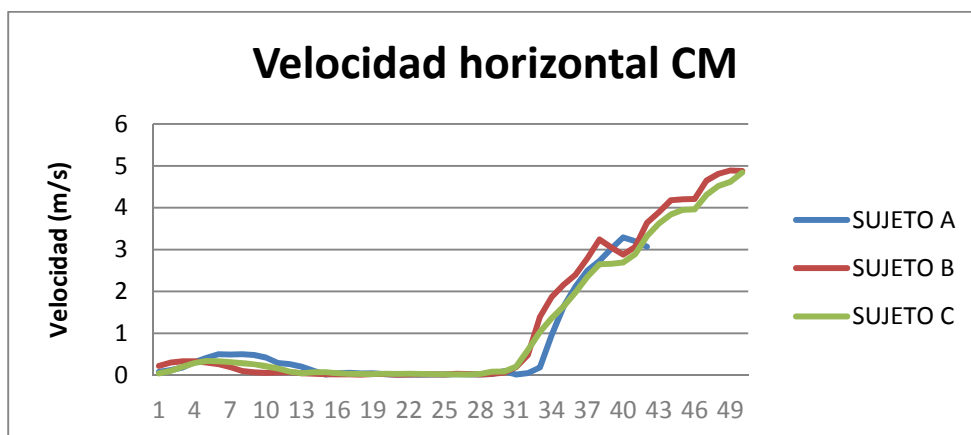
TABLA 8. Altura del Centro de masas (CM) de los sujetos en la posición de “listos”.

	Velocidad CM (m/s)
SUJETO A	3.29
SUJETO B	3.2
SUJETO C	2.69

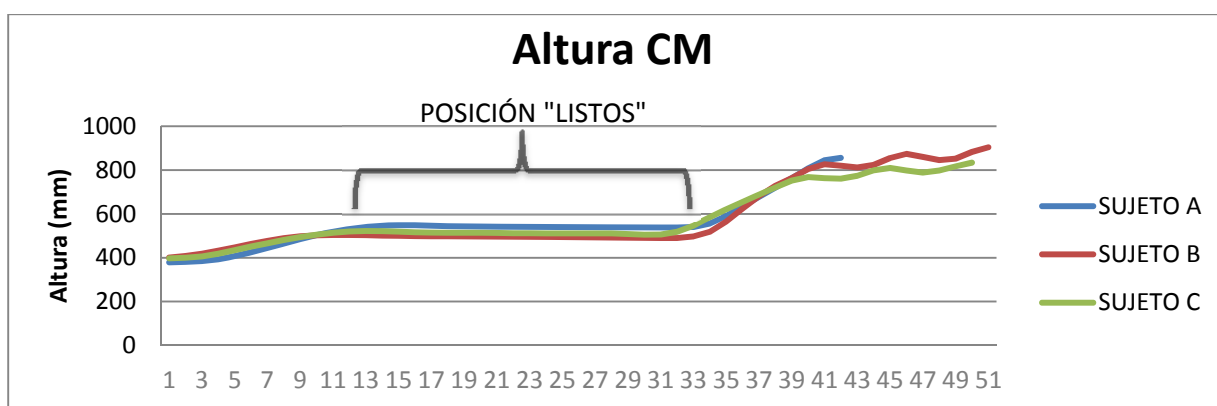
TABLA 9. Velocidad del Centro de masas (CM) de los sujetos en el momento en el que el pie frontal pierde contacto con el taco.

	Distancia CM hasta el primer apoyo (cm)
SUJETO A	90.5
SUJETO B	82.9
SUJETO C	79.7

TABLA 10. Distancia del Centro de masas (CM) de los sujetos desde la posición de “listos” hasta el contacto al suelo del primer apoyo.



GRÁFICA 1. Evolución de la velocidad horizontal del Centro de masas (CM) durante la fase de salida.



GRÁFICA 2. Evolución de la altura del Centro de masas (CM) durante la fase de salida.

5.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La salida de velocidad es una acción motora muy compleja, la cual, cinemáticamente hablando, se caracteriza por ser una fase en la que el atleta genera un gran impulso, realizando la mayor fuerza máxima horizontal posible contra los tacos de salida para generar una aceleración que le permita iniciar en óptimas condiciones la fase de carrera (Aerenhouts, D., 2012). En la Tabla 3 hemos observado la fuerza máxima (1RM estimada) de cada sujeto. En base a estos datos podríamos deducir que la salida será mejor para aquel que tenga mayor fuerza máxima, siendo el Sujeto A (229.2kg), experto de alto nivel, quien debería realizar una salida de velocidad más eficaz, seguido del Sujeto C (220.2kg), inexperto, y por último, el sujeto B (219.2), experto. A pesar de lo lógico que sería presuponer esta hipótesis, otros estudios nos indican que no ocurre así en todos los casos.

Aerenhouts, D. et al. (2012) realizaron una comparativa entre características antropométricas y rendimiento en salidas de velocidad de atletas de élite: senior (>20 años)

y junior (<20 años), analizando la composición corporal de cada uno. Estableciendo un mayor peso corporal a los senior atribuido a su mayor porcentaje de masa musculoesquelética (porcentajes de grasa eran similares entre ambos grupos). Los resultados mostraron como la mayor musculatura de los atletas senior no dieron como resultado mayores fuerzas contra los tacos de salida comparado con los atletas junior. La velocidad de salida de los tacos fueron similares entre ambos y la ejecución técnica de la salida fue peor en los senior que en los junior. Sin embargo, los senior tuvieron una mejor aceleración. Atribuyeron todo ello a una mejor posición cinemática en los tacos y una mejor coordinación en la fase de salida de los atletas junior. Las diferencias comienzan a mostrarse una vez el atleta termina la fase de salida y comienza a acelerar. Ahí, el atleta senior ya supera notablemente el rendimiento del atleta junior. Por lo tanto, concluyeron que en la fase de salida, la técnica es el factor que más influye dada su complejidad motora, y que una mayor fuerza puede resultar útil sólo cuando esta fuerza se aplica de forma óptima y en el momento justo durante la secuencia de salida y la posterior fase de aceleración.

Por lo tanto, está demostrado que una mayor fuerza garantiza mejor rendimiento en el sprint, pero su influencia en la fase de salida no lo es tanto como en el resto de fases de carrera, como se demuestra en el caso de otro estudio (Cronin et al., 2007) con atletas de nivel bajo, que tras un entrenamiento de fuerza (7-13 semanas), observaron como con un incremento final del 23% en 1 RM Squat se obtenían significantes mejoras en el tiempo de sprint (>-2%). Podemos concluir que el entrenamiento de la fuerza mejora la aceleración y la velocidad máxima de los atletas, pero no garantiza su mejora en la fase de salida (Aerenhouts et al., 2012). Es por ello, que en el presente estudio se observa como el sujeto B tiene una menor fuerza máxima (1 RM) que el sujeto C, pero que su salida es notablemente mejor que la del sujeto inexperto. El sujeto B genera 0.51m/s más de velocidad en el momento de salida de los tacos que el sujeto C y su tiempo de contacto al primer apoyo es casi una décima de segundo más rápido (0.096s). Esto es atribuido a una mejor técnica del sujeto B y una mayor habilidad para optimizar su fuerza, es decir, necesitar menor fuerza máxima para generar mayor impulso.

En cuanto a los ángulos de las tres articulaciones analizadas, se han observado variaciones en los mismos, en algunos casos bastante significativas, desde que el atleta comienza la posición de "listos", con la cadera elevada, hasta que reacciona a la salida. Es decir, que el sujeto una vez en la posición de "listos" todavía sufre pequeños movimientos que hacen cambiar los ángulos de sus articulaciones. Se observa como es el ángulo de la articulación del tobillo, tanto de la pierna frontal como de la pierna retrasada, la que tiene mayor coeficiente de variación (coeficiente medio del 77.24% de variación). Quien mayor variación de ángulo del tobillo tiene desde que inicia la posición de listos hasta que

abandona la misma (reacción a la salida) es el sujeto C, obteniendo un coeficiente de variación de la pierna retrasada del 406.36%, ya que pasa de 3.85° al inicio del “listos” a 9.21° al final de la fase. Los coeficientes de variación en los dos sujetos más expertos son mucho más bajos, pero todavía demasiado altos (entre el 7.39% y 27.76%). Esta gran diferencia entre el sujeto C y los otros dos sujetos es debido a una mayor caída de su cuerpo durante la fase de “listos”. Que el atleta no pueda mantener la posición de su cadera lo más elevada posible puede ser debido a la inexperiencia del sujeto C en mantener una postura tan técnica y de gran exigencia muscular durante unos segundos. El sujeto intenta compensarlo dando mayor peso corporal a las extremidades inferiores y no tanto a las extremidades superiores haciendo caer su CM, para evitar un desequilibrio que le lleve a perder la postura o incluso a caerse en la posición de “Listos”. Este concepto se ve reflejado en el resto de articulaciones, aunque es el tobillo la que mayor variación posee. Si comparamos la variación de los ángulos con los dos sujetos expertos y conocedores de la técnica de salida, vemos como el sujeto C obtiene mucha mayor variación que ellos en todas las articulaciones. En la rodilla, por ejemplo, los sujetos A y B apenas sufren una variación de sus ángulos de entre el 1.16 y 3.32%, mientras que el sujeto C tiene una variación en las dos piernas de 5.91% (frontal) y 5.27% (retrasada). En la cadera ocurre más de lo mismo, siendo la variación de las dos piernas de los sujetos A y B de entre 0.24 y 0.47, y las del sujeto C de 2.33% (frontal) y 1.40 (retrasada). La cadera es la articulación que menor variación de ángulos sufre en la posición de listos, ya que las mayores variaciones se darán en las articulaciones más inferiores que son las que soportan el peso corporal si se deja caer más la cadera. Se observa como los sujetos experimentados prácticamente tienen unas variaciones nulas (unos 0.30° de media). Por lo tanto, podemos concluir diciendo que cuanto peor nivel técnico se tiene de la salida de velocidad, mayor diferencia de ángulos entre el inicio de la posición de “Listos” hasta la salida se tiene, siendo la articulación con mayor diferencia la del tobillo, al ser la última articulación en soportar la cantidad de peso corporal que el sujeto le da (la que no se le da a las articulaciones de las extremidades superiores).

Los ángulos promedio (la media de ángulos que se dan lugar en la posición de listos) de cada sujeto nos hacen ya entender las predisposición de los sujetos en los tacos, que con la ayuda de las imágenes es todavía mucho más claro. Si analizamos el ángulo del tobillo de los tres sujetos, vemos como es el del sujeto A el que mayor ángulo obtiene con diferencia (mucho más del doble que el sujeto B), esto es debido a que su posición en los tacos es más elevada y no echada tanto hacia delante como la del sujeto B (Figura 9). En esta imagen superpuesta del sujeto A (su cadera es la que queda más retrasada) y sujeto B (su cadera está rodeada con una línea verde) se observa como el cuerpo del sujeto B está

caído hacia delante, como demuestran las posiciones de su cabeza y cadera, mucho más adelantadas que las del sujeto A.

En la rodilla, el sujeto A al tener la cadera más retrasada y, sobretodo, elevada, hace que el ángulo de la rodilla retrasada sea el mayor (143.26° frente a los 126.46° del sujeto B) y que

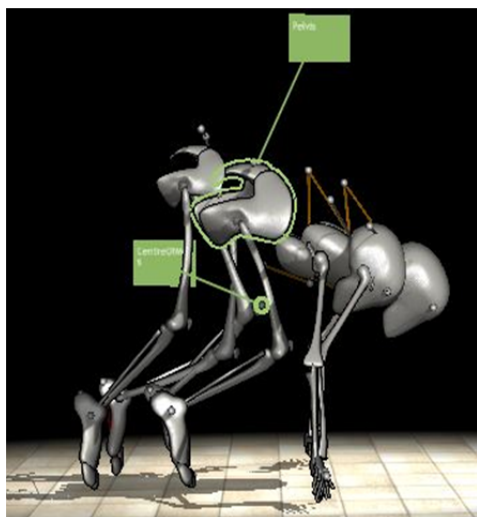


FIGURA 9. Posición “Listos” de sujeto A (cadera más retrasada) frente a sujeto B (cadera en verde).

el de la pierna frontal sea mucho menor porque su cuerpo se encuentra más agrupado, ya que si este ángulo es mayor, estaría desplazando su cuerpo hacia delante creando una inestabilidad indeseado. El sujeto C, al ser el que más baja tiene la cadera, ya que va cayéndose según avanza la fase de “listos”, es quien tiene menores ángulos en rodilla y cadera, siendo la rodilla retrasada la que muestra más diferencias con los otros dos sujetos (109.84° frente a los ya mencionados del sujeto B y A). En cuanto a los ángulos analizados al primer apoyo de la pierna retrasada (primer apoyo) vemos como el sujeto C apenas tiene un ángulo promedio de 0.82° , lo que es debido a su poca reactividad en el tobillo, y su poca capacidad para ir con el pie “armado”, es decir, con la

suficiente tensión muscular para que el tobillo no se hunda en el apoyo, algo que no pasa con los sujetos A y B (14.8° y 22.5° respectivamente). En cuanto a los ángulos de la rodilla retrasada en el primer apoyo vemos como es el sujeto A quien mayor ángulo tiene (132°), debido en parte a su rápida posición vertical en los primeros metros ya que es un atleta de 110m vallas, donde a los 7-8m deben de estar completamente verticales para atacar la primera valla. En el ángulo de la cadera retrasada al primer apoyo se siguen observando datos que corroboran lo explicado hasta ahora. Sigue siendo el sujeto A quien con 25.4° (28.4° menos que el sujeto B y 39° menos que el sujeto C) es el que menor ángulo tienen en la articulación. De nuevo esto se explica a su rápida verticalidad progresiva desde el primer apoyo.

Si comparamos estos datos con los obtenidos de la bibliografía (Tabla 1) vemos como la rodilla frontal queda ligeramente lejos de la media de 90° de los otros estudios (81.88° y 80.82° para los sujetos B y C, respectivamente). El sujeto A es el que menos ángulo tiene en la rodilla frontal (73.24°), debería corregir su posición dejando caer ligeramente la cadera hacia delante, sin perder altura, para aumentar ese ángulo y conseguir que los extensores de la cadera actúan más eficazmente a la hora de la salida. El

sujeto B debería hacer lo contrario, no echar tanto peso hacia los brazos (se observa incluso como los brazos están sobre-flexionados). Se debería evitar esa flexión de las extremidades superiores y elevar y retrasar un poco más la cadera. Y lo mismo ocurre con la rodilla retrasada, en este caso los sujetos B y C tienen valores cercanos a lo obtenido por los otros estudios (126.56° y 109.84° frente a los $110-135^\circ$ de los estudios con atletas de alto nivel). El sujeto C no está lejos de esos parámetros, pero quizás ligeramente por encima (143.26°). De nuevo explicamos que es debido a su elevada posición de la cadera (posiblemente debido a que es un atleta de 110m vallas, donde es muy importante ponerse vertical en muy pocos metros para atacar la primera valla que se encuentra a menos de diez metros de la línea de salida). Esto podría corregirse echando unos cm el taco retrasado hacia atrás y no perder la altura de la cadera.

Otro de los parámetros analizados es el tiempo que tarda cada sujeto en recorrer la distancia que dista hasta el primer apoyo. Se ha medido desde que comienza a impulsarse el pie retrasado en el taco trasero, ya que, según diversos estudios se sabe que la primera pierna en reaccionar al estímulo de la salida es la pierna retrasada (Bergamini, 2011). Aunque es cierto que a pesar de reaccionar primero, la pierna retrasada contribuye sólo un 24% al impulso total final del sujeto sobre los tacos, ya que es la pierna frontal la que está mayor tiempo en contacto con los tacos (Bezodis, 2009). Como no es lo mismo alcanzar el primer apoyo a un metro o que a medio metro de la línea de salida, también se han obtenido las distancias que cada sujeto necesita para lograr el primer apoyo (de su CM), y así poder reflejar estos resultados con el tiempo de contacto. De esta forma, observamos como el sujeto que más lejos llega al primer apoyo es el sujeto A con 90.5cm, 7.6cm más que el sujeto B (82.9cm) y 10.8cm más que el sujeto C (79.7), esto hace indicar que el sujeto A impulsa mucho más sobre los tacos de salida consiguiendo llegar mucho más lejos al primer apoyo, aunque lo que sí es cierto es que tarda más tiempo en alcanzar ese primer apoyo que el sujeto B (0.468s frente a 0.421s respectivamente); por lo que podemos concluir diciendo que el sujeto B alcanza el primer apoyo más cerca que el sujeto A, pero 0.047s antes, lo que explica su rápida puesta en acción. Habría que estudiar los siguientes apoyos para determinar quién de los dos tendría mayor ventaja; si quien alcanza el primer apoyo más lejos, pero unas centésimas más tarde o quien lo alcanza más cerca, pero más rápido. Mientras tanto, el sujeto C es quien peor puesta en acción tiene de todos, siendo el que más cerca realiza el primer apoyo, y además el que más tarda en alcanzarlo (0.517s); lo que es explicado por su lenta reacción, menor aceleración y menor velocidad.

Y siguiendo un poco en la línea de este último parámetro analizado, hablamos del Centro de masas (CM) y su importancia en el análisis de este estudio. Hemos cuantificado la velocidad del CM en el momento en que el pie frontal pierde contacto con el taco (tal y como

estipula la literatura estudiada, Mero et al. 1988), y se ha observado como es el sujeto A quien mayor velocidad genera (3.29m/s), aunque apenas 0.09 m/s más que el sujeto B. Esto explica por qué el sujeto A es quién mayor Fuerza máxima (1 RM Squat) generó en el test de fuerza (229.2Kg frente a los 219.2Kg del sujeto B), y por lo tanto, vemos como es capaz de utiliza esa fuerza de forma óptima para generar altas velocidades en los tacos de salida, tanto que si lo comparamos con los datos de Baumann (1976) supera la velocidad alcanzada por sujetos de marcas personales de $11.11 \pm 0.12s$ ($3.10 \pm 0.15m/s$) o con datos de deportistas de alto nivel de Mero et al. (1983) que alcanzaban velocidades de 3.22m/s. Es también destacada la velocidad alcanzada por el sujeto B, muy cercano a estos datos de los que se están hablando, y sin olvidar que es quién menor fuerza máxima alcanzaba de los tres sujetos (219.2kg). Podemos concluir diciendo que es quién mejor optimiza su fuerza a la hora de generar impulso contra los tacos de salida. El sujeto C alcanza 2.69 m/s, lo que explica su pobre impulso y que su primer apoyo sea muy cerca de la línea de salida, y además, tardando mucho tiempo en alcanzarlo, como se ha dicho anteriormente. Por ejemplo, Baumann (1976) analizó la velocidad a sujetos con marcas personas de $11.85 \pm 0.24s$, logrando resultados de $2.9 \pm 0.2m/s$, todavía muy por encima de la velocidad alcanzada por el sujeto C, lo que es explicado por su inexperiencia en la salida de velocidad (técnica no desarrollada) y ser un deportista de un deporte de resistencia (triatlón), por lo que, teóricamente, tendría menor número de fibras rápidas (tipo II).

Otro parámetro cuantificado utilizando el CM como referencia fue la altura del mismo en la posición de “Listos”. En la siguiente tabla (TABLA 11) se muestran los resultados de los sujetos A, B y C, comparados con los resultados mostrados en alguno de los estudios revisados por Harland & Steele (1997).

TABLA 11. Altura del Centro de masas (CM) en la posición de “listos” de los sujetos A, B y C comparado con los sujetos (sus marcas personales a la derecha) de otros estudios (Harland & Steele, 1997).

Altura CM (cm)			
	SUJETOS ESTUDIO	SUJETOS Harland&Steele (1997)	
SUJETO A	54.8	66	Grupo 10.35s
SUJETO B	50.4	57	Grupo 10.79s
SUJETO C	52.2	55	Grupo 10.82s

Observamos como el sujeto A se acerca más a la referencia del grupo de atletas de 10.82s (55cm), el grupo que más bajo tenía el CM. El sujeto B y el sujeto C todavía tienen el centro de masas demasiado bajo, como ya se ha explicado anteriormente, a lo que deberían de tenerlo; y se refleja en esta tabla con unos valores demasiado inferiores a lo que en sus

posiciones de salida ideal deberían de ser. Es muy significativo también como el sujeto B es quien más bajo tiene el CM (4.4cm por debajo del sujeto A e incluso 1.8cm por debajo del inexperto sujeto C), ya que es el sujeto que mayor talla tiene (182cm, 5 y 6cm más que los sujetos A y C, respectivamente). Esto ayuda a entender como su posición en “Listos” es muy mejorable todavía, ya que vemos como los sujetos de mayor nivel tienen el centro de masas por encima de los 0.65cm (Harland & Steele, 1997), lo que explica que cuanto mayor altura de tu CM tengas, mejor rendimiento se obtendrá.

A continuación se resumen individualmente los cambios y mejoras que se les recomienda realizar los tres sujetos para mejorar su salida de velocidad:

- **SUJETO A:** Desplazar la cadera ligeramente hacia delante (sin perder altura) para mayor eficacia de actuación de extensores de cadera, sobrepasando todavía un poco más la línea de salida con la línea de los hombros (mayor peso en las extremidades superiores). Echar unos pocos cm el taco de salida retrasado hacia atrás (para disminuir el ángulo de la rodilla retrasada hasta unos 120-130°, pero sin bajar la altura de la cadera). El sujeto debería probar a subir un punto el taco de salida trasero una vez se ha retrasado y apoyar el pie completamente en él (en la imagen se observa como el pie trasero se desplaza hacia atrás y luego se impulsa). Impulsar los tacos lo más horizontal posible, evitando que la cadera haga una especie de “U” muy pronunciada cuando sale de los tacos como la que hace. No extender tanto el brazo derecho una vez sale de los tacos (flexionarlo atrás hasta 90°).
- **SUJETO B:** No sobrepasar tanto la línea de salida con la línea de los hombros en “Listos”, para ello debe extender más los brazos y evitar soportar más peso del posible con las extremidades superiores. Elevar y retrasar más la cadera en la posición de listos, para ello, debemos hacer que el sujeto sitúe el taco delantero más cerca de la línea de salida, manteniendo los ángulos óptimos de la rodilla (así también se conseguirá evitar echar el cuerpo tan hacia delante y que los brazos no se flexionen en exceso como ocurría). Elevar el CM unos 5 cm con este cambio. Intentar aprovechar el gran impulso que genera para llegar más lejos en el primer apoyo, ya que los datos (velocidad y fuerza) demuestran que es capaz de ello. No flexionar ligeramente la pierna retrasada instantes antes de la salida, disminuyen la fuerza de actuación de los extensores de la cadera. Ayudarte de los brazos desde el primer impulso, el brazo izquierdo (de la pierna retrasada) va hacia atrás (90°).

- **SUJETO C:** Entrenar más ejercicios de frecuencia y amplitud pensando en tener el pie armado y firme a la hora de entrar en contacto con el suelo, también para conseguir dar el primer apoyo más lejos todavía. Optimizar la aplicación de fuerza en los tacos y generar más velocidad a la hora de salir de los mismos (tardar menos tiempo en dar el primer apoyo). Entrenar la fuerza explosiva para generar mayor aceleración en los primeros pasos y salir de los tacos con una inercia más positiva. Mantener la cadera alta en la posición de “Listos” – Aguantar arriba hasta el disparo o salida (consejo: entrenar más las extremidades superiores y automatizar la técnica de salida). Adelantar el taco retrasado unos cm, para elevar y adelantar más la cadera y extender más la pierna retrasada (debe llegar hasta unos 120°) y elevar el CM unos 4cm.

6.- FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Este estudio es un trabajo de fin de grado, jerárquicamente muy por debajo de una tesis doctoral o un estudio avanzado de investigación. Es por ello, que el trabajo no se ha completado con todas las variables posibles a analizar; bien por imposibilidad de obtenerlas, por carencia de herramientas o instrumentos para su medición o análisis; o bien porque eran variables menos importantes y en lo que se quería profundizar en este estudio era en aquellas variables más generales e importantes que ayudaran a un hipotético entrenador a hacer mejorar a sus atletas, en este caso, en sus salidas de velocidad o tacos.

En el presente estudio se han analizado las variables cinemáticas más importantes, que son las que la tecnología 3D analiza directamente. Sin embargo, se podría haber ampliado el estudio, y queda como una línea de futura investigación, las variables cinéticas. Son la causa subyacente de cualquier movimiento, y por lo tanto, bastantes estudios sobre la salida de velocidad han incluido estas variables. La mayoría de estos estudios analizan el impulso horizontal que generan en la fase de empuje de los tacos de salida, producción de fuerza, picos máximos de fuerza de las dos piernas, ángulo en el que se aplica la fuerza, etc... Otra variable que ha sido analizada en múltiples trabajos fue la actividad muscular de aquellos músculos que participan en la acción motora de la salida de velocidad. Casi todos los estudios utilizaron la electromiografía (EMG) para calcularla; siendo el glúteo mayor, el bíceps femoral, el cuádriceps (recto femoral, vasto externo e

interno), el sóleo y el gastrocnemio, los músculos más investigados, obteniendo información mucho más amplia que te ayuda a entender mejor la ejecución de la salida de velocidad, en este caso, internamente.

Otra línea futura de investigación, alejándonos ya del tema cinético, puede ser la separación que tienen los tacos de salida entre sí. Observar cómo cambia la técnica del sujeto variando ese parámetro en mayor o menor medida, e incluso como cambia la forma y duración de dar la fuerza de empuje al taco de salida. Siguiendo con el tema de los tacos de salida, también se puede estudiar cómo afecta el ángulo del taco sobre la horizontal (el taco tiene unas medidas de ajuste que le permiten estar más elevado o no, según las características y costumbres del atleta), que nos cambiaría por completo el ángulo del tobillo y probablemente también afectaría al resto de articulaciones para compensarlo.

Pero la verdad, es que todas estas variables ya están bastante más estudiadas durante las últimas décadas, con mejores o peores muestras, instrumentos de medición, etc... pero ya han sido cuantificadas. Sin embargo, hay un aspecto que ha sido muy poco estudiado, y que Harland & Steele (1997) hablan también como líneas futuras de investigación en su trabajo, y es la medición y cuantificación de cómo los ángulos de las articulaciones cambian durante la fase de salida. La mayoría de los estudios, por no decir todos, analizan la posición de "Listos" de la fase de salida y la cinemática del CM durante esta fase. Pero no hay constancia de estudios que vayan más allá y elaboren un estudio más exhaustivo. Esto nos aportaría una mayor cantidad de información que nos ayudaría a comprender cómo los velocistas logran esos impulsos lineales y velocidades en los tacos de salida; y sobretodo, poder informar a un supuesto entrenador de cómo su atleta puede mejorar la salida; mucho más allá de la fase de "Listos". En este estudio ya se han mostrado los ángulos de las articulaciones en el primer apoyo. Y la verdad es que aportan información adicional muy interesante, como la del sujeto A, que debido a que levanta muy rápido su centro de gravedad, sus ángulos en ese primer apoyo son totalmente diferentes al de los otros dos sujetos. Y sin haber estudiado el primer apoyo, no lo habríamos sabido, más que por mera observación subjetiva. Es por ello que quedan abiertas muchas futuras líneas de investigación, pero sobretodo esta última mencionada que ampliaría los conocimientos de la comunidad científica en general, y ayudaría a entender mejor la técnica de esta especialidad tan compleja.

7. BIBLIOGRAFIA

Aerenhouts, D., Debaere, S., Delecluse, C., Hagman, F., Jonkers, I. (2013). From block clearance to sprint running: Characteristics underlying an effective transition. *Journal of Sports Sciences*, 31(2), 137-149.

Atwater, A. E. (1982). Kinematic analyses of sprinting. *Track and Field Quarterly Review*, 82, 12-16.

Baumann, W. (1976). Kinematic and dynamic characteristics of the sprint start. In *Biomechanics V-B* (edited by P. V. Komi), 194-199. Baltimore: University Park Press.

Bergamini, E. (2011). Biomechanics of sprint running: a methodological contribution. *Dottorato di ricerca in bioingegneria*. Università di Bologna, Università degli Studi di Roma "Foro Italico", Arts et Métiers Paris Tech.

Bezodis, N.E. (2009). Biomechanical investigations of sprint start technique and performance. *A Doctoral Thesis of Philosophy*. University of Bath (UK).

Borzov, V. (1978). The optimal starting position in sprinting. *Legkaya Atletika*, 4(10), 173-174.

Coh, M., Jošt, B., Škof, B., Tomažin, K. and Dolenc, A. (1998). Kinematic and kinetic parameters of the sprint start and start acceleration model of top sprinters. *Gymnica*, 28, 33-42.

Coh, M., Tomažin, K. (2006). The biomechanical model of the sprint start and block acceleration. *Physical Education and Sport*, 4(2), 103-114.

Coh, M., Peharec, S., Bacic, P., Kampmiller, T. (2009). Dynamic factors and electromyographic activity in a sprint start. *Biology of sport*, 26(2), 137-147.

Cronin, J., Ogden, T., Lawton, T., Brughelli, M. (2007). Does increasing maximal strength improve sprint running performance? *National Strength & Conditioning Assoc*, 29(3), 86-95.

Dickinson, A. D. (1934). The effect of foot spacing on the starting time and speed in sprinting and the relation of physical measurements to foot spacing. *Research Quarterly*, 5, 12-19.

Francis C, Coplon J. (1991). *Inside the biggest scandal in Olympic history*. London: Grafton Books.

Guissard, N., Duchateau, J. and Hainaut, K. (1992). EMG and mechanical changes during sprint starts at different front block obliquities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 1257-1263.

Harland, M. J. and Steele, J. R. (1997). Biomechanics of the sprint start. *Sports Medicine*, 23, 11-20.

Hay, J.G. (1993). *The Biomechanics of Sports Techniques*. London: Benjamin-Cummings Pub Co.

Higginson, B.K. (2009). Methods of running gait analysis. *Curr Sports Med Rep*, 8(3), 136-141.

IAAF (2003). *Official handbook 2002-2003*. Monaco: International Association of Athletics Federations.

Jessop, David (2011). Computer simulation of the sprint start. *A Doctoral Thesis of Philosophy*. Loughborough University (UK).

López J.L. (2009). Variables determinantes del rendimiento en la salida desde tacos en atletismo. *Kronos: Rendimiento en el deporte*, 8, 31-34.

Mendoza, L. and Schöllhorn, W. (1993). Training of the sprint start technique with biomechanical feedback. *Journal of Sports Sciences*, 11, 25-29.

Mero, A., Luhtanen, P., & Komi, P. (1983). A Biomechanical Study of the Sprint Start. *Scandinavian Journal of Sports Science*, 5(1), 20-28.

Mero, A. (1988). Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59, 94-98.

Mero, A., Komi, P. V. (1990). Reaction-time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61, 73-80.

Mero, A., Kuitunen, S., Harland, M., Kyrolainen, H. and Komi, P. (2006). Effects of muscle-tendon length on joint moment and power during sprint starts. *Journal of Sports Sciences*, 24 (2), 165-173.

Milanese C., Bertuccio, M., Zancanaro C. (2009). The effects of three different rear knee angles on kinematics in the sprint start. *Biol. Sport*, 31, 209-215.

Morales, C., Pomares, P. (2011). Análisis biomecánico de la fase de salida en 100 metros planos. *Trabajo Especial de Grado*. Universidad deportiva del Sur.

do Nascimento, M.A., Serpeloni C.E., Nakamura, F.Y, Romanzini, M., Cardoso Pianca, J.H., Roberto Queróga, M. (2007). Validation of the Brzycki equation for the estimation of 1-RM in the bench press. *Revista Brasil Med Esporte*, 13(1). 40-42.

Ramón Suárez, G. (2009). *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento*. Colombia: Funámbulos Editores.

Salo, A., Bezodis, I. (2004). Which starting style is faster in sprint running - standing or crouch start? *Sports Biomechanics*, 3, 43-54.

Tellez, T., Doolittle, D. (1984). Sprinting from start to finish. *Track Technique*, 88, 2802-2805.