

2011

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LOS PARÁMETROS CINEMÁTICOS DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO EN LANZAMIENTO DE JABALINA.

Biomechanical analysis of kinematic parameters
determinants of javelin throw performance.



VÍCTOR RUBIO RODRÍGUEZ

Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Director: **Dr. Juan García López**

Septiembre 2011



ÍNDICE	Página.
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Descripción del lanzamiento de jabalina.	5
2.2 Evolución histórica.	5
2.3 Modelo técnico actual del lanzamiento de jabalina.	10
2.4 Factores determinantes del lanzamiento.	14
2.5 Variabilidad.	20
3. OBJETIVOS	22
4. MÉTODO	22
4.1 Sujetos.	22
4.2 Procedimiento experimental.	22
4.3 Análisis estadístico.	24
5. RESULTADOS	25
6. DISCUSIÓN	27
7. CONCLUSIONES	30
8. BIBLIOGRAFIA	30

1-INTRODUCCIÓN

El objetivo de la biomecánica deber ser dotar a los entrenadores y atletas de herramientas de control que les ayuden a mejorar sus entrenamientos en búsqueda de un mayor rendimiento deportivo. Se busca que el feedback que producen estas ayudas en el binomio entrenador - atleta sean lo más rápidas posibles, por ello se intenta que los análisis sean los más sencillos posible de forma que estén al alcance de cualquier entrenador, y se consiga el resultado casi de forma instantánea. Para ello en este trabajo se intenta encontrar esa herramienta sencilla que ayude en el lanzamiento de jabalina, a través de los parámetros cinemáticos temporales, y dejando un poco de lado los espacio temporales que requieren una mayor complejidad técnica y tecnológica. El decantarse por este tipo de parámetros responde a que en la actualidad existen aparatos relativamente asequibles y de fácil manejo que nos permiten analizar dichos parámetros temporales. En la actualidad una cámara de alta velocidad tiene un precio relativamente accesible, y existen programas informáticos para el tratamiento de las imágenes y la obtención de los datos de uso gratuito (en este caso Kinovea). Tanto en el caso de las cámaras como en el caso de los programas informáticos su complejidad de manejo es mínima, con lo que cualquier entrenador podría hacer uso de ellos, convirtiéndose en una herramienta más del entrenamiento diario. Por todos estos motivos dejamos de lado la complejidad del análisis 3D, que sería el que nos permitiera obtener los datos espacio - temporales de forma correcta; dado que su complejidad técnica y tecnológica es mucho mayor con lo que sería mucho más costoso aplicarlo a una sesión diaria de entrenamiento.

El lanzamiento de jabalina es uno de los cuatro eventos de lanzamiento que se encuentra dentro del programa olímpico del atletismo. En lanzamiento de jabalina consiste en una carrera de aproximación, seguida de una serie de pasos cruzados que llevan al lanzador a la fase final de doble apoyo, en la cual la jabalina es acelerada hasta su máxima velocidad y se produce la liberación de la misma.

En primer lugar y como punto de partida para poder tener una visión general del lanzamiento de jabalina comenzaremos con una pequeña descripción que nos sitúe dentro de esta disciplina atlética. Nos acercaremos a su evolución histórica, de forma que esta nos lleve a ver y definir cuál es el modelo técnico actual de lanzamiento de jabalina. Tras realizar una visión histórica del lanzamiento y de su modelo técnico, nos centraremos en ver cuáles son los factores más determinantes a la hora de obtener la mayor distancia de lanzamiento posible. Son varios dichos factores, pero veremos como unos prevalecen sobre otros a la hora de determinar el resultado final. Del mismo modo veremos cómo las tendencias actuales sobre el lanzamiento de jabalina intentan abandonar un poco el camino que se seguía tradicionalmente, que asociaban el rendimiento deportivo a la adecuación a un modelo técnico ideal, con unos movimientos más o menos cerrados; contra las nuevas ideas que intentan dar algunos autores como Bartlett (2007), que nos dicen que en los lanzadores de jabalina de alto nivel se da una

variabilidad de acciones en los momentos claves del lanzamiento que llevan al sujeto a conseguir un similar resultado deportivo a pesar de esa variabilidad. Seguidamente nos centraremos en los objetivos de este trabajo, en el que se intenta conseguir una herramienta de control rápida y sencilla para el control de la fase principal del lanzamiento de jabalina. Partiendo de la idea de que $\frac{3}{4}$ partes de la velocidad de lanzamiento se consigue en la fase de doble apoyo (Morris y Bartlett 1996), intentamos buscar un parámetro de fácil medición o control como es la duración temporal de la misma, y buscar su relación con el rendimiento deportivo del atleta. Se analizarán las fases temporales de los tres últimos apoyos en los lanzadores de jabalina que compitieron en el pasado Cto. de España de atletismo 2011. Describiremos la muestra de sujetos, el procedimiento experimental, así como los resultados obtenidos; para luego entrar en el análisis y discusión de ellos. De este modo podremos analizar si se han cumplido los objetivos planteados con este trabajo viendo si a través de una herramienta sencilla como es un análisis en 2D (huyendo de la complejidad del 3D para un entrenador) de la duración temporal de las fases del lanzamiento en los tres últimos apoyos, guarda relación con el resultado deportivo.

2.-ANTECEDENTES

2.1-Descripción del lanzamiento de jabalina.

El lanzamiento de jabalina actual consiste en proyectar un implemento de una masa específica (800 g y 260/270 cm para hombres y 600g y 220/230 cm para las mujeres) lo más lejos posible de la línea de lanzamiento nulo. El lanzamiento se efectúa desde un pasillo de 4m de ancho y 33,5m o más de largo, con una línea final que delimita el final de pasillo de lanzamiento; debiendo caer la jabalina en un sector de caída de 34,92°. Para que el lanzamiento sea considerado válido, la jabalina tiene que tocar el suelo en primer lugar con alguna parte de la empuñadura hacia delante, definiendo la distancia lanzada el lugar en el que la punta impacta con el suelo (IAAF 2010).

2.2.-Evolución histórica.

Orígenes modernos.

El lanzamiento de jabalina como deporte moderno era desconocido para los anglosajones. Los primeros que la desarrollan en el continente europeo son los nórdicos. Se sabe que en la localidad sueca de Falun en 1792 ya se celebró una competición. En 1859 en los juegos Panhelénicos ya figura el lanzamiento de jabalina pero no como consecución de máxima distancia, sino como lanzamiento a la diana. Las competiciones como tal en busca de la mayor distancia de lanzamiento se comienzan a generalizar en Suecia a partir de 1870 y diez años después en la vecina Finlandia. En Hungría y Alemania comienza a aparecer de forma esporádica a partir de 1890. Su introducción en el deporte internacional tiene lugar en 1906 durante los llamados juegos Atenenses, siendo ganados por un sueco: Eric Lemming. Su inclusión olímpica se produce en Londres 1908. La incorporación femenina ocurre en 1932 (Bravo 2000).

Evolución histórica de las técnicas de lanzamiento.

La jabalina en sus comienzos se lanzaba de dos formas diferentes. Por una parte se sujetaba la jabalina por el extremo posterior con una mano y con la otra se sujetaba hacia la mitad; estando apoyada la jabalina sobre la parte anterior del hombro de lanzamiento. Tras dos o tres pasos de desplazamiento se producía el lanzamiento en sí, ejecutándose el mismo con el brazo retrasado (Estilo clásico) (Figura-1).

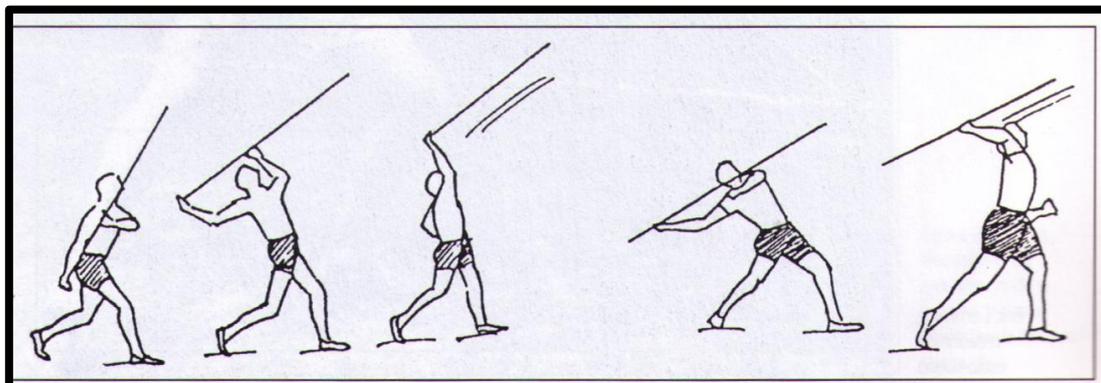


Figura-1. “Estilo clásico” de lanzamiento (izquierda) y “estilo libre” (derecha). Adaptado de Bravo (2000).

La otra forma de lanzamiento es la que se asemeja al lanzamiento actual de la jabalina. Se sujetaba la jabalina con una sola mano y con agarre medio. Primero se lanzaba de parado y luego con una corta carrera inferior a 10 m (reglamento sueco) y finalmente con estilo libre, que es como se conoce a esta técnica (Figura-1). Las mayores distancias de lanzamientos conseguidas con el estilo libre, llevaron a que rápidamente se impusiera al estilo clásico (Bravo 2000).

El estilo sueco de lanzamiento.

Eric Lemming campeón olímpico en Londres 1908 y Estocolmo 1912, fue el impulsor de la primera técnica moderna de lanzamiento de jabalina. Consistía en llevar la jabalina a la altura de la mejilla durante una corta carrera, para en los tres pasos finales dejarla atrás. En estos tres pasos finales ejecutados de forma rápida, las piernas se adelantaban lateralmente a la jabalina, y en el último se produce un cruce de piernas. Con este ritmo de tres apoyos en el que se coordinaba la carrera con el lanzamiento, Lemming llegó a lanzar 62,32 m en 1912. El retroceso de la jabalina hacia atrás se podía realizar por debajo: desde la altura del hombro hacia atrás; o por arriba: subiendo la mano por encima de la cabeza para luego ir atrás y abajo (Figura-2).

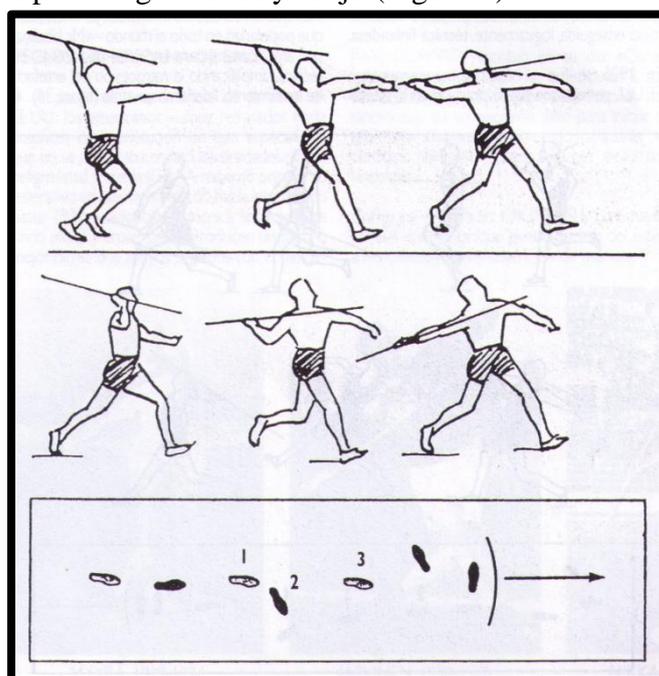


Figura-2. Estilo sueco de lanzamiento, con la colocación por arriba o colocación por abajo.
Secuencia de apoyos del estilo sueco. Adaptado de: Bravo (2000).

Con esta técnica de lanzamiento de jabalina destacaron otros suecos como Gunnar Lindström, RM en 1924 con 66,62 m y Erik Lundqvist 71,01 m (primer atleta en lanzar 70 m) en 1928 (Bravo 2000).

El estilo finlandés de lanzamiento.

Es un ritmo de cinco pasos en los cuales los pies se van colocando de forma diagonal para preparar el cruce final. La jabalina se retrasa de forma peculiar: abajo por fuera, adelante y atrás. El tronco se coloca más de costado que en el estilo sueco (Figura-3).

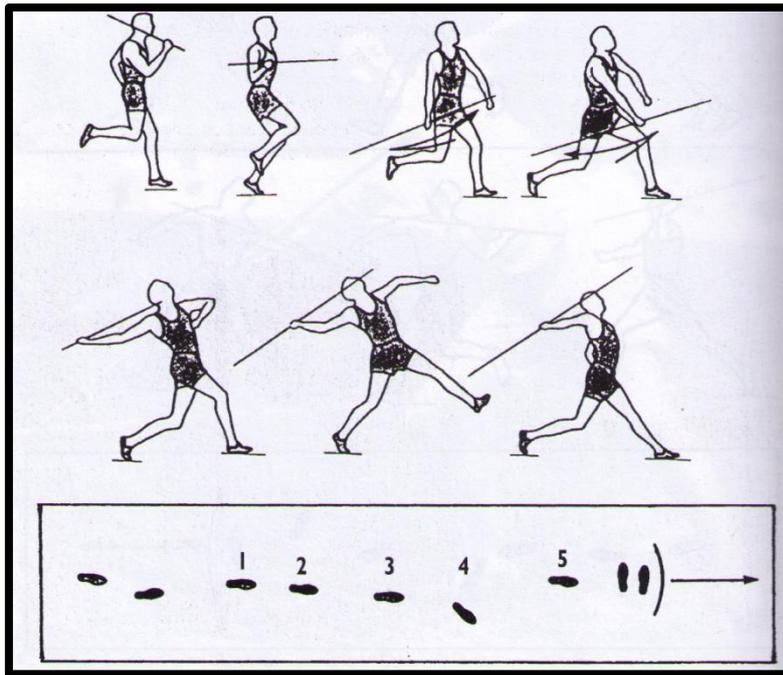


Figura-3. Forma de retrocesión de la jabalina y ritmo de pies del estilo finlandés.
Adaptado de: Bravo (2000).

Su primer practicante fue Jonni Myyrä, RM con 65,49 m en 1919 y campeón olímpico en 1920 y 1924. Pero el gran referente de este estilo fue Matti Järvinen.

Entre 1930 y 1936 bate el record del mundo en diez ocasiones, llevándolo desde los 71,57 m hasta 77,23 m. No fue un innovador pero fue quien dio fama al modelo técnico finés (Bravo 2000).

Técnica americana de salto.

Influenciados por Järvinen los americanos que estaban muy retrasados en la práctica del lanzamiento de jabalina, adoptan la técnica del campeón finés pero le introducen un salto o dos apoyos seguidos con el pie derecho a ras de suelo en el último paso antes de fijar los pies en el suelo para realizar el lanzamiento, con el objetivo de conseguir una mejor colocación de la cadera y el hombro derecho antes de efectuar el lanzamiento.

Esta evolución técnica estaba trasladada del beisbol, donde antes de iniciar el lanzamiento de la bola se daba un pequeño salto para iniciar el lanzamiento. Se denominaba “paso cruzado hacia atrás” frente al “paso cruzado hacia delante” de los finlandeses (Bravo 2000).

Durante toda esta primera mitad de siglo XX el dominio de los países nórdicos en el lanzamiento de jabalina fue apabullante. Más de la mitad de los finalistas olímpicos entre las Olimpiadas de 1908 a 1952 eran oriundos de estos países. Esta hegemonía se abre por primera vez con la victoria en Berlín 1936 del alemán Gerhard Stoeck; mientras que en Helsinki 1952 se produce casi una tragedia nacional cuando Cyrus Young y William Miller se proclaman campeón y subcampeón. Así mismo Frank Held, americano también, tiene el honor de ser el primer lanzador en hacer volar su jabalina sobre los 80 m, con 80,41 m en 1953 y 81,75 m en 1955 (Bravo 2000).

En estos tiempos las lagunas del reglamento de eran evidentes y tanto con el diseño de las jabalinas, como con los estilos de lanzamientos se podía jugar para conseguir un mejor resultado. Aquí surge el estilo español.

El estilo español de lanzamiento de jabalina.

Entre los años 1953 y 1956, tres lanzadores de disco españoles, adoptando la técnica de lanzamiento de la barra vasca consiguen lanzamientos de más de 80 m. Este estilo consistía en dar dos o tres giros de impulso a lo largo del pasillo, llevando la jabalina en posición horizontal detrás de la espalda, soltando el implemento en un movimiento particular hacia arriba, dejando la jabalina deslizar por el hueco de la mano manteniendo el puño cerrado (Figura-4). La jabalina era previamente mojada de la empuñadura hacia la cola (Bravo 2000).

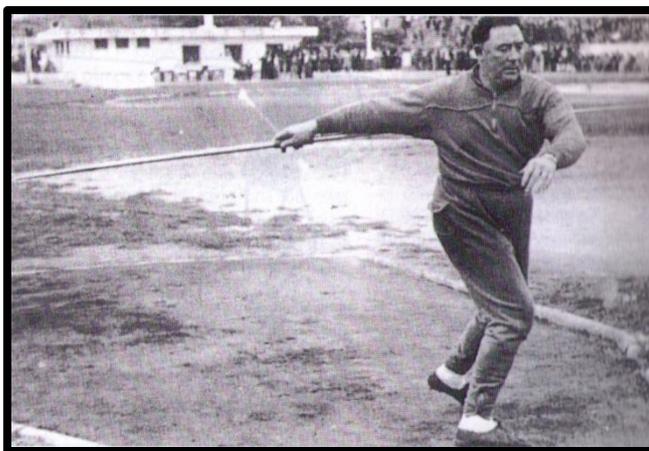


Figura-4. Estilo español de lanzamiento de jabalina con la jabalina a la espalda, antes de comenzar los giros. Adaptado de: Bravo (2000).

Miguel de la Quadra Salcedo en año olímpico de Melbourne 1956, se presentó en varios mítines internacionales con dicha técnica de lanzamiento, causando sensación con su estilo y distancia de lanzamiento; pero la IAAF rápidamente prohibió este estilo incorporando al reglamento: “El atleta no podrá quedar de espaldas a la dirección del lanzamiento ni la jabalina podrá ser proyectada por un movimiento giratorio”.

A partir de este momento la evolución técnica del lanzamiento de jabalina queda cerrada a grandes innovaciones, y sigue su evolución con pequeñas aportaciones a los estilos de lanzamiento que existían hasta entonces. Del mismo modo comienza la guerra de las jabalinas y ante las lagunas reglamentarias al respecto, unos y otros van introduciendo sus innovaciones al respecto. Esta guerra lleva a la IAAF a regular dicho aspecto y por ejemplo para la Olimpiada de Roma 1960, aprueba como oficiales las jabalinas tradicionales finlandesas de madera y las suecas de metal.

La técnica del polaco Sidlo.

Partiendo del concepto de lanzamiento del estilo sueco, dejando la jabalina retrasada en un ritmo de cuatro pasos, busca transformar la velocidad conseguida durante la carrera

con una frenada de la pierna izquierda extendida, metiéndose debajo de la jabalina y haciendo una hiperextensión de tronco. Es lo que se conoce como arco tenso (Figura-5).

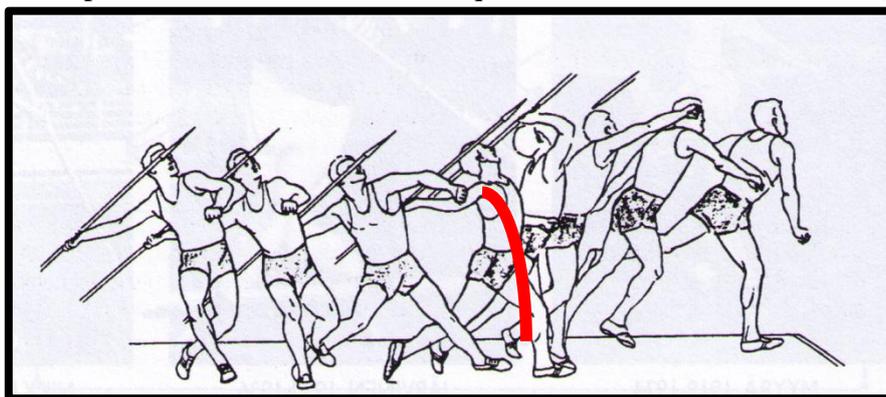


Figura-5 Técnica de lanzamiento del polaco Sidlo, con su posición de arco tenso.

Adaptado de Bravo (2000).

A partir de este momento y salvo algún adorno individual a cada una de las técnicas, como puede ser el “lanzamiento de salto” que popularizó el americano Cantello en 1959 86,04m; en el cual sus últimos apoyos eran tan rápidos, y un final tan sumamente explosivo sobre la pierna izquierda, que necesitaba tirarse al suelo para evitar los lanzamientos nulos (Bravo 2000).

Como decía a partir de este instante las técnicas o escuelas de lanzamiento se pueden resumir en los seguidores de:

- La técnica finlandesa. Con su ritmo de cinco pasos, colocación por debajo y una mayor colocación lateral del tronco respecto a la dirección del lanzamiento.
- La técnica sueca-Sidlo. Con un ritmo diferente de tres o cuatro pasos, colocación por arriba o hacia atrás y una colocación del tronco más lineal o frontal a la dirección del lanzamiento.

Durante estos primeros años de la segunda mitad de siglo XX la prueba deja de tener dueño y son varios países los que van sacando grandes lanzadores; eso sí repartidos entre los países nórdicos, centroeuropeos (Polonia, Hungría, Alemania), Unión Soviética y EE.UU. La constante durante estos años es que poco a poco los lanzadores ya no se cierran a un estilo fijo de lanzamiento de jabalina sino que incorporan a su técnica de lanzamiento aspectos tanto de una escuela como de la otra.

Con la llegada de los años 80, el prototipo de lanzador de jabalina cambia y con ello la forma de lanzar. Se pasa a lanzadores con un arquetipo de gente grande y pesada (1,90m y 100kg), acercándose a los otros lanzamientos. Este cambio de tipología hace que la técnica se vuelva de carreras más cortas y lentas, para aplicar más fuerza al final.

En 1986 y tras los lanzamientos cercanos a los 100m de los lanzadores de la época, culminados por los 104,8 m de alemán Uwe Hohn, la IAAF se ve forzada a realizar un cambio en la jabalina adelantando el centro de gravedad de la misma (6 cm) para que

volara menos y las distancias de lanzamiento se vieran reducidas. Tras el cambio los diferentes fabricantes de jabalinas sacaron a relucir todo su ingenio y métodos de investigación de forma que el actual record del mundo 98,48 m Jan Zelezny, es bastante próximo al de la vieja jabalina. Eso sí la cantidad del lanzadores y lanzamientos por encima de los 90 m no es tan abrumadora como en aquellos años 80 y salvo para el gran Zelezny (más de 100 lanzamientos por encima de los 90 m), a los demás lanzadores les cuesta superar esas barrera. La segunda mejor marca de todos los tiempos actualmente es 93,09 m.

Tras este cambio el dominador de la disciplina fue el checo Zelezny con tres oros olímpicos (Barcelona 1992, Atlanta 1996 y Sidney 2000), más su plata en Seúl 1988; así como su record del mundo. Esto llevó a que los lanzadores y los lanzamientos fueran de nuevo por velocidad y no por fuerza, lo que volvió a modificar el arquetipo de lanzador, dejándolo en gente grande pero para nada pesada (190 cm por 85-90 kg). Gran variedad en el origen de los lanzadores como era habitual en los últimos años del siglo XX.

En la actualidad el dominador de la especialidad es Andreas Thorkildsen (NOR) con facilidad para cada año estar sobre los 90 m y con dos títulos olímpicos a sus espaldas (Atenas 2004 y Pekín 2008), así como varios títulos de campeón de Europa y del Mundo con tan solo 28 años.

2.3.-Modelo técnico actual del lanzamiento de jabalina.

Dentro de los más de 33,5 m de pasillo, en la técnica de lanzamiento de jabalina se pueden diferenciar diferentes momentos, y cada uno de ellos con un objetivo. Vamos a ver la secuenciación técnica que nos propone Tidow (2008) y que se compone de las siguientes fases: carrera de aproximación (parte cíclica), carrera de aproximación parte (parte acíclica o lateral), zancada de impulso o paso cruzado, fase final – doble apoyo o posición de fuerza y liberación de la jabalina. La fase final – doble apoyo o posición de fuerza se subdivide en fase preparatoria y fase final de lanzamiento. Todo lo desarrollado a continuación se basa en la referencia bibliográfica del autor Tidow (2008) como hemos indicado arriba.

Carrera de aproximación, parte cíclica. Es la primera parte de la carrera, que tiene por objetivo poner en marcha al atleta y conseguir una optima velocidad básica. El lanzador se coloca de frente a la zona de lanzamiento con la jabalina apunta al frente, con el brazo de lanzamiento flexionado por el codo unos 90° y la mano próxima a la cabeza (Figura-6). El número de pasos o apoyos de esta parte la carrera viene definido por la técnica individual de cada de uno de los atletas.

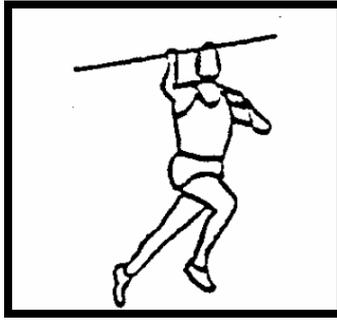


Figura-6. Carrera de aproximación parte cíclica.
Adaptado de: Tidow (2008).

Carrera de aproximación, parte acíclica. Es la siguiente fase del lanzamiento, y la transición de la parte cíclica a la acíclica se produce por la colocación, siendo esta la primera fase de la parte acíclica (Figura-7).

La colocación consiste en el momento en el que el sujeto abandona la carrera frontal para pasar a una carrera lateral o de costado a la zona de lanzamiento, momento en el cual el brazo lanzador se extiende hacia atrás. Para este momento existen diferentes técnicas de colocación atendiendo a cada una de las escuelas existentes.

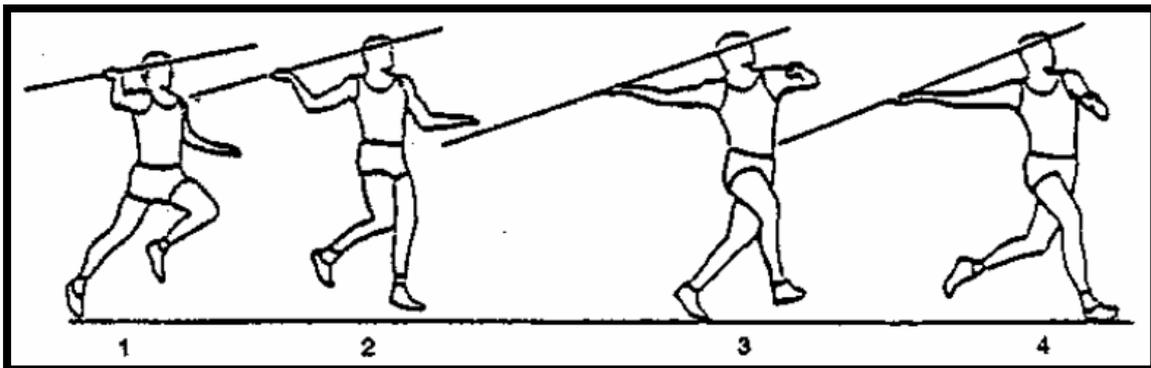


Figura-7. Carrera de aproximación parte acíclica. Momento de la colocación. Adaptado de: Tidow (2008).

Tras la colocación, según las diferentes escuelas de lanzamiento existen diferentes ritmos de lanzamiento en los cuales varía el número de apoyos o pasos/cruces que se dan hasta llegar a la fase de doble apoyo. Durante esta parte acíclica es difícil aumentar la velocidad de desplazamiento y se trata de mantener y no perder la velocidad conseguida con anterioridad. Sobre todo en estos pasos se busca conseguir una buena colocación tanto de la jabalina como del cuerpo para realizar el lanzamiento propiamente dicho que se efectúa en la fase de doble apoyo.

Zancada de impulso o paso cruzado. Se trata del paso cruzado previo al aterrizaje final de los dos pies en el suelo. Es un paso con un ritmo diferente a los demás cruces que se efectúan en parte acíclica de la carrera de aproximación. Se trata de un impulso más fuerte de la pierna izquierda hacia delante que se ve acompañado con el trabajo en fase aérea de la pierna derecha que tira del cuerpo hacia delante intentando aumentar la velocidad y buscar el suelo, manteniendo los hombros y la jabalina en una posición lateral y retrasada. Existen diferentes interpretaciones de este momento (Figura-8).

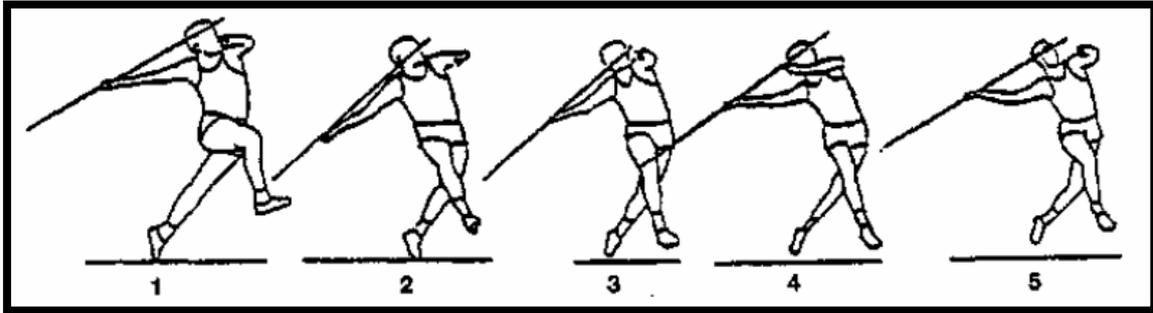


Figura-8. Variantes de zancada de impulso o paso cruzado. Adaptado de: Tidow (2008).

Esta zancada de impulso o paso cruzado, precede a la posición de fuerza o de doble apoyo en la cual se produce la liberación de la jabalina, y por ello el atleta busca la alineación correcta de sus ejes de caderas, hombros y jabalina para efectuar el lanzamiento.

Fase final, doble apoyo o posición de fuerza. Es la fase en la que se produce el lanzamiento en sí, siendo el momento de la liberación en el que se consigue la mayor velocidad en la jabalina.

Dentro de esta fase podemos diferenciar dos subfases:

- Fase preparatoria.

Durante esta fase el lanzador se encuentra solamente apoyado sobre su pierna derecha, produciéndose una pequeña flexión de la misma, como si se produjera una pequeña fase de amortiguación (Figura-9).

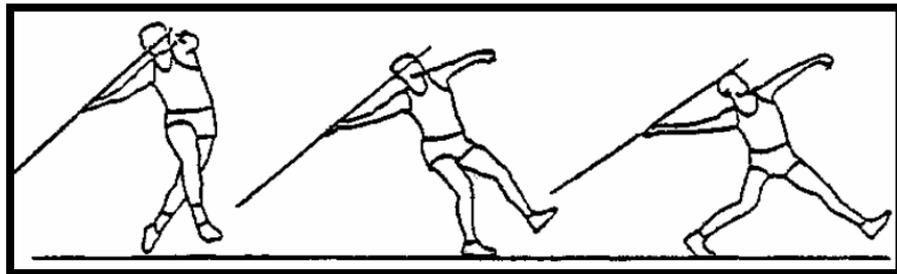


Figura-8. Fase preparatoria o apoyo del pie derecho. Adaptado de: Tidow (2008).

- Fase final de lanzamiento.

Comienza en el momento en el que el pie izquierdo toma contacto con el suelo y dura hasta que se produce la liberación del implemento (Figura-9). Durante la fase final y aguantando el doble apoyo se produce el arco tenso del que hablamos con anterioridad.

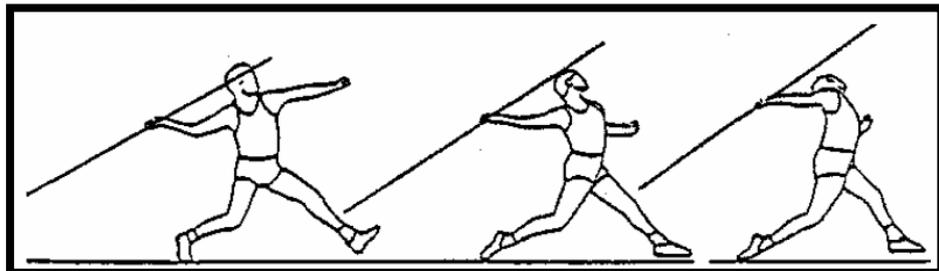


Figura-9. Fase final del lanzamiento, con apoyo del pie izquierdo y posición de arco tenso. Adaptado de: Tidow (2008).

En el global de esta fase como hemos indicado se produce el lanzamiento en sí. Tras el apoyo del pie derecho y cuando el izquierdo ya está en el suelo, se produce una cadena cinética de movimientos que comienzan en el pie derecho, rodilla derecha, cadera derecha, hombro derecho, codo derecho finalmente mano, que sobre un buen apoyo de la parte izquierda consiguen el lanzamiento y transmitir la máxima velocidad a la jabalina. Es una secuencia de acciones en la cual los puntos más alejados del implemento alcanzan su pico de velocidad antes que los más próximos al mismo. Como podemos ver en el siguiente gráfico (Figura-10).

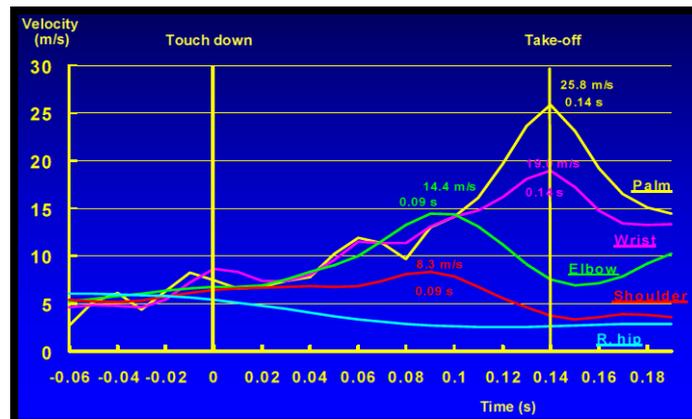


Figura-10. Velocidad de cadera, hombro, codo, muñeca y mano en un lanzamiento. Marcándose momento de contacto del pie izquierdo (Touch Down) y liberación (Take off). Adaptado de: Viitasalo (2009).

Liberación de la jabalina. Se trata del momento en el que se produce el despegue de la jabalina. Es la acción final de brazo y mano que le dan el impulso final al artefacto. Se produce a la mayor velocidad de todos los movimientos corporales en el lanzamiento y es difícil diferenciarlos. Es un momento importante pues se le da la orientación y colocación final a la jabalina para que vuele de la mejor manera posible.

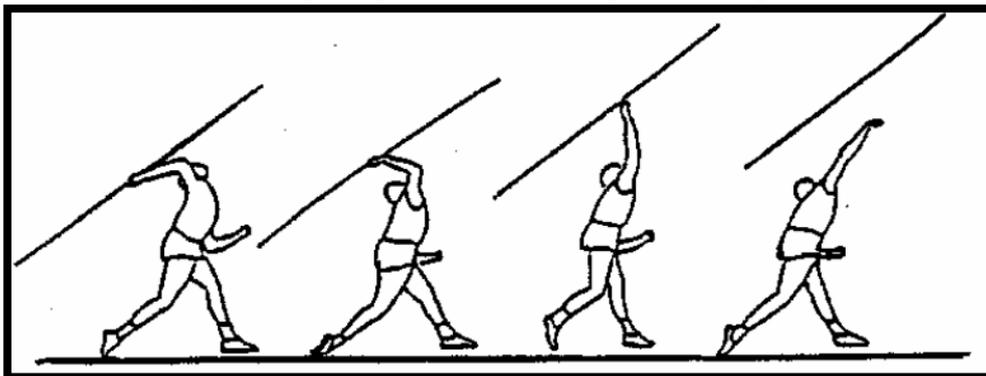


Figura-11. Momento de la liberación o despegue de la jabalina. Adaptado de: Tidow (2008).

La influencia activa del atleta sobre el implemento finaliza en el momento en el que se produce la liberación del mismo y la jabalina comienza a volar. (Bartonezt 2000). El mismo nos dice que toda la interacción entre el lanzador y el implemento hasta que se produce la liberación del mismo es lo que se conoce como balística interna.

2.4.-Factores determinantes del lanzamiento.

De todos los factores determinantes que componen el lanzamiento de jabalina, el atleta sobre el que más influye es sobre la velocidad de lanzamiento.

El momento determinante en el cual se transmite la velocidad a la jabalina es el momento de liberación de la misma. Todo lo anterior a este momento es lo que se conoce como técnica de lanzamiento de jabalina, que se divide en diferentes fases como hemos visto con anterioridad. Según Viitasalo (2009) la biomecánica puede controlar la balística interna del lanzamiento de jabalina por los siguientes métodos:

- Velocidad de carrera: mediante la medición por radar.
- La técnica de lanzamiento: grabación de video y análisis del movimiento.

Todo lo que se produce después del momento de la liberación de la jabalina, es lo que Bartonietz (2000) denomina balística externa. Depende de los factores aerodinámicos de la misma y su interacción con el entorno en la fase de vuelo. Vittasalo (2009) nos expone como métodos de control de esta balística externa, a partir del momento en el que la jabalina es liberada por el lanzador, dos caminos. Por un lado se centra en los parámetros que tiene la jabalina en esos primeros instantes de vuelo (velocidad, ángulos,...), que lo realiza el control con una puerta de fotocélulas. Mientras que por otro lado estudia el comportamiento aerodinámico de la jabalina, y esto lo hace mediante un disparador neumático de jabalinas para probar cómo se comporta la jabalina a diferentes velocidades y angulaciones.

Según Morris y Barlett (1996) la distancia de lanzamiento depende de diferentes factores, y siguiendo los esquemas de Hay (1978) nos desarrollan el siguiente cuadro (Figura-12).

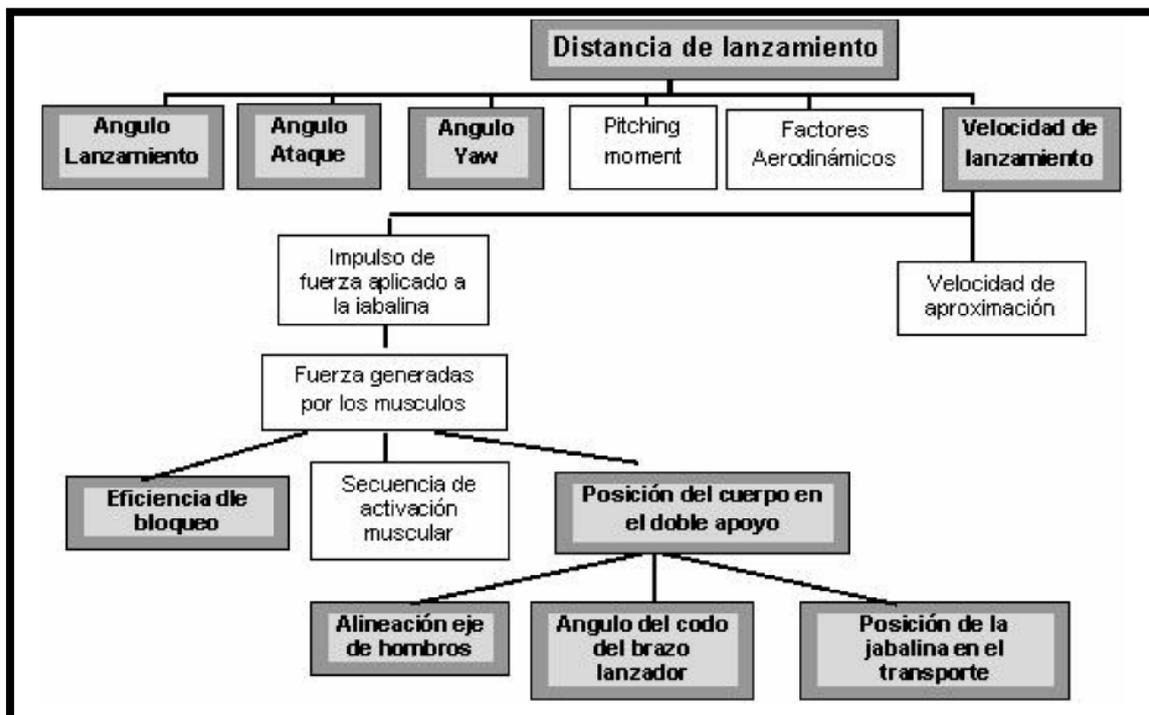


Figura-12. Modelo jerárquico de los factores que afectan el rendimiento en el lanzamiento de jabalina
Adaptado de: Morris y Bartlett (1996).

La distancia de lanzamiento depende de la velocidad, la dirección, la altura, el ángulo de lanzamiento, así como de los factores aerodinámicos de la misma (Bartlett et al 1996; Hay 1993, citados por Bartoniezt 2000). De todos estos factores la velocidad de lanzamiento es el más determinante (Bartlett et al 1996; Komi y Mero 1994). En 70% de esta velocidad de lanzamiento se consigue durante la fase de doble apoyo (Morris y Bartlett 1996).

Bartoniezt (2000) también se decanta por este aspecto clave de la velocidad. Depende del impulso que el atleta es capaz de transmitirle a la jabalina en el momento de la liberación. Esa energía a transmitir se consigue por medio de la carrera de aproximación, pero sobre todo en el doble apoyo. A pesar de ser el factor más determinante, no se puede buscar una velocidad de lanzamiento máxima dado que hay otros factores que también tiene su influencia en la distancia de lanzamiento y por ello se debe de buscar una velocidad optima de lanzamiento que permita ajustar el resto de factores en busca de la mayor distancia de lanzamiento. Controlado esos aspectos se puede ver una relación lineal entre el aumento de la velocidad y el aumento de la distancia de lanzamiento (Bartoniezt 1987, citado por Bartoniezt 2000; Bartoniezt et al. 1996; Borgström 1997, citado por Bartoniezt 2000) (Figura-13). En cuanto a esta relación Bartoniezt (2000) nos indica que la correlación era más clara en los estudios existentes con la vieja jabalina (Borgström 1988, citado por Bartoniezt 2000), pero la inclusión de la nueva jabalina ha modificado en cierta medida esta correlación y hace falta ser lanzadores más técnicos y con más habilidad para hacer volar la jabalina para que esta consiga buenas distancias de lanzamiento.

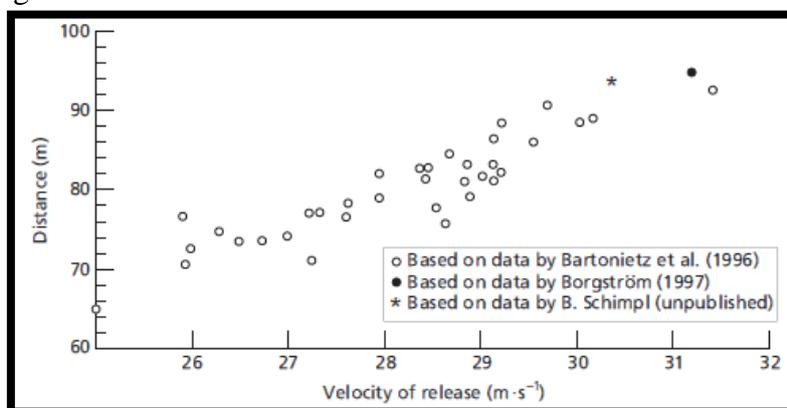


Figura-13. Relación entre la velocidad de liberación de la jabalina y la distancia de lanzamiento.
Adaptado de: Bartoniezt (2000).

En cuanto al ángulo de lanzamiento, ángulo de ataque y ángulo yaw, el atleta influye con su técnica de lanzamiento, colocando la jabalina de una manera u otra para el momento de la liberación. Bartoniezt (2000) nos define cada uno de estos ángulos.

El ángulo de lanzamiento (γ^k) es el ángulo de la trayectoria del centro de masas de la jabalina con el suelo. Este ángulo suele estar entorno a unos 32° a 34° (Mero et al 1994; Bartoniezt et al 1996; Salo y Vitasalo 1995, citados por Bartoniezt 2000), aunque puede variar en función de las condiciones del entorno, sobre todo el viento (de cara o de cola) para conseguir un mejor resultado.

El ángulo de ataque (α^k) es la diferencia entre el ángulo de posición (este es el ángulo que forma la jabalina con la horizontal) y el ángulo de lanzamiento que hemos definido anteriormente. En este caso lo que se busca para alcanzar una mayor distancia de lanzamiento es que esta diferencia angular sea lo más próxima a cero, y se consiguen buenos resultados tanto con valores positivos como negativos, siempre que estén próximos a cero (Hubbard 1988, citado por Bartoniezt 2000; Rich et al 1992, citados por Bartoniezt 2000; Bartoniezt et al 1996; Morris et al 1997; Bötther et al 1998, citados por Bartoniezt 2000).

El ángulo yaw (β^k) es el ángulo de desviación lateral que tiene el vector dirección de la velocidad de lanzamiento y el eje longitudinal de la jabalina. También se podría decir que el ángulo de ataque visto desde atrás (Bartoniezt 2000). Como en el caso del ángulo de ataque se busca que sea lo mínimo y próximo a cero. En los lanzadores de elite no es un aspecto que sea muy diferente entre unos y otros, pero sí que nos marca la diferencia entre lanzadores elite y principiantes: β^k elite= $2,33 \pm 2,53^\circ$ β^k principiantes= $9,64 \pm 4,90^\circ$ (Barlett et al 1996).

Gráficamente Bartoniezt (2000) nos explica todos estos ángulos a los que hacemos referencia de la siguiente manera (Figura-14):

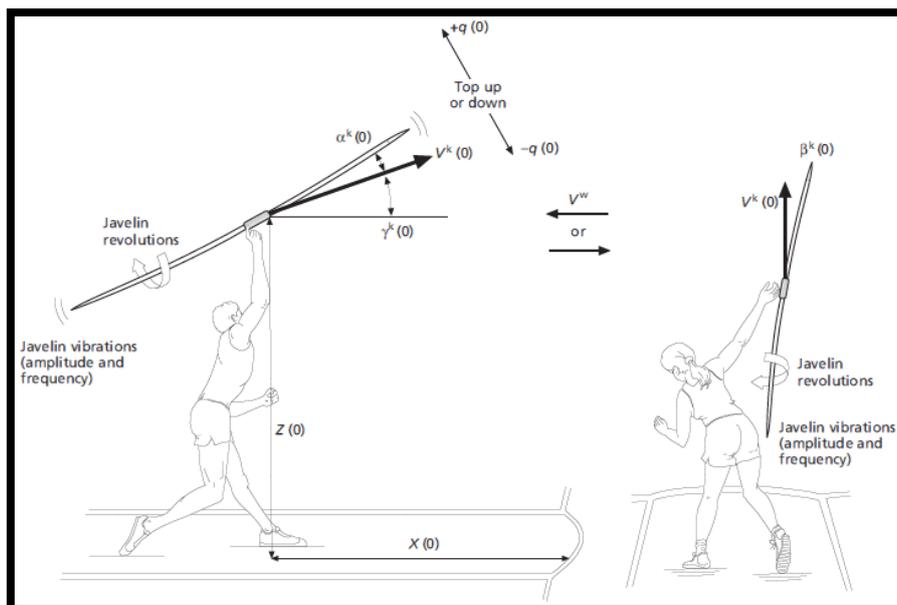


Figura-14. Parámetros de realización del lanzamiento de jabalina. Adaptado de: Bartoniezt (2000).

Otros de las referencias que salen en el gráfico y que Bartoniezt toma como referencia en sus estudios son: Z = Altura del centro de masas de la jabalina respecto del suelo en el momento de la liberación; X = Distancia entre la proyección del centro de masas de la jabalina en el suelo y la línea de lanzamiento nulo; V^w = velocidad del viento; q = velocidad angular de la punta de la jabalina en el momento de la liberación; V^k = velocidad del centro de masas de la jabalina.

Como podemos ver y hemos explicado el análisis de la estructura espacial (ángulos y altura de liberación, etc...) se ha realizado, al igual que el análisis de la estructura espacio temporal (velocidad de aproximación, velocidad de liberación, etc...). En

cuanto a la estructura temporal de los últimos apoyos no existen tantos datos al respecto. En algunos de los estudios se hace referencia a dichos valores pero siempre centrados en la fase de doble apoyo (desde el apoyo del pie izquierdo hasta la liberación de la jabalina). A este respecto, Bartoniezt (2000) nos trae datos de un estudio realizado por Schwuchow (1986, citados por Bartoniezt 2000) (Figura-15) en el que analiza los tiempos de aceleración con jabalinas de diferente peso.

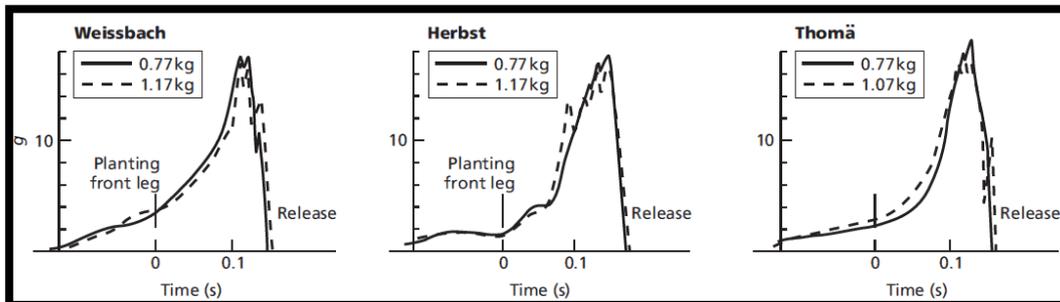


Figura-15. Tiempo transcurrido entre el apoyo del pie izquierdo y la liberación de la jabalina, con jabalinas de diferente peso. Basado en datos de Schwuchow (1986) y adaptado de: Bartoniezt (2000).

En dicho análisis podemos ver como los valores de esta última fase están en torno a los 130 milisegundos, con independencia de la utilización de un artefacto u otro. Así mismo en ese mismo estudio también se nos dan datos de de la duración de esta última fase en atletas de diferente nivel deportivo (Figura-16), relacionándolo con la producción de fuerza de aceleración.

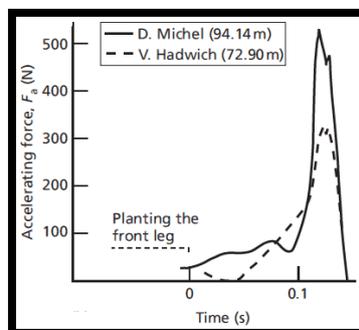


Figura-16. Fuerza de aceleración y tiempo en atletas de diferente nivel. Basado en datos de Schwuchow (1986) y adaptado de: Bartoniezt (2000).

En el mismo camino y con datos más actuales al respecto, pero sin ser el análisis temporal de estas fases el objetivo principal del trabajo, Liu (2010) se centra en analizar la secuencia temporal de actuación de los diferentes segmentos corporales, pero se pueden sacar tiempos de duración desde el apoyo del pie derecho en el suelo hasta el apoyo del pie izquierdo en el suelo (más adelante los llamaremos T1 a T2) y la duración desde el apoyo del pie izquierdo hasta la liberación de la jabalina (a lo que denominaremos T2 a T3). En su estudio además nos facilita datos tanto de hombres (Figura-17) como de mujeres (Figura-18).

Sequence of upper extremity motions of elite male javelin throwers.				
Phase	Sequence	Motion	Relative time (s)	Normalized time (%)*
Flight	1	Upper trunk forward rotation	-0.046 ± 0.114	-14.7 ± 33.0
Single support	2	T1 <u>Right foot touchdown</u>	0.000 ± 0.000	0.0 ± 0.0
Double support	3	T2 <u>Left foot touchdown</u>	0.240 ± 0.040	67.2 ± 5.7
		Shoulder horizontal adduction	0.245 ± 0.049	68.4 ± 9.4
	4	Shoulder abduction	0.278 ± 0.050	77.9 ± 8.5
	5	Elbow extension	0.294 ± 0.039	82.5 ± 3.5
		Shoulder internal rotation	0.305 ± 0.042	85.5 ± 4.6
	6	Wrist flexion	0.346 ± 0.043	97.2 ± 3.1
		T3 <u>Release of javelin</u>	0.355 ± 0.037	100.0 ± 0.0

Sequence of lower extremity and trunk motions of elite male javelin throwers.				
Phase	Sequence	Motion	Relative time (s)	Normalized time (%)*
Flight	1	Right hip abduction	-0.088 ± 0.054	-25.5 ± 16.3
		Right hip internal rotation	-0.079 ± 0.084	-23.6 ± 25.5
Single support	2	Right hip extension	-0.002 ± 0.101	-2.2 ± 30.3
		T1 <u>Right foot touchdown</u>	0.000 ± 0.000	0.0 ± 0.0
	3	Trunk left tilt	0.028 ± 0.067	7.5 ± 18.7
	4	Right knee extension	0.075 ± 0.022	21.0 ± 4.5
		Right ankle plantar flexion	0.076 ± 0.021	21.3 ± 4.9
		Pelvis rotation	0.091 ± 0.059	24.7 ± 14.7
	5	Left hip adduction	0.173 ± 0.065	47.9 ± 15.6
	6	Trunk forward tilt	0.219 ± 0.036	61.3 ± 5.7
Double support		T2 <u>Left foot touchdown</u>	0.240 ± 0.040	67.2 ± 5.9
	7	Left knee extension	0.317 ± 0.041	89.2 ± 9.0
	8	T3 <u>Release of javelin</u>	0.355 ± 0.037	100.0 ± 0.0

*Percentage of the time between right foot touchdown and release. Values are means ± standard deviations.

Figura-17. Secuencia de movimiento de extremidades superiores e inferiores en lanzadores de jabalina elite masculino. Adaptado de: Liu (2010).

Sequence of upper extremity motions of elite female javelin throwers.				
Phase	Sequence	Motion	Relative time (s)	Normalized time (%)*
Flight	1	Upper trunk forward rotation	-0.047 ± 0.104	-12.4 ± 26.9
Single support	2	T1 <u>Right foot touchdown</u>	0.000 ± 0.000	0.0 ± 0.0
Double support	3	T2 <u>Left foot touchdown</u>	0.244 ± 0.027	63.8 ± 4.5
	4	Shoulder abduction	0.269 ± 0.043	70.9 ± 13.4
	5	Shoulder horizontal adduction	0.296 ± 0.043	77.7 ± 9.4
		Elbow extension	0.312 ± 0.028	81.9 ± 3.8
		Shoulder internal rotation	0.316 ± 0.035	82.8 ± 4.8
	6	Wrist flexion	0.370 ± 0.035	97.0 ± 3.0
		T3 <u>Release of javelin</u>	0.381 ± 0.032	100.0 ± 0.0

Sequence of lower extremity and trunk motions of elite female javelin throwers.				
Phase	Sequence	Motion	Relative time (s)	Normalized time (%)*
Flight	1	Right hip internal rotation	-0.098 ± 0.079	-25.9 ± 21.1
	2	Right hip abduction	-0.061 ± 0.057	-16.3 ± 15.2
Single support	3	T1 <u>Right foot touchdown</u>	0.000 ± 0.000	0.0 ± 0.0
	4	Trunk left tilt	0.023 ± 0.071	5.9 ± 18.2
		Right hip extension	0.046 ± 0.089	11.7 ± 24.0
	5	Right ankle plantar flexion	0.095 ± 0.025	24.8 ± 5.4
		Right knee extension	0.096 ± 0.022	25.0 ± 4.8
		Pelvis rotation	0.107 ± 0.054	28.2 ± 14.2
	6	Left hip adduction	0.149 ± 0.047	39.0 ± 10.9
	7	Trunk forward tilt	0.226 ± 0.041	59.1 ± 9.1
Double support		T2 <u>Left foot touchdown</u>	0.244 ± 0.027	63.8 ± 4.5
	8	Left knee extension	0.307 ± 0.032	80.9 ± 7.1
	9	T3 <u>Release of javelin</u>	0.381 ± 0.032	100.0 ± 0.0

*Percentage of the time between right foot touchdown and release. Values are means ± standard deviations.

Figura-18. Secuencia de movimiento de extremidades superiores e inferiores en lanzadoras de jabalina elite femenino. Adaptado de: Liu (2010).

Con el análisis de estos resultados podemos ver que la fase T1-T2 en hombres está en torno a los 240 ± 40 milisegundos mientras que en las mujeres se encuentra a los 244 ± 27 milisegundos. Mientras que en caso de la fase temporal T2-T3 en hombres está en torno a los 115 ± 37 milisegundos mientras que en las mujeres se encuentra a los 137 ± 32 milisegundos.

En cuanto al análisis temporal que podemos encontrar referenciado en la bibliografía adopta la siguiente terminología para señalar los instantes claves de comienzo y final de cada una de estas fases. En este trabajo se analizarán los tiempos que transcurren entre los tres últimos apoyos y la liberación de la jabalina, quedando la terminología de la siguiente manera (Figura-19):

T0: Momento en el que el pie izquierdo despega del suelo en el antepenúltimo apoyo antes de la liberación de la jabalina.

T1: Momento en el que el pie derecho contacta con el suelo en el penúltimo apoyo. Es el inicio de la fase preparatoria y consiste en un apoyo unipodal sobre la pierna derecha como habíamos visto con anterioridad.

T2: Momento en el que el pie izquierdo contacta con el suelo en el último apoyo. Es el final de la fase unipodal y comienzo de la fase de doble apoyo.

T3: Momento en el que la jabalina se pierde contacto con la mano del lanzador, siendo liberada. Es el final de la fase de doble apoyo y del lanzamiento de jabalina.

Siendo estos los momentos claves que marcan el inicio y final de cada una de las fases en los tres últimos apoyos del lanzamiento de jabalina, el análisis temporal que vamos a llevar a cabo abarca las siguientes fases:

- T0-T1 fase de vuelo anterior al doble apoyo (Figura-22).
- T1-T2 fase preparatoria, unipodal sobre el pie derecho (Figura-23).
- T2-T3 fase de doble apoyo (Figura-24).

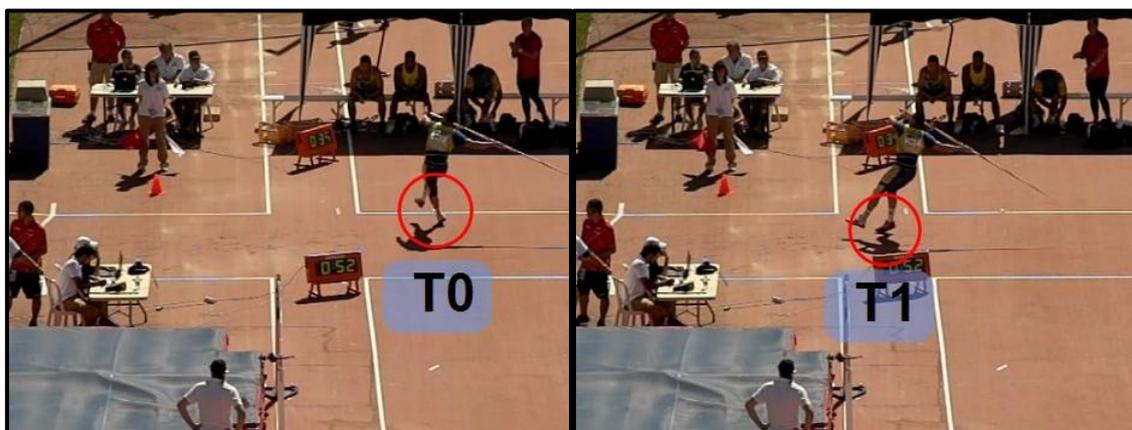


Figura-19 Momentos clave para el control temporal de cada fase a analizar: T0-T1 fase de vuelo anterior al doble apoyo; T1-T2 fase preparatoria, unipodal sobre el pie derecho; T2-T3 fase de doble apoyo.



Figura-19 Momentos clave para el control temporal de cada fase a analizar: T0-T1 fase de vuelo anterior al doble apoyo; T1-T2 fase preparatoria, unipodal sobre el pie derecho; T2-T3 fase de doble apoyo.

2.5.-Variabilidad en el lanzamiento de jabalina.

Con el entrenamiento se busca la adquisición y dominio de la técnica. Tradicionalmente se buscaba que ese entrenamiento técnico llevara al atleta a acercarse a un modelo de lanzamiento técnico ideal o de referencia. Se trataba de un modelo cerrado en el que se exigían unos patrón de movimientos concretos que según los análisis biomecánicos eran los que producían el máximo rendimiento en la esa disciplina y debían de ser invariables. Pero cada vez se ve más claro que el entrenamiento de alto nivel busca adaptar el modelo teórico “ideal” a las características individuales del sujeto. Este modelo técnico individual se sustenta en unas acciones técnicas base para cada sujeto, que consiguen ser consistentes y estables en el tiempo, pero con otros elementos técnicos que pueden ser ajustados en función de elementos externos.

Bartlett (2007) nos indica que tanto en lanzadores de jabalina diferentes, como en un mismo lanzador, para conseguir unas marcas similares de lanzamiento, no se dan los mismos parámetros, sino que el lanzador en función de sus características individuales y de los factores externos, es capaz de adaptar sus movimientos para conseguir un resultado más óptimo. De esta forma se está comenzando a descartar la teoría sobre la que trabajaba la biomecánica durante la última década en la que se buscaba un patrón de movimiento que daba el máximo rendimiento deportivo, como ocurre en los movimientos cíclicos de otras disciplinas deportivas.

Esta variabilidad en el movimiento, nos la mostro el propio Morris, Bartlett y cols. (1997) analizando los patrones de movimiento y resultados de los finalistas en el Cto. del Mundo de atletismo de 1995. De los 12 finalistas se podían ver como algunos atletas conseguían sus mejores resultados con una colocación más lateral o llegando con la espalda más girada (como hemos visto en la evolución histórica del lanzamiento), mientras que en otros lanzadores predominaba el componente lineal. Esta variabilidad técnica no solo influye a la hora de competir, sino que es la que orienta el entrenamiento hacia un lado o hacia otro, (Morris et al. 1997) de forma que durante el entrenamiento se intente reproducir los patrones individuales de movimiento de ese atleta.

El mismo Morris (Datos no publicados) analizó cuatro lanzamientos del campeón olímpico de jabalina en Atlanta 96. Nos presenta sus datos como una correlación de coeficientes que relacionan los ángulos del hombro y del codo del brazo de lanzamiento,

en diferentes intervalos de tiempo (Figura-20). En dicho gráfico podemos ver como el comportamiento en cada uno de los lanzamientos estudiados es diferente para llegar a un mismo punto final.

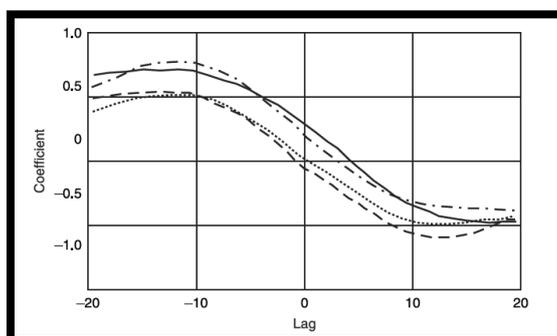


Figura-20. Correlación entre ángulos del hombro y codo del brazo lanzador en diferentes intervalos de tiempo en cuatro lanzamientos del campeón olímpico de 1996. (R= ronda de lanzamiento) Línea continua= R2; Línea discontinua=R4; Líneas y puntos=R5 y Línea de puntos=R6.

Datos de Morris y adaptado de: Bartlett (2007).

Por ello mientras hasta ahora la variabilidad de movimiento se consideraba un error para las teorías cognitivas tradicionales, se está comenzando a ver que en algunas disciplinas como puede ser el lanzamiento de jabalina la variabilidad juega un rol importante en dicho movimiento deportivo y que marca el rendimiento del mismo; de forma que no un único patrón de movimiento lleva a obtener el rendimiento, sino que existen varios caminos.

Todos los datos que hemos estado trabajando son obtenidos de estudios biomecánicos que requieren una gran complejidad dado que para obtenerlos, en la mayoría de los casos estamos hablando de análisis en 3D. La complejidad no viene solo dada por los requerimientos tecnológicos de montar un sistema 3D y el posterior tratamiento de los datos; sino que además viene dado por la dificultad para montar este sistema de control en las competiciones de lanzamiento de jabalina (problemas con organizadores, jueces, atletas, etc...); en los entrenamientos sería más fácil pero estaría el problema temporal y la intrusión en el desarrollo de la sesión de entrenamiento que es lo que a muchos entrenadores les echa para atrás a la hora de contar con los avances tecnológicos y los estudios biomecánicos dentro de su método de trabajo.

Como indicábamos en la introducción a través de este trabajo se intenta aplicar un método de análisis que sea menos complejo y que su aplicación sea simple, rápida, que los datos se obtengan casi de forma inmediata; que en definitiva es lo que busca el entrenador de lanzamientos para poder transmitirle al atleta ese feedback. Por este motivo el trabajo se centrará en un análisis temporal en 2D, en el cual los puntos de control se pueden extraer sin demasiada dificultad, y ver la influencia que el análisis temporal de la fase principal del lanzamiento, en la que se consigue casi $\frac{3}{4}$ partes de la velocidad de lanzamiento de la jabalina (como hemos visto el factor más determinante del rendimiento), guarda con el resultado obtenido.

3-OBJETIVOS.

1-Objetivo general: Analizar la posible relación entre las fases temporales de los 3 últimos apoyos del lanzamiento de jabalina y el rendimiento en esta modalidad atlética.

2-Objetivos específicos: Influencia del género en las fases temporales de los últimos apoyos del lanzamiento de jabalina. Influencia de la variabilidad de dichas fases temporales en el rendimiento en el lanzamiento de jabalina.

4-MÉTODO.

4.1.-Sujetos

Los participantes en este estudio fueron 21 lanzadores de jabalina, 9 hombres (características, $86,4 \pm 5,4$ kg, $183,2 \pm 5,7$ cm, $26,9 \pm 6,6$ años, $11,3 \pm 6,2$ años de experiencia) y 12 mujeres (características, $69,8 \pm 8,8$ kg, $171,4 \pm 3,7$ cm, $25,5 \pm 5,6$ años, $9,8 \pm 4,3$ años de experiencia), que participaron en el campeonato de España de atletismo al aire libre 2011 celebrado en Málaga. Las marcas registradas para los hombres oscilaron entre 58,60-72,34 m, y para las mujeres entre 39,84-60,91 m (Tabla 1). Todos los participantes eran sujetos sanos, porque la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) establece que un reconocimiento médico por temporada es necesario para poder participar en las competiciones federadas.

4.2.-Procedimiento experimental.

La grabación de los videos se realizó durante la disputa del campeonato de España de atletismo 2011, celebrado en Málaga los días 6 y 7 de agosto de 2011. Se eligió esta prueba por ser la más representativa a nivel nacional y ser aquella en la que podíamos acceder a los mejores lanzadores de jabalina de España tanto a nivel masculino como femenino. Para la grabación de la prueba se intento tener acceso a la pista y situar la cámara al pie del pasillo de lanzamiento pero tras no recibir el permiso y no tener acceso, se opto por colocar la cámara en la grada. La cámara se encontraba de forma perpendicular al eje de lanzamiento del pasillo de jabalina, a unos cuatro metros de la línea de lanzamiento nulo que marca el final del pasillo de lanzamiento y situada de tal forma que dentro de su campo de imagen entraban los tres últimos apoyos del lanzamiento de jabalina (Figura-21). En la grada hubo que colocarse a una altura elevada de forma que los elementos y jueces de la pista de atletismo no supusieran un problema y se vieran los pies de los atletas en el pasillo sin la intromisión de ningún objeto y persona. En la prueba masculina se grabo la competición desde el lado izquierdo del pasillo (tomando como referencia el sentido del lanzamiento), mientras en la jabalina femenina la grabación se efectuó desde el lado derecho. El motivo fue que cada una de las pruebas se realizó en un lado de la pista, utilizando para la jabalina masculina el pasillo de lanzamiento de la meta, mientras que para la jabalina femenina se utilizó el pasillo de lanzamiento del lado de la salida de los 100 m.l. (Figura-21).

Se grabaron todos los lanzamientos de la competición, utilizando los lanzamientos de calentamiento de los atletas para calibrar la posición de la cámara y el campo de visión sobre el que trabajar.

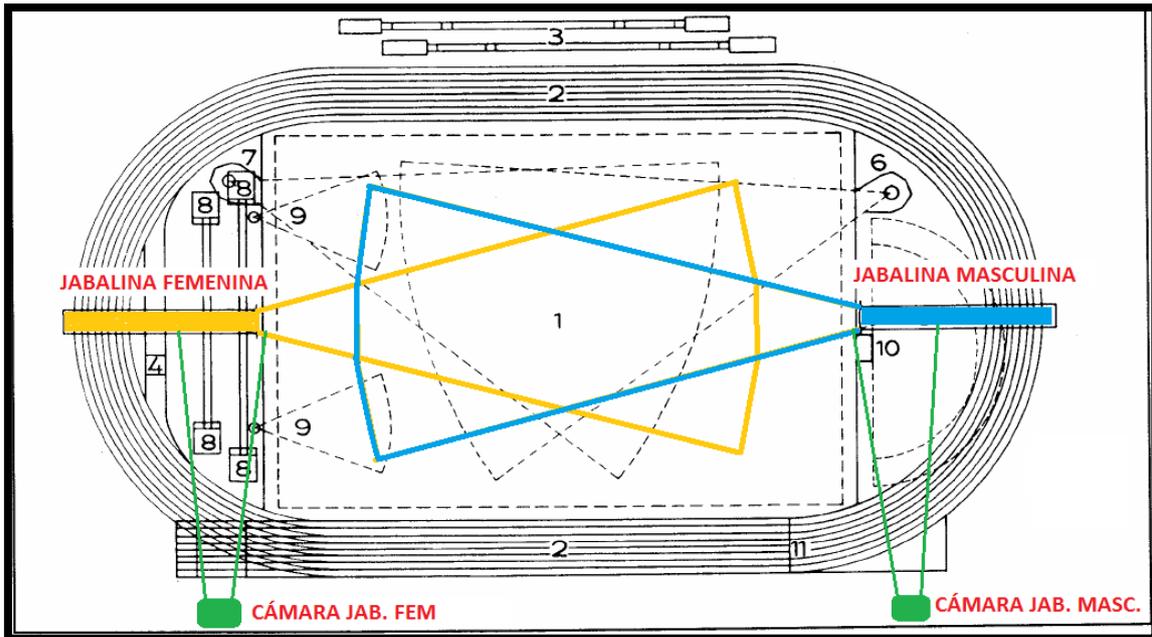


Figura-21. Plano de situación de estadio. Colocación de cada uno de los pasillos de jabalina así como la posición en la que se situaron las cámaras para realizar las grabaciones.

Características de las filmaciones. La filmación consistía en grabar los tres últimos apoyos del lanzamiento de jabalina hasta la liberación de la misma. La cámara se situaba de forma lateral al eje del pasillo de lanzamiento, controlando el último tercio del pasillo, situándonos en la grada como se indica en el apartado anterior (Figura-21). Las filmaciones fueron realizadas con una cámara digital Casio Exilim EX F1 (Casio Europe GmbH, www.casio.com) a una velocidad de 300 fps.

Análisis de las filmaciones. Para el análisis de las filmaciones primero se editaron los videos con la propia cámara digital Casio Exilim EX F1 para reducir su tamaño y conservar solo la parte del lanzamiento que nos interesaba. Posteriormente se llevo a cabo un análisis temporal de las diferentes fases a estudiar (Figura 19). Este análisis de las filmaciones se llevo a cabo con el programa informático de análisis de video Kinovea (Kinovea-v0.8.15, www.kinovea.org). A través del cual se marcaban las posiciones de control (Figura-19) y se obtenían los datos temporales de cada una de las fases a estudiar: T0-T1 fase de vuelo anterior al doble apoyo (Figura-22); T1-T2 fase preparatoria, unipodal sobre el pie derecho (Figura-23); T2-T3 fase de doble apoyo (Figura-24).



Figura-22. Análisis mediante el Software Kinovea de la duración de la fase T0-T1 durante un lanzamiento de jabalina.



Figura-23. Análisis mediante el Software Kinovea de la duración de la fase T1-T2 durante un lanzamiento de jabalina.



Figura-24. Análisis mediante el Software Kinovea de la duración de la fase T2-T3 durante un lanzamiento de jabalina.

4.3.-Análisis estadístico

Los resultados se expresan como medias y desviaciones estándar de la media (DS). Los datos fueron introducidos inicialmente en una hoja de cálculo Excel (Microsoft Office 2010, Microsoft Inc, USA), y posteriormente analizados utilizando el paquete estadístico SPSS-v17.0 (Chicago, Illinois, USA). El test de Kolmogorov-Smirnov fue utilizado para comprobar la normalidad de las variables analizadas en este estudio. El análisis de la varianza (ANOVA) para medidas repetidas se utilizó para valorar las diferencias entre los mejores y los peores lanzamientos. El ANOVA de una vía se utilizó para ver la influencia del sexo en las variables analizadas. La prueba post-hoc de Newman-Keuls fue utilizada para establecer las diferencias entre medias. Las correlaciones entre variables (r) fueron analizadas empleando la prueba de Pearson. La variabilidad de las variables temporales y la distancia de lanzamiento se analizó utilizando el coeficiente de variación ($CV = DS \cdot 100 / \text{media}$).

5.-RESULTADOS

La Tabla 1 muestra que existe una influencia del género tanto en la mejor ($F= 46,6$ y $p<0,001$) como en la peor marca ($F= 51,6$ y $p<0,001$) registradas durante el Campeonato, y de estas entre sí ($F= 43,4$ y $p<0,001$). Sin embargo, el resto de variables han permanecido constantes, independientemente del sexo y/o el rendimiento del lanzamiento.

	HOMBRES (n= 9)		MUJERES (n= 12)		Valor
	Media±DS	Rango	Media±DS	Rango	P
Edad (años)	26,9±6,6	20-41	25,5±5,6	18-34	
Peso (kg)	86,4±5,4	80-95	69,8±8,8	60-88	***
Talla (cm)	183,2±5,7	173-190	171,4±3,7	164-179	**
Práctica (años)	11,3±6,2	5-24	9,8±4,3	4-17	
Mejor marca (m)	65,45±3,83	58,6-72,34	47,65±7,05	39,84-60,91	***
T0-T1 (ms)	217±26	163-260	229±45	136-313	
T1-T2 (ms)	197±39	143-250	198±35	123-243	
T2-T3 (ms)	144±17	126-176	150±20	123-186	
T0-T1 (%)	39,1±4,9	30,4-45,8	39,5±5,9	25,4-46,6	
T1-T2 (%)	35,1±5,1	27,7-42,2	34,3±6	23,7-43,6	
T2-T3 (%)	25,9±2,7	21,3-29,7	26,1±4,2	20,9-33,3	
Peor marca (m)	63,21±3,99	58,85-71,50	45,38±6,01	39,77-57,31	***; \$\$
T0-T1 (ms)	210±30	153-250	228±39	123-263	
T1-T2 (ms)	201±28	156-233	197±32	140-229	
T2-T3 (ms)	147±22	116-186	151±16	130-183	
T0-T1 (%)	37,7±4,4	29,3-43,3	39,5±5,8	23,6-44,0	
T1-T2 (%)	36,1±3,8	32,0-43,3	34,1±5,2	26,8-43,9	
T2-T3 (%)	26,3±2,8	21,3-30,4	26,4±3,7	22,6-32,6	

Tabla-1. Estadística descriptiva de las características de los lanzadores y lanzadoras participantes en el presente estudio. Distribución de las fases temporales en su mejor y peor lanzamiento o marca del Campeonato de España al Aire Libre 2011: T0-T1 = fase de vuelo anterior al doble apoyo; T1-T2 = fase preparatoria, unipodal sobre el pie derecho; T2-T3 = fase de doble apoyo. Nivel de significación estadística de las diferencias entre hombres y mujeres (**= $p<0,01$; ***= $p<0,001$), y entre el mejor y peor lanzamiento o marca (\$\$= $p<0,01$).

La Tabla 2 muestra que tampoco se obtuvieron correlaciones entre la diferente distribución de las fases temporales y el rendimiento en los lanzamientos con mejor y peor marca de lanzamiento obtenida en la competición; visto tanto de forma global como separados por sexos, hombres por una lado y mujeres por otro.

		T0-T1 (%)	T1-T2 (%)	T2-T3 (%)
TODOS (n= 21)	Mejor marca (m)	0,03	-0,02	-0,02
	Peor marca (m)	-0,11	0,05	0,1
HOMBRES (n= 9)	Mejor marca (m)	-0,06	0,29	-0,43
	Peor marca (m)	0,02	-0,08	0,08
MUJERES (n= 12)	Mejor marca (m)	0,18	-0,29	0,16
	Peor marca (m)	0,13	-0,37	0,32

Tabla-2. Relación entre la distribución de las fases temporales en su mejor y peor lanzamiento o marca del Campeonato de España al Aire Libre 2011; en general, en hombres y en mujeres.

El género no influyó en la variabilidad de la marca o lanzamiento ($F= 0,1$ y $p= 0,93$), así como en las diferentes fases a estudiar: en el tiempo de la fase de vuelo anterior al doble apoyo T0-T1 ($F= 0,38$ y $p= 0,54$), del tiempo de la fase preparatoria unipodal sobre el pie derecho T1-T2 ($F= 0,45$ y $p= 0,51$) ni del tiempo de la fase de doble apoyo T2-T3 ($F= 0,00$ y $p= 0,99$). La Tabla 3 muestra que, a nivel general, la variabilidad de estas fases temporales no estuvo relacionada con el rendimiento del lanzamiento (mejor marca), a excepción de las mujeres, donde una alta variabilidad en las fases T1-T2 y T2-T3 se asocia positivamente con el rendimiento (Figura-22).

	CV marca (%)	CV T0-T1 (%)	CV T1-T2 (%)	CV T2-T3 (%)
TODOS	0,16	-0,21	0,42	0,29
HOMBRES	-0,16	-0,38	0,21	0,28
MUJERES	0,48	-0,12	0,74**	0,87***

Tabla-3. Variabilidad de la marca de lanzamiento y variabilidad de las fases temporales de los lanzamientos en el Campeonato de España al Aire Libre 2011, de forma general y separado por sexos.

En la Figura-22 puede apreciarse la relación entre la variabilidad en dos de las fases temporales estudiadas; fase preparatoria unipodal sobre el pie derecho T1-T2 ($r=0,74^{**}$) y de la fase de doble apoyo T2-T3 ($r=0,87^{***}$), en mujeres. Obsérvese que las dos mujeres con mayores distancias de lanzamiento presentan variabilidades cercanas o superiores al 5% en los períodos T1-T2 y T2-T3. Esto puede responder a su nivel deportivo frente al resto de mujeres dado que son dos atletas de nivel internacional (consiguen la mínima para los campeonatos internacionales), mientras que el resto son de nivel nacional. Del mismo modo este dato en los chicos no se obtiene y puede responder a que todos los sujetos masculinos pertenecen al nivel nacional, y ninguno al internacional.

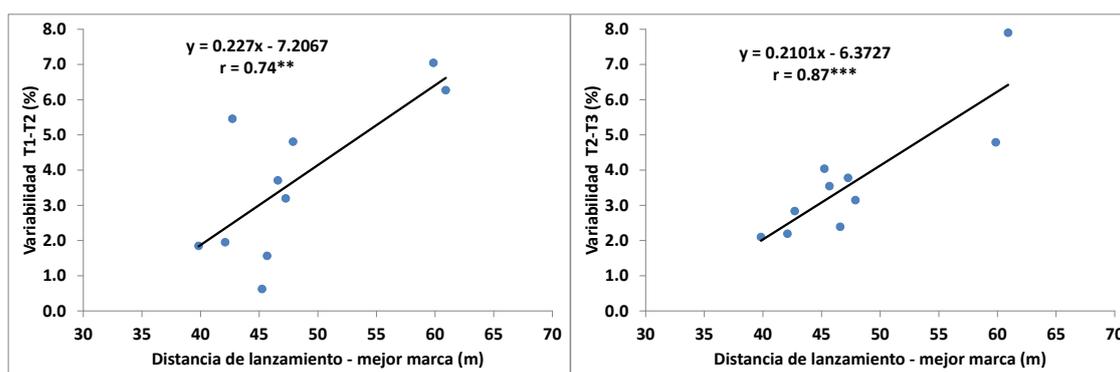


Figura-22. Diagrama de dispersión y recta de regresión que relacionan la mejor marca de lanzamiento con la variabilidad de las fases temporales: fase preparatoria unipodal sobre el pie derecho T1-T2 ($r=0,74^{**}$) y de la fase de doble apoyo T2-T3($r=0,87^{***}$), en mujeres.

6.-DISCUSIÓN

La principal aportación de este estudio ha sido demostrar que no existe ninguna asociación entre la distribución temporal de los tres últimos apoyos y el rendimiento en el lanzamiento de jabalina, lo cual se ha comprobado al observar que estas variables no han sido sensibles ni al nivel de rendimiento (mejor vs peor lanzamiento) ni al sexo (chicos vs chicas), y no han mostrado relaciones con la distancia lanzada. Sin embargo, una alta variabilidad intra-lanzadora de las fases del lanzamiento se ha asociado a un mejor rendimiento, estando en la línea de los últimos hallazgos en este deporte.

Primeramente intentaremos comparar los resultados temporales obtenidos con los mencionados en las escasas referencias que los han analizado (Liu et al., 2010). En general observamos en nuestros lanzadores y lanzadoras que la fase T1-T2 (197 ± 39 y 198 ± 35 ms, respectivamente) es más corta que la referida por estos autores (240 ± 40 y 244 ± 27), mientras que la fase T2-T3 (144 ± 17 y 150 ± 20 ms, respectivamente) es más larga (115 ± 37 y 137 ± 32 ms). Esto puede ser debido al estilo de lanzamiento de unos y otros, respondiendo al patrón de dos escuelas de lanzamiento diferentes como habíamos visto en la parte histórica de este trabajo. Mientras que en muchos lanzadores europeos se centran en meter rápido los dos pies al suelo en busca de trabajar con la cadera y hombro en la fase de doble apoyo; los lanzadores americanos buscan adelantar más el pie derecho en la fase de vuelo anterior al apoyo unipodal de forma que entran con el orientado al frente en lo que dominan “apoyo dinámico”. Este mayor adelantamiento del pie derecho produce una basculación o inclinación del tronco hacia atrás, de forma que cuando el pie derecho comienza el apoyo unipodal, el pie izquierdo tarda más tiempo en llegar al suelo, produciendo una duración de la fase temporal mayor que en los atletas europeos. Sin embargo ese “apoyo dinámico” hace que la fase de doble apoyo sea menor, debido a que al entrar con el pie orientado al frente, la cadera también está mirando al frente cuando el pie izquierdo contacta con el suelo y la descarga del brazo se produce de forma de menos duradera. El tiempo entre el contacto del pie izquierdo y la liberación de la jabalina es menor que en los lanzadores europeos, puesto que los europeos tienen una mayor torsión entre caderas – hombros, de forma que la cadena cinética que se tiene que poner en marcha en este caso es más larga y llevará más tiempo que el impulso llegue a la jabalina. Se podría decir que el apoyo dinámico responde más a un lanzamiento de velocidad; mientras que cuando se trabaja con un doble apoyo más largo se orienta el lanzamiento hacia la fuerza. Otro de los motivos que podría explicar estas diferencias temporales sería la diferencia en la velocidad de grabación entre un estudio y otro, con el error que esto llevaría aparejado. En nuestro caso grabamos a 300 fps, mientras en el estudio de Liu et al., (2010) se graba a 60 fps. Por este motivo el error entre el punto que marca el inicio y final de cada una de las fases temporales puede variar considerablemente dado que habría unas cuantas imágenes de diferencia y con ello ciertos milisegundos. Durante un frame a 300 fps transcurren 3 ms, mientras que en un frame a 60 fps transcurren a 17 ms de lanzamiento. Esta falta de influencia entre las fases temporales y el rendimiento deportivo hace que la duración temporal no sea un parámetro válido a la hora de controlar el rendimiento deportivo y ayudar a los entrenadores en su labor diaria. Del mismo modo se ha

comprobado que no existe una influencia del sexo en la distribución temporal de las fases propuestas. En valores absolutos se puede ver que los valores temporales son algo mayores en las mujeres, pero su diferencia es mínima, y en la distribución temporal de cada una de las fases partiendo de la duración total que tienen los tres últimos apoyos, podemos ver que existe una semejanza de modelos entre ambos sexos. Todo esto implica que en cuanto al comportamiento temporal la técnica de lanzamiento de jabalina en los sujetos estudiados se rige por unos patrones fijos para cada sujeto y aunque en valores absolutos puede haber diferencias mínimas, en lo referente a la distribución temporal no se da. Las diferencias temporales son inexistentes entre el mejor y peor lanzamiento, entre los sujetos y entre los sexos, puesto que aunque la marca de lanzamiento cambia, sus fases temporales y distribución de las mismas es similar, sin obtenerse diferencias significativas. Esto nos indica que hay otros valores que marcan el rendimiento deportivo y que podrían ir encaminados a la variabilidad del movimiento. Si en un mismo sujeto las fases temporales son similares y su distribución es más o menos constante, dado que se está moviendo a una velocidad similar en cada lanzamiento y el tiempo que utiliza en la fase de doble apoyo para la acelerar la jabalina (recordemos que donde se genera el 70% de la velocidad del implemento) es casi el mismo en todos sus lanzamientos; de forma que existe una variabilidad del movimiento en la técnica de ejecución del lanzamiento.

Los únicos indicios de diferencias se encontraron en la variabilidad de las fases: fase preparatoria unipodal sobre el pie derecho T1-T2 ($r=0,74^{**}$) y de la fase de doble apoyo T2-T3($r=0,87^{***}$), en mujeres. Estas diferencias pueden ser generadas por que en los hombres la muestra es demasiado pequeña ($n=9$) mientras que en las mujeres se tienen más sujetos a estudiar ($n=12$); pero seguramente también sean generadas como comentamos anteriormente, por que a diferencia de los hombres, en el grupo de las mujeres hay dos atletas de superior nivel al resto. Esto lo podemos ver por un lado en el hecho de que esas dos atletas son lanzadoras que compiten a nivel internacional, mientras que en los hombres ninguno de ellos tiene ese nivel deportivo. Así mismo en la diferencia de marcas entre el primer y último clasificado se puede ver que en chicos es de poco más de 10m, mientras en mujeres esa marca se va por encima de los 20 m (Tabla 1).

¿A que puede responder esta mayor variabilidad en estas dos mujeres?, seguramente que responda a su mayor nivel técnico. De esta forma se puede decir que al tener un mayor nivel son capaces de adaptar sus movimientos y su técnica para conseguir el resultado óptimo. En este caso se puede ver que incluso varían la duración de sus dos últimas fases temporales, algo que el resto de sujetos estudiados no realiza.

Al respecto Bartlett y cols. (1996) y nos lo vuelve a recordar en Bartlett (2007) nos dice que estudiando a lanzadores de jabalina de diferente nivel (iniciación, club y elite) se puede ver como las diferencias o variabilidad se manifiesta con mayor intensidad en los sujetos que componen el grupo de iniciación y los sujetos elite, mientras que en el grupo club la variabilidad es menor. La variabilidad se explica fácilmente en los sujetos del grupo de iniciación dado que por estar empezando no tienen un control suficiente sobre la disciplina de forma que cada lanzamiento su patrón de movimientos es muy variado y

no sigue ninguna línea. En el caso de los lanzadores elite esta variabilidad tiene otra explicación. Estos sujetos tienen unos patrones motores básicos que son muy estables, pero sobre ellos son capaces de desarrollar otra serie de movimientos para adaptarse a las condiciones externas y conseguir que cada uno de sus lanzamientos a pesar de ser diferentes consigan un óptimo resultado. En cuanto a los lanzadores club, se encuentran en esa fase intermedia, en la que ya dominan los patrones de movimiento básicos, pero no tienen la habilidad para adaptarse al entorno, y siempre ejecutan todos sus lanzamientos de igual forma, por ello su mayor estabilidad.

Esto mismo nos lo explica Gutiérrez-Dávila (2010 y 2011) aplicado al balonmano. La variabilidad es mayor en este deporte (deben superar al un portero), pero el patrón de lanzamiento se parece a la jabalina. En este caso nos dice que durante una primera etapa en la que se adquiere el patrón de lanzamiento, la variabilidad de ejecución de los lanzadores es muy alta. En una segunda etapa en la que se controla la técnica de lanzamiento, esta se vuelve estable y la variabilidad se ve reducida a la mínima expresión, de forma que todos los lanzamientos que se ejecutan son iguales. Y en una tercera fase, comienza a predominar la habilidad del lanzador, adaptando sus patrones de movimiento a la situación, de forma que la variabilidad vuelva a aparecer aunque ahora se podría hablar de una variabilidad controlada y que es la que diferencia a los deportistas de nivel de los de alto nivel.

No podemos olvidar lo que nos señala también Morris y cols (1997) y que ya apuntamos con anterioridad de las diferentes formas o modelos de lanzar de cada lanzador en una gran competición, para conseguir marcas similares; de forma que no existe solo un patrón “modelo” sino que la variabilidad predomina intra-sujeto e inter-sujeto.

Por todo lo expuesto anteriormente y viendo hacia donde se están encaminando las tendencias actuales de investigación, podríamos decir que con los resultados obtenidos en este trabajo se puede observar una pequeña tendencia a la variabilidad temporal en los sujetos de mayor nivel, y que necesitaría de muestras de estudio más grandes y en las que hubiera suficientes sujetos de un alto nivel, frente a sujetos de nivel nacional o “club”; para poder ver si lo que aquí es una pequeña tendencia se cumple en ese tipo de sujetos, como apuntan algunos estudios actuales. (Bartlett 2007) (Gutiérrez-Dávila 2010, 2011).

Del mismo considerando que la variabilidad de los patrones de movimiento tiende a incrementarse con la práctica y que puede ser uno de los factores que determine el nivel deportivo de un lanzador, distinguiendo a los buenos de los excelentes, se debería de revisar los diseños de control sobre los patrones de movimiento deportivo que hace la biomecánica deportiva en la actualidad, para dar cabida en sus diseños a una variable del rendimiento como puede ser la variabilidad.

7.-CONCLUSIONES

La duración y/o distribución temporal de los tres últimos apoyos del lanzamiento de jabalina no tienen influencia en el rendimiento obtenido en esta modalidad atlética. Sin embargo, en atletas de alto nivel, es muy probable que la variabilidad o capacidad para ajustar temporalmente estas fases para obtener un parecido movimiento final sea un valor indicativo de su nivel de rendimiento.

La duración y/o distribución temporal de los tres últimos apoyos del lanzamiento de jabalina se ha mostrado similar en los hombres y mujeres analizados, por lo que concluimos que el género es un factor que no afecta a estas variables. La principal aportación de este estudio al entrenamiento deportivo es que el entrenamiento técnico no debe basarse en criterios temporales (duración o “timing” de los tres últimos apoyos), en tanto que no se han mostrado relevantes.

Futuros estudios que utilicen esta misma metodología deberían llevarse a cabo con lanzadores masculinos de mayor nivel, para comprobar el efecto de la variabilidad en el rendimiento, y constatar que entre ambos grupos no hay diferencias en la distribución de los parámetros temporales.

8.-BIBLIOGRAFÍA

1. **Bartlett, R.; Muller, E.; Lindinger, S.; Brunner, F.; Morriss, C.** (Feb 1996). *Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels.* Journal of Applied Biomechanics, Vol. 12 Issue 1, p58-71.
2. **Bartlett, R.; Wheat, J.; Robins, M.** (2007) *Is movement variability important for sports biomechanics.* Sports Biomechanics, Vol 6 Issue 2 p224-243.
3. **Bartonezt, K.** (2000) *Capítulo 20: Javelin throwing: an approach to performance development.* En **Zatsiorsky, V.M.** (Eds). *Biomechanics in sport. Performance enhancement and injury prevention.* Blackwell Science Ltd. Oxford. p 401-434.
4. **Bravo, J.** (2000) *Evolución histórica de las técnicas. Lanzamiento de jabalina.* En **Bravo, J.; Campos, J.; Durán, J.; Martínez, J.L.** *Atletismo 3 Lanzamientos.* Real Federación Española de Atletismo. Madrid. p 335-345.
5. **Gutiérrez-Dávila, M.** (2010) *Análisis de los factores dependientes de la variabilidad en los patrones de lanzamientos y golpes ante oposición.* XXXIII Congreso de la sociedad ibérica de biomecánica y biomateriales. Universidad de Valencia Cd-Rom, ISBN 978-84-936128-2-5.2010.
6. **Gutiérrez-Dávila, M. Rojas, J.; Ortega, M.; Campos, J.; Parraga, J.** (2011) *Anticipatory strategies of team-handball goalkeepers.* Journal of Sports Sciences, Vol. 29 Issue 12 p1321-1328.
7. **Hay, J.G.** (1978) *The biomechanics of sport techniques.* Prentice Hall Englewood Cliffs.
8. **Hui Liu; Steve Leigh; Bing Yu.** (2010) *Sequences of upper and lower extremity motions in javelin throwing.* Journal of sports sciences, Vol 28 Issue 13 p 1459 – 1467.

9. **IAAF** (2010) *Competition Rules 2010/2011*. International Association of Athletics Federations. [Consulta 04-08-2011].
http://www.iaaf.org/mm/Document/AboutIAAF/Publications/05/47/80/20091027085725_httppostedfile_CompRules-BAT_17164.pdf
10. **Mero, A.; Komi, P. V.; Korjus, T.; Navarro, E.; Gregor, R. J.** (1994) *Body Segment Contributions to Javelin Throwing During Final Thrust Phases*. Journal of Applied Biomechanics, Vol. 10 Issue 2, p166-177.
11. **Morriss, C.; Bartlett, R.** (1996). *Biomechanical factors critical for performance in the men's javelin throw*. Sports Medicine, Vol. 21 Issue 6. p. 438-446.
12. **Morriss, C.; Bartlett, R.; Flower, N.** (1997) *Biomechanical analysis of the men's javelin throw at the 1995 World Championships in Athletics*. New studies in athletics, Vol 2/3 p 31-41.
13. **Tidow, G.** (2008) *The Javelin Throw*. Modern athlete & coach, Vol. 46 Issue 1 p30-58.
14. **Viitasalo, J.** (2009) *Biomechanics in javelin throwing*. World Javelin Conference 2009, Kuortane. Finland. [Consulta: 18-08-2011].
http://www.speerschule.ch/docs/doc_wjc09-biomech2.pdf