

ANÁLISIS  
BIOMECÁNICO DE LOS  
LANZAMIENTOS EN ATLETISMO

1



CSD

CONSEJO SUPERIOR  
DE DEPORTES

ESTUDIOS SOBRE  
CIENCIAS DEL DEPORTE

ANÁLISIS  
BIOMECÁNICO DE LOS  
LANZAMIENTOS EN ATLETISMO

1



**CSD**

CONSEJO SUPERIOR  
DE DEPORTES

ESTUDIOS SOBRE  
CIENCIAS DEL DEPORTE

## COLECCIÓN «ESTUDIOS SOBRE CIENCIAS DEL DEPORTE»

En 1994 apareció el primer número de unas publicaciones monográficas con el título general de «**SERIE ICd DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL DEPORTE**». Esta publicación del Consejo Superior de Deportes tenía como objetivo satisfacer la demanda de información científica especializada, difundiendo los trabajos que, en la mayoría de los casos eran el resultado de proyectos de investigación subvencionados por el propio organismo y los cuales, por su calidad, actualidad y rigor científico, se consideraban de interés para los especialistas.

Al cabo de varios años, la demanda de este tipo de información sigue vigente, pero se ha visto la necesidad de atender también otras demandas y difundir informes técnicos, estadísticas y estudios que, siendo de gran interés para determinados sectores, no tenían cabida en la serie interpretando su título en un sentido estricto.

Este es el motivo que ha llevado al editor a crear un nuevo título de colección más amplio y con una imagen nueva —«**Estudios sobre Ciencias del Deporte**»—, bajo el cual continuará, por un lado, con el mismo planteamiento de calidad y rigor científico la **Serie de Investigación**. Al igual que en la etapa anterior, los trabajos que se publican en la misma son seleccionados por un Comité Científico, y están sujetos a la «Normativa General para la presentación de trabajos» del Programa de publicaciones del Consejo Superior de Deportes.

Por otra parte, se inicia, con numeración independiente y dentro de la misma colección, una **nueva «Serie de Informes»**, con contenidos y objetivos diferentes que se seleccionarán con los criterios adecuados para satisfacer las necesidades de distintos sectores de destinatarios sobre temas y aspectos de actualidad.

Los nuevos nombres e imagen se aplican también a los números de la «**SERIE ICd DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL DEPORTE**» que, como el presente, han quedado agotados y se reeditan.

Las referencias bibliográficas correspondientes a los artículos publicados en la colección «Estudios sobre Ciencias del Deporte», elaboradas por el Servicio de Documentación, se remiten para su inclusión en la base de datos bibliográfica sobre deportes ATLANTES, fruto de la colaboración entre distintos centros de documentación e información y bibliotecas deportivas españolas e iberoamericanas. Esta base de datos se encuentra en uno de los dos CD-ROM de Silver Platter que albergan además SPORTDISCUS y HERACLES.

### **Director editorial:**

Antonio Guerrero Olea

### **Coordinación editorial:**

Erika Schwarz

Miguel Angel Gutiérrez

### **Consejo asesor:**

Fernando Andrés Pérez, Alicia Canda, Javier Durán, Amelia Ferro Sánchez, Mónica de la Fuente, Manuel García Ferrando, Rafael Manso, Cristobal Moreno, Agustín Meléndez, Ramiro Merino Merchán, Cecilia Rodríguez Bueno, Silvio Rubio, Luis M. Ruíz Pérez, Fernando Sánchez Bañuelos, Benilde Vázquez.

### **Unidad editora:**

Ministerio de Educación,  
Cultura y Deporte

Consejo Superior de Deportes

© 2001

### **Edición no venal.**

N.I.P.O.: 663-09-006-8

Depósito Legal: M-14322-2009

### **Distribución e información:**

Centro de Alto Rendimiento y de  
Investigación en Ciencias del Deporte  
C/ del Greco s/n Tl. 915.89.05.50  
28040 Madrid 915.89.68.77  
Fax 91/544.81.22

Web: <http://www.csd.mec.es>

Email: [csd.publicaciones@csd.mec.es](mailto:csd.publicaciones@csd.mec.es)

### **Venta:**

Centro de Publicaciones del MECyD  
Ciudad Universitaria  
28040 Madrid Tl. 914.53.98.00  
Fax: 914.53.98.83

Librería del B.O.E.  
C/ Trafalgar, 29 Tl. 915.38.21.11  
28071 Madrid Fax 91/538.21.21

**NOTA:** Los trabajos presentados expresan el criterio y valoraciones de sus autores sin que el Consejo Superior de Deportes comparta necesariamente las tesis y conceptos expuestos en ellos. Permitida la reproducción parcial citando la fuente.

# ÍNDICE

## ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LOS LANZAMIENTOS EN ATLETISMO

	<u>Pág.</u>
<b>Análisis biomecánico del lanzamiento de martillo</b> <i>Gutiérrez Dávila, M., Soto Hermoso, V. M.</i>	7
<b>Análisis biomecánico de la técnica individual de los dos mejores atletas españoles de lanzamiento de jabalina</b> <i>Navarro Cabello, E., Campos Granell, J., Chillaron, E., Vera Luna, P.</i>	51

*Icd* - N° 1

---

Estudios sobre Ciencias del Deporte. Serie de Investigación

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE  
Consejo Superior de Deportes





**ANÁLISIS BIOMECÁNICO  
DEL LANZAMIENTO DE MARTILLO**

*Gutiérrez Dávila, M.  
Soto Hermoso, V. M.*



**Marcos Gutiérrez Dávila**, Licenciado en Educación Física y Deportiva. Profesor Titular de Universidad, imparte docencia en Biomecánica Deportiva en el Departamento de Educación Física Deportiva de la Universidad de Granada. Doctor en Educación Física y Deportiva. Director del Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Granada.



**Victor Manuel Soto Hermoso**, Licenciado en Educación Física y Deportiva. Profesor Titular interino de Universidad, imparte docencia en Biomecánica Deportiva en el Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Granada. Doctor en Educación Física y Deportiva.

**Resumen:** El presente trabajo realiza un análisis teórico de los factores que inciden en la eficacia del lanzamiento de martillo desde un punto de vista biomecánico. Este gesto ha sido dividido en tres fases secuenciales: volteos, giros y lanzamiento final; cada una de estas fases depende de múltiples factores, los giros y la fase final del lanzamiento han sido analizados de forma individual, así como su lógica interdependencia. Tras este análisis teórico inicial se ha realizado un análisis y valoración detallada de los factores que inciden en la eficacia de una muestra de seis lanzadores de élite, entre los que destacan A. Astapkovich, I. Nikulin y J.M. Godall, los cuales fueron filmados durante una concentración nacional (1992). El posterior análisis se ha realizado utilizando técnicas fotogramétricas tridimensionales computerizadas, obteniendo registros cinemáticos y cinéticos que nos han permitido evaluar la eficacia del gesto técnico realizado, con observaciones individualizadas de cada atleta.

**Palabras clave:** Biomecánica, lanzamiento de martillo, fotogrametría tridimensional, atletismo.

## 1. INTRODUCCION

El ámbito general de este estudio se centra en el análisis biomecánico del lanzamiento de martillo, con la finalidad de establecer ciertos criterios de eficacia y compararlos entre los lanzadores de alto nivel internacional y nacionales.

En la prueba atlética de lanzamiento de martillo es relativamente fácil elegir a los mejores lanzadores mundiales para el análisis, ya que se trata de una prueba que ha estado dominada por los atletas soviéticos durante más de una década, debido probablemente a una buena sistematización del entrenamiento, metodología del aprendizaje y, fundamentalmente, a los cambios producidos en la concepción de la técnica (Duran, 1985).

La compleja estructura espacial del gesto, el tiempo relativamente largo que se utiliza para conseguir la velocidad final del martillo y la poca información científica que se tiene sobre su técnica, hacen posible que, aunque aparentemente el gesto utilizado sea igual para todos, pequeñas modificaciones sean las causas de las diferencias en la longitud de lanzamiento, las cuales oscilan entre quince y veinte metros, es decir, estar en la élite mundial o ser un lanzador mediocre.

Lo cierto es que no es fácil detectar esos defectos técnicos que reducen la distancia de lanzamiento, posiblemente la dificultad reside en la compleja estructura técnica del propio gesto, donde para conseguir la máxima velocidad del martillo es necesario realizar dos o tres volteos previos y tres o cuatro giros, simultáneos a un desplazamiento lineal del sistema lanzador y martillo, que se complica cuando el plano del martillo cambia su orientación espacial en cada giro. Se debe considerar que intentar comprender todas estas cognotaciones técnicas observando el gesto a velocidad real es una tarea ardua y difícil si no se utilizan sistemas de análisis que permitan describir el movimiento desde una perspectiva científica.

### 1.1. Análisis de los factores que determinan el modelo teórico de lanzamiento.

Ante todo se debe recordar que el objetivo básico del lanzamiento de martillo es proyectarlo tan lejos como sea posible. Para conseguirlo, el lanzador realiza dos o tres volteos preliminares en que los dos pies se mantienen en contacto con el suelo, seguidos de tres o cuatro vueltas en que todo el lanzador gira con el martillo.

Según la expresión E-1, la distancia alcanzada por el martillo (D), cuando no se consideran las resistencias aerodinámicas, está determinada por la velocidad del martillo en el instante en que el lanzador lo suelta ( $V_F$ ) el ángulo de proyección con respecto al suelo ( $\beta$ ) y la altura de salida (h).

(E-1)

$$D = \frac{V_F^2 \sin(\beta) \cos(\beta) + V_F \cos(\beta) \sqrt{[V_F \sin(\beta)]^2 + 2gh}}{g}$$

donde  $V_F$  corresponde a la velocidad del martillo en el instante de soltarlo;  $\beta$ , el ángulo de proyección;  $h$ , la altura de salida y  $g$ , toma el valor de 9.91.

La velocidad final del martillo está determinada por el incremento de la velocidad durante cada vuelta, a un ritmo de crecimiento que es individual para cada lanzador (Bondarstchuk, 1987) y alcanzando su valor máximo en el instante en que el lanzador suelta el martillo.

El desarrollo de la expresión E-1 pone de manifiesto que el ángulo de proyección idóneo sería de 45°, aunque realmente solo se alcanza un ángulo de unos 40°, debido, probablemente, a que un ángulo mayor provocaría que el martillo golpeará en el suelo durante la última vuelta.

La altura de salida (h) depende de las dimensiones antropométricas del lanzador y de la posición adoptada al final del lanzamiento. Generalmente, cuanto más alto esté el martillo al final del lanzamiento, mayor será la distancia conseguida, aunque se debe de considerar que, según la expresión E-1, manteniendo constante la velocidad y el ángulo, un incremento tan importante como de 1 metro en el altura, solo supondría pequeños incrementos en la distancia.

Después de esta exposición genérica del lanzamiento de martillo es necesario hacer el análisis temporal y selección de las fases que lo determinan, con el fin de comprender mejor los factores que inciden sobre su eficacia.

Observando el gesto se pueden diferenciar cronológicamente tres fases:

- a) **Los volteos**, cuando se hace girar el martillo en torno al lanzador (generalmente se realizan 2 ó 3).
- b) **Las vueltas**, cuando el martillo y lanzador giran alrededor de un eje común (generalmente se realizan 3 ó 4).
- c) **El final**, que comprende un corto intervalo de tiempo desde el final de la última vuelta hasta que se suelta el martillo.

El objetivo de los volteos es conseguir una velocidad y trayectoria adecuada del martillo para poder iniciar las vueltas; el de las vueltas, acelerar el martillo y cambiar su plano de movimiento, con el fin de conseguir una gran velocidad final y un ángulo de proyección próximo a los 40°. El final de los volteos y comienzo de las vueltas se considera el instante en que el pie izquierdo, para lanzadores diestros, despega del suelo.

Atendiendo a las posiciones que adopta el lanzador en cada vuelta, ésta se puede dividir en dos periodos claramente diferenciados:

- a) **doble apoyo**, donde los dos pies permanecen en contacto con el suelo.
- b) **apoyo único**, donde el lanzador gira manteniendo un solo apoyo en el suelo.

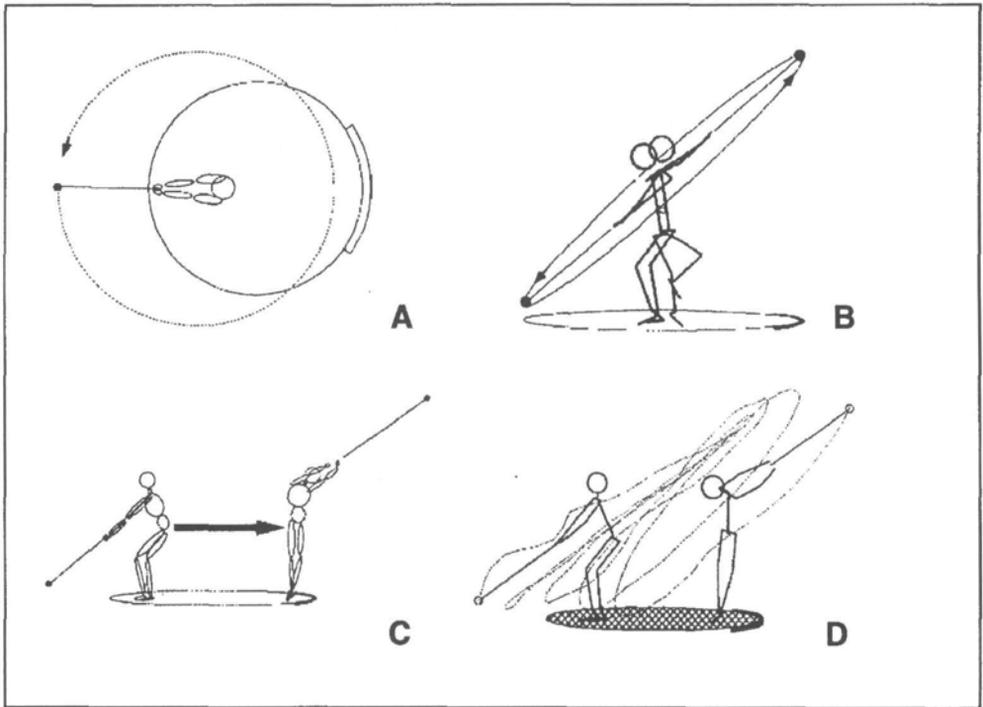
Históricamente se ha dedicado una especial atención a estos dos periodos, basándose en la creencia general de que el martillo solo puede acelerarse durante el periodo de doble apoyo, no teniendo el lanzador la posibilidad de influir activamente sobre la velocidad del martillo durante el periodo de apoyo único. Esta creencia ha sido cuestionada por Dapena (1984, 1986, 1989), poniendo de manifiesto que es posible incrementar la velocidad durante el periodo de apoyo único si se tiene en cuenta la influencia de la acción de la gravedad sobre el martillo y el desplazamiento del centro de gravedad del sistema lanzador y martillo (Cgs.).

La fase final se considera como la continuación del último giro, aunque posee ciertas características propias, como la inclinación del tronco hacia atrás, elevación progresiva del centro de gravedad del lanzador (Cg.) y un doble apoyo durante toda la fase.

Analizando la trayectoria del martillo con respecto a un sistema de referencia inercial, el lanzamiento supone un movimiento bastante complejo, compuesto por la suma de tres movimientos distintos (Dapena, 1984, 1986):

- a) Un movimiento circular del martillo alrededor del atleta.
- b) Un cambio gradual en la inclinación del plano del martillo con el fin de obtener un ángulo que se aproxime a los 45° teóricos con respecto al plano horizontal de lanzamiento.
- c) Una traslación horizontal de todo el sistema, lanzador más martillo, a través del círculo de lanzamiento.

En la **figura 1** se observa la construcción del movimiento total a partir del movimiento circular (a), cambio de inclinación con respecto al plano horizontal (b), traslación horizontal del sistema lanzador y martillo sobre el círculo (c) y el movimiento total (d).



**Figura 1.** Representación gráfica de la construcción del movimiento total (d) a partir del movimiento circular (a), cambio de inclinación del plano (b) y traslación horizontal del Cg. del sistema sobre el círculo (c).

### 1.1.1. Radio de giro del martillo.

Atendiendo al movimiento circular del sistema lanzador más martillo, para conseguir una cierta cantidad de giro o momento angular ( $H$ ) es necesario aplicar la mayor fuerza excéntrica posible. Dicha fuerza produce una trayectoria circular, tanto del martillo como del lanzador, y una fuerza interna del sistema que se traduce en el esfuerzo que el lanzador tiene que ejercer sobre el martillo debido a la fuerza centrípeta ( $F_{cp}$ ); es decir, una fuerza que apunte hacia el centro de la trayectoria circular que sigue la bola. Esta fuerza se ejerce a través del cable, y puede alcanzar valores que se aproximan a los 3000 N. en lanzadores de alto nivel (Dapena, 1986).

Por reacción, el cable tira hacia delante de las manos del lanzador con una fuerza igual y de sentido contrario ( $F_R$ ). Considerando el diagrama de fuerzas que se presenta en la **figura 2.a.** podríamos esperar que el lanzador resistiese empujando hacia adelante con los pies contra el suelo, como en una competición de "tirar de la cuerda". Pero esto no ocurre así en el lanzamiento de martillo, se debe pensar en el lanzador y en el martillo como si fueran un sistema de dos estrellas, una pequeña y otra grande que giran alrededor de un Centro de giro común (Dapena, 1986).

En este sentido, la fuerza ejercida sobre la bola por el cable, sirve para mantener al martillo en su trayectoria circular y de la misma forma, la fuerza de reacción ejercida sobre las manos del lanzador no hace que el lanzador se caiga hacia adelante; sino que simplemente mantiene al lanzador en su propia trayectoria circular (**Figura 2.b.**). Por lo tanto, al contrario de lo que ocurre en una competición de "tirar de la cuerda", el lanzador de martillo no tiene que empujar contra el suelo hacia adelante con los pies.

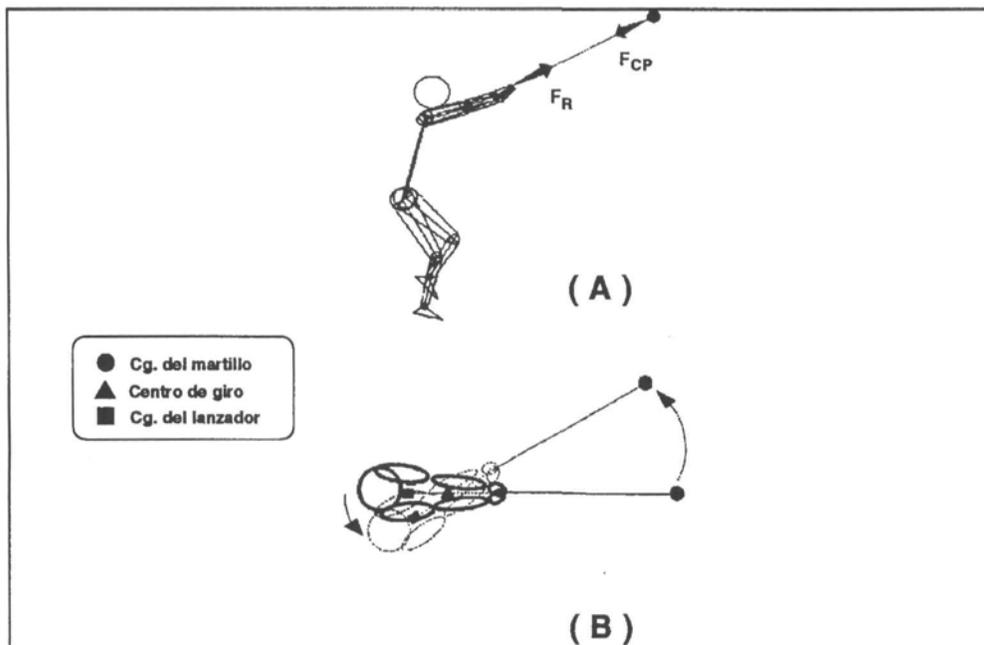
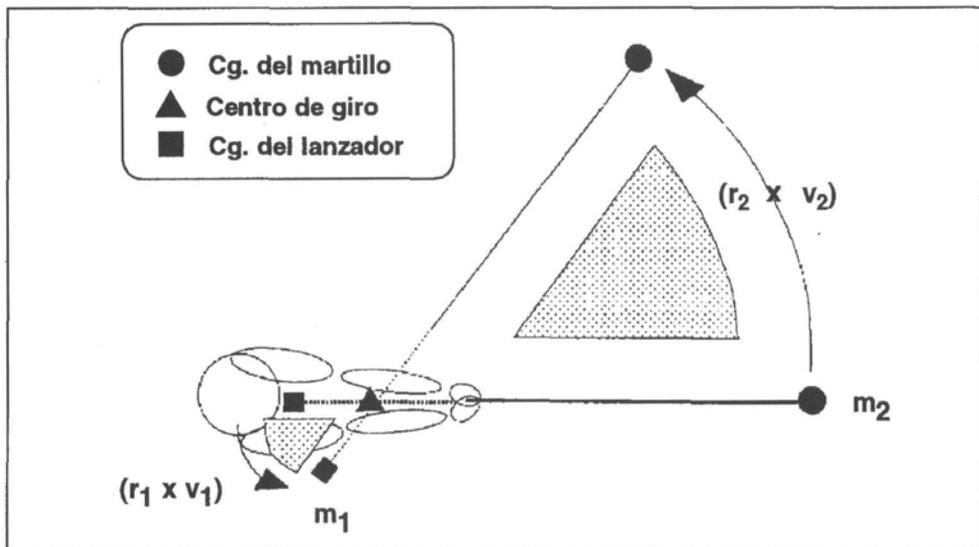


Figura 2. Diagrama de fuerzas del lanzador.

Siguiendo con el símil referido por Dapena,(1986), en la **Figura 3** se representa un esquema del sistema lanzador más martillo, donde la estrella grande sería el lanzador, con una masa ( $m_1$ ), un radio de giro de su Cg. con respecto al centro de giro del sistema ( $r_1$ ) y una velocidad tangencial de su Cg. ( $V_1$ ) y la estrella pequeña el martillo con una masa  $m_2$ , un radio de giro ( $r_2$ ) y una velocidad tangencial ( $V_2$ ). Considerando que no existen fuerzas externas al sistema en movimiento circular, se podría establecer la igualdad de momentos referida en la expresión E-2, donde el momento angular se expresa como una relación directa a la masa y el producto vectorial correspondiente al radio de giro y el vector velocidad del Cg., tanto del lanzador como del martillo, respectivamente.



**Figura 3.** Representación esquemática del sistema lanzador y martillo en una rotación a través del eje vertical.

(E-2)

$$m_1 \cdot (r_1 \times v_1) = m_2 \cdot (r_2 \times v_2)$$

donde  $m_1$  y  $m_2$  corresponden a las masas del lanzador y martillo, respectivamente,  $r_1$  y  $r_2$  al radio de giro del lanzador y martillo, respectivamente y  $v_1$  y  $v_2$ , al vector velocidad tangencial el Cg. del lanzador y martillo, respectivamente.

Si se considera que la masa del martillo es constante (7.26 Kg) y que sería muy conveniente obtener una gran área de barrido del martillo, expresada por  $(r_2 \times v_2)$ , cuanto mayor sea la masa del lanzador, el valor de  $(r_2 \times v_2)$  se incrementará de forma proporcional, lo que supondría aumentar, tanto el radio del martillo como su velocidad tangencial, manteniendo el mismo momento angular, o lo que es igual, realizando el mismo esfuerzo. Esto mismo ocurre cuando los entrenadores utilizan martillos de menor peso que el reglamentario para buscar una mayor velocidad del martillo.

Seguindo a Hay (1980), cuando se considera el movimiento circular del martillo desde un punto de vista puramente cinemático y utilizando la expresión E-3, se desprenden las siguientes conclusiones:

- a) Cuando la velocidad angular del martillo ( $\omega$ ) es constante y se incrementa el radio ( $r$ ), la velocidad tangencial del martillo ( $v$ ) se incrementa.
- b) Cuando el radio se mantiene constante y se incrementa la velocidad angular, la velocidad tangencial se incrementa.
- c) En todo caso, el mayor incremento de la velocidad tangencial ocurre cuando se incrementa, tanto la velocidad angular como el radio.

(E-3)

$$v = \omega * r$$

donde  $v$  corresponde a la velocidad tangencial,  $\omega$ , la velocidad angular y  $r$ , el radio de giro del martillo.

### 1.1.2. Periodo de doble y único apoyo.

Parece normal que, durante décadas, los entrenadores hayan buscado prolongar el periodo de doble apoyo y, sobre todo, después de los cambios técnicos propuestos por Bondartschuk (1979, 1987), a los cuales se les debe gran parte de los excelentes resultados obtenidos por los lanzadores soviéticos en las últimas dos décadas.

Lo cierto es que la lógica utilizada para hacer la propuesta de incrementar el periodo de doble apoyo es muy simple. Cuando se pretende incrementar la velocidad angular del martillo a través de un eje vertical es más fácil hacerlo cuando los dos pies están en contacto con el suelo que cuando se está en un solo apoyo, ya que cuando se reduce la posibilidad de aplicar fuerzas contra el suelo (fuerzas externas al sistema lanzador y martillo) y se quiere acelerar una parte del sistema (martillo), el cuerpo del lanzador giraría en sentido contrario con el fin de mantener constante el momento angular de todo el sistema.

Por el contrario, cuando los dos pies están en contacto con el suelo y se fija la parte inferior del tronco se obtienen las fuerzas externas al sistema necesarias para acelerar el martillo sin que el cuerpo del lanzador gire en sentido contrario. Como conclusión de esta lógica, los investigadores soviéticos proponen que es necesario tener en cada vuelta un periodo de apoyo doble de gran duración, y para eso hay que reducir al mínimo la duración del periodo de apoyo simple en cada vuelta. En las gráficas de velocidad del martillo obtenidas mediante técnicas cinematográficas (Kuznetsov, 1985; Dapena, 1984, 1989 y Bondartschuk, 1987) se observan unas fluctuaciones de la velocidad muy marcadas en cada vuelta, acelerándose solo en el periodo de doble apoyo, hecho que refuerza, aparentemente, esta teoría.

Durante varias décadas se han utilizado dos elementos técnicos importantes para aumentar al máximo el periodo de doble apoyo: a) el pie derecho (para lanzadores diestros) debe de despegar lo más tarde posible, prácticamente cuando ambos pies han girado unos 90° hacia la izquierda (Tschiene, 1980) y b) El pie derecho debe colocarse en el suelo lo antes posible, girando rápidamente con la parte inferior del cuerpo del lanzador. Por lo que se recomienda

que, durante el periodo de apoyo único, se mantenga el pie derecho próximo al eje de giro, con el fin de reducir el momento de inercia y, consecuentemente, aumentar la velocidad de giro de la parte inferior del cuerpo. Con ello se crea una torsión del eje de los hombros con respecto al de la cadera y las piernas que beneficiaría, teóricamente, al incremento de velocidad durante el periodo de doble apoyo.

Basándose en esta misma lógica el lanzador Yuri Sedykh (Bondartschuck, 1987) introdujo ciertos cambios en su técnica que le permitieron aumentar el periodo de doble apoyo y no influir negativamente sobre el martillo durante el periodo de apoyo simple.

Para aumentar el periodo de apoyo doble, el pie derecho se debería anticipar con una orientación próxima a la posición que mantiene el martillo en ese instante, evitando el giro total de la cadera, durante el periodo de apoyo único, así como una anticipación precipitada del eje de la cadera con respecto al de los hombros, lo que lejos de beneficiar a la velocidad del martillo durante el periodo de doble apoyo, produce una deformación en su trayectoria normal, así como un acortamiento del radio de giro y, consecuentemente, una disminución de la velocidad.

Dicho cambio en la técnica se puede describir utilizando el concepto de **Angulo Azimutal**, introducido por Samozvetov (1971), donde el lanzamiento se observa desde una perspectiva superior, con una circunferencia graduada, donde los  $180^\circ$  coinciden con la pretendida dirección de lanzamiento (**Figura 4**). En este caso el pie derecho se orienta, en su apoyo inicial, hacia los  $270^\circ$ , girando posteriormente hasta situarse con una orientación próxima a los  $0^\circ$ . Realmente dicho cambio haría que el espacio recorrido por el martillo, en términos de ángulos azimutales, se incrementara, lo que presupondría una mejora en la técnica.

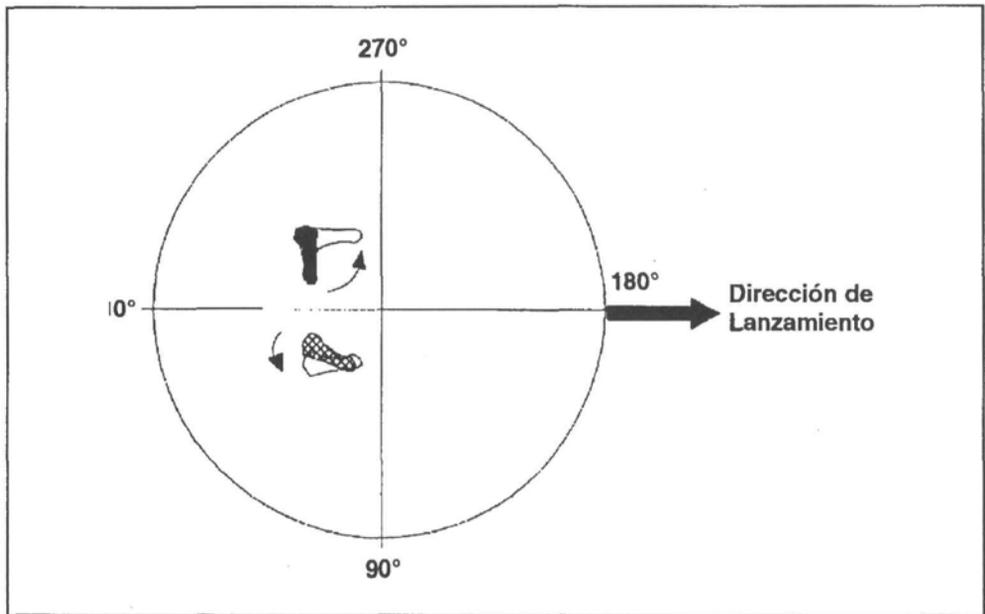


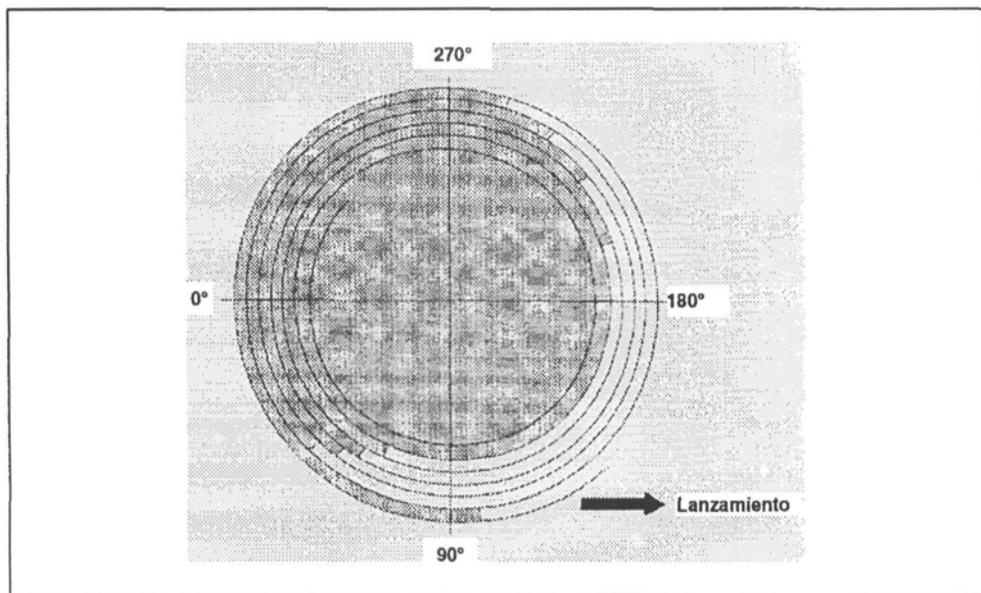
Figura 4. Descripción gráfica del ángulo azimutal propuesto por Samozvetov.

Para no influir negativamente sobre el martillo durante la fase de apoyo único, Bondartschuck (1979) introdujo otro cambio en la técnica de Yuri Sedykh, mediante el cual el lanzador debería preceder al martillo hasta que éste alcanzara el punto más alto de su trayectoria, para después anticiparse rápidamente. Tan importante es este aspecto técnico que, en palabras de Bondartschuck, (1987), el nivel técnico de un lanzador disminuye en relación a la desaceleración producida al martillo durante la fase de apoyo simple.

Es precisamente el valor del espacio recorrido, en términos de ángulos azimutales, durante el periodo de doble apoyo y la influencia activa del lanzador durante la fase de apoyo único, los factores más importantes que se han utilizado para analizar la técnica del lanzamiento de martillo.

Aunque, sin lugar a dudas, parece ser que dichos factores son relevantes para la eficacia del lanzamiento, no parecen ser los únicos; también es preciso saber cuál es el radio de giro y como evoluciona en cada vuelta, sin tener en cuenta otros factores significativos que analizaremos posteriormente como los cambios producidos en el plano de inclinación del martillo, durante el lanzamiento, o la influencia de la transferencia de momentos angulares sobre el plano horizontal.

En la **Figura 5** se observa un esquema donde se representa el desplazamiento del martillo sobre el ángulo azimutal en los periodos de doble apoyo para cada vuelta, utilizando los datos obtenidos por Dapena (1983) para lanzamientos comprendidos entre 65.5 m. y 80.46 m.. Como se observa, la tendencia en cada vuelta es reducir el tiempo de doble apoyo, aunque para los mejores lanzadores esta reducción no debe ser demasiado grande.

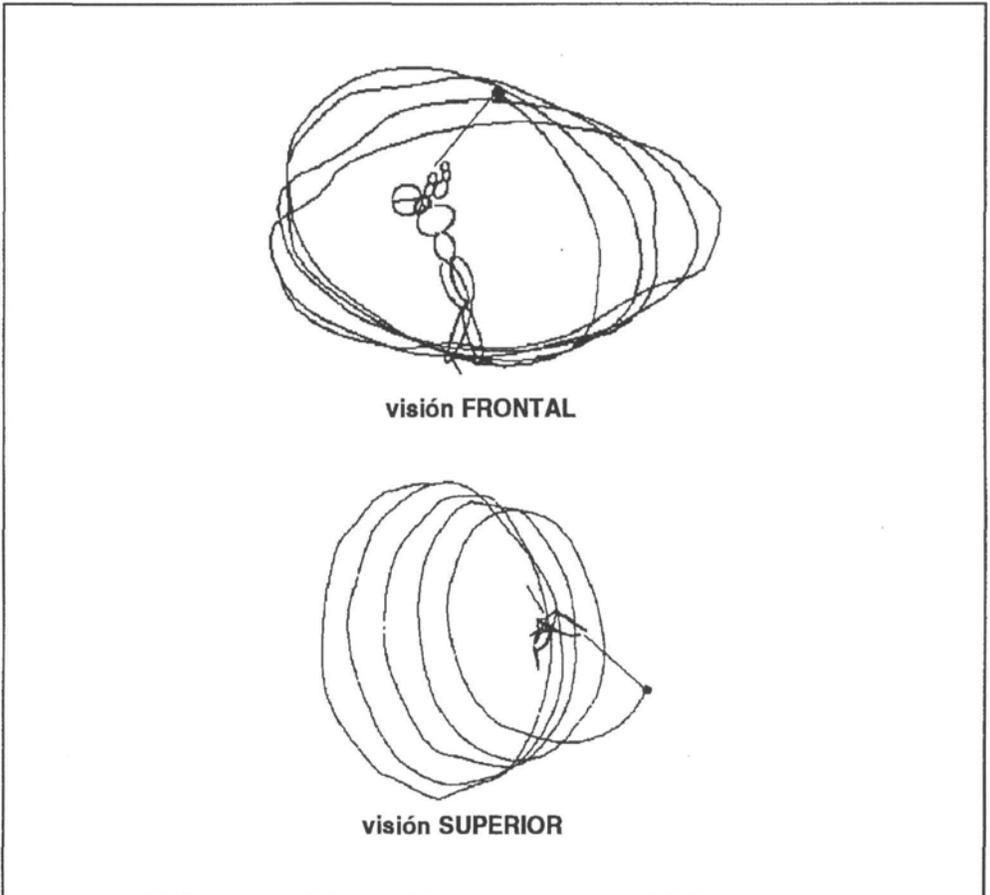


**Figura 5.** Desplazamiento del martillo sobre el ángulo azimutal durante los periodos de apoyo doble para cada vuelta, utilizando los datos obtenidos por J.Dapena (1983).

### 1.1.3. Cambio en la inclinación del plano que define la trayectoria del martillo en cada vuelta.

La trayectoria circular del martillo no se desarrolla alrededor de un eje puramente vertical, en realidad se produce a través de un eje inclinado que le permite obtener un ángulo de salida próximo a los  $45^\circ$  con respecto a un plano paralelo a la dirección de lanzamiento y la horizontal del suelo.

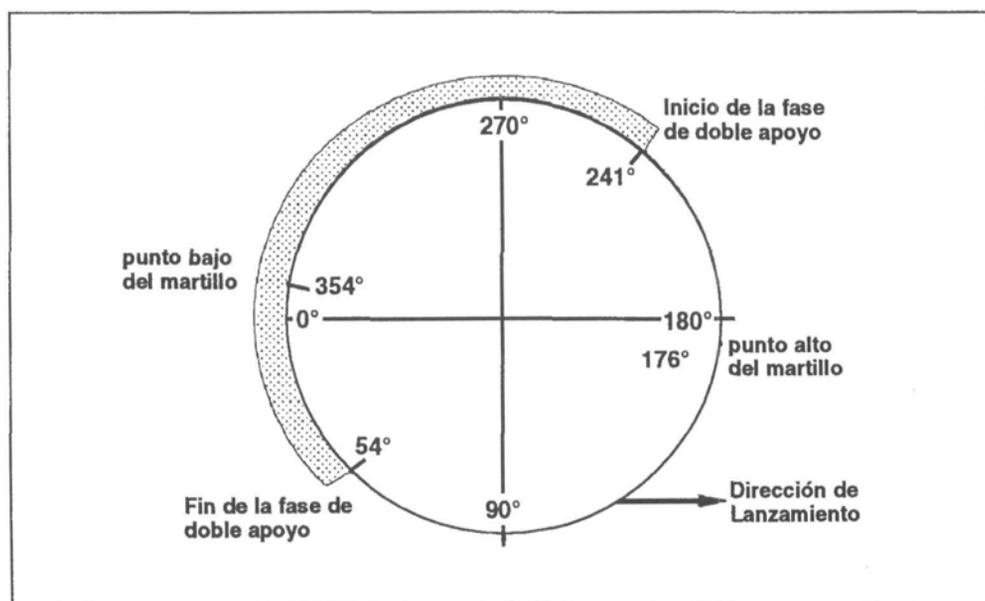
La visión sobre un ángulo azimutal de la trayectoria del martillo nos muestra una rotación alrededor de un eje vertical en sentido contrario a las agujas del reloj (**Figura 6, superior**). Por otro lado, como el plano del movimiento del martillo está inclinado, en una visión frontal, también aparece una rotación del martillo alrededor de un eje horizontal y en sentido contrario a las agujas del reloj (**Figura 6, frontal**).



**Figura 6.** Visión frontal y superior de la trayectoria del martillo alrededor de un eje horizontal y vertical respectivamente.

La rotación del martillo alrededor del eje horizontal hace que exista, en la trayectoria descrita por la cabeza del martillo, un punto alto y un punto bajo que definen el ángulo del plano de movimiento del martillo con respecto a la horizontal del suelo y en que instante cambia de sentido la componente vertical.

En la **Figura 7** se observa la localización, sobre el ángulo azimutal del punto alto y bajo, así como el periodo de doble apoyo y apoyo simple, según los datos ofrecidos por Dapena (1986) sobre 16 lanzadores de alto nivel. Según el lugar donde se localizan dichos puntos sobre el ángulo azimutal, durante el periodo de doble apoyo, el martillo está descendiendo durante un trayecto relativamente largo para después ascender durante un trayecto relativamente corto, mientras que durante el periodo de apoyo único, ocurre todo lo contrario, asciende durante un periodo relativamente largo y desciende durante un periodo relativamente corto.

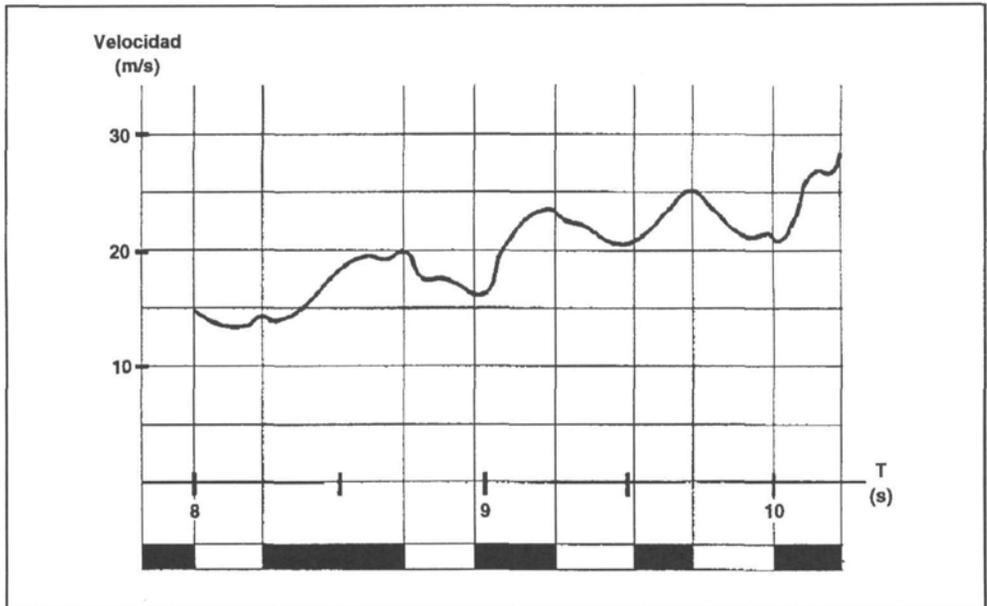


**Figura 7.** Localización del punto bajo y del punto alto del martillo en relación al período de apoyo doble y único, utilizando el ángulo azimutal.

El hecho de que exista un movimiento circular alrededor del eje vertical y otro a través del eje horizontal significa que, para aumentar la velocidad del martillo, se necesita aplicar una fuerza excéntrica (momento de fuerza) alrededor de un eje vertical, pero también se necesita un momento de fuerza alrededor de un eje horizontal. Los resultados de las investigaciones llevadas a cabo por Dapena (1986) indican que, del aumento total que experimenta la velocidad del martillo durante las vueltas, solamente una pequeña parte está asociada con el momento de fuerza alrededor del eje vertical, mientras que la mayor parte del aumento de la velocidad del martillo está asociado con el momento de fuerza alrededor del eje horizontal.

#### 1.1.4. Cambios en la velocidad del martillo durante cada vuelta.

Siguiendo con el planteamiento relativo a las posibilidades que se tienen para acelerar el martillo, como se ha dicho, el lanzador necesita crear dos momentos de fuerza, uno sobre el eje vertical y otro sobre el horizontal, siendo este último el más significativo para producir el cambio de velocidad deseado. Si se observa en la **Figura 8** la gráfica general de velocidad del martillo, adaptada de Kuznetsov (1985) y confirmados sus datos tanto por Bondartschuk (1987) como por Dapena (1989), se puede comprobar que la velocidad aumenta solo durante el periodo de doble apoyo, mientras que durante el periodo de apoyo único ese incremento no existe.



**Figura 8.** Gráfica general de la velocidad del martillo adaptada de J.Dapena (1989).

Esto nos hace pensar que solo es posible aplicar un momento de fuerza que acelere al martillo durante el periodo de doble apoyo, durante el periodo de apoyo simple suele existir una reducción significativa de la velocidad y solo los lanzadores de alto nivel consiguen retener la velocidad. Esto significa que, según el razonamiento expuesto y en base a los datos mencionados, el hecho, ejercer un momento de fuerza durante el apoyo simple sobre el martillo puede ser, para ciertos lanzadores, negativo, lo que refleja que el periodo de apoyo único supone una mera transición para seguir acelerando al martillo en el periodo siguiente de doble apoyo.

Parece indudable que existan fluctuaciones en la gráfica de la velocidad del martillo en cada giro, Dapena (1989) cuestiona que la única causa de la aceleración y desaceleración del martillo sea el hecho de estar en doble apoyo o apoyo simple, respectivamente. Para llegar a cuestionarse esta relación causal, este investigador comprobó el comportamiento de la velocidad del martillo teniendo en cuenta el efecto de la gravedad sobre su rotación a través del eje horizontal, lo que, lógicamente, hace que aumente cuando el martillo está bajando y disminuir su velocidad cuando está en trayectoria ascendente.

El la gráfica procedente de los resultados de restar los efectos acumulados por la gravedad sobre la velocidad total del martillo, se apreciaba una reducción del tamaño de las fluctuaciones, básicamente porque durante gran parte del periodo de doble apoyo el martillo está descendiendo y la gravedad lo acelera, mientras que durante gran parte del periodo de apoyo simple está ascendiendo y, consecuentemente, la gravedad reduce su velocidad.

Otro factor que identificó como posible causa de las fluctuaciones en la velocidad del martillo fué la traslación horizontal del sistema lanzador más martillo a través del círculo de lanzamiento. De nuevo, se representó una gráfica de los resultados obtenidos de restar la velocidad de traslación del sistema lanzador y martillo sobre el círculo de lanzamientos, y se observa que de nuevo ha existido una reducción del tamaño de las fluctuaciones, desapareciendo casi completamente.

Según los resultados de las investigaciones expuestos, se puede decir que, en ciertos lanzadores, casi toda la fluctuación de la velocidad del martillo se debe al efecto combinado de la gravedad y el movimiento horizontal del sistema lanzador y martillo sobre el círculo de lanzamientos y no al hecho de estar o no en apoyo doble.

Por el contrario, en otros lanzadores encontró que seguía habiendo una fluctuación clarísima en la velocidad del martillo, incluso después de haber restado los efectos de la gravedad y del movimiento horizontal. Debido, probablemente, a los momentos de fuerza generados a través del eje vertical por efecto de la torsión del tronco sobre las caderas, siendo posible que el periodo de apoyo doble tenga una influencia casual en el aumento de la velocidad del martillo, aunque también puede ser debido a una buena transferencia del momento angular generado a través del eje horizontal, cuando está en doble apoyo y mala cuando está en apoyo único, como se comentará en el siguiente apartado.

#### 1.1.5. Transferencia del Momento Angular generado a través del eje horizontal.

Como se describe en las investigaciones llevadas a cabo por Dapena (1989), la mayor parte del incremento de la velocidad que experimenta el martillo, durante cada vuelta, está asociado con el momento de fuerza creado alrededor del eje horizontal, el cual hace que exista un incremento del momento angular, a través de ese mismo eje, sobre el sistema lanzador y martillo.

Considerando que el sistema lanzador más martillo está compuesto por quince segmentos relacionados entre sí, catorce de los cuales están relacionados con el lanzador y uno con el martillo, el momento angular de todo el sistema, sin tener en cuenta el efecto local propio de cada segmento, estaría definido por la expresión E-4, donde  $m_i$  corresponde a la masa de cada uno de los quince segmentos y  $(r_i \times v_i)$  el producto vectorial del radio de giro de cada segmento ( $r_i$ ) y el vector velocidad del Cg. de cada segmento ( $v_i$ ), lo que Dapena & McDonald (1989) expresan como el producto de la masa por el área de barrido de cada segmento.

(E-4)

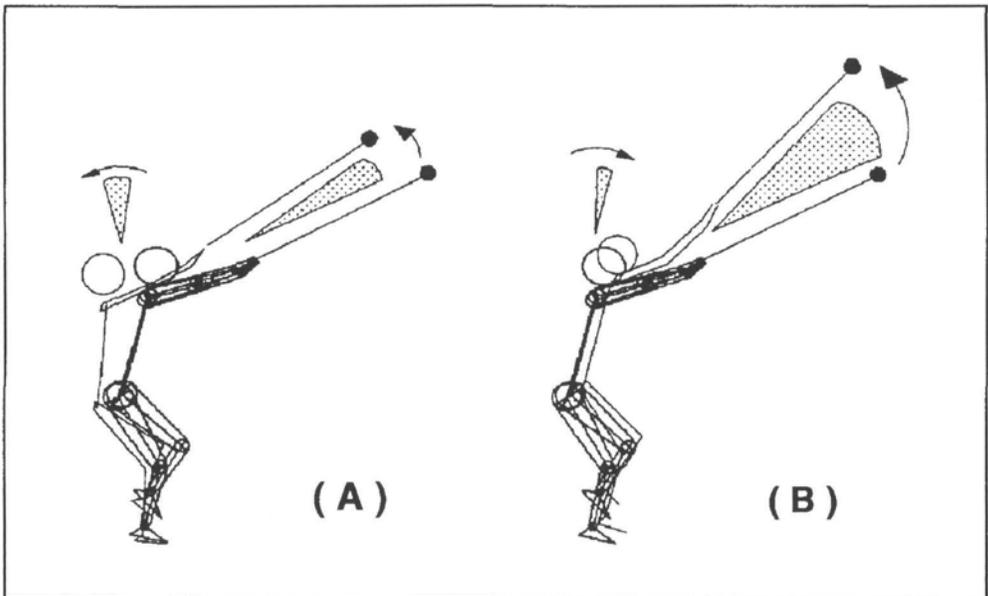
$$H = \sum_{i=1}^{i=15} m_i * (r_i \times v_i)$$

donde  $H$  corresponde al momento angular del sistema lanzador y martillo, sin considerar el factor local o propio del giro de cada segmento,  $m_i$  la masa de cada segmento,  $r_i$  el radio de giro y  $v_i$ , el vector velocidad tangencial el Cg. de cada segmento.

Para describir como el lanzador acelera el martillo utilizando el momento angular del sistema, procedente de la aplicación de un momento de fuerza, consideremos que tanto en la **Figura 9,a** como en la **Figura 9,b** el valor del momento angular a través de un eje horizontal es el mismo y que no actúan fuerzas externas al sistema. Con esta situación, en la **Figura 9,a** se representa un esquema del momento angular producido por un Momento de Fuerza contrario a las agujas del reloj, alrededor del eje horizontal, así como el área de barrido, en este mismo sentido, descrita por el Cg. del martillo con respecto al centro de giro del sistema lanzador más martillo, en una situación en la que todos los segmentos permanecen en la misma posición, no ha existido movimiento dentro del sistema.

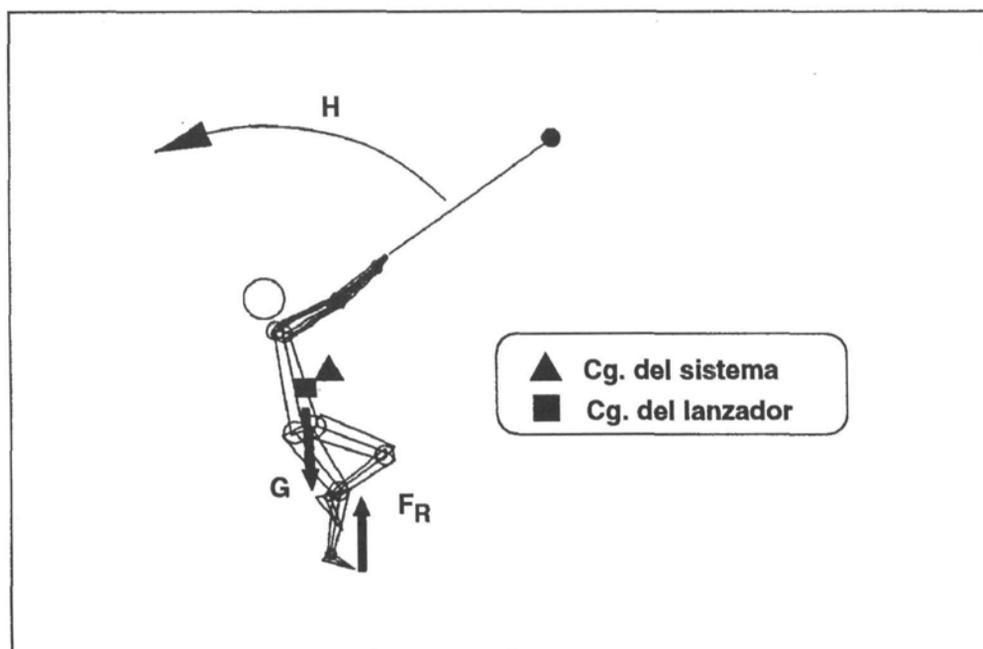
Por el contrario, en la **Figura 9,b** el lanzador ha realizado un movimiento hacia arriba de sus brazos y martillo, provocando una **transferencia del momento angular** del lanzador al martillo, haciendo que éste incremente su área de barrido, y disminuyendo el desplazamiento, en el mismo sentido, del resto de los segmentos (lanzador), pudiendo llegar a hacerse negativo (desplazamiento a favor de las agujas del reloj). En esta situación el sumatorio de los momentos angulares segmentarios se mantiene constante, pero el martillo se ha acelerado hacia arriba. Algo parecido a cuando perdemos el equilibrio hacia atrás y giramos los brazos en este mismo sentido para no caer.

Según lo expuesto, es relevante que el lanzador genere unos momentos de fuerza importantes a través del eje horizontal para después poder transferir el momento angular resultante al martillo. La cuestión es saber cómo crea el lanzador estos momentos de fuerza, tanto en doble apoyo como en apoyo único.



**Figura 9.** Descripción gráfica de la transferencia del momento angular del sistema al martillo.

Para poder describir como se crea el momento de fuerza en apoyo único, es necesario recurrir a la **Figura 10**, donde se observa el diagrama de las fuerzas que aparecen cuando el lanzador está en apoyo simple. En este caso, el momento de fuerzas contrario a las agujas del reloj aparece automáticamente. La línea de aplicación de la fuerza normal ( $G$ ), cae fuera de la base de sustentación y la línea de aplicación de la componente vertical de la fuerza de reacción con la que el suelo empuja hacia arriba al lanzador ( $F_R$ ) no pasa por el Cg. del sistema, produciéndose un momento de fuerza sobre el sistema lanzador más martillo contrario a las agujas del reloj que provocaría una caída del lanzador en este mismo sentido, aunque esto no ocurre realmente, la razón es que el lanzador transfiere su momento angular al martillo incrementando su área de barrido, es decir, la mayor parte del sumatorio de las áreas de barrido segmentarias la produce el martillo y no los segmentos asociados al lanzador. Este hecho hace que se incremente la velocidad del martillo a través del eje horizontal.



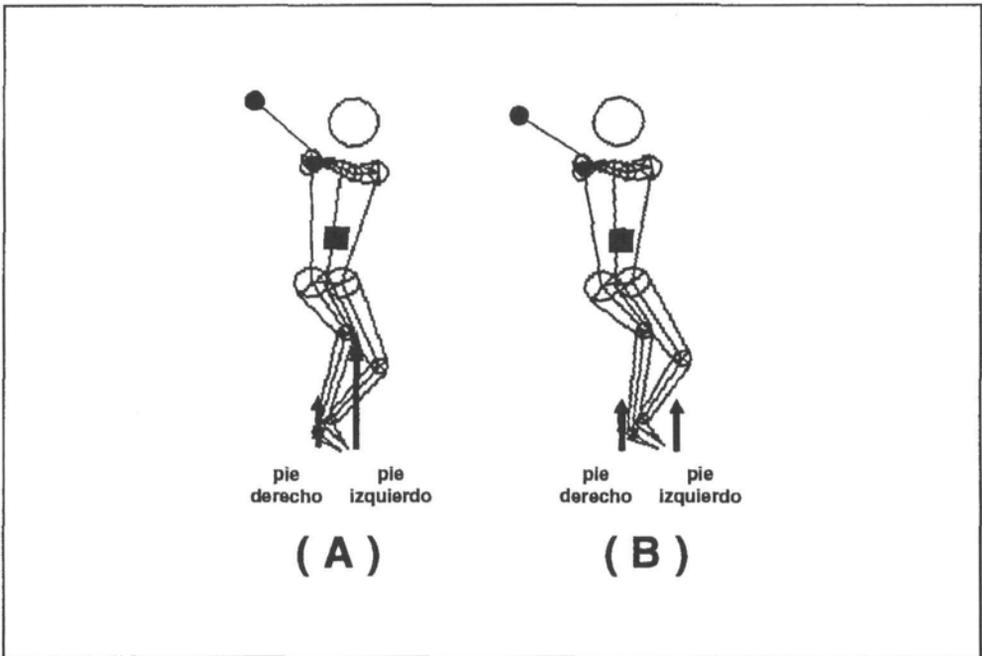
**Figura 10.** Diagrama de fuerzas cuando el lanzador está en apoyo único.

Hasta aquí la forma de producir momento de fuerza y como se incrementa la velocidad del martillo alrededor del eje horizontal durante el periodo de apoyo simple, pero durante la fase de apoyo doble, el lanzador también puede recibir un momento de fuerza alrededor del eje horizontal. Según la teorización que realiza sobre esta cuestión Dapena & McDonald (1989), esto podría ocurrir de dos maneras distintas:

- Podría conseguirse apretando más fuerte contra el suelo con el pie izquierdo que con el derecho, lo que hace que la componente vertical de la fuerza se desplace hacia un lado del Cg. del sistema lanzador más martillo (**Figura 11,a**).

b) Haciendo que la fuerza vertical resultante que el suelo ejerce como reacción a la ejercida por los dos pies, sea lo más excéntrica posible desplazando el centro de gravedad del sistema (Cgs.) más cerca de la vertical del apoyo del pie derecho que del izquierdo (**Figura 11,b**). Según las posiciones adoptadas por los lanzadores cuando toma contacto el pie derecho, parece ser que esto último es lo que hacen normalmente los lanzadores de martillo.

Como se desprende de lo expuesto y siendo cautos en las valoraciones, se puede concluir diciendo que, aunque es posible que la velocidad del martillo, alrededor del eje vertical, se pueda aumentar mejor durante el periodo de apoyo doble, el incremento de velocidad alrededor del eje horizontal se puede aumentar, tanto en los periodos de apoyo doble como los de apoyo simple, creando momentos de fuerza y transfiriendo el momento angular resultante al martillo.



**Figura 11.** Diagrama de fuerzas teórico cuando el lanzador está en doble apoyo.

## 2. METODO

### 2.1. Atletas analizados

Se han analizado seis lanzadores de martillo, dos de ellos de élite mundial y cuatro de élite Nacional, destacando Andrey Astapkovich con la mejor marca mundial del año y medalla de plata en la Olimpiada de Barcelona e Igor Nikulin con la cuarta mejor marca Mundial y Medalla de Bronce en la Olimpiada de Barcelona. Entre los españoles, cabe destacar a Antón M. Godall, que ostenta el récord de España y a Raul Fuentes con la cuarta mejor marca Nacional.

Las filmaciones se realizaron durante una sesión de lanzamientos en la concentración de la Selección Española en Madrid, donde los atletas rusos mencionados estaban invitados junto a su entrenador. En la **Tabla 1** se muestran ciertas características antropométricas de los lanzadores analizados, como peso, talla, mejor marca y longitud alcanzada en el lanzamiento analizado.

Tabla 1. Análisis descriptivo de los lanzadores analizados.

	Talla (metros)	Peso (kg)	Lanzamiento analizado	Mejor marca
Andrei Astapkovich (CEI)	1.91	120	100.67 *	84.26 **
Nikulin (CEI)	1.91	110	77.67	80.62
Raul Fuentes (ESP)	1.92	98	61.08	65.94
Antón M. Godall (ESP)	1.82	105	62.50	67.46 ***
Jose M. Almudí (ESP)	1.77	93	69.1 *	65.04
Errasti (ESP)	1.78	103	57.25	60.64

\* : Lanzamiento realizado con el martillo de 6 kg.

\*\* : Mejor marca mundial de 1992.

\*\*\* : Récord de España.

### 2.2. Procedimiento y material utilizado.

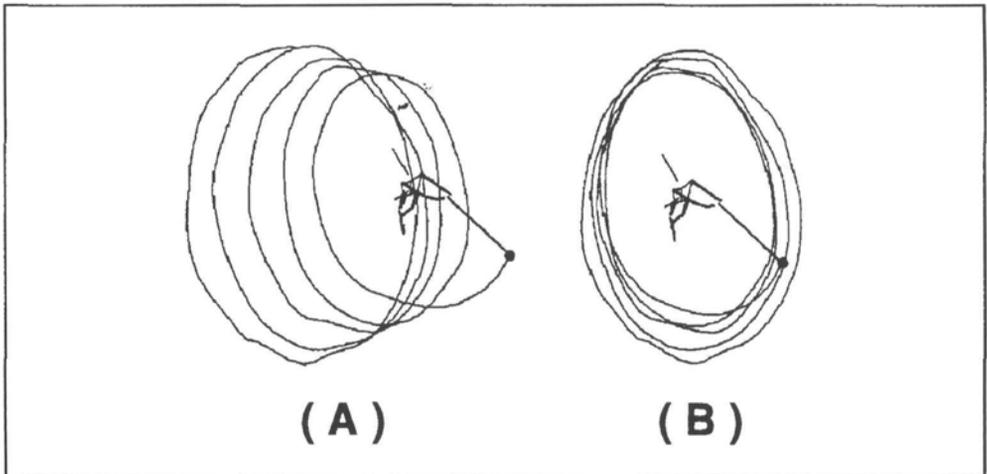
Se filmaron seis lanzamientos de cada uno de los lanzadores mencionados, analizándose posteriormente el lanzamiento en el que se obtuvo la mayor distancia, así como una buena valoración técnica por parte del seleccionador español de lanzamiento de martillo.

Con la utilización del **Método Inverso** y el apoyo de las técnicas Cinematográficas Tridimensionales, se han cuantificado algunos de los factores más significativos para el resultado del lanzamiento, así como la comparación de los modelos de lanzamiento de los lanzadores rusos con respecto a los modelos que desarrollaron los lanzadores nacionales.

Utilizando para ello una cámara cinematográfica Beaulieu R-16, calibrada mediante temporizador externo a 60 fot/s., colocada a una distancia de 20 m. del centro de simetría del círculo de lanzamientos y con una orientación de  $52^\circ$  con respecto a la dirección teórica de lanzamiento. Una segunda cámara, en este caso de vídeo, Sonics V-200, calibrada mediante temporizador externo a 50 campos por seg. y obteniendo posteriormente una imagen por campo, dicha cámara fue colocada a 31 m del centro de simetría del círculo de lanzamientos y con una orientación de  $45^\circ$  con respecto a la dirección teórica de lanzamiento y  $85^\circ$  con respecto a la orientación de la cámara Beaulieu R-16.

El proceso de computarización de los datos se realizó en cuatro fases más el cálculo de los registros específicos, los cuales se describen en los siguientes apartados: **Digitalización y almacenamiento** de las coordenadas planas correspondientes a los 22 puntos que componen la estructura alámbrica del sistema lanzador más martillo, tanto de la película correspondiente a la toma lateral como la frontal, mediante un digitalizador sónico, marca SAC (GP-7), conectado a un microordenador PC-486 a través de la puerta de comunicaciones RS-232. En una segunda fase, los datos correspondientes a las coordenadas planas de los puntos digitalizados de cada una de las películas fueron **suavizados, interpolados y sincronizados** con un intervalo de tiempo de 0.01 s., mediante la técnica de Splines de quinta potencia, desarrolladas por Wood & Jennings (1979) y adaptadas para este estudio por Gutiérrez, Soto & Martínez, (1990).

En una tercera fase se obtuvieron las **Coordenadas espaciales** de cada uno de los 22 puntos digitalizados con respecto a un sistema de referencias inercial, utilizando para ello las técnicas de Transformación Lineal Directa (DLT) descritas por Abdel-Azir & Karara (1971). Posteriormente, a las coordenadas espaciales obtenidas se le aplicó una matriz de transformación equivalente al desplazamiento horizontal del sistema lanzador más martillo, obteniéndose así, las coordenadas espaciales referidas a un sistema de referencias al que llamaremos **cuasi-inercial** que se desplaza con el Centro de gravedad del sistema lanzador más martillo en cada vuelta. El efecto se describe gráficamente en la **Figura 12**.



**Figura 12.** Representación gráfica de la trayectoria del martillo en relación al sistema de referencia inercial (a) y cuasi-inercial (b).

Por último se utilizaron diferentes rutinas de cálculo que nos permitieron determinar los parámetros más significativos para este estudio. Para ello se utilizaron los siguientes algoritmos:

### 2.2.1. Cálculo del Centro de Gravedad (Cg.) del lanzador y el sistema lanzador más martillo (Cgs.).

Para el cálculo del Centro de Gravedad del lanzador, representado esquemáticamente por 14 segmentos rígidos, se han utilizado los datos propuestos por Clauser, McConville & Young (1969), lo que nos permite conocer el porcentaje del peso y el lugar donde se encuentra el Centro de Gravedad de cada uno de los 17 segmentos teóricos que esquematizan el cuerpo humano. Con la utilización de estos datos y las coordenadas de los puntos que definen cada segmento se determinan las coordenadas del Cg. del lanzador mediante la Expresión E-5.

(E-5)

$$C_{gL} = \sum_{i=1}^{i=14} [G_{pi} - K_i * (G_{pi} - G_{di})] W_i$$

donde **C<sub>gL</sub>** corresponde al centro de gravedad del lanzador, **G<sub>pi</sub>**, a las coordenadas de los centros articulares proximales de cada uno de los segmentos; **G<sub>di</sub>**, las coordenadas de los centros articulares distales de cada segmento; **K<sub>i</sub>**, las distancias en porcentajes, con respecto a la distancia total de cada segmento, entre el centro de gravedad y el punto proximal de cada segmento y **W<sub>i</sub>**, el peso relativo de cada uno de los 14 segmentos corporales, expresado en porcentajes respecto al peso total.

Para el cálculo del Cg. del sistema lanzador más martillo se recurre a la expresión E-6, donde conociendo las coordenadas espaciales del Cg. del lanzador (C<sub>gL</sub>), las del martillo (C<sub>M</sub>), la masa del lanzador (G<sub>L</sub>) y del martillo (G<sub>M</sub>), es posible conocer las coordenadas espaciales del sistema lanzador más martillo.

(E-6)

$$C_{gs} = \frac{(C_{gL} * G_L) + (C_M * G_M)}{G_L + G_M}$$

donde **C<sub>gs</sub>** corresponde al centro de gravedad del sistema lanzador más martillo, **C<sub>gL</sub>** y **C<sub>M</sub>**, a las coordenadas del Cg. del lanzador y martillo, respectivamente, y **G<sub>L</sub>** y **G<sub>M</sub>**, las masas del lanzador y martillo, respectivamente.

### 2.2.2. Cálculo de los componentes rectangulares de velocidad del martillo y el Centro de Gravedad del sistema lanzador más martillo (Cgs.).

Para el referido cálculo se ha utilizado la primera derivada de la función correspondiente a las posiciones x, y, z, tanto del sistema como del martillo, dependientes del tiempo. Las

funciones correspondientes se han obtenidos mediante las técnicas de Splines elevados a la quinta potencia con un nivel de suavizado cero, desarrolladas por Wood & Jennings (1979) y adaptadas para este estudio por Gutiérrez, Soto & Martínez (1990).

### 2.2.3. Cálculo del ángulo que define la inclinación del plano de rotación del martillo.

La inclinación del plano de la trayectoria del martillo se debe a su rotación a través de un eje horizontal. Dicha rotación hace que exista, en cada vuelta, un punto bajo donde el valor de la componente vertical es el menor de toda la trayectoria y un punto alto, donde esa misma componente alcanza su máximo valor.

Para el cálculo del ángulo que define la inclinación del martillo se recurre a las coordenadas espaciales que tiene el Cg. del martillo en su punto alto y bajo de cada vuelta, calculándose mediante las notaciones correspondientes a la **Figura 13** y la expresión **E-7**. Dicho desarrollo supone calcular el ángulo de inclinación con respecto a un plano perpendicular al suelo y al que pertenecen las coordenadas espaciales del punto alto  $(x_a, y_a, z_a)$  y bajo  $(x_b, y_b, z_b)$  del martillo, a partir del vector posición comprendido entre el punto alto y bajo (**R**) y el vector posición que corresponde a su proyección vertical (**Q**).

(E-7)

$$R = [(x_a - x_b), (y_a - y_b), (z_a - z_b)]$$

$$Q = [(x_a - x_b), (0), (z_a - z_b)]$$

$$\cos(\beta) = \frac{R \cdot Q}{|R| \cdot |Q|}$$

donde **R**, es el vector posición que definen el punto alto y el bajo, **Q**, el vector posición correspondiente a su proyección vertical y  $(x_a, y_a, z_a)$  y  $(x_b, y_b, z_b)$ , las coordenadas espaciales del punto alto y bajo, respectivamente.

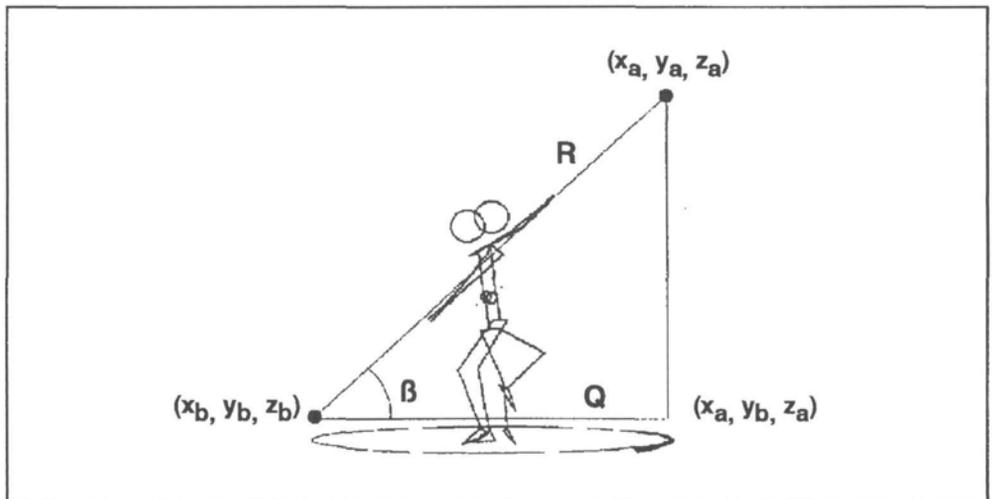


Figura 13. Notaciones para el cálculo del ángulo de inclinación del martillo.

### 2.2.4. Cálculo del radio de giro de la trayectoria descrita por el Cg. del martillo.

Para el cálculo del radio del martillo se recurre a dividir la trayectoria en sectores circulares relacionados con el desplazamiento del martillo en intervalos de tiempo conocido ( $h=0.04$  seg.). Utilizando las coordenadas del Cg. del martillo en la posición inicial de cada sector ( $t=0$ , posición  $X_{n-1}$ ,  $Y_{n-1}$ ,  $Z_{n-1}$ ), la intermedia ( $t=0.02$ , posición  $x_n$ ,  $y_n$ ,  $z_n$ ) y final ( $t=0.04$ , posición  $X_{n+1}$ ,  $Y_{n+1}$ ,  $Z_{n+1}$ ), es posible calcular el ángulo comprendido por los vectores que definen su desplazamiento, como se representan en la **Figura 14** y se desarrolla en la expresión E-8.

(E-8)

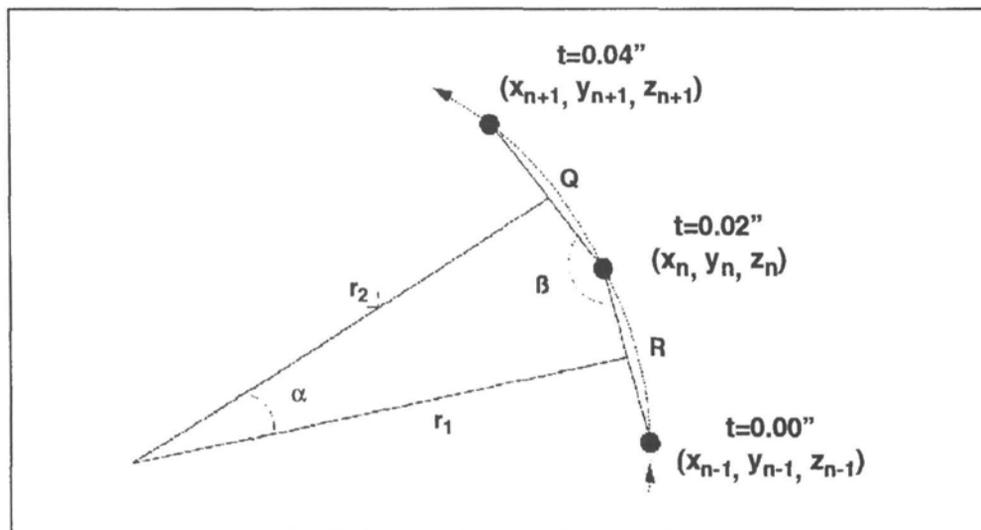
$$R = [(x_{n-1} - x_n), (y_{n-1} - y_n), (z_{n-1} - z_n)]$$

$$Q = [(x_{n+1} - x_n), (x_{n+1} - x_n), (z_{n+1} - z_n)]$$

$$\cos(\beta) = \frac{R \cdot Q}{|R| \cdot |Q|}$$

donde  $R$  y  $Q$  son los vectores que definen el desplazamiento del martillo en intervalos de .02 seg.,  $\beta$  el ángulo comprendido entre dichos vectores y  $(x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1})$ ,  $(x_n, y_n, z_n)$  y  $(x_{n+1}, y_{n+1}, z_{n+1})$ , las coordenadas espaciales de la posición inicial, intermedia y final del sector circular, respectivamente.

Conocido el ángulo  $\beta$  y considerando que los dos radios de giro ( $r_1$  y  $r_2$ ) forman un ángulo recto con respecto a los dos vectores  $R$  y  $Q$ , respectivamente, el ángulo de desplazamiento ( $\alpha$ ) sería  $180-\beta$  (**Figura 14**), mediante el cual es posible conocer la velocidad angular media ( $W_m$ ) en el intervalo de tiempo  $h/2$ .



**Figura 14.** Notaciones para el cálculo de los radios de la trayectoria del Cg. del martillo, en relación al sistema de referencias cuasi-inercial.

Para el cálculo de la velocidad tangencial media ( $V_M$ ) durante ese mismo intervalo de tiempo se recurre a la expresión E-9.

(E-9)

$$V_{m1} = \frac{\sqrt{(x_{n-1} - x_n)^2 + (y_{n-1} - y_n)^2 + (z_{n-1} - z_n)^2}}{l/2}$$

$$V_{m2} = \frac{\sqrt{(x_n - x_{n+1})^2 + (y_n - y_{n+1})^2 + (z_n - z_{n+1})^2}}{l/2}$$

$$V_M = \frac{V_{m1} + V_{m2}}{2}$$

donde  $V_{m1}$  y  $V_{m2}$  son las velocidades medias comprendidas entre la posición inicial e intermedia y ésta con la posición final, respectivamente,  $V_M$  la velocidad tangencial media del Cg. del martillo en el intervalo  $l/2$  y comprendido entre los radios  $r_1$  y  $r_2$ , y  $(x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1})$ ,  $(x_n, y_n, z_n)$  y  $(x_{n+1}, y_{n+1}, z_{n+1})$ , las coordenadas espaciales de la posición inicial, intermedia y final del sector circular, respectivamente.

Por último, conocida la velocidad angular y tangencial media en el intervalo de tiempo  $l/2$ , es posible conocer el radio de giro del sector circular mediante la expresión E-10 y el radio medio de cada giro corresponde al radio medio de todos los sectores que determinan cada vuelta, considerando que cada giro se inicia con la pérdida de contacto del pie derecho.

(E-10)

$$r = \frac{V_M}{W_M}$$

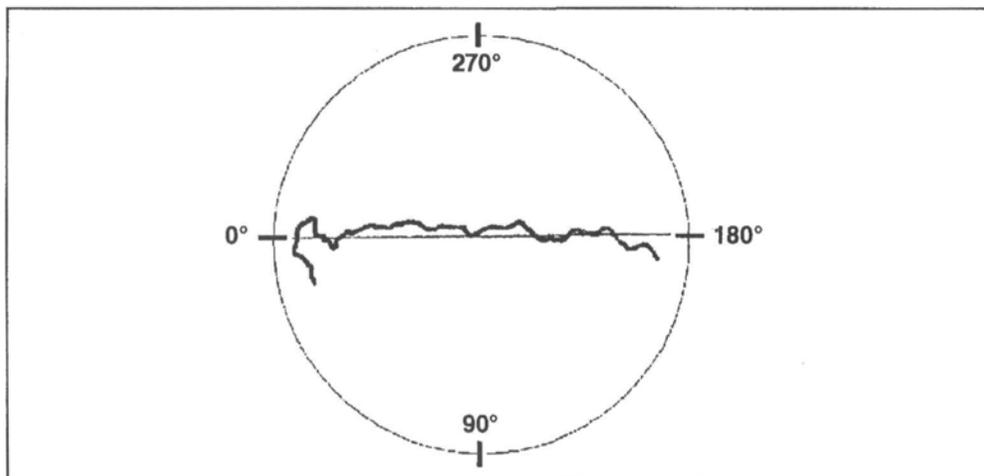
donde  $r$  corresponde al radio de giro de cada sector,  $W_M$  la velocidad angular media y  $V_M$  la velocidad tangencial media.

### 2.2.5. Posición del martillo con respecto a los ángulos azimutales.

Para conocer el desplazamiento del martillo durante los períodos de doble apoyo y apoyo único se utiliza el concepto de ángulo azimutal, introducido por Samozvetov (1971), donde el lanzamiento se observa desde una perspectiva superior con una circunferencia graduada.

Para nuestro estudio, y con el fin de poder comparar a los lanzadores entre sí, los 180° de dicha circunferencia graduada coincide con la dirección y sentido del desplazamiento del Cg. del sistema lanzador más martillo sobre el círculo de lanzamiento. Para definir dicho desplazamiento se ha realizado una regresión lineal de las coordenadas horizontales con respecto a las transversales del Cg. del sistema

En la **Figura 15** se representa la orientación de la circunferencia graduada, en una visión azimutal, así como la regresión lineal de las coordenadas del Cg. del sistema que definen la dirección 0°-180°.



**Figura 15.** Representación esquemática del ángulo azimutal en relación a la regresión lineal del desplazamiento del Cg. sobre el círculo de lanzamiento.

### 2.2.6. Rotación en el espacio de la Estructura Alámbrica del lanzador y martillo.

Para llevar a cabo este proceso de rotación espacial que nos permite obtener cualquier ángulo de visión deseado, así como las coordenadas bidimensionales correspondientes a ese mismo plano, se han utilizado las matrices de conversión que se representan en la expresión E-11.

(E-11)

*Rotación sobre el eje longitudinal en sentido contrario a las agujas del reloj:*

$$\begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & -\text{sen}(\beta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \text{sen}(\beta) & 0 & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

*Rotación sobre el eje transversal en sentido contrario a las agujas del reloj:*

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta) & \text{sen}(\beta) & 0 \\ 0 & -\text{sen}(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

*Rotación sobre el eje anteroposterior en sentido contrario a las agujas del reloj:*

$$\begin{pmatrix} \cos(\beta) & -\text{sen}(\beta) & 0 & 0 \\ -\text{sen}(\beta) & \cos(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

### 2.2.7. Cálculo del momento angular del martillo (HM) a través del eje horizontal y vertical.

Utilizando las matrices de conversión, descritas en el apartado anterior, se obtienen las proyecciones de las coordenadas espaciales del martillo sobre el plano frontal, perpendicular a la dirección del desplazamiento del Cg. del sistema lanzador más martillo sobre el círculo de lanzamientos, y el plano transversal, paralelo al suelo.

Mediante las coordenadas 2D del Cg. del martillo, correspondientes a la proyección sobre el plano frontal y utilizando la Expresión E-12 (Hay, Wilson & Dapena, 1977), es posible calcular el momento angular del martillo a través de un eje horizontal coincidente con la dirección del desplazamiento del Cg. del sistema lanzador más martillo sobre el círculo (H<sub>H</sub>). Este mismo proceso se repite en el plano transversal, obteniéndose el momento angular que desarrolla el martillo a través del eje vertical (H<sub>v</sub>).

(E-6)

$$H_z = \frac{M_m \cdot r_{z1} \cdot r_{z2} \cdot \text{sen}(\beta)}{\Delta t}$$

donde  $H_z$  corresponde con el momento angular a través del eje z,  $M_m$ , la masa del martillo  $r_{z1}$ , y  $r_{z2}$  los radios de giro proyectados en el plano perpendicular al eje z, en la posición t e  $\Delta t$ ,  $\beta$ , el desplazamiento angular y  $\Delta t$  el incremento de tiempo.

### 3. RESULTADOS

Los resultados expuestos en este trabajo suponen un esfuerzo más en definir los criterios de eficacia del lanzamiento de martillo y, especialmente, un intento por determinar las diferencias técnicas que existen entre los lanzadores de élite mundial y los nacionales, considerando que los resultados de éstos últimos están muy por debajo del récord mundial.

Aunque el precario estado de la ciencia en esta especialidad no nos permite basarnos en un modelo teórico claramente definido, lo que nos crea grandes dificultades cuando se trata de afirmar hechos o establecer relaciones causa-efecto, se ha realizado un estudio descriptivo intentando buscar las diferencias más notables entre los lanzadores, así como la coincidencia de nuestros datos con los expuestos por otros investigadores. En cualquier caso, hemos querido ser muy cautos en nuestra interpretación, aunque creemos que los resultados expuestos pueden suponer una información muy útil para los entrenadores.

Igualmente, la falta de información científica especializada y de un modelo teórico contrastado, junto a la interdependencia de los factores que determinan la eficacia del lanzamiento, suponen demasiados problemas para la presentación y análisis de los resultados. En este sentido se ha considerado que lo más apropiado sería exponerlos bajo una perspectiva general de conceptos básicos del movimiento (Temporal, Cinemático, Cinético y Muscular) y atendiendo a los factores más significativos expuestos en el capítulo dedicado a la introducción.

#### 3.1. Análisis temporal.

Se ha comentado como la secuencia completa del lanzamiento de martillo se puede dividir en tres fases:

- a) Dos o tres volteos
- b) Tres o cuatro vueltas
- c) El Final

De entre estas fases solo hemos prestado atención, en este estudio, al final y a las cuatro vueltas, las cuales se han subdividido en dos periodos claramente diferenciados:

- a) Doble apoyo
- b) Apoyo único

En la **Tabla 2** se presentan los valores para cada uno de los lanzadores analizados sobre el tiempo transcurrido en cada una de las fases o periodos en los que se han dividido los giros, expresados en valores absolutos y en porcentajes del tiempo total que han tardado en cada giro.

Atendiendo al razonamiento expuesto por los investigadores Soviéticos (Kriwonossov, 1972; Bondartschuk, 1978), según el cual el martillo solo puede acelerarse durante el periodo de doble apoyo, éste periodo debería de durar el mayor tiempo posible en cada vuelta y, en general, es realmente lo que ocurre, aunque las diferencias en porcentajes son muy pequeñas. Solo un caso, Errasti, en la tercera vuelta, posee un porcentaje de tiempo inferior en el doble apoyo, que en el periodo de apoyo único y la causa ha sido haber llegado demasiado tarde con el pie derecho al suelo.

**Tabla 2. Análisis temporal de los periodos correspondientes a cada giro y final de lanzamiento**

	Ap. unico 1° giro	Ap.doble 1° giro	Ap.único 2° giro	Ap.doble 2° giro	Ap. unico 3° giro	Ap. doble 3° giro	Ap. unico 4° giro	Final
Astapkovich	0.24" 42.9%	0.32" 57.1%	0.25" 51%	0.24" 49%	0.22" 50%	0.22" 50%	0.22" 44.9%	0.27" 55.1%
Nikulin	0.35" 46.7%	0.40" 53.3%	0.24" 49%	0.25" 51%	0.22" 47.8%	0.24" 52.2%	0.21" 42.9%	0.28" 57.1%
R.Fuentes	0.29" 40.3%	0.43" 59.7%	0.26" 46.4%	0.30" 53.6%	0.26" 49%	0.27" 51%	0.26" 46.4%	0.30" 53.6%
A. M. Godall	0.29" 42%	0.40" 58%	0.25" 44.6%	0.31" 55.4%	0.22" 45.8%	0.26" 54.2%	0.23" 43.4%	0.30" 56.6%
J. M. Al mudí	0.25" 38.4%	0.40" 61.6%	0.22" 42.3%	0.30" 57.7%	0.18" 40%	0.27" 60%	0.19" 38%	0.31" 62%
Errasti	0.28" 43.7%	0.36" 56.3%	0.26" 50%	0.26" 50%	0.28" 56%	0.22" 44%	0.25" 43.1%	0.33" 56.9%

Por el contrario Al mudí es el que reduce más el tiempo de apoyo único en beneficio del doble apoyo a expensas de adelantar precipitadamente el pie derecho sobre el suelo, lo que posiblemente cause problemas sobre la trayectoria y velocidad del Cg. del martillo. En este sentido, durante el tiempo en que el martillo está ascendiendo, en el periodo de apoyo único, es necesario transferirle un momento angular contrario a la agujas del reloj a través de un eje horizontal y esto solo se consigue manteniendo el cuerpo orientado hacia el martillo, sin adelantarle. Cuando el martillo está en su punto más alto es cuando debe anticiparse el pie derecho para crear una cierta torsión entre los ejes de las caderas y los hombros, aunque ésta no debe ser excesiva.

Según los datos expuestos, durante el último giro, Raúl Fuentes llega demasiado tarde al apoyo del pie derecho ya que su porcentaje en apoyo único es el mayor de todos los lanzadores analizados, por lo que éste hecho provocará una reducción del impulso final en doble apoyo.

Comparando los datos obtenidos por los lanzadores soviéticos respecto a los nacionales, encontramos como a partir del segundo giro se reduce el tiempo total de cada vuelta en los lanzadores soviéticos, consecuencia de girar más rápido y, si se considera que el radio del martillo es para todos igual, producir mayores momentos de fuerza. Cuando se analizan los porcentajes relativos a los periodos de apoyo simple y apoyo doble con respecto al tiempo total que dura cada vuelta, no se han encontrado grandes diferencias entre los lanzadores.

En los dos periodos que comprende cada vuelta existe un tiempo en el que el martillo está descendiendo y otro en el que está en trayectoria ascendente. Durante gran parte del periodo de apoyo único el martillo describe una trayectoria ascendente y, como se ha comentado, no

interesa que el cuerpo, en su conjunto, adelante al martillo, solo los brazos deben de estar algo adelantados, (Tschiene, 1980). Por el contrario, cuando el martillo llega a su punto más alto la pierna derecha debe adelantarse para tomar contacto con el suelo rápidamente.

En la **Tabla 3** se presentan los datos correspondientes al tiempo que el martillo está en trayectoria ascendente y descendente durante el periodo de apoyo único y según lo expuesto en el párrafo anterior, el tiempo en que el martillo está en trayectoria descendente durante el periodo de apoyo único tiene un cierto compromiso entre sus valores extremos. Por un lado no debe de ser excesivamente largo para no reducir el periodo de doble apoyo y por otro, tampoco debe de ser extremadamente corto, ya que reduciría el radio de giro y consecuentemente la velocidad.

**Tabla 3. Análisis temporal de los períodos en que el martillo está ascendiendo y descendiendo durante el período de apoyo único.**

	Ascenso 1° giro	Descenso 1° giro	Ascenso 2° giro	Descenso 2° giro	Ascenso 3° giro	Descenso 3° giro	Ascenso 4° giro	Descenso 4.° giro	Final
Astapkovich	.14"	.10"	.16"	.09"	.14"	.08"	.14"	.08"	.11"
Nikulin	.16"	.19"	.13"	.11"	.15"	.07"	.14"	.08"	.11"
R.Fuentes	.12"	.17"	.15"	.11"	.17"	.09"	.15"	.11"	.14"
A. M. Godall	.19"	.10"	.17"	.05"	.12"	.06"	.11"	.08"	.14"
J. M. Almudí	.22"	.04"	.17"	.05"	.12"	.06"	.11"	.08"	.14"
Errasti	.16"	.12"	.17"	.09"	.18"	.10"	.18"	.07"	.15"

Tanto Astapkovich como Nikulin mantienen una progresión en los tiempos que transcurren durante la trayectoria descendente del martillo en el apoyo único; los tiempos se van reduciendo en cada giro a medida que aumenta la velocidad. En el caso de Almudí ocurre todo lo contrario, el tiempo es excesivamente pequeño en la primera vuelta y se va incrementando, aunque muy poco, a medida que aumenta la velocidad, lo que pone de manifiesto que existe una anticipación precipitada en el apoyo del pie derecho, consecuencia lógica de la reducción del radio de giro durante el periodo de doble apoyo. Este mismo hecho, aunque algo menos acentuado y solo a partir de la segunda vuelta, lo realiza Godall y Errasti. Por el contrario R. Fuentes mantiene una progresión que parece adecuada a su velocidad de giro, aunque el excesivo tiempo que refleja la trayectoria descendente del cuarto giro presupone que ha llegado tarde al apoyo del pie derecho.

### 3.2. Análisis de las posiciones adoptadas.

En la **Tabla 4** se presentan datos correspondientes a las posiciones del martillo con respecto a un ángulo azimutal, donde los 180° coinciden con la dirección del desplazamiento del Cg.

del sistema lanzador más martillo sobre el círculo. Para facilitar la comprensión de los datos, véase la **figura 19** en la cual se representa de forma esquemática los periodos de doble apoyo de un lanzador durante las cuatro vueltas. Dichos ángulos han sido obtenidos a partir de las posiciones donde ha existido pérdida de contacto y apoyo, respectivamente, del pie derecho, lo que representan el impulso desarrollado durante el periodo de apoyo simple y apoyo doble.

Tabla 4. **Ángulos azimutales obtenidos en cada uno de los periodos analizados.**

	Despegue 1º giro	Contacto 1º giro	Despegue 2º giro	Contacto 2º giro	Despegue 3º giro	Contacto 3º giro	Despegue 4º giro	Contacto 4º giro	Final
Astapkovich	100°	222°	76°	244°	71°	251°	78°	262°	139°
Nlkulin	75°	229°	99°	257°	84°	254°	85°	262°	127°
R.Fuentes	87°	223°	90°	248°	80°	256°	90°	270°	133°
A. M. Godall	84°	225°	84°	240°	90°	251°	92°	264°	138°
J. M. Almodí	83°	199°	78°	229°	92°	234°	88°	244°	135°
Errasti	90°	241°	90°	256°	81°	265°	81°	265°	155°

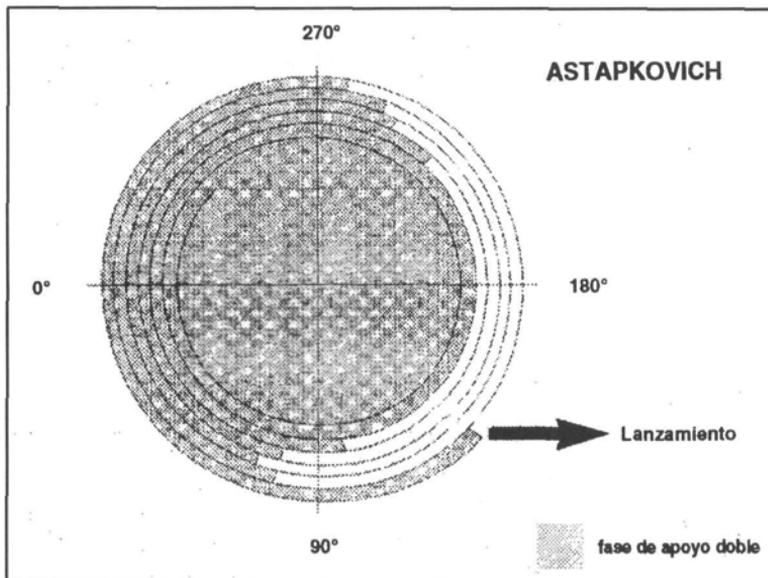


Figura 16. Desplazamiento del martillo sobre el ángulo azimutal durante los periodos de apoyo doble para cada vuelta, utilizando los datos obtenidos de Astapkovich.

Según la lógica de los investigadores soviéticos sería conveniente salir con un ángulo azimutal relativo grande y llegar con un ángulo relativo reducido. Según se desprende de los datos obtenidos, en general, los lanzadores españoles despegan más tarde que los soviéticos, algo que parece beneficiar a nuestros lanzadores. Con respecto a los datos referidos a la toma de contacto, en general, tampoco existen grandes diferencias entre nacionales y Soviéticos. Ante esta situación, sería destacable el impulso desarrollado por Almodí durante el apoyo doble en todos sus giros, llegando a la toma de contacto con el ángulo azimutal relativo más reducido de todos los lanzadores, pero evidentemente, no obtiene una longitud de lanzamiento ni velocidad final demasiado buena. Esto refleja que deban de existir otros factores que interactúan junto con la mayor o menor amplitud del ángulo azimutal durante el doble apoyo.

Lo cierto es que, dadas las diferencias técnicas tan notables a favor de los lanzadores soviéticos, no parecen ser demasiado significativos para la eficacia del lanzamiento los valores relativos a las posiciones del martillo sobre el ángulo azimutal, al menos por sí solos. El hecho de que Almodí, según se desprende de estos datos, presente los impulsos más largos durante el periodo de doble apoyo corresponde, como se ha señalado, a una precipitación en el apoyo del pie derecho que, aunque ha hecho aumentar el periodo de doble apoyo, ha provocado una reducción del radio de giro y desviado la trayectoria normal del martillo, como se desprende de los datos relativos a los radios de giros, en cada periodo, expuestos en la **Tabla 5**, y las trayectorias del martillo; algo que incide negativamente sobre la velocidad tangencial del martillo.

**Tabla 5. Angulos de inclinación en cada giro y final de lanzamiento.**

	Ap. unico 1º giro	Ap.doble 1º giro	Ap.único 2º giro	Ap.doble 2º giro	Ap. unico 3º giro	Ap. doble 3º giro	Ap. unico 4º giro	Final
Astapkovich	1.90	1.74	1.81	1.71	1.75	1.65	1.71	1.86
Nikulín	2.0	1.70	1.90	1.77	1.74	1.65	1.70	1.92
R.Fuentes	1.76	1.76	1.80	1.64	1.70	1.65	1.70	2.30
A.M.Godall	1.80	1.70	1.79	1.66	1.60	1.61	1.52	2.42
J.M.Almodí	1.60	1.64	1.62	1.63	1.50	1.53	1.46	2.50
Errasti	1.70	1.56	1.68	1.58	1.52	1.58	1.50	2.90

El hecho es que la precipitación del pie conlleva una torsión excesiva del eje de las caderas con respecto al eje de los hombros que, aunque crea una pretensión muscular, también hace que se reduzca el radio de giro. Para solucionar este problema y poder anticipar el pie derecho, Bondartchuk (1979, 1987) propuso modificar la técnica orientando el pie derecho, en su apoyo, hacia la posición adoptada por el martillo en ese instante, en lugar de hacerlo hacia los 0°. Con dicha modificación se pretende reducir la torsión excesiva entre los

hombros y la cadera, manteniendo un ángulo azimutal relativo pequeño. Esto es lo que hacen los lanzadores soviéticos en todas las vueltas y especialmente Nikulín, mientras que no hemos observado esta tendencia en ninguno de los lanzadores españoles.

Como se desprende, parece existir un compromiso entre los ángulos azimutales en el instante de tomar contacto con el suelo y el radio de giro en el periodo de tiempo en que el martillo está en trayectoria descendente durante el doble apoyo. Lo ideal sería estar con un ángulo relativo reducido y con un gran radio. En la **Figura 17** se puede observar un diagrama que representa las relaciones existentes entre el ángulo azimutal en el instante de tomar contacto con el suelo y el radio de giro, durante cada vuelta, expresado en porcentajes de la talla para poder comparar los datos entre lanzadores. Lo ideal sería tener una tendencia hacia la izquierda y arriba, lo que significaría reducir el tiempo incrementando el radio. Pero esto no es fácil, como en la mayoría de las técnicas deportivas, existen compromisos entre factores que es necesario resolver teniendo en cuenta las características personales de cada deportista y la eficacia que dicha relación supone.

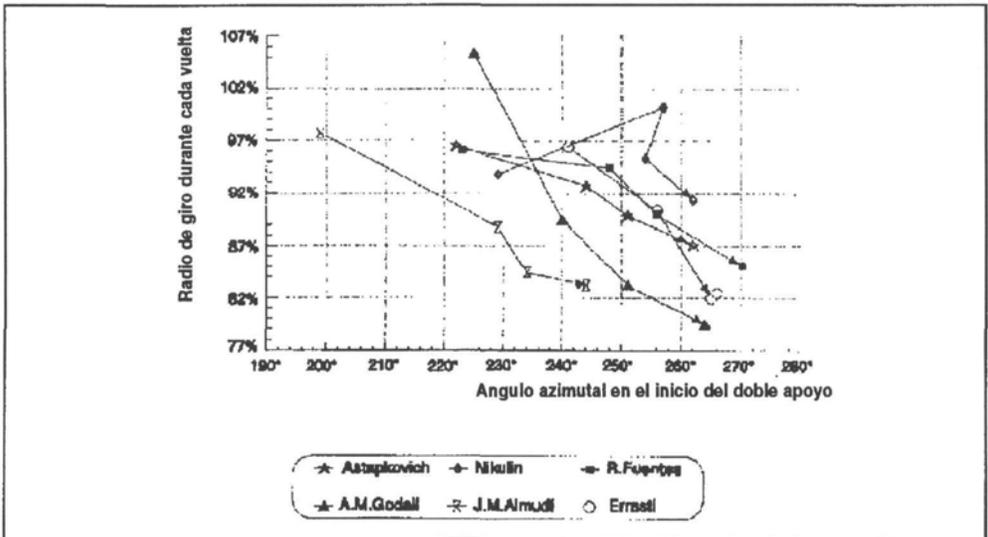


Figura 17. Diagrama representativo de los ángulos azimutales en el instante de tomar contacto con el suelo (inicio doble apoyo) y el radio de giro, durante cada vuelta, expresado en porcentajes de la talla de cada lanzador.

Como se desprende de la **Figura 17** los que mejor resuelven este compromiso son los lanzadores soviéticos, junto a Raúl Fuentes, aunque este último está demasiado a la derecha, es decir, llega demasiado tarde con el pie de apoyo en las dos últimas vueltas. A.M. Godall reduce el radio excesivamente en cada giro, debido probablemente a una cierta precipitación en el apoyo del pie derecho. Almudí, aunque es el lanzador que está más a la izquierda, algo que es bueno, sus radios de giro no son demasiado grandes, y algo aún más importante, el hecho de tener unos ángulos azimutales tan pequeños en la toma de contacto con el pie derecho, hace que se modifique la trayectoria normal del martillo. El caso de Errasti es más grave, claramente es el lanzador que más desplazado está hacia la derecha en el conjunto de las vueltas y su radio de giro es muy reducido.

En relación al ángulo de inclinación del martillo con respecto a la horizontal del suelo, se debe recordar que es el factor que determina, durante la última vuelta, el ángulo de salida del martillo, además de contribuir a la mayor o menor amplitud de rotación a través del eje horizontal. En la **Tabla 6** se representan estos datos para cada lanzador, destacando como los dos lanzadores que utilizan el martillo de 6 Kg. (Astapkovich y Almudí) son los que consiguen al final un ángulo mayor (39.8° y 40.1°, respectivamente), mientras que Errasti y R. Fuentes no consiguen superar los 34° en el final, aunque en el cuarto giro sus ángulos son excelentes (43° y 40.2°, respectivamente). Observando los datos se puede decir que, en general, el ángulo de inclinación se está incrementando hasta la cuarta vuelta y baja durante la fase final, debido, probablemente, al desplazamiento del Cg. hacia la dirección del lanzamiento que hace incrementar el radio de la trayectoria del martillo y, en algunos casos, a la no extensión completa del cuerpo durante el final.

**Tabla 6. Ángulos de inclinación en cada giro y final de lanzamiento.**

	1° giro	2° giro	3° giro	4° giro	Final
Astapkovlch	30.8°	37.9°	42.0°	46.8°	39.84°
Nikulín	23.9°	27.6°	38.9°	45.9°	36.9°
R. Fuentes	19.9°	27.4°	34.8°	40.2°	32.2°
A. M. Godall	28.5°	37.4°	40.7°	39.4°	35.2°
J. M. Almudí	27.9°	35.9°	39.4°	41.7°	40.1°
Errasti	27.8°	35.2°	41.3°	43.0°	33.9°

### 3.3. Análisis de la velocidad del martillo y Cg. del sistema lanzador más martillo.

En los lanzadores soviéticos, era de esperar un incremento de la velocidad del martillo durante el periodo de apoyo doble mientras que en el apoyo simple este incremento debería ser muy reducido, y es lo que sucede en el caso de Astapkovich, pero no en el de Nikulin. Este hecho se puede explicar observando las gráficas de la velocidad del martillo junto a sus componentes rectangulares. Tanto Nikulin como Astapkovich tienen un comportamiento similar durante el primer giro. Los dos incrementan considerablemente la velocidad tangencial del martillo durante el apoyo doble a expensas, especialmente, de la componente transversal, consiguiendo su máximo valor en cada vuelta, cuando el martillo pasa por delante del lanzador.

A partir de segundo giro, Astapkovich reduce un poco la componente transversal del martillo e incrementa tanto la vertical como la horizontal, apareciendo un secuencia temporal coordinada y con valores similares en cada componente, así como unos ángulos de inclinación del martillo próximos a los 45°. Por el contrario, Nikulin mantiene, a partir del segundo giro, prácticamente constantes los valores altos de la componente transversal y

bajos los correspondientes a la componente horizontal, incrementando progresivamente los de la vertical, aunque en menor grado que Astapkovich. Estas diferencias entre los valores máximos de las componentes hacen que se produzcan las fluctuaciones de la velocidad tangencial del martillo.

El incremento considerable de velocidad de componente transversal durante el periodo de apoyo doble parece normal según la teoría de los investigadores soviéticos, pero resulta sorprendente cuando también aparece un incremento notable de la velocidad de componente transversal durante el periodo de apoyo único, coincidiendo, aproximadamente, con el punto alto, lo que supone poder incrementar la velocidad del martillo durante el apoyo simple a expensas de generar un momento de fuerza a través de los ejes vertical y horizontal.

La gráfica de R. Fuentes es muy parecida a la de Nikulin, posiblemente por los mismos motivos, preocuparse de incrementar la velocidad del martillo cuando éste pasa por los puntos bajo y alto, con un incremento demasiado pequeño de la velocidad vertical, lo que hace que los ángulos de inclinación del martillo sean demasiado pequeños, aunque el principal problema de R. Fuentes es el final, su velocidad sube al principio del último apoyo doble pero baja a partir de que el martillo alcanza su punto bajo hasta el final, no sigue actuando sobre el martillo, más bien se desplaza con él, lo que produce un ángulo de salida demasiado pequeño.

En el caso de Godall existe un buen ritmo durante el primer giro, llegando durante el apoyo doble a 22.2 m/seg. Posiblemente sea una velocidad excesiva para el primer giro, pero a partir del segundo no existe incremento en la velocidad, debido posiblemente a la reducción del radio de giro o/y a comenzar excesivamente rápido. A partir del segundo giro (tercero y cuarto) ninguna de las componentes rectangulares de la velocidad se incrementa y especialmente la componente vertical, lo que provoca que el ángulo de inclinación se mantenga constante durante estos giros.

Tanto Errasti como Almodí mantienen comportamientos muy similares en cuanto a la velocidad tangencial del martillo. Durante los dos primeros giros el martillo se acelera durante los periodos de apoyo doble y se desacelera ligeramente durante el periodo de apoyo simple. Hasta aquí muy parecido a lo que realiza Astapkovich, pero a partir del tercer giro el martillo experimenta un incremento de velocidad muy pequeño, posiblemente, al igual que Godall, debido a la reducción del radio de giro. Por último, en los dos lanzadores existe una reducción de la velocidad del martillo durante la fase final del lanzamiento, mientras que Astapkovich incrementa su velocidad.

Especialmente negativo es el periodo de apoyo único durante el cuarto giro de Errasti y Almodí, produciéndose una desaceleración del martillo considerable debido a unos valores relativamente bajos de la componente transversal cuando el martillo está en el punto alto, posiblemente debido a "tirar" del martillo precipitadamente durante el periodo de único apoyo cuando el martillo está en trayectoria descendente.

### 3.4. Momentos angulares desarrollados por el martillo.

La consecuencia de aplicar sobre el martillo un momento de fuerza neto a través de un eje de giro, es la causa de que el martillo obtenga un cierto momento angular sobre ese mismo

eje. En la **Figura 18** se representan los momentos angulares del martillo generados a través de un eje vertical, para cada lanzador, durante los periodos de tiempo en que el martillo está ascendiendo en apoyo doble y simple, así como cuando el martillo está en trayectoria descendente durante el periodo de apoyo único y doble, lo que refleja, indirectamente, los Momentos de fuerza aplicados sobre el martillo y teniendo en cuenta que el peso del martillo con el que lanza Astapkovich y Almudí es de 6 Kg., mientras que el resto lo hace con el de 7.50 Kg.

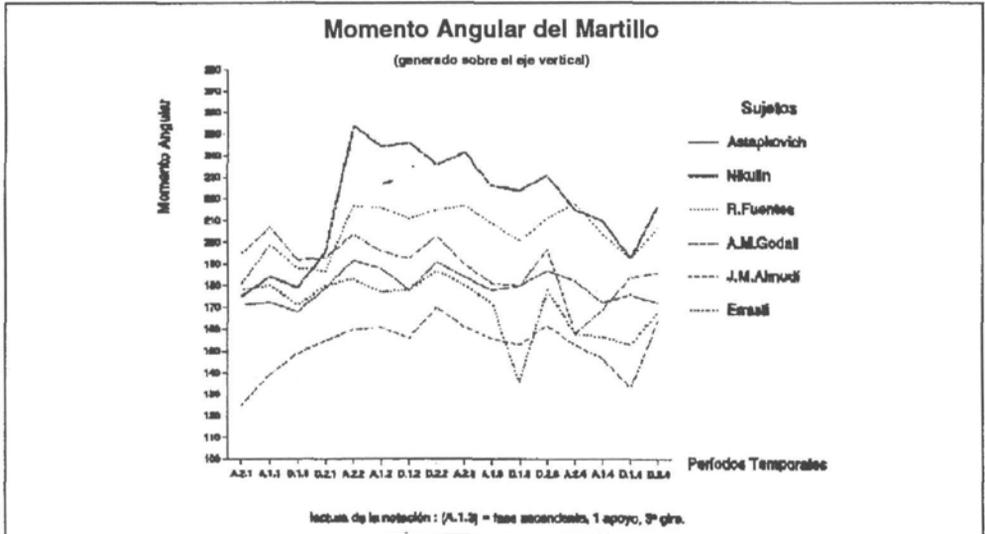


Figura 18. Momento angular generado sobre el eje vertical.

Según los datos expuestos, se puede decir que a partir de la primera vuelta todos los lanzadores generan un mayor momento de fuerza durante el periodo de apoyo doble y que las diferencias son más notables con respecto al periodo de apoyo único a medida que decrece la calidad técnica del lanzador, algo que es coherente con la teoría soviética.

En todos los casos, el mayor momento angular medio del martillo a través del eje vertical se desarrolla, durante la segunda vuelta, disminuyendo progresivamente durante la tercera y cuarta. Si se tiene en cuenta que la velocidad angular se incrementa en cada vuelta, como muestran los tiempos expuestos en la **Tabla 2**, la reducción comentada del momento angular durante las vueltas tres y cuatro se debe a los radios de giro proyectados sobre un plano transversal que es perpendicular al eje vertical, los cuales tienden a ser más pequeños.

Comparando los lanzadores que utilizan el martillo de 7.5 Kg., Nikulin es el que consigue mayor momento angular en su martillo durante todas las vueltas, mientras que el martillo de Errasti es el que posee los valores más bajos. Se debe significar los buenos valores relativos que consigue R. Fuentes. Comparando los lanzadores que utilizan el martillo de 6 Kg., son notables las diferencias a favor de Astapkovich.

Los valores medios más pequeños de momento angular generado a través del eje vertical se han encontrado durante el periodo de único apoyo cuando el martillo está en trayectoria

descendente, seguido del tiempo en que el martillo está en trayectoria ascendente de éste mismo periodo. En este sentido se deben resaltar los datos tan pequeños que presenta el martillo de Errasti cuando está en trayectoria descendente en un solo apoyo, debido a una reducción excesiva del radio de giro durante este periodo.

En la **Figura 19** se representan los momentos angulares del martillo generados a través de un eje horizontal, coincidiendo con la dirección de desplazamiento del Cg. del sistema lanzador más martillo, para cada lanzador y durante los periodos de tiempo en que el martillo está ascendiendo en apoyo doble y simple, así como cuando el martillo está en trayectoria descendente durante el periodo de apoyo único y doble.

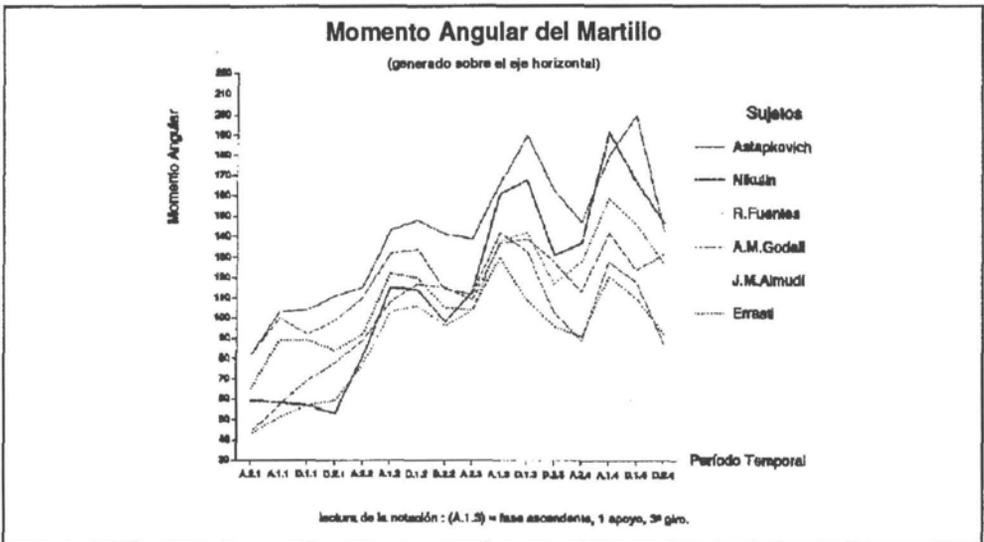


Figura 19. Momento angular generado sobre el eje horizontal.

Al contrario de lo que ocurre con el momento angular generado a través del eje vertical, cuando éste se desarrolla a través del eje horizontal, en todos los casos el momento angular medio del martillo es considerablemente mayor durante el periodo de apoyo simple que durante el de doble apoyo y, al contrario de lo que ocurre sobre el eje vertical, el incremento del momento angular del martillo sobre el eje horizontal se produce de forma progresiva durante cada vuelta, con la sola excepción de Godall y Errasti que mantienen sus valores durante el segundo y el tercero, decreciendo sensiblemente en el cuarto. Especialmente destacable son las progresiones que realizan los dos lanzadores soviéticos y Raúl Fuentes en cada vuelta, aunque los valores obtenidos por el español son considerablemente más pequeños que los obtenidos por los lanzadores soviéticos.

En general, se puede afirmar que las grandes diferencias entre los lanzadores soviéticos y españoles están, a partir de la segunda vuelta, en poder seguir incrementando el momento angular, o lo que es igual, poder seguir aplicando al martillo un cierto momento de fuerza.

Nikulín y, sobre todo, Astapkovich, incrementan considerablemente el momento angular de

su martillo a través del eje horizontal en cada vuelta, en los españoles dicho incremento es más reducido, en el caso de que exista. Y en este sentido, cabe destacar los valores tan reducidos que obtiene Godall durante la cuarta vuelta, especialmente por haber reducido considerablemente el radio de giro del martillo proyectado sobre el plano frontal y perpendicular al eje horizontal. Normalmente, cuando se reduce la proyección del radio de giro proyectada sobre el plano frontal, es a consecuencia de no haber incrementado la componente vertical de la velocidad y, consecuentemente, el plano de inclinación del martillo. Según los datos, es posible que este lanzador obtenga iguales e incluso mejores resultados realizando tres vueltas que con cuatro.

#### 4. DISCUSION

Este apartado, al margen de abordar las consideraciones generales oportunas sobre el lanzamiento de martillo, se dedicará al análisis específico de la técnica de cada uno de los atletas analizados. Según el precario estado actual de la ciencia en esta especialidad, no es posible hacer una crítica o elogio a la técnica de cada lanzador, nos limitaremos a razonar cautelosamente los resultados expuestos desde una perspectiva exclusivamente biomecánica, dejando las interpretaciones causales, los aspectos fisiológicos, médicos o de entrenamiento a los especialistas en las citadas disciplinas, aunque estamos con una predisposición abierta para discutir todos aquellos aspectos interdisciplinares que puedan deducirse de los resultados expuestos.

Para simplificar el análisis se han tenido en cuenta cuatro factores que hemos considerado causales o interactuantes en el resultado del lanzamiento y que condicionan la técnica de cada lanzador:

- a) Angulo de inclinación del martillo en cada vuelta.
- b) Compromiso entre el radio de giro y el impulso en doble apoyo, valorado mediante los ángulos azimutales del martillo cuando el pie derecho despega y toma contacto con el suelo, en cada vuelta.
- c) Comportamiento de la velocidad del martillo y sus componentes rectangulares durante el lanzamiento.
- d) Momento angular del martillo a través del eje vertical y horizontal.

En general, se puede decir que observando los datos obtenidos por la técnica que realizan los lanzadores de mayor nivel, la teoría soviética de que el martillo solo puede acelerarse durante el periodo de doble apoyo, no teniendo el lanzador la posibilidad de influir activamente sobre la velocidad del martillo durante el periodo de apoyo único, se confirma cuando solo se tiene en cuenta el giro sobre el eje vertical. En este sentido los momentos angulares del martillo generados a través del eje vertical son mayores durante el periodo de doble apoyo que durante el apoyo simple, en todos los casos, lo que implica que han desarrollado mayor momento de fuerza durante el doble apoyo y que los mejores lanzadores son aquellos que reducen menos su momento angular durante la fase de apoyo simple.

Pero lo cierto es que no se puede entender el lanzamiento de martillo solo desde una perspectiva azimutal donde el martillo gira entorno a un eje de giro teórico vertical. Analizando la trayectoria del martillo con respecto a un sistema de referencia inercial, el lanzamiento supone además un cambio gradual en la inclinación del plano del martillo y, consecuentemente un movimiento giratorio a través de un eje que es horizontal e identificado con la dirección del desplazamiento del Cg. del sistema lanzador más martillo (Dapena, 1984, 1986).

Observando los valores del momento angular obtenidos a través del eje horizontal, al contrario de lo que sucedía sobre el eje vertical, en todos los casos el mayor valor del momento angular del martillo se localiza durante el periodo de apoyo único, lo que concuerda con los resultados encontrados por Dapena (1984, 1986, 1989) y de lo que se desprende que

es posible incrementar la velocidad durante el periodo de apoyo único y que una gran parte del aumento de la velocidad tangencial del martillo esta asociado con el momento de fuerza generado alrededor del eje horizontal.

Comparando los datos entre lanzadores de mayor y menor nivel, podemos llegar a la conclusión de que la gran diferencia entre los lanzadores soviéticos y nacionales radica en que las diferencia existente entre los valores del momento angular del martillo a través del eje horizontal son notables, es decir los lanzadores soviéticos pueden aplicar un gran momento de fuerza al martillo durante el periodo de apoyo único a través del eje horizontal, mientras que los españoles tienen gran dificultad para incrementar su momento y especialmente durante las dos últimas vueltas.

Otra gran diferencia radica en que mientras los lanzadores soviéticos obtienen un radio de giro relativamente grande durante la primera vuelta y lo mantienen durante todo el lanzamiento, los españoles obtienen un radio de giro algo inferior en la primera vuelta y lo reducen de forma considerable durante el resto del tiempo que dura el lanzamiento.

#### **4.1. Análisis de la técnica de Andrei Astapkovich.**

En primer lugar se debe de recordar que el lanzamiento analizado lo realiza con el martillo de 6 Kg., lo que puede ser un factor que determine la forma de realizar el gesto. Posiblemente este hecho incida muy positivamente sobre el plano de inclinación del martillo, el cual ya comienza con  $30.8^\circ$  en la primera vuelta y mantiene la progresión ascendente hasta la cuarta, donde se superan los  $45^\circ$ . Este hecho es consecuencia de un incremento progresivo de la componente vertical durante todo el lanzamiento, y como resultado, se consiguen unos valores muy altos de momento angular sobre el martillo a través del eje horizontal.

El compromiso entre los radios de giro y ángulos azimutales lo resuelve muy bien, especialmente debido a que sus radios se mantienen prácticamente constantes durante cada giro. Sus ángulos azimutales, en el instante de tomar contacto el pie con el suelo, comienza con un valor relativo muy bajo ( $222^\circ$ ) incrementándose progresivamente en cada vuelta, aunque sin llegar a tener valores excesivos. Por lo que respecta al ángulo azimutal del martillo cuando el pie derecho despega del suelo, es sorprendente que sea el lanzador que mantenga los valores más bajos y prácticamente constantes en cada vuelta, especialmente porque las teorías expuestas por sus entrenadores proponen que el pie debe despegar lo más tarde posible.

Posiblemente éste hecho sea debido a que consigue unos valores muy altos de momento angular a través del eje horizontal en apoyo simple y la reducción del momento angular sobre el eje vertical en apoyo único es prácticamente nula. Esto significa que es capaz de generar cierto momento de fuerza durante el tiempo que esta en apoyo único, algo muy positivo en cualquier lanzador y que se verifica en las pocas fluctuaciones que tiene la gráfica de velocidad tangencial de su martillo.

Se puede considerar un lanzador equilibrado en todos los factores, siendo capaz de mantener un gran radio de giro en todas las vueltas, conseguir aplicar momentos de fuerza, tanto a través del eje horizontal como del vertical y, por último, consigue un ángulo de inclinación final muy adecuado para la velocidad tangencial del martillo al final del lanzamiento.

#### 4.2. Análisis de la técnica de Igor Nikulin.

Aunque el ángulo de inclinación que alcanza el plano del martillo en la cuarta vuelta es excelente ( $45.9^\circ$ ), durante las tres primeras vueltas sus valores son relativamente pequeños. Este hecho hace que los momentos angulares asociados al eje horizontal sean también relativamente pequeños hasta la cuarta vuelta y que la componente vertical de la velocidad mantenga unos valores reducidos durante las tres primeras vueltas. Posiblemente sea positivo para este lanzador incrementar la componente vertical de la velocidad desarrollando momentos de fuerza sobre el martillo a través del eje horizontal, especialmente durante el periodo de doble apoyo. Esto contribuiría a reducir las oscilaciones de la velocidad tangencial del martillo alcanzando una mayor velocidad en durante las tres primeras vueltas.

El compromiso entre el radio de giro y la posición del martillo, en relación a un ángulo azimutal cuando el pie derecho despega y toma contacto con el suelo, es excelente. El radio de giro es el mayor de todos los lanzadores durante el primer giro, y consigue mantenerlo constante a lo largo de todo el lanzamiento y su impulso en doble apoyo es también muy bueno; despega tarde y a partir de la segunda vuelta mantiene el ángulo azimutal del martillo, en el instante en que el pie toma contacto con el suelo, prácticamente constante. Este hecho hace que el momento angular que mantiene el martillo a través del eje vertical sea muy grande en todas las vueltas, bajando un poco en la última, aunque lo compensa con el generado a través del eje horizontal, por lo que el momento resultante se mantiene con valores altos.

Se puede decir que este lanzador genera su momento de fuerza total sobre el martillo básicamente a través del eje vertical y especialmente durante el periodo en que el martillo está en trayectoria ascendente y en doble apoyo, razón por la que despega el pie derecho muy tarde, y cuando el martillo está en trayectoria descendente en apoyo único, debido posiblemente al momento de fuerza que se produce cuando el cuerpo del lanzador se adelanta al martillo sin "tirar" de él. Hecho que se ratifica con los valores extremadamente altos que consigue la componente transversal de la velocidad en dichos períodos, lo que contribuye al incremento de las oscilaciones encontradas por la velocidad tangencial del martillo durante el lanzamiento.

#### 4.3. Análisis de la técnica de Raul Fuentes.

El esquema general de su técnica es muy parecido al de Igor Nikulín, aunque con algunos problemas que le hacen reducir su eficacia. El ángulo de inclinación del plano del martillo mantiene una cierta progresión hasta la cuarta vuelta pero su valores son demasiado pequeños, a consecuencia de esto, el momento angular del martillo a través del eje horizontal es relativamente pequeño en todas las vueltas, la componente vertical de la velocidad mantiene una cierta progresión, pero con valores demasiado bajos y el ángulo de salida del martillo es excesivamente bajo. Posiblemente incrementando el momento de fuerza a través del eje horizontal y aumentando el ángulo de inclinación del plano del martillo en todas las vueltas, sus resultados mejorarían considerablemente.

Para conseguir esto, durante el periodo de apoyo único, debe de hacer que la línea de aplicación de la fuerza normal caiga fuera de la base de sustentación inclinándose hacia dentro de la curva que describe la trayectoria del martillo, sin adelantarlo y empujando con los pies hacia abajo contra el suelo y no hacia delante, lo que provocará en incremento del momento de fuerza sobre el eje horizontal. Este hecho hace que se incremente la velocidad del martillo a través del eje horizontal a expensas de aumentar la componente vertical.

Durante el periodo de apoyo doble también puede incrementarse el momento de fuerza alrededor del eje horizontal. Siguiendo la teoría de Dapena & McDonald (1989), podría hacerlo de dos formas distintas: a) empujando más fuerte contra el suelo con el pie izquierdo que con el derecho, lo que hace que la componente vertical de la fuerza se desplace hacia un lado del Cg. del sistema lanzador más martillo y b) haciendo que la fuerza vertical resultante que el suelo ejerce como reacción a la ejercida por los dos pies, sea lo más excéntrica posible desplazando el centro de gravedad del sistema (Cgs.) más cerca de la vertical del apoyo del pie derecho que del izquierdo.

El compromiso entre el radio de giro y el impulso del martillo en doble apoyo se resuelve muy bien hasta la cuarta vuelta, manteniendo un radio de giro excelente en cada una de ellas, despegando con un ángulo azimutal del martillo relativamente grande y llegando con un ángulo relativamente pequeño hasta la última vuelta, donde el ángulo azimutal del martillo, cuando el pie derecho toma contacto con el suelo, se hace demasiado grande ( $270^\circ$ ), lo que significa haber llegado tarde con el pie derecho al suelo, reducir el ángulo de inclinación del martillo, disminuir los momentos angulares a través del eje horizontal y no poder seguir acelerando al martillo durante la fase final del lanzamiento, lo que se refleja tanto en los valores obtenidos por la componente vertical como la horizontal del martillo y, consecuentemente, sobre una reducción final de velocidad tangencial del martillo.

#### **4.4. Análisis de la técnica de Antón M. Godall.**

Los ángulos de inclinación del plano del martillo mantienen una buena progresión durante las tres primeras vueltas, pero en la cuarta baja, todo lo contrario que le ocurre al resto de lanzadores, los cuales alcanzan la máxima inclinación durante la cuarta vuelta. Este hecho hace que los valores del momento angular a través del eje horizontal del martillo, que se mantenían relativamente altos durante las tres primeras vueltas, en la cuarta y durante la fase final lleguen a reducirse considerablemente. Como consecuencia la velocidad del martillo baja.

Su compromiso entre el radio de giro y el impulso desarrollado durante el apoyo doble sobre el martillo no parece ser demasiado bueno, especialmente debido a los radios de giro, los cuales comienzan con unos valores relativamente buenos pero se van reduciendo en cada vuelta hasta hacerse demasiado pequeños en la cuarta y especialmente durante el periodo de apoyo único. Posiblemente el motivo sea "tirar" del martillo durante el periodo de apoyo único en cada vuelta, ya que al contrario de lo que ocurre con los lanzadores soviéticos y a R. Fuentes, el radio de giro durante el apoyo único es menor que durante el apoyo doble.

Los momentos angulares desarrollados a través del eje vertical presentan sus valores máximos durante la segunda vuelta y decrecen progresivamente durante la tercera y, especialmente, la cuarta, debido básicamente a la reducción de los radios de giro en estas vueltas. Este hecho, junto al problema en el compromiso entre factores apuntado en el párrafo anterior, hacen que la velocidad tangencial del martillo no se incremente a partir de la segunda vuelta disminuyendo considerablemente durante la cuarta.

#### **4.5. Análisis de la técnica de José Manuel Almudí.**

Se debe de recordar que el lanzamiento analizado lo realiza con el martillo de 6 Kg.. Los ángulos de inclinación del plano del martillo se incrementan en cada vuelta hasta llegar a  $41.7^\circ$  en la cuarta, valores que, aunque son relativamente normales, cabría esperar un ángulo de

inclinación mayor, considerando que lanza con el martillo de 6Kg. La adecuada progresión del ángulo de inclinación del plano del martillo hace posible que los valores obtenidos sobre el momento angular a través del eje horizontal sean relativamente buenos en cada vuelta.

El compromiso entre el radio de giro y el impulso durante el apoyo doble es aparentemente extremo en sus factores. Consigue despegar relativamente tarde, es decir con un ángulo azimutal relativamente alto y es el lanzador que llega con el pie derecho al suelo con el ángulo más reducido de todos los lanzadores y esto es aparentemente bueno, por el contrario sus radios de giro se reducen considerablemente en cada giro, llegando a la última vuelta con valores extremadamente pequeños. Creemos que la consecuencia de la reducción de los radios en cada giro es, al igual que A.M. Godall, "tirar" del martillo durante el periodo de apoyo único y, además, llegar precipitadamente con el pie en el suelo, es decir adelantar al martillo antes de que éste alcance su punto alto. La consecuencia es obtener un ángulo azimutal del martillo relativamente pequeño en el instante de tomar contacto con el pie en el suelo pero reducir considerablemente el radio de giro.

La consecuencia de todos estos problemas es la reducción del momento angular del martillo a través del eje vertical a partir de la segunda vuelta. Creemos que el principal problema de la técnica de este lanzador consiste en reducir el radio de giro durante el apoyo único queriendo adelantar al martillo durante este periodo de forma precipitada, sin acompañarlo, y llegar a la toma de contacto con el pie derecho con una torsión excesiva entre los ejes de las caderas y los hombros al no orientar su pie derecho hacia la posición del martillo en ese instante, lo que produce una gran reducción momentánea del radio de giro que afecta a la trayectoria del martillo y, consecuentemente, a su velocidad tangencial.

#### 4.6. Análisis de la técnica de Errasti.

Aunque los ángulos de inclinación del martillo son relativamente buenos, el valor del momento angular generado a través del eje horizontal es el más reducido de todos los lanzadores analizados y alcanza su máximo valor durante la segunda vuelta, debido probablemente a una excesiva reducción del radio de giro proyectado sobre el plano frontal, aunque dicha reducción no es solo del proyectado, sino de los valores absolutos del radio de giro a partir de la segunda vuelta.

Es posiblemente el lanzador que peor resuelve el compromiso existente entre el radio de giro y el impulso generado por el martillo durante el periodo de doble apoyo. Aunque el pie derecho despega tarde del suelo y con un ángulo azimutal del martillo relativamente alto, ni los ángulos azimutales en el instante de tomar contacto con el suelo son demasiado bajos, es decir, llega tarde en cada vuelta y ni sus radios de giro son grandes al principio y además de mantener en una progresión decreciente hasta la tercera vuelta, donde se obtienen valores demasiado bajos, los cuales se repiten durante la última vuelta. La consecuencia es reducir el momento angular resultante y no seguir incrementando la velocidad del martillo a partir de la tercera vuelta.

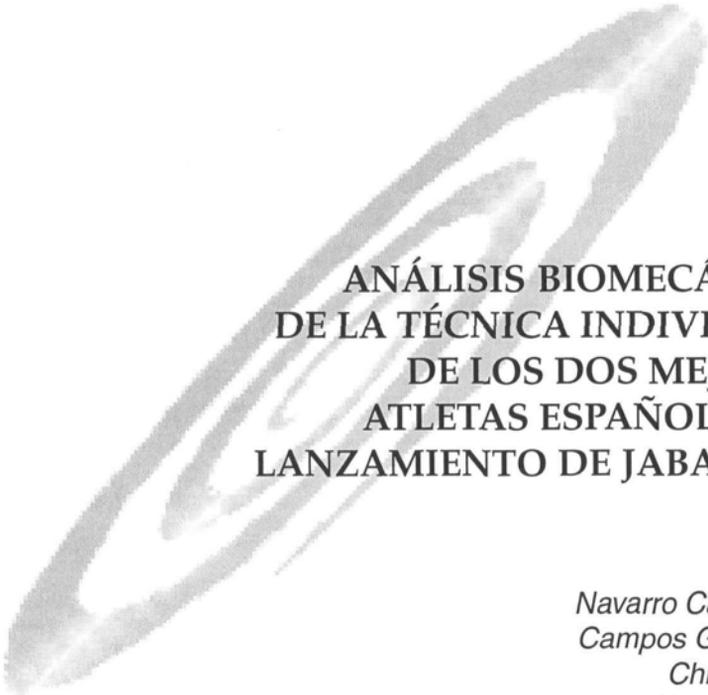
Igual que J. M. Amudí y A. M. Godall creemos que este lanzador "tira" excesivamente del martillo durante el periodo de apoyo único reduciendo el radio de giro, pero lo sorprendente es que también reduce su radio de giro durante el periodo de apoyo doble, posiblemente por empujar con los pies hacia delante en lugar de hacerlo hacia abajo, lo que produce una extensión de la espalda o, lo que es igual, tira del martillo hacia atrás también durante el periodo de apoyo doble.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdel-Aziz, Y.I. & Karara, H.M. "Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry". **Proc. ASP/UI Symp. Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois**. Falls Church, V.A: American Society of Photogrammetry, 1-18. 1971.
- Bondartschuk, A.P. (1979). "Die moderne technik beim hammerwerfen. Leichtathletic, österreich 2. 3, 22-23.
- Bondartschuk, A.P. (1987). "La técnica moderna en el lanzamiento de martillo". **Cuadernos de Atletismo**, 20. 65-72. (traducido de las actas del Congreso de la E.A.C.A.: Aix-les-bains, 1987).
- Clauser, C.E., McConville, J.T. & Young, J.W. (1968). **Weight, volume, and center of mass of segments of the human body**. ARML Technical report. 69-70, Wright-Patterson Air Force Base.
- Dapena, J. (1978). "A method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity". **Journal of Biomechanics**. 11, 251-256.
- Dapena & Col. (1983). **Análisis biomecánica de lanzamiento de martillo**. Bloomington: Universidad de Indiana. (Traducción al español por Gil y Ramos).
- Dapena, J. (1984). "The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations". **Journal of Biomechanics**. 17, 8, 553-559.
- Dapena, J. (1986). "A kinematic study of center of mass motion in the hammer throw". **Journal of Biomechanics**. 19, 2, 147-158.
- Dapena, J. (1989). "Influence of direction of the cable force and of the radius of the hammer path on speed fluctuations during hammer throwing". **Journal of Biomechanics**. 22, 6, 565-575.
- Dapena, J. & McDonald, G. (1989). "A three-dimensional analysis of angular momentum in the hammer throw.". **Medicine and science in sports and exercise**. 21, 2, 206-220.
- Dapena, J. (1990). "Some biomechanical aspects of hammer throwing". **Track Technique**. 111. 3535-3539.
- Duran, J. (1985). "Técnica del lanzamiento de martillo". **Cuadernos de Atletismo**, 17, 79-97.
- Gutiérrez, M., Soto V.M. & Martínez, M. **Sistema de análisis computarizado para el movimiento humano**. Malaga: UNISPORT. 1990.
- Hay, J.G., Wilson, B.D., Dapena, J. & Woodworth, G.G. (1977). "A computational technique to determine the angular momentum of a human body". **Journal of Biomechanics**. 10, 269-277.

- Hay, J.G. (1980). **Biomechanique des techniques sportives**. (438-445). Paris: Vigot.
- Kuznetsov, V. (1965). "Path and speed of the hammer in the turns". **Legk. Atletika**. 11, 11-12.
- Kriwonossov, M. (1972). "J. Gamski throws the hammer". **Yessis Review**, 7, 4.65-99.
- Kriwonossov, M. y Col. (1980). "Zum schnellkraft-und kraftraining von hammerwerfern". **Die lehre der leichtathletik**. 16, 1673-1674.
- Pozzo, R. (1987). "Metodi biomeccanici nell'allenamento del lancio del martello. Aspetti sui processi informativi". **Atleticastudi**. 4, 219-234.
- Rolf-Gunter, J. (1979). "Velocity in hammer throwing". **Track Technique**. 77. 2449-2450.
- Samozvetov, A. (1971). "The acceleration of the hammer". **Legkaya Atletika**. 11. 18-20.
- Tschiene, P. (1980). "Nuevos elementos en la técnica del lanzamiento de martillo". **Cuadernos de atletismo**. 3. (traducido de Leichtathletik, 16, 1977.).
- Wood, G.A. & Jennings. "On the use of spline functions for data smoothing". **Journal of biomechanics**. 12:477-479, 1979.



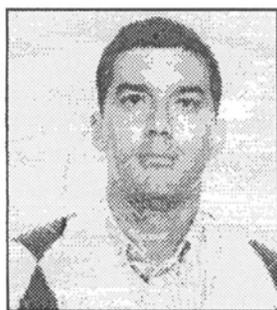


**ANÁLISIS BIOMECÁNICO  
DE LA TÉCNICA INDIVIDUAL  
DE LOS DOS MEJORES  
ATLETAS ESPAÑOLES DE  
LANZAMIENTO DE JABALINA<sup>1</sup>**

*Navarro Cabello, E.  
Campos Granell, J.  
Chillaron, E.  
Vera Luna, P.*

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido desarrollado por el Instituto de Biomecánica de Valencia en colaboración con la Real Federación Española de Atletismo. Para la realización del mismo se recibió durante los años 1992 y 1993 una subvención del Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte (CNICD) del Consejo Superior de Deportes.



**Enrique Navarro Cabello**, es Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y Profesor de Biomecánica del INEF de Madrid. Ha colaborado con el Instituto de Biomecánica de Valencia y fue profesor del Instituto Valenciano de Educación Física.

**José Campos Granell**, Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y profesor de Atletismo del Instituto Valenciano de Educación Física.

**E. Chillaron**, Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

**Pedro Vera**, Dr. Ingeniero, Catedrático en Biomecánica de la Universidad Politécnica de Valencia, es actualmente Director del Instituto de Biomecánica de Valencia.

**Resumen:** La técnica de lanzamiento de jabalina durante la fase de lanzamiento (último doble apoyo), se basa en la realización de una secuencia de movimientos en la que los segmentos van alcanzando la máxima velocidad de forma consecutiva y en un orden que va desde los segmentos más alejados del extremo a los más cercanos. El objetivo principal de este trabajo es analizar la técnica de cada atleta basándose en el intercambio de energía cinética entre segmentos. El análisis debe permitir valorar de forma objetiva el rendimiento técnico del atleta. La metodología experimental se basa en la captación del movimiento mediante cámaras de cine de alta velocidad y la determinación posterior de las coordenadas 3D de los puntos que forman el modelo de cuerpo humano. Previamente, se desarrolló un modelo teórico para el cálculo de la energía cinética de los segmentos; el modelo considera los segmentos como sólidos rígidos con seis grados de libertad. El estudio de correlaciones realizado con los datos de cada sujeto permite afirmar que el comportamiento mecánico manifestado en la técnica de los dos atletas cumple el patrón de transmisión de energía entre segmentos. A través de un análisis discriminante se demuestra la existencia de un patrón técnico individual para cada atleta analizado. Estos patrones -modelos- permiten evaluar de manera objetiva la técnica del lanzamiento.

**Palabras clave:** Biomecánica deportiva, fotogrametría-3D, lanzamiento de jabalina, energía cinética, patrones de técnica individual, atletismo.

## 1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

El lanzamiento de jabalina es una destreza que se engloba dentro del patrón de lanzamientos y golpesos de mano alta -por encima del hombro- cuyo objetivo es alcanzar la máxima velocidad del extremo libre de la cadena cinética humana y una apropiada dirección del vector velocidad en el instante del despegue de la jabalina.

Dentro de este patrón se encuentran los lanzamientos en balonmano, en beisbol, en waterpolo, etc. y los golpesos que se realizan por encima del hombro en tenis, badminton, voleibol etc. En todos ellos el objetivo es hacer que la velocidad del objeto que se lanza o golpea sea máxima en el instante de despegue.

Evidentemente, la velocidad de despegue será máxima dependiendo de lo que el lanzador haga en los instantes precedentes. En concreto, principalmente de lo que haga durante la denominada fase de lanzamiento. En general, la fase de lanzamiento empieza con el inicio del último doble apoyo y termina con el despegue (Figura 1).

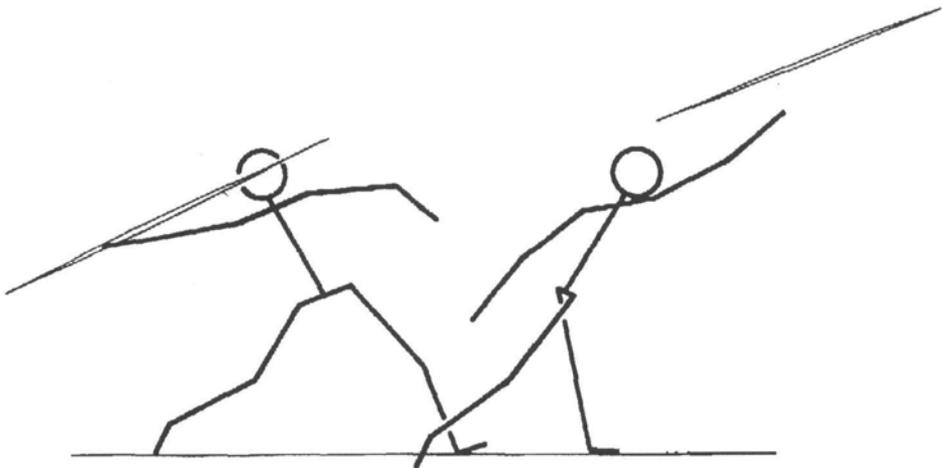


Figura 1: Fase de lanzamiento

Ha sido demostrado en numerosas investigaciones que la secuencia de movimientos que componen la fase de lanzamiento se realiza de manera que los segmentos van alcanzando la máxima velocidad de forma consecutiva y en un orden que va desde los segmentos más alejados del extremo a los más cercanos. Esto ha dado lugar a considerar que el modelo de lanzamiento está basado en la transmisión de energía entre segmentos. Sin embargo, nadie hasta la fecha ha logrado encontrar relaciones cuantitativas entre los intercambios de energía que permitan valorar objetivamente la calidad de los lanzamientos (Figura 2). Los resultados más relevantes encontrados en la literatura se refieren casi exclusivamente a parámetros cinemáticos (Tablas 1 y 2).

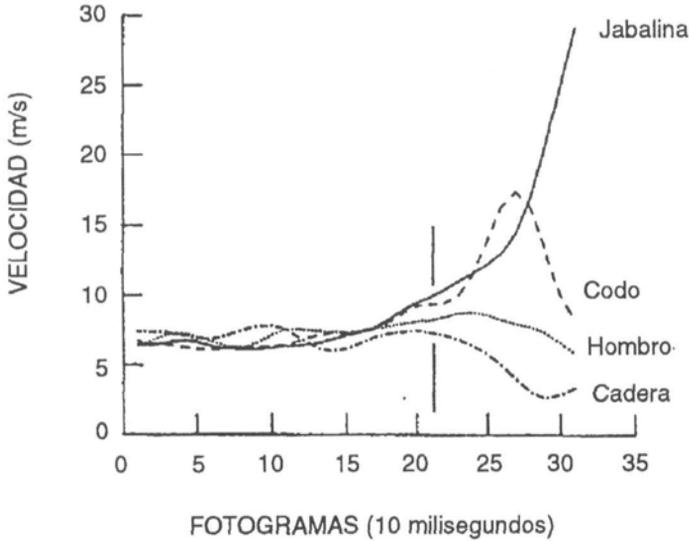


Figura 2: Curvas de velocidad-tiempo de puntos del cuerpo y de la jabalina (adaptado de Whiting, 1991)

Tabla 1. Resultados cinemáticos el lanzamiento de jabalina.

Autor	$n_1$	D (m)(A/N)	$V_{s1}$ (m/s)	$V_{s2}$ (mls)	t (ms)	codo (°)	rod 1 (°)	rod2 (°)
Whitchey (73)	10	72.56(A) (SD=2.64)	-	-	114	-	-	-
Terauds (78)	1 <sub>(Nemeth)</sub>	94.58(A)	-	-	-	-	-	-
Ikegami (81)	1	68.9(A)	5.6	3.6	105	-	-	-
Bartlett (83)	1	(A)	4.8	3.8	64	-	-	-
Miller (83)	1	80.18(A)	-	-	120	-	-	-
Komi (85)	1 <sub>(Harkonen)</sub>	86.76(A)	6.37	3.22	110	133	159	146
Tsarouchas (86)	1 <sub>(Sasjmov)</sub>	78.84(N)	5.9	3.8	-	-	-	-
Bartlett (91)	1 <sub>(Backley)</sub>	87.42(N)	6.6	4.2	120	150	171	147
Whiting (91)	10	80.46(N) (SD=1.01)	-	-	114	-	174	172
Mero (93)	1 <sub>(Zelezny)</sub>	88- 18(N)	-	3.58	110	137	173	180

$n_1$ : número de lanzamientos

D: distancia de lanzamiento

(A/N): jabalina antigua (A) o nueva (N)

$V_{s1}$ : velocidad del centro de gravedad del sujeto al comienzo de la fase de lanzamiento

$V_{s2}$ : velocidad del centro de gravedad del sujeto en el instante del despegue

t: tiempo de duración de la fase de lanzamiento

codo: ángulo del codo al comienzo de la fase de lanzamiento

rod1: ángulo de la rodilla al comienzo de la fase de lanzamiento

rod2: ángulo de la rodilla en el instante del despegue

**Tabla 2. Resultados cinemáticos del lanzamiento de jabalina.**

Autor	$n_1$	D (m)(A/N)	h (m)	$d_{if}$ (m)	$V_{j1}$ (m)	$V_{j2}$ (m)	$A_i$ (°)	$A_d$ (°)
Whitchey (73)	10 (SD=2.64)	72.56 (A)	-	-	-	-	40.3	22.4
Terauds (78)	1 <sub>(Nemeth)</sub>	94.58 (A)	2.05	-	-	30.9	41	35
Kunz (80)	1	80.76 (A)	-	-	-	-	40	38
Ikegami (81)	1	68.9 (A)	-	-	-	27.01	38	32.5
Bartlett (83)	1	(A)	1.53	-	-	16.4	40	41
Menzel (83)	5	73.06 (A) (SD=4.55)	-	-	-	26.48	-	-
Miller (83)	1	80.18 (A)	1.96	3.87	11	30.1	30.1	37.2
Terauds (83)	1 <sub>(Petranoff)</sub>	94.62 (A)	-	-	-	29.33	41	31
Gregor (85)	1 <sub>(Petranoff)</sub>	99.75 (A)	2.09	2.33	-	32.3	36.7	32.6
Komi (85)	1 <sub>(Harkonen)</sub>	86.76 (A)	-	2.48	8.14	29.12	29	42
Rich (85)	15	84.4 (A) (SD = 3.5)	2.09	2.49	-	29.4	38.5	30.3
Tsarouchas (86)	1 <sub>(Sasimov)</sub>	78.84 (N)	-	3.48	-	22.08	42	51
Bartlett (91)	1 <sub>(Bakley)</sub>	87.42 (N)	2.04	-	-	30.3	32	34
Whiting (91)	10	80.46 (N) (SD = 1.01)	-	-	-	30.6	38	36
Mero (93)	1 <sub>(zelezny)</sub>	88.18 (N)	1.83	-	-	29.19	33	30

$n_1$ : número de lanzamientos

D: distancia de lanzamiento

(A/N): jabalina antigua (A) o nueva (N)

h: altura de la jabalina en el instante de despegue

$d_{if}$ : distancia del centro de gravedad del sujeto a la línea de falta en el instante de despegue

$V_{j1}$ : velocidad de la jabalina al comienzo de la fase de lanzamiento

$V_{j2}$ : velocidad de la jabalina en el despegue

$A_i$ : ángulo de la jabalina con la horizontal en el despegue

$A_d$ : ángulo de la velocidad de la jabalina con la horizontal en el instante del despegue

A pesar de tratarse de un movimiento que se realiza en las tres dimensiones del espacio, la técnica experimental utilizada en la mayoría de los estudios es la fotogrametría en dos dimensiones con cámaras de cine de alta velocidad; además; los modelos biomecánicos empleados consideran al cuerpo humano como un sistema de barras rígidas, despreciándose por consiguiente el movimiento de los segmentos respecto al eje longitudinal.

Los resultados y conclusiones más relevantes obtenidos de la revisión bibliográfica son los siguientes:

1. El lanzamiento de jabalina se divide en cuatro fases: Carrera, fase preparatoria, fase de lanzamiento y vuelo de la jabalina. La carrera comienza 30-35 m detrás de la línea de falta. La carrera termina con la llegada del pie derecho -penúltimo apoyo- cuando el lanzador es diestro (en adelante siempre nos referiremos a lanzadores diestros). La fase preparatoria va desde la llegada del pie derecho hasta el contacto del pie izquierdo. La fase de lanzamiento comienza con la llegada del pie izquierdo y termina con el despegue de la jabalina. (Figura 3).



Figura 3. Disposición de la cadena cinética al comienzo de la fase de lanzamiento (adaptado de Fleuridas, 1986).

2. La mayoría de los autores coinciden en afirmar que la fase más importante es la de lanzamiento o fase de doble apoyo. Su duración oscila entre 100-130 ms (Figura 4).

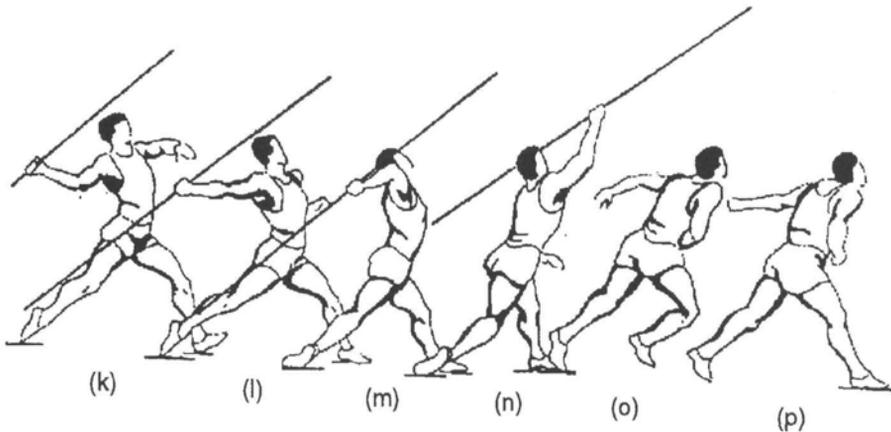


Figura 4. Fase de lanzamiento (adaptado de Hay, 1980).

3. Aunque durante el vuelo la jabalina se encuentra sometida a las fuerzas aerodinámicas, los autores coinciden en que el parámetro del que depende principalmente la distancia de lanzamiento es la velocidad de despegue de la jabalina .

4. El patrón de movimiento empleado es similar al de los otros tipos de lanzamiento; está basado en una secuencia de velocidades donde los puntos más alejados alcanzan su máximo de velocidad antes que los más próximos al extremo. Este hecho ha sido demostrado por muchos autores, calculando los máximos de velocidad y el tiempo en el que se producen (figura 5).

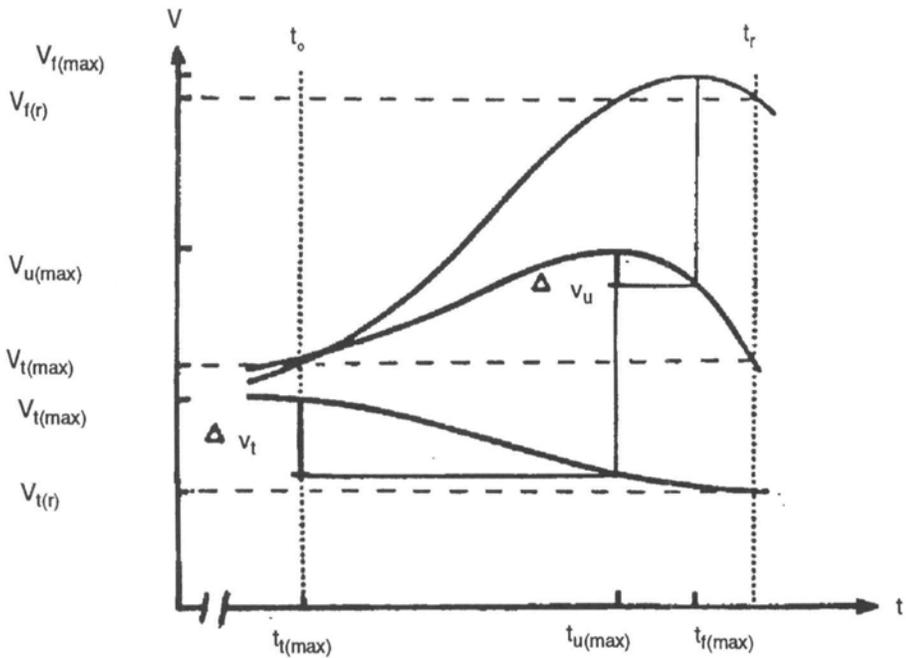


Figura 5. Velocidad del tronco, brazo y antebrazo. Relación entre las velocidades de los segmentos (adaptado de Menzel, 1987)

5. Los investigadores coinciden en afirmar que la fase de lanzamiento se divide en dos etapas bien diferenciadas. La primera etapa denominada etapa previa o de "armado" empieza con la llegada del pie izquierdo para el caso de un lanzador diestro y termina en la posición denominada de "arco tenso" (Figura 6). En ella se produce primero un movimiento consecutivo de rotación de las caderas y de los hombros respecto al eje longitudinal del tronco seguido de un movimiento de flexión del codo y de rotación externa del brazo respecto a su eje longitudinal. Es una etapa preparatoria, en la que los músculos que van a actuar posteriormente alcanzan al final de esta etapa una situación de estiramiento ( o de contracción excéntrica) que les predispone para dicha actuación. Esta es la causa de que la posición a la que llega el atleta al final de esta etapa previa se denomine posición de "arco tenso" (Figura 7).

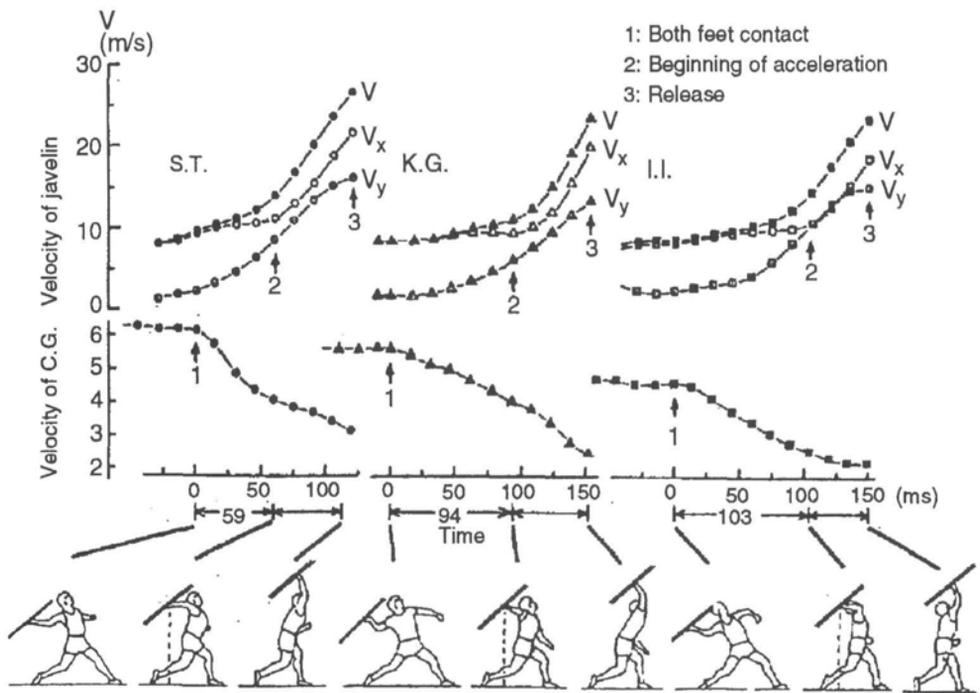


Figura 6. Cambios de velocidad de la jabalina y del centro de gravedad del sujeto en lanzadores de nivel alto (izquierda), medio (centro) y bajo (derecha) (adaptado de Ikegami, 1981).

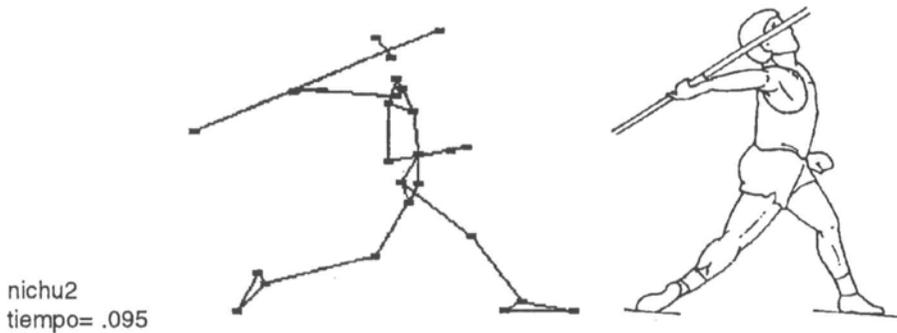


Figura 7. Posición de arco tenso

La segunda etapa suele llamarse etapa de aceleración, donde realmente comienza la aceleración de la jabalina. La fase de aceleración se compone principalmente de un movimiento de extensión del codo y rotación interna del brazo (Figura 4).

6.- La velocidad del centro de masas del atleta al comienzo de la fase de lanzamiento debe ser la mayor posible. Los autores registran valores entre 5 y 6 m/s. Cuanto mayor sea la velocidad de llegada, la transmisión de velocidad requerirá mayores fuerzas -en el apoyo- para decelerar el tren inferior del sujeto. Esto se mide directamente por las altas fuerzas de reacción en el pie izquierdo e indirectamente por el grado de flexo-extensión de la rodilla izquierda.

7.- La rodilla izquierda juega un papel primordial en el lanzamiento; permite que se efectúe de forma óptima la transmisión de energía. Los buenos lanzadores flexionan poco durante la primera etapa de la fase de lanzamiento y extienden durante la fase de aceleración. Las fuerzas en los apoyos, principalmente en el pie adelantado, son muy elevadas. Deporte (1987) midió fuerzas verticales de hasta 9 veces el peso corporal en la pierna izquierda de un lanzador diestro. Claramente, fuerza de reacción tiene una dirección posterior lo que permite decelerar el centro de masas del sujeto (Figura 8).

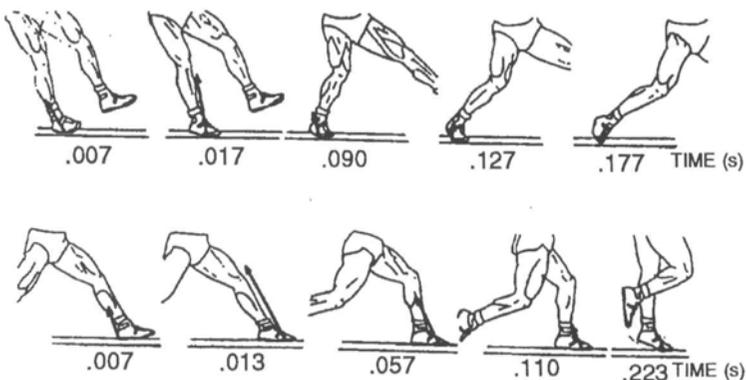


Figura 8. Fuerzas de reacción y momento vertical para la pierna adelantada (arriba) y atrasada (abajo) (adaptado de Deporte, 1987)

8. La orientación relativa de los segmentos de la cadena cinética al comienzo de la fase de lanzamiento determina la efectividad de la transmisión de energía (Figura 9).

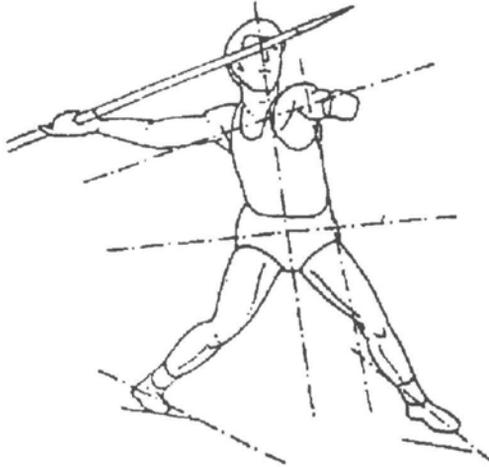


Figura 9. Disposición de la cadena cinética al comienzo de la fase de lanzamiento (adaptado de Fleuridas, 1986)

8.- La inclinación del tronco en el plano frontal hacia el lado contrario a la mano de despegue es un factor importante que se presenta en todos los lanzamientos por encima del hombro (Lindner, 1971). Los autores coinciden en que el brazo debe formar  $90^\circ$  con el tronco y que la jabalina debe despegar por encima del pie izquierdo, lo que obliga a una inclinación del tronco. No existen datos concretos que permitan evaluar este gesto (Figura 10). Bartlett (1991) y Mero (1993) registran este dato indirectamente pero no aportan ninguna conclusión. Según los resultados de Mero (1993), la distancia del agarre de la jabalina al pie izquierdo en el instante del despegue fue de 0.5 m (SD= 0.13 n= 11 hombres) y la distancia del centro de gravedad al pie izquierdo fue de 0.15 m (SD= 0.03, n = 11 hombres).

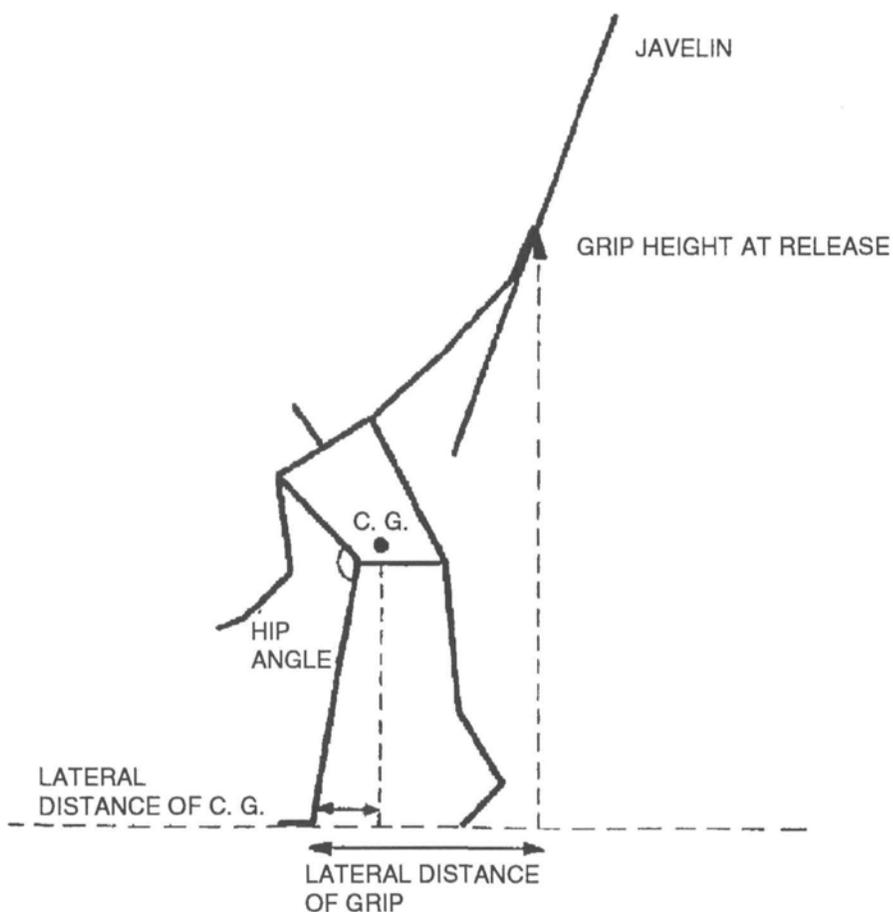


Figura 10. Vista frontal en el instante del despegue (adaptado de Mero, 1993)

9.- En resumen, existen datos descriptivos del movimiento que aportan muy poco sobre la técnica del lanzamiento de jabalina. Autores como Menzel (1983), Whiting (1991) y Bartlett (1991), han apuntado la necesidad de realizar estudios longitudinales como primer paso para obtener conclusiones sobre el patrón de movimiento

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, se considera que los objetivos de este trabajo son los siguientes:

**Objetivo principal:** Analizar la técnica individual de los dos mejores atletas españoles de lanzamiento de jabalina en base al intercambio de energía cinética entre los segmentos del cuerpo humano en tres dimensiones.

**Objetivo secundario:** Desarrollo de una metodología dirigida a la aplicación de la biomecánica en el entrenamiento de la técnica deportiva que contribuya a la mejora del rendimiento deportivo de los lanzadores de jabalina españoles.

## 2. MATERIAL Y METODOS

La metodología se basa en los siguientes pasos:

1°. Desarrollo de un modelo teórico de la energía cinética del cuerpo humano que tenga en cuenta las técnicas experimentales disponibles y los objetivos del trabajo.

2°. Utilización de dichas técnicas experimentales para la obtención (a través del modelo teórico desarrollado) de la energía del cuerpo humano de una muestra de lanzamientos de cada sujeto. Posteriormente, utilización de métodos estadísticos para obtener patrones de la técnica individual del lanzamiento de cada sujeto.

### 2.1. Definición del modelo.

El modelo teórico de la energía cinética del cuerpo humano se basa en un modelo mecánico del cuerpo que considera a éste **como un sistema de sólidos rígidos (6 grados de libertad) y barras, articulados entre sí**. Los 16 segmentos rígidos que componen el modelo mecánico del lanzador se determinan a partir de 24 puntos anatómicos. Además, se añaden dos puntos más para definir la jabalina (figura 1 1).

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. vértex.                         | 14. artic. 3 <sup>er</sup> dedo i. |
| 2. cuello-mentón.                  | 15. coxofemoral d.                 |
| 3. 7 <sup>a</sup> cervical.        | 16. rodilla d.                     |
| 4. subesternal.                    | 17. tobillo d.                     |
| 5. umbilical.                      | 18. talón d.                       |
| 6. pubis.                          | 19. punta-pie d.                   |
| 7. escápulo-humeral d.             | 20. coxofemoral i.                 |
| 8. codo d.                         | 21. rodilla i.                     |
| 9. muñeca d.                       | 22. tobillo i.                     |
| 10. artic. 3 <sup>er</sup> dedo d. | 23. talón i.                       |
| 11. escápulo-humeral i.            | 24. punta-pie i.                   |
| 12. codo i.                        | 25. punto 1 jabalina               |
| 13. muñeca i                       | 26. punto 2 jabalina               |

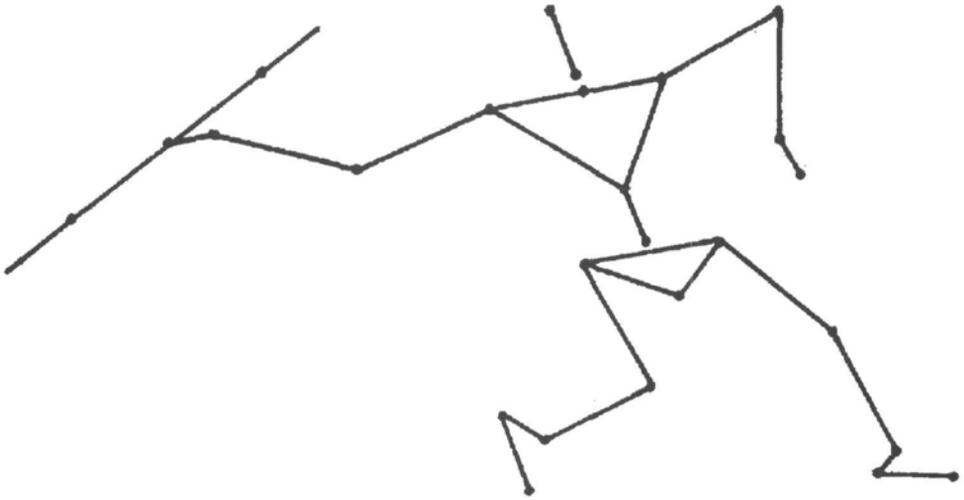


Figura 11. *Marcadores que definen el modelo mecánico del cuerpo humano y el implemento*

En concreto, el modelo mecánico del cuerpo se compone de los siguientes elementos:

**1. Segmentos definidos por tres puntos: tórax y pelvis.**

**2. Segmentos definidos por dos puntos propios y uno de otro segmento con la hipótesis de que la articulación entre ambos segmentos tiene un grado de libertad de rotación: brazos y muslos.**

**3. Segmentos definidos por dos puntos (Barras): cabeza, abdomen, antebrazos, manos, piernas y pies.**

El modelo mecánico se completa con los algoritmos que permiten calcular la energía de cada segmento. Los pasos que componen el proceso son los siguientes:

i) Determinación de un sistema de referencia local fijo con el segmento. El origen del sistema de referencia local se sitúa en el centro de gravedad del segmento.

ii) Determinación de la matriz de rotación del sistema de referencia local respecto al sistema de referencia inercial.

iii) Determinación de los parámetros inerciales (masas, centros de gravedad y momentos de inercia principales del segmento). Se utilizan los datos correspondientes a los trabajos de Zatsiorsky (1983), Clauser (1969) y Hinrichs (1990).

iv) Cálculo de la energía cinética (suma de la energía cinética de traslación y de la energía cinética de rotación) del segmento.

Veamos como ejemplo el modelo del brazo. Es un sólido rígido definido por los puntos 7, 8 y 9. La articulación del codo se supone que tiene 1 grado de libertad, por tanto los puntos 7, 8 y 9 determinan un plano solidario con el segmento (Figura 12). Los pasos para la obtención de la energía cinética del segmento son los siguientes:

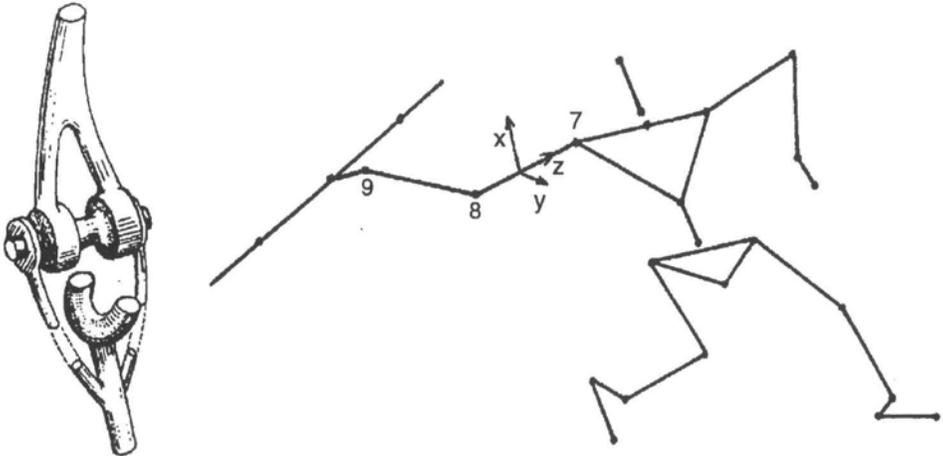


Figura 12. Modelo del brazo

i) Se define un sistema de referencia local mediante los siguientes vectores unitarios:

$$\vec{j} = \frac{({}^o r_7 - {}^o r_8) \times ({}^o r_9 - {}^o r_8)}{\|({}^o r_7 - {}^o r_8) \times ({}^o r_9 - {}^o r_8)\|}$$

$$\vec{k} = \frac{({}^o r_7 - {}^o r_8)}{\|({}^o r_7 - {}^o r_8)\|}$$

$$\vec{i} = \vec{j} \times \vec{k}$$

La posición del centro de gravedad de brazo se obtiene mediante la expresión:

$${}^o r_{cm} = {}^o r_7 + \frac{c}{100} \cdot ({}^o r_8 - {}^o r_7)$$

donde *c* es la distancia porcentual del centro de gravedad del brazo al hombro en relación a la longitud del brazo.

ii). Se determina la matriz de rotación **A**:

$$A = \begin{pmatrix} \vec{i} \cdot \vec{I} & \vec{j} \cdot \vec{I} & \vec{k} \cdot \vec{I} \\ \vec{i} \cdot \vec{J} & \vec{j} \cdot \vec{J} & \vec{k} \cdot \vec{J} \\ \vec{i} \cdot \vec{K} & \vec{j} \cdot \vec{K} & \vec{k} \cdot \vec{K} \end{pmatrix}$$

donde **I, J, K** son los vectores unitarios del sistema de referencita inercial.

iii) Se obtienen los parámetros inerciales del brazo utilizando los datos de la Tabla 3.

**Tabla 3. Parámetros inerciales empleados en el modelo teórico.**

segmento	punto 1	punto 2	a <sub>i</sub> (%)	c <sub>i</sub> (%)
cabeza	vertex	supraesternal	6.94	50.02
tórax	supraesternal	subesternal	15.97	50.66
abdomen	subesternal	umbilical	16.33	45.02
pelvis	umbilical	pubis	11.17	35.41
brazo	art. escapulohumeral	art. codo	2.71	49.1
antebrazo	art. codo	art. muñeca	1.62	41.76
mano	art. muñeca	art. 3ª dedo	0.61	81.88
muslo	art. coxofemoral	art. rodilla	14.17	40.01
pierna	art. rodilla	art. tobillo	4.33	41.79
pie	talón	punta del pie	1.37	44.85

a<sub>i</sub>: porcentaje de masa relativo a la masa total

c<sub>i</sub>: porcentaje de localización del cdg medido desde el punto 1 y relativo a la longitud del segmento.

segmento	$I_t$ (kg m <sup>2</sup> 10 <sup>-2</sup> )	$I_a$ (kg m <sup>2</sup> 10 <sup>2</sup> )	$I_l$ (kg m <sup>2</sup> 10 <sup>-2</sup> )
----------	------------------------------------------------	-----------------------------------------------	------------------------------------------------

cabeza	2.93	2.72	2.01
tórax	7.06	17.23	14.55
abdomen	8.20	12.85	12.05
pelvis	5.26	6.55	5.90
brazo	1.13	1.26	0.39
antebrazo	0.60	0.64	0.12
mano	0.09	0.13	0.05
muslo	19.96	19.96	4.15
pierna	3.69	3.83	0.64
pie	0.40	0.44	0.10

$I_t$ : momento de inercia respecto al eje transversal  
 $I_a$ : momento de inercia respecto al eje anteroposterior  
 $I_l$ : momento de inercia respecto al eje longitudinal

i) Se calcula la energía cinética del segmento mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{cm}^2 + \frac{1}{2} \cdot \text{Tr} \left[ \left( \dot{\mathbf{A}} \right) \cdot \mathbf{J} \cdot \left( \dot{\mathbf{A}} \right)^T \right]; \quad \mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{I_x - I_y + I_z}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{I_x - I_y + I_z}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{I_x + I_y - I_z}{2} \end{pmatrix}$$

donde J es una matriz escrita en función de los momentos de inercia ( $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ ) del segmento respecto a los ejes del sistema de referencia local.

## 2.2. Técnica experimental.

Se hacen las siguientes consideraciones:

1. El modelo desarrollado previamente utiliza como datos de entrada las coordenadas 3D de los puntos que definen cada segmento en función del tiempo y los parámetros inerciales.
2. Se desea que el desarrollo del experimento (toma de datos) no interfiera en el movimiento realizado por el atleta.
3. El movimiento que se desea analizar se desarrolla en un corto periodo de tiempo (100-130 ms) y las velocidades alcanzadas por algunos puntos del cuerpo son muy elevadas (por encima de los 25 m/s).

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, se deduce utilizar como técnica experimental la fotogrametría-3D. Dicha técnica permite determinar la posición de un punto en el espacio a partir de la filmación del mismo con cámaras de cine o vídeo. En este caso se considera que la técnica instrumental o de registro de datos más conveniente, es la cinematografía de alta velocidad.

Las características que definen la fase experimental de toma de datos -filmación-, son las siguientes:

1. La muestra de sujetos estaba compuesta por dos lanzadores de jabalina de alta competición: Julián Sotelo y Raimundo Fernández (Tabla 4).

**Tabla 4. Datos de la muestra.**

atleta	edad	talla (m)	peso (Kg)	récord personal (m)
J. Sotelo	23	1.92	101	78
R. Fernández	22	1.70	75	74

2. Se filmaron 20 lanzamientos de Raimundo Fernández y 28 de Julián Sotelo distribuidos en tres niveles de esfuerzo (75%, 90% y 100%). El rango de las distancias de lanzamientos fue de 58-68.9 m para Raimundo Fernández y de 59-66 m para Julián Sotelo.

3. La frecuencia de muestreo se fijó en 200 fotogramas/segundo.

4. La experiencia se realizó el 12 de febrero de 1993 en las pistas de atletismo de El Saler. El protocolo de la filmación fué el siguiente:

4.1. Puesta a punto del equipamiento.

4.2. Preparación de la filmación. Consistente en las siguientes etapas:

- Ubicación de las cámaras. El principal criterio para la colocación de las cámaras fué que existieran los menos puntos ocultos posibles (Figura 13).
- Ajuste de las ópticas.

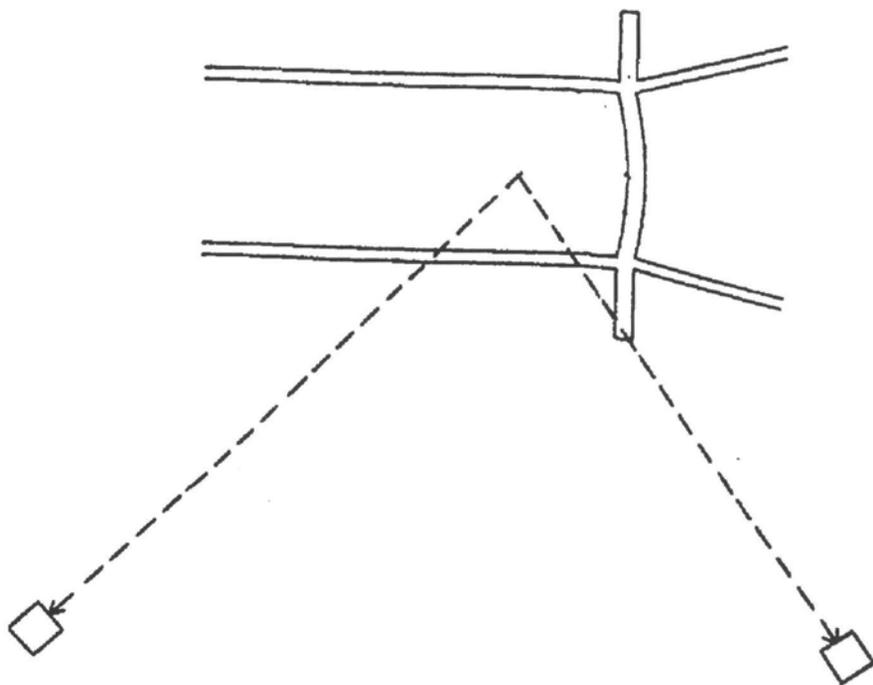


Figura 13. Ubicación de las cámaras.

**4.3. Filmación del sistema de referencia.** Para la posterior reconstrucción de las imágenes en 3D es necesario calibrar el espacio que se desea registrar filmando un objeto de dimensiones conocidas denominado sistema de referencia. El sistema de referencia se situó de forma que cubría el espacio donde se movería el atleta. Después de su filmación se retiró de la pista. A partir de este momento las cámaras no se movieron.

**4.4. Filmación de los lanzamientos.** Teniendo en cuenta que el tiempo de duración de la fase de lanzamiento es normalmente de 120-150 ms y que el tiempo de aceleración de la cámara hasta llegar a los 200 Hz es de aproximadamente 1.5 s, se estimó una duración de las secuencias de aproximadamente 2 s. Por consiguiente las cámaras se disparaban 1.5 s antes de que el atleta llegase al campo de filmación. Las cámaras estaban sincronizadas, por tanto, fué necesario un solo operador para controlar la cámara maestra.

Los atletas calentaron antes de la filmación. En cada lanzamiento el atleta avisaba cuando estaba a punto de iniciar el movimiento. La distancia de lanzamiento se midió con cinta métrica con arreglo al reglamento de la federación de atletismo. Después de cada tanda de 5 lanzamientos se hizo un breve descanso.

Una vez reveladas las películas se pasó al tratamiento de los datos. El proceso constó de los siguientes pasos:

**1. Cálculo de las coordenadas 3D de los marcadores:** Hay numerosas técnicas para este propósito. La técnica más utilizada es la DLT (direct linear transformation). Fue desarrollada por Abdel-Aziz y Karara (1971). Esta técnica obliga a conocer las coordenadas del punto cuyas coordenadas 3D queremos calcular proyectadas en al menos dos planos, es decir es necesario filmar el movimiento con dos cámaras como mínimo. También es necesario conocer las coordenadas proyectadas en esos dos mismos planos de 6 o más puntos cuyas coordenadas conocemos respecto a un sistema de referencia cualquiera.

#### *Proceso y equipamiento necesario*

La información de partida está compuesta por las imágenes, del sistema de referencia y de los lanzamientos, registradas mediante dos cámaras fijas. El equipamiento está formado por dos elementos:

- *Mesa para digitalizar películas* (Figura 14). Está compuesta por un proyector analizador de películas de 16 mm que permite mover la película de fotograma a fotograma y parar la imagen. La imagen se refleja en una serie de espejos hasta llegar a proyectarse a través de una superficie traslúcida. Las coordenadas 2D de cualquier punto visible de dicha superficie se obtienen mediante un digitalizador sónico. La maniobra consiste en situar encima del punto un cursor y presionar un botón.

- *Ordenador con su software.*

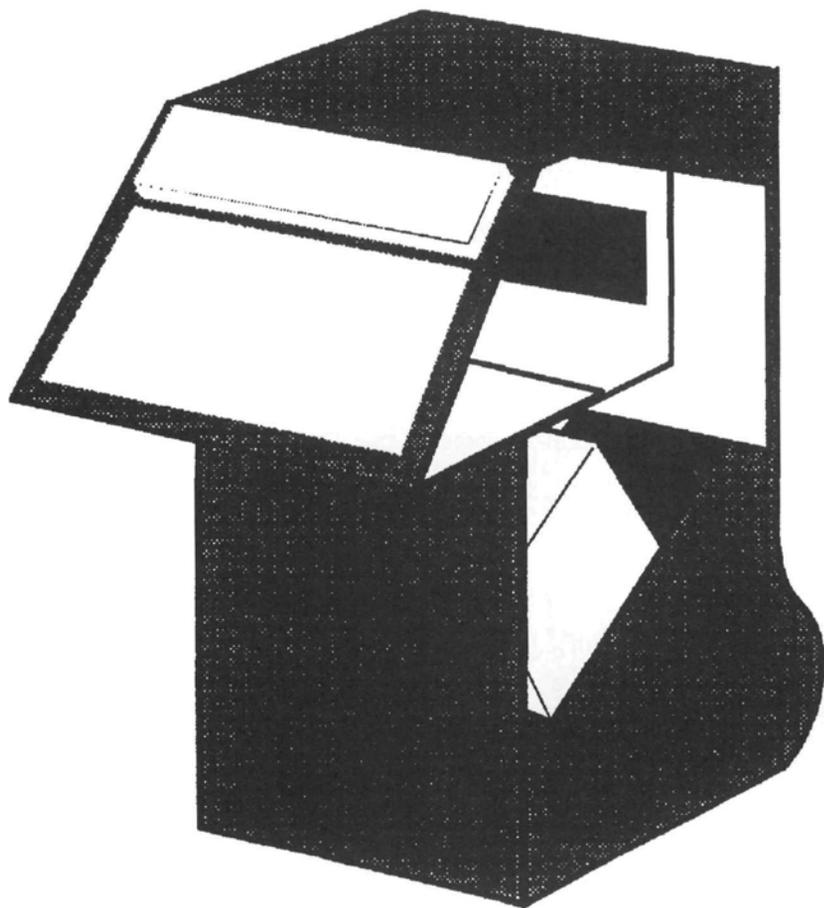


Figura 14. Mesa digitalizadora de películas

El proceso consta de los siguientes pasos:

- i. Se digitalizan los puntos del sistema de referencia en cada imagen (más de 6 puntos). Las coordenadas planas de los puntos se almacenan en un fichero.
- ii. Se digitalizan fotograma a fotograma (entre 30 y 40 por secuencia) los marcadores que componen el modelo (26) durante toda la secuencia. A continuación se hace lo mismo con la otra película. Evidentemente las imágenes deben estar sincronizadas. Las coordenadas planas de los puntos de las dos películas se almacenan en ficheros.
- iii. Con los anteriores ficheros y aplicando el algoritmo de la DLT, se calculan en las coordenadas 3D de cada marcador.

**2. Ajuste de coordenadas y cálculo de derivadas:** El segundo paso en el tratamiento de los datos es el filtrado de los errores acumulados en las coordenadas X, Y, Z debido principalmente al error de digitalización. Esta operación se llevo a cabo mediante el ajuste de las trayectorias con funciones spline de quinto orden (Woltring, 1986). La obtención del factor de suavizado se realizó mediante el método de Craven y Wahba (1979).

**3. Obtención de las variables:** A partir de las coordenadas suavizadas de la posición de los marcadores que componen el modelo, se definen las variables que serán objeto de discusión. Se han clasificado en dos grupos según el tipo de procedimiento empleado en la interpretación de los resultados.

*1. Variables mecánicas expresadas en función del tiempo.* Corresponden a los resultados presentados en forma de gráficas y que, por tanto, han sido evaluados de forma cualitativa. Son las siguientes:

- posiciones y velocidades de los marcadores
- ángulos de la rodilla izquierda, codo derecho y líneas de caderas y de hombros en el plano horizontal
- energías cinéticas de segmentos y de grupos de segmentos.

*2. Variables expresadas en función del lanzamiento.* Son conjuntos discretos de datos en los que cada elemento es el valor de la variable en los distintos lanzamientos de cada atleta. Dichas variables expresan los incrementos de energía de los segmentos en determinados intervalos de tiempo. Para cada caso se han calculado dos variables distintas: una correspondiente a la diferencia de energía entre el instante final y el inicial del intervalo y otra normalizada que expresa esa misma diferencia dividida por la energía en el instante inicial. Los tiempos característicos que definen los intervalos son:

- $t_1$ : llegada del pie izquierdo -comienzo de la fase de lanzamiento-.
- $t_2$ : máxima rotación externa del brazo derecho respecto a su eje longitudinal -posición de arco tenso y comienzo de la etapa de aceleración-.
- $t_3$ : máxima energía cinética del segmento brazo derecho.
- $t_4$ : máxima energía cinética del segmento formado por la unión del antebrazo y de la mano del miembro derecho.
- $t_5$ : despegue de la jabalina.

Para la obtención de las variables se desarrolló una aplicación informática que toma como datos iniciales las coordenadas suavizadas (X,Y,Z) de los marcadores y que consta de los siguientes módulos.

*módulo 1.* Calcula y representa gráficamente las componentes de los vectores unitarios de los sistemas de referencia locales -definidos en cada segmento- en función del tiempo.

*módulo 2.* Calcula y representa gráficamente las variables angulares y las componentes de la posición y de la velocidad de los marcadores en función del tiempo.

*módulo 3.* Calcula, representa gráficamente y almacena en ficheros la energía cinética de cada segmento.

*módulo 4.* Calcula y representa gráficamente la energía cinética de segmentos y de grupos de segmentos.

*módulo 5.* Calcula las variables en cada lanzamiento almacenándolas en ficheros ASCII. Como ya fue comentado anteriormente el formato de estos ficheros debe ser compatible con el paquete estadístico Statgraphics.

**4. Cálculo de los errores:** Los resultados estimados han sido los siguientes: en la posición (X, Y, Z) de 1 cm; en la velocidad, de 0.1 m/s y en el cálculo de la energía cinética de cada segmento, del 10%. Es este último caso dada la complejidad de las operaciones matemáticas asociadas al cálculo de la energía fue necesario realizar la estimación de los errores mediante la simulación de los mismos (método de Montecarlo).

**5. Tratamiento estadístico.** Una vez obtenidas las variables a través de las cuales se deseaba profundizar en el fenómeno estudiado, es decir, en la técnica del lanzamiento de jabalina, restaba la interpretación de los datos resultantes. Para realizar un análisis objetivo fue necesario recurrir a las técnicas estadísticas convencionales, que fueron elegidas en función del tipo de resultado buscado. En concreto, se deseaba cubrir dos objetivos:

1. Estudiar el comportamiento mecánico manifestado por cada lanzador, es decir, comprobar si se cumplía el modelo teórico de transmisión de energía entre segmentos. En definitiva, se quería obtener relaciones entre los crecimientos y decrecimientos de energía de los segmentos durante cada uno de los cuatro intervalos de tiempo característicos. Se consideró que para tal fin lo conveniente era realizar un estudio de correlaciones entre los incrementos normalizados de energía cinética de los segmentos dentro de cada intervalo.
2. Obtener un patrón teórico de la técnica de lanzamiento que permitiese valorar el rendimiento producido. En este caso se recurrió a técnicas de clasificación de patrones. Existen tres métodos fundamentales de clasificación: El análisis factorial discriminante, la clasificación no paramétrica y la clasificación paramétrica (Fukunagua, 1990). En este caso se utilizaron las dos primeras.

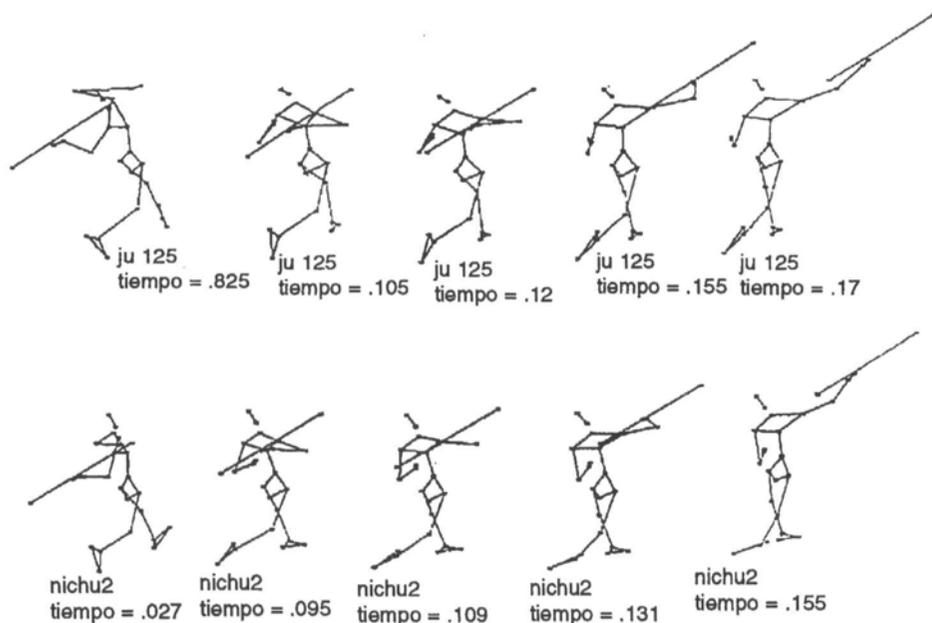
Para llevar a cabo el tratamiento estadístico se utilizó el programa informático Statgraphics V.4.2.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Antes de comenzar con la presentación y la discusión de los resultados conviene realizar las siguientes puntualizaciones:

1. De todos los lanzamientos filmados, se seleccionaron para su análisis 16 de Raimundo Fernández (58-68.9 m) y 20 de Julián Sotelo (59-66 m).
2. Todos los resultados (listados) están referidos a los cinco instantes definidos anteriormente .

En la figura 15 se presentan los diagramas de barras que esquematizan el cuerpo del deportista a lo largo del movimiento. Debido a que se conocen las coordenadas espaciales de los puntos del modelo, es posible visualizar el movimiento desde cualquier punto de vista. En todas las gráficas, los tiempos característicos se marcan mediante líneas verticales.



- $t_1$ : llegada del pie izquierdo -COMIENZO FASE DE LANZAMIENTO-.
- $t_2$ : máxima rotación externa del brazo derecho respecto a su eje longitudinal-  
POSICION DE ARCO TENSO-
- $t_5$ : instante de despegue de la jabalina.

Figura 15. Vista posterolateral de los atletas Julián Sotelo y Raimundo Fernández en los cinco instantes de tiempo característicos

3. El instante  $t_2$  es el correspondiente al momento en el que el atleta alcanza la posición de "arco tenso". Este tiempo marca el comienzo de la aceleración de la jabalina. Recuérdese que la posición de arco tenso coincide con el instante en el que el brazo derecho comienza la rotación interna respecto a su eje longitudinal; corresponde al tiempo en el que la componente de la velocidad angular del brazo respecto a su eje longitudinal se hace cero (Figura 16).

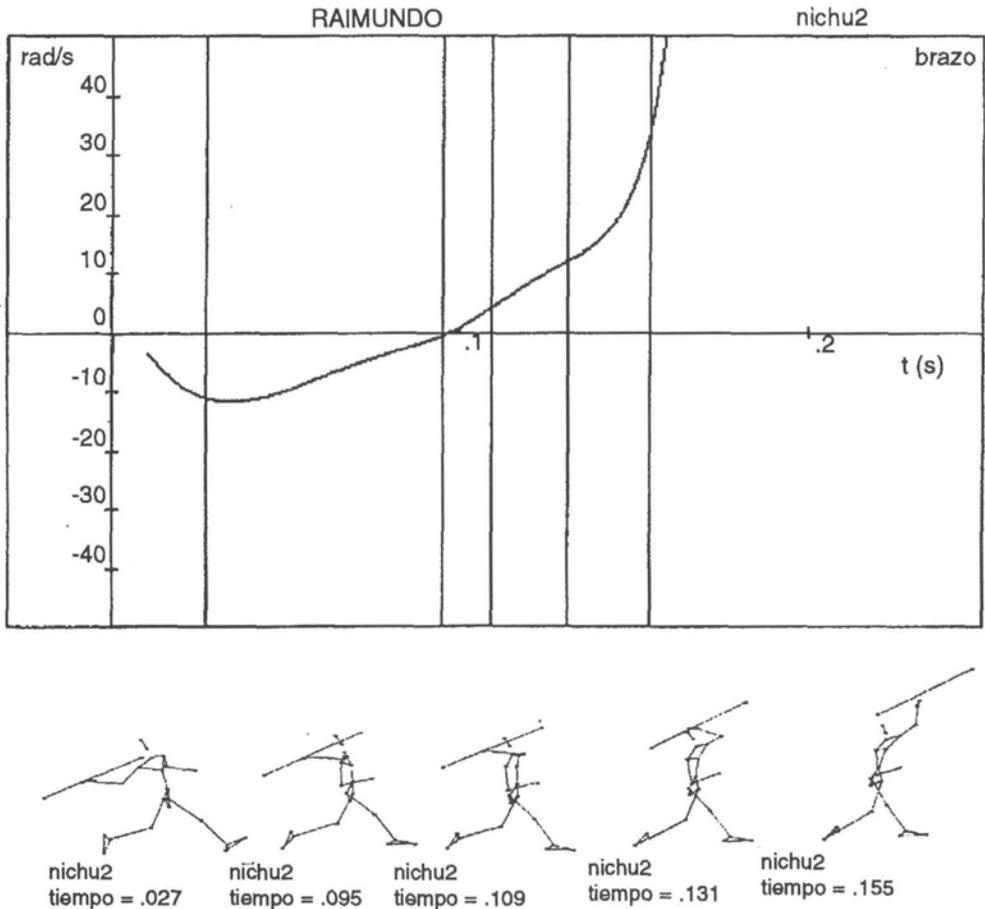


Figura 16. Velocidad angular del brazo derecho respecto a su eje longitudinal.

4. Las coordenadas de la posición y de la velocidad de los puntos se han expresado respecto a un sistema de referencia fijo que depende del movimiento del atleta. En concreto, el eje x coincide con la dirección del movimiento del centro de gravedad del sujeto en el plano horizontal; el eje z es la vertical y el eje y se obtiene según la regla de la mano derecha (Figura 17).

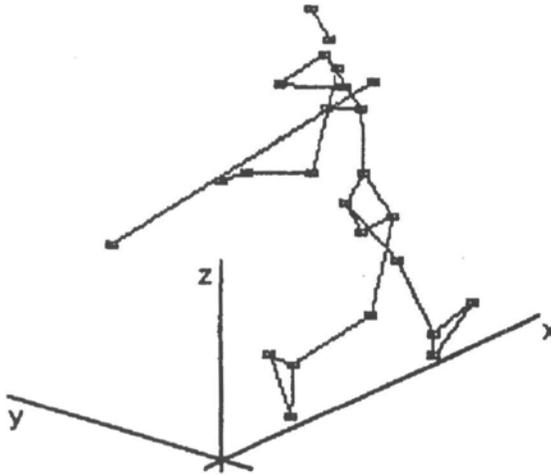


Figura 17. Sistema de referencia dependiente del movimiento del atleta.

**VARIABLES DEPENDIENTES DEL TIEMPO:** El estudio de la evolución temporal de las variables ha servido para analizar cualitativamente el movimiento. En las figuras 18, 19, 20, 21 y 22 se presentan algunas de estas variables. La variable más relevante es la que expresa la energía de los segmentos en función del tiempo. Por un lado se observa que la energía del miembro inferior (suma de las energías del muslo, la pierna y el pie de cada miembro) y la energía del tronco (suma de la energía del torax y el abdomen) decrecen sobre todo de  $t_1$  a  $t_3$  mientras la energía del brazo crece en ese mismo intervalo. De  $t_3$  a  $t_4$ , la energía del brazo decrece y la del antebrazo aumenta. Por último, la energía cinética del antebrazo disminuye de  $t_4$  a  $t_5$  y la de la jabalina aumenta (Figura 23).

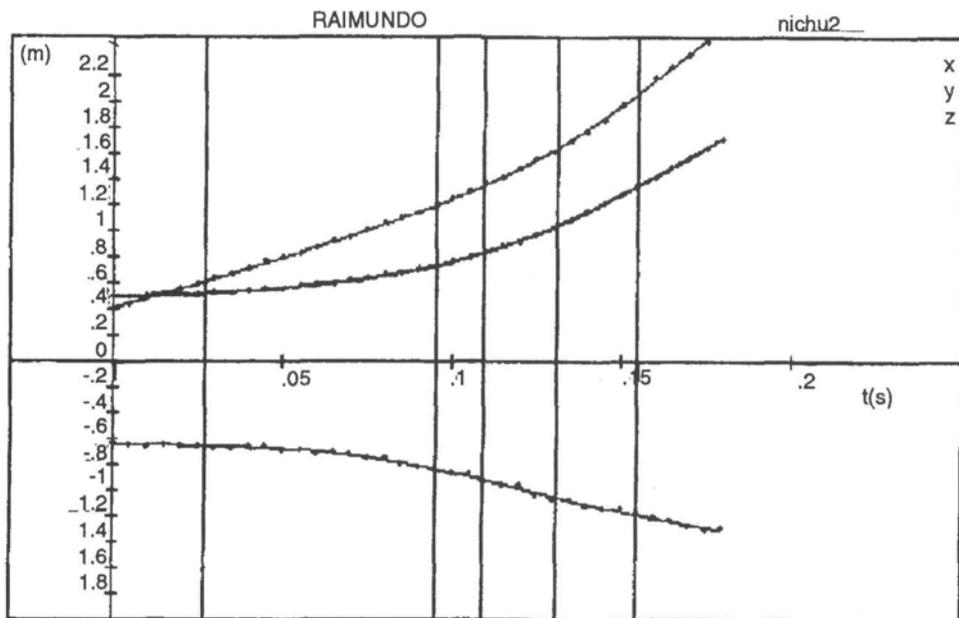


Figura 18. Coordenadas de la posición de la jabalina( marcador 25).

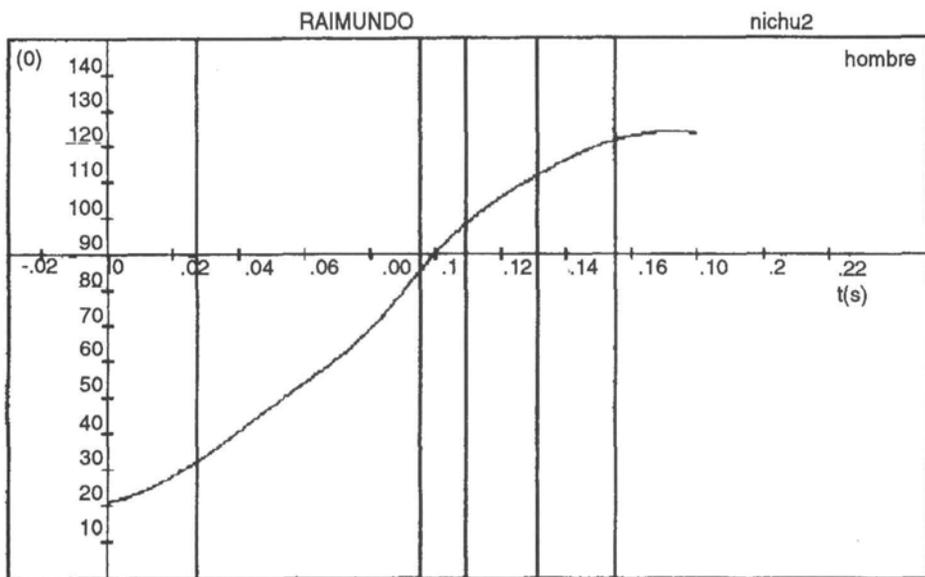


Figura 19. Ángulo de la línea de hombros con el eje x

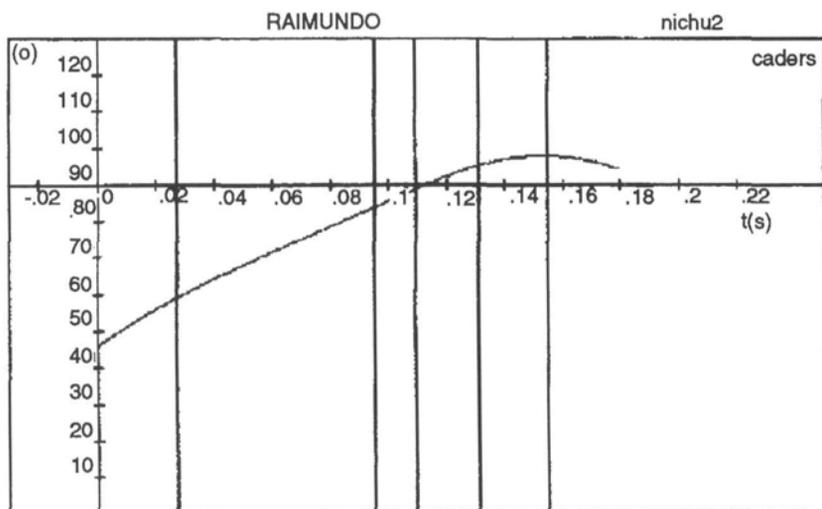


Figura 20. Angulo de la línea de caderas con el eje x

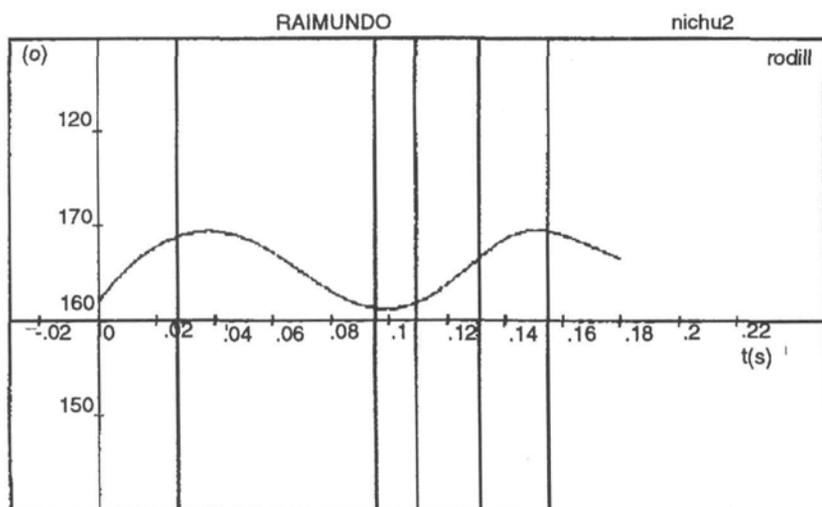


Figura 21. Angulo de la rodilla izquierda (adelantada) del atleta Raimundo Fernandez

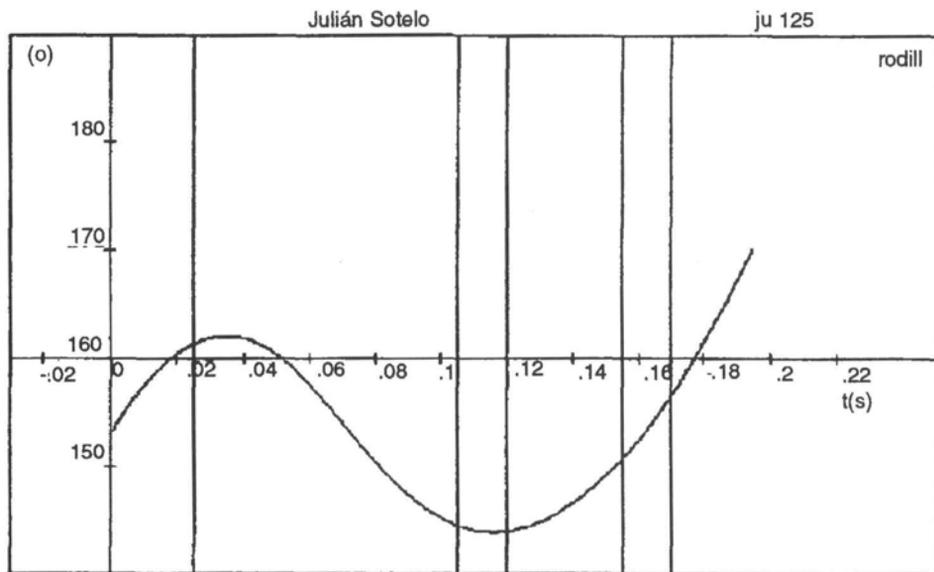


Figura 22. Angulo de la rodilla izquierda (adelantada) del atleta Julián Sotelo

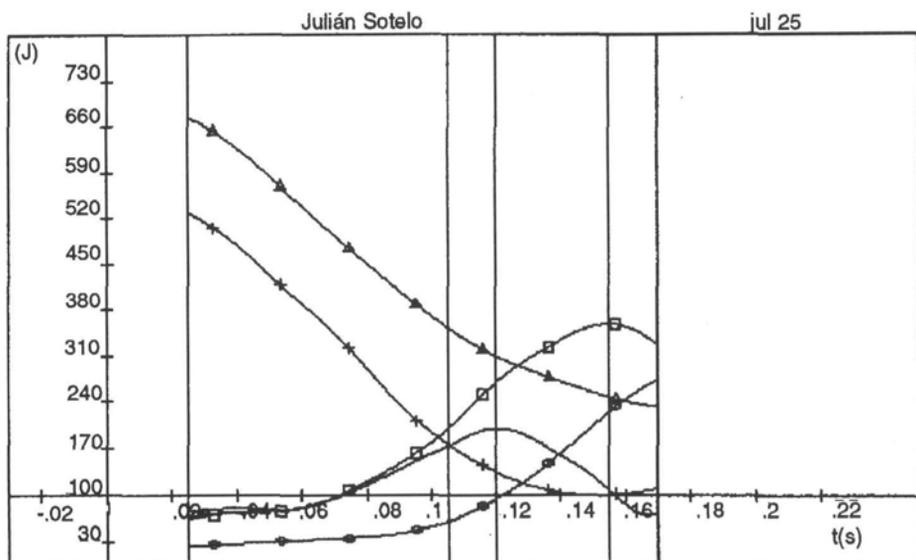


Figura 23. Energía cinética en función del tiempo del miembro inferior (x), tronco ( $\Delta$ ), brazo ( $\cdot$ ), antebrazo ( $\square$ ) y jabalina (o) de Julian Sotelo

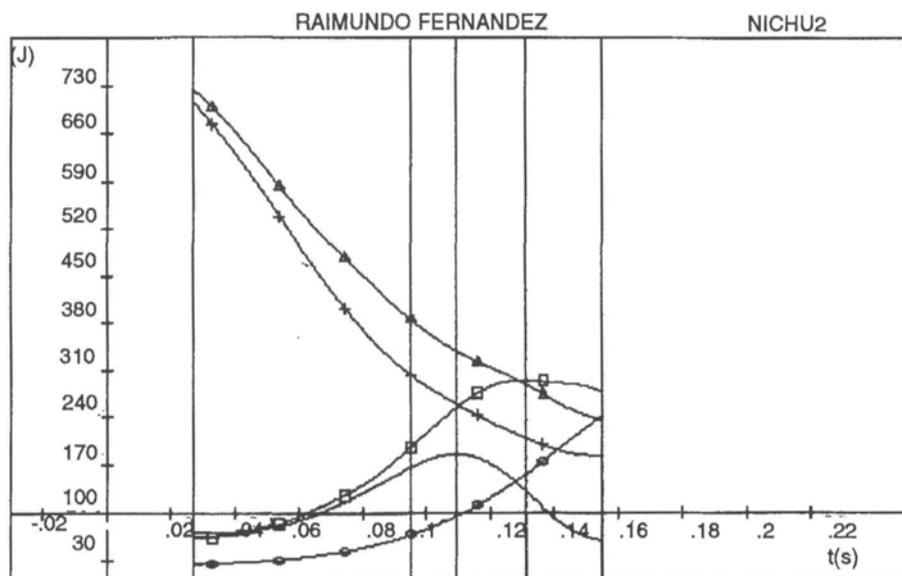


Figura 24. Energía cinética en función del tiempo del miembro inferior (+), tronco (Δ), brazo (-), antebrazo (□) y jabalina (o) de Raimundo Fernández

**Variables dependientes del lanzamiento.** A continuación se discutirán los resultados del estudio estadístico llevado a cabo con las variables que contienen la información de los incrementos de energía de los segmentos en cada uno de los lanzamientos analizados. El análisis se basa en un estudio de correlaciones lineales y en un análisis discriminante.

**Resultados correspondientes a Raimundo Fernández (RF):** Del estudio de correlaciones se concluye lo siguiente:

1. Durante la primera etapa  $[t_1, t_2]$ , el cuerpo se comporta como formado por dos bloques: el tren inferior (miembro inferior y tronco) y el tren superior (brazo, antebrazo y jabalina). **Dentro de cada bloque existen relaciones directas entre las energías de los segmentos lo que permite explicar un comportamiento conjunto**, y relaciones inversas entre ambos, es decir, cuanto más disminuye su energía el miembro inferior más aumenta la del brazo y antebrazo; esto podría interpretarse como un intercambio de energía. **Este comportamiento confirma el patrón técnico teórico** (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados correspondientes a Raimundo Fernández. Etapa previa [t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>].

miembro inferior y tronco:	0.68 (p<0.01)
brazo y jabalina:	0.79 (p<0.01)
miembro inferior y brazo:	-0.57 (p<0.05)
miembro inferior y antebrazo:	-0.57 (p<0.05)

2. Durante la etapa de aceleración, se observa un comportamiento acorde con el patrón teórico de transmisión consecutiva de energía (Tabla 6). En concreto, la disminución de la energía del miembro inferior de t<sub>2</sub> a t<sub>3</sub> está altamente relacionado con el aumento de energía del brazo. Igualmente, la disminución de energía del brazo de t<sub>3</sub> a t<sub>4</sub> y de t<sub>4</sub> a t<sub>5</sub> parece estar relacionada con un aumento de energía de la jabalina. De nuevo se confirma un comportamiento mecánico en el que la disminución de energía de un segmento está relacionada el aumento de la energía de los otros más distales.

Tabla 6. Resultados correspondientes a Raimundo Fernández. Fase de aceleración [t<sub>2</sub>, t<sub>5</sub>].

miembro inferior y brazo de t <sub>2</sub> a t <sub>3</sub> :	-0.89 (p<0.01)
brazo y jabalina t <sub>2</sub> a t <sub>3</sub>	0.96 (p<0.01)
brazo y jabalina t <sub>3</sub> a t <sub>4</sub> :	-0.69 (p<0.01)
brazo y jabalina t <sub>4</sub> a t <sub>5</sub> :	-0.73 (p<0.01)

El análisis discriminante realizado presenta un coeficiente de correlación canónico de 0.77 con un nivel de significación p < 0.05 (Tabla 7). Esto demuestra la existencia de una función discriminante significativa que permite diferenciar objetivamente entre los lanzamientos del grupo 1, catalogados como "mejores" (distancia de lanzamiento mayor que la mediana) y los del grupo 2, catalogados como "peores" (distancia de lanzamiento menor que la mediana). En concreto, cuando la función discriminante se hace más negativa significa que el lanzamiento es mejor y cuando se hace positiva el lanzamiento es peor.

**Tabla 7. Datos correspondientes al análisis discriminante realizado con los lanzamientos de Raimundo Fernández.**

Discriminant Analysis

Classification factor: VJL.grupod

Data vectors: VJL.mi12n+VJL.t12n  
 VJL.j12n+VJL.ab12n+VJL.b12n  
 VJL.b23n+(-VJL.mi23n)

Discriminant Function	Eigenvalue	Relative Percentage	Canonical Correlation	
1	1.4386583	100.00	.76807	
Functions Derived	Wilks Lambda	Chi-Square	DF	Sig.Level
0	.4100616	11.143100	3	.01098

La función discriminante, es la siguiente:

$$Fd = 0.15791 \cdot VAR1 + 0.00251 \cdot VAR2 - 0.05841 \cdot VAR3 + 16.6464$$

donde:

VAR 1 = Suma del incremento normalizado de energía cinética del miembro inferior y tronco en el intervalo  $[t_1, t_2]$ .

VAR 2 = Suma del incremento de la energía de los segmentos que forman el miembro superior derecho -incluida la jabalina- en el intervalo  $[t_1, t_2]$ .

VAR 3= Suma del incremento de energía cinética del brazo derecho y del valor absoluto del incremento de energía del miembro inferior en el intervalo  $[t_1, t_2]$ .

La función discriminante expresa un patrón de la técnica individual del atleta RF que nos indica que éste lanza mejor cuando:

1. La variable VAR1 es menor. Es decir el miembro inferior y tronco disminuyen mucho su energía de  $t_1$  a  $t_2$ .
2. La variable VAR2 es menor. El miembro superior de lanzamiento aumenta poco su energía de  $t_1$  a  $t_2$ .
3. La variable VAR3 es mayor. El miembro inferior disminuye mucho su energía y el brazo la aumenta mucho en el intervalo de  $t_2$  a  $t_3$ .

Las conclusiones más importantes que se desprenden del análisis discriminante son:

1. Existe un patrón teórico de la técnica individual que sirve para discriminar los lanzamientos analizados en este estudio.

2. La técnica empleada por RF se basa en dos aspectos:

2.1. Realiza bien la etapa previa  $[t_1, t_2]$  hasta llegar a la posición de arco tenso. Es decir, disminuyendo mucho la energía del miembro inferior y aumentando poco la del miembro superior de lanzamiento.

2.2. Realiza la etapa de aceleración  $[t_2, t_5]$ , apoyándose principalmente en el intercambio de energía desde el miembro inferior al brazo.

Resultados correspondientes a Julián Sotelo (JS):. Del estudio de correlaciones se concluye los siguiente:

1. En la primera etapa se confirma la existencia de un comportamiento basado en la separación del cuerpo en dos grandes bloques: el tren inferior (miembro inferior y tronco) y el tren superior (brazo, antebrazo y jabalina). En efecto, se obtienen relaciones lineales positivas entre los segmentos de cada bloque y relaciones inversas o negativas entre los dos bloques. Esto confirma, como en el caso del atleta anterior, el patrón de transmisión de energía entre segmentos (Tabla 8).

**Tabla 8. Resultados correspondientes a Julián Sotelo. Etapa previa  $[t_1, t_2]$ .**

miembro inferior y tronco:	0.54 ( $p < 0.05$ )
brazo y jabalina:	0.67 ( $p < 0.01$ )
miembro inferior y brazo:	-0.60 ( $p < 0.05$ )
miembro inferior y antebrazo:	-0.56 ( $p < 0.05$ )

2. En la etapa de aceleración se manifiesta un proceso secuencial de transmisión de energía de proximal a distal en todos los intervalos excepto de  $t_2$  a  $t_3$ . Parece claro que esta ruptura se produce por la excesiva flexión de la rodilla de  $t_1$  a  $t_3$  que impide que el miembro inferior y tronco disminuyan su energía (Tabla 9).

**Tabla 9. Resultados correspondientes a Jullían Sotelo. Fase de aceleracion [t<sub>2</sub>, t<sub>5</sub>].**

miembro inferior y brazo de t <sub>2</sub> a t <sub>3</sub> : brazo y jabalina t <sub>2</sub> a t <sub>3</sub> :	- 0.84 (p<0.01)
brazo y jabalina t <sub>3</sub> a t <sub>4</sub> :	-0.87 (p<0.01)
tronco y jabalina t <sub>4</sub> a t <sub>5</sub> :	-0.49 (p<0.05)

Al igual que en el caso del anterior atleta, se obtuvo una función discriminante significativa (Tabla 10) que permite diferenciar entre los lanzamientos mejores (función discriminante positiva) y peores (función discriminante negativa).

**Tabla 10. Datos correspondientes al análisis discriminante realizado con los lanzamientos de Julián Sotelo.**

Discriminant Analysis

Classification factor: VJL.grupod

Data vectors: VJL.mi25n  
VJL.ab34n  
VJL.j45n

Discriminant Function	Eigenvalue	Relative Percentage	Canonical Correlation		
1	.9507838	100.00	.69813		
Functions Derived	Wilks Lambda	Chi-Square	DF	Sig.Level	
0	.5126145	11.025815	3	.01159	

La función discriminante es la siguiente:

$$Fd = 0.05962 \cdot VAR1 + 0.04687 \cdot VAR2 + 0.04843 \cdot VAR3 - 0.81004$$

donde:

VAR1 = VJl.mi25n: Incremento normalizado de energía cinética del miembro inferior durante la fase de aceleración  $-[t_2, t_5]$ .

VAR2 = VJl.ab34n: Incremento de la energía del antebrazo derecho en el intervalo  $[t_3, t_4]$ .

VAR3 = VJl.j45n: Incremento de la energía cinética de la jabalina en el intervalo  $[t_4, t_5]$ .

En concreto el patrón expresado por dicha función discriminante nos indica que la técnica individual en la que se apoya el atleta JS se basa en las siguientes consideraciones:

1. La variable VAR1 es mayor (menos negativa). El miembro inferior disminuye poco su energía durante la etapa de aceleración  $[t_2, t_5]$ .
2. La variable VAR2 es mayor (más positiva). El antebrazo aumenta mucho su energía de  $t_3$  a  $t_4$ .
3. La variable VAR3 es mayor (más positiva). La jabalina aumenta mucho su energía de  $t_4$  a  $t_5$ .

Las conclusiones más importantes que se desprenden del análisis discriminante son:

1. Existe un patrón teórico de la técnica individual del atleta JS.
2. La etapa previa o de armado no es realizado adecuadamente, lo que podría ser debido a la existencia de una excesiva flexión de la rodilla durante este intervalo de tiempo.
3. Durante la fase de aceleración el patrón presentado no se basa en una transmisión de energía entre segmentos, sino más bien parece que este atleta intenta actuar directamente sobre la jabalina mediante una acción muscular del miembro inferior, tronco y jabalina.

**Comparación de los patrones: El patrón individual obtenido para cada uno de los dos atletas analizados es distinto.** En el caso del atleta Raimundo Fernández el patrón parece estar de acuerdo con el patrón de transmisión de energía mientras que en Julián Sotelo el patrón obtenido se aparta completamente de lo esperado. Si se pretendiese emplear estos patrones teóricos para aplicarlos al entrenamiento de la técnica habría que decidir primero entre mejorar la técnica del atleta en base a su propio modelo individual -es el caso de Raimundo Fernández- o cambiar el patrón técnico por considerar que se aparta excesivamente de lo esperado -es el caso de Julián Sotelo-. En el segundo caso sería necesario obtener previamente un patrón teórico universal con el que comparar la técnica del lanzador.

#### **4. CONCLUSIONES**

4.1. En relación a la metodología empleada, se concluye:

**4.1.1. Se ha desarrollado de un modelo para el cálculo de la energía cinética del cuerpo humano en tres dimensiones.**

**4.1.2. Se ha utilizado, por primera vez en el estudio del lanzamiento de jabalina, un modelo del miembro superior que permite calcular la velocidad angular del segmento brazo respecto a su eje longitudinal. A través de este modelo se define la posición de arco tenso como el instante de comienzo de la rotación interna del brazo y se calcula en cada lanzamiento el instante en el el atleta alcanza dicha posición. Esto ha permitido enfocar el estudio dividiendo la fase de lanzamiento en dos etapas.**

**4.1.3. Se han empleado, por primera vez en el análisis de la técnica del lanzamiento de jabalina, técnicas de clasificación de patrones como el análisis discriminante y las funciones de clasificación no paramétrica. Esto ha permitido expresar la técnica individual a través de un modelo matemático que permite cuantificar objetivamente el rendimiento de los lanzamientos analizados.**

4.2. Respecto a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

**4.2.1. Los atletas estudiados presentan un comportamiento mecánico que confirma el patrón de secuencia de transmisión de energía entre segmentos.**

**4.2.2. Se confirma la existencia de un patrón teórico individual de la técnica de cada atleta analizado.** El patrón expresa el proceso en el que se apoya el atleta para modificar su rendimiento.

**4.2.3. El modelo individual obtenido para cada uno de los dos atletas analizados es distinto.**

## 5. BIBLIOGRAFIA

Abdel-Aziz, Y.I. y Karara, H.M. (1971) Direct linear transformation from comparator coordinates into objectspace coordinates in close range photogrammetry. En *ASP Symposium on close range photogrammetry*, (Editado por American society of photogrammetry.), ASP, Falls Church, 1 -18.

Ariel, G.B., Pettito, R.C., Penny, M.A. y Terauds, J. (1980) Biomechanical analysis of the javelin throw. *Track Field Q. Rev.* **80(1)**, 9-17.

Attig, R. (1979) Velocity conversion in the javelin. *Scholastic Coach.* **48(9)**, 8082.

Attig, R. (1981) Converting approach velocity into throwing velocity-javelin. *Track Field Q Rev.* **81(1)**, 34-35.

Atwater, A.E. (1979) Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **7**, 43-85.

Bartlett, R. y Morris, C. (1991) *Biomechanical analysis of the javelin throw*. British Athletics Federation, Crewe.

Bartlett, R.M. (1983) A cinematographical analysis of an international javelin thrower. *Athl Coach.* **17(3)**, 10-19.

Bartlett, R.M. (1983) Microcomputer applications in the biomechanical component of a sports counselling service. *J Sports Sci.* **1**, 135-136.

Bartlett, R.M. (1989) The aerodynamics of javelin flight a re-evaluation. En *Biomechanics in sports V: Proceedings*, (Editado por Tsarouchas, L. et al.), Hellenic Sports Research Inst., Athens, 71-87.

Bartlett, R.M. y Best, R.J. (1988) The biomechanics of javelin throwing: a review. *J Sports Sci* **6(1)**, 1-38.

Best, R.J. y Bartlett, R.M. (1987) Computer flight simulation of the men's new rules javelin. En *Biomechanics XI-B*, (Editado por Groot, G, Hollander, A.P., Huijing, P.A. e Ingen Shenau, G.J. Van.), Free University Press, Amsterdam, 588-594.

Best, R.J. y Bartlett, R.M. (1988) A critical appraisal of javelin high speed cinematography results using a computer flight simulation program. *Ergonomics.* **31 (4)**, 1683-1692.

Best, R.J. y Bartlett, R.M. (1988) Aerodynamic characteristics of new rules javelins. En *Biomechanics in sport*, (Editado por Engineering in Medicine Group of the Institute of Mechanical Engineers.), Mechanical Engineering Publ., London, 33-40.

Best, R.J. y Bartlett, R.M. (1989) Ladies' javelin: aerodynamics, flight simulation and biomechanical considerations. En *Biomechanics in Sport V*, (Editado por Tsarouchas, L., Terauds, J., Gowitzke, B.A. Holt, L.E.), Hellenic Sports Research Institute, Athens, 88-103.

- Best, R.J., Bartlett, R.M. y Morris, C.J. (1993) A three-dimensional analysis of javelin throwing technique at the 1991 world student games. *J. Sports Sci.* **11(4)**, 315-328.
- Best, R.J., Bartlett, R.M. y Sawyer, R.A. (1991) Javelin release applied optimal control. En *Proceedings of the XIII th International Congress of Biomechanics*, (Editado por Marshall, R.N., Wood, G.A., Ellior, B.C. Ackland, T.R. y McNair, P.J.), University of Western Australia, Perth, 410-412.
- Clauser, C.E., McConville, J.T. y Young, J.W. (1969) *Weight, volume, and center of mass of segments of the human body*. NTIS, Springfield.
- Craven, P. y Wahba, G. (1979) Smoothing noisy data with spline functions. *Num. Math.* **31**, 377-403.
- Challis, J.H. y Kerwin, D.G. (1992) Accuracy assesment and control point configuration when using the DLT for photogrammetry. *J. Biomech.* **25(9)**, 1053-1058.
- Chandler, R.F., Clauser, C.E. y McConville, H.M. (1975) *Investigation of inertial properties of the human body*. NTIS, Springfield.
- Deporte, E. y Van Gheluwe, B. (1987) Ground reaction forces and moments in javelin throwing. En *Biomechanics XI-B*, (Editado por Groot, G., Hollander, A.P., Huijing, P.A. e Ingen Schenau, G.J. Van.), Free University Press, Amsterdam, 575-581.
- Deroanne, R., Delhez, L., Loveruis, J.P. y Calotte, M. (1979) Analyse biomechanique du lancer de javelot. *Sport.* **22(1)**, 5-7.
- Didier, P. (1980) Le double appui au lancer du javelot. *Amicale Entraîneurs Français Athl.* **66(1)**, 19-23.
- Dimitrusenko, O. y Papanov, V. (1992) Steve Backley and Viktor Zaitsev throw the javelin. *Modern Athlete Coach.* **30(4)**, 12- 15.
- Donskoi, D. y Zatsiorski, V. (1988) *Biomecánica de los ejercicios físicos: Manual*. Pueblo y educación, La Habana.
- Flatten, K. (1980) Biomechanics of the javelin throw. *Track Technique.* **78**, 2483-2486.
- Fleuridas, C., Fourreau, W., Hermant, D. y Monneret, R.J. (1986) *Tratado de atletismo. Lanzamientos: Jabalina, peso, disco, martillo*. Hispano Europea, Barcelona .
- Forwood, M.R., Neal, R.J. y Wilson, B.D. (1985) Scaling segmental moments of inertia for individual subjects. *J. Biomech.* **18(10)**, 755-761.
- Fukunaga, K. (1990) *Introduction to statistical patterns recognition*. Academic Press, San Diego.

- Ganslen, R.V. (1979) Tips for the throwing events. *Athl. J.* **59(5)**, 54-69.
- Ganslen, R.V. (1982) A critique of javelin behaviour and design influencing international design specifications. *Track Field J.* **14**, 13-14.
- Giles, K. (1979) Rotation in javelin throwing. *Athl. Coach.* **13(3)**, 2-3.
- Goldstein, H. (1988) *Mecánica Clásica*. Reverté, Barcelona.
- Goriot, G. (1984) *Les fondamentaux de l'athlétisme*. Vigot, Paris.
- Gregor, R.J. y Pink, M. (1985) Biomechanical analysis of a world record javelin throw: a case study. *Int. J. Sport Biomech.* **1(1)**, 73-77.
- Hay, G.J. y Reid, J.G. (1988) *Anatomy, mechanics and human motion*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Hay, J.G. (1980) *Biomécanique des techniques sportives*. Vigot, Paris.
- Held, D. (1980) Proposed rule change on flat javelin landings. *Track Technique.* **78**, 2478-2479.
- Hill, A.V. (1922) The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *J. Physiol.* **56**, 19-41.
- Hinrichs, R.N. (1990) Adjustments to the segment center of mass proportions of Clauser et al (1969). *J. Biomech.* **23(9)**, 949-951.
- Hochmuth, G. (1973) *Biomecánica de los movimientos deportivos*. Doncel, Madrid .
- Hubbard, M. (1984) Optimal javelin trajectories. *J. Biomech.* **17(10)**, 777-787.
- Hubbard, M. (1984) Javelin trajectory simulation and its use in coaching. En *Sports biomechanics: proceedings of ISBS*, (Editado por Terauds, J. et al.), Research Center for Sports, Del Mar, 41-51.
- Hubbard, M. (1989) The throwing events in track and field. En *Biomechanics of sport*, (Editado por Vaughan, C.L.), CRC Press, Boca Raton, 213-238.
- Hubbard, M. y Alaways, L.W. (1987) Optimum release conditions for the new rules javelin. *Int. J. Sport Biomech.* **3(3)**, 207-221.
- Hubbard, M. y Alaways, L.W. (1987) Implementation of a javelin trajectory instrumentation system. En *XI international congress of biomechanics*, (Editado por Groot, G., Hollander, A.P., Huijing, P.A. e Ingen Schenau, G.J. Van.), Free University Press, Amsterdam, 972-977.
- Hubbard, M. y Alaways, L.W. (1989) Rapid and accurate estimation of release conditions in the javelin throw. *J. Biomech.* **22(6)**, 583-596.

Hubbard, M. y Hull, M.L. (1985) Javelin throw optimization using computer simulation and trajectory instrumentation. *J. Biomech.* **18(3)**, 225-243.

Hubbard, M. y Rust, H.J. (1984) Simulation of javelin flight using experimental aerodynamic data. *J. Biomech.* **17(10)**, 769-776.

Hubbard, M. y Rust, H.J. (1984) Javelin dynamics with measured lift, drag, and pitching moment. *J. Appl. Mech.* **51**, 406-408.

Ikegami, Y., Miura, M., Matsui, H. y Hashimoto, I. (1981) Biomechanical analysis of the javelin throw. En *Biomechanics VII-B*, (Editado por Morecki, A. y Fidelus, K.), University Park Press, Baltimore, 271-276.

Johnson, C. (1988) Mechanical and biomechanical principles - javelin. *Athl. Coach.* **22(2)**, 11 - 12.

Keller, J.B. (1975) Mechanical aspects of athletics: javelin throwing, weightlifting, rowing. En *Optimal strategies in sports*, (Editado por Ladany, S.P. y Machol, R.E.), s.n., Amsterdam, 186-187.

Koltai, J. (1984) Les problemes et le technique du lancer du javelot ou tout l'art de lacher le javelot au bon moment. *Amicale Entraîneurs Francais Athl.* **(87)**, 4952.

Koltai, J. (1984) Problems and techniques in the javelin throw. *Track Field Q. Rev.* **84(1)**, 32-35.

Koltai, J. (1985) Javelin. En *Athletes in action: the official IAAF book on track and field techniques*, (Editado por Payne, H.), s.n., London, 263-293.

Komi, P.V. y Mero, A. (1985) Biomechanical analysis of olympic javelin throwers. *Int. J. Sport Biomech.* **1(2)**, 139-150.

Kreighbaum, E. y Barthels, K.M. (1985) *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement*. Burgess Publishing, Minneapolis.

Kunz, H. (1973) Effects of ball mass and movement pattern on release velocity in throwing. En *Biomechanics IV*, (Editado por Nelson, R.C. y Morehouse, C.A.), University Park Press, Baltimore, 163-168.

Kunz, H. y Kaufmann, D.A. (1980) Essentials of the javelin throw: a biomechanical analysis. *Track Field Q. Rev.* **80(1)**, 18-20.

Kunz, H. y Kaufmann, D.A. (1983) Cinematographical analysis of javelin throwing techniques of decathletes. *Br. J. Sports Med.* **17(3)**, 200-204.

Lanshamar, H. (1982) On precision limits for derivatives numerically calculated from noisy data. *J. Biomech.* **15(6)**, 459-470.

- Lindner, E. (1969) Phenomenon of the freedom of lateral deviation in throwing. En *Biomechanics II*, (Editado por Vredenburg, J. y Wartenweiler, J.), University Park Press, Baltimore, 240-245.
- Matveyev, E. (1980) Technique analysis of Miklos Nemeth in the javelin throw. *Sov. Sports Rev.* **15(3)**, 146-147.
- Maximov, R. (1976) Two common javelin technique faults. *Track Technique.* **66**, 2101.
- Menzel, H.J. (1987) Transmission of partial momenta in javelin throw. En *Biomechanics X-B*, (Editado por Jonsson, B.), Human Kinetics Publishers, Champaign, 643-647.
- Mero, A., Komi, P.V., Korjus, T., Gregor, R.J. y Navarro, E. (1993) Body segment contribution to javelin throwing during final thrust phases. (En prensa).
- Miller, D.I. (1980) Body segment contributions to sport skills performance: two contrasting approaches. *Res. Q. Exerc. Sport.* **51(1)**, 219-233.
- Miller, D.I. y Munro, L.F. (1983) Javelin position and velocity patterns during final foot plant preceding release. *J. Human Mov Studies.* **9(1)**, 1-20.
- Mortensen, J.P. y Cooper, J.M. (1984) *Técnicas del atletismo: Para entrenadores y atletas.* Hispano Europea, Barcelona.
- Myers, B. (1983) Review of the technical biomechanics literature in the javelin. *Track Field Q Rev* **83(1)**, 47-51.
- Paish, W.C. (1979) Fundamentals of technique -throws. *Track Field Q. Rev.* **79(4)**, 3-5.
- Peukert, R. (1987) Aspetti metodologici dell'allenamento e biomeccanici dello sviluppo della tecnica sportiva del lancio del giavellotto in considerazione della nuova normativa IAAF. *Athleticastudi.* **18(2-3)**, 69-75.
- Peukert, R. (1987) Training and biomechanical factors in the development of the javelin throw technique (in accordance with the new regulation of the IAAF). *Track Field Q. Rev.* **87(1)**, 37-44.
- Red, W.E. y Zogaib, A.J. (1977) Javelin dynamics including body interaction. *J. Appl. Mech.* **44**, 496-498.
- Rich, R.G., Gregor, R.J., Whiting, W.C., McCoy, R.W. y Ward, P. (1986) Kinematic analysis of elite javelin throwers. *Track Field Q, Rev.* **86(1)**, 35-38.
- Roy, J. y Thieurmél, M. (1983) Javelin. *Track Field Q, Rev.* **83(1)**, 41-46.
- Ryu, R.K.N., McCormick, J., Jobe, F.W., Moynes, D.R. y Salchenko, I. y Smirnov, M. (1982) Muscle activity in the javelin throw. *Sov. Sports Rev.* **17**, 110-113.

- Simonyi, G. (1978) Tailing the javelin. *Track Technique*. **72**, 2281-2282.
- Soong, T.C. (1975) The dynamics of the javelin throw. *J. Appl, Mech*. **42**, 257262.
- Soong, T.C. (1982) Biomechanical (analyses and applications) of shot put and discus and javelin throws. En *Human body dynamics: impact, occupational and athletic aspects*, (Editado por Ghista, D.N.), Clarendon Press, Oxford, 462-497.
- Sprecher, P. (1975) De la position désaxée du javelot. *Amicale Entraîneurs Français Athl*. **48(3)**, 31-33.
- Tanner, G. (1982) An electromiographic investigation of specific training activities for javelin throwing, with a view to establishing their place in the coaching and training of throwers. *Track Field Q. Rev*. **82**, 27-34.
- Terauds, J. (1974) Optimal angle of release for the competition javelin as determined by its aerodynamic and ballistic characteristics. En *Biomechanics IV*, (Editado por Nelson, R.C. y Morehouse, C.A.), University Park Press, Baltimore, 180- 183.
- Terauds, J. (1975) Javelin release characteristics of expert throwers. *Bull, Phys, Ed*. **11 (3)**, 21 -22.
- Terauds, J. (1975) Javelin release characteristics. *Track Technique*. **61**, 1945.
- Terauds, J. (1978) Computerized biomechanical analysis of selected javeling throwers at the 1976 Montreal Olympiad. *Track Field Q. Rev*. **78(1)**, 29-31.
- Terauds, J. (1978) Javelin release characteristics of USA and URSS throwers 1974. *Track Field Q. Rev*. **78(1)**, 42.
- Terauds, J. (1983) Biomechanics of Tom Petranoff's javelin throw. *Track Field J*. **23**, 28-29.
- Terauds, J. (1985) *Biomechanics of the javelin throw*. Academic Publishers, Del Mar.
- Tsarouchas, E. y Giavroglou, A. (1986) The javelin throw. En *IAAF Biomechanical Research Athens 86*, (Editado por Susanka, P., Bruggemann, P. y Tsarouchas, E.), PEP, Athens, k1-k21.
- Unger, J. (1977) Throwing in the wind. *Modern Athlete Coach*. **15(4)**, 31 -32.
- Vaughn, R.E. (1983) An algorithm for determining arm action during overarm baseball pitches. En *Biomechanics IX-B*, (Editado por Winter, D.A., Norman, R.W., Wells, R.P., Hayes, K.C. y Patla, A.), Human Kinetics Publishers, Champaign, 510-515.
- Vigars, R. (1979) Analysis of critical factors in the throws. *Track Technique*. **77**, 2447-2449.
- Viitasalo, J.T. y Korjus, T. (1987) On-line measurement of kinematic characteristics for javelin. En *Biomechanics XI-B*, (Editado por Groot, G., Hollander, A.P., Huijing, P.A. a Ingen

Shenau, G.J. Van.), Free University Press, Amsterdam, 39-41.

Webb, B. (1979) Throws film analysis. *Track Field Q. Rev.* **79(4)**, 6-8.

Webb, B. (1985) Basic principles related to the throws. *Track Field Q. Rev.* **85(1)**, 5-6.

Whitbread, M. (1982) Biomechanics of javelin throwing. *Athl. Coach.* **16(4)**, 812.

Whiting, W.C., Gregor, R.J. y Halushka, M. (1991) Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. *Int. J. Sport Biomech.* **7(2)**, 111-124.

Whiting, W.C., Puffer, J.C., Finerman, G.A., Gregor, R.J. y Maletis, G.B. (1985) Three-dimensional cinematographic analysis of waterpolo throwing in elite performers. *Am. J. Sports Med.* **13(2)**, 95-98.

Witchey, R.L. (1973) Factors influencing javelin performance. *Track Technique.* **52**, 1666-1667.

Woltring, H.J. (1985) On optimal smoothing and derivate estimation from noisy displacement data in biomechanics. *Human Mov. Sci.* **4**, 229-245.

Woltring, H.J. (1986) A Fortran package for generalized, cross validatory spline smoothing and differentiation. *Adv. Eng. Software.* **6(2)**, 104-113.

Wood, G.A. y Marshall, R.N. (1986) The accuracy of DLT extrapolation in threedimensional film analysis. *J. Biomech.* **19(9)**, 781-785.

Wood, G.D. (1982) Data smoothing and differentiation procedures in biomechanics. *Exerc Sport Sci Rev.* **10**, 308-362.

Zatsiorsky, V. y Seluyanov, V. (1985) Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means predictive equation. En *Biomechanics IX-B*, (Editado por Winter, D.A., Norman, R.W., Wells, R.P., Hayes, K.C. y Patla, A.), Human Kinetics Publisher, Champaign, 233-239.

Zatsiorsky, V.M. y Seluyanov, V.N. (1983) The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body. En *Biomechanics VIII-B*, (Editado por Matsui, H. y Kobayashi, K.), Human Kinetics Publisher, Champaign, 1152-1159.

Zatsiorsky, V.M., Aruin, A.S. y Seluyanov, V.N. (1984) *Biomechanik des menschlichen bewegungs apparatuses*. Sportverlag, Berlin.

Zhi-Heng, N.Z., Yong-Dong, L. y Zai-Ping Z.Z. (1991) Biomechanical analysis of the javelin throw. En *XIIIth International Congress on Biomechanics. Book of abstracts*, (Editado por Marshall, R.N., Wood, G.A., Elliot, B.C., Ackland, T.R. y McNair, P.J.), The University of Western Australia, Perth, 160-161. →



## NORMAS DE PRESENTACIÓN PARA LA ADMISIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN<sup>1</sup>

1. Los trabajos breves o sumarios de investigación que se presenten para su eventual publicación por el Consejo Superior de Deportes (C.S.D.) deberán tener una extensión de 30 a 40 páginas (DIN-A-4, espaciado interlineal 1'5). Se recomienda seguir el esquema general de trabajos de investigación:
  - a) Introducción que exponga los fundamentos del trabajo y especifique claramente sus objetivos.
  - b) Descripción de las fuentes, métodos, materiales y equipos empleados en su realización.
  - c) Exposición de los resultados y discusión de los mismos.
  - d) Conclusiones finales.

Deberá figurar con toda claridad:

- **Título completo del trabajo en castellano y su versión inglesa;** y si se desea, también en francés.
- **Iniciales del nombre y apellidos de los autores.**
- **Resúmenes** del contenido, **en castellano y en inglés,** y si se desea, también en francés, de un mínimo de 100 y un máximo de 250 palabras, acompañados de las **palabras clave** que definan el contenido del trabajo (6 a 10, preferentemente extraídos del texto del trabajo).
- **Notas al pie de página o final del texto:** Se acompañarán en anexo al final del texto, debidamente numeradas, indicándose en el texto el lugar al que hace referencia cada nota.
- **Referencias bibliográficas** de obras citadas en el texto.
- **Ilustraciones :** Según el tipo de ilustraciones que acompañen el trabajo (tablas, gráficas, fotografías, etc.), deben entregarse en la forma y en el soporte más apropiado para garantizar una óptima reproducción, así como en forma de copia o fotocopia impresa, en anexo al texto, debidamente numerados y acompañados del título o leyenda correspondiente. En el texto se indicará el lugar en el que, en principio, debería insertarse cada ilustración.

2. Indicación de ayudas percibidas por el C.S.D.: se indicarán el tipo y los años de ayuda percibida.
3. **Datos de los autores.** Los textos que se presenten para su publicación deben ir firmados por sus autores y acompañados de los datos completos de la institución o centro, dirección completa y teléfono de contacto de los mismos. Deberán enviar sus trabajos a la sede del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte (CARICD), acompañados de una fotografía del autor y un breve curriculum relacionado con la obra (máximo 10 líneas).
4. **Soportes de presentación.** El trabajo deberá entregarse en papel DIN-A-4, por duplicado, con espacio interlineal de 1,5, en lengua castellana, y en disquete, grabado en un fichero con procesador de textos para MS-DOS: Word para Windows (versión NO superior a 8.0), Wordperfect (versión NO superior a 6.1), o ASCII, **sin códigos de formato del procesador de texto.**

---

<sup>1</sup> Extracto de la «Normativa General para la presentación de Trabajos» del Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte (CNICD).

5. Los perceptores de ayudas del C.S.D. que presenten sumarios de investigación de acuerdo con los requisitos y condiciones establecidos para su publicación por el Consejo Superior de Deportes (a través del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte) cederán **por escrito** todos los derechos de autor y de reproducción del trabajo en cualquier tipo de soporte (incluidas microformas o bases de datos informatizadas) al C.S.D. y harán constar la aceptación de las presentes normas, haciendo uso del modelo establecido para el efecto.
6. Asimismo los autores asumirán expresamente el compromiso de realizar las modificaciones y correcciones necesarias en el caso de aprobarse la publicación, lo que se comunicará por escrito a los mismos.
7. El C.S.D. se reserva el derecho de publicación de los sumarios presentados, así como de su resumen, en el medio y momento que considere oportunos, en el marco de su programa editorial.
8. El C.S.D. remitirá a los autores cinco ejemplares de la publicación para su libre disposición.
9. En el caso de no publicarse el trabajo o sumario presentado en el plazo de dos años, el autor podrá solicitar del C.S.D. la devolución de los textos y materiales originales, quedando una copia en el CARICD.
10. **Tratamiento automatizado de los datos.** A los efectos previstos en el artículo 5 de la Ley Orgánica 5/1992, de Regulación del Tratamiento Automatizado de los datos de carácter personal, los datos que se soliciten a los autores de trabajos a publicar por el C.S.D. podrán ser objeto de tratamiento automatizado. La responsabilidad del fichero automatizado corresponde al Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte del Consejo Superior de Deportes.

La admisión-aceptación de estos trabajos no implica obligatoriamente su publicación que, en cualquier caso, se decidirá por la Comisión de Investigación creada al efecto.

El C.S.D. no asumirá necesariamente las opiniones expresadas por los autores en los trabajos y sumarios de investigación que publique.

El Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte no se compromete a publicar trabajos que no reúnan los requisitos y normas marcados, ni su publicación supone que comparta las opiniones en ellos expresadas.

**Nota:** Estas normas se basan en normas ISO y normas UNE. Puede solicitarse su versión interna ampliada, así como el modelo oficial de cesión de derechos y aceptación de las bases, a:

CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO Y DE  
INVESTIGACION EN CIENCIAS DEL DEPORTE  
Unidad: Publicaciones  
C/ del Greco s/n  
28040 Madrid  
Tel.: (91) 589.68.77; 589.05.27/28  
Fax.: (91) 544.81.22  
Email: [csd.publicaciones@csd.mec.es](mailto:csd.publicaciones@csd.mec.es)

## **Colección:**

### **ESTUDIOS SOBRE CIENCIAS DEL DEPORTE**

- 1.- Análisis biomecánico de los lanzamientos en atletismo
- 2.- Adaptación hormonal e inmunológica al entrenamiento
- 3.- Indicadores para la detección de talentos deportivos
- 4.- Estructura ocupacional y mercado laboral en el deporte
- 5.- Patrocinio, comunicación y deporte I: la comercialización del deporte en una sociedad mediática
- 6.- Patrocinio, comunicación y deporte II: publicidad y patrocinio en eventos deportivos
- 7.- Los deportistas olímpicos españoles: un perfil sociológico (análisis sociológico de los participantes en los juegos olímpicos celebrados en el periodo 1980-1992)
- 8.- Métodos de estudio de composición corporal en deportistas
- 9.- Valores sociales y deporte: fair play versus violencia
- 10.- Educación física y práctica docente
- 11.- El deporte en las universidades españolas: análisis de la encuesta realizada por el consejo superior de deportes sobre el deporte y su organización, práctica y equipamientos en las universidades
- 12.- Análisis biomecánica de las técnicas deportivas: salto de altura, lanzamientos de jabalina, y carrera de velocistas ciegos
- 13.- Rendimiento deportivo: parámetros electromiográficos (EMG), cinemáticos y fisiológicos
- 14.- Nuevas perspectivas didácticas y educativas de la educación física
- 15.- Experiencias de formación de docentes y entrenadores en el ámbito de la actividad física y el deporte
- 16.- Investigación epistemológica. el campo disciplinar en educación física
- 17.- Control del dopaje: aspectos analíticos de los esteroides anabolizantes
- 18.- Ejercicio y estrés: aspectos celulares y moleculares
- 19.- Tecnología deportiva: control del rendimiento de los deportistas y de las instalaciones
- 20.- Política y violencia en el fútbol
- 21.- Biomecánica de la fuerza muscular y su valoración. análisis cinético de la marcha, natación, gimnasia rítmica, bádminton y ejercicios de musculación
- 22.- El apoyo biomecánico al rendimiento deportivo. lanzamiento atlético, carreras, relevos, natación, tenis y tiro.
- 23.- Efectos e implicaciones de variables fisiológicas sobre el entrenamiento
- 24.- Participación deportiva: perspectiva ambiental y organizacional
- 25.- Nacimiento e implantación de la Educación Física en España: los tiempos modernos
- 26.- Rendimiento deportivo en altitud
- 27.- Aplicación de nuevas tecnologías en medicina deportiva
- 28.- Mejora del proceso enseñanza-aprendizaje en educación física
- 29.- Estudios sobre el deporte y el medio ambiente
- 30.- Mujer y deporte. Las mujeres en la alta competición deportiva





MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN,  
CULTURA Y DEPORTE



PVP: 5,63 € I.V. A. incluido

ISBN 84-7949-109-4



9 788479 491093