

Anàlisi Biomecànica del llançament de martell (Segona part)

Análisis Biomecánico del lanzamiento de martillo (Segunda parte)

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

Departament d'Educació Física i Esportiva. Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport. Granada.

RESUM

Després de l'anàlisi teòrica realitzada a la primera part d'aquest estudi, en el present treball es realitza una anàlisi i una valoració detallada dels factors que incideixen en l'eficàcia del llançament de martell, així com també un estudi comparat entre llançadors de diferent nivell tècnic.

S'ha analitzat una mostra de sis llançadors d'èlit, entre els que destaquen A. Astapkovitx, I. Nikulin i J.M. Godall, els quals van ser filmats durant una concentració nacional (1992). L'anàlisi posterior s'ha realitzat utilitzant tècniques cinematogràfiques tridimensionals computeritzades, i s'han obtingut registres cinemàtics i cinètics que ens han permès d'avaluar l'eficàcia del gest tècnic realitzat amb observacions individualitzades de cada atleta.

Paraules clau

Biomecànica, llançament de martell, cinematografia tridimensional.

RESUMEN

Tras el análisis teórico realizado en la primera parte de este estudio, en el presente trabajo se realiza un análisis y valoración detallada de los factores que inciden en la eficacia del lanzamiento de martillo, así como un estudio comparado entre lanzadores de diferente nivel técnico.

Se ha analizado una muestra de seis lanzadores de élite, entre los que destacan A. Astapkovitx, I. Nikulin y J.M. Godall, los cuáles fueron filmados durante una concentración Nacional (1992). El posterior análisis se ha realizado utilizando técnicas cinematográficas 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

Biomecànica, lanzamiento de martillo, cinematografia tridimensional.

Introducció

Després de l'anàlisi sobre el model teòric del llançament de martell exposat a la primera part d'aquest estudi, i amb alguns dubtes sobre la relació causal que tenen certs factors, en aquesta segona part es realitza una aplicació pràctica amb llançadors d'alt nivell. El propòsit és obtenir alguns dels

Introducción

Después del análisis sobre el modelo teórico del lanzamiento de martillo expuesto en la primera parte de este estudio y con algunas dudas sobre la relación causal que tienen ciertos factores, en esta segunda parte se realiza una aplicación práctica con lanzadores de alto nivel. El propósito es obtener algunos de

Aquest estudi ha estat finançat per la Secretaria General del Pla Nacional I+D a través de la Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia (C.I.C.Y.T.)

El presente estudio ha sido financiado por la Secretaría General del Plan Nacional I+D a través de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (C.I.C.Y.T.)

factors més significatius per al resultat del llançament, també es pretén comparar els models de llançament dels llançadors russos respecte als models que van desenvolupar els llançadors nacionals així com donar alguns suggeriments que podrien incidir sobre la millora dels resultats.

Material y mètode

S'han analitzat sis llançadors de martell, dos d'ells de l'elit mundial i quatre de l'elit nacional en una sessió de llançaments durant la concentració de la selecció espanyola a Madrid, d'entre els que destacava Andrei Astapkovitx amb la millor marca mundial de l'any i medalla d'argent als Jocs Olímpics de Barcelona i Igor Nikulin, amb la quarta millor marca mundial i medalla de bronze als Jocs Olímpics de Barcelona. Entre els espanyols, cal destacar Anton M. Godall, el qual ostenta el rècord d'Espanya i Raúl Fuentes amb la quarta millor marca nacional. A la Taula 1 es mostren certes característiques antropomètriques dels llançadors analitzats, millor marca i llargada aconseguida en el llançament analitzat.

Les tècniques cinematogràfiques tridimensionals ens han permès quantificar els factors; per això s'ha utilitzat una càmera cinematogràfica Beaulieu R-16, calibrada mitjançant un temporitzador extern a 60 fot./s, col·locada a una distància de 20 m del centre de simetria del cercle de llançament i amb una orientació de 52° respecte a la direcció teòrica de llançament. Una segona càmera, en aquest cas de vídeo, Sonics V-200, calibrada mitjançant un temporitzador extern a 50 camps per segon, que posteriorment va obtenir una imatge per camp, es va col·locar a 31 m del centre de simetria del cercle de llançaments i amb una orientació de 45° respecte a la direcció teòrica de llançament i 85° respecte a l'orientació de la càmera Beaulieu R-16.

	Talla (metres)	Peso (kg)	Llançament analitzat	Mejor marca
Andrei Astapkovich (CEI)	1.91	120	100.67 *	84.26 **
Nikulin (CEI)	1.91	110	77.67	80.62
Raúl Fuentes (ESP)	1.92	98	61.08	65.94
Antón M. Godall (ESP)	1.82	105	62.50	67.46 ***
José M. Almuñé (ESP)	1.77	93	69.1 *	65.04
Errasti (ESP)	1.78	103	57.25	60.64

* : Llançament realitzat amb el martell de 6 kg.

** : Mejora marca mundial de 1992.

*** : Record de Espanya.

Taula 1. Anàlisi descriptiva dels llançadors analitzats.

Tabla 1. Análisis descriptivo de los lanzadores analizados.

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, así como dar algunas sugerencias que podrían incidir sobre la mejora de los resultados.

Material y método

Se han analizado seis lanzadores de martillo, dos de ellos de élite mundial y cuatro de élite nacional en una sesión de lanzamientos durante la concentración de la Selección Española en Madrid, destacando Andrei Astapkovitx 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, el cual ostenta el récord de España y a Raúl Fuentes con la cuarta mejor marca nacional. En la Tabla 1 se muestran ciertas características antropométricas de los lanzadores analizados, mejor marca y longitud alcanzada en el lanzamiento analizado.

Las técnicas cinematográficas tridimensionales nos han permitido cuantificar los factores, 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° 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, fue colocada a 31 m del centro de simetría del círculo de lanzamientos y con una orientación de 45° con respecto a la dirección teórica de lanzamiento y 85° con respecto a la orientación de la cámara Beaulieu R-16.

El proceso de computarización de los datos se realizó en cuatro fases: a) Digitalización y almacenamiento de las coordenadas planas correspondientes a los 22 puntos que componen la estructura alámbrica del sistema lanzador más martillo. b) 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 mediante la técnica de Splines de quinta potencia, desarrolladas por Wood & Jennings (1979). c) En una tercera fase se obtuvieron las **Coordenadas espaciales** con respecto a un sistema de referencia *Inercial*, utilizando para ello las técnicas de Transformación Lineal Directa (DLT) descritas por Abdel-Aziz & 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 referen-

El procés de computerització de les dades es va realitzar en quatre fases:

a) Digitalització i emmagatzematge de les coordenades planes corresponents als 22 punts que componen l'estructura alàmbrica del sistema llançador més martell.

b) En una segona fase, les dades corresponents a les coordenades planes dels punts digitalitzats de cadascuna de les pel·lícules es van suavitzar, interpolar i sincronitzar mitjançant la tècnica de Splines de cinquena potència, desenvolupada per Wood i Jennings (1979).

c) En una tercera fase, es van obtenir les **Coordenades espacials** respecte a un sistema de referències *Inercial*, per a la qual cosa es van utilitzar les tècniques de Transformació Lineal Directa (DLT) descrites per Abdel-Aziz i Karara (1971).

Posteriorment, a les coordenades espacials obtingudes es va aplicar una matriu de transformació equivalent al desplaçament horitzontal del sistema llançador més martell, i així s'obtingueren les coordenades espacials referides a un sistema de referències *quasi-inercial* que es desplaça amb el Centre de gravetat del sistema llançador més martell (Cg_s).

d) Per últim, es van utilitzar diferents rutines de càlcul, les unes descrites per Gutiérrez, Soto i Martínez (1990), i les altres desenvolupades específicament per a aquest estudi, els algorismes de les quals es descriuen tot seguit:

Per al càlcul del Cg_s , es recorre a l'expressió E-1, en la que si es coneixen les coordenades espacials del Cg. del llançador (Cg_L), les del martell (Cg_M), la massa del llançador (G_L) i del martell (G_M), és possible conèixer les coordenades espacials del sistema llançador més martell.

$$(E-1) \quad Cg_s = \frac{(Cg_L * G_L) + (Cg_M * G_M)}{G_L + G_M}$$

On Cg_s , correspon al centre de gravetat del sistema llançador més martell, Cg_L i Cg_M , a les coordenades del Cg. del llançador i martell, respectivament i G_L i G_M , les masses del llançador i martell, respectivament.

Per al càlcul de l'angle que defineix la inclinació del martell es recorre a les coordenades espacials que té el Cg. del martell en el seu punt més alt i més baix de cada volta mitjançant l'expressió E-2. El desenvolupament esmentat implica calcular l'angle d'inclinació respecte a un pla perpendicular al terra i al que pertanyen les coordenades espacials del punt alt (x_a, y_a i z_a) i del baix (x_b, y_b i z_b) del martell, a partir del vector posició situat entre el punt alt i el baix (R) i el vector posició que correspon a la seva projecció vertical (Q).

cias *cuasi-inercial* que se desplaça con el Centro de gravedad del sistema lanzador más martillo (Cg_s). d) Por último se utilizaron diferentes rutinas de cálculo, unas descritas por Gutiérrez, Soto & Martínez (1990), y otras desarrolladas específicamente para este estudio, cuyos algoritmos se describen a continuación:

Para el cálculo del Cg_s , se recurre a la expresión E-1, donde conociendo las coordenadas espaciales del Cg. del lanzador (Cg_L), las del martillo (Cg_M), la masa del lanzador (G_L) y del martillo (G_M), es posible conocer las coordenadas espaciales del Sistema lanzador más martillo.

$$(E-1) \quad Cg_s = \frac{(Cg_L * G_L) + (Cg_M * G_M)}{G_L + G_M}$$

Donde Cg_s , corresponde al Centro de gravedad del sistema lanzador más martillo, Cg_L y Cg_M , a las coordenadas del Cg del lanzador y martillo, respectivamente y G_L y G_M , las masas del lanzador y martillo, respectivamente.

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 más alto y más bajo de cada vuelta mediante la expresión E-2. 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 y z_a) y bajo (x_b, y_b y 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).

$$E-2) \quad R = \{(x_a - x_b), (y_a - y_b), (z_a - z_b)\}$$

$$Q = \{(x_a - x_b), (0), (z_a - z_b)\}$$

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

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.

Para el cálculo del radio de giro se recurre a seccionar la trayectoria del martillo, con respecto al sistema de referencias *cuasi-inercial*, en sectores circulares relacionados con el desplazamiento del martillo en intervalos de tiempo conocido ($t = .04$ seg.). Utilizando las coordenadas del Cg. del martillo en la posición inicial de cada sector ($t = 0$, posi-

E-2)

$$R = \{(x_a - x_b), (y_a - y_b), (z_a - z_b)\}$$

$$Q = \{(x_a - x_b), (0), (z_a - z_b)\}$$

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

on R, és el vector posició que defineix el punt alt i baix, Q, el vector posició corresponent a la projecció vertical i (x_a, y_a, z_a) i (x_b, y_b, z_b) , les coordenades espacials del punt alt i baix, respectivament.

Per al càlcul del radi de gir es recorre a seccionar la trajectòria del martell, respecte al sistema de referències quasi-inercial, en sectors circulars relacionats amb el desplaçament del martell en intervals de temps conegut ($t = .04$ seg.). En utilitzar les coordenades del Cg. del martell en la posició inicial de cada sector ($t = 0$, posició x_{n-1}, y_{n-1} y z_{n-1}), la intermèdia ($t = .02$, posició x_n, y_n y z_n) i final ($t = 0$, posició x_{n+1}, y_{n+1} i z_{n+1}), és possible calcular l'angle format pels vectors que defineixen el seu desplaçament, tal com es desenvolupa a l'expressió E-3.

E-3)

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

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

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

on R i Q són els vectors que defineixen el desplaçament del martell en intervals de .02 seg., β l'angle comprès entre els vectors esmentats i $(x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1})$, (x_n, y_n, z_n) i $(x_{n+1}, y_{n+1}, z_{n+1})$ les coordenades espacials de la posició inicial, intermèdia i final del sector circular, respectivament.

Una vegada conegut l'angle β i tenint en compte que el radi de gir forma un angle respecte als dos vectors R i Q, respectivament, l'angle de desplaçament (θ) seria $180 - \beta$, mitjançant el qual és possible conèixer la velocitat angular mitjana (W_M) en l'interval de temps $l/2$.

Per últim, coneguda la velocitat angular i tangencial mitjana en l'interval de temps $l/2$, el radi de gir es defineix mitjançant l'expressió E-4 i el radi mitjà de cada gir correspon al radi mitjà de tots els sectors que determinen cada volta, considerant que cada gir s'inicia amb la pèrdua de contacte del peu dret.

E-4

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

on r correspon al radi de gir de cada sector, W_M la velocitat angular mitjana i V_M la velocitat tangencial mitjana.

ció x_{n-1}, y_{n-1} y z_{n-1}), la intermèdia ($t = .02$, posició x_n, y_n y z_n) y final ($t = 0$, posició x_{n+1}, y_{n+1} y z_{n+1}), és possible calcular el angle comprès entre els vectors que defineixen el desplaçament, tal com es desenvolupa a l'expressió E-3.

E-3)

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

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

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

donde R y Q son los vectores que definen el desplazamiento del martillo en intervalos de .02 seg., β el angle comprès entre dichos vectores y $(x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1})$ y (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 angle β y considerando que el radio de giro forma un angle recto con respecto a los dos vectores R y Q, respectivamente, el angle de desplazamiento (θ) sería $180 - \beta$, mediante el cual es posible conocer la velocidad angular media (W_M) en el intervalo de tiempo $l/2$.

Por último, conocida la velocidad angular y tangencial media en el intervalo de tiempo $l/2$, el radio de giro se define mediante la expresión E-4 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-4

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

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

Para conocer el desplazamiento del martillo durante los periodos de doble apoyo y apoyo único se utiliza el concepto de angle 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 de desplazamiento del Cg. 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.

Utilizando las matrices de conversión, descritas por Gutiérrez, Soto & Martínez (1990), se han obtenido las proyecciones de las coordenadas espacia-

Per conèixer el desplaçament del martell durant els períodes de recolzament doble i recolzament únic, s'utilitza el concepte d'angle azimutal, introduït per Samozvetov (1971), en el que el llançament s'observa des d'una perspectiva superior amb una circumferència graduada.

Per al nostre estudi, i per tal de poder comparar els llançadors entre si, els 180° de l'esmentada circumferència graduada coincideixen amb la direcció i el sentit de desplaçament del Cg_s sobre el cercle de llançament. Per definir aquest desplaçament, s'ha realitzat una regressió lineal de les coordenades horitzontals respecte a les transversals del Cg_s.

En utilitzar les matrius de conversió descrites per Gutiérrez, Soto i Martínez (1990), s'han obtingut les projeccions de les coordenades espacials del martell sobre el pla frontal, perpendicular a la direcció del desplaçament del Cg del sistema llançador més martell, i el pla transversal, paral·lel al terra. Mitjançant les coordenades 2D del Cg del martell, corresponents a la projecció sobre el pla frontal i utilitzant l'expressió E-5 (Hay, Wilson i Dapena, 1977), és possible calcular el Moment Angular del martell a través d'un eix horitzontal que coincideix amb la direcció del desplaçament del Cg_s sobre el cercle (H_z). Aquest mateix procés es repeteix en el pla transversal, i s'obté el Moment Angular que desenvolupa el martell a través de l'eix vertical (H_v).

(E-5)

$$H_z = \frac{M_M * r_{z1} * r_{z2} * \sin \beta}{d_t}$$

on H_z correspon al Moment angular a través de l'eix z, M_M la massa del martell, r_{z1} i r_{z2} els radis de gir projectats en el pla perpendicular a l'eix z, en la posició t e At, β el desplaçament angular i d_t l'increment de temps.

Resultats

Els resultats exposats en aquest treball signifiquen un esforç més per definir els criteris d'eficàcia del llançament de martell i, especialment, un intent de determinar les diferències tècniques que hi ha entre els llançadors d'elit mundial i els nacionals, tenint en compte que els resultats d'aquests últims estan molt per sota del rècord mundial.

En la Taula 2 es presenten els valors per a cadascun dels llançadors analitzats sobre el temps transcorregut en cada una de les fases o períodes en els que s'han dividit els girs, expresats en valors absoluts i en percentatges del temps total que han trigat en cada gir.

Segons el raonament exposat pels investigadors soviètics (Kriwonossov, 1972; Bondartschuk, 1978), segons el qual el martell només es pot accelerar

les del martillo sobre el plano frontal, perpendicular a la dirección del desplazamiento del Cg. del sistema lanzador más martillo, 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-5 (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_s sobre el círculo (H_z). Este mismo proceso se repite en el plano transversal, obteniéndose el Momento Angular que desarrolla el martillo a través del eje vertical (H_v).

(E-5)

$$H_z = \frac{M_M * r_{z1} * r_{z2} * \sin \beta}{d_t}$$

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, e la posición t e At, β el desplazamiento angular y d_t el incremento de tiempo.

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 estos últimos están muy por debajo del récord mundial.

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 períodos 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 sólo puede acelerarse durante el período de doble apoyo, éste debería durar el mayor tiempo posible en cada vuelta y, en general, es realmente lo que ocurre, aunque las diferencias en porcentajes son muy pequeñas.

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. Cuando se analizan los porcentajes relativos a los períodos de apoyo simple y apoyo doble con respecto al tiempo total que dura cada vuelta, no se han encontrado grandes diferencias entre los lanzadores.

durant el període de recolzament doble, aquest hauria de durar el major temps possible a cada volta i, en general, és el que succeeix realment, tot i que les diferències en percentatges són molt petites.

En comparar les dades obtingudes pels llançadors soviètics respecte als nacionals, trobem que a partir del segon gir es redueix el temps total de cada volta en els llançadors soviètics com a conseqüència de girar més ràpidament. Quan s'analitzen els percentatges relatius als períodes de recolzament simple i recolzament doble respecte al temps total que dura cada volta, no s'han trobat diferències grans entre els llançadors.

En els dos períodes que té cada volta hi ha un temps en el que el martell baixa i un altre en el que està en trajectòria ascendent.

Durant gran part del període de recolzament únic, el martell descriu una trajectòria ascendent en la que no interessa que el cos, en el seu conjunt, avanci el martell, només els braços han d'estar una mica avançats, (Tschiene, 1980). Per contra, quan el martell arriba al seu punt més alt, la cama dreta ha d'avançar-se per prendre contacte amb el terra ràpidament.

A la Taula 3 es presenten les dades corresponents al temps que el martell està en trajectòria ascendent i descendent durant el període de recolzament únic i segons el que s'ha exposat al paràgraf anterior, el temps en què el martell està en trajectòria descendent durant el període de recolzament únic té un cert compromís entre els seus valors extrems. Per una banda no ha de ser excessivament llarg per no reduir el període de recolzament doble i per altra, tampoc no ha de ser extremadament curt ja que reduiria el radi de gir i, en conseqüència, la velocitat del martell.

Tant Astapkovitx com Nikulin mantenen una progressió en els temps que transcorre durant la trajectòria descendent del martell en el recolzament únic, la qual es redueix a cada gir a mesura que la

	Ascenso 1º giro	Descenso 1º giro	Ascenso 2º giro	Descenso 2º giro	Ascenso 3º giro	Descenso 3º giro	Ascenso 4º giro	Descenso 4º 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"

Taula 3. Anàlisi temporal dels períodes en què el martell està ascendent i descendent durant el període de recolzament únic.

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

	Ap. único 1º giro	Ap. doble 1º giro	Ap. único 2º giro	Ap. doble 2º giro	Ap. único 3º giro	Ap. doble 3º giro	Ap. único 4º 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. Almudí	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%

Taula 2. Anàlisi temporal dels períodes corresponents a cada gir i final de llançament.

Tabla 2. Análisis temporal de los períodos correspondientes a cada giro i finala de lanzamiento.

En los dos períodos 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 período de apoyo único el martillo describe una trayectoria ascendente en la que no interesa que el cuerpo, en su conjunto, adelante al martillo, sólo los brazos deben de estar algo adelantados, (Tschene, 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 período de apoyo único y según lo expuesto en el párrafo anterior, el tiempo en que el martillo está en trayectoria descendente durante el período de apoyo único tiene un cierto compromiso entre sus valores extremos. Por un lado no debe de ser excesivamente largo para no reducir el período de doble apoyo y por otro, tampoco debe de ser extremadamente corto, ya que reduciría el radio de giro y consecuentemente la velocidad del martillo.

Tanto Astapkovitx como Nikulin mantienen una progresión en los tiempos que transcurren durante la trayectoria descendente del martillo en el apoyo único, reduciéndose 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.

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

	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°
Nikulin	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. Almudí	83°	199°	78°	229°	92°	234°	88°	244°	135°
Errasti	90°	241°	90°	256°	81°	265°	81°	265°	155°

Taula 4. Angles azimuthals obtinguts a cadascun dels períodes analitzats.

Tabla 4. Ángulos azimutales obtenidos a cada uno de los períodos analizados.

velocitat augmenta. En el cas d'Almudí succeeix tot el contrari, el temps és excessivament petit en la primera volta i es va incrementant, tot i que molt poc, a mesura que la velocitat augmenta, la qual cosa posa de manifest que hi ha una anticipació precipitada en el recolzament del peu dret.

En la Taula 4 es presenten les dades corresponents a les posicions del martell respecte a un angle azimuthal, on els 180° coincideixen amb la direcció del desplaçament del Cg. Per tal de facilitar-ne la comprensió, aquests angles s'han obtingut a partir de les posicions que hi ha pèrdua de contacte i de recolzament, respectivament, del peu dret, la qual cosa representa l'impuls desenvolupat durant el període de recolzament simple i de recolzament doble.

Segons la lògica dels investigadors soviètics, fóra convenient sortir amb un angle azimuthal relatiu gran i arribar amb un angle relatiu reduït. Segons es desprèn de les dades obtingudes, en general els llançadors espanyols s'enlairen més tard que els soviètics, la qual cosa sembla que beneficia els nostres llançadors. Respecte a les dades referides a la presa de contacte, en general, tampoc no existeixen grans diferències entre nacionals i russos. Això reflecteix que hi ha d'haver altres factors que interactuen juntament amb la major o menor amplitud de l'angle azimuthal durant el recolzament doble.

El cert és que, ateses les diferències tècniques tan notables a favor del llançadors soviètics, no sembla ser massa significatiu per a l'eficàcia del llançament el valor relatiu a les posicions del martell sobre l'angle azimuthal, almenys per si sols. El fet que Almudí, segons es desprèn d'aquestes dades, presenti els impulsos més llargs durant el període de recolzament doble correspon a una precipitació en el recolzament del peu dret que ha provocat una reducció del radi de gir i ha de desviar la trajectòria normal del martell, com es desprèn de les dades relatives als radis dels girs, en cada període, exposades a la Taula 5, fet que incideix negativament sobre la velocitat tangencial del martell.

tar su comprensión, dichos ángulos han sido obtenidos a partir de las posiciones que ha existido pérdida de contacto y apoyo, respectivamente, del pie derecho, lo que representan el impulso desarrollado durante el período de apoyo simple y apoyo doble.

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 rusos. 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 que Almudí, según se desprende de estos datos, presente los impulsos más largos durante el período de doble apoyo corresponde a una precipitación en el apoyo del pie derecho que 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 período, expuestos en la Tabla 5, algo que incide negativamente sobre la velocidad tangencial del martillo.

Como se desprende parece existir un compromiso entre los ángulos azimutales y el radio de giro en el instante de toma contacto con el suelo. En la Figura 1 se puede observar un diagrama que representa dicha relación. Lo ideal sería tener una posición y 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

	Ap. único 1º giro	Ap. doble 1º giro	Ap. único 2º giro	Ap. doble 2º giro	Ap. único 3º giro	Ap. doble 3º giro	Ap. único 4º giro	Final
Astapkovich	1.90	1.74	1.81	1.71	1.75	1.65	1.71	1.86
Nikulin	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. Almudí	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

Taula 5. Radis de gir en els períodes de recolzament únic, recolzament doble i final de llançament.

Tabla 5. Radios de giro en los períodos de apoyo único, apoyo doble y final de lanzamiento.

Com es desprèn, sembla existir un compromís entre els angles azimuthals i el radi de gir en l' instant de prendre contacte amb el terra. En la Figura 1 es pot observar un diagrama que representa aquesta relació. Fóra ideal tenir una posició i una tendència cap a l'esquerra i amunt, la qual cosa significaria reduir el temps en incrementar el radi. Però això no és fàcil; com a la majoria de les tècniques esportives hi ha compromisos entre factors que cal resoldre tenint en compte les característiques personals de cada esportista i l'eficàcia que suposa aquesta relació.

Com es desprèn de la Figura 1 els que resolen més bé aquest compromís són els llançadors soviètics, juntament amb Raúl Fuentes, tot i que aquest últim està massa a la dreta, és a dir, arriba massa tard amb el peu de recolzament en les dues últimes voltes. El que resol pitjor aquest compromís és Errasti, i és el llançador que està més desplaçat cap a la dreta en el conjunt de les voltes i el seu radi de gir és el més reduït.

A la Taula 6 es representen les dades corresponents a l'angle d'inclinació de la trajectòria del martell per a cada llançador. En observar les dades es pot dir que, en general, l'angle d'inclinació s'incrementa fins a la quarta volta i baixa durant la fase final, a causa, probablement, del desplaçament del Cg. cap a la direcció del llançament que fa incrementar el radi de la trajectòria del martell i, en

	1º giro.	2º giro.	3º giro.	4º giro.	Final.
Astapkovich	30.8°	37.9°	42.0°	46.8°	39.84°
Nikulin	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°

Taula 6. Angles d'inclinació en cada gir i final de llançament.
 Tabla 6. Ángulos de inclinación en cada giro i final de lanzamiento.

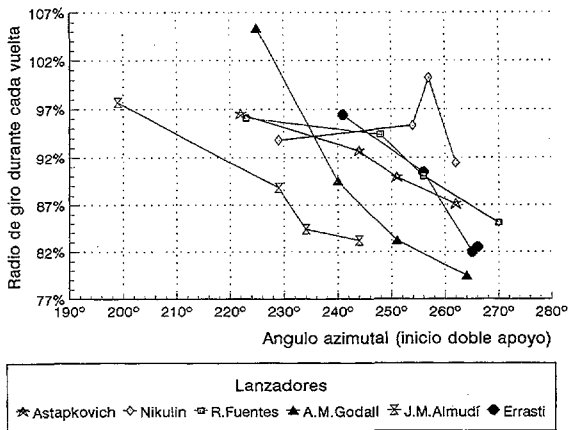


Figura 1. Diagrama representatiu dels angles azimuthals en l' instant de posar-se en contacte amb el terra (inici del recolzament doble) i l'angle de gir, durant cada volta, expressat en percentatges de la talla de cada llançador.

Figura 1. Diagrama representatiu de los ángulos azimuthales 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.

factores que es necesario resolver teniendo en cuenta las características personales de cada deportista y la eficacia que dicha relación supone.

Como se desprende de la Figura 1 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. El que peor resuelve dicho compromiso es Errasti, siendo el lanzador que más desplazado está hacia la derecha en el conjunto de las vueltas y su radio de giro es el más reducido.

En la Tabla 6 se representan los datos correspondientes al ángulo de inclinación de la trayectoria del martillo para cada lanzador. 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.

En la Figura 2 se presentan las gráficas de velocidad tangencial del martillo.

En los lanzadores rusos era de esperar un incremento de la velocidad del martillo durante el período de apoyo doble, mientras que en el apoyo simple este incremento debería ser muy reducido, y es lo que sucede en el caso de Astapkovitx, pero no en el de Nikulin. Los dos tienen un comportamiento similar durante el primer giro, 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, pero resulta sorprendente cuando, en el caso de Nikulin, también aparece un incremento notable de la velocidad durante el período de apoyo único, coincidiendo, aproximadamente, con el punto alto a expensas de generar un momento de fuerza a través de los ejes vertical y horizontal.

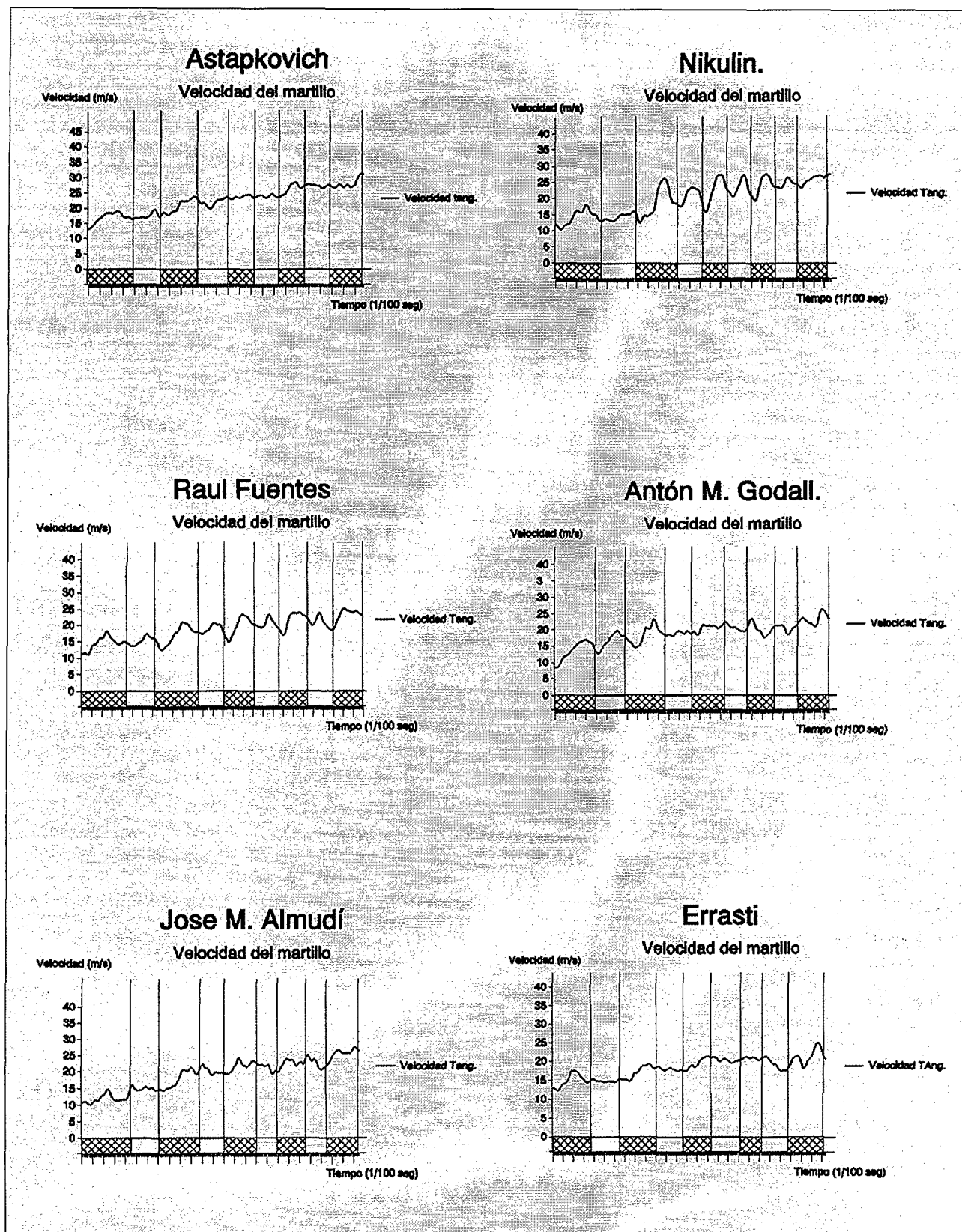


Figura 2. Gràfiques de la velocitat tangencial del martell obtingudes de cada llançador analitzat.
 Figura 2. Gráficas de la velocidad tangencial del martillo obtenidas por cada uno de los lanzadores analizados.

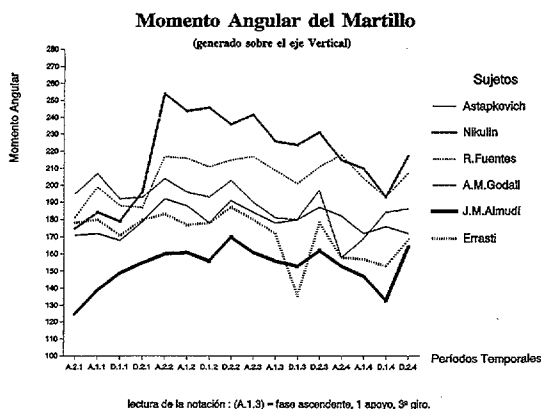


Figura 3. Moment angular generat sobre l'eix vertical.
Figura 3. Momento angular generado sobre el eje vertical.

alguns casos, a la no extensió completa del cos durant el final.

A la Figura 1 es presenten les gràfiques de velocitat tangencial del martell. En el llançadors russos, era d'esperar un increment de la velocitat del martell durant el període de recolzament doble, mentre que en el recolzament simple aquest increment hauria de ser molt reduït, i això és el que succeeix en el cas d'Astapkovitx, però no en el Nikulin. Els dos tenen un comportament similar durant el primer gir, incrementen considerablement la velocitat tangencial del martell durant el recolzament doble en detriment, especialment, del component transversal, i aconseguen el seu valor màxim a cada volta quan el martell passa davant del llançador, però resulta sorprenent quan, en el cas de Nikulin, també apareix un increment notable de la velocitat durant el període de recolzament únic, coincidint, aproximadament, amb el punt alt a canvi de generar un Moment de força a través dels eixos vertical i horitzontal.

La gràfica de R. Fuentes és molt semblant a la de Nikulin, possiblement pels mateixos motius, preocupar-se d'incrementar la velocitat del martell quan aquest passa pels punts alt i baix, tot i que el seu problema principal és el final, la seva velocitat puja al començament de l'últim recolzament doble però baixa tan bon punt el martell assoleix el seu punt baix fins al final, no continua actuant sobre el martell, més aviat es desplaça amb ell, la qual cosa produeix un angle de sortida massa petit.

En el cas de Godall, hi ha un bon ritme durant el primer gir, i arriba a 22.2 m/seg durant el recolzament doble; possiblement sigui una velocitat excessiva per al primer gir, però a partir del segon no hi ha increment en la velocitat, a causa possiblement de la reducció del radi de gir i/o de començar excessivament ràpid.

La gràfica 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, aunque su principal problema 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.

Tanto Errasti como Almudí 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 desaceleran ligeramente durante el periodo de apoyo simple. Hasta aquí muy parecido a lo que realiza Astapkovitx, 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.

Especialmente negativo es el período de apoyo único durante el cuarto giro de Errasti y Almudí, produciéndose una desaceleración del martillo considerable cuando está en el punto alto, posiblemente debido a "tirar" del martillo precipitadamente durante el período de único apoyo cuando el martillo está en trayectoria descendente.

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 3 se representan los Momentos angulares del martillo generados a través de un eje vertical, para cada lanzador, durante los períodos 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 de martillo con el que lanza Astapkovitx y Almudí es de 6 Kg, mientras que el resto lo hace con el reglamentario.

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

Tant Errasti com Almodí mantenen comportaments molt similars quan a la velocitat tangencial del martell. Durant els dos primers girs, el martell s'accelera durant els períodes de recolzament doble i es desaccelera lleugerament durant el període de recolzament simple. Fins aquí molt semblant al que fa Astapkovitx, però a partir del tercer gir el martell experimenta un increment de velocitat molt petit, possiblement, a l'igual que Godall, a causa de la reducció del radi de gir.

Especialment negatiu és el període de recolzament únic durant el quart gir d'Errasti i Almodí, en el que es produeix una desacceleració considerable del martell quan està en el punt alt, possiblement causat per "llençar" el martell precipitadament durant el període de recolzament únic quan el martell està en trajectòria descendent.

La conseqüència d'aplicar sobre el martell un moment de força net a través d'un eix de gir, és la causa que el martell obtingui un cert Moment angular sobre aquest mateix eix. A la Figura 3 es representen els Moments angulars del martell generats a través d'un eix vertical, per a cada llançador, durant els períodes de temps en què el martell està pujant en recolzament doble i simple, així com també quan el martell està en trajectòria descendent durant el període de recolzament únic i doble, la qual cosa reflecteix, indirectament, els Moments de força aplicats sobre el martell i tenint en compte que el pes del martell amb el que llancen Astapkovitx i Almodí és de 6 Kg, mentre que la resta ho fa amb el reglamentari.

Segons les dades exposades es pot dir que a partir de la primera volta tots els llançadors generen un major moment de força durant el període de recolzament doble i que les diferències són més notables respecte al període de recolzament únic a mesura que minva la qualitat tècnica del llançador, fet que és coherent amb la teoria soviètica.

En tots els casos, el major Moment angular mitjà del martell a través de l'eix vertical es desenvolupa durant la segona volta, i disminueix progressivament durant la tercera i quarta. Si es té en compte que la velocitat angular s'incrementa a cada volta, tal com mostren el temps exposats a la Taula 2, la reducció comentada del Moment angular durant les voltes tres i quatre és deguda als radis de gir projectats sobre un pla transversal que és perpendicular a l'eix vertical, els quals tendeixen a ser més petits.

Els valors mitjans més petits de Moment angular generat a través de l'eix vertical s'han trobat durant el període de recolzament únic quan el martell està en trajectòria descendent, seguit del temps en què el martell està en trajectòria ascendent d'aquest mateix període. En aquest sentit, s'han de ressaltar les dades tan petites que presenta el martell d'Errasti quan està en trajectòria descendent en un recolzament únic, a causa d'una reducció excessiva del radi de gir durant aquest període.

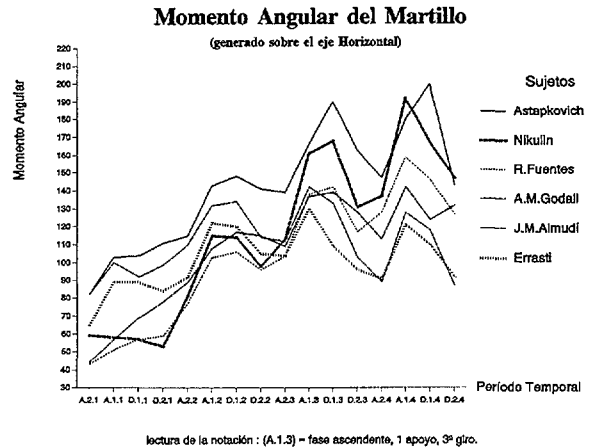


Figura 4. Moment angular generat sobre l'eix horitzontal.
 Figura 4. Momento angular generado sobre el eje horizontal.

en cuenta que la velocidad angular se incrementa en cada vuelta, como muestran los tiempos expuestos en la Tabla 2, la reducció 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.

Los valores medios más pequeños de Momento angular generado a través del eje vertical se han encontrado durante el período de único apoyo cuando el martillo está en trayectoria descendente, seguido del tiempo en que el martillo está en trayectoria ascendente de este mismo período. 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 reducció excesiva del radio de giro durante este período.

En la Figura 4 se representan los Momentos angulares del martillo generados a través de un eje horizontal, coincidiendo con la direcció de desplazamiento del Cg_s , para cada lanzador y durante los períodos de tiempo en que el martillo está ascendiendo en apoyo doble y simple, así como cuando el martillo está en trayectoria descendente durante el período de apoyo único y doble.

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 período 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

A la Figura 4 es representen els Moments angulars del martell generats a través d'un eix horitzontal, coincidint amb la direcció del desplaçament del Cg., per a cada llançador i durant els períodes de temps en què el martell està pujant en recolzament doble i simple, així com també quan el martell està en trajectòria descendent durant el període de recolzament únic i doble.

Al contrari del que succeeix amb el Moment angular generat a través de l'eix vertical, quan aquest es desenvolupa a través de l'eix horitzontal, en tots els casos el Moment angular mitjà del martell és considerablement més gran durant el període de recolzament simple que durant el de recolzament doble i, al contrari del que succeeix sobre l'eix vertical, l'increment del Moment angular del martell sobre l'eix horitzontal es produeix de forma progressiva durant cada volta. Especialment destacables són les progressions que realitzen el dos llançadors soviètics i Raúl Fuentes a cada volta, tot i que els valors obtinguts per l'espanyol són considerablement més petits que els obtinguts pels llançadors soviètics.

Nikulin i, sobretot, Astapkovitx, incrementen el Moment angular del seu martell a través de l'eix horitzontal a cada volta; en els espanyols aquest increment es més reduït, en el cas que existeixi. I en aquest sentit cal destacar els valors tan reduïts que obté Godall durant la quarta volta, especialment per haver reduït considerablement el radi de gir del martell projectat sobre el pla frontal i perpendicular a l'eix horitzontal.

Discussió

Per tal de simplificar l'anàlisi s'han tingut en compte quatre factors que hem considerat causals o interactuants en el resultat del llançament i que condicionen la tècnica de cada llançador: a) Angle d'inclinació del martell a cada volta, b) compromís entre el radi de gir i l'impuls en recolzament doble, valorat mitjançant els angles azimutals del martell quan el peu dret s'enlaira i pren contacte amb el terra a cada volta, c) comportament de la velocitat del martell i els seus components rectangulars durant el llançament i d) Moment angular del martell a través de l'eix vertical i horitzontal.

En general es pot dir que, en observar les dades obtingudes per la tècnica que realitzen els llançadors de més nivell, la teoria soviètica de què el martell només es pot accelerar durant el període de recolzament doble es confirma quan només es té en compte el gir sobre l'eix vertical. En aquest sentit, els Moments angulars de martell generats a través de l'eix vertical són més grans durant el període de recolzament doble que no pas durant el recolzament simple, en tots els casos, la qual cosa implica que han desenvolupat major Moment de força durant el recolzament doble i que els millors llançadors són

progressiva durant cada volta. Especialment destacable són les progressions que realitzen els dos llançadors soviètics i Raúl Fuentes en cada volta, aunque los valores obtenidos por el español son considerablemente más pequeños que los obtenidos por los lanzadores soviéticos.

Nikulin y, sobre todo, Astapkovitx, incrementan 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 caben 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.

Discussión

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) Ángulo 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 y 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 sólo puede acelerarse durante el período de doble apoyo se confirma cuando sólo 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 período 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 sólo desde una perspectiva azimutal donde el martillo gira entorno a un eje de giro 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 de este eje, al contrario de lo que sucedía sobre el eje vertical, en todos los casos el mayor valor del Mo-

aquells que redueixen menys el seu Moment angular durant la fase de recolzament simple.

Però el cert és que no es pot entendre el llançament de martell només d'una perspectiva azimuthal en la que el martell gira al voltant d'un eix de gir vertical. En analitzar la trajectòria del martell respecte a un sistema de referència inercial, el llançament significa, a més, un canvi gradual en la inclinació del pla del martell i, consegüentment, un moviment giratori a través d'un eix que és horitzontal i identificat amb la direcció del desplaçament del Cg. del sistema llançador més martell (Dapena, 1984, 1986). En observar els valors del Moment angular obtinguts a través d'aquest eix, al contrari del que succeïa sobre l'eix vertical, en tots els casos el valor més gran del Moment angular del martell es localitza durant el període de recolzament únic, la qual cosa concorda amb els resultats trobats per Dapena (1984, 1986, 1989), fet del que es desprèn que és possible incrementar la velocitat durant el període de recolzament únic i que una gran part de l'augment de la velocitat tangencial del martell està associat amb el Moment de força generat al voltant de l'eix horitzontal.

En comparar les dades entre llançadors de més i menys nivell, podem arribar a la conclusió que la gran diferència entre els llançadors russos i nacionals radica en el fet que les diferències existents entre els valors del Moment angular del martell a través de l'eix horitzontal són notables, és a dir, els llançadors russos poden aplicar un gran Moment de força al martell durant el període de recolzament únic a través de l'eix horitzontal, mentre que els espanyols tenen gran dificultat per incrementar el seu Moment i especialment durant les dues últimes voltes.

Una altra gran diferència radica en el fet que mentre els llançadors soviètics obtenen un radi de gir relativament gran durant la primera volta i el mantenen durant tot el llançament, els espanyols obtenen un radi de gir una mica inferior en la primera volta i el redueixen de forma considerable durant la resta del temps que dura el llançament.

Per contra, no s'han trobat diferències en els valors relatius a l'impuls desenvolupat durant el període de recolzament doble relacionat amb els angles azimuthals; és més, els llançadors nacionals obtenen un impuls més gran, i considerant les diferències tècniques existents no es pot dir que sigui un paràmetre d'eficàcia vàlid per si mateix.

mento 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 período de apoyo único y que una gran parte del aumento de la velocidad tangencial del martillo está 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 rusos y nacionales radica en que las diferencias existentes entre los valores del Momento angular del martillo a través del eje horizontal son notables, es decir, los lanzadores rusos pueden aplicar un gran Momento de fuerza al martillo durante el período 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.

Por el contrario no se han encontrado diferencias en los valores relativos al impulso desarrollado durante el período de doble apoyo relacionado con los ángulos azimuthales, es más, los lanzadores nacionales obtienen un impulso mayor, lo que considerando las diferencias técnicas existentes no se puede decir que sea un parámetro de eficacia válido por sí solo.

Bibliografía

- ABDEL-AZIZ, Y.I.; KARARA, H.M.: "Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry". Proc. ASP/UI Sump. Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois. Falls Church, V.A.: American Society of Photogrammetry, 1-18, 1971.
- BONDARTSCHUK, A.P.: "Die moderne technik beim hammerwerfen. Leichtathletic, österreich 2. 3, 22-23, 1978.
- DAPENA, J.: "The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations". Journal of Biomechanics. 17, 8, 553-559, 1984.
- DAPENA, J.: "A kinematic study of center of mass motion in the hammer throw". Journal of Biomechanics. 19, 2, 147-158, 1986.
- DAPENA, J.: "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, 1989.
- GUTIÉRREZ, M.; SOTO, V.M.; MARTÍNEZ, M.: Sistema de análisis computerizado para el movimiento humano. Málaga: UNISPORT, 1990.
- HAY, J.G.; WILSON, B.D.; DAPENA, J.; WOODWORTH, G.G.: "A computational technique to determine the angular momentum of a human body". Journal of Biomechanics. 10, 269-277, 1977.
- SAMOZVETOV, A.: "The acceleration of the hammer". Legkaya Atletika. 11, 18-20, 1971.
- TSCHIENE, P.: "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.