

Efecto de las resistencias aerodinámicas sobre el alcance de lanzamientos de martillo masculinos y femeninos de atletas de élite

F. J. ROJAS RUIZ, M. GUTIÉRREZ DÁVILA
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.
Departamento de Educación Física y Deportiva.
Universidad de Granada.

Resumen:

El alcance del lanzamiento de martillo está determinado por las condiciones cinemáticas en el momento de salida de las manos del lanzador, en concreto por la velocidad, el ángulo y la altura de salida. A partir de ahí, la distancia teórica alcanzada por el martillo, proveniente por las ecuaciones de los proyectiles, puede ser determinada. La diferencia encontrada entre la distancia real y la teórica calculada, nos aportaría el objetivo planteado en este estudio basado en conocer el efecto de las resistencias aerodinámicas sobre el alcance del lanzamiento.

La muestra utilizada se ha basado en los seis finalistas masculinos y femeninos del campeonato del mundo de atletismo de Sevilla 1999. Los lanzamientos fueron filmados por cámaras de video S-VHS (50 Hz) siguiendo posteriormente la metodología de análisis tridimensionales de video (50 Hz) ubicada en el Laboratorio de Biomecánica de la Universidad de Granada.

Los resultados obtenidos muestran los parámetros cinemáticos producidos en el momento de la salida del martillo, siendo la velocidad la variable en la cual se han encontrado diferencias significativas entre hombres y mujeres, 28.64 y 26.90 m/s, respectivamente y las diferencias encontradas utilizando diferentes metodologías entre los alcances teóricos calculados y los reales siendo la pérdida de alcance de un 13,23% y de un 8,85% en los lanzamientos femeninos y masculinos respectivamente. Los datos obtenidos confirman que las grandes diferencias encontradas entre los lanzamientos masculinos y femeninos (11.28 m), aún siendo la masa del martillo diferentes (7.26 kg en hombres y 4 kg en mujeres) se deben en gran medida a los factores aerodinámicos.

Palabras clave: lanzamiento de martillo, resistencias aerodinámicas y biomecánica.

Introducción

El lanzamiento de martillo se puede considerar como uno de los gestos técnicos que utiliza más tiempo para conseguir la máxima velocidad final del objeto a lanzar. Para ello 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 giros, donde todo el lanzador gira con el martillo. Como continuación al último giro se ejecuta la fase final manteniendo los dos pies en el suelo.

El objetivo de los volteos es conseguir la velocidad y trayectoria adecuada del martillo que per-

mita iniciar las vueltas, el de las vueltas acelerar el martillo y cambiar su plano de movimiento. El final, aunque se considera como la continuación del último giro, posee ciertas características propias, como la inclinación del tronco hacia atrás y elevación progresiva del centro de gravedad del lanzador.

El alcance del lanzamiento de martillo está determinado por las condiciones cinemáticas en el momento de salida de las manos del lanzador, en concreto por la velocidad, el ángulo y la altura de salida. A partir de ahí, la distancia teórica alcanzada por el martillo, proveniente por las ecuaciones de los proyectiles, puede ser determinada.

Hubbard (1989) modeló el martillo, considerando las tres partes de las que consta, la bola, el cable y el asa del martillo, obteniendo que las resistencias aerodinámicas reducen el alcance de un martillo de 90 m a 84.3 m., una diferencia de 5.7 m. lo que equivale a un 6.3 % menos del alcance teórico.

Dapena y col. (2003), a partir de los parámetros

Correspondencia:

F.Javier Rojas Ruiz,
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte,
Universidad de Granada,
Carretera de Alfacar s/n 18011, Granada.
E-mail: fjrojas@ugr.es

inerciales de los martillos, tanto masculinos como femeninos, considerándolos como una esfera unida a nueve cilindros, calculó el alcance teórico sin considerar las resistencias aerodinámicas y posteriormente calculó las resistencias aerodinámicas teóricas utilizando los datos propuestos por Schlichting, (1960) para esferas y cilindros. Dapena y col. (2003) obtuvo una diferencia del 3.17% en lanzamientos masculinos de alcance real de $72.82 \text{ m} \pm 7.43$ y en lanzamientos femeninos una disminución del 7.22% para lanzamientos con un alcance de $67.78 \text{ m} \pm 4.02$.

El objetivo de este estudio es la valoración de las resistencias aerodinámicas y su efecto sobre el alcance de lanzamientos de martillo masculinos y femeninos en lanzadores de élite.

Método

Muestra

Los atletas seleccionados se han correspondido

con seis atletas masculinos y seis femeninos finalistas del Campeonato del Mundo de Atletismo de Sevilla, 1999 cuyos resultados se muestran en la tabla I.

Obtención de datos

Los lanzamientos fueron filmados simultáneamente por dos cámaras de video S-VHS (50Hz). El modelo mecánico utilizado se ha correspondido por sistema mecánico de 15 segmentos definidos por 23 puntos. Las coordenadas de cada punto se obtuvieron mediante las correspondientes digitalizaciones de las imágenes obtenidas por cada cámara. Las coordenadas digitalizadas se suavizaron, interpolaron y sincronizaron a una muestra equivalente a 100 Hz utilizando splines de quinto orden (Wood y Jennings, 1979). Las coordenadas tridimensionales se calcularon utilizando el procedimiento de DLT (Abdel-Aziz y Karara, 1971).

Una vez obtenidas las coordenadas tridimensionales se utilizó un programa lógico para

Tabla I. Muestra seleccionada con la mejor marca obtenida y la analizada en el Campeonato del Mundo Sevilla, 1999.

MUJERES				
NOMBRE	PAÍS	POSICIÓN	SEV99-RESULT (m)	SEV99-ANALISIS (m)
M.Melinte	ROM	1	75,20	74,21
O.Kuzenkova	RUS	2	72,56	72,56
L.Misipeka	AMS	3	66,06	65,02
K.Divós	HUN	4	65,86	65,86
L.Gubkina	BLR	6	65,44	64,12
S.Mathes	GER	7	64,93	64,93
HOMBRES				
NOMBRE	PAÍS	POSICIÓN	SEV99-RESULT (m)	SEV99-ANALISIS (m)
K.Kobs	GER	1	80,24	80,24
Z.Németh	HUN	2	79,05	79,05
V.Piskunov	UKR	3	79,03	79,03
T.Gécsek	HUN	4	78,95	78,95
A.Skvaruk	UKR	5	78,80	78,8
C.Polychroníou	GRE	6	78,31	78,31

obtener los resultados utilizando los parámetros inerciales propuestos por De Leva (1996) para el cuerpo del lanzador y los parámetros inerciales del martillo masculino y femenino [Figura 1 (IAAF, 1988)]. Ha sido habitual en el análisis del lanzamiento de martillo asumir que el vector velocidad de salida de la bola del martillo, equivale a la velocidad del centro de masas de todo el martillo (Dapena, 2003). Sin embargo, el martillo está formado por la bola, un cable y un asa que van a modificar la posición del centro de masas, estando situado a 0.047 m y a 0.026 m en mujeres y hombres respectivamente (Figura 1), en relación al centro de la bola. Esta consideración metodológica es impor-

tante, ya que la salida del martillo se realiza tras un movimiento de rotación, en donde la velocidad del martillo va a ser igual a su velocidad angular por el radio de giro. Consecuentemente, el hecho de considerar al centro de la bola como el centro de masas del martillo aumentaría la distancia teórica alcanzable, ya que al estar el centro de la bola más alejado del eje de rotación que el centro de masas del martillo, su velocidad lineal sería mayor. Por ello, en este estudio se ha considerado la velocidad de salida del centro de masas del martillo.

Otra consideración metodológica realizada, ha sido ajustar al eje x del sistema de referencia inercial la dirección de salida del martillo. En el instante de

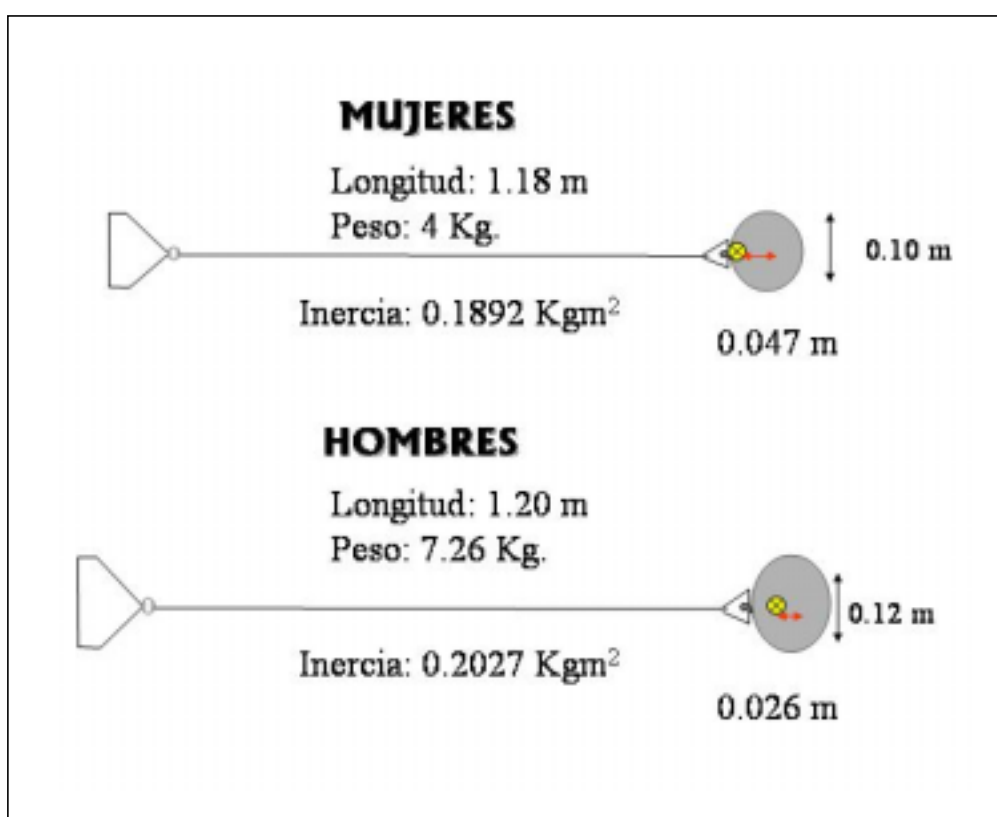


Figura 1. Parámetros inerciales del martillo femenino y masculino.

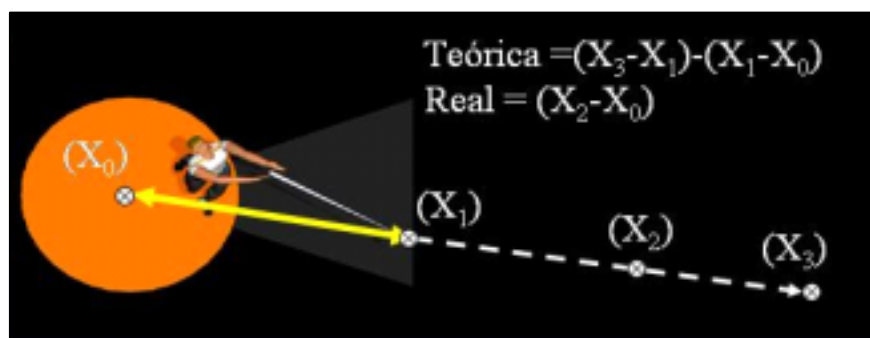


Figura 2. Ajustes realizados para el cálculo de la distancia teórica en función de la medida de la distancia real.

salida la posición que ocupa el centro de masas del martillo va a determinar su distancia teórica. Sin embargo, la medida real del lanzamiento se realiza desde el centro del círculo, por lo que habrá que restar la distancia en el eje x entre el punto de salida del martillo y el centro del círculo a la distancia teórica alcanzable por el martillo desde su posición de salida, tal como se muestra en la figura 2.

Asimismo, en la medida del alcance real del martillo, los jueces toman como punto de medida el lugar más cercano de la marca realizada por la bola en el suelo. Teniendo en cuenta este factor de medida, a la máxima distancia teórica alcanzable por el martillo se le restó $\Delta R = d_B / (2 \sin Q_L)$ donde d_B equivale al diámetro de la bola y Q_L es el ángulo entre el plano horizontal y el vector velocidad del martillo en el momento de tomar contacto con el suelo.

Resultados y Discusión

En primer lugar se muestran las diferencias encontradas en la velocidad resultante de la bola del martillo y la velocidad resultante del centro de masas del martillo (Tabla I) en donde se puede observar que existe un 2.5 % de diferencia en mujeres y 1.4% en hombres entre la velocidad de la bola y la

velocidad del centro de masas del martillo.

Las diferencias halladas muestran la necesidad de calcular el alcance teórico utilizando la velocidad del centro de masas del martillo ya que la utilización de la velocidad de la bola nos reportaría un alcance teórico superior.

En la Tabla III, se muestran todas las variables calculadas en el lanzamiento y la diferencia entre el lanzamiento teórico y real expresado también en porcentaje a la distancia teórica perdida, que se puede considerar como consecuencia de las resistencias aerodinámicas.

Los datos obtenidos muestran que sólo existe significación entre hombres y mujeres en la velocidad de salida de la bola siendo de 28.64 m/s para los hombres y 26.90 m/s para las mujeres, en el resto de las variables de producto, altura y ángulo de salida se han obtenido resultados similares.

En cuanto a las diferencias encontradas entre el máximo alcance teórico y el real, se puede observar que el porcentaje de disminución de la máxima marca teórica con respecto a la distancia real es de 13.23 % en mujeres y de 8.85 % en hombres, datos superiores a los obtenidos por Dapena y cols. (2003) y a Hubbard (1989), aunque ninguno de estos estudios nos aporta la velocidad del viento en la prue-

Tabla II. Diferencias encontradas entre la velocidad de la bola y el centro de masas del martillo, en mujeres y hombres, en el momento de salida del martillo.

Mujeres	VELOCIDAD BOLA (vt (r)) (m/s)	VELOCIDAD CG (vt (r)) (m/s)	
Mihaela Melinte	29,10	28,43	
Olga Kuzenkova	28,90	28,21	
Lisa Misipeka	26,90	26,20	
Katalin Divós	26,90	26,27	
Lyudmila Gubkina	26,70	26,03	
Simone Mathes	26,90	26,23	
MEDIA	27,57	26,90	2,5%
Hombres	VELOCIDAD BOLA (vt (r)) (m/s)	VELOCIDAD CG (vt (r)) (m/s)	
Karsten Kobs	29,43	29,05	
Zsolt Németh	29,10	28,70	
Vladislav Piskunov	29,00	28,60	
Tibor Gécsek	28,80	28,40	
Andrey Skvaruk	29,20	28,80	
Christos Polychroniou	28,70	28,30	
MEDIA	29,04	28,64	1,4%

ba. Teniendo en cuenta los factores que determinan la fuerza de arrastre (F_a) durante el vuelo del martillo (Figura 3), a pesar de que la velocidad de salida y el diámetro de la esfera es mayor en hombres que en mujeres esto valores inciden en una mayor F_a en el martillo de los hombres. Sin embargo, el hecho de tener mayor masa el martillo de los hombres, repercute en que aunque la fuerza de arrastre (F_a)

va a ser mayor la desaceleración del martillo va a ser menor, por ello le afectan menos a su trayectoria las resistencias aerodinámicas.

Conclusiones

El vector velocidad del martillo debe ser calculado en función de la velocidad de su centro de

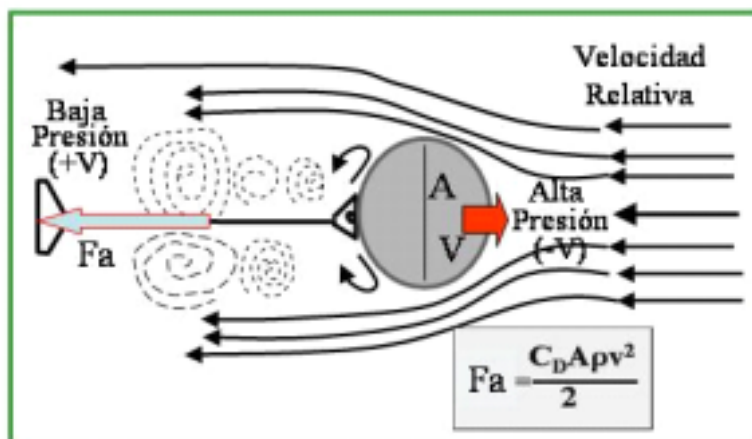


Figura 3. Representación gráfica de la Fuerza de arrastre (F_a) que surge como consecuencia del desplazamiento del martillo a través del aire, donde C_d se corresponde con el coeficiente de resistencia de una esfera, A , el área proyectada frente a la velocidad relativa del fluido, ρ la densidad del aire y v la velocidad (Kreighbaum y Barthels, 1999).

Tabla III. Resultados de la variables de producto y las diferencias entre la marca teórica máxima y la distancia real alcanzada por el martillo.

VARIABLES DE PRODUCTO DEL LANZAMIENTO							
Mujeres	ÁNGULO	VELOCIDAD CG	ALTURA	MARCA TEÓRICA	MARCA	DIFERENCIA	%
		($v_t (r)$) (m/s)	(m)	(CÍRCULO)	(m)	(?L) (m)	
Mihaela Melinte	40,65	28,43	1,65	87,30	74,21	13,09	16,76
Olga Kuzenkova	39,68	28,21	1,79	85,53	72,56	12,97	16,60
Lisa Misipeka	38,20	26,20	1,64	73,33	65,02	8,31	10,64
Katalin Divós	41,00	26,27	1,74	74,71	65,86	8,85	11,33
Lyudmila Gubkina	41,00	26,03	1,41	73,21	64,12	9,09	11,64
Simone Mathes	42,00	26,23	1,58	74,64	64,93	9,71	12,43
MEDIA	40,46	26,90	1,64	78,12	67,78	10,34	13,23
Hombres	ÁNGULO	VELOCIDAD CG	ALTURA	MARCA TEÓRICA	MARCA	DIFERENCIA	%
		($v_t (r)$) (m/s)	(m)	(CÍRCULO)	(m)	(?L) (m)	
Karsten Kobs	40,53	29,05	1,98	88,92	80,24	8,68	11,11
Zsolt Németh	39,00	28,70	1,60	86,48	79,05	7,43	9,51
Vladislav Piskunov	40,00	28,60	1,50	86,38	79,03	7,35	9,41
Tibor Gécsek	42,00	28,40	1,51	86,62	78,95	7,67	9,82
Andrey Skvaruk	39,00	28,80	1,40	86,63	78,80	7,83	10,02
Christos Polychroniou	42,02	28,30	1,80	85,39	78,31	7,08	9,06
MEDIA	40,43	28,64	1,63	86,74	79,06	7,67	8,85

masas y no de la bola del martillo.

La principal diferencia entre el lanzamiento de hombres y mujeres está en la velocidad de salida del martillo (26.9 m/s M, 28.7 H), no existiendo significación en el resto de las variables.

Las resistencias aerodinámicas son mayores en el martillo masculino debido a su mayor diámetro de la bola y mayor velocidad, sin embargo afectan menos a su alcance, siendo de un 13% en mujeres y un 9% en hombres sobre el alcance teórico, debido a la mayor masa del martillo masculino frente al femenino.

Bibliografía

1. **Abdel-Aziz, Y. I. L. and Karara, H. M.** (1971) Direct linear transformation from comparator coordinates into the object space coordinates in close range photogrammetry, ASP Symposium on Ciose Range Photogrammetry, Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry.
2. **Dapena, J., Gutiérrez-Dávila, M., Soto, V. M. y Rojaas, F.J.** (2003) Prediction of distance in hammer. throwing. *Journal of Sports Sciences*, 21, 21-28.
3. **Hubbard, M.** (1989). The throwing events in track and field. In *Biomechanics of Sport* (edited by C.L. Vaughan) pp.213-238. Boca Raton, FL: CRC Press.
4. **IAAF** (1988). *Handbook 1988-1989*. London: International Amateur Athletic Federation.
5. **Kreighnaum y Barthels** (1999) *Biomechanics a qualitative approach for studying human movement*. Needham Heights, M.A.: Allyn & Bacon.
6. **Schlichting, H.** (1960). *Boundary Layer Theory*. New York: McGraw-Hill.
7. **Wood, G. A. y Jennings, L. S.** (1979). On the use of spline functions for data smoothing, *Journal of Biomechanics*, 12, 477-479.