

# 169

## Simple + mente física



### Predicción física para el salto con pértiga

(23.septiembre.2016)

La altura máxima que un deportista puede alcanzar en el salto con pértiga depende de su preparación atlética (fuerza, velocidad...) y de su técnica para controlar su cuerpo durante el salto; por ello, no es lo mismo saltar como el niño de la figura izquierda que como el deportista de la figura derecha. Pero esa altura también depende, y bastante, de las leyes físicas.<sup>1</sup>

¿Cuál es la altura máxima que predice la Física para un salto con pértiga?



---

AVISO: El objeto de **Simple+mente física** no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

Se intentará presentar cada mes una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión anterior.

---

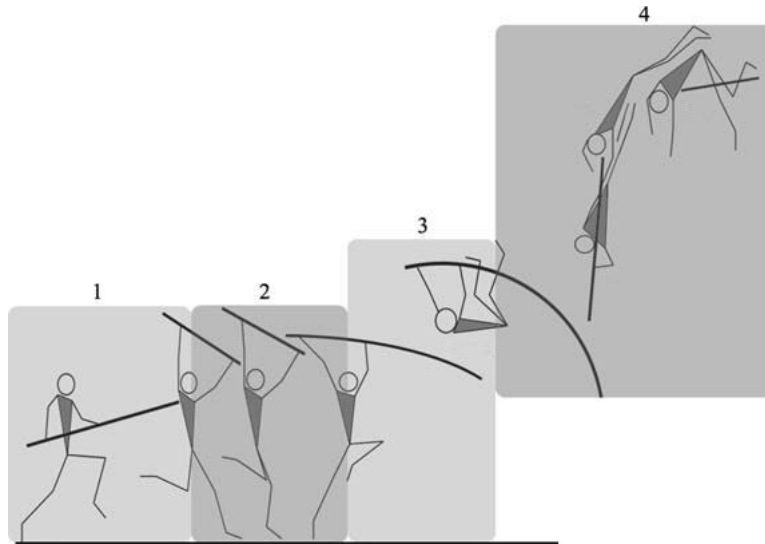
Rafael Garcia Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

---

1 Las ilustraciones de esta cuestión proceden del *Pole Vault Museum* (<http://artofthevault.com/pole-vault-museum/>).

**Resp.:** El objetivo del salto con pértiga es pasar por encima de un listón mediante la ayuda de una pértiga. De forma resumida y simplificada, las etapas que se ejecutan son las siguientes:<sup>2</sup> (1) El atleta, sosteniendo la pértiga, emprende la carrera. (2) Llega al lugar donde clava el extremo de la pértiga en un hueco del suelo, para despegar del mismo. (3) La pértiga se dobla y luego recupera su forma, al tiempo que se eleva verticalmente con el atleta agarrado a su extremo. (4) Finalmente, el atleta suelta la pértiga para pasar por encima de un listón horizontal sin derribarlo.



Aplicando la conservación de la energía es posible predecir la altura máxima que alcanzará el centro de masa (CM) de quien practica el salto con pértiga. El atleta, de masa  $m$ , tiene su CM a una altura  $h$  sobre el suelo, que tomaremos como origen de energía potencial gravitatoria. En la etapa (1), la energía total del atleta cuando va corriendo con una velocidad  $v$  es la suma de la energía potencial gravitatoria  $mgh$  y la energía cinética  $mv^2/2$ . En la situación ideal, durante la etapa final (4), el CM del atleta alcanza una altura máxima  $H$  y su velocidad es nula,<sup>3</sup> por lo tanto, su energía total será  $mgH$ . Si suponemos que no se disipa nada de energía entre la etapa inicial y la etapa final, obtenemos que el centro de masa del atleta se elevará hasta una altura máxima  $H=h+v^2/(2g)$ .

Como vemos, en el razonamiento anterior (idealizado), la altura  $H$  depende de la velocidad  $v$  del atleta y de la posición  $h$  de su CM respecto del suelo. Para obtener resultados numéricos concretos emplearemos los siguientes valores:  $h=1$  m (se suele considerar que el CM de un hombre se halla comprendido entre el 55 % y el 60 % de su altura),<sup>4</sup>  $v=10$  m/s (que es aproximadamente la velocidad media del velocista Usain Bolt en las carreras de 100 m y 200 m lisos) y  $g=9.8$  m/s<sup>2</sup> (valor promedio de la aceleración de la gravedad terrestre). Con estos datos, la altura que alcanzaría el CM del atleta sería  $H=1+10^2/(2 \times 9.8)=1+5.10=6.10$  m.<sup>5</sup> Como vemos, el resultado que se ha obtenido mediante la aplicación de las leyes de la Física está en muy buen acuerdo con los 6.16 m del récord mundial de salto con pértiga, alcanzado por Renaud Lavillenie en 2014 (tras superar los 6.14 m que detentó —¡durante casi 20 años!— Sergey Bubka desde 1994).<sup>6</sup>

2 La ilustración procede de J. Frère, M. L'Hermette, J. Slawinski, C. Tourny-Chollet, Mechanics of pole vaulting: a review, *Sports Biomechanics* 9 (2010) 123.

3 Realmente, en la parte más alta de su recorrido el atleta ha de poseer una (pequeña) velocidad horizontal que le permita pasar al otro lado del listón, evitando que caiga sobre el mismo.

4 De forma general puede decirse que el centro de masa de un hombre se encuentra en la pelvis, anterior al sacro, a la altura del ombligo aproximadamente. El centro de masa de las mujeres suele estar más bajo, a la altura de las caderas, puesto que su pelvis y muslos son más pesados, además de tener las piernas más cortas.

5 Las mujeres alcanzan menor velocidad y tienen su CM más bajo que los hombres, lo cual explica la menor altura a que asciende su CM.

6 El récord femenino es de 5.06 m, y lo detenta Yelena Isinbayeva desde 2009.

Este resultado se ha obtenido considerando condiciones idealizadas, tanto en lo que se refiere a la velocidad y centro de masa del atleta como a la no disipación de energía. Estos requisitos no se cumplen en los casos reales. A continuación se citan las principales circunstancias que contribuyen a reducir la predicción basada en leyes elementales de la Física.<sup>7</sup> Como el atleta ha de transportar la pértiga y luego acertar con su extremo en el hueco del suelo que la acoge justo en el momento de emprender el salto, su velocidad máxima es aproximadamente 5–10 % menor que cuando corre libremente. Por otra parte, se disipa en torno al 6–10 % de la energía que el atleta emplea en doblar la pértiga, y también se pierde parte de la energía elástica almacenada cuando la pértiga se endereza. Todos estos factores implican una disminución apreciable de la altura predicha aplicando simples principios físicos. Así es que debe haber otros factores que ayudan a incrementar la altura alcanzada en el salto. Sin pretender ser exhaustivos, a continuación se enumeran algunos de ellos:

- la posición del CM del atleta justo antes de emprender el salto se eleva (ligeramente) al levantar los brazos;
- en el momento de iniciar el salto, el atleta se propulsa verticalmente desde el suelo y, además, ejerce una fuerza para que la pértiga se doble un poco más;
- los avances en los materiales empleados para fabricar las pértigas (a base de fibra de vidrio o de carbono) han reducido notablemente su peso y mejorado sus propiedades elásticas, lo que permite al atleta correr más rápidamente y, sobre todo, optimizar el intercambio de energía entre el saltador y la pértiga; además, debido a su mayor flexibilidad, la pértiga tarda más tiempo en recuperar su forma, lo cual posibilita que el atleta disponga mejor su cuerpo para superar el listón;
- arqueando su cuerpo adecuadamente el atleta consigue que su CM pase unos centímetros por debajo del listón.<sup>8</sup>

En resumen, hemos visto que la conservación de la energía (que es una ley fundamental de la Física) aplicada a un caso ideal permite obtener una estimación razonable (en bastante buen acuerdo con el récord mundial) de la altura máxima que se alcanza en el salto con pértiga. Las diversas consideraciones aplicables a una situación real conducen a una reducción de la altura máxima ideal. Sin embargo, las características, técnicas y habilidades atléticas de los saltadores, así como las mejoras en el diseño de las pértigas, permiten superar alturas que rondan los 6 m para los hombres y los 5 m para las mujeres.

Miscelánea (frases, anécdotas, curiosidades...): La estrella de Belén. ¿Qué evento astronómico indujo hace 2000 años a los Tres Reyes Magos a emprender un largo viaje desde oriente hasta Judea? Recurriendo a antiguos registros astronómicos y a simulaciones de las posiciones de los cuerpos celestes correspondientes a fechas próximas al año 4 antes de nuestra era (¡que es cuando se estima que nació Jesús!), los científicos han propuesto diversas explicaciones para la estrella de Belén (mencionada muy brevemente en el Evangelio de san Mateo), que ha dado origen a la festividad de los Reyes Magos (también citados por san Mateo sin indicar cuántos eran ni de dónde procedían).

Los candidatos son varios eventos astronómicos que, por su singularidad, podrían considerarse el presagio de un gran suceso. Entre ellos, figuran los siguientes: una conjunción planetaria, un cometa, una nova, un orto heliaco, o, incluso, el avistamiento de Urano.

---

7 Para conocer más detalles sobre los diversos factores que influyen en el salto con pértiga, puede consultarse el siguiente artículo: J. Frère, M. L'Hermette, J. Slawinski, C. Tourny-Chollet, Mechanics of pole vaulting: a review, *Sports Biomechanics* 9 (2010) 123.

8 De forma similar (salvando las diferencias) a como está el centro de masa por debajo del listón en el estilo Fosbury de salto de altura.