

---

## PRINCIPIOS MECÁNICOS

---

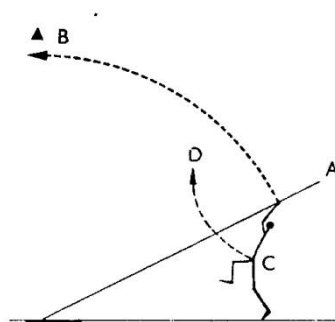
Por favor, no nos asustemos. Decía el filósofo francés, Edgar Morín que “*se puede comer sin conocer las leyes de la digestión, respirar sin conocer las leyes de la respiración, se puede pensar sin conocer las leyes ni la naturaleza del pensamiento, se puede conocer sin conocer el conocimiento*”. Creo que puede ser interesante e útil, desde el punto de vista pedagógico, conocer básicamente el comportamiento mecánico del sistema que conforman el saltador y la pértiga. Es más, creo que su desconocimiento [o su conocimiento esotérico, es decir, oculto, reservado a unos pocos] es uno de los motivos por lo que hoy en día tenemos pocos pertiguistas y pocos entrenadores de pértiga.

Hagamos, pues, un sencillo ejercicio mental y comprobemos qué sencillo es comprender la lógica de esta prueba y, por ende, sus elementos y fases técnicas, cuando conocemos por qué ocurre lo que ocurre. Pero, para nuestros atletas, seguiremos aplicando la máxima de Morín: “... *se puede conocer sin conocer el conocimiento*”. No les volvamos locos. No se olviden de que un campeón es también un artista.

### EL SALTO CON PÉRTIGA COMO UNA ACCIÓN DE DOBLE PÉNDULO

La capacidad de un pertiguista para salvar una determinada altura depende, en primer lugar, de su **momento angular total “L”** en torno a un eje transversal que pasa por el punto en que la pértiga está en contacto con el cajetín. En segundo lugar, depende de la **habilidad** que dicho atleta tenga para **conservar** y aprovechar debidamente ese **momento angular**. Una de las formulas que utilizan los biomecánicos para explicar los principios físicos que gobiernan esta especialidad hace referencia a la mecánica o principio del doble péndulo (Dyson, 1982; Katsikas, Papaiaiou, Pilanidis, & Kollas, 2003; Mercado, 2008). Al clavar la pértiga en el cajetín el saltador provoca un movimiento de bisagra que, en primer lugar, convierte el movimiento lineal que se llevaba antes de la batida en movimiento angular. Tras la batida surgen simultáneamente y de forma independiente, dos péndulos:

- a) Uno es el que afecta al **atleta** que pende colgado por sus manos de la pértiga, mientras que el otro...
- b) ... está formado a la vez por el **sistema pértiga-atleta** que se mueve sobre el extremo inferior de la pértiga apoyado sobre el cajetín.



*Ilustración 1.- Los dos péndulos que surgen tras clavar la pértiga. Extraído de (Dyson, 1982).*

El buen saltador de pértiga sabe coordinar esos dos péndulos y consigue lanzar finalmente su centro de gravedad por encima de la mano que tiene colocada más alta, justo en el momento en que la pértiga alcanza su posición casi vertical. Para ganar altura, el saltador no permanece pasivo tras la batida, sino que completa y potencia su

salto realizando una doble acción de tracción y de impulso de brazos, de manera enérgica y cuidadosamente sincronizadas y bien dirigidas, para elevar sus caderas y sus piernas por encima del listón (Dyson, 1982).

En mecánica newtoniana, la cantidad de movimiento angular “L” de una masa puntual, es igual al producto vectorial del vector de posición “r” (radio o brazo), del objeto en relación a la recta considerada como eje de rotación (la **pértiga**), por la cantidad de movimiento lineal “p” (se define la cantidad de movimiento lineal como el producto de la masa por la velocidad):

$$L = r \times p = \mathbf{r} \times (\mathbf{m} \times \mathbf{v})$$

*Es decir que, la cantidad de movimiento angular que es capaz de generar un saltador depende de la LONGITUD DE LA PALANCA que es capaz de vencer (agarre) por LA VELOCIDAD que el atleta es capaz de transmitir al sistema saltador-pértiga (despreciamos aquí la masa del sistema).*

Vemos, de nuevo, la importancia que tienen la velocidad de desplazamiento y el agarre en el resultado final.

¡En ausencia de momentos de fuerzas externas, el momento angular de un cuerpo rígido se conserva! Pero, después de la batida, un considerable momento rotatorio de sentido contrario al del sistema (producto del peso del atleta y de la distancia horizontal que lo separa del cajetín), hace inevitable una pérdida gradual de momento angular e incluso tiende a anularlo.

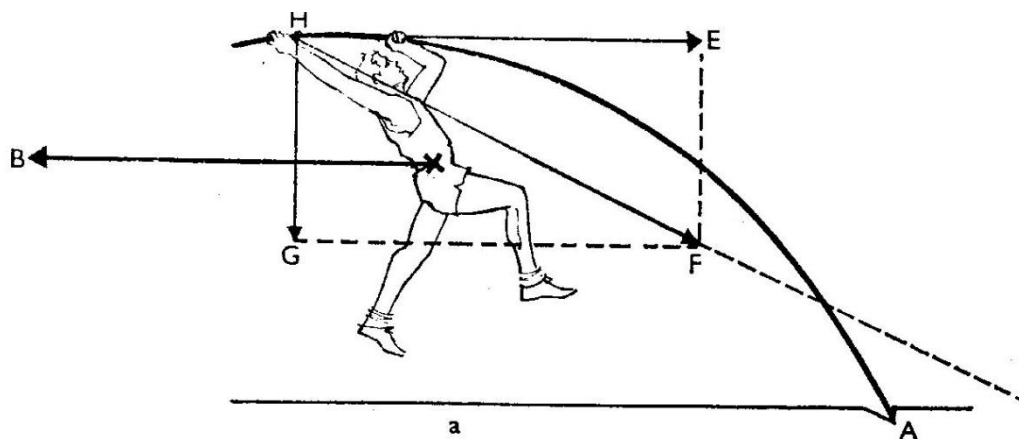


Ilustración 2.- Fuerzas que se generan en un salto con pértiga. Extraído de (Dyson, 1982).

Para conservar la mayor parte de esa energía cinética que el saltador pretende transmitir a la pértiga, éste deberá de afrontar con más o menos éxito una serie de movimientos (TÉCNICA) que facilitarán [en mayor o menor medida], o perjudicarán la transferencia de energía a la pértiga. Aunque vayamos por partes:

## A. PRIMER PÉNDULO

¿Qué puede hacer el saltador para incrementar el momento angular total del **sistema saltador-pértiga**? [Fijémonos en la fórmula de arriba]:

1. Aumentar el radio:
  - a) Estatura + longitud de brazos (Sainz, 1996, 2003, 2004, 2006)<sup>1</sup>
  - b) Aumentar el agarre
  - c) Pértiga más larga (¡cuidadín, eh!)
2. Aumentar su velocidad de aproximación (Sainz, 1996, 2003, 2004, 2006), pero sin que disminuya en los metros finales.
3. Transmitir el máximo de energía posible a la pértiga en el momento de la batida (“*Adelantamiento clavada – batida*”, en Sainz, 1996, 2003, 2004, 2006). La resultante de las fuerzas generadas (HF) debería de proyectarse más allá del punto A (ver Ilustración 4).
4. Batir en el lugar correcto para transmitir el máximo de energía a la pértiga y vencer así la palanca (la proyección vertical del agarre con el brazo derecho totalmente extendido).
5. Aumentar de peso... (eh..., no parece que esto pueda ser muy efectivo, ¿no? Salvo que esté relacionado con un incremento de nuestra velocidad.

## B. SEGUNDO PÉNDULO

¿Qué puede hacer el saltador para incrementar su momento angular?

- a. ... algunos de los anteriores y
- b. Mejorar su técnica de carrera (no sólo para incrementar su velocidad, sino para que su c. g. oscile lo menos posible durante su desplazamiento y se mantenga a una distancia óptima del suelo.
- c. Aumentar su c. g. en el instante de la batida (adelantamiento-clavada-batida, Sainz, 1996, 2003, 2004, 2006), pero tendrá que clavar la pértiga y saltar, o viceversa, sin frenar demasiado su velocidad lineal. A lo más que podrá aspirar es a...
- d. ... mantener en la nueva dirección del c. g. la velocidad que traía en su carrera de impulso (velocidad después de la batida, Sainz, 1996, 2003, 2004, 2006).
- e. ... para ello es importante optimizar el ángulo de proyección en la batida (principios biomecánicos comunes aplicados a los saltos).

*Al igual que para el primer péndulo, las acciones que realice el saltador deben reducir al mínimo los MOMENTOS DE INERCIA, tanto del sistema*

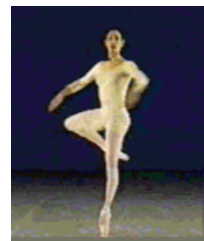
---

<sup>1</sup> Es interesante comparar las respuestas a estas preguntas con los factores que intervienen en el resultado en el salto con pértiga del profesor Ángel Sainz.

*saltador-pértiga (PRIMER PÉNDULO) durante la penetración en la fase aérea, como del parcial que afecta sólo al saltador (SEGUNDO PÉNDULO) en la transición que va desde el final del péndulo largo a la posición "1".*

---

El **MOMENTO DE INERCIA** de un cuerpo ( $I = m \times r^2$ ) indica su resistencia a adquirir una aceleración angular sólo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento.

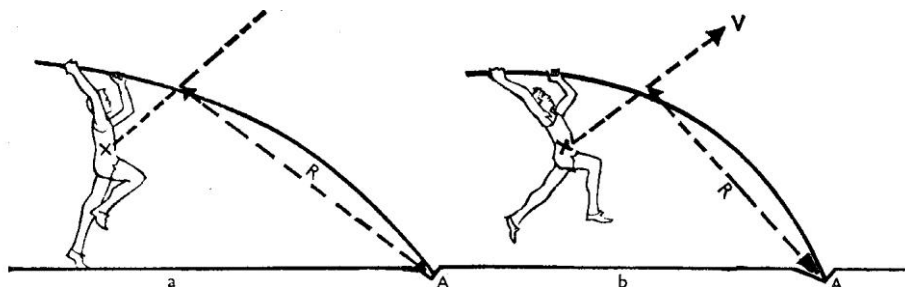


y

### C. CONSERVACIÓN DEL MOMENTO ANGULAR TOTAL

¿Qué puede hacer el saltador para conservar o intentar evitar la pérdida de momento angular total del sistema?

1. Reducir la distancia horizontal que le separa con el cajetín, a la vez que **disminuye el momento de inercia del sistema saltador-pértiga**. Esto se consigue:
2. ...si el saltador acerca su c. g. lo más posible al centro de rotación del sistema [efecto metrónomo], es decir, hay que bajar todas las masas parciales del cuerpo [El momento de inercia del sistema debe ser lo más pequeño posible desde que el atleta está en el aire (penetración) hasta un poco antes de llegar a la flexión máxima de la pértiga (agrupamiento)].
3. Lograr la flexión máxima de la pértiga [resultante de la velocidad después de la batida], que provoca una disminución del radio (R) del sistema. El pertiguista, tras despegar, continúa presionando y levantando la pértiga con ambos brazos (sobre todo, ahora, con su brazo izquierdo), a la vez que penetra hacia la pértiga con el pecho (no con la cadera).
4. Este efecto doble de elevación de la pértiga y penetración del saltador, aparentemente contradictorio, es posible gracias a que en la fase previa de batida, el atleta no ha dejado de mover la pértiga en todo momento: arriba-adelante, creciendo con sus dos manos (esta acción sólo es positiva mientras el atleta está apoyado en el suelo).



5. Elegir la dureza (Sainz, 1996, 2003, 2004, 2006) adecuada de la pértiga.
-

**La necesidad de reducir al mínimo los momentos de inercia de los dos péndulos: “sistema saltador-pértiga” y “sistema parcial saltador” en estas fases del salto, elimina la lógica aparente de que la pértiga se dobla por el choque frontal del saltador contra ella. Esta acción provocaría la reacción de fuerzas opuestas de la misma magnitud y sentido contrario al sistema “saltador-pértiga” (PRIMER PÉNDULO) y un aumento considerable del momento de inercia del sistema parcial “saltador” (SEGUNDO PÉNDULO).**

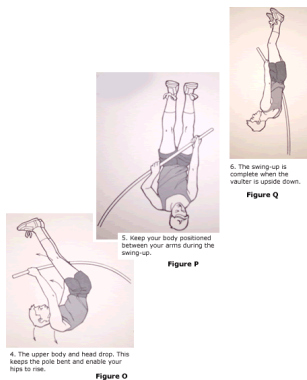
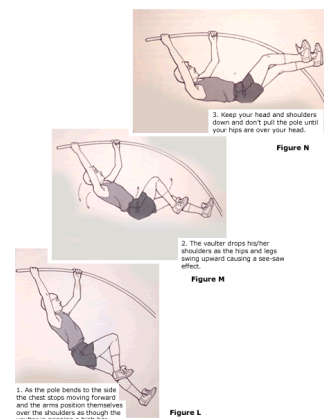
**D. REDUCCIÓN AL MÍNIMO DEL MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA PARCIAL “SALTADOR” DURANTE LAS FASES “AGRUPAMIENTO-EXTENSIÓN Y GIRO”**

¿Cómo y cuándo reducir al mínimo el momento de inercia del sistema parcial “saltador”?

El aumento de la flexión de la pértiga no se acaba con la finalización de la batida y la penetración, sino que una aceleración del cuerpo del saltador opuesta a la fuerza de la gravedad, la favorece. Esto sólo es posible si el saltador es capaz de sacar de las fases anteriores una **gran aceleración ascendente**. Es decir, el saltador debería incrementar su momento de inercia, pero de forma tal que su **velocidad angular** (velocidad del agrupamiento, para entendernos), **no disminuya tanto** como para impedirle colocar su c. g. lo más alto posible por encima de su agarre (sic).

A lo largo del proceso de reducción de la distancia horizontal existente entre el saltador y el cajetín (penetración), en un primer momento el/la atleta habrá mantenido la posición baja de su c. g., pero ahora debe de elevarlo para aprovechar al máximo el momento angular resultante y las propiedades elásticas de la pértiga. Es decir, lo que el pertiguista persigue es obtener el máximo de velocidad vertical posible.

Una reducción del radio de giro (en este caso, el péndulo formado por el sistema parcial “saltador”) se hace necesario, para aumentar de forma significativa la velocidad angular de este sistema. Lo difícil aquí, como tantas otras veces, es conciliar la teoría biomecánica con la experiencia práctica. O lo que es lo mismo: *cuándo* y *cómo* hacerlo. Centrémonos, por el momento, en las acciones que favorecerán la obtención de la máxima velocidad vertical posible.



1. La musculatura principal que participa en el agrupamiento (recto del abdomen, psoas-iliacos, sartorios...) tiene un estado de pretensión óptimo producto de las acciones realizadas en fases anteriores del salto.
2. No afrontar el agrupamiento como una posición pasiva, donde “esperar” algo, sino que prácticamente es un instante de una acción global que persigue elevar al máximo el c. g. del atleta, ya en el momento de máxima flexión de la

pértiga y hasta el momento culminante del franqueo. Es decir, el atleta no pretende agruparse, sino que lo que intenta es lanzar lo más alto que pueda su cadera por encima del agarre, sin solución de continuidad hasta la pérdida de contacto con la pértiga.

3. Durante el desdoblado de la pértiga, el c. g. del saltador debería situarse lo más pegado posible a los puntos de transferencia de energía (entre ambas manos del agarre) para mantener al mínimo posible los momentos de inercia que pudieran producirse, que influyen negativamente en la aceleración vertical.
4. ... si estas acciones se han ejecutado correctamente, la velocidad vertical del atleta se verá incrementada por el impulso que proporciona el enderezamiento de la pértiga.



Mientras más efectivamente logre el pertiguista aprovechar en vertical el momento angular total generado, mayor es el periodo de tiempo que permanecerá sobre el listón, con el peligro de tirarlo, por lo que más rápidos y habilidosos habrán de ser sus movimientos finales para el franqueo.