

SALTO VERTICAL

Podemos usar las expresiones con aceleración constante para analizar los saltos verticales.

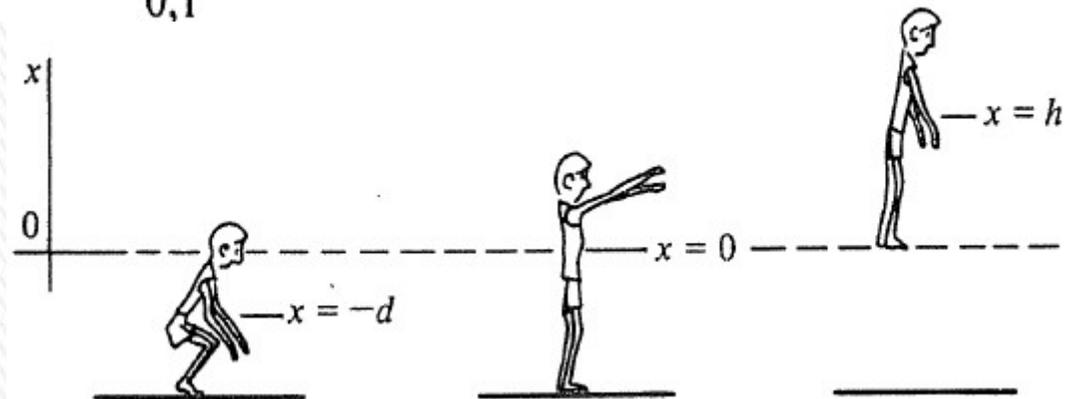
Distancias de aceleración d y alturas verticales h para varios animales. Todas las distancias están en metros.

	Distancia de aceleración (d)	Altura vertical (h)
Seres humanos	0,5	1,0
Canguro	1,0	2,7
Lemur (mono)	0,16	2,2
Rana	0,09	0,3
Langosta	0,03	0,3
Pulga	0,0008	0,1

La tabla muestra las alturas registradas para algunos animales en salto vertical. Para el hombre no se consideran los saltos con técnicas especiales que se utilizan en competencias (con récord mundial de 2,45 m del cubano Sotomayor), sino que se considera la elevación con respecto a su punto medio cuando el mismo se encuentra parado (ver figura)

Posiciones durante salto vertical:

- agachado con $v=0$;
- completamente extendido en el despegue, con $v=v_d$;
- altura máxima con $v=0$.
- La coordenada x indica la altura del punto medio de la persona.



SALTO VERTICAL- *Ejemplo: el saltamontes*

Los saltamontes y las langostas

(Acrididae) son capaces de alcanzar, en ausencia de rozamiento con el aire, unos 45 cm en salto vertical. A partir de este dato es posible encontrar la velocidad v_d con que necesita despegar del suelo.

El punto de máxima altura está caracterizado por una velocidad cero, ya que es el punto en el que el animal, que se movía con velocidad ascendente (positiva), se para momentáneamente justo antes de caer con velocidad descendente (negativa).

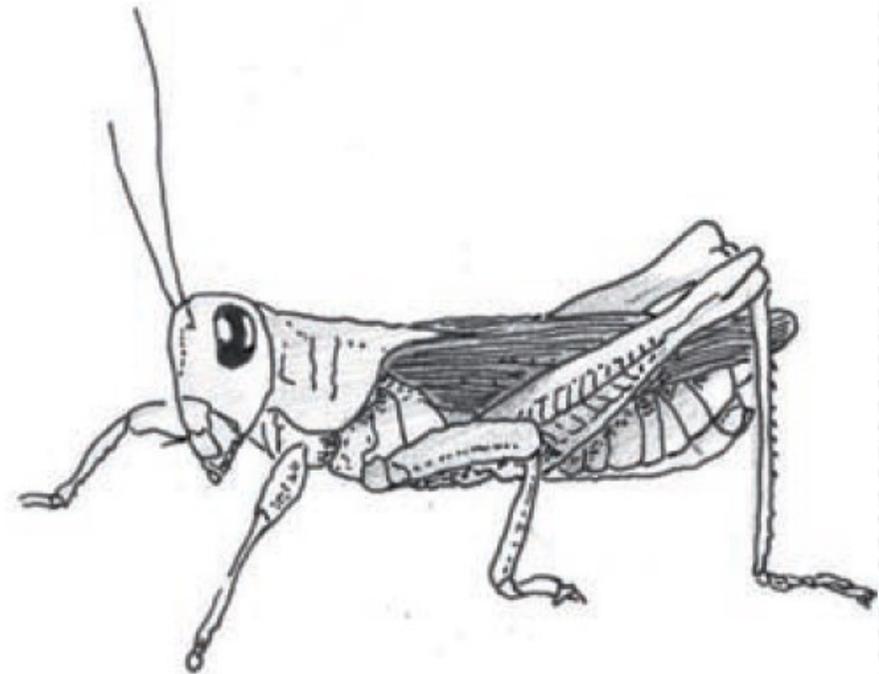
Es decir, $v = 0$ cuando $y = 0,45$ m. Como parte desde el suelo, $y_0 = 0$:

$$v = 0 = v_0 - gt$$

el tiempo en que alcanza la altura máxima vale:

$$t = \frac{v_0}{g} \quad \text{Sustituyendo:}$$

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 = v_0 \left(\frac{v_0}{g} \right) - \frac{1}{2} g \left(\frac{v_0}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2}{2g}$$



Saltamontes. Nótese los potentes músculos del fémur en las patas saltadoras

$$v_0 = \sqrt{2gy} = \sqrt{2(9,8)(0,45)} = 3,0 \text{ m/s}$$

Esta v_0 es la velocidad de despegue $v_d \approx 3,0$ m/s

SALTO VERTICAL- *Ejemplo: el saltamontes*

Para llegar a despegar con esta velocidad, el saltamontes ha tenido que flexionar sus patas y luego extenderlas imprimiendo así un movimiento que podemos tomar como uniformemente acelerado hacia arriba durante el tiempo que dura la extensión.

La longitud a lo largo de la cual el movimiento se acelera hasta llegar a la velocidad de despegue es del orden de magnitud de la longitud de las patas, unos $l = 3,0$ cm. Podemos calcular la aceleración que el saltamontes necesita imprimir a su cuerpo para llegar a dicha velocidad.

Suponemos que parte del reposo y llega a la velocidad a la v_d con una aceleración constante (o media) a :

$$v_d = a \cdot t$$

Por lo tanto: $t = \frac{v_d}{a}$

En ese tiempo se recorre una distancia l :

$$l = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}a\left(\frac{v_d}{a}\right)^2 = \frac{v_d^2}{2a}$$

$$a = \frac{v_d^2}{2l} = \frac{3,0^2}{2(0,030)} = 1,5 \times 10^2 \text{ m/s}$$

Entonces la aceleración de despegue es del orden de 150 m/s, es decir unos 15g (g es la aceleración gravitatoria)

SALTO VERTICAL en los animales

Muchos animales están especialmente dotados para el salto como modo de huir de los depredadores, de desplazarse o de alcanzar a sus presas.

En el salto en vertical, resulta que, las capacidades saltadoras son bastante independientes del tamaño.

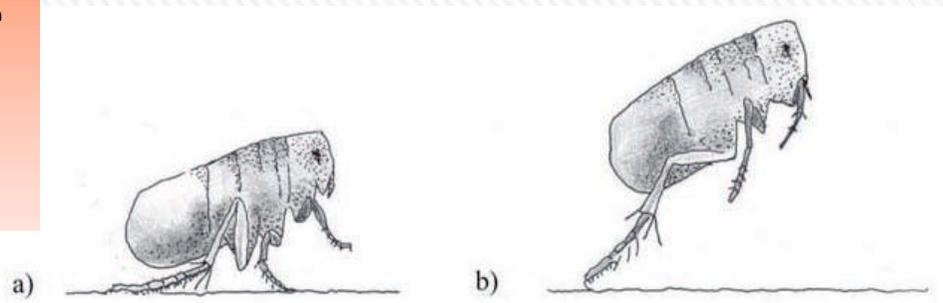
Para animales isométricos, es decir, que tienen la misma forma aunque de distinto tamaño, la velocidad de despegue que pueden alcanzar es la misma y, por lo tanto, si no hubiera rozamiento llegarían exactamente a la misma altura (esto lo veremos más adelante cuando tratemos energía).

Un pequeño canguro de 30 cm de altura puede llegar a saltar 2 metros, lo mismo que un canguro de más de 1,5 metros de altura.

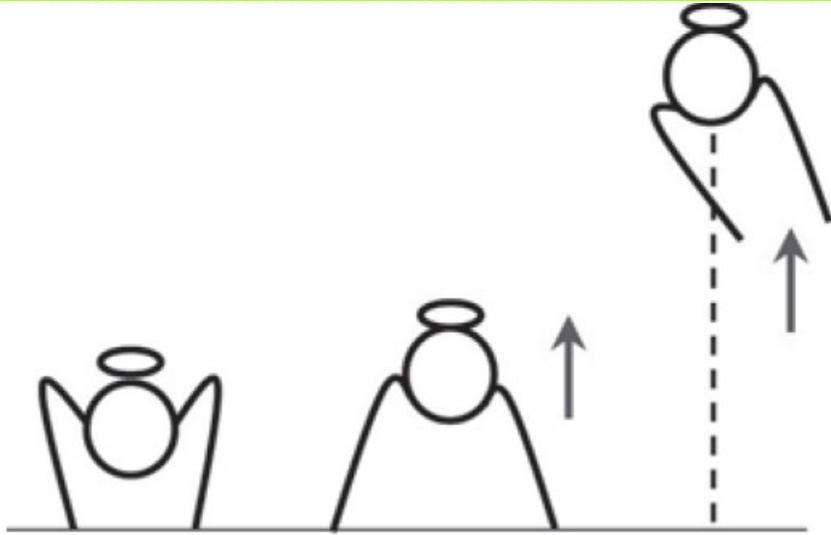
Animales de proporciones distintas pueden alcanzar velocidades de despegue distintas, pero su rango de variación no es muy grande.

Una pulga (*Siphonaptera*) del género *Pulex*, por ejemplo, puede llegar a saltar unos 25 cm en vacío (en aire alcanza algo menos de 20 cm debido al rozamiento que, para un animal tan pequeño, es muy grande), es decir, cerca de unas 200 veces su propia altura.

Esquema de una pulga (*Spilopsyllus*) de 1,5 mm de longitud. a) Un milisegundo antes de saltar. b) Durante el primer milisegundo de vuelo.



SALTO VERTICAL en los animales



Fases de flexión, despegue y vuelo de una pulga.

Una persona, por el contrario, salta en vertical apenas 60 cm , o $1,0\text{ m}$ para el caso de atletas...que es mucho menos que su propia altura.

Quizá esta afirmación resulte extraña, teniendo en cuenta que el récord de salto de altura se sitúa más allá de los $2,40\text{ m}$, pero en un salto atlético el centro de gravedad del atleta parte, en el momento del despegue, de una altura inicial superior a un metro, se toma carrera y se convierte parte de la velocidad de carrera en velocidad

vertical gracias a la recuperación elástica de los tejidos de las piernas y, además, la técnica del salto permite girar el cuerpo alrededor del listón y superarlo aunque se encuentre por encima del centro de gravedad del saltador.

En un salto en vertical puro, el único impulso es el que se da al flexionar y luego extender las piernas. Si tras el impulso inicial se mantienen las piernas extendidas, los pies difícilmente superarán los 60 cm de separación del suelo. El rozamiento con el aire, para el caso de una persona, es irrelevante, por lo que podemos calcular directamente la velocidad de despegue, unos $3,4\text{ m/s}$, no muy distinta de la alcanzada por el saltamontes.

SALTO VERTICAL en los animales

Sin embargo, el espacio y el tiempo de aceleración son mucho mayores para una persona que para un animal de pequeño tamaño, por lo que las aceleraciones que deben imprimir a su movimiento de impulso son muy distintas, como puede verse en la tabla.

Magnitud	Pulga	Escar. de resorte	Saltamontes	Rana	Gálago	Persona
Masa	0,5 mg	40 mg	0,44 g	10 g	200 g	70 kg
Altura de salto	25 cm	33 cm	45 cm	40 cm	220 cm	60 cm
Distancia de aceleración	0,075 cm	0,077 cm	3 cm	4 cm	30 cm	50 cm
Velocidad de despegue	2,2 m/s	2,5 m/s	3,0 m/s	2,8 m/s	6,6 m/s	3,4 m/s
Tiempo de despegue	0,0007 s	0,0006 s	0,02 s	0,03 s	0,09 s	0,29 s
Aceleración	3.200 m/s ²	4.200 m/s ²	150 m/s ²	98 m/s ²	72 m/s ²	12 m/s ²
Ac. en términos de g	330 g	429 g	15 g	10 g	7 g	1,2 g

SALTO VERTICAL en los animales

Las alturas de salto del cuadro anterior no corresponden a valores reales, que son bastante menores en los animales más pequeños debido al rozamiento con el aire, sino que son las que alcanzarían aproximadamente en ausencia de rozamiento. Notar las enormes aceleraciones que alcanzan los animales más pequeños para llegar, a lo largo de una diminuta longitud de aceleración, hasta velocidades de despegue de entre 2 m/s y 3 m/s .

Las aceleraciones, pueden acercarse a los 500 g , que es el límite aproximado de resistencia a la destrucción de los tejidos blandos y los órganos internos.

No podrían producir una mayor aceleración porque la organización interna de sus cuerpos se desmoronaría.

En los humanos, aceleraciones del orden o superiores a 10 g producen ya daños irreversibles.

Los campeones, en cuanto a aceleración de despegue, son los **escarabajos de resorte y la cigarra espumadora**.

El **escarabajo de resorte (*Elateridae*)** cuando se encuentra en posición invertida, con el abdomen hacia arriba, curva el dorso y pone en marcha un mecanismo de recuperación elástica que permite a algunos de ellos, como los del género *Athous*, saltar hasta 30 cm en aire desarrollando aceleraciones de despegue de más de 400 g .

La **cigarra espumadora (*Philaenus spumarius*)** tiene una longitud de unos 6 mm y es capaz de elevarse a alturas de entre 40 cm y 70 cm , generando en la fase de impulso aceleraciones del mismo orden que el escarabajo de resorte (unos 400 g).

SALTO VERTICAL en los animales

Videos de salto de escarabajo de resorte (*Elateridae*):

https://www.youtube.com/watch?v=I9TWO7cJA6Q&ab_channel=ScienceGal

https://www.youtube.com/watch?v=2rQ8tRK2Y5w&ab_channel=AntLab

Video de salto cigarra espumadora (*Philaenus spumarius*):

https://www.youtube.com/watch?v=XaViqneTq_E&ab_channel=ScienceVio



SALTO VERTICAL en los animales

Es llamativo el corto intervalo de tiempo del que disponen en la fase de despegue, del orden de una milésima de segundo.

Es imposible que una fibra muscular se contraiga tan rápidamente, por lo que en los animales saltadores más pequeños ha surgido evolutivamente un procedimiento para darse impulso distinto a la contracción muscular directa.

Se trata de un mecanismo de catapulta por el que se acumula la energía de contracción de los músculos en un dispositivo que actúa como un resorte y que, cuando se suelta, dispara al animal hacia arriba.

Es exactamente lo que ocurre cuando un arquero flexiona el arco utilizando su fuerza muscular durante un cierto intervalo de tiempo y luego éste recupera su forma original, en un tiempo mucho menor, impulsando la flecha con una velocidad que no podría nunca ser alcanzada mediante la acción directa del brazo.

El dispositivo utilizado por estos pequeños animales está constituido por una pieza de **resilina**, una proteína con propiedades elásticas parecidas a las del caucho, capaz de almacenar energía elástica en volúmenes diminutos; por ejemplo, el resorte de resilina de una pulga tiene una masa aproximada 4.000 veces menor que la masa total de la pulga.

Las cualidades elásticas de este caucho proteico, son comparables o superiores a las de los mejores cauchos sintéticos, pudiéndose alargar hasta varias veces su longitud en reposo de forma reversible, sin deformaciones permanentes.

SALTO VERTICAL en los animales

Animales como la pulga, el escarabajo de resorte o la espumadora acumulan energía comprimiendo lentamente la estructura de resilina con sus músculos y bloqueándola en la posición previa al salto mediante un mecanismo de sujeción.

Cuando este mecanismo se desconecta, la resilina actúa como un resorte y libera rápidamente la energía almacenada extendiendo las patas mucho más rápidamente de lo que haría la contracción muscular simple sin almacenamiento de resorte.

Los animales más grandes, incluidos todos los mamíferos, adquieren la aceleración necesaria para despegar mediante la acción simple de los músculos de las piernas.

El **gálago** (*Galago senegalensis*), un primate saltador de pequeño tamaño, o los **canguros**, alcanzan una altura superior a la del resto de los animales, debido a que su configuración corporal es tal que los músculos activados al saltar suponen una fracción de la masa total del cuerpo muy superior a lo habitual en el resto de los animales.

En las competencias de atletismo de salto alto, los atletas utilizan técnicas para sobrepasar alturas del listón, estas técnicas son: el salto de tijera, rodillo costal o ventral y el Fosbury.

En el enlace de abajo se muestran los distintos estilos.

https://www.youtube.com/watch?v=5C6IEa-Rsm4&ab_channel=AFPEspa%C3%B1ol