

Superman está sediento

Superman fue el gran héroe de mi infancia. Su incansable lucha contra las fuerzas del mal, su profundo sentido de la justicia, y por sobre todo sus extraordinarios poderes, despertaban en mi una admiración casi ilimitada. En mi inocencia, pensaba que no había hazaña que el hombre de acero no pudiese realizar, enemigo que no pudiera derrotar ni obstáculo que no pudiese vencer. Años más tarde descubrí con decepción que hasta los más grandes superhéroes están sometidos a las leyes naturales. Pero eso no fue todo, pues mi decepción siguió creciendo cuando comprendí que una simple e inocente bombilla para beber refrescos podía transformarse en un obstáculo insalvable, incluso para el mismo superman.

Imaginemos que el gran héroe de mi infancia se encuentra sumamente sediento y dispuesto a beber refresco de un vaso que contiene en su interior una bombilla recta muy larga, ubicada perpendicularmente a la superficie del líquido (ver la figura 1). Imaginemos, además, que la bombilla está hecha de un material muy resistente. ¿Existe alguna altura máxima hasta la cual puede ascender el líquido? En otras palabras, ¿qué longitud máxima debe tener la bombilla para estar seguros que la sed de superman será saciada? Para sorpresa de los admiradores del hombre de acero, la respuesta es que el refresco solo puede ascender hasta una altura límite de aproximadamente 10,3 metros (m), aún cuando la succión sea la máxima posible. No cabe duda que se trata de una altura bastante modesta... al menos parece modesta considerando los extraordinarios poderes de nuestro héroe. Imaginemos ahora que el hombre de acero emprende vuelo hacia la Luna, deseoso de comprobar si en ese lugar sus poderes le permiten elevar el refresco hasta una altura superior a 10,3 m . Si este fuera el caso, superman haría gala de una profunda ignorancia científica; además, no conseguiría elevar el refresco ni un solo centímetro. ¿Cómo podemos explicar todo esto?

Para disipar cualquier sombra de duda, quiero aclarar que la bombilla no está hecha de criptonita... tampoco estamos en presencia de algún maléfico plan ideado por Lex Luthor. A decir verdad, la explicación que estamos buscando es mucho menos cinematográfica y está relacionada con la presencia o ausencia de una atmósfera. En primer lugar, veamos lo que sucede en nuestro planeta, donde existe una atmósfera. Para ello, observemos la figura 1, que muestra un recipiente que contiene refresco y una bombilla recta en su interior.

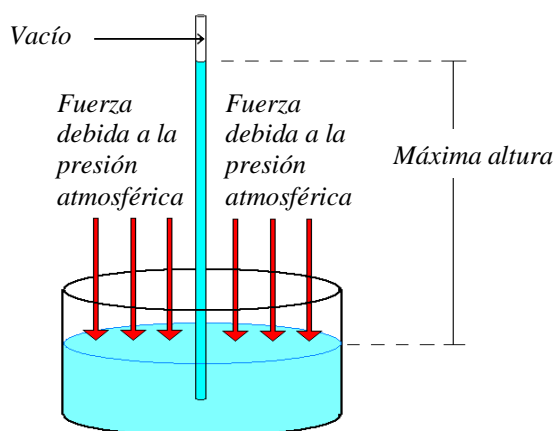


Figura 1. Un recipiente contiene refresco y una bombilla en su interior. Desde la parte superior de la bombilla se ha extraído todo el aire, y la columna de líquido asciende debido a la presión atmosférica ejercida sobre la superficie exterior del refresco.

Lo primero que debemos tener presente es que al absorber refresco, lo que superman o cualquiera de nosotros hace realmente es extraer o succionar el aire desde el interior de la bombilla. Como consecuencia de ello, el líquido subirá tanto más, cuanto mayor sea

la cantidad de aire extraído. Se concluye entonces que la máxima succión se conseguirá cuando en la parte superior de la bombilla exista un vacío perfecto, vale decir, cuando todo el aire halla sido extraído desde su interior.

Como es bien sabido, el aire que respiramos es un gas compuesto principalmente por nitrógeno y oxígeno. Esto significa que la atmósfera es de la misma naturaleza que el mueble que tiene en frente suyo o que cualquiera de los objetos que le rodean; todos ellos están conformados por átomos y moléculas. Para decirlo en forma muy simple, la diferencia radica esencialmente en cuan comprimidos o diluidos se encuentran dichos átomos y moléculas. Cuando la materia se encuentra muy comprimida, hablamos de un sólido; cuando está muy diluida nos encontramos frente a un líquido o un gas. Ahora bien ¿qué sucede cuando usted deposita una pila de libros sobre su cabeza? Pues que estos ejercen presión sobre usted. Lo mismo sucede con el aire que se encuentra encima suyo, salvo que en este caso la presión se ejercerá sobre cada punto de su cuerpo, y no sólo sobre su cabeza, puesto que nos encontramos sumergidos en un vasto y profundo océano de aire. Pero como el refresco y la bombilla también se encuentran sumergidos en dicho océano, ellos también experimentan los efectos de la presión atmosférica. Consecuencia inmediata de lo anterior es que en el vacío la presión atmosférica es nula, por la razón obvia de que en tales condiciones no existe atmósfera.

Observando nuevamente la figura 1 concluimos que mientras la superficie exterior del refresco está sometida a la presión atmosférica, la parte superior de la columna de líquido dentro de la bombilla no lo está, puesto que en esa región existe un vacío perfecto. Para decirlo en términos más técnicos, debido al vacío generado por la succión, la presión en el espacio situado sobre la columna de refresco es nula, en tanto que en el exterior de la bombilla la presión es del orden de una atmósfera (1 atm)¹. Por lo tanto, el efecto de la presión atmosférica consiste básicamente en empujar la superficie exterior del refresco hacia abajo, consiguiendo que el líquido ascienda hasta alcanzar la boca de superman. Si el hombre de acero dejara de succionar y retirara su boca, la presión interior se igualaría con la exterior, dando por resultado que los niveles de refresco sean los mismos tanto dentro como fuera de la bombilla. He aquí la razón por la cual debimos suponer, al comienzo de este artículo, que las paredes de la bombilla están echas de un material muy resistente; de no ser así, colapsarían debido a la succión generada por superman. El efecto es el mismo que se produce cuando tomamos un cartucho de papel y succionamos el aire de su interior.

Ahora entendemos porque asciende el refresco cuando lo absorbemos con una bombilla. Pero aún desconocemos la razón de que exista un límite para la altura que puede alcanzar. Y la respuesta es en verdad muy simple; la columna de líquido dentro de la bombilla tiene un peso; así, mientras más altura tenga la columna de refresco, mayor será su peso. En un comienzo, la fuerza exterior debida a la atmósfera supera ampliamente al peso de la columna, y por lo tanto el refresco comienza a subir. Sin embargo, llegará un momento en que la fuerza exterior se iguale al peso de la columna, lo que ocurre, naturalmente, cuando se alcanzan los $10,3 \text{ m}$. A partir de ese momento, el líquido no podrá continuar ascendiendo, por más grandes que sean los esfuerzos desplegados por el hombre de acero. Esto significa que más allá de los $10,3 \text{ m}$, el largo de la bombilla no tiene ninguna importancia porque el refresco jamás logrará alcanzar la boca de superman.

¹ Un simple ejemplo bastará para aclarar este punto: una superficie plana de un metro cuadrado sometida a una presión de 1 atm experimentaría una fuerza equivalente al peso de un objeto de 10.000 kilogramos, vale decir, 10 toneladas. También es importante aclarar que esta presión corresponde a la altura alcanzada por la columna de mercurio en un barómetro sometido a una temperatura de 0°C y a nivel del mar $\{ \text{tex} \} (g = 9,806 \text{ m/s}^2) \{ / \text{tex} \}$.

Quizá usted esté pensando que al aumentar o disminuir el diámetro de la boca de la bombilla también aumentamos o disminuimos el peso de la columna de refresco, y en consecuencia la altura que alcanza el líquido debiera variar; a mayor diámetro, mayor el peso de la columna de refresco y menor la altura alcanzada por esta, y recíprocamente. Si bien este argumento parece bastante convincente, lo cierto es que la altura de la columna de refresco es constante e independiente del diámetro de la bombilla... un resultado que en un primer momento suele producir desconcierto, pero que puede ser comprobado experimentalmente y también demostrado en forma rigurosa usando un poco de matemáticas (ver el apéndice).

Supongamos ahora que los gustos del hombre de acero se han vuelto un tanto exóticos, y en vez de refresco prefiere satisfacer su sed bebiendo mercurio. Entonces, la máxima altura que puede alcanzar la columna es de solo 76 centímetros (*cm*), o lo que es equivalente, 760 milímetros (*mm*). Y este resultado es de gran interés práctico para la construcción de los barómetros, que son los instrumentos destinados a medir la presión atmosférica. De entre la diversidad de barómetros que existen en el mercado, los más simples y también los más antiguos son los denominados *barómetros de mercurio*, cuyo funcionamiento se basa precisamente en el fenómeno que hemos estado discutiendo.

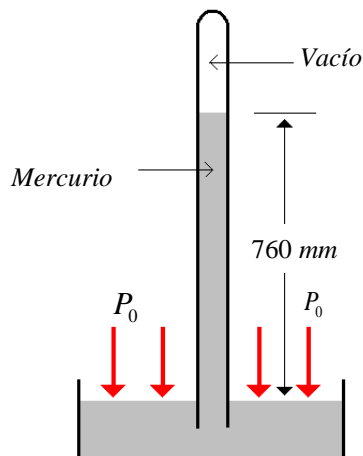


Figura 2. El barómetro de mercurio. Un tubo transparente lleno de mercurio y que está abierto en un extremo y cerrado en el otro, se introduce con el lado abierto hacia abajo en un recipiente con mercurio. Debido a la acción de la presión atmosférica P_0 , la columna dentro del tubo se estabiliza al alcanzar una altura de 760 mm por sobre el nivel exterior.

Para entender como opera un barómetro, imaginemos que reemplazamos la bombilla que aparece en la figura 1 por un tubo transparente que está cerrado en un extremo y abierto en el otro (ver figura 2). Supongamos ahora que vertemos mercurio dentro del vaso, y que tomamos el tubo transparente con el extremo abierto hacia arriba para luego verter mercurio en su interior hasta llenarlo completamente. Acto seguido, giramos rápidamente el tubo boca abajo y lo introducimos en el vaso, tal como ilustra a figura 2. Lo que ocurrirá es que la columna descenderá dentro del tubo hasta estabilizarse a una determinada altura por sobre el nivel exterior de mercurio, generándose un vacío en el espacio situado en la parte superior del tubo. Y sucede que la altura de la columna por sobre el nivel exterior será de 760 *mm*. Es decir, esta columna de 760 *mm* de altura es soportada por la presión atmosférica. Pero, como la altura alcanzada por la columna de mercurio es proporcional a la presión exterior, vemos que es posible diseñar una escala de presiones basada en este hecho. Si la altura es de 760 *mm* decimos que la presión es de 1 *atm*. Si la altura es el doble, esto es, 1520 *mm*, decimos que la presión es de 2 *atm*, y así sucesivamente. Ahora bien, como el mercurio es mucho más denso que al agua, una determinada columna de mercurio será mucho más pesada que una columna de agua de iguales dimensiones. Por lo tanto, si no queremos construir barómetros que superen los 10 *m* de altura, lo más práctico consiste en utilizar mercurio.

Luego de esta breve digresión técnica, volvemos el problema que nos ocupa, preguntándonos, ¿qué sucede en la superficie lunar? Pues bien, nuestro satélite natural no posee atmósfera, por lo cual el hombre de acero no tendrá aire que succionar desde el interior de la bombilla. Dicho en otros términos, sin importar cuan extraordinarios sean los poderes de nuestro héroe, las presiones dentro y fuera de la bombilla serán siempre iguales, y por lo tanto el refresco no podrá ascender ni un solo centímetro.

En suma, hemos descubierto que una simple bombilla puede transformarse en un obstáculo tan insalvable para el hombre de acero como la misma criptonita... después de comprender que hasta superman tiene sus imitaciones, la imagen del gran héroe de mi infancia jamás volvió a ser la misma, pero ello no ha impedido que hasta el día de hoy continúe disfrutando de las increíbles aventuras del hombre de acero.

¿Quieres saber mas?

Observando nuevamente la figura 1, llamemos h a la altura máxima de la columna de refresco dentro de la bombilla, medida respecto al nivel superior del líquido en el vaso, y sean ρ la densidad del refresco, P_0 la presión atmosférica y P la presión en el espacio situado en la parte superior de la bombilla. A partir de la ecuación fundamental de la estática de los fluidos llegamos a la siguiente relación:

$$P_0 = P + \rho gh \quad (1)$$

donde g es la aceleración de la gravedad, cuyo valor en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es $9,81\text{m/s}^2$. Sabemos que en el espacio situado sobre la columna de refresco existe un vacío perfecto, de modo que $P = 0$ y la ecuación (1) queda,

$$P_0 = \rho gh \quad (2)$$

Despejando la altura h resulta,

$$h = \frac{P_0}{\rho g} \quad (3)$$

Notemos que, tal como se había anticipado, la altura alcanzada por la columna de refresco no depende del diámetro o la forma de la bombilla. Observemos, además, que esta ecuación contiene el principio básico del funcionamiento de un barómetro de mercurio, porque la altura h de la columna de líquido es directamente proporcional a la presión P_0 . Ahora bien, supongamos que la presión atmosférica tiene un valor de 1 atm . En el sistema SI la presión se mide en *pascales* (Pa), por lo tanto, para expresar nuestro resultado en metros debemos usar el siguiente factor de conversión:

$$1\text{atm} = 1,013 \times 10^5 \text{Pa}$$

Supongamos que la densidad del refresco es igual a la del agua, cuyo valor es de 1000kg/m^3 . Con estos datos la ecuación (3) queda,

$$h = \frac{1,013 \times 10^5 \text{pa}}{1000\text{kg/m}^3 \times 9,81\text{m/s}^2} = 10,30\text{m}$$

Esta es la máxima altura que puede alcanzar la columna de refresco sobre la superficie de la Tierra. Como es de esperar, si en la ecuación (3) introducimos la densidad del mercurio, obtendremos una altura límite de 760 mm .

Jorge Pinochet I.

Licenciado en física, Universidad Católica de Chile