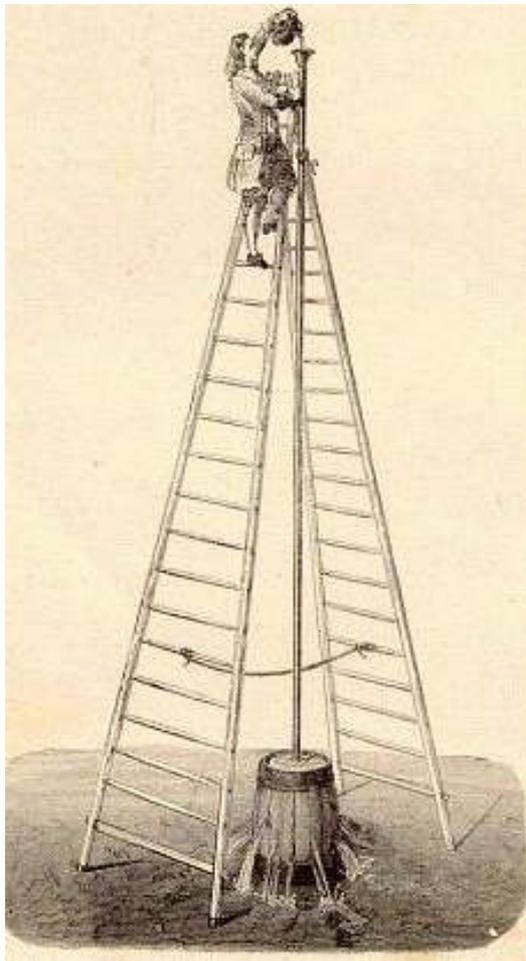


## El barril de Pascal

Pese a su carácter retraído y nostálgico, el científico francés Blaise Pascal (1623-1662) demostró poseer un gran sentido del espectáculo al realizar públicamente un experimento que dejó perpleja a su concurrencia. En la parte superior de un barril de vino repleto con agua, Pascal practicó un pequeño orificio por el cual introdujo un tubo hueco delgado de gran longitud, sellando de manera hermética la unión. Acto seguido, valiéndose de una jarra fue vertiendo aproximadamente un litro de agua dentro del tubo hasta conseguir que las juntas del barril reventaran (figura 1). En otras palabras, el experimento de Pascal probó ante la mirada atónita de su público que tan solo un kilogramo de agua (un litro)<sup>1</sup> puede producir el mismo efecto que sería esperable alcanzar mediante algunas toneladas de este líquido.



*Figura 1. El experimento de Pascal<sup>2</sup>.*

---

<sup>1</sup> Cabe hacer notar que un litro de agua “equivale” a un kilogramo, siempre y cuando el agua esté destilada.

<sup>2</sup> La imagen del experimento ha sido tomado de la obra “El mundo físico” de Amadeo Guillemin.

¿Cómo fue posible realizar semejante proeza? El secreto de este insólito experimento consiste en utilizar de manera ingeniosa una ley física descubierta por el propio Pascal según la cual la presión aplicada a una región de un líquido contenido en un recipiente indeformable, se transmite con el mismo valor a cada una de las partes de dicho líquido. Este es el denominado *principio de Pascal*, que constituye una de las piedras angulares de la hidrostática, que es aquella rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos en reposo. Este principio tiene diversas aplicaciones prácticas que, en general, se traducen en el diseño y construcción de mecanismos que permiten amplificar fuerzas. Como quedará en evidencia más adelante, lo que Pascal llevó a cabo con su experimento fue precisamente amplificar una fuerza.

Apliquemos entonces el descubrimiento del científico francés para comprender la razón por la cual las juntas del barril reventaron. Lo primero que debemos notar es que el principio de Pascal se refiere a la presión dentro de un fluido, y no a la fuerza ejercida por este. Es habitual confundir la presión con la fuerza, pues pese a que se trata de magnitudes físicas distintas, se encuentran íntimamente relacionadas. Aun cuando hay mucho que decir sobre este punto, para nuestros propósitos basta definir la presión como una medida de cuan concentrada se encuentra una fuerza. Vale decir, una misma fuerza puede ejercer diferentes presiones dependiendo del tamaño del área sobre la que actúa. Por tanto, si deseamos que una fuerza esté altamente concentrada, debemos reducir lo más posible la superficie sobre la cual se ejerce<sup>3</sup>. Aquellos que hemos padecido el pisotón de una mujer que lleva zapatos con taco aguja conocemos muy de cerca las dramáticas implicancias del concepto de presión. Para captar este punto consideremos una mujer de unos 53 kilogramos (53kg) que lleva zapatos taco aguja cuya base de contacto tiene un área de 1 centímetro cuadrado (1cm<sup>2</sup>). Cuando una mujer camina, puede llegar a poner cerca del 50% de su peso total sobre cada taco. Un cálculo bastante simple revela que la presión debida al taco aguja es aproximadamente 33 veces mayor que la ejercida por un elefante adulto, cuya masa es de casi cuatro toneladas (4.000kg), y que suponemos parado sobre sus cuatro patas. Esto significa que el pisotón de una menuda y delicada fémica puede causar mucho más daño que el de un elefante en edad adulta. ¡Imagine lo que sucedería si el pisotón fuera propinado por una fémica que no fuese ni tan menuda ni tan delicada! ¿Cómo se explica este sorprendente resultado? Pues simplemente por el hecho que el diámetro promedio de la pata de un elefante es de 38cm, de modo que la superficie correspondiente tiene un valor de 1.140cm<sup>2</sup>, vale decir, el área de la pata de un elefante es aproximadamente 1.140 veces la de un taco aguja (que es del orden de 1cm<sup>2</sup>); sin embargo, el peso de un elefante es alrededor de 68 veces mayor que el de una delicada fémica.

Recurriendo a un ejemplo menos glamoroso, si usted tiene la mala fortuna de encontrarse caminando sobre un lago congelado, y en medio de su aventura descubre que el piso comienza a resquebrajarse, debe recostarse cuidadosamente sobre el hielo, extendiendo la más posible su cuerpo, pues aun cuando su peso no cambia, al recostarse consigue distribuirlo sobre una superficie mayor, con lo cual ejercerá menos presión sobre la superficie de hielo, y correrá un riesgo bastante menor de que el hielo se rompa debajo suyo. El funcionamiento de cuchillos y tijeras se basa precisamente en aumentar la presión reduciendo la superficie de contacto. En suma, podemos afirmar que para aumentar la presión debida a una fuerza determinada, debemos

---

<sup>3</sup> Si consideramos una superficie plana  $A$  sobre la que actúa una fuerza de magnitud  $F$ , la presión  $P$  sobre dicha superficie vendrá dada por  $P = F/A$ . Vemos entonces que para una fuerza determinada, al disminuir  $A$ , aumentamos el valor de  $P$ , tal como es de esperar de acuerdo a lo que hemos discutido hasta aquí. También se observa que la fuerza resulta del producto entre la presión y el área, pues mediante una sencilla operación algebraica podemos despejar la fuerza obteniendo,  $F = P \times A$ .

reducir el área sobre la que actúa. Si por el contrario deseamos reducir la presión, entonces será necesario aumentar el área. Para que ponga a prueba sus conocimientos le sugiero que intente responder la siguiente pregunta: ¿en qué posición se debe colocar un libro sobre una mesa para que la presión sobre esta última sea mínima?

Regresando al problema que nos ocupa, recordemos que Pascal utilizó tan solo 1kg de agua (un litro) para reventar las juntas del barril. Luego de lo dicho hasta aquí, podemos comenzar a disipar una parte del misterio, pues una cosa es 1kg de agua derramado sobre una superficie de 60cm de diámetro, que corresponde a la tapa del barril, y otra muy distinta es el mismo kilogramo de agua depositado sobre el área interior del extremo del tubo cuyo diámetro es de apenas 1cm. En el primer caso la presión ejercida por el agua es muy pequeña, mientras que en el segundo es enorme, ya que se encuentra distribuida sobre una superficie diminuta. Pues bien, esto es precisamente lo que el ilustre científico francés pretendía conseguir al introducir el agua en un tubo angosto y de gran longitud.

Sin embargo, para aplicar el principio de Pascal no basta con que el agua ejerza una gran presión, sino que debemos conseguir que dicha presión actúe sobre el agua dentro del barril, y para lograr esto fue necesario embutir el tubo por la tapa superior, sellando de manera hermética la unión entre ambos. Si ahora recordamos que, de acuerdo al principio de Pascal, la presión aplicada a una región de un fluido se transmite con el mismo valor a cada una de sus partes, entonces la presión debida a la columna de agua en el extremo inferior del tubo se transmite íntegramente a cada punto dentro del barril, y en particular a sus tapas y paredes laterales. Si ahora centramos nuestra atención en la tapa superior del barril, lo cual simplifica enormemente la discusión por razones técnicas que no viene al caso mencionar, podemos imaginar dicha tapa como si estuviera compuesta por una gran cantidad de minúsculas áreas del tamaño de la superficie interior del extremo del tubo. ¿Cuántas áreas? Sucede que la superficie de una región circular es proporcional al cuadrado de su diámetro<sup>4</sup>. Por lo tanto, el área de la tapa del barril será del orden de  $60\text{cm} \times 60\text{cm} = 3.600\text{cm}^2$  lo que equivale a 3.600 áreas del tamaño del extremo del tubo<sup>5</sup>, cuya superficie es del orden de  $1\text{cm}^2$ . En estas condiciones, la fuerza total sobre la tapa del barril será 3.600 veces la fuerza ejercida por la columna de agua dentro del tubo (su peso), pues por el principio de Pascal sabemos que sobre cada una de las 3.600 regiones de 1cm de diámetro que contiene la tapa, se ejerce una presión igual a la que existe en el extremo inferior del tubo.

Por si aun no queda claro, lo que Blaise Pascal consiguió con su ingenioso experimento es transformar la modesta fuerza ejercida por un litro de agua en otra fuerza... ¡3.600 veces mayor! Razonando en forma análoga, si en vez de considerar la tapa superior del barril pensamos en sus paredes laterales, resulta fácil comprender por qué se reventaron las juntas. Ahora bien, como el agua dentro del tubo tiene una masa de 1kg, la fuerza que ella ejerce será equivalente a la requerida para sostener en nuestras manos 1kg de agua (un litro), mientras que la fuerza sobre la tapa equivale a la que sería necesaria para sostener... ¡3.600kg de agua, es decir, más de tres toneladas y media! Un resultado sin duda sorprendente, y que nos permite dimensionar el tremendo poder del descubrimiento de Pascal... Como dice un sabio refrán, más vale maña que fuerza.

---

<sup>4</sup> El área de una región circular viene dada por la fórmula  $\pi r^2 = \pi d^2/4$  donde  $r$  es su radio y  $d$  su diámetro. Por tanto, dados dos círculos de diámetros  $d_1$  y  $d_2$ , la razón entre sus áreas vendrá dada por:  $d_1^2 / d_2^2$ .

<sup>5</sup> Para obtener cifras redondas, aquí hemos despreciado el hecho que debemos restar el área del extremo del tubo a la superficie de la tapa superior del barril.

## ¿Quiere saber más?

Sea  $P_C$  la presión debida a la columna de agua, de masa  $m$ , en el lugar donde el tubo se une con la tapa superior del barril, y sea  $P_T$  la presión sobre dicha tapa. A partir del principio de Pascal sabemos que ambas presiones deben ser iguales<sup>6</sup>, de modo que,

$$P_C = P_T \quad \rightarrow \quad \frac{mg}{A_C} = \frac{F_T}{A_T}$$

donde  $A_T$  y  $A_C$  son las áreas de la tapa superior del barril y del extremo inferior del tubo, respectivamente, y  $F_T$  corresponde a la fuerza ejercida por el agua sobre la tapa. De la primera ecuación resulta,

$$F_T = \frac{A_T}{A_C} \times mg$$

Como el cociente entre  $A_T$  y  $A_C$  es del orden de 3.600, y  $m = 1\text{kg}$  se obtiene finalmente que,

$$F_T = 3.600 \times mg = 3.600\text{kg} \times g$$

Como es evidente a partir de esta ecuación,  $F_T$  equivale a la fuerza que sería necesaria para sostener en el aire un objeto cuya masa sea de 3.600kg.

*Jorge Pinochet I.  
Licenciado en física, Universidad Católica de Chile.*

---

<sup>6</sup> La igualdad de las presiones también puede inferirse recordando que en virtud de la ecuación fundamental de la hidrostática, la presión depende únicamente de la altura de la columna de agua, de modo que dos puntos situados a igual profundidad se encuentran a la misma presión.