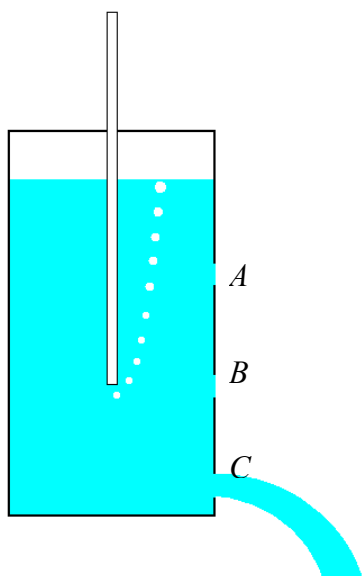


## El frasco de Mariotte

Una extraña mezcla de admiración y desconcierto se apoderó de mí la primera vez que observé un frasco de Mariotte. En un comienzo me sentí desorientado, incluso confundido, puesto que aquel modesto artefacto parecía desafiar ideas profundamente arraigadas durante mis años de estudio. A través de un pequeño orificio practicado en la base de un recipiente repleto de agua, emergía un chorro uniforme de líquido, vale decir, la corriente no perdía rapidez, pese al continuo descenso del nivel de agua (ver figura 1). Como si esto fuera poco, el frasco contenía otros dos orificios por los cuales no salía agua. ¿Porqué el chorro no pierde fuerza en la medida que desciende el nivel de líquido, tal como exige la ley de Torricelli? ¿Porqué no fluye agua por los restantes agujeros? ¿Acaso mis conocimientos de mecánica de fluidos estaban flaqueando? Tales fueron las preguntas que comenzaron a acosarme y que en un comienzo me sentí incapaz de responder. Sin embargo, luego de algunos minutos de reflexión, y después de invertir una buena dosis de esfuerzo, las respuestas comenzaron a surgir. Me sentí aliviado al comprender que la ley de Torricelli seguía vigente... mi alivio fue aun mayor al darme cuenta que mis conocimientos estaban a la altura de las circunstancias.

El frasco de Mariotte, llamado así en honor de su creador, el ilustre físico francés Adme Mariotte (1620-1684), es un artefacto sumamente simple que puede fabricar usted mismo sin mayor dificultad, usando materiales muy económicos y accesibles. La figura 1 ilustra lo esencial de este artefacto. Una recipiente con agua tiene tres pequeños agujeros laterales, *A*, *B* y *C*. Un tubo largo y delgado abierto en ambos extremos y cuya parte inferior se encuentra sumergida en el agua, atraviesa el recipiente en su parte superior, de tal forma que el lugar de unión entre el frasco y el tubo se encuentra sellado. Los únicos lugares en los cuales el recipiente está en contacto con el exterior son los tres agujeros y el extremo superior del tubo.



*Figura 1, el Frasco de Mariotte. Un recipiente con agua posee tres pequeños agujeros laterales, *A*, *B* y *C*. En su parte superior, el tubo lleva inserto un tubo cuyo extremo inferior está a la misma altura que el punto *B*. La unión entre el tubo y el recipiente se encuentra sellada (como recipiente puede usarse una botella de bebida desechable, el tubo puede ser una simple bombilla, y para sellar la unión basta un poco de silicona). Por *A* y *B* no emerge agua, mientras que por *C* el chorro de agua es uniforme.*

Antes de intentar explicar el funcionamiento del frasco de Mariotte, conviene decir algunas palabras acerca de la ley de Torricelli. Si usted practica un orificio en la base de un balde repleto de agua, notará que en la medida que desciende el nivel de líquido, disminuye la rapidez con la cual emerge el chorro (ver fig. 2). La razón de ello es que la presión en un fluido aumenta con la profundidad. Si esto último no le resulta evidente, piense en el balde con agua como si fuese una enorme piscina en la cual usted

se sumerge; cuanto más descienda en esta piscina, mayor será la columna de agua que tendrá encima suyo, y tanto mayor será el peso y la fuerza que ella ejercerá sobre usted. Por lo tanto, la presión también habrá de aumentar. Es importante hacer notar que la presión depende únicamente de la profundidad y no del movimiento horizontal. En otras palabras, si usted se encuentra sumergido a una profundidad  $h$ , o para ser más precisos, si su cabeza se encuentra a una distancia  $h$  de la superficie del agua, la presión sobre su cabeza no dependerá de si está ubicada en el extremo derecho, en el extremo izquierdo o en el centro del recipiente; la presión sobre su cabeza sólo dependerá de la profundidad  $h$ . Ahora bien, suponiendo que en un comienzo la distancia entre el nivel de líquido y el orificio es, por decir algo, 30 centímetros, en la medida que el nivel de líquido descende, dicha distancia se acorta, de modo que la presión a la altura del orificio disminuye. Como consecuencia de ello, el chorro de agua se debilita, es decir, la corriente pierde rapidez. Esta última frase resume lo esencial de la ley de Torricelli: la rapidez de salida del chorro de agua es proporcional a la distancia medida en forma vertical entre el nivel de líquido y el orificio (ver el apéndice).

Ahora que conoce la ley de Torricelli, quizá le sea más fácil entender aquella mezcla de admiración y desconcierto que me invadió al observar por primera vez el frasco de Mariotte, pues, como ya sabemos, el chorro de agua que emerge de aquel no se debilita, aun cuando el nivel de agua descende. ¿Cómo se explica este curioso fenómeno? Para responder a esta pregunta, examinemos nuevamente la figura 1, e imaginemos que en cada uno de los tres agujeros existe una llave de agua que se encuentra cerrada. Si abrimos simultáneamente las tres llaves, comenzará a fluir agua hacia el exterior, pero en la medida que el nivel de líquido descende, el aire situado en el espacio superior dentro del frasco comienza a rarificarse, es decir, su densidad disminuye y por lo mismo la presión descende en esa región. Lo interesante del caso es que la disminución de la presión en esa zona es la suficiente para garantizar que a la altura del extremo inferior del tubo la presión sea igual a la atmosférica. Y cuando ello sucede, comienzan a filtrarse a través del tubo pequeñas burbujas de aire que ascienden hasta llegar al espacio situado en la parte superior, dando por resultado que la presión en  $B$  permanezca constante e igual a la atmosférica. Por lo tanto, la presión ejercida por la atmósfera sobre  $B$  es la misma que la ejercida por el agua, lo que da por resultado un equilibrio de fuerzas en ese punto. Usando el mismo argumento podemos concluir que a través del agujero  $A$  tampoco puede fluir agua porque en ese punto la presión es inferior a la atmosférica (si ascendemos en un fluido la presión disminuye), lo que trae como consecuencia que por este orificio también se filtren burbujas de aire que comienzan a subir, pues la presión atmosférica supera a la presión ejercida por el líquido. Por lo tanto, en el punto  $A$  todo sucede como si el aire se estuviese vertiendo dentro del frasco.

Ahora sólo falta explicar el flujo uniforme que emerge desde  $C$ . Examinando una vez más la figura 2 observamos que en tanto el nivel de agua se mantenga por sobre el punto  $B$ , el espesor de la columna de agua situada entre  $B$  y  $C$  permanece constante, y puesto que la presión en  $B$  no varía, lo mismo ha de ocurrir en  $A$ . En consecuencia, el chorro de agua que emerge por el orificio  $C$  debe ser uniforme.

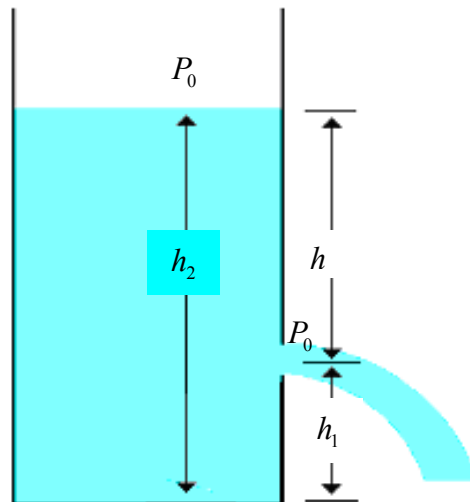
A continuación, querido lector, quisiera plantearle una pregunta que espero intente responder por sí mismo antes de continuar con la lectura: ¿Cómo podemos modificar la rapidez de salida del agua por  $C$ ? Específicamente ¿Qué debemos hacer si deseamos aumentar o disminuir la rapidez con la que emerge el chorro? Dedique unos minutos de reflexión a encontrar la solución... no desista tan fácilmente. ¿Ya encontró la respuesta? De ser así habrá descubierto que para aumentar la rapidez del chorro sólo debe desplazarse el tubo hacia arriba, de modo que su extremo inferior ascienda, porque

de esta forma aumenta el espesor de la columna de agua entre dicho extremo y el orificio  $C$ . Si ahora desea disminuir la rapidez, deberá bajar el extremo del tubo.

Después de la incertidumbre y la confusión que me invadieron en aquel primer encuentro con el frasco de Mariotte, mi afecto por este notable artefacto ha crecido día a día... con el correr de los años, el artilugio ideado por Mariotte me ha permitido pasar incontables horas de esparcimiento y diversión en compañía de amigos, colegas y alumnos, al punto que este ingenioso invento se ha convertido en un compañero casi inseparable.

### ¿Quiere saber más?

Para deducir la ley de Torricelli, comenzaremos por escribir la ecuación de Bernoulli para la situación ilustrada en la figura 2. Es fácil advertir que la presión sobre el nivel de agua es la misma que en el agujero, es decir, en ambos lugares la presión es igual a la atmosférica, que hemos designada como  $P_0$  en la figura.



*Figura 2. Un chorro de agua escapa por un pequeño agujero practicado en la parte inferior de un recipiente. La distancia entre el nivel de agua y el agujero es  $h$ . Como la presión en el líquido es proporcional a la profundidad, y dado que la distancia  $h$  disminuye en la medida que el líquido desciende, la presión en la salida del agua también disminuye, provocando que la rapidez con la escapa el chorro se reduzca con el transcurso del tiempo.*

Sea  $\rho$  la densidad del agua. Llamemos  $v_1$  a la rapidez con que emerge el chorro por el agujero situado a una altura  $h_1$ , y sea  $v_2$  la rapidez con que desciende el nivel de agua que se encuentra a una altura  $h_2$ . Luego, la ecuación de Bernoulli se escribe como:

$$P_0 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = P_0 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad (1)$$

Eliminando  $P_0$  en ambos miembros de (1) y dividiendo por  $\rho$ ,

$$g h_2 + \frac{1}{2} v_2^2 = g h_1 + \frac{1}{2} v_1^2 \quad (2)$$

Dado que el agujero lateral es muy pequeño, la rapidez con que emerge el chorro es mucho mayor que aquella con que desciende el nivel del agua, de modo que esta última rapidez es despreciable y podemos reescribir la ecuación (2) en la forma,

$$gh_2 = gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 \quad (3)$$

Despejando  $v_1$  resulta,

$$v_1 = \sqrt{2g(h_2 - h_1)} \quad (4)$$

Finalmente obtenemos la ley de Torricelli,

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

Es importante enfatizar que la rapidez de salida del chorro solo depende de la distancia vertical  $h$  entre el nivel del agua y el agujero.

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