



Centenario
100 años
2003

XXIX REUNIÓN BIENAL DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE

CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

Madrid, 7 al 11 de mayo de 2003

Resúmenes de las Comunicaciones

Volumen II



Editores:
José Vezquez Martínez
Antonio Dobado González
Juan Pedro Sánchez Fernández

Edita: Real Sociedad Española de Física
Avda. Complutense, s/n – 28040 Madrid (España)
<http://www.ucm.es/info/rsef>
e-mail: rsef@fis.ucm.es

ISBN: 84-688-2573-5 (Volumen II)

Depósito Legal: M-30630-2003 (Volumen II)

Imprime: Aula Documental de Investigación (ADI)
C/ Martín de los Heros, 66 – 28008 Madrid (España)

Vaciado de un depósito: Ley de Torricelli y coeficiente de descarga

Beléndez, A.*; Beléndez, T.; Hernández, A.; Márquez, A. y Neipp, C.

Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Universidad de Alicante, Apartado 99, 03080 Alicante
* E-mail: agosto@dfists.ua.es

I. INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones de la ecuación de Bernoulli para el flujo estacionario y no viscoso de un fluido incompresible es el vaciado de un depósito grande lleno de líquido a través de un orificio pequeño practicado en una de las paredes del mismo¹. En este caso la velocidad de salida es igual a la que tendría si cayese en caída libre desde una altura H igual a la distancia entre la superficie libre del líquido y la posición del orificio. Este resultado se conoce como ley de Torricelli y permite obtener el tiempo de vaciado. Sin embargo, este resultado es aproximado pues en el proceso de vaciado del depósito hay que tener en cuenta otros factores². En este trabajo se presenta una experiencia de laboratorio sencilla para estudiar el vaciado de un depósito a través de un pequeño orificio practicado en la pared lateral del mismo. Midiendo el tiempo de vaciado para distintas alturas H se comprueba que la ley de Torricelli no proporciona el resultado correcto lo que permite introducir y analizar las causas de esta discrepancia.

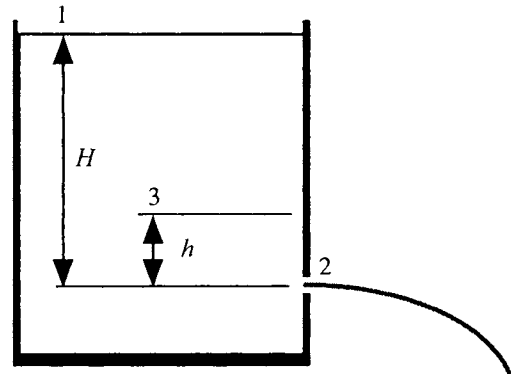


Figura 1: Vaciado de un depósito

II. TEORÍA

La Figura 1 muestra un depósito de sección transversal A_1 , que se está vaciando a través de un orificio de sección A_0 . A causa de la convergencia de las líneas de corriente cuando se aproximan al orificio, la sección transversal de la corriente continúa disminuyendo durante un pequeño recorrido fuera del depósito. Esta área de la sección transversal mínima se denomina sección contraída o vena contracta. La ecuación de Bernoulli, aplicada a los puntos 1 (en la superficie libre) y 2 (centro de la vena contracta) proporciona la velocidad de salida:

$$v_2 = \sqrt{2gH} \quad [1]$$

Pero ésta es la velocidad teórica, ya que se desprecian las pérdidas entre los puntos 1 y 2 debidas a la viscosidad. La velocidad real v_a puede escribirse:

$$v_a = C_v \sqrt{2gH} \quad [2]$$

siendo $C_v = v_a/v_2$ el coeficiente de velocidad. El gasto real del orificio es el producto de la velocidad real en la vena contracta por el área del chorro. El cociente entre el área A_2 del chorro en la vena contracta y el área del orificio A_0 es el coeficiente de contracción C_c . Entonces el gasto real es:

$$Q_a = A_0 v_a = C_v C_c A_0 \sqrt{2gH} = C_d A_0 \sqrt{2gH} \quad [3]$$

siendo $C_d = C_v C_c$ el coeficiente de descarga.

A partir de Q_a es posible determinar el tiempo necesario para bajar la superficie libre del líquido una cierta altura. Aunque la ecuación de Bernoulli sólo es aplicable a régimen permanente, si la superficie libre baja lentamente, el error al usar la ecuación de Bernoulli es despreciable. El tiempo de vaciado t entre los puntos 1 y 3 de la Figura 1 es³:

$$t = \frac{2A_1}{C_d A_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{H} - \sqrt{h}) \quad [4]$$

III. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Como depósito se ha utilizado una probeta graduada de plástico de 2 litros, y se ha practicado un orificio circular en la pared lateral. El diámetro de la sección transversal de la probeta es $d_1 = 80.00 \pm 0.05$ mm y el espesor de la pared es 3 mm. En el orificio se ha colocado un tubo corto de plástico de pared delgada de sección circular y se han analizado dos situaciones (Figura 2): (a) tubo de igual longitud que el espesor de la pared del depósito (3 mm) y (b) tubo corto saliente ($L = 7.5$ mm). El diámetro del orificio del tubo de salida es $d_0 = 4.30 \pm 0.05$ mm. Se han determinado los tiempos de vaciado en función de la altura H y para una altura h fija (4.3 cm).

La representación gráfica de t en función de $H^{1/2}$ permite ajustar una recta por mínimos cuadrados (Figura 3) y de su pendiente, y de la ecuación [4], se ha calculado el coeficiente de descarga, para el que se han obtenido los valores $C_d = 0.77$ y $C_d = 0.84$ para los casos (a) y (b), respectivamente. En primer lugar se observa como es fácil verificar experimentalmente la linealidad de la ecuación [4], es decir, que el tiempo de descarga es función de $H^{1/2}$. En segundo lugar se comprueba como C_d no es 1 y, por tanto, la ley de Torricelli no proporciona la velocidad real de salida. Por último, se concluye también que el tiempo de vaciado, y por tanto C_d , son función del tipo de orificio.

Referencias

- ¹ P.A. Tipler, Física para la Ciencia y la Tecnología, Vol. 1 (Reverté, Barcelona, 1999).
- ² R. Feynman, R.B. Leighton y M. Sands, Física, Vol. 1 (Addison-Wesley, México, 1987).
- ³ V.L. Streeter y E.B. Wylie, Mecánica de los Fluidos (McGraw-Hill, México, 1987).

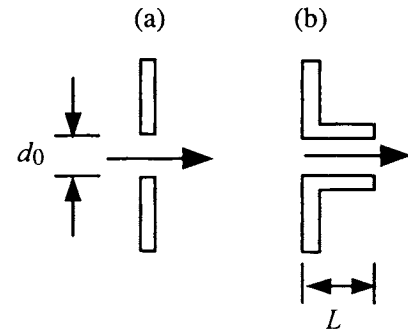


Figura 2: Tipos de orificios de salida analizados: (a) Liso en la pared, (b) tubo corto saliente

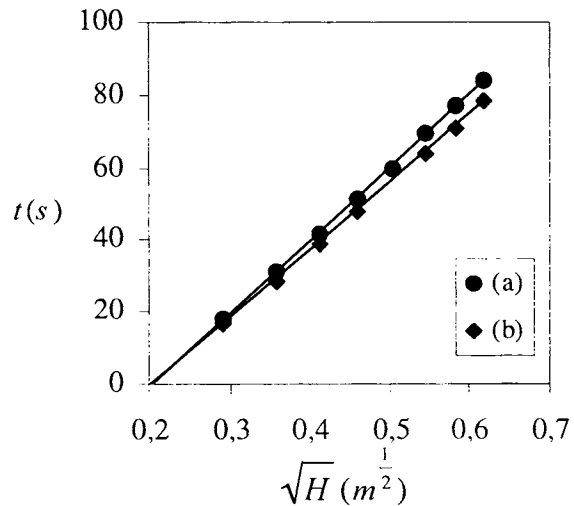


Figura 3: Tiempo de vaciado en función de $H^{1/2}$ para los dos orificios considerados