

# VIVE LA CIENCIA

*Experimentos científicos. Vol. II*

*2<sup>a</sup>. Edición*

*Martín D. Mundo Molina*



— Colección Universitaria Letras sin papel —

### **Martín D. Mundo Molina**

Doctor en Ingeniería Hidráulica. Fue investigador del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Ha impartido cursos académicos en la uABC (Baja California), UNAM (Morelos), UNACH y como profesor visitante en el ITCMS (Puebla) y diversas universidades privadas. Ha participado como ponente en USA, Canadá, España, Italia, Pakistán, Tailandia, Uruguay, Costa Rica, Cuba, Chile y Perú. Ha escrito cuatro libros: «Tecnologías alternativas en hidráulica», «Vive la ciencia volumen I», «Métodos empíricos para estimar la velocidad de infiltración en suelos agrícolas y cuencas hidrológicas pequeñas» (inédito), y «Manual de construcción de un colector de agua de lluvia» (inédito). Tiene en su haber más de 70 publicaciones a nivel nacional e internacional y dos patentes en trámite ante el IMPI. Fue miembro del SNI (2002-2006). Actualmente es miembro del Sistema Estatal de Investigación del COCYTECH en Chiapas. Realiza sus actividades en el Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNACH. Obtuvo el Premio Mundial de Ingeniería en 2010 (ONU). En junio de 2011, el Premio Estatal de Agua y Medio Ambiente (Chiapas). En diciembre de 2011, el Premio a la «Excelencia» del Consejo de Cultura Frailecano en Chiapas. En Mayo de 2013, recibió el Energy Global Award del Gobierno de Austria. El 25 de junio de 2013, el «Premio distinción Especial» por la LXV Legislatura del H. Congreso del Estado de Chiapas. El 1 de julio de 2013, la Medalla al Mérito «Ing. Miguel Lomelí Herrera 2013» del Colegio de Ingenieros Civiles de Chiapas. En diciembre de 2013 obtuvo el Premio Chiapas en Ciencias, el 1 de julio de 2014 la medalla al Mérito Académico del Colegio Chiapaneco de Ingenieros Civiles Siglo XXI y en septiembre de 2015 obtuvo el Reconocimiento al Mérito Estatal de Investigación Científica del COCYTECH.



VIVE LA CIENCIA

Experimentos científicos. Volumen II

2<sup>a</sup>. Edición

Colección eBooks

*Letras sin papel*

UNACH, 2016

2<sup>a</sup>. Edición

# VIVE LA CIENCIA

*Experimentos científicos*

Vol. II

**MARTÍN D. MUNDO MOLINA**



VIVE LA CIENCIA. *Experimentos científicos*

Volumen II



2016, Segunda edición.

Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

ISBN Electrónico : 978-607-8459-31-5

Martín D. Mundo Molina

© Centro de Investigación para el desarrollo sustentable de los Recursos Naturales  
y Tecnologías Apropiadas (CIDESTA).  
Calle Mármol 110, Fraccionamiento Jardines del Pedregal.  
C.P. 2045. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Edición: Revista Digital Espacio I+D Innovación más Desarrollo  
[www.espacioimasd.unach.mx](http://www.espacioimasd.unach.mx).  
Universidad Autónoma de Chiapas  
Boulevard Dr. Belisario Domínguez, km. 1081  
C.P. 29000

© Reservado todos los derechos.

HECHO EN MÉXICO

# ÍNDICE

Presentación	8
I El efecto coanda	11
II La levitación magnética	19
III El principio de arquímedes	26
IV La flotación	31
V El experimento de torricelli	38
VI La presión atmosférica	44
VII La caída de los graves	48
VIII Rozamiento	54
IX Chorros	61
X La ley de castelli	67
XI El principio de bernoulli	73
XII Vasos comunicantes	80
Bibliografía	84



## PRESENTACIÓN

ESTA ES UNA NUEVA EDICIÓN de «**Vive la Ciencia. Experimentos Científicos, Volumen II**», corregida y aumentada, que además enumera varios errores de edición y maquetación de la primera publicación. En este volumen se incorporan dos nuevos capítulos: El Efecto Coanda y la Levitación Magnética que permitirá al lector realizar dos experimentos interesantes en el campo de la Mecánica de los fluidos y Electromagnetismo, respectivamente.

Este libro fue diseñado para estudiantes universitarios, pero es muy útil para alumnos pre-universitarios y varios de los temas expuestos son asequibles para estudiantes de nivel medio básico que por su sencillez pueden al menos replicar los experimentos explicados en los capítulos I, II, III, IV, V, VI, VII, IX y XII.

Así, debido a la endeblez académica con que arriban los jóvenes a la universidad en las asignaturas teóricas como Física, Matemáticas y Química (que proviene, entre otras razones, de un problema estructural de nuestro sistema educativo), éstos tienen muchas dificultades para entender los planteamientos teóricos de las ciencias básicas cuando cursan los primeros semestres en la universidad. Este libro no pretende subsanar esta problemática, pero sí intenta contribuir en la búsqueda de nuevos mecanismos para despertar no sólo el interés por la ciencia, sino enseñar a los jóvenes a pensar y razonar, en una época en donde la mayoría no tiene tiempo para hacerlo.

Debido a la influencia negativa de la televisión, en general de los medios de comunicación masivos que «consumen tiempo» y difunden programas sin calidad cultural, vacíos de contenidos éticos, científicos, tecnológicos y artísticos, sumado al uso desmedido e inapropiado de la telefonía celular y de internet, a la inmensa mayoría de los jóvenes pre-universitarios y universitarios no les queda tiempo para «pensar». En contraposición hace aproximadamente casi 400 años uno de los últimos enciclopedistas de mediados del siglo XVII, René Descartes, de forma alegórica «se metió durante semanas en una estufa para reconstruir la filosofía». Hoy es casi imposible «meterse a una estufa» para aislarse del mundo, hay demasiada información y poco tiempo para pensarla, para razonarla.

Este libro intenta dar una oportunidad a los jóvenes para pensar, para razonar la ciencia. Si se usa esta obra de forma adecuada, siguiendo las instrucciones de cada experimento, se tiene la posibilidad de alimentar la imaginación de forma metodológica y además «vivir la ciencia» mediante la experimentación. La ciencia que de acuerdo a Chalmer (1997) es una cosa más compleja que estudiar intrincados problemas formales o solo seguir el método empírico de la física para recopilar hechos mediante

la observación y experimentación cuidadosa. «Vive la ciencia»: la teórica, la experimental, la ecléctica, cuyo espíritu se ha fortalecido, incluso, del conjunto de errores históricos rectificados (Bachelard, 2004).

Así, en Vive la Ciencia volumen II se presentan una serie de experimentos científicos, la mayoría basados en la física clásica que intentan no sólo despertar e impulsar el interés de los jóvenes por la ciencia, sino también enseñarles a razonar el conocimiento.

Este libro nació de una inquietud personal: ¿Cómo despertar e impulsar el interés de los jóvenes por la ciencia? ¿Cómo enseñar a razonar, en el sentido profundo de la palabra, tanto los aspectos prácticos como teóricos de algunos conceptos científicos? Se presentó la oportunidad de trabajar con un grupo entusiasta de estudiantes de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Con ellos se construyó este libro de experimentos científicos a partir de una premisa básica del curso:

Reconstruir algunos experimentos clásicos de la ciencia (como la caída de los graves, planteado en el siglo VI a. C. por Aristóteles y resuelto por Galileo varios siglos después), en tres fases: 1. Fase intuitiva; 2. Fase experimental documentada; 3. Fase de desarrollo teórico de los conceptos científicos. En la fase intuitiva el alumno deberá intentar dar solución al problema solo con la ayuda de su reminiscencia académica. En la fase experimental deberá razonar el problema y plantear la solución mediante *ensayos fácticos* con el apoyo de sus reminiscencias y la lectura de textos académicos exprofeso. En la fase teórica deberá razonar y desarrollar las ecuaciones físico-matemáticas del problema en cuestión. Así, el alumno intuye, razona, experimenta, plantea la solución práctica y físico-matemática del problema con la ayuda del profesor y/o las referencias bibliográficas apropiadas.

El libro está diseñado para que el alumno *identifique* las tres fases enunciadas en el párrafo anterior. El objetivo de la primera fase es intuir, razonar el problema. En la segunda es replantear el problema físico para sugerir una solución práctica distinta, con las herramientas que su ingenio pudiere permitirle y con el apoyo de algunos elementos metodológicos, utilizando materiales domésticos y reciclables. El objetivo de la tercera fase es el desarrollo teórico. El alumno es el actor, y el profesor y las referencias bibliográficas los *facilitadores* que provocan el razonamiento y los induce a profundizar en la dialéctica científica del problema. Con esta metodología se reta al alumno para reconstruir el experimento de un modo distinto, especialmente en la fase intuitiva y experimental. Así, éste desarrollará su imaginación científica y discutirá en cada experimento los conceptos teórico-prácticos de los fenómenos físicos que se plantean. La clase es un foro natural de discusión científica, en donde el requisito fundamental es razonar, experimentar, teorizar. En cada sesión se despierta la expectativa e interés de los alumnos, por esa razón muchas preguntas planteadas en el libro se dejan sin responder y algunos cálculos inherentes al tema se han omitido como es el caso de los capítulos VI y XII. En otros capítulos (IV

VII, VIII, X y XI) se encamina al lector para resolver el problema y los cálculos se dejan planteados para que los estudiantes los aborden y resuelvan solos o con la ayuda de un profesor.

Vive la Ciencia Experimentos Científicos volumen II fue revisado por miembros de Cuerpos Académicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas entre los que destacan los doctores: Daniel Hernández Cruz, Eber Alberto Godínez Domínguez y José Luis Pérez Díaz. Los dibujos los realizó el Arquitecto Alexander Ordaz Paxtor a quien expreso mi gratitud. Dejo constancia de agradecimiento especial a Juan Pablo Mundo Navarro estudiante de Arquitectura de la UPAEP quien ejecutó con el autor los experimentos del capítulo 9. Finalmente agradezco a la *Revista Digital Espacio I+D Innovación más Desarrollo* de la Universidad Autónoma de Chiapas quien editó este libro en la versión digital para la colección eBooks *Letras sin Papel*, el cual está disponible para cualquier lector en la siguiente dirección electrónica: [www.espacioimasd.unach.mx](http://www.espacioimasd.unach.mx).

MARTÍN D. MUNDO MOLINA

# CAPÍTULO I

# EL EFECTO COANDA

Si una pelotita de unicel es impulsada de forma vertical por el *flujo* de una secadora de cabello:

**¿CAE O FLOTA EN EL AIRE?**

Y si la secadora de cabello y el *flujo* se inclinan a un determinado ángulo  $\theta$ :

**¿CAE AL SUELO?  
¿GIRA A FAVOR O AL REVÉS DEL FLUJO?**



## 1. INTRODUCCIÓN

En 1910 el ingeniero rumano Henri Coanda descubrió que:



*Un fluido por efecto de su viscosidad tiende a seguir el contorno de la superficie sobre la que incide, de tal forma que si la superficie es curva, como una pelotita de unicel, el fluido se pega a dicha superficie.*

Henry Marie Coanda nació el 7 de junio de 1886 en Bucarest, Rumania (Piñeiro, 2010). Fue un destacado inventor y pionero de la aerodinámica, en honor a este notable ingeniero el aeropuerto internacional de Bucarest lleva su nombre.

El término “Efecto Coanda” fue acuñado por el ingeniero aeronáutico francés Albert Metral en honor Henri Coanda, quien descubrió el fenómeno en el primer prototipo de un avión impulsado por un “termo-reactor”, diseñado, construido y pilotado por él en 1910. Pasaron 30 años hasta que dicha tecnología se empleara en otra aeronave: El Caproni Campini CC.2, avión experimental con termo-reactor de origen italiano.

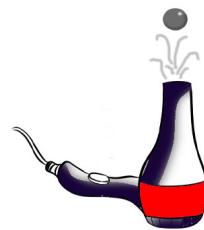
### VISCOSIDAD

Es una medida de la resistencia de los fluidos a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción. Es una medida de su resistencia a “fluir”.

## 2. OBJETIVOS

Demostrar y explicar porqué:

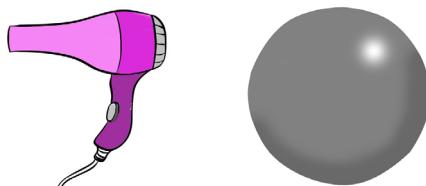
- Una pelotita de unicel (poliestireno) o de ping-pong flota en el aire, al ser impulsada por el flujo de una secadora de cabello;
- La pelotita de unicel o ping-pong gira en sentido contrario al flujo de la secadora de cabello.



El efecto Coanda es relevante en la industria de la aeronáutica; en los deportes: en el automovilismo y el ciclismo. En el campo de la hidráulica: en la descarga de vertedores con flujos de alta velocidad, así como en la «captación Coanda» la cual recibe el agua superficial mediante rejillas basadas en dicho efecto (Ortega, 2014).

### 3. MATERIALES

- a) Una secadora de cabello
- b) Una pelotita de ping-pong o unicel del 5 cm de diámetro.



#### FLUIDO

Es todo cuerpo que carece, en su estado natural, de rigidez y elasticidad, por ejemplo: los gases y los líquidos; como consecuencia ceden a cualquier fuerza tendiente a alterar su forma, adoptando así la configuración del sistema cerrado que lo contiene.

### 4. METODOLOGÍA

- a) Razona: ¿Qué sucederá si encendida la secadora con la «boca» hacia el techo se coloca la pelotita de unicel sobre el flujo de aire? Intenta explicar el fenómeno antes de realizar el experimento.

---

---

---

- b) Experimenta. Pon a funcionar la secadora y apunta la «boca» hacia el techo. Coloca la pelotita de unicel sobre el flujo que sale de la secadora de cabello.



- c) Describe de forma breve lo que observaste:

---

---

---

Intenta explicar utilizando tus reminiscencias académicas y/o los conceptos físicos del fenómeno observado:

---

---

---

- d) Ahora, mide: el diámetro de la «boca» de la secadora, la distancia promedio entre dicha «boca» y el «lomo» de la pelotita en contacto con el flujo y el diámetro de la pelotita. Si dispones de un anemómetro mide la velocidad del flujo en la «boca», en caso contrario, coloca un cuadrito de papel de  $1 \text{ cm}^2$  justo en la «boca»: mide la distancia (d) recorrida y el tiempo (t) que tarda en recorrer dicha distancia. Realiza 5 repeticiones. El promedio del cociente de ambos valores ( $d/t$ ) te dará una idea aproximada de la velocidad.
- e) Repite el paso b, pero ahora inclina lentamente la «boca» de la secadora de tal forma que la pelotita no caiga al suelo, formando un ángulo  $\theta$  entre la vertical de la posición original de dicha «boca» respecto a la posición inclinada.
- f) Describe de forma breve lo que observaste:

---

---

---

Intenta explicar el fenómeno utilizando tus reminiscencias académicas y/o los conceptos físicos de lo que observaste:

---

---

---

#### *Explicaciones físicas del fenómeno de flotación de la pelotita*

Al encender la secadora se produce un flujo de aire ascendente con una velocidad  $v=10 \text{ m/s}$  (para el caso bajo estudio). Al colocar la pelotita sobre la «boca» ésta sale con una cantidad de movimiento (impulso)  $F_i$  determinada por la siguiente ecuación:

$$F_i = mv \quad (1)$$

Donde:

$F_i$  = Impulso o cantidad de movimiento (kg.m/s)

$m$  = Masa de la pelotita (kg)

$v$  = Velocidad del fluido en la boca de la secadora (m/s)

La masa de la pelotita se estima con:

$$m = \varphi V \quad (2)$$

Donde:

$\varphi$  = Densidad de la pelotita (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = Volumen (m<sup>3</sup>)

El volumen de la pelotita se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (3)$$

Donde:

$r$  = Radio de la pelotita (m)



*El impulso ( $F_i$ ) pone a la pelotita a una distancia «h» de la boca de la secadora como se observa en la figura adjunta.*

A pesar del impulso que recibe la pelotita de unicel ésta permanece «flotando» a una distancia «h» de la «boca» de la secadora, oscilando sobre el flujo de aire sin ser expelida y sin caer al suelo, por las siguientes razones: La fuerza  $F$  con la que la pelotita es impulsada es «máxima» justo en la «boca» y disminuye conforme se aleja de la misma por el efecto cortante del aire y por la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra, hasta el punto en que se logra el equilibrio y la pelotita «flota», atrapada y oscilante entre la fuerza del flujo que sale de la «boca» y la fuerza  $F_g$  de atracción gravitatoria de la Tierra que se puede estimar con la siguiente ecuación:

**IMPULSO O CANTIDAD DE MOVIMIENTO**

Se define como el producto de la masa del cuerpo y su velocidad en un instante determinado, también se le conoce como momento lineal.

$$F_g = mg \quad (4)$$

Donde:

$$g = 9.81 \text{ (Aceleración de la gravedad de la Tierra), (m/s}^2\text{)}$$

Cabe destacar que si la velocidad del flujo de aire que sale de la secadora y la presión atmosférica fuesen constantes, y además las perturbaciones provocadas por los pequeños flujos de aire locales alrededor de la pelotita no existieran, ésta permanecería a una distancia cuasi constante de la «boca». Debido a que esto no ocurre entonces existe una oscilación vertical (mayor que la horizontal), manteniendo en constante movimiento a la pelotita a una distancia «h» de dicha boca, sin caer al suelo.

### *Explicaciones físicas del giro de la pelotita en sentido contrario al flujo de la secadora*

Al inclinar, por ejemplo hacia la derecha la «boca» de la secadora con un ángulo  $\theta$  (se sugiere inclinar con un ángulo máximo tal que la pelotita no caiga al suelo), la masa de aire lo hace también. De este modo una buena parte de dicha masa del flujo se distribuye, por efecto gravitatorio, hacia la derecha de la pelotita. Así, el fluido se pega a la superficie curva de la pelotita (efecto Coanda) generando una fuerza  $F$  en el sentido del fluido, sin embargo por la tercera ley de Newton se genera una fuerza de reacción  $F'$  que hace girar a la pelotita de unicel en sentido contrario.

## 5. CÁLCULOS

*Volumen de la pelotita.* El volumen de la pelotita de 5 cm de diámetro se calcula con la ecuación 3:

$$V = (4/3)(3.1416)(0.025 \text{ m})^3 = 0.00006545 \text{ m}^3$$

*Masa de la pelotita.* La masa de la pelotita se estima con la ecuación 2, suponiendo que la densidad del poli-estireno (unicel) es de 25 kg/m<sup>3</sup>:

$$m = (25 \text{ kg/m}^3)(0.0000655 \text{ m}^3) = 0.00163625 \text{ kg}$$

*Impulso.* Utilizando la ecuación (1) el impulso o cantidad de movimiento ( $F_i$ ) es:

$$F_i = (0.00163625 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}) = 0.016035 \text{ (kg} \cdot \text{m})/\text{s}^2$$

*Fuerza de atracción gravitatoria sobre la pelotita ( $F_g$ ).* La fuerza generada por

la atracción gravitatoria de la Tierra sobre la pelotita se estima con la ecuación 4, por lo tanto:

$$F_g = (0.00163625 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2) = 0.016052(\text{kg} \cdot \text{m})/\text{s}^2$$

Presión ( $P_1$ ), presión máxima ( $P_m = P_2$ ) en la «boca» de la secadora y distancia ( $h$ ) de la pelotita. Considerando el «tubo de flujo» constituido por el tramo recto de la secadora, después del cambio de dirección y en los límites de su «boca», la presión máxima ( $P_2$ ) en ésta se puede estimar con la ecuación de Bernoulli si la sección 2 se coloca en el límite exterior de la misma, donde la presión manométrica es cero (ver la figura siguiente):

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (5)$$

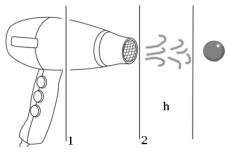
Donde:

- $P_1$  = Presión en la sección uno, (m)  
 $\gamma$  = Peso específico del aire ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $V_1$  = Velocidad del aire en la sección uno (m/s)  
 $P_2$  = Presión manométrica igual a cero (m)  
 $V_2$  = Velocidad del aire en la sección dos (m/s)

En la figura de abajo se muestra la forma de aplicar la ecuación de Bernoulli entre las secciones 1 y 2, con el fin de estimar las presiones enunciadas:

**PRESIÓN  
MANOMÉTRICA**

Se refiere a la presión inducida, por ejemplo de una bomba, la cual se puede medir por un dispositivo denominado «manómetro».



Despejando  $P_1$  y considerando positiva la presión hacia abajo:

$$P_1 = \left( \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \gamma \quad (6)$$

La velocidad medida en la «sección 1» como ya se enunció es de 10 m/s y la velocidad en la «sección dos» es de 9.8 m/s (varía 2% en ese tramo corto). El peso específico del aire es  $\gamma = 1.29 \text{ kg/m}^3$ . Así:

$$P_1 = \left( \frac{10^2 - 9.8^2}{2 \times 9.81} \right) 1.29 = 0.25787 \text{ kg/m}^2$$

Ahora si la sección 2 se coloca en el límite interior de la «boca» de la secadora la presión manométrica en dicha sección es máxima:

$$P_2 = \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \gamma \quad (7)$$

$$P_2 = \left( \frac{0.25787}{1.29} + \frac{10^2}{19.81} - \frac{9.8^2}{19.81} \right) (1.2) = 0.51574 \text{ kg/m}^2$$

Así:

$$P_2 = P_m$$

La distancia  $h$  entre la «boca» de la secadora y la parte inferior de la pelotita se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$P_2 = \gamma h$$

Por lo tanto:

$$h = \frac{P_2}{\gamma} = \frac{0.51574 \text{ kg/m}^2}{1.29 \text{ kg/m}^3} = 0.399 \text{ m}$$

## 6. CONCLUSIONES

El efecto Coanda tiene aplicaciones prácticas. Se estudia para lograr beneficios aerodinámicos en el campo de la aviación, automovilismo, ciclismo, por mencionar solo tres actividades en el campo de la tecnología. Y en las investigaciones hidráulicas el efecto tiene relevancia en el estudio de vertedores con alta velocidad de flujo y en captaciones o sumideros hidráulicos denominados «captación Coanda». Para facilitar el entendimiento del fenómeno en este capítulo se desarrolló un experimento lúdico pero formal: Se demostró que una pelotita de unicel flota en el aire, al ser impulsada por el flujo de una secadora de cabello y que por el efecto Coanda y la tercera ley de Newton dicha pelotita gira en sentido contrario al flujo de la secadora de cabello. Las demostraciones se han fortalecido con las estimaciones de velocidad y presión generadas en el experimento. Además se calculó la distancia « $h$ » que el impulso del flujo de aire de una secadora impone a una pelotita de unicel de 5 cm de diámetro.

## CAPÍTULO II

# LA LEVITACIÓN MAGNÉTICA

En tu niñez jugaste con trompos de madera,  
que al tirarlos al aire caían al suelo girando

**¿UN TROMPO DE HIERRO,  
PUEDE VENCER A LA GRAVEDAD?**

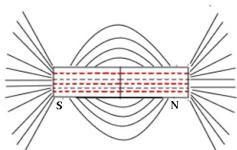
**¿CÓMO CONSTRUIR UN TROMPO DE HIERRO  
QUE LEVITE?**



## 1. INTRODUCCIÓN

Los griegos de la ciudad de Magnesia del Meandro en Asia Menor observaron que “ciertas piedras” atraían trozos de hierro y que éstos eran capaces de atraer, a su vez, otros fragmentos. Aquella es una ciudad antigua situada en el interior de la península turca, próxima a la ciudad de Germencik. Su nombre se debe a sus fundadores griegos provenientes de Magnesia de Tesalia. En honor a ésta derivó el término “magnetismo” (Castrillón *et al*, 2014).

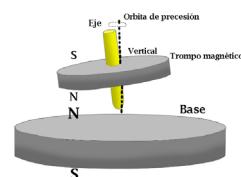
El primero en referirse al magnetismo fue Tales de Mileto (625-545 a.C.). Sin embargo, fue hasta el siglo XI cuando los imanes tomaron su relevancia histórica con la invención de la Brújula y el libro de Shen Kua (1031-1095), quien escribió sobre este artefacto: la brújula con aguja magnética (Castrillón *et al*, 2014). En siglo XII los chinos la mejoraron y la utilizaron en la navegación. Los magnates ó imanes:



«...están constituidos por electrones ( $E$ ), cada  $E$  es un pequeño imán que puestos aleatoriamente en el mismo sentido, crean una fuerza cuya magnitud depende de la cantidad de  $E$  situados en dicha dirección. Cuando éstos se mueven alrededor del núcleo crean un campo magnético».

## 2. OBJETIVOS

- Construir de forma sencilla un trompo magnético.
- Demostrar que un trompo de hierro puede vencer de manera temporal a la gravedad terrestre.

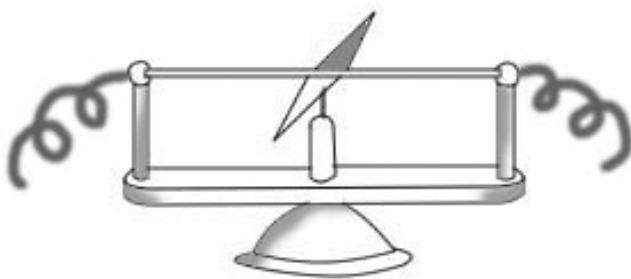


*Magnetismo*. En el siglo XIII el francés Peter Peregrinus realizó los primeros experimentos sobre magnetismo y escribió un libro sobre las propiedades de los imanes, que fue el término que los europeos dieron a la piedras «calamitas» de Magnesia del Meandro llamadas en el viejo continente «yman» o «magnate» (Thomson, 2005).



*El magnetismo es un fenómeno natural por el cual los objetos ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales. El níquel, hierro, cobalto y sus aleaciones presentan propiedades magnéticas fácilmente detectables. Sin embargo todos los materiales son influidos, de mayor o menor forma, por la presencia de un campo magnético.*

*Electricidad y magnetismo.* A finales del siglo XVIII y principios del XIX se investigaron simultáneamente las teorías de la electricidad y el magnetismo. En 1831 el científico británico Michael Faraday descubrió que el movimiento de un imán en las proximidades de un cable induce en éste una corriente eléctrica (Pérez, 2008).



#### LEVITACIÓN

Es el fenómeno mediante el cual un cuerpo u objeto se eleva en el espacio sin la intervención de agentes físicos conocidos, es decir, sin la mediación de objetos en contacto con el primero, bajo efectos gravitatorios.

Después Hans Oersted comenzó a describir la relación entre la electricidad y el magnetismo y el francés André Marie Ampère seguido por el físico francés Dominique François profundizaron en dicho campo. La unificación de las teorías de la electricidad y el magnetismo se debió al físico británico James Clerk Maxwell, que predijo la existencia de ondas electromagnéticas e identificó la luz como un fenómeno electromagnético. Después el físico francés Pierre Ernst Weiss postuló la existencia de un campo magnético interno, molecular, en los materiales como el hierro (Pérez, 2008).

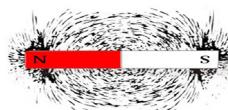
La fuerza magnética sobre una corriente eléctrica (CE) o fuerza de Lorentz es el efecto generado por una CE o un imán, sobre una región del espacio en la que una carga eléctrica puntual de valor ( $q$ ), que se desplaza a una velocidad ( $v$ ) experimenta los efectos de una fuerza que es perpendicular y proporcional tanto a la velocidad ( $v$ ) como al campo ( $B$ ), (Hutchinson, 1999):

$$\mathbf{F} = (q)(v \times \mathbf{B}) \quad (8)$$

La magnitud de la fuerza de Lorentz es (Hutchinson, 1999):

$$F = |q||v||B| \sin \theta \quad (9)$$

Por lo tanto, el valor máximo de  $F$  es para  $\theta=90^\circ$ .



#### LEVITACIÓN

Es el fenómeno mediante el cual un cuerpo u objeto se eleva en el espacio sin la intervención de agentes físicos conocidos, es decir, sin la mediación de objetos en contacto con el primero, bajo efectos gravitatorios.

Dónde:

$F$  = Fuerza magnética ( $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ )

$v$  = Velocidad ( $\text{m/s}$ )

$q$  = Carga eléctrica puntual ( $\text{A.s}$ )

$B$  = Campo magnético ( $\text{kg/As}^2$ )

Por otra parte, las fuerzas de atracción o repulsión entre dos polos magnéticos, son directamente proporcionales al producto de sus masas magnéticas e inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias que las separa. Esta ley fue establecida por el físico francés Charles Coulomb (1736-1806) quien estudió las interacciones entre dos polos magnéticos (Vega *et al*, 2014):

$$F_{ar} = \mu \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (10)$$

Donde:

$F_{ar}$  = Fuerza de atracción o repulsión ( $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ )

$\mu$  = Constante de proporcionalidad ( $10^{-7} \text{ wb/A.m}$ )

$m_1$  = Masa magnética ( $\text{A.m}$ )

$m_2$  = Masa magnética ( $\text{A.m}$ )

$r$  = Distancia entre las masas magnéticas (m)

### 3. MATERIALES

- a) Un imán hueco de 2 cm de  $\Phi$ .
- b) Dos imanes huecos de 10 cm de  $\Phi$ .
- c) Una cinta adhesiva tipo diurex de 1.5 cm de espesor y un cutter.
- d) Trozos de caucho o hule.
- e) Una mica o cristal de 15X15 cm y tres tapas de corcholata.
- f) Una vara de 5 cm de largo por 1 cm de  $\Phi$ .



## 4. METODOLOGÍA

- a) Coloca el imán de 2 cm de  $\Phi$  sobre una mesa de trabajo. Toma la vara de 5 cm de largo y 1 cm de diámetro, sácale punta con el cutter, luego insértala en el hueco del imán. Rellena con caucho las partes vacías entre la vara y las paredes del hueco. Cerciórate que la vara quede rígida, justo en el centro del hueco. La cinta adhesiva enrollada en la vara puede ayudar a dar mayor rigidez.
- b) Haz una prueba de giro con el «trompo magnético» que estás construyendo. Si el trompo no conserva la verticalidad cuando gira, recorta la vara, desciende el imán unos milímetros sobre la vara, verifica que la vara esté en el centro del imán.
- c) Realiza nuevamente las pruebas de giro en una superficie lisa, para verificar la estabilidad del trompo magnético, en caso contrario continua «calibrándolo» como se indica en el inciso b, con el fin de lograr el «equilibrio de giro».
- d) En caso necesario, un «tornero» de tu localidad te puede ayudar a construir el trompo magnético.
- e) Ahora coloca los dos imanes de 10 cm de  $\Phi$  juntos (el polo positivo con el polo negativo se atraerán de forma natural).
- f) Sobre los imanes de 10 cm de  $\Phi$  coloca las tres corcholatas «boca abajo», distribuidas de forma equidistante. Sobre las corcholatas coloca la mica o cristal de 15x15 cm.
- g) Los imanes con polos del mismo signo se repelen, con signo contrario se atraen. Cerciórate que los imanes de 10 y 2 cm de  $\Phi$  se repelen.
- h) Razona: ¿Qué sucederá si haces girar el trompo magnético sobre la mica? Intenta explicar tu razonamiento de forma coloquial.

---

---

---

- i) Ahora intenta explicar tus razonamientos utilizando reminiscencias académicas.

---

---

---

- j) Ejecuta el experimento: Has girar el trompo magnético sobre la mica de 15×15 cm.
- k) Describe de forma breve pero fundamentada lo que observaste:

---

---

---

### *Explicaciones físicas del fenómeno*

La superficie expuesta de los imanes de 10 cm de  $\Phi$  y la superficie expuesta del trompo magnético de 2 cm de  $\Phi$  tienen la misma polaridad, por lo tanto se repelen con una fuerza  $F_{ar}$ . La fuerza de repulsión ( $F_{ar}$ ) de acuerdo a la Ley De Coulomb depende de las masas magnéticas de cada objeto y de la distancia al cuadrado que los separa (ver ecuación 10). Así, la  $F_{ar}$  entre ambos objetos es equilibrada por la fuerza de gravedad de la Tierra que tiende a atraer el trompo magnético hacia su centro, por lo tanto como resultado de la interacción de las fuerzas de repulsión magnética y la fuerza de gravedad dicho «trompo magnético» flota o levita, hasta que la energía cinética generada por el impulso que se le impone en el «giro» manual decae por efecto del esfuerzo cortante que el aire ejerce sobre él. Con el transcurso del tiempo disminuye la energía cinética del trompo magnético y decae la excitación de los electrones de los campos magnéticos respectivos disminuyendo la  $F_{ar}$  entre los mismos, hasta que la fuerza de atracción gravitatoria ( $F_g$ ) es mayor que la  $F_{ar}$  provocando que el trompo magnético caiga al suelo. El fenómeno es tan interesante que algunos autores han abordado el problema de la estabilidad del vuelo del trompo magnético (levitrón) mediante métodos propios de la teoría de sistemas dinámicos, para determinar las condiciones de una levitación o «vuelo» estable (Pérez, 2010).

## 5. CÁLCULOS

Se pretende estimar la fuerza de repulsión ( $F_{ar}$ ) entre los imanes de 10 cm de  $\Phi$  y el «trompo magnético» sabiendo que la distancia ( $r$ ) de levitación magnética es de 5 cm. La masa magnética de los imanes de 10 cm de  $\Phi$  es de 8 A.m y del «trompo magnético» es de 2 A.m. Aplicando la ecuación 10 se tiene:

$$F_{ar} = \left(10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{A.m}}\right) \frac{(8 \text{ A.m})(2 \text{ A.m})}{(0.05 \text{ m})^2}$$

La fuerza magnética de repulsión es:

$$F_{ar} = 3.2 \times 10^{-4} \text{ N}$$

## 6. CONCLUSIONES

Se demostró al lector como se construye un trompo magnético y como éste puede vencer a la fuerza de gravedad terrestre de forma temporal, levitando sobre una superficie imantada de diferente polaridad, debido a que la fuerza de repulsión  $F_{ra}$  es mayor, por un tiempo determinado, que la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra. Cuando la energía cinética del trompo decae por efecto del rozamiento del aire, la excitación magnética disminuye, por lo tanto la fuerza de gravedad supera a las fuerzas magnéticas y el trompo magnético cae al suelo.

CAPÍTULO III

# EL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

¿CON QUÉ FUERZA TE EMPUJA EL AGUA  
EN UNA PISCINA?



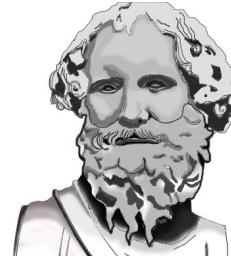
## 1. INTRODUCCIÓN

Dada la relevancia del Principio de Arquímedes y sus aplicaciones científicas y tecnológicas, se dedicarán dos capítulos a esta ley física. El capítulo III está enfocado a relacionar la cantidad de agua derramada de un recipiente con el peso del objeto introducido en el mismo, mientras que el capítulo IV, trata de responder a la pregunta ¿por qué flotan los objetos?

Así, cuando uno se introduce a la tina de baño o en una alberca, se siente una fuerza que empuja hacia arriba, es decir, una sensación de pérdida de «peso». En el caso de una bañera: si está al límite de su capacidad se derramará un poco de agua mientras uno se introduce o se mueve dentro de la misma. De igual forma sucede si se sumerge cualquier objeto en un recipiente lleno de agua en reposo. Bajo estas circunstancias se plantean dos preguntas: ¿Qué cantidad de agua se derrama? ¿Tendrá alguna relación con el peso del objeto introducido?

El principio de Arquímedes afirma que:

*«...un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja»...*



Este principio fue establecido entre los años 287 y 212 a.C. por Arquímedes al cual debe su nombre. Arquímedes hijo de Fidias, fue un extraordinario ingeniero, matemático y uno de los más grandes inventores de la antigüedad. Fidias de oficio astrónomo influyó de forma determinante en la vocación de su hijo, le heredó la capacidad de observación de los fenómenos naturales. Si Galileo es el padre de la ciencia moderna, Arquímedes es el abuelo de ésta. Levi (1986) escribió sobre él: «...lo concibo observando los barcos ahí atracados que con sus velas recogidas, se mecían por el suave oleaje y preguntándome acerca del maravilloso fenómeno de flotación». Arquímedes nació en Siracusa, una ciudad enclavada en la Isla de Sicilia, al sur de la península itálica, pero parte de su formación académica la realizó en Alejandría, el gran centro de la cultura y el saber de aquella época, donde no sólo aprendió matemática, también desarrolló su habilidad para la experimentación. En el campo de la matemática abordó muchas ramas pero se dedicó principalmente a la geometría, donde elaboró tratados sobre el cilindro, la esfera, el conoide, el esferoide y las propiedades de las espirales. Por su fama y conocimientos, cuenta la historia que el rey Hierón II de Siracusa le encargó descubrir la posible estafa de una corona adulterada. Arquímedes dedicó mucho tiempo a pensar cómo solucionar este problema, hasta que un día descubrió la solución dentro de una bañera.

## 2. OBJETIVO

Comprobar la relación que existe entre la cantidad de agua derramada de una vasija y el peso del objeto introducido en la misma.



### PESO

Es la fuerza con la que un cuerpo es atraído hacia el centro de la Tierra.

\*\*\*

### MASA

Es la cantidad de materia que posee un cuerpo.

\*\*\*

### VOLUMEN

Es la relación entre la masa de un cuerpo y su densidad.

## 3. MATERIALES

- a) Un recipiente en forma de vasija.
- b) Tres globos.
- c) Un recipiente colector.
- d) Un recipiente graduado de 1 litro.
- e) Un embudo.
- f) Un plumón de tinta indeleble.
- g) Colorante artificial rojo o azul.
- h) Báscula pequeña (mecánica o digital).

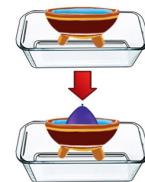


## 4. METODOLOGÍA

- a) Coloca el recipiente colector en una superficie plana.



- b) Dentro del recipiente colector coloca el recipiente en forma de tina (vasija).
- c) Rellena la vasija con agua hasta el borde, cuidando que no se derrame.
- d) Llena un globo con agua hasta alcanzar una masa de 500 gramos. Introduce el globo en la vasija.



Observa la cantidad de agua que es desalojada.

¿Qué relación hay entre la cantidad de agua desalojada con la que contiene el globo?

---

---

---

A continuación con tus reminiscencias académicas fundamenta la explicación que enunciaste líneas arriba.

---

---

---

- e) Recoge el agua vertida en el colector y vacíala en el recipiente graduado.
- f) Verifica que la cantidad colectada corresponda a la masa del globo sumergido.



Explica que sucedería si cambias el globo por la mitad de un ladrillo.



---

---

---

- g) Pesa en la báscula el líquido desalojado, después pesa el objeto introducido. Nota que en la báscula medirás el peso de la masa en unidades de kg-fuerza.

Usando la báscula cerciórate de forma directa que ambos pesos sean iguales. Verifica de forma indirecta mediante la ecuación  $P=mg$  que ambos pesos, en Newton, sean iguales. Donde  $P$  es peso (kg-fuerza),  $m$  es masa en kg y  $g$  es la aceleración de la gravedad terrestre en ( $m/s^2$ ).

## 5. CONCLUSIONES

Al introducir el globo en el fluido sucede el siguiente fenómeno físico: Dado que la relación masa-volumen del sistema «globo con agua» es menor que la relación masa-volumen del sistema «agua en el recipiente», la densidad del primer sistema es más pequeña que la segunda, por tal razón el «globo con agua» se sumerge parcialmente (flota), derramando agua sobre el borde del recipiente. Además se probó que el agua *derramada* (desplazada) por el sistema «globo con agua», tiene un peso igual al peso de éste.

## CAPÍTULO IV

# LA FLOTACIÓN

**¿POR QUÉ FLOTAN LOS BARCOS?**



## 1. INTRODUCCIÓN

«Cuando se observa un río o lago se sucumbe ante la idea de darse un baño, quizá lanzar una piedra o tal vez lanzar una moneda pidiendo un deseo y ver como ésta se hunde» (Levi, 1989). Si decides nadar por ejemplo en un lago, tienes que realizar un esfuerzo notable para intentar flotar moviendo los pies y las manos, o colocarte de forma tal que debes intentar exponer la mayor área posible de tu cuerpo de forma paralela a la superficie libre del agua para evitar hundirte. Sin embargo, cuando vas a la playa y retozas en el mar puedes verificar algo especial, quizá notarás que flotas con más facilidad.

No es lo mismo intentar nadar en el río, en un lago o en el mar. ¿Tienes idea de cuál es la razón por la que se puede nadar con mayor facilidad en el mar? ¿Por qué te cansas más cuando nadas en un río o lago respecto al mar? ¿Qué es lo que hace que algunos objetos se hundan o floten con mayor facilidad en agua dulce que en agua salada?

La flotación es:

*“...el efecto por el cual un cuerpo se sostiene en suspensión en un líquido o gas”. Un cuerpo introducido en una masa de agua cuya densidad sea la misma que ésta quedará en suspensión, mientras que uno más ligero flotará. Por lo tanto, un objeto más pesado que el fluido se sumergirá hasta alcanzar el fondo.*

Si un objeto flota sobre el agua es porque la resultante de las fuerzas verticales ascendentes (empuje del agua,  $E_a$ ) y descendentes (empuje del objeto,  $E_o$ ) son distintas. Si el cuerpo flota entonces:  $E_a > E_o$ . Si el objeto se hunde entonces:  $E_a < E_o$ . Los empujes  $E_o$  y  $E_a$  son fuerzas que dependen, en el primer caso de la masa del objeto asociadas a su densidad y en el segundo caso de la densidad específica del agua, de la superficie expuesta al empuje hidrostático en el centroide geométrico de dicho objeto.

El fenómeno de la flotación aparece por primera vez en la historia occidental narrado por uno de los arquitectos más famosos del Imperio Romano, asociado a la corona adulterada del Rey Hierón. El libro *De Architectura* de Marco Vitrubio narra el Eureka de Arquímedes de Siracusa dos siglos después del supuesto hecho.

El fenómeno descubierto por Arquímedes en el cual un cuerpo se sostiene en suspensión en el seno de un líquido se denomina flotación y está asociado de forma intrínseca a las densidades del cuerpo y del líquido que lo aloja. En la época en que Arquímedes vivió no existían los conceptos de flotación y densidad, menos aún las unidades de medida de la segunda. Así,

cuando nació el sistema internacional de unidades se asignó a la masa el kilogramo y al volumen las unidades cúbicas.

## 2. OBJETIVO

Demostrar que la flotación de un objeto cualquiera en el agua, depende de la diferencia entre la densidad de ésta y la del objeto inmerso.



## 3. MATERIALES

- a) Un cascarón de huevo vacío (#1).
- b) Un huevo crudo (#2).
- c) Un huevo cocido (#3).
- d) Un cascarón de huevo relleno con sal fina (#4).
- e) Un recipiente en forma de vasija.
- f) Un recipiente graduado de 1 litro.
- g) Una cuchara grande.
- h) Un plumón de tinta indeleble.
- i) Cuatro corcholatas.
- j) Un litro de agua.
- k) Colorante artificial, rojo o azul.
- l) Una vela.
- m) Una cajita de cerillos.



## 4. METODOLOGÍA

- a) Selecciona cuatro huevos del mismo tamaño (volumen). Con el plumón enumera los huevos, del 1 al 4, para identificarlos.
- b) Haz un pequeño agujero en el cascarón # 4 y con una cuchara rellénalo de sal fina.
- c) Enciende la vela y deja caer unas gotas de cera en las perforaciones de los huevos marcados como 1 y 4 para sellarlos.
- d) Coloca cada uno de los huevos en las corcholatas, para que no se caigan o rompan.
- e) Coloca el recipiente en forma de vasija en una superficie plana.
- f) Pon algunas gotas de colorante y luego rellena la vasija con agua utilizando el recipiente graduado de un litro, cuidando que ésta no llegue al nivel máximo y se derrame.
- g) Toma el huevo marcado con el no. 1, luego introducelo en la vasija.

Observa lo que sucede, ¿se hunde o flota?

---

---

---

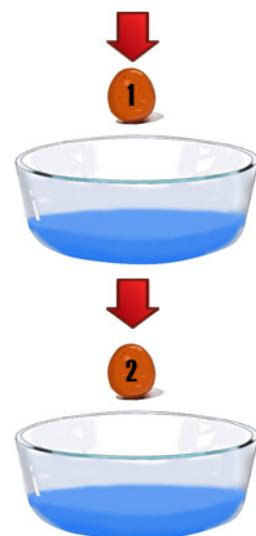
- h) Enseguida toma el huevo marcado con el número 2 e introducelo en la vasija.

Observa cómo se comporta. ¿Qué sucedió?

---

---

---



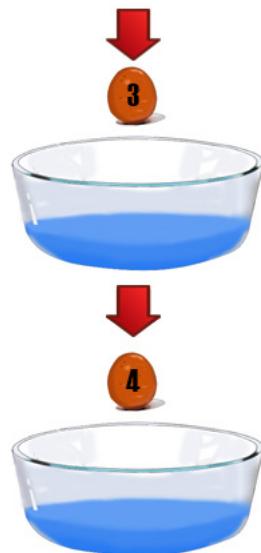
- i) Ahora toma el huevo marcado con el número 4 y ponlo en la vasija. Observa cómo se comporta.

¿Se hundió o quedó flotando?

---

---

---



- j) Por último, toma el huevo marcado con el número 3 y colócalo en la vasija.

¿Se hundió, quedó flotando o en equilibrio?

---

---

---

¿Por qué crees que se comportan de forma distinta? Anota tus respuestas.

---

---

---

¿Alguno de los huevos flotó? Si es así, comenta porqué.

---

---

---

¿Cuál de los huevos se hundió? Explica por qué.

---

---

---

---

---



## 5. CÁLCULO DE VOLUMEN Y DENSIDAD

*Cálculo del volumen de un huevo.* Toma un quinto huevo de volumen similar a los cuatro seleccionados. Haz una pequeña perforación en la parte superior del mismo y con una jeringa grande con aguja, introduce agua a presión para licuar su contenido. Luego vacía el huevo. Una vez vacío llénelo de agua en su totalidad, después vacía nuevamente su contenido con la jeringa y mide el volumen de agua en mililitros. Convierte dicha unidad a  $\text{m}^3$ . Esa cantidad es el volumen aproximado de cada uno de los huevos 1, 2, 3 y 4. Escribe ese resultado como valor constante en las cuatro filas de la columna 2 de la tabla 1.

*Cálculo de las densidades.* Con una báscula electrónica pesa cada uno de los huevos: 1 (vacío), 2 (crudo), 3(cocido) y 4 (relleno con sal). Convierte los gramos a kilogramos. Dichos valores serán las masas de cada huevo. Escribe esos valores en la columna 1 de la tabla 1. Finalmente estima la densidad de cada huevo en la columna 3 de la tabla 1 usando la ecuación 11.

**Tabla 1.** Cálculo de densidades

Huevo	Masa (m) (kg) (1)	Volumen (V) ( $\text{m}^3$ ) (2)	Densidad ( $\rho$ ) (kg/ $\text{m}^3$ ) (3)
1: Vacío			
2: Crudo			
3: Cocido			
4: Relleno con sal			

Para estimar la densidad se puede usar la siguiente ecuación:

$$\rho=m/V \quad (11)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$m$  = Masa (kg)

$V$  = Volumen ( $\text{m}^3$ )

### DENSIDAD

Es la cantidad de masa contenida en un volumen determinado.

## 6. CONCLUSIONES

Después de realizar el experimento se concluye que:

- a) Si la densidad del huevo es **menor** que la del fluido, entonces éste flotará.
- b) Si la densidad del huevo es **igual** a la del fluido, entonces quedará suspendido al interior de la masa líquida, es decir, en equilibrio.
- c) Si la densidad del huevo es **mayor** que la del fluido, entonces éste se hundirá.

CAPÍTULO V

# EL EXPERIMENTO DE TORRICELLI

¿CUÁNTO PESA LA ATMÓSFERA?

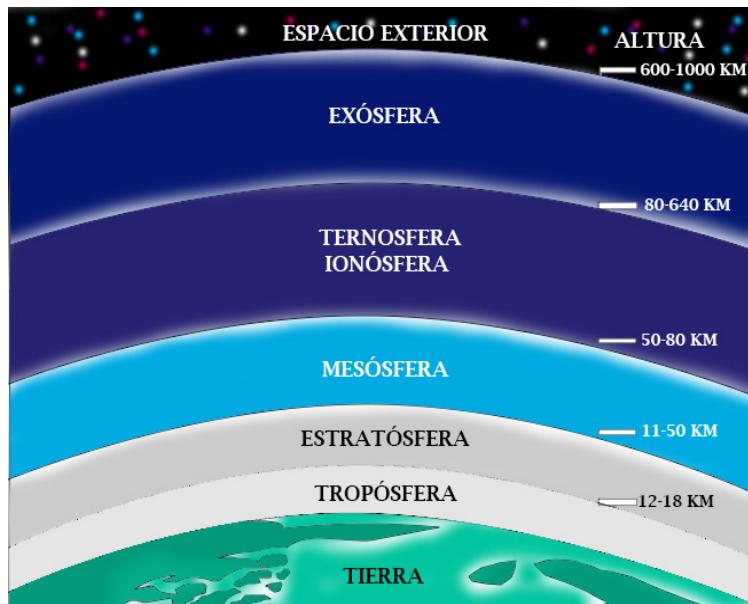


## 1. INTRODUCCIÓN

Evangelista Torricelli (1608-1647) nació en Faenza Italia, pero sus estudios los realizó en el Colegio de Sapienza en Roma. Fue alumno de Benedetto Castelli y ayudante de Galileo (Cuadrado, 1997). En el siglo XVII Torricelli afirmó: «Vivimos en el fondo de un mar de aire» (Pelkowski, 2001). Sobre nuestras cabezas tenemos una masa de aire gigantesca la cual ejerce una presión sobre todo lo que se encuentra en la superficie terrestre.



La presión es una fuerza con la que el aire nos opreme en todas direcciones. ¿Cómo es posible que no notemos semejante presión? La respuesta es que nuestro cuerpo (compuesto principalmente de líquido) distribuye de manera uniforme dicha presión. Los espacios por donde penetra el aire: fosas nasales, oídos, el cuerpo en general responden con una presión similar.



A sus 35 años, Torricelli fue la primera persona que demostró que la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la Tierra. Esto lo logró a través de un experimento sencillo cuyas bases se reproducen en este capítulo. El dispositivo usado por Torricelli se llama barómetro.

### PRESIÓN

Es la fuerza que actúa sobre una superficie determinada.

\*\*\*

### FUERZA

Es la acción que modifica el estado de *reposo* o de *movimiento uniforme* de un objeto.

\*\*\*

### PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Es la fuerza que ejerce el aire contenido en la atmósfera sobre cualquier punto de la superficie terrestre.

## 2. OBJETIVO

Demostrar que la atmósfera (compuesta principalmente de nitrógeno, oxígeno y otros gases raros) tiene un peso y ejerce una presión sobre la superficie de la Tierra. nació el sistema internacional de unidades se asignó a la masa el kilogramo y al volumen las unidades cúbicas.



## 3. MATERIALES

- a) Un recipiente en forma de vasija.
- b) Un vaso de cristal de forma cilíndrica.
- c) Una vela de altura menor que la del vaso.
- d) Una cajita de cerillos.
- e) Agua.
- f) Plastilina.
- g) Regla graduada de 30 cm.
- h) Plumón marcador de tinta indeleble.



## 4. METODOLOGÍA

- a) Supón que realizas el experimento en un sitio ubicado a 600 msnm (puedes usar el valor real del lugar donde realizarás el experimento). La altura sobre el nivel del mar del lugar donde te encuentras puedes buscarla en la siguiente liga: [smn.cna.gob.mx](http://smn.cna.gob.mx).
- b) Coloca la vela en el recipiente fijándola con plastilina para evitar que ésta se caiga.
- c) Introduce agua en el recipiente en forma de vasija, hasta una cuarta parte de la altura de la vela.



- d) Coloca el vaso de cristal en el recipiente con agua en forma invertida, procurando que la vela quede en el interior del vaso. Cuida que haya espacio suficiente entre la punta de la vela y el fondo invertido del vaso. Marca la altura alcanzada por el agua en el vaso.
- e) Saca el vaso del recipiente y enciende la vela.
- f) Ahora con la vela encendida, repite el inciso d, con cuidado pero lo más rápido que puedas.



¿Qué crees que sucederá con la flama de la vela y el agua? Escribe tus deducciones antes de avanzar en la lectura de este experimento.

---

---

---

La flama se apaga porque se ha consumido todo el oxígeno dentro del vaso. La presión del aire ha disminuido al interior del mismo y se ha formado una especie de vacío. La presión al exterior del vaso es mayor que en su interior y ésta empuja el agua para ocupar el volumen de aire consumido.



- a) Haz una segunda marca en el vaso.
- b) La segunda marca indica la nueva altura del agua.
- c) Con la regla mide la diferencia en cm entre las marcas.
- d) Anota el resultado.

La diferencia en altura de ambas marcas ( $h_2-h_1$ ) se denomina columna de agua. Esta columna de agua ascendente demostró que la atmósfera ejerció una presión sobre el agua contenida en la vasija. Por lo tanto la atmósfera tiene un peso que a nivel del mar ejerce una presión de 101.3 KPa.

**Tabla 2.** Altura de agua (cm)

Altura del sitio (600 mnsm)	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	$h = h_2 - h_1$ (cm)
Altura de agua (m)			3.5 (o lo que resulte del experimento)

Ahora, ¿cómo estimar la presión atmosférica en el sitio del experimento de forma indirecta?

## 5. CÁLCULO DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN KPA

Para estimar la presión atmosférica de una localidad que se encuentra a una altura « $h$ » sobre el nivel del mar, se puede usar la siguiente ecuación (Mundo, 2002):

$$P_a = P_o \left[ \frac{T_o - \alpha_v h}{T_o} \right]^{\frac{g}{\alpha_v R_a}} \quad (12)$$

Donde:

- $P_a$  = Presión atmosférica del sitio (kPa).
- $P_o$  = Presión atmosférica a nivel del mar (kPa).
- $T_o$  = Temperatura absoluta K.
- $\alpha_v$  = Gradiente térmico (K/m).
- $g$  = Aceleración de la gravedad terrestre (9.81m/s<sup>2</sup>)
- $R_a$  = Constante específica del aire seco (0.28704 KJ/kg K).
- $h$  = Altitud (m).

Al transformar [KJ] a [(kg.m<sup>2</sup>)/s<sup>2</sup>], Ra debe ser multiplicado por 1000 para que el cociente de la ecuación 12 sea adimensional.

Así, en ausencia de nubes  $\alpha_v$  toma un valor promedio de 0.0065 K/m, con ello el valor del exponente es 5.253, así la ecuación 12 se puede rescribir como:

$$P_a = 101.3 \left[ \frac{288 - (0.0065)(600)}{288} \right]^{5.253} = 94.29 \text{ KPa}$$

## 6. PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN MMHG

Como ya se ha enunciado, a nivel del mar la presión atmosférica es de 101.3 KPa, es decir, 1 atmósfera ó 760 mmHg.

Así que, conocido el valor de la presión atmosférica a 600 msnm igual a 94.29 KPa, su valor en mmHg se puede estimar a partir de la siguiente relación:

$$760 \text{ mmHg} - 101.3 \text{ KPa}$$

$$x \text{ mmHg} - 94.29 \text{ KPa}$$

Donde «x» es el valor desconocido. Realizando los productos cruzados y despejando «x» se tiene el valor de la presión atmosférica en mmHg a 600 msnm:

$$707 \text{ mmHg}$$

## 7. CONCLUSIONES

Torricelli demostró en 1642 que la atmósfera pesa. En este capítulo se verificó mediante un experimento sencillo que efectivamente la atmósfera tiene un peso, el cual se probó a partir de medir la altura de agua alcanzada al consumirse el volumen de aire contenido en el vaso de un “barómetro casero”, construido exprofeso para esta explicación. Por otra parte con el fin de orientar al lector para estimar la presión atmosférica de cualquier sitio de la superficie terrestre, a modo de ejemplo se estimó la presión atmosférica de una localidad ubicada a 600 metros sobre el nivel del mar. Se utilizó una ecuación que estima la presión atmosférica de forma indirecta con buena aproximación y que solo depende de la constante específica del aire seco, la gravedad terrestre, la temperatura absoluta, el gradiente térmico, la presión atmosférica a nivel del mar y la altura de sitio de estudio.

CAPÍTULO VI

**LA PRESIÓN  
ATMOSFÉRICA  
Y EL BOTE  
APACHURRADO**

**¿QUÉ FENÓMENO FÍSICO PROVOCAS  
CUANDO SUCCIONAS UN BOTE DE LATA VACÍO?**



## 1. INTRODUCCIÓN

La atmósfera que Torricelli denominó “mar de aire”, ejerce una presión sobre todo lo que se encuentra en la superficie terrestre. La presión o fuerza aplicada por unidad de área con la cual el aire nos empuja en todas direcciones, es capaz de aplastar objetos cuando dicha presión atmosférica es mayor que la presión al interior de los mismos.



Toma un bote de lata como el que se muestra aquí. Razona: ¿Por qué no se aplasta si está llena de líquido? Ahora vacía el bote y luego procede a succionarlo. Observa con cuidado. ¿Qué sucede?



Piensa y explica: ¿por qué se apachurra un bote de lata vacío cuando lo succionas? Describe con detalles lo que observas al succionar la lata vacía.

### ATMÓSFERA

Es la capa de aire que rodea a la Tierra, la cual ejerce una presión sobre su superficie y está compuesta de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y el resto de gases raros.

## 2. OBJETIVO

Demostrar el efecto de la presión atmosférica **en un recipiente** en cuyo interior se provoca la disminución de la presión de dos formas: a) Directa, a través de la succión; b) Indirecta, a través de un cambio brusco de temperatura del aire y vapor interior.



## 3. MATERIALES

- Un bote de lata de cerveza o soda.
- Un recipiente de plástico de 15 cm de alto, 20 cm de largo y 20 cm de ancho, con agua fría en su interior.
- Una cuchara sopera.



- d) Unas tenazas de madera o plástico.
- e) Un mechero con alcohol.



## 4. METODOLOGÍA

- 1) Para demostrar el efecto de la presión atmosférica en forma directa:

- a. Toma la lata vacía y succiónala

Describe lo que ocurre e intenta explicarlo de forma fundamentada.

---

---

---

---

- 2) Para demostrar el efecto de la presión atmosférica en forma indirecta:

- a. Toma el bote de lata vacío y vierte en él tres cucharadas de agua.
  - b. Calienta el bote sobre el mechero de alcohol o directamente en la estufa.
  - c. Cuando el agua empiece a hervir, levanta el bote con la pinza de madera y embroca la lata en el recipiente con agua fría, sumergiéndolo hasta aproximadamente 1/3 de su altura total.

## 5. EXPLICACIÓN DE LOS FENÓMENOS

*Succión del bote vacío.* Cuando succionas un bote de lata sin líquido, lo que estás haciendo es vaciar el contenido de aire que existe en su interior. Al quitar el aire disminuyes de forma brusca la presión al interior del bote, por lo tanto debido a que la presión del exterior (presión atmosférica) es mayor que la presión al interior, éste se apachurra.

*Cambio brusco de temperatura del aire y vapor, al interior del bote.* Al calentar el agua del bote hasta su punto de ebullición, se incrementa sustancialmente la temperatura del aire en su interior y éste es expulsado, quedando dentro vapor de agua que se expande en todo su volumen. Cuando se introduce dicho bote en agua fría, el vapor en contacto con el agua decremente

su temperatura de forma brusca y se condensa, es decir, pasa del estado gaseoso al estado líquido. En estado líquido ocupa un menor volumen que como vapor, este cambio brusco de volumen provoca que disminuya de forma rápida la presión al interior del bote. El cambio brusco de presión provoca a su vez el enfriamiento del vapor restante en el bote y su rápida condensación. Por lo tanto, la presión disminuye aún más. Así, dado que la presión al interior del bote es menor que la presión exterior debido a la atmósfera, el bote se apachurra. Todo esto ocurre en fracciones de segundo (el bote es aplastado por la presión atmosférica emitiendo un chasquido).

## 5. CONCLUSIONES

Succionando un bote de cerveza o soda vacía se demostró que la presión al interior del mismo disminuye de forma brusca, provocando el aplastamiento del bote por efecto de la presión atmosférica. Por otro lado, se desarrolló un experimento adicional que consistió en calentar el aire y una pequeña porción de agua contenidas en el interior del bote. El cambio brusco de temperatura provocó una serie de fenómenos físicos que indujeron a una disminución brusca de la presión al interior del bote provocando que la presión atmosférica lo aplastara.

## CAPÍTULO VII

# LA CAÍDA DE LOS GRAVES

¿QUIÉN CAE MÁS RÁPIDO: UNA «PELOTA DE ESPONJA»  
O UNA «PELOTA DE PLÁSTICO CON AIRE»  
DEL MISMO PESO?



## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando observamos caer libremente dos cuerpos al mismo tiempo, no es extraño pensar que el objeto más pesado alcanzará primero el suelo. Así lo creía en la antigüedad Aristóteles. En la época de Galileo, más de 1900 años después de Aristóteles, se seguía creyendo lo mismo. De acuerdo a Butterfield (1981) fue Simon Stevin, en el siglo VXII, el primero en dejar caer dos bolas de plomo desde una altura de 30 pies para probar la hipótesis aristotélica. Sin embargo fue el genio pisano quien demostró lo contrario. Galileo, quien unificó las investigaciones teóricas con las experimentales en un todo único (ACC, 1978) y que de acuerdo a Chalmers (1997) su mayor contribución a la ciencia lo realizó en el campo de la Mecánica, llegó a la conclusión de que todos los objetos que parten de la misma altura, caerán con la misma velocidad y llegarán al suelo al mismo tiempo, siempre que estén en el vacío.

### VELOCIDAD

Es la distancia recorrida por un móvil en la unidad de tiempo.

\*\*\*

### VACÍO

Es el espacio absolutamente libre de materia.



*Si el experimento de Galileo se realiza en condiciones atmosféricas normales, la caída de dos objetos desde una altura determinada, solo tendrían pequeñas diferencias de velocidad y tiempo de llegada al suelo. La diferencia se debe a la resistencia del aire (dos cuerpos del mismo peso pero de volumen distinto alcanzarán el suelo en tiempos distintos). Sin embargo, en el vacío todos los cuerpos caen al mismo tiempo, sin importar su volumen o peso.*

## 2. OBJETIVO

Demostrar el efecto de la presión atmosférica **en un recipiente** en cuyo interior se provoca la disminución de la presión de dos formas: a) Directa, a través de la succión; b) Indirecta, a través de un cambio brusco de temperatura del aire y vapor interior.

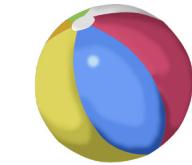


## 3. MATERIALES

- Dos pelotas de esponja del mismo peso.



- b) Una pelota de plástico con aire (del mismo peso que una pelota de esponja).
- c) Una balanza digital o mecánica para pesar las pelotas. Incluso, se puede construir una balanza como la que se observa, para pesar las pelotas.
- d) Cinta métrica
- e) Cronómetro.
- f) Plano inclinado (regla doblemente acanalada de 10 cm de ancho y 2 m de largo) o dos reglas acanaladas de 2 m de largo por 5 cm de ancho.



#### 4. METODOLOGÍA

- a) Utiliza el plano inclinado de 2 m. Levanta uno de sus lados respecto al suelo (aproximadamente 40 cm).
- b) Con la balanza verifica que las dos pelotas de esponja tengan el mismo peso (puedes usar una balanza hechiza).
- c) Una vez pesadas las pelotas, colócalas en el canal respectivo del plano. Suéltalas registrando el tiempo de recorrido por el plano inclinado.
- d) Escoge una pelota de plástico con aire y otra de esponja. Comprueba con la balanza que tengan el mismo peso.
- e) Ahora repite el experimento con las pelotas antes descritas. Registra los tiempos que tarda cada pelota en recorrer el plano inclinado.



Observa y anota las diferencias.

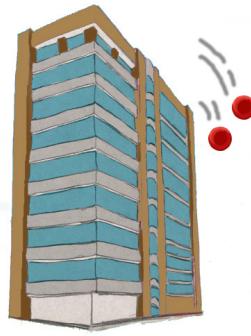
---

---

---

Repite los pasos anteriores con diferentes ángulos del plano inclinado. Experimenta con las siguientes alturas respecto al piso: 50, 70 y 90 cm.

- f) Ahora, escoge y mide la altura de un edificio (se recomienda una altura mínima de tres pisos). Repite el experimento de caída libre de los graves (objetos) soltando las dos pelotas de esponja del mismo peso al mismo tiempo (t). Mide el «t» que transcurre desde que sueltas las pelotas y éstas alcanzan el suelo.
- g) Repite el experimento varias veces (series), anotando en cada serie el tiempo de llegada de cada pelota.
- h) Ejecuta el experimento y los procedimientos anteriores, pero ahora con una pelota de esponja y otra de «plástico con aire» del mismo peso.
- i) Registra los datos en las tablas que se muestran enseguida y realiza los cálculos que se te indican a continuación.



## 5. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE LOS GRAVES

### 5.1 En el plano inclinado.

La velocidad promedio de las pelotas en el plano inclinado se calcula con la siguiente ecuación:

$$v=d/t \quad (13)$$

Donde:

$v$  = Velocidad (m/s)

$d$  = Distancia (m)

$t$  = Tiempo (s)

**Tabla 3.** Pelota de esponja 1 vs. Pelota de esponja 2

Graves	Distancia (d) recorrida (m)	Tiempo (t) de recorrido (s)	Velocidad promedio (v) (m/s)
Pelota de esponja 1	2		
Pelota de esponja 2	2		

**Tabla 4.** Pelota de esponja 1 vs. Pelota de plástico con aire

Graves	Distancia (d) recorrida (m)	Tiempo (t) de recorrido (s)	Velocidad promedio (v) (m/s)
Pelota de esponja 1	2		
Pelota de plástico con aire	2		

**5.2 En el edificio**

Las velocidades finales de las pelotas en caída libre, se calculan con la siguiente ecuación:

$$v_f = v_o + gt \quad (14)$$

Donde:

- $v_f$  = Velocidad final (m/s)  
 $v_o$  = 0 (m/s)  
 $t$  = Tiempo (s)  
 $g$  = Aceleración de la gravedad terrestre (9.81 m/s<sup>2</sup>)

**Tabla 5.** Cálculo de velocidades finales

Graves	Velocidad inicial (v <sub>o</sub> ) (m/s)	Tiempo (t) (s)	Velocidad final (v <sub>f</sub> ) (m/s)
Pelota de esponja 1	0		
Pelota de esponja 2	0		
Pelota de esponja 1	0		
Pelota de plástico con aire	0		

**6. CONCLUSIONES**

De los resultados que observas en las tablas que construiste (si los experimento se realizaron bien, bajo las recomendaciones descritas en este capítulo) se puede deducir que los cuerpos con igual peso y forma se deslizaron o caen hasta alcanzar el suelo más o menos al mismo tiempo, por lo tanto descienden más o menos a la misma velocidad. Esto significa que las pequeñas diferencias de tiempo que tardan en tocar el piso, entre dos pelotas del mismo peso y tamaño, se deben a los efectos del rozamiento con el aire y los factores advecivos locales, respectivamente. Pero al modificar su

densidad, por ejemplo el volumen, el aire opone aún más resistencia de tal forma que modifica su velocidad de caída, alterando los tiempos de recorrido de forma notable. De esta manera se ha probado que en condiciones atmosféricas normales (presión media normalizada, baja velocidad de viento, mínimo efecto de las corrientes de aire locales) dos cuerpos en caída libre del mismo peso, pero con diferente densidad llegan al suelo en tiempos distintos. Sin embargo, en el vacío llegarían al mismo tiempo.

## CAPÍTULO VIII

# ROZAMIENTO

**¿QUÉ PROVOCÁ QUE TU VELOCIDAD SEA DISTINTA  
CUANDO TE TIRAS DE UN TOBOGÁN SECO O CON AGUA?**



## 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta un experimento de rozamiento entre dos superficies que pueden ser el mismo o distinto material. El tema de rozamiento se enunció en el capítulo VII, aquí se presenta el fenómeno con un análisis más detallado, enunciando las ecuaciones que estiman el tiempo que tarda un objeto en deslizarse por un plano, considerando el ángulo de inclinación y el coeficiente de rozamiento de dicho objeto.

### ROZAMIENTO

es la fuerza de resistencia que opone un cuerpo al deslizarse sobre una superficie.



Como recordarás Galileo demostró que en el vacío dos cuerpos caen al mismo tiempo. Algunos historiadores afirman que éste realizó su demostración experimentando con objetos desde la Torre de Pisa, otros sostienen que utilizó planos inclinados. Como haya ocurrido lo relevante es que Galileo llegó a la conclusión de que todos los objetos que parten de la misma altura, caen con la misma velocidad y llegan al suelo al mismo tiempo, siempre que no estén sujetos a fuerzas que se opongan a dicho movimiento, es decir libres de cualquier rozamiento o resistencia.

¿Tienes idea de lo que ocurre con tu velocidad al deslizarte en un tobogán por el que circula agua o un tobogán seco? ¿Y si además cambian los ángulos de inclinación, cómo influye el rozamiento en la velocidad ( $v$ ) y el tiempo de deslizamiento ( $t_d$ )?

A continuación explica tus intuiciones:

---



---



---

Para ayudarte a reflexionar formalmente, a continuación se muestran las fuerzas que actúan sobre un objeto que se desliza sobre otro de igual o distinto material.



Las fuerzas que actúan son las siguientes: Fuerza de gravedad  $G$ , que se descompone matemáticamente en dos fuerzas  $F_y$  ( $m \sin \alpha$ ) y  $F_x$  ( $m \cos \alpha$ ), fuerza normal  $N$  y la Fuerza resistiva  $F_r$  ó también denominada fuerza de rozamiento (contraria a  $F_x$ ).

Con la ayuda de las figuras de arriba, intenta explicar de manera formal, apelando a tus reminiscencias académicas, lo que ocurre cuando te deslizas por un tobogán como el que se observa al inicio de este capítulo.

---

---

---

En el siglo XVII Guillaume Amontons, físico francés, descubrió las leyes del rozamiento estudiando el deslizamiento seco de dos superficies planas. Las conclusiones de Amontons fueron las siguientes (Hincapie, 2011):

1. La fuerza de rozamiento se opone al movimiento de un bloque que se desliza sobre un plano.
2. La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal que ejerce el plano sobre el bloque.
3. La fuerza de rozamiento no depende del área aparente de contacto.

El científico francés Coulomb añadió una propiedad más: «Una vez empezzado el movimiento, la fuerza de rozamiento es independiente de la velocidad» (Espitia, 2013).

Las fórmulas que estiman  $t_d$  de un objeto uniformemente acelerado en un plano inclinado son (Atilio, 2004):

$$t_d = \sqrt{\frac{2l}{g \sin \alpha}} \quad (15)$$

De forma más precisa y considerando el coeficiente de rozamiento (Atilio, 2004):

$$t_d = \sqrt{\frac{2l}{g (\sin \alpha - \beta \cos \alpha)}} \quad (16)$$

Donde:

$t_d$  = Tiempo de deslizamiento en (s)  
 $l$  = Longitud del plano inclinado (m)

$g$  = Aceleración de la gravedad terrestre ( $m/s^2$ )

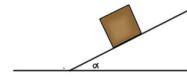
$\alpha$  = Ángulo de inclinación del plano en grados.

$\beta$  = Coeficiente de rozamiento (0.2)

El coeficiente de rozamiento es un coeficiente adimensional de esfuerzo cortante que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto y su valor es característico de los materiales de los mismos. Éste depende de muchos factores, entre los más importantes destacan la temperatura, el acabado de las superficies (rugosidad), la velocidad relativa entre las superficies. Para *madera-madera* y a modo de ejemplo se sugiere usar  $\beta = 0.20$ . Sin embargo, este valor debe estimarse en pruebas exprofeso.

## 2. OBJETIVO

Mostrar el efecto del rozamiento sobre dos cuerpos de distinto material (objeto y superficie de deslizamiento) en un plano inclinado y su influencia sobre los tiempos de deslizamiento para diferentes ángulos de inclinación del plano.



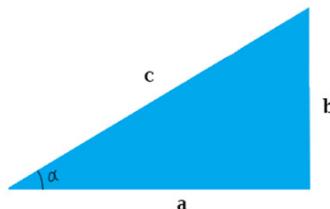
## 3. MATERIALES

- Dos planos acanalados en el centro, uno de madera y otro metálico. Ambos de 10 cm de ancho y 2 m de largo.
- Un cronómetro
- Un cubo de madera de 10x10x10 cm (conviene que sea madera para facilitar su construcción). El  $\beta$  de *madera-madera* es 0.20 y de *madera-metal* de 0.35.
- Una cinta métrica para medir la distancia del extremo levantado del plano inclinado respecto al piso.



## 4. METODOLOGÍA

- a) Se sugiere usar primero el plano de madera, luego el plano metálico.
- b) Levanta un extremo del plano a 1 metro respecto al piso.
- c) Calcula el ángulo  $\alpha$  de la siguiente manera:



$$\alpha = \arcsen\left(\frac{b}{c}\right) = \arcsen\left(\frac{1}{2}\right) = 30^\circ$$

Coloca el cubo de madera sobre el plano y observa. ¿Se desplazó el cubo? Si, ¿Por qué? No, ¿Por qué? A continuación responde y explica tus respuestas.

---

---

---

¿Cuál crees que será el ángulo mínimo para que se inicie el deslizamiento del cubo? Calcula a «prueba y error» dicho ángulo levantando más el extremo del plano. Explica lo que sucede.

---

---

---

Estima la velocidad final que adquiere el cubo con un ángulo  $\alpha$  de  $50^\circ$  y compáralo contra un ángulo  $\alpha$  de  $70^\circ$ .

---

---

---

Estima el tiempo que tarda el cubo en recorrer el plano inclinado. ¿Qué relación de tiempos y velocidades hay entre los dos ángulos anteriores?

---

---

---

¿Qué sucede si  $\alpha$  es de  $90^\circ$ ? Observa y analiza las ecuaciones de rozamiento.

---

---

---

Como se observa en la ecuación 16 el tiempo que tarda un objeto que se acelera uniformemente en recorrer una rampa con rozamiento  $\beta$ , depende de la distancia recorrida, del ángulo  $\alpha$  del plano inclinado y del coeficiente de rozamiento de los materiales en contacto. Si la distancia recorrida es muy pequeña ( $l=2\text{ m}$ ) entonces el tiempo « $t$ » también será pequeño. Esto implica que para ejecutar este experimento deberá utilizarse un cronómetro que pueda medir décimas de segundo para lograr resultados más precisos. En caso contrario, deberá alargarse la rampa lo más posible para medir de forma adecuada el tiempo de desplazamiento del objeto.

## 5. TIEMPO DE DESLIZAMIENTO DEL CUBO

Para estimar la velocidad usa la ecuación 13 y para el tiempo de deslizamiento ( $t_d$ ) del cubo a través del plano, usa la ecuación 16. Con dichos datos llena la tabla 6.

**Tabla 6.** Velocidades y tiempos de deslizamiento

Cubo	$\alpha$ (grados)	$v$ (m/s)	$t_d$ (s)
1	30		
3	50		
4	70		
5	90		

Conviene destacar que existen dos tipos de coeficientes de rozamiento: el dinámico y el estático.

El coeficiente de rozamiento *estático* es el que se presenta antes de que el cuerpo empiece el movimiento. Cuando inicia el movimiento, el coeficiente  $\beta$  se denomina *dinámico*, el cual es menor que el coeficiente de rozamiento estático. A modo de recordatorio, los coeficientes  $\beta = 0.20$  y  $\beta = 0.35$  son los *coeficientes dinámicos* para *madera-madera* y para *madera-metal* *respectivamente*.

## 6. CONCLUSIONES

En este capítulo se mostró el efecto del rozamiento sobre el tiempo de deslizamiento de un objeto que se mueve sobre un plano inclinado de distinto material. En este caso específico cuanto menor fue la fuerza de rozamiento mayor fue la velocidad y menor el tiempo de desplazamiento del objeto. Por otro lado, a mayor ángulo de inclinación del plano predominan las fuerzas iniciales sobre las de rozamiento, por lo tanto es mayor la velocidad del objeto y menor el tiempo de recorrido, según se puede probar con las ecuaciones 15 y 16. Así, cuando se incrementa el ángulo del plano inclinado las fuerzas iniciales predominan sobre las fuerzas de rozamiento, es decir se incrementa la velocidad del objeto en su movimiento descendente. Podemos deducir entonces que sumado a la inclinación del tobogán en un balneario, el agua circulante disminuye las fuerzas de rozamiento, aumentando las fuerzas iniciales, en consecuencia disminuye el tiempo de recorrido de la persona que se desliza por dicho tobogán.

## CAPÍTULO IX

# CHORROS

Si se realizan tres agujeros de 0.5 pulgadas de diámetro, equidistantes entre sí de forma vertical en la superficie externa de un tinaco:

**¿QUÉ CHORRO SERÁ LANZADO A MAYOR DISTANCIA?**



## 1. INTRODUCCIÓN

Torricelli en su libro *Del movimiento de las aguas* estableció a mitad del siglo XVII la siguiente hipótesis (Levi, 1989):

«Las aguas que desembocan violentamente de un pequeño orificio poseen el mismo ímpetu que tendría un cuerpo al caer naturalmente desde el nivel de la superficie del agua hasta el orificio».

Así, el ímpetu de un chorro depende de la masa fluida, la gravedad terrestre y el tirante hidráulico por encima del orificio, que decrece con el tiempo. Una componente relevante del ímpetu es la «velocidad de salida del chorro» ( $v_s$ ) que depende de la gravedad y del tirante hidráulico en el recipiente.

En la hidráulica de chorros, las ecuaciones que deben usarse para estimar el caudal ( $Q$ ), velocidad de salida ( $v_s$ ), y alcance máximo horizontal ( $x_{\max}$ ), son las siguientes (Sotelo, 1986):

$$Q = C_d A \sqrt{2gh} \quad (17)$$

La velocidad de la ecuación anterior es:

$$v_s = \sqrt{2g (h_2 - h_1)} \quad (18)$$

Despejando “x” implícita en  $v_s$ , se tiene:

$$x = v_s \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (19)$$

Derivando la ecuación 19 se obtiene que:

$$x_{\max} = 2 \sqrt{\left(\frac{h_{\max}}{2}\right)^2} = h_{\max} \quad (20)$$

Donde:

- $Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $C_d$  = Coeficiente de descarga del orificio (0.60)  
 $A$  = Área del orificio ( $\text{m}^2$ )

### ÍMPETU

Es el producto de la masa del cuerpo por su velocidad. También se conoce como cantidad de movimiento.

\*\*\*

### VELOCIDAD DE SALIDA DEL CHORRO

Es la velocidad horizontal en el eje del chorro y salida del orificio.

\*\*\*

### COEFICIENTE DE DESCARGA ( $C_d$ )

Es un coeficiente adimensional en la ecuación para estimar  $Q$  en un orificio, que toma en cuenta la contracción de la vena líquida al pasar por el mismo. El valor promedio es de 0.60 para el tipo de orificio aquí estudiado.

$g$	= Aceleración de la gravedad (9.81 m/s <sup>2</sup> )
$h$	= Tirante hidráulico sobre el orificio (m)
$v_s$	= Velocidad del flujo en la salida del orificio (m/s)
$h_2$	= Tirante hidráulico respecto al fondo (m)
$h_1$	= Tirante hidráulico del centro del chorro al fondo (m)
$x$	= Alcance del chorro (m)
$x_{\max}$	= Alcance máximo del chorro (m)
$h_{\max}$	= Tirante hidráulico máximo sobre el orificio (m)

## 2. OBJETIVOS

Demostrar que la velocidad del agua al salir de un orificio realizado en un recipiente cilíndrico (chorro), depende de la gravedad y la carga hidráulica que existe sobre él y que el alcance máximo horizontal de dicho chorro es igual al tirante máximo en el depósito.



## 3. MATERIALES

- a) Una botella de plástico vacía de 3 litros, 0.35 m de altura, con tapa.
- b) Un clavo de 4 pulgadas.
- c) Un recipiente colector.
- d) Una regla graduada.
- e) Una cinta adhesiva.
- f) Un recipiente graduado de un litro.
- g) Un embudo.
- h) Un plumón de tinta indeleble.
- i) Colorante vegetal, rojo o azul.
- j) Plastilina.
- k) Agua.



## 4. METODOLOGÍA

- a) Coloca la botella de plástico de 3 litros en una superficie plana.
- b) Con una regla mide y luego marca en la botella tres puntos equidistantes. Por ejemplo, respecto al fondo: 0.27 m, márcalo con la letra a; 0.175 m, márcalo con la letra b; 0.09 m, márcalo con la letra c.
- c) Con el clavo perfora las marcas que hiciste anteriormente, procurando dejar una sección igual en todos los orificios (mismo tamaño).
- d) Tapa los orificios con plastilina.
- e) Con el recipiente graduado rellena la botella de 3 l con agua usando el embudo y por unas gotas de colorante. Tapa la botella y verifica que no tenga fugas (no debe escurrir agua por los orificios).
- f) Sobre la mesa pega la regla con la cinta adhesiva, el cero de la regla debe quedar alineado con «el lomo» de la botella de plástico de 3 litros, o bien puedes trazar una línea graduada perpendicular a dicha botella, para medir el alcance máximo horizontal de los chorros. La regla o la línea graduada perpendicular a la botella debe tener una longitud mínima igual a la altura de la botella de 3 litros.
- g) Destapa los tres orificios al mismo tiempo y observa qué sucede.

¿Cuál de los tres orificios tiene mayor energía potencial y cinética? Explica por qué.



¿Qué chorro será lanzado a mayor distancia? ¿Explica por qué?

---

---

---

¿Cuál de los tres orificios tiene mayor caudal? ¿Explica por qué?

---

---

---

## 5. ESTIMACIÓN DE CAUDALES, VELOCIDADES Y ALCANCES

- En el primer instante «t», para el primer chorro ubicado a 0.27 m se tienen los siguientes datos:  $h_2=0.35$  m,  $h_1=0.27$  m, con los cuales se puede calcular la velocidad ( $v_{s1}$ ) con la ecuación 18; nota que la velocidad tenderá a disminuir con el decremento de «h». Con la ecuación 19 se puede estimar el alcance horizontal del chorro ( $x_1$ ) que también tenderá a disminuir porque disminuye « $v_s$ » y «h». El caudal ( $Q_1$ ) se puede estimar con la ecuación 17. Como la ecuación 17 también depende de «h» y ésta disminuye con el tiempo, entonces  $Q_1$  también tiende a disminuir conforme transcurre el tiempo.
- De forma idéntica, para el segundo chorro ubicado a 0.175 m, se tienen los siguientes datos:  $h_2=0.35$  m,  $h_1=0.175$  m. Con estos datos se puede calcular la velocidad ( $v_{s2}$ ), el alcance horizontal del chorro ( $x_2$ ), y el caudal ( $Q_2$ ).
- Del mismo modo, para el tercer chorro ubicado a 0.09 m., se tienen los siguientes datos:  $h_2=0.35$  m,  $h_1=0.09$  m. Con estos datos se puede calcular la velocidad ( $v_{s3}$ ), el alcance horizontal del chorro ( $x_3$ ) y el caudal ( $Q_3$ ).

En la tabla 7 se muestran los resultados del experimento que se realizó usando las ecuaciones 17, 18 y 19. Así, la variable  $h_2$  es la altura total de la columna de agua o tirante hidráulico del recipiente respecto al fondo. La variable  $h_1$  representa las alturas de cada uno de los chorros (orificios) respecto al fondo del recipiente (se observan tres valores de  $h_1$  correspondiente a los orificios a, b y c respectivamente).

Se denota con  $v_{s1}$ ,  $v_{s2}$  y  $v_{s3}$  los valores de la velocidad de los chorros a, b y c. Los valores de  $x_1$ ,  $x_2$  y  $x_3$  representan las distancias horizontales alcanzadas por los chorros.

Finalmente las variables  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  son los caudales de cada uno de los chorros estudiados. A continuación, en la tabla 7 se exponen los resultados numéricos.

**Tabla 7.** Estimación de caudales, velocidades y alcances

$h_2$	$h_1$	$v_{s1}$	$x_1$	$Q_1$	$h_1$	$v_{s2}$	$x_2$	$Q_2$	$h_1$	$v_{s3}$	$x_3$	$Q_3$
0.35	0.27	1.25	0.29	0.03	.175	1.85	0.35	0.04	0.09	2.26	0.31	0.05
0.33		1.08	0.25	0.03		1.74	0.33	0.04		2.17	0.29	0.05
0.31		0.89	0.21	0.02		1.63	0.31	0.04		2.08	0.28	0.05
0.29		0.63	0.15	0.01		1.50	0.28	0.03		1.98	0.27	0.05
0.27						1.37	0.26	0.03		188	0.25	0.04
0.25						1.21	0.23	0.03		1.77	0.24	0.04
0.23						1.04	0.20	0.02		1.66	0.22	0.04
0.21						0.83	0.16	0.02		1.53	0.21	0.04
0.19						0.54	0.10	0.01		1.40	0.19	0.03
0.17										1.25	0.17	0.03
0.15										1.08	0.15	0.03
0.13										0.89	0.12	0.02
0.11										0.63	0.08	0.01

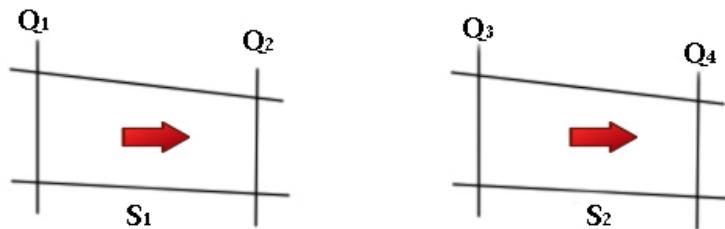
## 6. CONCLUSIONES

En este capítulo se demostró que el alcance de los chorros depende de la velocidad de salida del agua y el tirante hidráulico sobre los orificios. También se probó que el caudal de los chorros depende del área hidráulica, de la gravedad terrestre y el tirante hidráulico « $h$ » sobre cada orificio. Por otra parte se verificó que el chorro más cercano al fondo del recipiente tiene mayor velocidad de salida y mayor caudal que los ubicados arriba de éste, por tener mayor tirante hidráulico. Finalmente se puede afirmar con exactitud que el máximo alcance ( $x_{\max}$ ) de los tres chorros se tiene justo a la mitad del recipiente (chorro «b»), esto se puede probar matemáticamente derivando la ecuación 19 con respecto a « $h$ ». Al derivar se obtiene que  $x_{\max} = h_{\max}$ , es decir que la distancia máxima alcanzada por el chorro es la altura total inicial del agua en la botella (en este caso  $x_{\max} = 0.35$  m), si este resultado se introduce en la ecuación 19 y ahora se despeja la variable  $h$ , entonces se obtiene que  $h = h/2$ , es decir, la altura máxima « $h$ » de la botella donde el alcance del chorro es máximo es justo a la mitad de la botella (en el chorro de enmedio).

## CAPÍTULO X

# LEY DE CASTELLI

Observa los dos tramos del mismo río esquematizados abajo:



Si  $Q$  es el caudal de ambos ríos y  $Q_{\text{río}} = (v_{\text{río}})(A_h)$ , donde  $v_{\text{río}}$  es la velocidad media del agua y  $A_h$  es el área hidráulica; si además suponemos que:  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4$  y  $S_1, S_2$  representan la pendiente de ambos tramos respectivamente, donde  $S_2$  es mayor que  $S_1$ , razona:

$$¿Q_3 = Q_4 > Q_1 = Q_2?$$

**¿EN QUÉ RÍO VA MÁS RÁPIDO EL AGUA?**



## 1. INTRODUCCIÓN

El 12 de noviembre de 1625 Benedetto Castelli, profesor de la universidad de Pisa, demostró la siguiente proposición (Ley de Castelli) y que más tarde se le llamaría *ecuación de continuidad*:

«*La proporción entre la cantidad de agua que escurre por un río cuando éste tiene cierta altura de agua y la que escurre en el mismo río cuando tiene otra altura, está en razón compuesta de la velocidad con la velocidad y de la altura con la altura (Levi, 1989)*».



La proposición anterior que es la ley de conservación de masa en la hidráulica de canales, se puede escribir de la siguiente manera (Levi, 1989):

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{\frac{V_A}{A_A}}{\frac{V_B}{A_B}} \quad (21)$$

Donde:

- $Q_A$  = Caudal del río en la sección A  
 $v_A$  = Velocidad del río en la sección A  
 $Q_B$  = Caudal del río en la sección B  
 $v_B$  = Velocidad del río en la sección B  
 $A_A$  = Área hidráulica del río en la sección A  
 $A_B$  = Área hidráulica del río en la sección B

### CAUDAL

Es el volumen que pasa en una sección hidráulica en un tiempo determinado.

\*\*\*

### PENDIENTE DE UN RÍO

Es el resultado de dividir la diferencia altitudinal de un tramo de río, entre la distancia horizontal de dicho tramo.

La ley de Castelli también se puede enunciar de la siguiente manera:

«*El caudal promedio en cualquier sección de un río, es igual al producto de la velocidad promedio del flujo por el área de dicha sección*».

La forma matemática para expresar la ecuación de Castelli es (Sotelo, 2009):

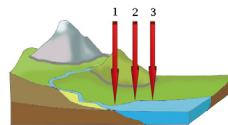
$$Q = v A_h \quad (22)$$

Donde:

- $Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )  
 $v$  = Velocidad promedio del flujo ( $m/s$ )  
 $A_h$  = Área hidráulica ( $m^2$ )

## 2. OBJETIVOS

Comprobar que la cantidad de agua que pasa por tres secciones diferentes de un río, como las que se muestran en 1, 2 y 3 de la figura adjunta, no depende de la pendiente de dicho río, ni se altera por los cambios que tenga la velocidad y las áreas hidráulicas respectivas. Despreciando la infiltración y la evaporación, la cantidad de agua que pasa por 1, 2 y 3 se mantiene constante aunque  $S_o$ ,  $A_h$  y  $v$  cambien.



## 3. MATERIALES

- a) Seis m de tubería de PVC de 6 pulgadas de diámetro.
- b) Una manguera conectada a un grifo.
- c) Un cronómetro.
- d) Una tina grande o tambo de 200 l.
- e) Dos mesas para apoyar la tubería de PVC (media caña).
- f) Cuatro barras de plastilina para acuñar la media caña en las mesas,  $\frac{1}{4}$  litro de pintura de aceite y una brocha pequeña o pincel grueso.

### ÁREA HIDRÁULICA

Es el área (sección transversal) mojada del río. Por ejemplo: para una sección rectangular es el ancho de dicha sección multiplicada por el nivel del agua.

## 4. METODOLOGÍA

- a) Cortar la tubería de PVC de 6 pulgadas de diámetro por la mitad, en toda su longitud, para construir dos canaletas (medias cañas).
- b) Colocar una de las canaletas cortadas, apoyando cada extremo de la misma en las mesas. Acúñala con las barras de «plastilina amasada» para inmovilizarla. Uno de los extremos de la tubería debe quedar 0.0006 m por debajo de la altura del extremo opuesto, es decir, con una pendiente de 0.0001. Esto se logra colocando cuñas de cartón en una de las dos mesas. Si la pendiente anterior se te dificulta ejecutarla, puedes probar con 0.0083, eso se logra bajando 5 mm uno de los extremos de la canaleta de 6 m de largo respecto al extremo opuesto.

- c) Divide la altura total  $h$  de la tina o el tambo de 200 litros en dos partes. Usando la pintura de aceite y una brocha pinta una raya horizontal  $h_1$  (5 ó 10 cm por encima del fondo) y  $h_2$  (5 ó 10 cm por debajo del borde superior). Determinar el volumen contenido entre  $h_1$  y  $h_2$ , llenando la tina o el tambo con una cubeta de volumen conocido y un recipiente graduado de un litro para realizar los ajustes de volumen si fuera necesario. Anota el valor del volumen de agua.
- d) Coloca el tambo de 200 litros justo debajo de la canaleta en el extremo de menor altura respecto al piso. Si es necesario deberá ajustarse la altura de las mesas colocando cuñas en las patas para alcanzar la altura del tambo.
- e) Conecta la manguera al grifo más cercano y abre la válvula para hacer circular el agua por la canaleta.
- f) Inicia el llenado del tambo de 200 litros. Cuando el agua llegue justo a la altura  $h_1$  usando el cronómetro inicia la medición del tiempo hasta que el volumen del agua alcance  $h_2$ , justo en ese nivel detén el cronómetro y anotar el tiempo de llenado.
- g) Estimar el caudal  $Q$ , mediante la siguiente ecuación:  $Q=V/t$ , donde  $V$  es el volumen conocido entre  $h_1$  y  $h_2$  y  $t$  es el tiempo de llenado en segundos.

Conocido  $Q$  en la canaleta calcula la velocidad del flujo de la misma. Explica cómo la calcularías.

---

---

---

---

- h) Repite el experimento del inciso *b* al inciso *g*, pero modifica la pendiente. Ahora la pendiente será de 0.01, es decir, uno de los extremos de la canaleta deberá quedar 0.06 m, por debajo del extremo opuesto.

¿Esperas que la velocidad sea mayor o menor que la calculada anteriormente? Escribe tu respuesta de forma intuitiva antes de ejecutar el inciso «h».

---

---

---

---

Ejecuta el inciso “h” y responde con formalidad: ¿En qué experimento la velocidad del agua es mayor?

---

---

---

---

Explica en las siguientes líneas porqué:

---

---

---

---

¿Qué ocurrió con “Q” y “v” de ambos experimentos?

---

---

---

---

## 5. ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DEL AGUA

En la tabla 8 escribe los datos correspondientes para cada experimento. La velocidad promedio del agua para cada experimento, se estima con la ecuación 22.

Tabla 8. Estimación de la velocidad del agua en las canaletas

Canaleta	Volumen 1 (m <sup>3</sup> )	Tiempo 1 (s)	$Q_1$ (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad 1 (m/s)
A				
Canaleta	Volumen 2 (m <sup>3</sup> )	Tiempo 2 (s)	$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad 2 (m/s)
B				

Analiza y discute los resultados.

---

---

---

---

## 6. CONCLUSIONES

En este experimento en el cual se empleó una canaleta con dos pendientes distintas (simulando un río), se pudo probar la ley de Castelli, donde se demostró que los cambios de pendiente ( $S$ ), área hidráulica ( $A_h$ ) o velocidad del agua ( $v$ ) en un determinado río no influyen para aumentar o disminuir el caudal ( $Q$ ), esto significa que la cantidad de masa en la unidad de tiempo se conserva a pesar de las variaciones de  $S$ ,  $A_h$  y  $v$ . La variación de la pendiente, por ejemplo, sólo influye en los cambios del área hidráulica de la sección y por lo tanto en la velocidad. A mayor pendiente mayor velocidad y en consecuencia menor tirante hidráulico, para cualquier « $Q$ » constante.

## CAPÍTULO XI

# EL PRINCIPIO DE BERNOULLI

Cuándo riegas tu jardín y obstruyes parcialmente  
la salida del agua de la manguera:

**¿QUÉ AUMENTA, LA VELOCIDAD, LA PRESIÓN O AMBAS?**



## 1. INTRODUCCIÓN

Daniel Bernoulli nació en Groningen, Holanda. Estudió Medicina concluyendo su preparación en este campo en 1721, sin embargo destacó no sólo en matemática pura, sino también en la aplicada. Sus más importantes contribuciones las realizó en el campo de la Hidromecánica y Elasticidad. En 1738 publicó su libro sobre Hidrodinámica (Rodríguez, 2003).



*En el libro de Hidrodinámica Daniel Bernoulli escribió la relación que existe entre la velocidad y la presión de un fluido que circula por una tubería.*

Esta relación se determina a partir de la ecuación denominada “Ecuación de Bernoulli”, que establece:

*«...la energía desarrollada en un fluido que circula por una tubería se conserva en cualquier punto de la misma».*

Es decir:

$$E_1 = E_3 \quad (23)$$

Donde:

$E_1$  = Energía en el punto 1  
 $E_3$  = Energía en el punto 3

La ecuación 23 se puede expresar de acuerdo a Bernoulli como (Sotelo, 2009):

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} \quad (24)$$

Donde:

$z$  = Elevación con respecto a un plano de referencia (m)  
 $P/\gamma$  = Carga de presión (m)  
 $v^2/2g$  = Carga de velocidad (m)

### CARGA DE PRESIÓN

Es la energía potencial del fluido en una tubería dada en unidades lineales.

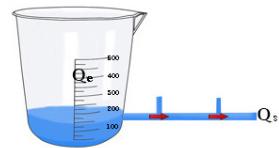
\*\*\*

### CARGA DE VELOCIDAD

Es la energía cinética del fluido en una tubería dada en unidades lineales

## 2. OBJETIVOS

Utilizar un dispositivo diseñado exprofeso para demostrar el principio de Bernoulli y observar el comportamiento del fluido con relación a su velocidad y presión en dos secciones determinadas de una tubería.



## 3. MATERIALES

- a) Un depósito de 50 litros con agua (depósito elevado), para alimentar la tubería.
- b) Una válvula de mariposa o válvula de globo para controlar el flujo del depósito.
- c) Manguera transparente de una pulgada de diámetro y 5 m de longitud.
- d) Un trozo de manguera transparente de 20 cm de longitud y 5/16 pulgadas de diámetro.
- e) Reducción para adaptar la manguera de 5/16 pulgadas de diámetro a la de 1 pulgada de diámetro.
- f) Madera acanalada de 5 cm de ancho y 4 m de longitud para colocar la manguera.
- g) Cinta adhesiva de 5 cm de ancho.
- h) Dos popotes transparentes.
- i) Una cinta métrica de 3 m de largo.
- j) Una regla graduada.
- k) Una pistola con silicón.
- l) Una navaja o «cutter».
- m) Agua.
- n) Colorante. rojo o azul.

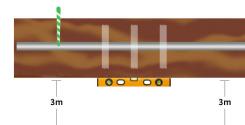
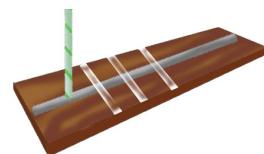
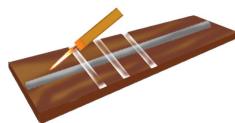


- o) Plumón de punto fino (tinta indeleble).
- p) Una vela.
- q) Un trozo de metal de igual diámetro que el popote.
- r) Cerillos.



#### 4. METODOLOGÍA

- a) Coloca la manguera sobre la madera acanalada y sujétala con la cinta adhesiva para evitar que se mueva.
- b) En la manguera de 1 pulgada de diámetro adapta las reducciones de tubería de 5/16 de pulgada, a una distancia de 3 metros del punto de conexión del depósito, marcada con el plumón de forma previa.
- c) Enciende la vela con un cerillo y calienta el metal.
- d) Haz dos perforaciones con el metal caliente antes de la reducción y una más en la reducción de la manguera.
- e) Corta con el cutter los popotes por la mitad. Ahora colócalos en las perforaciones. Asegúrate que no haya fugas sellando con silicona.
- f) Sujeta la “tabla con la manguera” a la pared y verifica que toda la extensión de la manguera esté a la misma distancia del piso. Utiliza para tal efecto la cinta métrica de 3 m.
- g) Cierra las válvulas del sistema. Llena el depósito con agua y agrega el colorante.
- h) Abre el dispositivo para llenar la tubería y observa atentamente los niveles del agua en los popotes.



¿En cuál de los popotes crees que el agua alcanzará mayor altura? Explica por qué.

---

---

---

---

- i) Mide la altura alcanzada por el agua en cada uno de los popotes y regístrala en la tabla 9.

¿Por qué ocurren los cambios de altura de agua?

---

---

---

---

¿Qué ocurre con la presión y la velocidad en los puntos donde se realizaron las perforaciones?

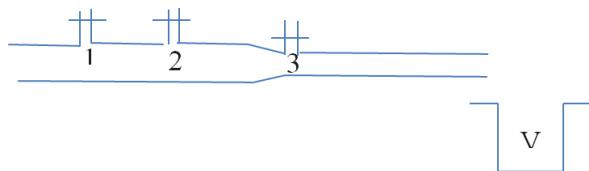
---

---

---

---

Puedes observar en el dispositivo experimental que si el diámetro de la tubería es constante (sección 1 y 2) el fluido mantiene su velocidad y presión también constante en toda su extensión, pero si se reduce el diámetro (sección 3) la velocidad aumenta y la presión disminuye. Para comprobar lo afirmado llena la tabla 9 procediendo de la siguiente manera:



- a) Utiliza la ecuación:  $Q = V/t$ , donde "V" es el volumen en  $\text{m}^3$  y «t» el tiempo en segundos. Calcula el caudal con la ecuación anterior, recibiendo el agua desalojada en un recipiente con volumen conocido (V) y midiendo el tiempo (t) de llenado de la misma.

b) Calcula:

$$v_1 = \frac{Q}{\frac{\pi D_1^2}{4}}$$

$$v_2 = \frac{Q}{\frac{\pi D_2^2}{4}}$$

- c)  $P_1/\gamma$  es la altura del agua en el popote en la sección 1 en m, que tiene el mismo valor que  $P_2/\gamma$  porque la tubería tiene el mismo diámetro en esas secciones.
- d) Como se desconoce la presión en la sección 3, se procede a calcular  $P_3$  despejando dicha variable de la de la ecuación 24, por lo tanto:

$$P_3 = \left[ \left( z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left( z_3 + \frac{v_3^2}{2g} \right) \right] \gamma \quad (25)$$

Donde:

$z_1$  =Es la distancia del tubo al suelo en el punto 1 (m).

$z_3$  =Es la distancia del tubo al suelo en el punto 3 (m).

$v_1$  =Es la velocidad calculada en el punto 1 (m/s).

$v_3$  =Es la velocidad calculada en el punto 3 (m/s).

$P_1/\gamma$  = Es la altura del agua en el popote 1 (m)

$\gamma$  = Es el peso específico del agua (kg/m<sup>2</sup> s<sup>2</sup>)

$P_3$  =Es la presión en el punto 3 (m)

$g$  =Es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

## 5. CÁLCULO DEL CAUDAL, PRESIÓN Y VELOCIDAD

Utiliza la tabla 9 para vaciar los datos de los cálculos del caudal, presiones y las velocidades en el tramo de tubería de 1 pulgada de diámetro y en la reducción de 5/16 pulgadas de diámetro.

Tabla 9. Cálculo de la presión y velocidad

Puntos	$Z_1$	$P_1/\gamma$	$v_1^2/2g$	$Z_2$	$P_2/\gamma$	$v_2^2/2g$	$Q$
1							
2							

## 6. CONCLUSIONES

Utilizando un prototipo experimental como el descrito en este capítulo, utilizando la ecuación de Bernoulli y basándose en los resultados mostrados en la tabla 9, se demostró que para conservar la energía del agua que fluye en dicho prototipo experimental:

1. Si aumenta la presión (P), disminuye la velocidad (v) del fluido.
2. Si aumenta la velocidad (v) del fluido, disminuye la presión (P).

# CAPÍTULO XII

# VASOS

# COMUNICANTES

Cuando dos depósitos o tinacos con agua están comunicados, por ejemplo, en su parte inferior por una tubería, siempre tendrán el mismo nivel o tirante hidráulico si ambos están abiertos a la atmósfera. Ahora, si uno de los tinacos se tapa herméticamente e introduces agua en el otro que está sujeto a la presión atmosférica:

**¿QUÉ SUCEDE CON EL NIVEL DEL AGUA  
EN EL TINACO TAPADO?**



## 1. INTRODUCCIÓN

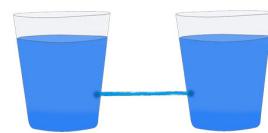
Cuando dos o más recipientes abiertos a la atmósfera están comunicados entre sí en la parte inferior por tuberías y en uno de ellos se vierte líquido, por ejemplo, agua, ésta circula a través de las conexiones y los recipientes alcanzan el mismo nivel. El fenómeno referido recibe el nombre de vasos comunicantes.

### TIRANTE HIDRÁULICO

Es el nivel o altura de agua, medido desde el fondo de una canal o recipiente hasta su superficie libre.

## 2. OBJETIVO

Mostrar que el nivel de agua en un sistema de vasos comunicantes depende de: a) la presión atmosférica y b) de la hermeticidad de todos los vasos o de alguno de ellos.



## 3. MATERIALES

- a) Dos botellas transparentes con tapa, de 3 litros de capacidad y de 35 cm de altura.
- b) Un tubo de plástico transparente de 5/16 de pulgada de diámetro y 20 cm de longitud.
- c) Una pistola con silicona.
- d) 3 litros de agua.
- e) Una vela o mechero.
- f) Un trozo de metal de un diámetro igual al tubo del inciso b.
- g) Una cajita de cerillos.
- h) Una regla graduada.
- i) Un embudo.



## 4. METODOLOGÍA

- a) Enciende la vela y pon a calentar el trozo de metal.
- b) Con el trozo de metal caliente perfora las dos botellas de 3 litros por la parte inferior a la misma altura.
- c) Coloca el tubo de plástico transparente de 5/16 pulgadas de diámetro y 20 cm de longitud en las perforaciones y séllalos con silicona.
- d) Con el embudo vierte agua llenando uno de los recipientes, manteniendo ambos destapados hasta que el agua alcance un tercio de la botella.
- e) Ahora tapa una de las botellas y continúa llenando la otra.



¿Qué crees que sucederá? Describe de forma intuitiva lo que esperas que ocurra.

---

---

---



- f) Ahora destapa la botella y observa. ¿Qué sucedió? Explica con fundamentos físicos el fenómeno ocurrido.

---

---

---



## 5. EXPLICACIÓN DEL FENÓMENO

Galileo Galilei fundador de la metodología científica moderna (ACCC, 1978), quien fue catedrático de matemática en la universidad de Pisa, matemático-residente del gran Duque de Toscana en 1610 (Losee, 1981) y de acuerdo a Cuadrado (1997) inventor del telescopio más potente de su época, estableció los principios de vasos comunicantes del siguiente

modo: 1) Si se vierte un fluido, por ejemplo agua, en un sistema de recipientes conectados entre sí, aunque tengan diversas formas y tamaños el nivel del agua será el mismo en todos ellos, siempre que estén expuestos a la presión atmosférica; 2) Si se tienen fluidos distintos que no se mezclen de forma homogénea, el fluido con mayor densidad se distribuye en el tubo de conexión del sistema y las alturas del resto de los recipientes resultan inversamente proporcionales a las densidades de los líquidos. Estos principios tienen diversas aplicaciones: a) En algunos mecanismos hidráulicos; b) En instalaciones municipales para el suministro de agua a la población, c) En los sifones de los wc y lavabos por mencionar los más relevantes en el uso cotidiano doméstico.

Como se pudo observar en el experimento realizado, si ambos recipientes están sometidos a la presión atmosférica los niveles de agua en cada uno será el mismo una vez que cese el llenado. Sin embargo, si uno de los recipientes está sellado herméticamente el nivel de agua no se modifica. Si se destapa el recipiente sellado el caudal fluirá del recipiente que tenga mayor altura de agua al de menor altura, hasta que ambos alcancen el mismo nivel.

## 6. CONCLUSIONES

Se ha mostrado que: 1). En un sistema de vasos comunicantes la altura de agua alcanzada, es decir el tirante hidráulico en dichos vasos es la misma, siempre que estén sometidos a la presión atmosférica, 2). Sin embargo, el nivel del agua no cambiará en los vasos del sistema donde la presión atmosférica se nula, es decir, en aquellos vasos que estén tapados herméticamente. Este segundo principio galileano es el fundamento de la operación de los tinacos o recipientes de carga constante.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACCC (1978). **Metodología del conocimiento científico.** Academia de Ciencias de Cuba (ACC) y Academia de Ciencias de la URSS (ACU). Ed. Quinto Sol. México, D.F. México.
- Atilio, F. (2004). **Problemas resueltos de Física I.** Secretaría de Ciencias y Tecnología. Universidad Nacional de Catamarca. San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina.
- Bachelard, G. (2004). **La formación del espíritu científico.** Siglo XXI editores. México, D.F.
- Butterfield, H. (1981). **Los orígenes de la ciencia moderna.** Ciencia y Desarrollo. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.
- Castrillón, L.F., Gómez, A.F. (2014). **Construcción de un prototipo para levitación de materiales ferromagnéticos en presencia del campo magnético producido por una bobina.** Tesis de licenciatura de la Facultad de Tecnología de la Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Chalmers, A.F. (1997). **¿Qué es esa cosa llamada ciencia?** Ed. Siglo XXI. Madrid, España.
- Cuadrado, S. (1997). **Galileo.** M.E. Editores. Madrid, España.
- Espitia, D.L. (2013). **Determinación del coeficiente de fricción de deslizamiento para algunos materiales de uso común en ingeniería mediante el método de las oscilaciones armónicas.** Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Hincapie, M.H. (2011). **Predicción, experimentación y simulación en la enseñanza de la fuerza de rozamiento.** Tesis de maestría de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Hutchinson, I.H. (1999). **Interacciones electromagnéticas.** MIT open course ware. Massachusetts Institute of Technology. U.S.A.
- Levi, L.E. (1989). **El agua según la ciencia. Evolución de la hidráulica.** Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.
- Losee, J. (1981). **Introducción histórica a la filosofía de la ciencia.** Ed. Alianza Universidad. Madrid, España.

- Mundo-Molina, M. (2012). **Fundamentos físico-matemáticos y métodos para estimar y pronosticar la ETo con fines de riego en el Valle del Yaqui, Sonora, México.** Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Mundo-Molina, M. (2016). **Fundamentos físico-matemáticos de las ecuaciones básicas de la hidráulica.** Inédito. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.
- Newman, J. R. (1969). **Arquímedes. El mundo de las matemáticas.** Colección SIGMA. México, D.F.
- Ortega, L. (2014). **Abastecimiento de agua para pequeñas poblaciones con la captación tipo Coanda.** Tesis de licenciatura de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática. Universidad Central del Ecuador.
- Pelkowski, J. (2001). **El vacío de Guericke y sus virtudes.** Meteorología colombiana. No. 4:127-138.
- Pérez, A. (2010). **Simulación numérica de la dinámica de un «Levitrón».** Departamento de Electrónica y Electromagnetismo. Universidad de Sevilla.
- Pérez, S.A. (2008). **Historia del magnetismo.** Asociación de astronomía y estudios del hombre. Madrid, España.
- Piñeiro, J. (2010). **Henry Marie Coanda y el efecto Coanda.** Archivos de Cardiología de México. 80(1):48-51.
- Rodríguez, S.O. (2003). **Aportaciones de los Bernoulli al cálculo.** Apuntes de historia de las matemáticas. No. 1, vol. 2.
- Sotelo, A.G. (1986). **Hidráulica general.** Ed. Limusa, México. D.F.
- Sotelo, A.G. (2009). **Hidráulica de canales.** Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Thomson, R.B. (2005). **Peter Peregrinius, Medieval science, technology and medicine.** An Encyclopedia. Ed. Thomas Glick.
- Vega, P.J., Vega, P.S. (2014). **Electromagnetismo.** Primera edición. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

Este libro intenta contribuir en la búsqueda de nuevos mecanismos para despertar el interés por la ciencia y enseñar a los jóvenes a pensar y razonar en una época donde la mayoría no tiene tiempo para hacerlo, es decir, pretende dar una oportunidad a los jóvenes para razonar la ciencia. Si se usa esta pequeña obra de forma adecuada, siguiendo las instrucciones de cada experimento, se tiene la posibilidad de alimentar la imaginación de forma metodológica y además «vivir la ciencia» mediante la experimentación en tres fases: Fase intuitiva; Fase experimental documentada y Fase de desarrollo teórico de los conceptos científicos.

