

Medición de la presión atmosférica con elementos sencillos en clase

Measurement of atmospheric pressure with simple elements in class

Juan Cruz Bigliani¹

¹ Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Vélez Sarsfield 1611. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba. Argentina.

*E-mail: jbigliani@unc.edu.ar

Resumen

Durante el dictado de clases de Física I, se incluyeron una serie de experimentos atractivos con el objetivo de captar la atención de los estudiantes, motivarlos en el estudio de la física y ayudarlos a construir conocimientos significativos. En función de esta experiencia con los estudiantes, en este trabajo, se relata una actividad práctica que puede ser implementada al dictar una clase de Hidrostática o como actividad de laboratorio. La actividad trata sobre la medición de la presión atmosférica utilizando una jeringa y algunos otros elementos cotidianos. Tapando el pico de la jeringa, se cuelga del vástago una botella que se va llenando hasta que el vástago comienza a bajar a velocidad constante. Logrado esto, se mide la masa de agua utilizada y la sección de la jeringa, y se calcula la presión atmosférica. Luego se hacen algunas modificaciones en la forma de proceder para mejorar la precisión de las mediciones, y con esto se consiguen resultados con una incertidumbre muy aceptable considerando los elementos utilizados. Al final del cursado se realizó una encuesta y el 88 % de los estudiantes que realizaron comentarios sobre las clases resaltaron los experimentos como una experiencia positiva con la que se logra una mejor comprensión de los temas desarrollados.

Palabras clave: Actividad experimental; Medición de presión; Curiosidad; Elementos cotidianos.

Abstract [Calibri 10]

During the Physics I classes, a series of attractive experiments were included with the aim of capturing the attention of the students, motivating them in the study of physics and helping them build significant knowledge. Based on this experience with the students, this paper relates a practical activity that can be implemented during a Hydrostatics class or as a laboratory activity. The activity is about measuring atmospheric pressure using a syringe and some other everyday objects. Covering the tip of the syringe, a bottle is hung from the stem and filled until the stem begins to descend at a constant speed. Once this is achieved, the mass of water used and the section of the syringe are measured, and the atmospheric pressure is calculated. Then some modifications are made in the way of proceeding to improve the precision of the measurements, and with these results are achieved with a very acceptable uncertainty considering the elements used. At the end of the course, a survey was carried out and 88% of the students who made comments about the classes highlighted the experiments as a positive experience with which a better understanding of the topics developed is achieved.

Keywords: Experimental activity; Pressure measurement; Curiosity; Everyday objects.

I. INTRODUCCIÓN

En todos los niveles educativos, la práctica experimental es una de las acciones didácticas a las que un docente puede recurrir al momento de intentar lograr la construcción de un concepto como parte del proceso de enseñanza y aprendizaje. Estas permiten formular hipótesis, establecer modelos y validar resultados a los cuales se llega a través de un razonamiento hipotético-deductivo (Gutiérrez, 2018).

Estas prácticas, en donde se ponen a prueba ideas, son una excelente herramienta pedagógica y en muchos aspectos, un entorno esencial para la enseñanza de las ciencias en todos los niveles. El laboratorio, en general, brinda a los estudiantes la posibilidad de aprender a partir de sus propias experiencias y de la experiencia colaborativa con sus pares (Crouch y Mazur, 2001) y (Monteiro, Cabeza, Martí, Vogt y Kuhn, 2014). También puede y debe ser usado para estimular la curiosidad y el placer por la investigación y el descubrimiento. Además, brinda a los alumnos la posibilidad de explorar, manipular, sugerir hipótesis, cometer errores y reconocerlos, y por lo tanto, aprender de ellos (Calderón, Núñez, Di Laccio y Lannelli, 2015).

Es muy común la conjetura sesgada de que las prácticas de laboratorio en el ámbito educativo son muy costosas debido a que estas se piensan solo en base a equipamientos comerciales que verdaderamente son muy costosos, y sumado a que a menudo las instituciones no destinan presupuesto para estos equipamientos, esto se convierte en una causa más de la poca presencia de experiencias prácticas en torno a la enseñanza de la física.

La consecuencia inmediata de esta concepción, es que la enseñanza de las ciencias experimentales termina basándose en la transferencia pasiva de conocimientos como pueden ser definiciones, leyes y descripciones, mecanismo que no modifica sustancialmente las formas de pensamiento de los alumnos.

Esta restricción genera un vacío en el proceso de enseñanza y aprendizaje, limitándolo a la resolución de problemas de lápiz y papel sobre fenómenos que los estudiantes no experimentan. Es necesario que en el aula o en el laboratorio, los estudiantes tengan la posibilidad de realizar experiencias, con la correspondiente manipulación de instrumentos y equipos para lograr un aprendizaje significativo, para que comprendan verdaderamente los fenómenos estudiados y para que se encuentren más motivados por estas prácticas por tener mayor sentido para ellos.

En el primer año de la carrera de Biología dentro de la Universidad Nacional de Córdoba se dicta la materia Física I. Los estudiantes de Biología, en general, están muy poco motivados para el estudio de esta materia y en algunos casos la consideran innecesaria dentro del programa por sentirla alejada de su disciplina. Para mitigar esta problemática, y para lograr un aprendizaje significativo mediante el contacto directo y la visualización de los fenómenos físicos en el aula, se han implementado una serie de experimentos para realizar en clase, que por un lado, contribuyen como herramienta didáctica para la comprensión de los conceptos físicos, y por otro, intentan despertar la curiosidad y el interés de los estudiantes acercando la física a lo cotidiano y al mundo real.

En este trabajo se describe la manera en que puede realizarse una experiencia práctica para evidenciar conceptos de hidrostática mientras se mide la presión atmosférica en clase utilizando elementos sencillos y cotidianos.

II. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Para realizar la experiencia de la medición de la presión atmosférica se utilizaron elementos muy simples de conseguir: una jeringa de 3 cm³, una botella de plástico descartable de 1,5 l, una probeta o algún recipiente que permita medir volúmenes de líquidos, agua y un poco de hilo.

Si se toma una jeringa con el vástago completamente dentro de ella, en la posición como muestra la figura 1.a y se le tapa el pico para luego retraer su vástago hacia una posición como en la figura 1.b podremos percibir la fuerza que realiza la presión atmosférica sobre dicho vástago, tal es así, que si se suelta el vástago la presión atmosférica lo empujará para que este retorne a la posición original.

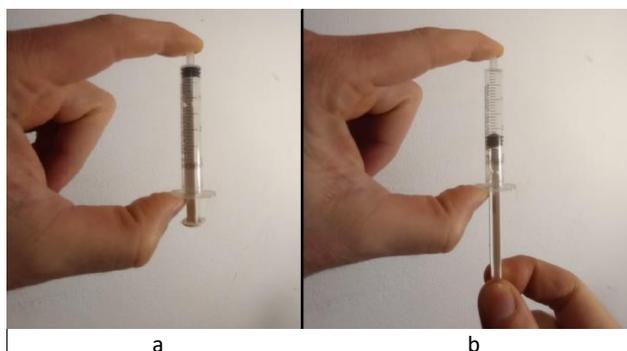


FIGURA 1. Se muestra la jeringa en dos posiciones para una primera demostración.

Con esta simple experiencia queda en evidencia la fuerza que realiza la presión atmosférica debido a que del otro lado del vástago, es decir, del lado interno de la jeringa, la presión es nula ya que dentro de la jeringa hay vacío absoluto (o casi absoluto, ya que al tapar la jeringa con el vástago dentro, algo de aire siempre queda). Si no se hubiese tapado la jeringa, al mover el vástago, no se sentiría ninguna fuerza, pero la presión sigue estando ahí, solo que, en ese caso, será igual de ambos lados y se contrarresta. Esta explicación al comienzo de la experiencia tiene de por sí, una potencia didáctica muy grande ya que deja en evidencia muy claramente la manifestación de la presión atmosférica y la fuerza que produce sobre una determinada superficie. Mejor aún es la experiencia en esta instancia, si se invita a que se pruebe a mover el vástago de distintos diámetros de jeringas con el pico tapado, al hacerlo, será muy fácil mover el vástago de las pequeñas y muy difícil mover el de las más grandes (como las de 60 cm³). Realizando esta experiencia, prácticamente se construye sola la relación entre la presión, fuerza y superficie.

El procedimiento para medir la presión atmosférica consiste en algo tan simple como medir la fuerza (F) que esta ejerce sobre el vástago de la jeringa y medir también el diámetro interno de la jeringa para calcular su sección (S). Con estos datos se puede calcular la presión atmosférica (P_{atm}) de la siguiente manera:

$$P_{atm} = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot R^2} \quad (1)$$

Por supuesto que esta fuerza se puede calcular fácilmente, si se cuenta con un dinamómetro o una balanza, pero la idea era realizar la experiencia con elementos cotidianos, baratos y que fuera simple conseguir.

Para medir la fuerza que ejerce la presión atmosférica se puede proceder de la siguiente manera. Se coloca la jeringa en posición vertical como muestra la figura 2 y se cuelga del vástago una botella vacía. Luego de esto, se tapa el pico de la jeringa con el dedo y se comienza a llenar de a poco la botella de agua. Al hacer esto, llegará un momento en que el vástago comienza a deslizarse lentamente hacia abajo a velocidad constante. En este momento, despreciando la fuerza de rozamiento entre el vástago y el cuerpo de la jeringa, se puede plantear que el peso (P) de la botella con agua hacia abajo es igual a la fuerza (F) que realiza la presión atmosférica sobre el vástago hacia arriba. Despreciando la fuerza de rozamiento para un primer cálculo, fuerza que luego la consideraremos, en este momento ya se tienen los datos necesarios para calcular la presión. Midiendo el volumen de agua (V) dentro de la botella se puede calcular su peso (P), y despreciando el peso de la botella, se puede suponer que la fuerza de la presión atmosférica es igual al peso del agua, y con esto, la ecuación 1 nos queda:

$$P_{ATM} = \frac{F}{S} = \frac{P}{\pi \cdot R^2} = \frac{\delta \cdot V \cdot g}{\pi \cdot R^2} \quad (2)$$

Al realizar el cálculo de esta manera, no se están considerando la fuerza de rozamiento del vástago ni el peso de la botella. Sin embargo, en función del contexto y de los objetivos del experimento, es conveniente comenzar realizándolo de esta manera, ya que su simpleza puede ayudar a que se vaya comprendiendo el fenómeno, el equilibrio de fuerzas y la forma en que se está procediendo para calcular la presión. En el siguiente apartado se analizará como mejorar significativamente los cálculos pudiendo considerar ambas cosas sin complejizar las mediciones.



FIGURA 2. Se muestra la jeringa con la botella ejerciendo una fuerza hacia abajo para que el vástago baje a velocidad constante.

Haciendo los cálculos de esta forma, sin tener en cuenta ni el rozamiento ni el peso de la botella, estos dos errores, se compensan en parte. Esto se debe a que estas fuerzas tienen direcciones contrarias, la fuerza de rozamiento mientras que el vástago está bajando, es hacia arriba, y el peso de la botella es hacia abajo. En las jeringas utilizadas (de 3 cm³) la fuerza de rozamiento es de aproximadamente 0,4 N y el peso de la botella utilizada (botella descartable de 1,5 l) es de 0,25 N (masa =26 g), y no considerar estos produce un error que no supera el 10 % en el cálculo de la presión, un error más que aceptable para un primer cálculo y considerando los materiales que se están utilizando.

Si bien el objetivo primario al realizar este experimento con los estudiantes no requiere de una baja incertidumbre en los resultados, el proceso de intentar mejorar la medición y analizar las fuentes de error en el experimento si contiene de por sí, una gran riqueza como herramienta pedagógica. Por esto, se presentarán algunas maneras en las que se pueden mejorar las mediciones considerando el rozamiento, eliminando la necesidad de conocer el peso de la botella y mejorando la medición de la sección de la jeringa.

A. Procedimiento para calcular la fuerza de rozamiento

El rozamiento entre el vástago y el cuerpo de la jeringa depende mucho de la calidad de esta y del tamaño. Lo mejor es usar jeringas nuevas y si bien parecería que es una buena idea lubricarlas, luego de hacer pruebas con variadas sustancias nunca se logró disminuir el rozamiento con ninguna de ellas.

Una de las maneras más simples de medir la fuerza de rozamiento entre el vástago y el cuerpo de la jeringa es realizando los mismos pasos que se siguieron para medir la presión en el apartado anterior, pero ahora con el pico de la jeringa destapado. De esta manera, la presión atmosférica no interviene ya que actúa de los dos lados del vástago, y si se mide la fuerza necesaria para mover el vástago a velocidad constante, se está midiendo la fuerza de rozamiento dinámico. Si se mantiene la jeringa destapada, se cuelga la botella del vástago y se va agregando agua hasta que este comience a deslizarse con velocidad constante, en ese momento, se puede decir que el peso hacia abajo de la botella es igual a la fuerza de rozamiento dinámico del vástago hacia arriba.

En este momento, se podría medir el volumen del agua para estimar el peso y calcular la fuerza de rozamiento, pero el proceder de esta forma, requeriría conocer el peso de la botella, y lo cierto, es que el peso de la botella se termina cancelando ya que aparece por igual en este experimento para medir la fuerza de rozamiento y en el anterior para medir la presión atmosférica.

En pocas palabras, podemos decir que haber puesto en la botella el agua suficiente para compensar la fuerza de rozamiento del vástago, es equivalente a tarar una balanza y de ahora en más, ese será el cero. Ahora, se puede repetir el experimento para medir la presión atmosférica tapando el pico de la jeringa y viendo cuánta agua debemos colocar en la botella para que comience a bajar a velocidad constante, pero la cantidad de agua que interesará será solo lo que se agregue por encima de lo que fue necesario colocar para compensar el rozamiento. De esta forma, se calcula la presión utilizando la misma ecuación 2 en donde el volumen será el volumen de agua por encima del usado para compensar el rozamiento. Si el volumen para el experimento de la medición de la fuerza de rozamiento es V_r y el volumen total necesario al medir la presión es V_T , se puede reescribir la ecuación 2 como:

$$P_{ATM} = \frac{\delta \cdot V \cdot g}{\pi \cdot R^2} = \frac{\delta \cdot (V_T - V_r) \cdot g}{\pi \cdot R^2} \quad (3)$$

Por supuesto que este análisis se puede hacer representando todas las fuerzas, haciendo un análisis vectorial y armando la ecuación en donde se terminará cancelando la fuerza de rozamiento para llegar a la misma expresión, y esto puede ser muy interesante si se quiere aprovechar este experimento para abordar este tema. También es importante tener en cuenta que es correcto suponer que las fuerzas de rozamiento se cancelarán siempre y cuando ellas sean iguales, y lo cierto es que están cambiando las condiciones. Al medir el rozamiento se tiene igual presión de ambos lados y al medir la presión no es así, y esto puede generar que la goma del vástago se comporte de manera diferente y el rozamiento cambie. De todas maneras, dependiendo de la forma en que se aborde la práctica, puede ser interesante dejar estas consideraciones para que sean analizadas por los estudiantes a la hora de reflexionar sobre la experiencia, proponer mejoras o analizar los resultados.

B. Procedimiento para mejorar el cálculo de la sección de la jeringa

El diámetro interno de las jeringas de 3 cm^3 es de aproximadamente 9 mm (dependerá del fabricante), y por lo pequeño de estas dimensiones, cometer errores mayores a medio milímetro en la medición, acarrea errores porcentuales mayores al 10 % en el cálculo de la sección. En el caso de medir el diámetro con una regla o con un calibre, no se debe medir desde la parte de atrás de la jeringa ya que antes del final, las jeringas tienen una pequeña reducción para que el vástago se trabe, y luego, en la parte final, generalmente el diámetro interno se va agrandando. Por esto, una manera de realizar una buena medición, es cortar la jeringa por la mitad para poder medir el diámetro interno sin estos errores.

De todas formas, midiendo de esta manera, puede haber grandes errores y hay otra forma más recomendable de calcular la sección usando la escala de volumen de la jeringa. Para esto es recomendable usar el volumen máximo (para cometer errores porcentuales menores al medir), para el caso de la jeringa citada, será la marca de 3 cm^3 . Si se mide la distancia "l" en la que la jeringa contiene un volumen de 3 cm^3 (es decir midiendo la distancia entre la marca de 0 cm^3 y la de 3 cm^3), utilizando la ecuación del volumen de un cilindro ($V = S \cdot l$) se puede despejar y calcular la sección "S" que esta debe tener para poder contener dicho volumen.

Con este procedimiento, y midiendo con una simple regla, podemos disminuir considerablemente el error en la medición de la sección, y a la vez es un interesante ejemplo de cómo se puede calcular de forma indirecta una magnitud que no resulta fácil de medir.

III. RESULTADOS

En la tabla 1 pueden verse los resultados de 10 mediciones realizadas con diferentes jeringas en el transcurso de 30 minutos, tiempo en el cual la presión informada por el servicio meteorológico nacional era de 961 hPa. Estas mediciones fueron realizadas con el método para considerar el rozamiento del vástago y calculando la sección utilizando la escala de la jeringa. La sección calculada resultó de 0,638 cm².

Puede verse como los errores de las mediciones están entre el 2 y el 8 %, y el error del valor promedio es del 5 %, error más que aceptable al considerar los elementos que se están utilizando.

TABLA I. Se muestran los resultados de 10 mediciones de la presión atmosférica utilizando una jeringa de 3 cm³.

$(V_t - V_r)$ (cm ³)	Presión calculada (hPa)	Error (%)
584	897	7
610	937	2
615	945	2
575	883	8
580	891	7
581	892	7
601	923	4
607	932	3
584	897	7
589	905	6
Promedio	910	5

Para poder evaluar la percepción de los estudiantes ante este tipo de experimentos realizados en clase, al finalizar el cursado de la materia, se realizó una encuesta para recabar información sobre sus opiniones. Además de una serie de preguntas cerradas de otros temas, se incluyó un campo en donde los estudiantes podían dejar comentarios sobre las clases. En una de las comisiones incluidas en la encuesta, se desarrollaron múltiples experimentos similares a los descritos en este trabajo. En el gráfico de la figura 4 pueden verse los resultados relacionados a las valoraciones de los experimentos. Del total de estudiantes de esta comisión que llenaron la encuesta (25 estudiantes) el 68 % hicieron comentarios sobre las clases teóricas y de los que comentaron, el 88 % (15 estudiantes) resaltaron los experimentos en clase como una experiencia positiva, el resto (2 estudiantes) utilizaron el espacio para resaltar otras dimensiones. Entre los comentarios aparecieron expresiones como: entretenidos, atractivos, ayudaron al entendimiento, hacen más tangible lo aprendido, hicieron de la clase una mejor experiencia, se logra una mejor comprensión de los conceptos, los experimentos fueron la herramienta que más me ayudó, etc.

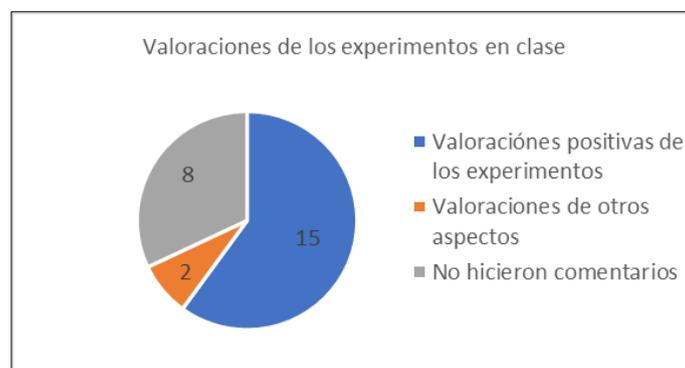


FIGURA 3. Se muestra un gráfico con el número de estudiantes que realizaron distintas valoraciones en la encuesta.

IV. CONCLUSIONES

Más allá de los valores obtenidos, en sintonía con los objetivos planteados, puede advertirse al realizar este tipo de experimentos en clase, que estos son de por sí, un disparador de preguntas y verdaderos esclarecedores de los fenómenos físicos que se están abordando. El solo hecho de invitar a los estudiantes a que expliquen por qué se vuelve el émbolo de una jeringa con el pico tapado, tiene un gran potencial disruptivo para repensar las ideas que tienen del vacío como algo que succiona y el origen de las fuerzas originadas por la presión. Al hacer esta pregunta, es muy común escuchar respuestas tales como “se vuelve porque el vacío lo succiona” y luego se encuentran con que es muy difícil explicar cómo es posible que el vacío, que no es nada, ejerza alguna fuerza. Luego de esto, al explicar que el vástago se vuelve por acción de la fuerza que produce el aire a presión atmosférica, la simple experiencia de retraer el vástago de la jeringa cambia totalmente, la creencia que se volvió inexplicable, ahora vuelve a tener sentido, y deja en evidencia el concepto de presión.

La actividad de medir la presión en particular, abarca múltiples áreas del conocimiento, más allá del concepto de presión, se aplican además los de fuerzas de rozamiento, equilibrio de fuerzas en movimientos con velocidad constante, sumas vectoriales, cálculos de superficie y volumen, densidad, errores de las mediciones, incertidumbre de los resultados, etc. Por esto, este tipo de experiencias que conjugan múltiples áreas del conocimiento, pueden ser interesantes para correr el eje de los problemas encasillados en unidades definidas.

Un aspecto muy interesante de esta experiencia es que, en el caso de realizarla como experiencia de laboratorio grupal, puede abordarse de manera constructivista y estimular a los estudiantes a que ellos mismos debatan y encuentren distintas maneras de proceder y mejorar las mediciones.

En el primer apartado se señaló la falta de motivación de los estudiantes para el aprendizaje de Física, es evidente que el incluir este tipo de experiencias en clase, despierta más la curiosidad por entender lo que está pasando, por comprender los fenómenos en juego. Al comenzar la experiencia con un elemento simple, con un fenómeno fácil de entender, también invita a los estudiantes a animarse a pensar, a preguntar y proponer mejoras o formas en las que se podría proceder. Con esta experiencia en particular y con un conjunto de experiencias similares realizadas en clase durante el cursado de la materia, parece lograrse una instancia de aprendizaje más significativa que en una clase donde prima solo de contenido teórico o de resolución de problemas en papel.

Este tipo de experiencias prácticas, también son un buen ejercicio para afinar el criterio y analizar las distintas posibilidades de proceder, determinar cuáles son las fuentes de error más significativas y cuales despreciables, y las posibles mejoras del experimento. Al analizar los resultados mostrados en la tabla, puede verse como todos los valores son menores a la presión informada por el servicio meteorológico. Esto permite seguir elaborando hipótesis para encontrar la fuente de este error sistemático y continuar mejorando las mediciones. Se podría cuestionar si el rozamiento, al estar la jeringa con vacío, es menor que el medido, o si está influyendo el aire que queda en el pico de la jeringa. Cada una de esas preguntas pueden conducirnos a realizar otros simples experimentos para continuar mejorando los resultados y aprender en el proceso.

Otra arista muy interesante de este tipo de prácticas es su bajo costo. No deberíamos dejar de realizar experiencias de laboratorio por la falta de equipamiento, existen múltiples posibilidades como la desarrollada en este trabajo para realizar experiencias con muy bajo presupuesto y que incluso muchas veces, pueden ser más adecuadas para determinados propósitos que las propuestas que incluyen costosos equipamientos.

Los resultados de las encuestas realizadas, junto a la percepción en clase sobre cómo los estudiantes se muestran ante los experimentos, refuerzan la idea de que implementar este tipo de prácticas, es una buena metodología no solo para lograr un aprendizaje significativo, sino que también logran que las clases tengan más sentido para los estudiantes, que ellos se sientan más motivados y más incentivados para el estudio de la física.

REFERENCIAS

Crouch C. H. & Mazur E. (2001). Peer Instruction: Ten Years of Experience and Results. *American Journal of Physics*, 69, 970-977. <https://doi.org/10.1119/1.1374249>

Monteiro, M., Cabeza, C., Marti, A., Vogt, P. & Kuhn, J. (2014). Angular velocity and centripetal acceleration relationship. *The Physics Teacher*, 52(5), 312-313.

Calderón, S. E., Núñez, P., Di Laccio, J. L., y Lannelli, L. M. (2015). Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 212-226. DOI: 10498/16934

Gutiérrez, E. A. (2018). Experimentos cruciales de laboratorio y enriquecimiento conceptual en el aprendizaje de la física. Tesis de Maestría.