DIDÁCTICA DE LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA: EXPERIENCIA DE TORRICELLI

Agustín Salvat Altés
Escuela Universitaria del Profesorado de EGB. Tarragona.

José Sánchez Real
Escuela Universitaria del Profesorado de EGB. Valencia.

RESUMEN

En este trabajo se presenta una revisión de las últimas notas aparecidas en el «Physics Education» sobre el montaje experimental y resultados obtenidos con la experiencia de Torricelli. También se incluye, como anexo, un programa de ordenador que permite simular dicha experiencia.

Los tratados clásicos de Física Experimental presentaban, como experiencia «demostrativa» del llamado teorema de Torricelli de la Hidrostática, un montaje en el que manteniendo constante el nivel de líquido contenido en un recipiente cilíndrico en el que se habían abierto orificios a distintas alturas, los chorros de líquido, al salir, describían parábolas, de acuerdo con el movimiento resultante de componer el movimiento horizontal de salida del líquido con el vertical de caída libre.

El alcance del chorro, en el plano horizontal en el que se apoya el recipiente no varía al intercambiar los valores de las distancias del orificio al nivel del líquido y a la base. El alcance máximo se obtiene cuando estos dos valores son iguales; es decir, cuando el orificio se practica en un punto equidistante de la superficie libre del líquido y de la base (figura 1).

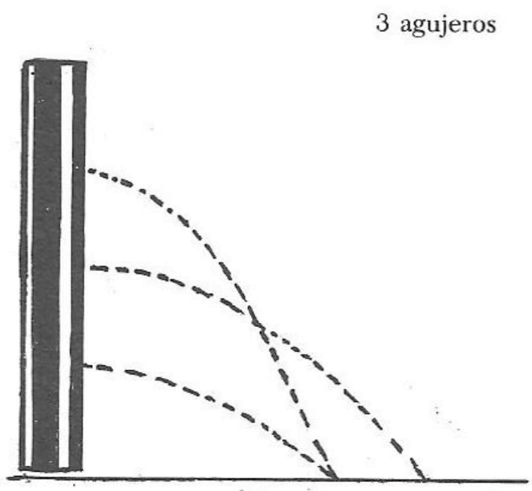

Figura 1
Situación experimental

Tamuli (1988), en una nota experimental publicada en el *Physics Education* recordó este hecho, lo que motivó que Atkin (1988) enviase una carta al editor de la revista en la que denunciaba el error introducido en el tema por algunos textos escolares al ilustrar el experimento —de los que citaba concretamente dos—, señalando la ligereza que cometían algunos autores al proponer la realización de experiencias, de lápiz y papel, que no se habían molestado en comprobar, y que tomaban como base el artificioso razonamiento de que si la velocidad de salida dependía de la presión hidrostática a nivel del orificio, cuanto más bajo se encontrase éste más lejos llegaría el chorro. Sobre este asunto ya llamaron la atención Salvador Carreño, A. Santiago Mas, J.M. y Casp Hervás, M., (1986), en un artículo, publicado en los «Cuadernos de Física y Química» sobre la detección de errores conceptuales en el aprendizaje de la física de líquidos.

Uno de los autores de texto que presentaba la experiencia de forma errónea, citado por Atkin, Avison (1988),en vez de reconocer su error quiso salir en defensa del libro y replicó con otra carta. En el escrito se introduce una variante que consiste en colocar el recipiente sobre un taco de madera y tomar como nivel de llegada, no la linea horizontal que pasa por la base del recipiente, sino aquella que pasa por la base del bloque (figura 2), ya que así se consigue el efecto deseado.

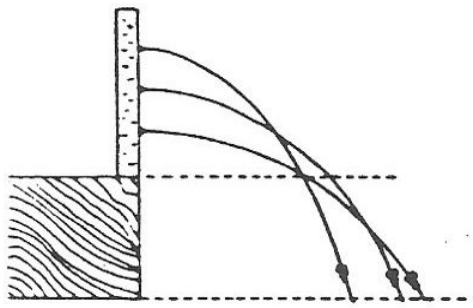

Figura 2

Distintos niveles de llegada

Esta discusión llevó a que varios profesores se interesaran por el tema y se pusiesen a investigar sobre la experiencia que Auty (1988) denomina «húmeda», ya que es frecuente que el profesor salga remojado cuando la hace como experiencia de cátedra. Auty, en su carta, da a conocer los resultados personales obtenidos en la prueba y describe el dispositivo para conseguir salidas simultáneas de chorros abriendo los orificios a igual distancia entre sí, pero no en la misma vertical, y el montaje (muy ingenioso, por cierto) que le permitió mantener constante el nivel de agua en el recipiente.

Por su parte, Rickus (1988), en su escrito, indicó que los aparatos que ofrecían algunas casas de material didáctico daban pie al error denunciado, porque se habìan soldado a los orificios unos tubos, con lo que en el movimiento del agua entraba en juego la fórmula de Poiseuille (que relaciona el caudal que sale por el tubo con la presión hidrostática, la viscosidad del líquido y las dimensiones del tubo) y señaló que debería investigarse en qué momento la longitud del tubo adicional perturba el resultado previsto por la fórmula de Torricelli, lo que permitiría fijar cuándo un orificio pasa a comportarse como un tubo.

No ha quedado ahí la cuestión, ya que Irish (1989), en otra carta, extiende el caso objeto de cuestión y estudia las trayectorias de los chorros de agua cuando la salida se hace a través de orificios cuyo eje forma un cierto ángulo con la horizontal (figura 3).

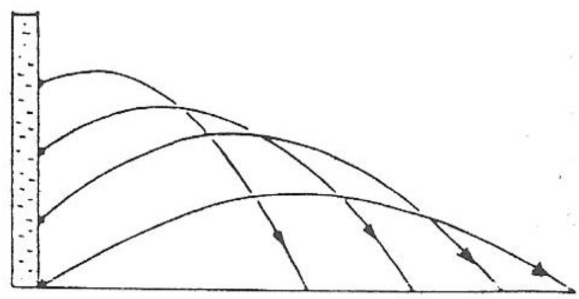

Figura 3

Alcance de los chorros cuando salen formando un cierto ángulo con la horizontal

Últimamente, Atkin (1989), que fue quien señaló el error en los textos, replica a la contestación hecha por uno de los autores (Avison, J.)

señalando que como la altura del taco de madera —o soporte— influye en el alcance del chorro, la generalización indicada por Avison es artificiosa e incorrecta y aprovecha la ocasión para señalar otros errores que aparecen en el libro sobre el mismo tema.

Esta serie de notas, sobre un hecho aparentemente intrascendente nos llevaron a estudiar la posibilidad de usar el ordenador para que los estudiantes puedan visualizar, sin tener que mojarse, algunos aspectos de la salida de líquidos por orificios.

El programa de ordenador que simula el comportamiento de los chorros de agua que salen por los distintos orificios practicados en un recipiente se ha preparado, en lenguaje BASIC, para el micro-ordenador ZX-SPECTRUM de 48 kb RAM, dado que es un aparato al alcance de todos los bolsillos. Los únicos inconvenientes de dicho ordenador presenta, radican en la baja definición del archivo de presentación visual de imagen (45 056 «pixels»), lo que provoca una deformación de las trayectorias de los chorros y hace que no sean parábolas perfectas sino más bien, líneas poligonales parecidas a parábolas. Otro inconveniente consiste en la cantidad de agujeros con los que puede experimentarse: su número debe ser inferior a veinte, ya que, en caso contrario, las trayectorias de los chorros se solapan y la imagen resultante es demasiado confusa.

La realización del programa simulador no presentó ningún inconveniente de tipo matemático , ya que las fórmulas necesarias se explicitaban en las notas de Atkin (1988) y Tamuli (1988) a menos que se intente simular el comportamiento de los chorros cuando salen formando un cierto ángulo (variable) con la horizontal, caso presentado por Irish (1989).

Cuando se interactua con el ordenador, el programa presenta un «menú» con tres opciones: la primera, después de facilitarle el número de agujeros con los que quiere experimentarse, dibuja, usando la fórmula de Torricelli, cada uno de los chorros de líquido en función de la altura de la columna de líquido que se encuentra por encima de cada agujero (figura 4). Con la simulación realizada pue-

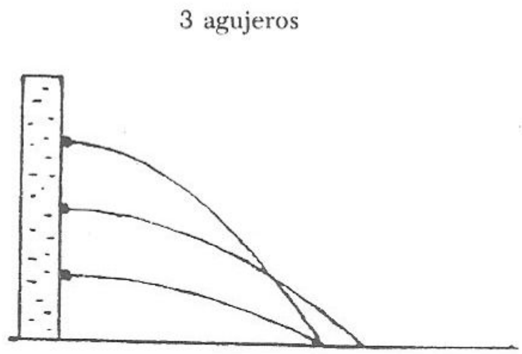

Figura 4

Simulación

de apreciarsse que el alcance del chorro no es proporcional a la presión hidrostática a nivel de orificio; así, no puede argumentarse que «a mayor alcance mayor presión hidrostática». En la segunda opción, que es una variante de la primera, sólo se dibujan las trayectorias de los chorros cuyos respectivos agujeros se encuentran por encima de la mitad del recipiente, con lo que puede constatarse que «a mayor columna de líquido por encima del agujero de salida, mayor es el alcance». La última opción, la tercera, que es otra variante de la primera, permite obtener la marcha de los chorros que se hallan en la mitad inferior del recipiente (figura 5). En esta situación se observa que «una mayor columna de agua por encima del orificio de salida implica un menor alcance del chorro».

La versión del programa simulador que se presenta en este trabajo, es la primera que se ha elabrorado y no se excluye que, en futuras versiones se amplie el resto de casos expuestos en las notas del *Physics Education*.

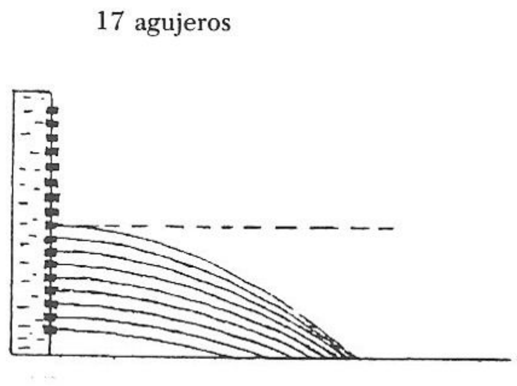

Figura 5

Simulación

Bibliografia

Atkin, J.K., 1988. The great water-jet scandal, *Physics Education,* **23,** 137-138.

Atkin, J.K., 1989. ...and nothing but the truth!, *Physics Education,* **24,** 67-68.

Auty, G., 1988. Look a little deeper, *Physics Education,* **23,** 327-328.

Avison, J.H. 1988. The whole truth about water jets, *Physics Education,* **23,** 265.

Irish, R.T., 1989. The water-jet problem again!. *Physics Education,* **23,** 7.

Rickus, A.R., 1988. Demonstrating pressure at depths, *Physics Education,* **23,** 328-329.

Salvador Carreño, A., Santiago Mas, J.M. y Casp Hervás, M., 1986. Errores conceptuales en el aprendizaje de la Física: líquidos, *Cuadernos de Física y Química,* **VII,** 35-60.

Tamuli, A.K., 1988. Liquid flow from orificies, *Physics Education,* **23,** 190-191.

Anexo

```
1 REM            WATER JET
10 GO TO 9000
30 REM === NORMAL ===
40 GO SUB 1000: GO SUB 1270: GO SUB 1300
50 LET nmax=n: LET nmin=1
70 GO SUB 1400: GO SUB 1600
80 GO TO 8000
200 REM ===NORMAL SUPERIOR===
210 GO SUB 1000: GO SUB 1270: GO SUB 1300
220 IF INT (n/2)=n/2 THEN LET nmax=n: LET nmin=n/2 + 1
230 IF INT (n/2) <>n/2 THEN LET nmax=n: LET nmin=(n-1)/2+1
240 GO SUB 1400
250 GO TO 8000
600 REM ===NORMAL INFERIOR===
610 GO SUB 1000: GO SUB 1270: GO SUB 1300
620 IF INT (n/2)=n/2 THEN LET nmin=1: LET nmax=n/2
630 IF INT (n/2)<>n/2 THEN LET NMIN=1: LET nmax=(n-1)/2 + 1
650 GO SUB 1400
660 GO TO 8000
1000 REM ===dibujo del recipiente===
1010 PAUSE 50
1100 FOR i=20 TO 24
1110 PLOT 0,i: DRAW 250,0
1120 NEXT i
1130 PLOT 7,23: DRAW 0,148
1140 PLOT 6,23: DRAW 0,148
1150 PLOT 32,23: DRAW 0,148
1160 PLOT 33,23: DRAW 0,148: PAUSE 40
1230 FOR i=24 TO 167
1240 PLOT 8,i: DRAW INK 5;23,0
```

```
1250 NEXT i: RETURN

1270 REM = = = = dibujo línea mitad reci-
     piente = = = =
1275 PAUSE 30
1280 FOR i=32 TO 250 STEP 8
1285 PLOT i,96
1290 NEXT i: RETURN

1300 REM = = =dibujo orificios salida= = =
1305 PAUSE 30: INPUT «NUMERO DE
     AGUJEROS? (< =20)= «;n: IF n< =1
     OR n>20 OR n< >INT n THEN GO TO
     1305
1310 PAUSE 20: PRINT AT 21,1; n;
     «AGUJEROS»
1315 LET h= 144: DIM z(n): REM z=altura
     del orificio
1320 FOR i=n TO 1 STEP -1
1325 PAUSE 30: LET z(i)=(i*h/(n+1))
1330 FOR j=-1 TO 1
1340 PLOT 32,z(j)-j + 24: DRAW 4,0
1350 NEXT j
1360 NEXT i
1370 RETURN

1400 REM = = = cálculo y dibujo trayecto-
     ria chorros = = =
1405 DIM a(n): REM a=alcance de cada
     orificio
 410 FOR i=1 TO n
 420 LET a(i)=SQR (z(i)*(h-z(i)))
 430 NEXT i

1500 PRINT AT 0,16; «TOCA UNA TECLA»;
     AT 1,16; «PARA CONTINUAR»: PAU-
     SE 0: PRINT AT 0,16; «          »; AT
     1,16; «          »
1505 FOR i=nmax TO nmin STEP -1: PAU-
     SE 25
1510 LET x0=0: LET y0=z(i): PLOT 32 +
     x0, 24 + y0
1520 FOR x=1 TO INT (a(i)+.5)
1530 LET y=z(i)-(x*x/(h-z(i)))
1540 DRAW 3*(x-x0), INT (y-y0+.5): LET
     x0=x: LET y0=y
1550 NEXT x
1560 NEXT i: RETURN

1600 PRINT AT 0,15; «ALCANCE MAXIMO»
1610 IF INT (n/2)=n/2 THEN GO TO 1630
1620 PRINT AT 2,15; «AGUJERO»; (n-1)/2
     + 1: RETURN
1630 PRINT AT 2,15; «AGUJEROS»; n/2;
     «Y»;n/2 + 1: RETURN

8000 PAUSE 50: PRINT #0; «TOCA UNA
     TECLA PARA CONTINUAR»: PAUSE
     O: CLS

9000 REM = = MENU DE OPCIONES = =
9010 PRINT AT 4,9; « O P C I O N E S »
9020 PRINT AT 9,10; «1. NORMAL»
9030 PRINT AT 11,10; «2. MITAD SU-
     PERIOR»
9040 PRINT AT 13,10; «3. MITAD INFERIOR»
9050 PRINT AT 15,10; «0. STOP»
9060 PRINT AT 21,0; «Pulsa el número de la
     opción»
9070 PAUSE 0: LET r $ = INKEY $ : IF r $ =
     ««THEN GO TO 9070
9080 IF r $ =«0» THEN STOP: GO TO 9080
9090 CLS
9095 GO TO 40* (r $ =«1») + 200* (r $
     =«2») + 600* (r $ =«3»)
```