

11TCE. Aplicaciones tecnológicas inspiradas en el dispositivo de Venturi: Un pretexto para visitar la ecuación de Bernoulli.

Technological applications inspired in the Venturi's: A pretext to visit the Bernoulli equation.

Fabián Videla^{1,2}, Patricia Torroba¹, Eugenio Devece^{1,3}, Luisina Aquilano⁴

1. IMApEC, Departamento Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería UNLP Avenida 1 y 47, La Plata, Argentina. 2 Centro de Investigaciones Ópticas (CIC CONICET UNLP) Cno. Centenario y 506La Plata Argentina. 3. IEC, EMIPASIVA, UTN FRLP Avenida 60 y 124, La Plata Argentina.. 4 Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería UNLP. Avenida 1 y 47, La Plata, Argentina. Correo electrónico de contacto.eugdvc@gmail.com

Resumen

Muchos dispositivos industriales aplican el dispositivo de Venturi, así, su comprensión desde el punto de vista físico resulta indispensable como saber básico en las carreras de ingeniería. En este trabajo se han recopilado algunas de las dificultades habituales experimentadas por los alumnos a la hora de resolver situaciones que pueden modelarse aplicando la ecuación de Bernoulli. Para fundamentar este abordaje, se presenta el marco teórico indispensable para precisar las variables puestas en juego y su relación. Las predicciones efectuadas en este marco sobre el comportamiento del dispositivo se reinterpretarán en la clase incorporando demostraciones basadas en equipos de desarrollo local y un software de simulación libre. Para motivar a los alumnos se ejemplificaron variados usos de los dispositivos de Venturi mostrando la atractiva oferta de soluciones aplicadas en el ámbito industrial.

La evaluación de un problema convencional permitió analizar su desempeño apreciándose mejoras respecto de aquellos alumnos que no recibieron este tratamiento del tema. No obstante, surgen dudas sobre si las soluciones planteadas son acertadas fruto de su comprensión sobre la física involucrada o de un manejo mecánico de las ecuaciones. Para superar esta incertidumbre se propone una evaluación con situaciones que ponen en juego conocimientos más conceptuales.

Palabras Clave: Dispositivo de Venturi, Ecuación de Bernoulli, Simulación PHET, Generador de flujo, Evaluación Conceptual

Abstract

Many industrial devices apply the Venturi device, thus, its understanding from the physical point of view is indispensable as basic knowledge in engineering tasks. In this paper we have compiled some of the habitual difficulties experienced by students when solving situations that can be modeled by applying the Bernoulli equation. In order to support this approach, the indispensable theoretical framework is presented to specify the variables put into play and their relationship. The predictions made in this framework on the behavior of the device will be reinterpreted in the class incorporating demonstrations based on local development equipment and free simulation software. To motivate the students, various uses of Venturi devices were exemplified by showing the attractive offer of solutions applied in the industrial field. The evaluation of a conventional problem allowed to analyze its performance, appreciating improvements with respect to those students who did not receive this treatment of the topic. Even so, doubts arise as to whether the proposed solutions are correct due to their understanding of the physics involved or of the mechanical handling of the equations. To overcome this uncertainty, an evaluation is proposed with situations that put into play more conceptual knowledge.

Keywords: Venturi Device, Bernoulli Equation, PHET Simulation, Stream Generator, Conceptual Evaluation.

1. Introducción

Dentro de la cátedra de Física I del Departamento de Ciencias Básicas, de las carreras de Ingeniería se realizan actividades de diseño y desarrollo tanto de dispositivos didácticos como propuestas didácticas para la enseñanza de Física (Torroba, Devece, Trípoli, Aquilano 2016; Devece, Torroba, Videla 2015; Costa, Torroba, Devece 2013, Jornadas de Ingeniería 2017). Con el objetivo de favorecer el entendimiento de los modelos que describen fluidos ideales en movimiento, se diseñó un dispositivo denominado *generador de flujo variable*. La construcción de este material didáctico estuvo motivada en mostrar a los alumnos una aplicación concreta de las ecuaciones de Bernoulli y de continuidad (Tipler 2001; Serway 1999; Sears, Zemansky, Young 1999). El dispositivo consiste de una turbina, un tubo de Venturi y un manómetro. En este proceso de revisión y renovación en la manera de abordar los contenidos de la asignatura Física I, se presenta una propuesta didáctica sobre los modelos que describen fluidos ideales en movimiento. En este trabajo se implementará mediante el uso de generador de flujo variable y una simulación PHET (universidad de Colorado), herramientas motivadoras que ayudan a clarificar la exposición de los conceptos. Posteriormente se evaluará mediante el análisis de situaciones la comprensión conceptual del tema y no solo verificar la aplicación mecánica de las expresiones involucradas. Por otra parte, el dispositivo de Venturi presenta una variada gama de aplicaciones en la industria. Dentro de ellas se puede mencionar a la neumática con funciones de cómputo y control, a la agronomía y farmacéutica (aspersores), mecánica automotriz (carburadores), instrumentación (caudalímetros), petroquímica (torre de enfriamiento), pico aireador oxigenador para vino etc. Encontrar una explicación de cómo funcionan estos dispositivos, algunos encontrados en la vida cotidiana, usando las expresiones de los fluidos ideales en movimiento resulta estimulante para abordar su estudio

2 Objetivos.

Antes de introducir los objetivos creemos conveniente, enmarcar la motivación de los mismos en función de los inconvenientes habituales hallados en la resolución de problemas y los conceptos físicos a los que remite

2.1 Inconvenientes habituales en la resolución de problemas

Un análisis crítico de los resultados de evaluaciones de estudiantes de cursos introductorios de Física I (mecánica clásica), mostró la dificultad que

encuentra el alumnado en la adquisición de conceptos asociados al estudio de fluidos ideales en movimiento. En particular, se han detectado inconvenientes en:

- El trazado de una línea de corriente.
- Comprensión de la conservación de la masa a través de la ecuación de continuidad.
- La conservación de la energía a través de la ecuación de Bernoulli.
- La incorporación del uso de un Venturi como un instrumento de medida.
- Comprender el uso de la ecuación en casos límites, presión
- La elección del nivel de energía potencial.
- Las condiciones fluido ideal.
- En el cálculo de las áreas.

Se propone abordar los temas complementando, la clase tradicional con la incorporación de simulaciones, dispositivos para demostraciones y lecturas breves sobre las aplicaciones que involucren el fenómeno físico estudiado.

En base a los inconvenientes observados y los conceptos a los que remite, se propone como objetivo evaluar la eficacia de este nuevo abordaje por medio de evaluaciones típicas, y en función de esos resultados realizar una propuesta de mejora en la formulación de la acreditación de los contenidos.

3. Metodología

3.1 Marco teórico

El tubo de Venturi (figura 1) es un dispositivo inicialmente diseñado para medir la velocidad de un fluido, aprovechando el comportamiento de éste dentro del tubo, conocido como *Efecto Venturi*. Este efecto viene dado por la geometría particular del tubo, tiene su base teórica en la conservación de masa y energía, y consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de menor sección.

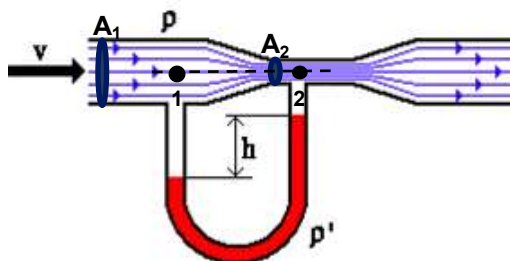


Figura 1. Esquema de un tubo de Venturi.

Por lo tanto, a través de esta experiencia el alumno puede familiarizarse con una de las aplicaciones de la *Ecuación de Continuidad* y la *Ecuación de Bernoulli*. Ecuación de Bernoulli:

- Ecuación de Continuidad:

$$\rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2 \quad (1)$$

Como el fluido se considera incompresible, $\rho_1 = \rho_2$ por lo que la ecuación anterior puede simplificarse, y reordenando se obtiene

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (2)$$

- Ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \rho_2 g z_2 \quad (3)$$

Para el caso particular del Tubo de Venturi, donde el dispositivo se encuentra orientado horizontalmente, vale $z_1 = z_2$ y en consecuencia

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) \quad (4)$$

La primera define el principio de conservación de masa, el cual indica que el caudal es constante, por lo tanto si el área del tubo disminuye, la velocidad del fluido aumentará al atravesar esta sección. La segunda ecuación está relacionada con la conservación de energía, demostrando que en un tubo horizontal al aumentar la velocidad en una sección de menor tamaño la energía cinética aumenta, por lo que la energía determinada por el valor de la presión disminuye necesariamente. Entonces, se puede verificar que conociendo los diámetros del tubo y midiendo la diferencia de presiones, se puede hallar fácilmente el caudal que entrega el generador de flujo.

Las condiciones necesarias para realizar las simplificaciones correspondientes y lograr que las ecuaciones anteriores sean válidas son:

- Fluido incompresible
- Flujo irrotacional
- Flujo en estado estacionario
- Fluido no viscoso
- Flujo laminar

Para determinar el término correspondiente a la diferencia de presiones se aplicará hidrostática obteniéndose así,

$$P_1 - P_2 = gh (\rho' - \rho) \quad (5)$$

ρ : Densidad del fluido que circula por el tubo de Venturi

ρ' : Densidad del fluido manométrico

Nota: la demostración de obtención de esta ecuación no se desarrolla en este informe pero se puede consultar en la teoría dada por la cátedra.

Si se reemplaza la diferencia de presión ($P_1 - P_2$) de la ecuación (2) en término de la obtenida en (3), se logra calcular el valor de la velocidad del fluido en la sección mayor:

$$v_1 = \frac{\sqrt{2gh(\rho' - \rho)}}{\sqrt{\rho \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]}} \quad (6)$$

Por otro lado, se utiliza un método directo para obtener el caudal con el fin de verificar la exactitud del procedimiento anterior, y conceptualizar el dispositivo como un instrumento de medida (caudalímetro).

3.2 Dispositivos empleados en la demostración.

El dispositivo empleado que se muestra en la figura 2, es un generador de flujo variable, esencialmente una turbina que produce una corriente de aire a diferente velocidad. Un tubo de Venturi adosado a un manómetro (un tubo de vidrio en U) permite registrar los cambios de presión que suceden en las dos secciones del tubo. En la sección anterior se demostró que la medida del flujo era proporcional a esa diferencia de alturas. Con este dispositivo es posible repetir la experiencia para varios valores de flujo con sensibilidad suficiente.

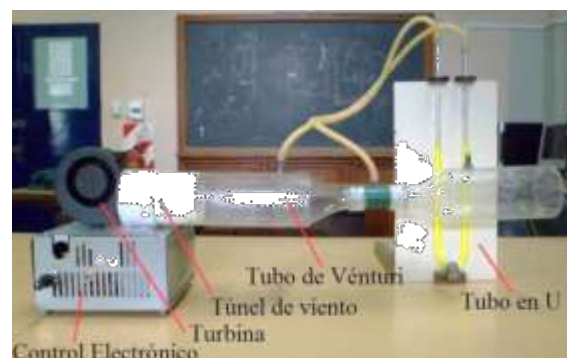


Figura 2. Generador de flujo variable.

3.3 Simulaciones

La simulación empleada fue desarrollada por la Universidad de Colorado PHET "Underpressure" y está disponible en la red¹. Este tipo de simulaciones, como la que se muestra en la figura 3, complementa el tratamiento del tema, ya que con él es posible visualizar alguno de los aspectos del fenómeno que no son tan claros al observar el dispositivo. Además, es posible variar detalles constructivos con mayor facilidad (diámetros, densidad de fluido, caudal). Esta simulación en particular permite observar las líneas de flujo, velocidades, presiones además de variar diámetros e incorporar la viscosidad, lo que permite trabajar con perfiles de velocidades que corresponden a fluidos ideales y reales.

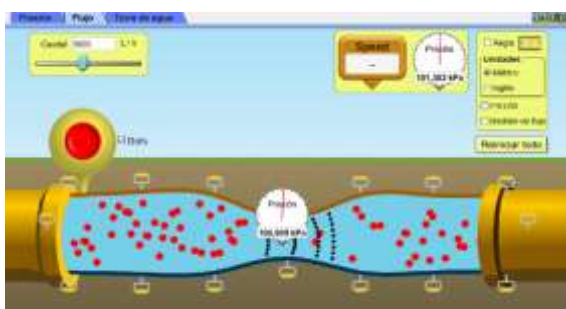


Figura 3. Captura de la simulación PHET.

3.4 Empleos habituales del dispositivo en la industria y cotidianamente

El dispositivo de Venturi tiene diversas aplicaciones tecnológicas. Dentro de ellas podemos mencionar usos en varias industrias donde el dispositivo tiene dimensiones que van desde milímetros a decenas de metros no siendo estos cambios de escala un impedimento para su empleo. Podemos mencionar aplicaciones que van desde la neumática con funciones de cómputo y control, pasando por la agronomía y farmacéutica (aspersores) mecánica automotriz (carburadores), instrumentación (caudalímetro), industria alimenticia, etc. Es así que podemos observar su comportamiento en la vida cotidiana y explicar su funcionamiento en forma relativamente sencilla aplicando la ecuación de Bernoulli. El estudio de alguna de estas variantes esperamos que faciliten la comprensión de la aplicación y motiven la resolución de otras variantes.

Cada dispositivo se presentará a los alumnos y los docentes analizarán con ellos su funcionamiento. Luego se evaluará la comprensión del tema por

¹<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/fluid-pressure-and-flow>

parte de los alumnos por medio de cuestionarios orientados hacia los diferentes efectos observados. Cada grupo verá una aplicación en particular ignorando las otras, por lo que también servirán como grupo de control.

Atomizador

Un pulverizador o atomizador (figura 4) es un utensilio que se emplea para producir una fina pulverización de un líquido, mediante una bomba manual (de pera de goma o de émbolo), basándose en la aspiración debida al efecto Venturi.

Cuando se inyecta aire a presión a través de un tubo que disminuye su sección, la velocidad aumenta, lo que reduce la presión en el punto más estrecho (debido al principio de Bernoulli).

La sección con presión reducida absorbe, a través de un tubo estrecho, el líquido del recipiente inferior (de hecho puede estar en cualquier posición mientras llegue el líquido al orificio), debido a la diferencia de presión existente entre los dos puntos, y lo proyecta hacia delante en forma de una fina lluvia de pequeñas gotas.

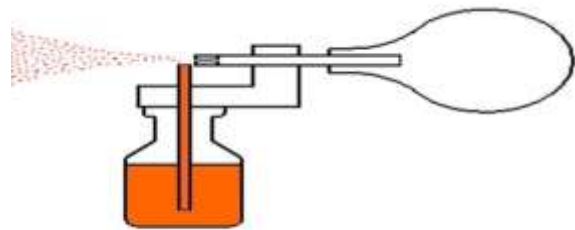


Figura 4. Esquema de un pulverizador.

Aireador de vino.

Aplicación en la industria alimenticia. Se basa en el principio físico de Bernoulli.



Figura 5. A la izquierda, el aireador de vino y a la derecha, un esquema de su funcionamiento.

El aireador de vino (figura 5) tiene su fundamento en que cuando un líquido atraviesa por una sección de diámetro inferior se produce un aumento de la velocidad y consiguientemente una disminución de presión. Si en ese punto se incorporan dos tubos

laterales, el oxígeno entrará de manera masiva con el fin de compensar la diferencia de presión. Esta entrada moderada de oxígeno, al contacto con el vino, produce la deseada aireación de manera inmediata lo que permite disfrutar del vino en toda su plenitud desde el primer instante.

Carburador

El objetivo del carburador (figura 6) es conseguir la mezcla de aire-gasolina en la proporción adecuada. El funcionamiento del carburador se basa en el efecto Venturi que provoca que toda corriente de aire que pasa por un estrechamiento, genere en este lugar una disminución de la presión (succión). La depresión creada en el carburador dependerá de la velocidad de entrada del aire que será mayor cuanto menor sea la sección de paso de las canalizaciones.

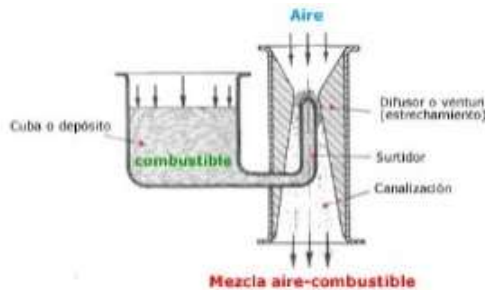


Figura 6. Esquema de principio de funcionamiento del carburador.

Dispensador de fertilizante

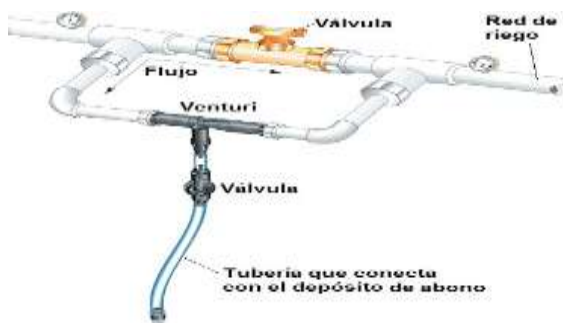


Figura 7. Ubicación del dispensador de fertilizante en la cañería.

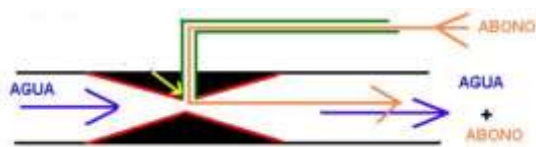


Figura 8. Corte del dispensador de fertilizante.

En la figura 7 se muestra la conexión del dispensador de fertilizante en la cañería de distribución del agua para riego. Puede observarse en la figura 8 un corte del dispensador donde puede apreciarse la presencia de un estrechamiento en el recorrido de agua. La disminución de la presión que

allí se produce, genera un efecto de succión en el fertilizante que luego se mezcla con el agua.

4. Resultados.

La simulación mencionada junto con el generador de flujo variable fueron usados en clase como herramientas motivadoras para facilitar el entendimiento del tema. Con el objetivo de evaluar el desempeño de estos instrumentos se les pidió a los estudiantes (grupo control), luego de abordar el tema, que resolvieran la siguiente situación:

En el dispositivo de la figura 10 circula un fluido de densidad 1000kg/m^3 . El mismo puede ser considerado como un fluido ideal. La sección mayor es de 18cm^2 , circulando el fluido en esta sección con un módulo de velocidad de $1,5\text{m/seg}$, mientras que la de menor sección es de 6cm^2 .

- Determinar la velocidad en el estrechamiento.
- ¿Cuál será la diferencia de alturas en las ramas de los piezómetros?

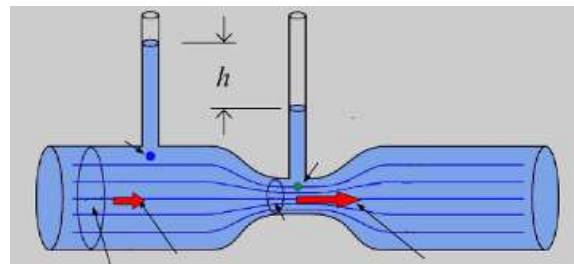


Figura 10. Esquema de un tubo de Venturi con dos piezómetros.

La misma situación se tomó a un grupo testigo, los resultados de estas evaluaciones se encuentran en la sección de análisis de los resultados.

4.1 Análisis

Después de evaluar la situación propuesta a los grupos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Grupo Control	CONTINUIDAD	%
Aplicó Correctamente	25	96%
Aplicó Incorrectamente	1	4%
Total general	26	100,00%

Grupo Control	BERNOULLI	%
Aplicó Correctamente	16	62%
Aplicó Incorrectamente	10	38%
Total general	26	100,00%

Grupo Testigo	CONTINUIDAD	%
Aplicó Correctamente	39	80%
Aplicó Incorrectamente	6	12%
En blanco	4	8%
Total general	49	100%

Grupo Testigo	BERNOULLI	%
Aplicó Correctamente	19	39%
Aplicó Incorrectamente	23	47%
En blanco	7	14%
Total general	49	100,00%

Figura 11. Resumen de resultados obtenidos en las evaluaciones.

De los mismos se puede obtener estos diagramas:

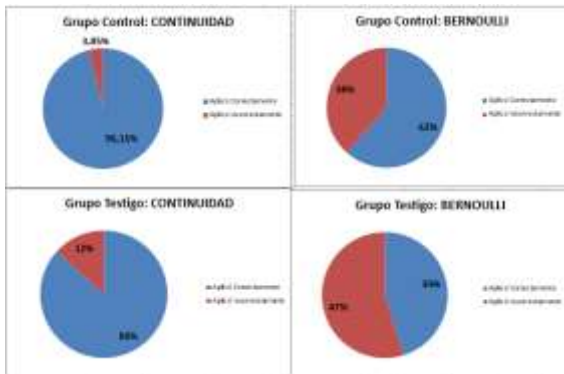


Figura 12. Estadísticas comparativas correspondientes a la figura 11.

Los contenidos relevados fueron satisfactorios en los dos ítems tratados para el grupo en donde se ha realizado la experiencia. Sin embargo, se propone para una etapa posterior la investigación del origen de las dificultades en la incorporación de contenidos. La misma es presentada en el punto 4.2.

4.2 Evaluación conceptual propuesta

La evaluación propuesta tiene por objeto indagar la comprensión conceptual del tema, ya que las evaluaciones estándar suelen involucrar cálculos que a veces se realizan mecánicamente y enmascaran el grado de comprensión de los alumnos. Se han seleccionado 5 situaciones que contienen desafíos sobre las principales dificultades conceptuales.

Situación 1:

Objetivo: identificar la comprensión de los conceptos de continuidad (conservación de la masa) y la ecuación de Bernoulli (conservación de la energía).

¿Qué esquema a), b) o c) representa correctamente la diferencia de alturas de líquido en los tubos verticales? Justificar en cada caso

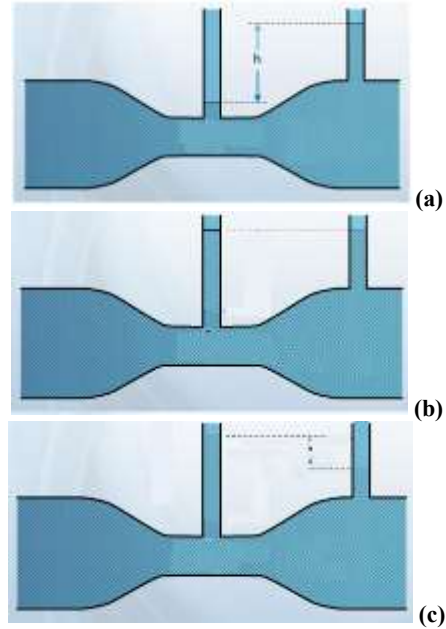


Figura 13. Esquemas propuestos para investigar la conceptualización de la conservación de la energía y la conservación de la masa.

Situación 2:

Objetivo: identificar dificultades en el trazado de las líneas de corriente.

La figura representa un caudalímetro Venturi con un líquido manométrico diferente al que circula por el tubo con un estrechamiento.

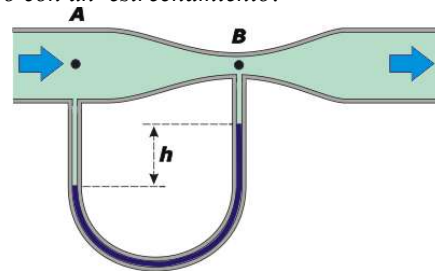
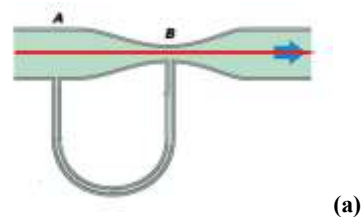
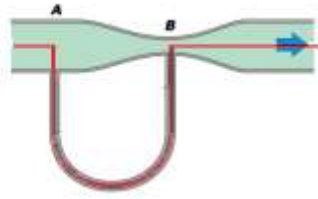


Figura 14.

Considerando la descripción anterior ¿Cuál esquema a) o b) representa correctamente la línea de flujo?



(a)

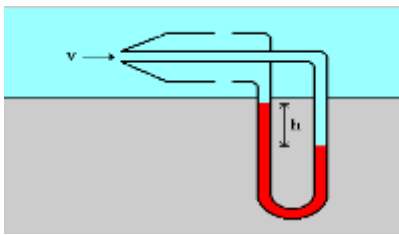


(b)

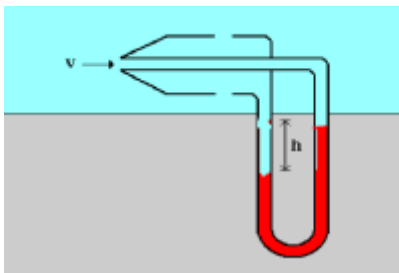
Figura 14. Esquema para evaluar la comprensión en el trazado de la línea de flujo para el caso de coexistencia de fluido en reposo y en movimiento

Situación 3:

Objetivos identificar el punto de remanso y su efecto en la altura del líquido manométrico.
(Este caso no involucra la ecuación de continuidad)



(a)



(b)

Figura 15. Esquema para investigar el punto de remanso.

¿Cuál de las dos a) o b) es incorrecta?

Situación 4:

Objetivos identificar la comprensión del dispositivo de Venturi como un instrumento de medida (caudalímetro)

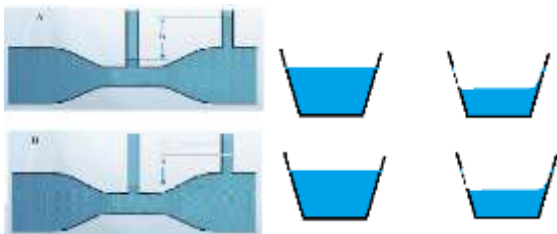


Figura 16.

Objetivos: interpretar el sentido de la relación entre caudal y diferencia de altura en los piezómetros (suponiendo una carga simultánea, que baldes corresponden a la situación correcta)

Situación 4:

Objetivos: verificación cuantitativa de la conservación de la energía.

¿Cuál de las dos figuras tiene los datos correctos?

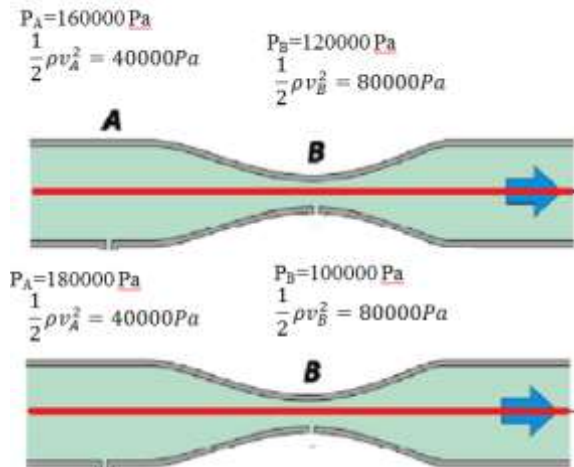


Figura 17. Esquema para investigar cuantitativamente la conservación de la energía.

6. Conclusiones

Se han detectado resultados positivos referidos a una evaluación "típica" indicando que la introducción de simulaciones y demostraciones resulta beneficiosa para los estudiantes. Las simulaciones contribuyen a la identificación de las líneas de flujo, eliminar preconceptos que vinculan de manera errónea velocidad y presión así como también reforzar las ideas cuantitativas de reducción de velocidad y aumento de presiones. La demostración contribuye a comprender detalles de diseño útiles para el aprendizaje del estudiante de ingeniería y los apartamientos respecto del modelo teórico que los dispositivos poseen.

Sin embargo, parte del análisis de los resultados de las evaluaciones típicas revela dificultades para interpretar el grado de comprensión conceptual de las situaciones.

A efectos de paliar esa dificultad se propone una evaluación extra que se espera cuestione a los alumnos y en consecuencia, mejoren sus resultados de aprendizaje.

7. Referencias

Devece Eugenio, Torroba Patricia, Mendoza Zélis Pedro, Czerwien Juan Carlos, Aquilano Luisina. Diseño de un dispositivo para la enseñanza de modelos que describen fluidos en movimiento. Actas de las Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión. Secretaría de la Facultad de Ingeniería 2017s

Devece, E., Torroba, P., Videla, F. (2015). El empleo de las TIC para validar los modelos teóricos

en el estudio del movimiento de rototraslación.
Revista de la Enseñanza de la Física, vol 27, p.p.
411-417.

Pesa, M., Bravo, S. y Pérez, S. (2012). La importancia de las actividades de laboratorio en la formación de ingenieros. *Memorias del Decimoprimer Simposio de Investigación en Educación en Física*. Sief XI Esquel, Argentina.

Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. 2008. *Física, Volumen I*, Quinta edición. (C.E.C.S.A., México)

Sears, Zemansky, Young. *Física universitaria, Volumen I*. 9ª.ed. 1999;

Serway, R. A.: *Física, Vol. I*, tercera o cuarta edición. (Mc Graw-Hill, México) (1999)

Tipler, P. A. *Física*, primera y cuarta edición. (Editorial REVERTÉ, Barcelona) (2001)

Torroba, P., Devece, E., Trípoli, M., Aquilano, L. (2016). Cinemática y el análisis de una función: una propuesta didáctica para su articulación en el contexto de una Facultad de Ingeniería. *Revista de la Enseñanza de la Física*, vol 28, p.p. 91-99.