

CONSTRUCCIÓN, VALIDACIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA DEL APRENDIZAJE: *TEST DE LEY DE BERNOULLI*

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF AN INSTRUMENT TO MEASURE STUDENT LEARNING: THE BERNOULLI'S LAW TEST

Luis Hernando Barbosa

Universidad Central, Bogotá (Colombia)

Resumen

El propósito de este artículo es describir la manera como se construyó, validó y puso a punto un *test* de selección múltiple con única respuesta, útil para medir el aprendizaje de la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli en poblaciones de estudiantes de ingeniería. Se ha tomado como referente la teoría clásica del *test* mediante tres índices que ajustan los ítems o preguntas, y dos que ajustan, la totalidad del *test*. Del mismo modo, se describen algunas de las concepciones alternativas encontradas en las poblaciones intervenidas para construir tanto las preguntas como sus distractores. Se reporta el test para que sirva como instrumento de investigación educativa en otras poblaciones, pero con el atenuante de que es una prueba para evaluar la dimensión conceptual de la ley de Bernoulli para fluidos. Sin duda, la metodología de construcción y puesta a punto del instrumento puede guiar un protocolo de actuación de la comunidad académica para desarrollar posteriores herramientas que evalúen otros conceptos de la física en Latinoamérica.

Palabras clave: inventario de conceptos, test de selección múltiple, ley de Bernoulli

Abstract

This article describes how a multiple-choice single-response (MCSR) question was built, validated and calibrated to measure learning of the Bernoulli's law in a population of engineering students. We have used the test's classical theory to reliably return the instrument using three indexes which adjust only the questions and two that adjust the entire test. Similarly, outlines some alternative conceptions found in populations intervened to build both the questions and distracters. We report the test because

it can serve as a research tool in other populations, but it only evaluates the conceptual dimension of Bernoulli's law for fluids. The methodology reported can be very suitable for creating and validating assessment tools that measures other Physics concepts in Latin-American.

Keywords: Multiple-choice tests, concept inventories, criterion-referenced test, Bernoulli's law

Introducción

De igual manera que la física dispone de aparatos y procedimientos para hacer mediciones, la física educativa requiere de instrumentos para medir propiedades que dan información de las comunidades de aprendizaje o de la efectividad de las metodologías de enseñanza. Un *test* es considerado un instrumento de la física educativa que provee información para monitorear la evolución conceptual de una población de estudiantes en un dominio determinado, o para dar cuenta de la efectividad de una metodología de instrucción; evalúa varios conceptos ligados por alguna estructura conceptual y por eso ha sido denominado "inventario de conceptos" (Richardson, 1999). Recientemente Adams y Wieman (2010) amplían esa idea.

Desde la década de los ochentas distintos *test* fueron construidos y reportados para evaluar e investigar el estado conceptual de poblaciones de estudiantes en un determinado saber de la física. El Force Concept Inventory (FCI) es uno de aquellos inventarios más ampliamente difundidos por Hestenes (1992) y (1995) que evalúa el pensamiento Newtoniano. Luego han surgido otros inventarios de conceptos como ondas electromagnéticas por Roedel (1998) y Rhoads (1999), señales y sistemas por Wage (2001), resistencia de materiales por Richardson (2001) y Steif (2003), termodinámica por Midkiff (2001), ciencia de materiales por Issen (2004) y Krause (2003), transferencia de calor por Jacobi (2003), electricidad y magnetismo por Ding (2006), circuitos por Engelhardt (2004), concepto de energía por Evans (2003), entre otros. Para mecánica de fluidos existe un *test* constituido por 26 ítems reportado por Martin (2003); sin embargo, éste no posee preguntas enfocadas a evaluar la ley de Bernoulli para fluidos, y como han precisado Barbosa (2011) y (Guillen, 2010), esta regularidad resulta ser fundamental en la base conceptual de un estudiante de ingeniería ya que explica un variado número de fenómenos y constituye una de las cinco ecuaciones que cambiaron el mundo.

Por lo anterior, este artículo pretende mostrar el proceso de construcción, validación y calibración de un *test* que evalúa la apropiación del concepto que subyace a la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli (LPHB) en estudiantes de ingeniería. Ha sido diseñado para medir el conocimiento de los estudiantes después de completar un curso de física mecánica en cuyo plan curricular se incorpore la LPHB. Todos los ítems de la prueba son cualitativos y algunos casos requieren cálculos semi-cuantitativos. En lo que sigue del artículo, en la sección 2 se presentan los elementos teóricos que validan este tipo de instrumentos, en la sección 3 se presenta la metodología de construcción, validación y calibración del *test*, en la sección 4 se analizan los preconceptos de las poblaciones intervenidas y su consonancia con las preguntas y distractores en cada ítem, finalmente se presentan las conclusiones y el *test* resultante como anexo en figuras.

Marco teórico

La LPHB se plantea inicialmente para un fluido estacionario, sin viscosidad y formalmente está sintetizada a través de la expresión,

$$P_i + \rho gh_i + \frac{1}{2} \rho v_i^2 = Cte \quad (1)$$

Para un flujo horizontal el término gravitacional desaparece y establece un mecanismo de explicación con las variables presión y velocidad para hechos como el origen de la voz, el funcionamiento del carburador, el tiro de chanfle en el fútbol, el soplador mágico, el atomizador, entre otros.

$$P_i + \frac{1}{2} \rho v_i^2 = Cte \quad (2)$$

Ya que la suma de los dos términos da un valor constante, entonces cuando la presión P aumente, la velocidad v disminuye, y viceversa. Una buena interpretación de esta ecuación fue dada por Bauman (1994) y (2000).

La construcción del *test* para evaluar esta regularidad se enmarca dentro de la psicometría, por esta razón, ahora se llamará la atención sobre algunos supuestos. Por ejemplo, (Aliaga, 1973) expresa:

“un test psicométrico es un procedimiento estandarizado compuesto por ítems seleccionados y organizados, concebidos para provocar en el individuo ciertas reacciones registrables; reacciones de toda naturaleza en cuanto a su complejidad, duración, forma, expresión y significado”.

Para el caso de evaluar mediante un *test* alguna temática de la física, se precisaría que es un test de conocimiento que busca evaluar el razonamiento y lo procesos mentales, es decir, un test “cognométrico” y está compuesto por ítems que plantean una serie de situaciones para provocar en el estudiante un razonamiento registrable mediante respuestas posibles de suceder como fenómeno ante la situación planteada que están en consonancia con su comprensión de una estructura como la LPHB.

(Adkins, 1994) y (Richardson, 1999) enumeran una serie de pasos para construir un inventario de conceptos:

1. Determinar los conceptos que serán incluidos en el inventario.
2. Estudiar el proceso de aprendizaje de los estudiantes respecto a dichos conceptos.
3. Construir varias preguntas de opción múltiple para cada concepto.
4. Aplicar la versión beta del inventario a la mayor cantidad estudiantes.
5. Realizar análisis estadísticos sobre los resultados para establecer la validez del test.
6. Hacer los respectivos ajustes hasta poner a punto el *test* o calibrar.

Para la construcción del *test*-LPHB se han usado tres índices que se focalizan en los ítems individuales del

test (dificultad, discriminación, coeficiente de punto biserial), dos de ellos se centran en el *test* (fiabilidad de Richardson y delta de Ferguson), a continuación se describen:

Índice de dificultad. Denotado como P corresponde a una medida de la dificultad de una pregunta dentro de la prueba. Se calcula tomando el cociente entre el número de respuestas correctas de la pregunta, N_1 , sobre el número de estudiantes que han intentado la pregunta,

$$P = \frac{N_1}{N} \quad (3)$$

El índice de dificultad es un valor distribuido en el rango $[0, 1]$. Si $P=0$, entonces no se puede responder correctamente a esta pregunta, si en cambio $P=1$, todos pueden responder correctamente a esta pregunta. En general, estos extremos deben ser evitados en una prueba.

Índice de discriminación D . Mide el poder discriminatorio de cada ítem en un *test*. Es decir, la capacidad que tiene el ítem de distinguir estudiantes competentes de estudiantes menos competentes. Estudiantes con un conocimiento más sólido, responden correctamente, mientras estudiantes cuya comprensión es más débil, responden más erróneamente. Si un *test* posee muchos ítems con alta discriminación puede constituir una prueba que diferencia dos grupos de estudiantes de igual tamaño: un grupo con puntaje alto (H) y un grupo con puntaje bajo (L). Para una prueba determinada se cuentan el número de respuestas correctas para ambos grupos. Si el número total de estudiantes que toman el examen es N , entonces una manera de calcular la discriminación D para un ítem es,

$$D = \frac{(N_H - N_L)}{N/2} \quad (4)$$

El valor 2 surge porque el denominador es $N/2$, ya que se está pensando en una distribución de 50% para cada grupo. Este índice es un número distribuido entre -1 y 1, donde +1 es el mejor valor y -1 es el peor.

Coefficiente de punto biserial. Se calcula cuando tenemos una variable dicotómica y otra ordinal. Da cuenta de la consistencia o confiabilidad de un ítem respecto a todo el cuestionario. Refleja la correlación entre las puntuaciones de los estudiantes en un ítem individual y las puntuaciones en la prueba completa. Tiene un rango entre [-1, +1]. Si un ítem es correlacionado positivamente con toda la prueba, los estudiantes con altos puntajes totales son más probables a responder que los estudiantes con bajos puntajes totales.

Un valor negativo indica que estudiantes con bajos puntajes totales fueron los más propensos a responder un ítem en particular correcto y es una indicación de que tal ítem es probablemente defectuoso. Para calcular el coeficiente biserial para un ítem se necesita calcular la correlación entre el puntaje del ítem y el puntaje total. El puntaje de un estudiante sobre un ítem es una variable binaria (dicotómica) que puede tomar dos valores: 0 (incorrecto) o 1 (correcto). El coeficiente de correlación entre un conjunto de variables dicotómicas (puntaje para un ítem) y un conjunto de variables continuas (puntaje total) está dado por,

$$r_{pbs} = \frac{X_1 - X}{\sigma_x} \sqrt{\frac{P}{1-P}} \quad (5)$$

Donde X_1 es el promedio total de puntaje de estudiantes que sacan 1 para un ítem y X es el promedio total de puntaje para un caso de población dada, σ_x es la desviación estándar del puntaje total del caso dado, P es el índice de dificultad para este ítem (Ghiselli, Campbell, & Zedeck, 1981).

Índice de consistencia de Kuder-Richardson. Da cuenta de la consistencia o confiabilidad de un *test* completo. Significa que si un *test* es aplicado en dos momentos distintos a una misma población de estudiantes, habrá una alta correlación entre los puntajes de las dos pruebas asumiendo que el desempeño de los estudiantes es constante en el tiempo y que las condiciones son las mismas en cada caso. La confiabilidad de este índice cae en un rango de [0,1]. Se calcula mediante la expresión,

$$r_{test} = \frac{K}{K-1} \left(1 - \frac{\sum P(1-P)}{\sigma_x^2} \right) \quad (6)$$

Con P como el índice de dificultad de un ítem, σ_x la desviación estándar del puntaje total del test y K es el número de preguntas del test.

Índice de delta de Ferguson. Permite ajustar todo el test. Mide el poder discriminatorio de toda la prueba. Se basa en la relación entre el puntaje total de cualquier pareja de estudiantes. Permite distinguir entre estudiantes con mayor o menor conocimiento sobre un tema determinado. Se calcula mediante la expresión,

$$\delta = \frac{N^2 - \sum f_i^2}{N^2 - \left[N^2 / (K+1) \right]} \quad (7)$$

Siendo N el número de estudiantes, f_i la frecuencia o el número de ocurrencias de cada puntaje y K el número de preguntas.

Metodología

Exploración

La primera fase consistió en un accionar de exploración para ganar ideas que permitieran originar situaciones no solo contra-intuitivas sino de preconcepciones, de montajes, de viabilidad, etc. En esta etapa todo es un anhelo y puede tardar algunos meses construir enunciados que realmente tengan en cuenta el pensar del estudiante, sus creencias, sus mecanismos de explicación.

Escuchar al estudiante requiere paciencia y se deben generar momentos que permitan recoger sus ideas, así como momentos que permita analizar lo que ya existe de experiencias de otros estudios. Luego de algunos meses de interactuar: escuchar, escribir, borrar, corregir, hacer dibujos, etc., se hace la primera versión beta del test. Para este momento se tuvieron cerca de 20 preguntas con distractores salidos no solo de la inspiración del profesor sino de las creencias del estudiante. Concretamente se realizaron las siguientes actividades:

- Se exploró lo que otros habían reportado a través de libros, Internet, artículos, videos de YouTube, etc. Se encontró material de Misconceptions y Misapplication (Klaus & Ingelman-Sundberg,

2007). Se generaron varios momentos de interacción con estudiantes para escuchar sus mecanismos de explicación que inspiraran distractores para el *test*. Esto se puede lograr a partir de actividades cortas donde se pongan situaciones que permitan hacer discusiones por subgrupos y luego con el grupo completo.

- Se asignaron proyectos sobre el tema de fluidos que conllevara a los estudiantes a cacharrear, observar, argumentar, analizar y abstraer. Esto se logró dejando proyectos por semestre durante un año en diferentes grupos para que abordaran con subgrupos de tres estudiantes cada proyecto. Un artículo publicado sobre el soplador mágico cuenta algo de esta experiencia (Barbosa, Mora, Talero, & Organista, 2011).
- Se hicieron evaluaciones escritas para direccionar y enfocar al investigador en la redacción de las primeras preguntas de la prueba.
- Se redactó un primer de *test* borrador. Este fue aplicado a estudiantes que ya sabían del tema. También se entregó a personas afines a la disciplina para que lo leyeran y criticaran.
- Finalmente se redacta el primer *test* de Bernoulli y se obtienen diferentes copias para hacerlas leer de personas afines al ámbito científico, pero no aún de expertos en el tema. Se hacen los ajustes, se detallan las figuras y finalmente se hace una versión beta ajustada en limpio para copiar.

Validación

La validez no es un aspecto que se pueda medir estadísticamente, esta se determina por el consenso de varios expertos y corresponde a si el instrumento en realidad mide lo que pretende medir (Ding, Chabay, Sherwood, & Beichner, 2006). Para validar el *test* de Bernoulli se solicitó la opinión de varios expertos de universidades donde se imparte física mecánica con inserción del tema de fluidos en reposo y en movimiento: De la Salle, Central, Minuto de Dios y Distrital. El protocolo fue:

- Pactar un momento de charla con el profesor e instruirlo sobre la investigación que se estaba realizando.

- Persuadirlo que debía hacer al *test* una evaluación rigurosa y constructiva con el fin de evaluar el aprendizaje en una población determinada de la LPHB.
- Convencerlo de que su opinión y sugerencias debían ser anotadas para que luego sirvieran para ajustar el *test* como un instrumento validado desde la experticia.
- Negociar con el profesor una fecha de entrega de esa evaluación. Específicamente para este *test*, de los 12 profesores que recibieron una copia para evaluar, solo 5 profesores cumplieron con la tarea. Las críticas fueron de: redacción, el tipo de pregunta, ajuste en los distractores, ajuste en las figuras, incluso cambiar preguntas, etc.

Los expertos dictaminaron sobre un *test* de 15 preguntas, pero luego de distintas negociaciones, se finalizó con uno de 12 preguntas. Para este momento, la fase 1 y la fase 2, había generado 41 archivos de Word diferentes surgidos de las correcciones, sugerencias y retroalimentaciones.

Puesta a punto o calibración

Para poner a punto el *test* de Bernoulli se aplicó a poblaciones de estudiantes de nivel universitario de ingeniería entre segundo y tercer semestre, principalmente de la Universidad de la Salle. En cada grupo se encontraban fusionados estudiantes de programas de Ingeniería Ambiental, Civil, Alimentos, Eléctrica, Industrial, Mecánica, etc. La población intervenida oscilaba entre 17-19 años. Para una primera aplicación y lectura de los índices de calibración, el *test* se aplicó a 7 grupos de 30 estudiantes (203 en total).

La información se capturó con un formato electrónico y se subió a archivos de Excel. Mediante un programa en C++ se procesaron los datos y se hizo lectura de los 5 índices. Se hizo ajuste del *test* durante varias aplicaciones, correcciones, entrevistas, etc. Para este momento surgieron otros 15 archivos de Word de las diferentes correcciones y ajustes a las preguntas y distractores del *test*.

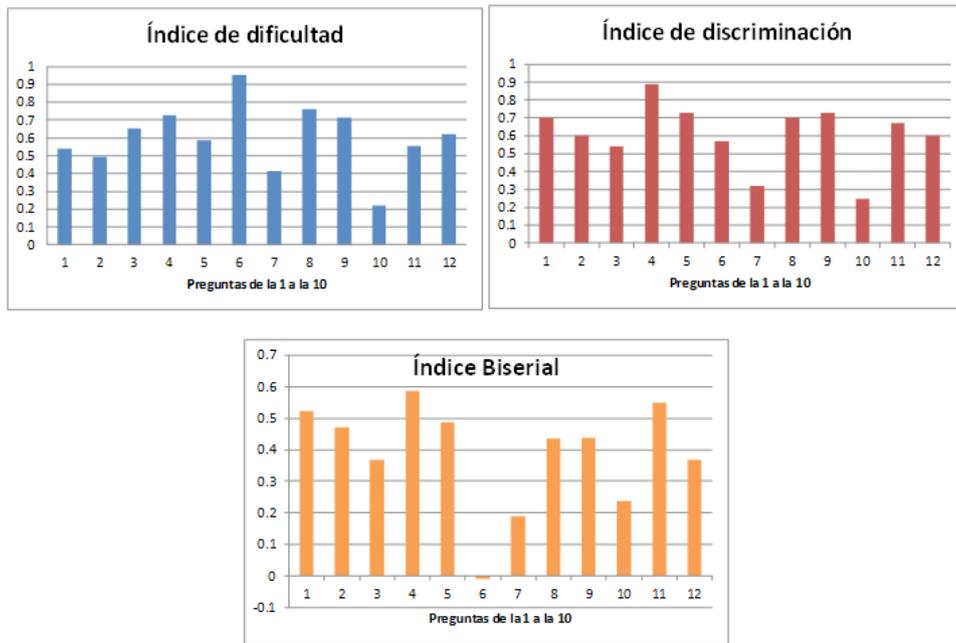


Figura 1. Índices de calibración en una muestra de 150 estudiantes de un total de 203
Fuente: Autor.

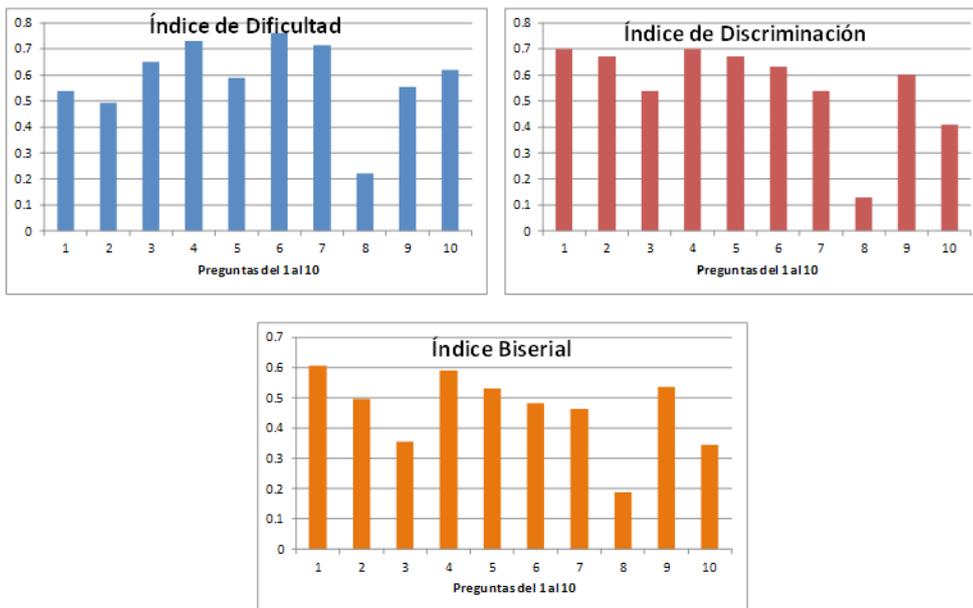


Figura 1. Índices de calibración sin ítems 6 y 7 para población de 150 estudiantes de un total de 203
Fuente: Autor.

Un ejemplo de esta actividad se muestra en las figuras 1 y 2; se observan tres de los índices para dos momentos diferentes. Al analizar los índices se observa que las preguntas 6 y 7 presentan valores no apropiados según la teoría clásica de *test*, por tanto, se podría hacer una exploración en alguna población aplicando

el *test* sin las preguntas 6 y 7. En tal caso se ajusta, se copia y se aplica de nuevo a alguna población de estudiantes y se revisa de nuevo sin tales preguntas; en ocasiones, se usaban las preguntas problema como situaciones de algún taller y se recogían opiniones de la lectura de tales ítems. La acción más fácil era

volver a leer los índices sin las preguntas mencionadas para ver como se comportaban sin hacer aplicación a nuevas poblaciones. En una lectura de los índices sin esas preguntas se muestran de nuevo las barras de los índices de calibración antes mencionadas. Se observa una mejora en los valores de los índices, según la tabla 1, sin las preguntas 6 y 7. Acciones como estas se repitieron muchas veces y los datos fueron procesados por un programa en C++ de acuerdo a las definiciones de los estadísticos ya mencionados. La lectura de los archivos procesados para graficar se hizo con Excel.

Resultados y Discusión

Valores de la calibración del test

El último ajuste se hizo con una población de 63 estudiantes para tomar sus elecciones ante las preguntas del *test-LPHB*. Estas respuestas fueron analizadas a la luz de Histogramas de visitas de cada ítem y mediante el cálculo de los cinco índices de calibración planteados. El *test-LPHB* inició con 15 preguntas, pasó por 12 preguntas y de acuerdo a los estadísticos puede quedar con 10 ítems sin ninguna afectación.

Tabla 1. Valores de índices para *test-LPHB*

| Índices para ítem y para todo el test | rango | Se espera | LPHB N=63 |
|--|--------|------------|-----------|
| Dificultad de ítem, P | [0,1] | $\geq 0,3$ | 0.60 |
| Discriminación de ítem, D | [-1,1] | $\geq 0,3$ | 0.60 |
| Punto biserial, r_{pbs} (Consistencia-ítem) | [-1,1] | $\geq 0,2$ | 0.38 |
| Kuder-Richarson, (Confiabilidad/test) | [0,1] | $\geq 0,7$ | 0.73 |
| Delta Ferguson, (Discriminatorio/test) | [0,1] | $\geq 0,9$ | 0.94 |

Fuente: Autor.

En la tabla 1 se sintetizan estos resultados. Se puede decir que tales valores hacen del *test-LPHB* un instrumento confiable, discriminatorio, consistente, de un nivel medio de dificultad y que en general puede proveer información objetiva en las poblaciones donde se investigue o se use. Si se compara con los valores con los que fue calibrado el BEMA (Ding, Chabay, Sherwood, & Beichner, 2006), se puede decir que estos valores están dentro de los rangos esperados.

Creencias o modelos de las poblaciones intervenidas

A continuación se presentan algunas de las ideas intuitivas de la LPHB halladas en una población de 203 estudiantes durante tres semestres. Dice Hestenes (1992) y (Mora & Herrera, 2009) que una instrucción que no las tiene en cuenta es ineficaz para la mayoría de los estudiantes.

1. Mayor velocidad-mayor presión. Si un flujo se mueve rápidamente, el estudiante piensa que tiene

más presión que cuando se movía lentamente; por ejemplo, al comparar el líquido de la sección ancha de la jeringa con la sección delgada. Por interacciones con el grupo, ellos hacen afirmaciones como, “*si se tiene un chorro de un líquido, este tiene más presión si viaja más rápidamente*”. En este caso el modelo cognitivo del estudiante que lo hace pensar así está asociado con la creencia de que la fuerza es lo mismo que velocidad y similar a la presión. Las preguntas (1, 2, 5, 8, 9 y 11) del test indagan este obstáculo. Si existe es adecuado llamar la atención sobre la relación inversa que se da entre la sección transversal de área y velocidad del flujo para luego si discernir la relación entre velocidad y presión.

2. Flujo frontal = que flujo lateral. El estudiante afirma que “*el flujo siempre empuja y sin importar si incide frontal o lateralmente sobre una superficie, el efecto es siempre empujarla en la misma dirección del flujo*”. Por eso, si en medio

de un conjunto de dos globos que cuelgan, se hace incidir un flujo de aire, el estudiante piensa que los globos se separan. En este caso el modelo cognitivo del estudiante que lo hace pensar así es porque un flujo frontal al incidir sobre una superficie la empuja, y hasta es capaz de moverla. Basado en este hecho, generaliza, por tanto, se deben presentar varios casos de incidencia del flujo lateral y su efecto.

- 3. Cilindro rota-aire incide, auto no se mueve.** Si en un cilindro que rota alrededor de su eje principal, incide un flujo de aire, la población expresa “*el cilindro no presenta ningún efecto ya que sobre él incide la misma cantidad de aire por ambos lados del cilindro, entonces cualquier efecto se cancela*”.

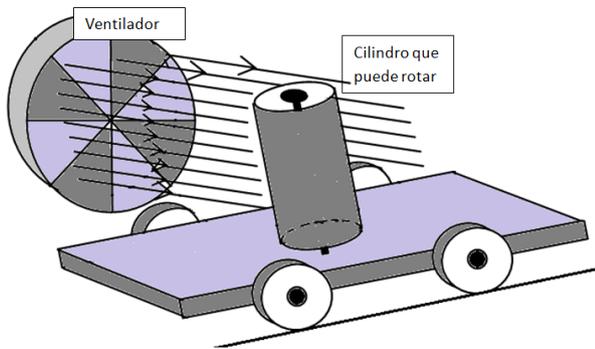


Figura 3. Rotor de Flettner, por incidencia del flujo, el carrito puede ir hacia adelante si el cilindro rota en sentido horario
Fuente: Autor.

Lo mismo creen de las esferas que rotan dentro de un fluido y avanzan dentro del mismo fluido. Este caso no es tan simple y parece que el obstáculo es pensar que el cuerpo que rota no arrastra aire sino que simplemente pasa través del fluido. (Pregunta 10 y 12). En realidad, la física de esto conlleva al efecto Magnus y al rotor de Flettner; su explicación requiere tener en cuenta la viscosidad, por tanto, hay que ir más allá de la ley de Bernoulli para luego predecir parte del evento con esta regularidad.

- 4. Menor área tubo, mayor presión.** Esta creencia presenta similaridad con la primera, con la diferencia de que en esta se involucra el cambio de la sección transversal de área. Los estudiantes dicen que “*cuando un fluido va por un tubo que reduce*

su sección transversal de área, el fluido aumenta su presión al disminuir la sección”, esto es una creencia ligada al hecho de observar que el fluido aumentó su rapidez. En este caso se plantea un ExD con tubos verticales unidos a un tubo que cambia su sección transversal de área y que presenta un nivel de fluido menor en el tubo unido a la zona con menor diámetro, ver pág.40-13 de física 2 de Feynman (1988). (Pregunta 1 y 9).

- 5. Soplar en tubo con ramas, aire se distribuye igual.** Al soplar por un tubo que se ramifica en otros tubos libres a la atmosfera, el estudiante expresa que “*el flujo sigue con la misma rapidez hacia los otros tubos sin importar la facilidad con que el aire pueda fluir por un tubo de acuerdo a su ubicación*”. Esto se verifica en el caso del soplador donde incluso Barbosa (2011) mide el nivel de discrepancia.

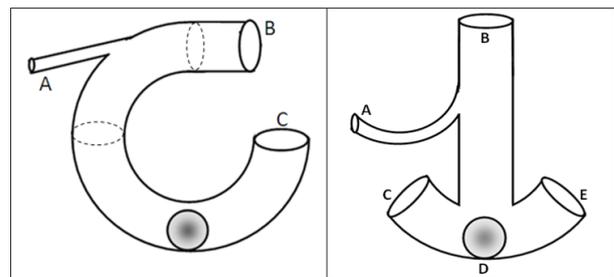


Figura 4. Dos tipos de sopladores mágicos
Fuente: Autor.

Al parecer el modelo cognitivo del estudiante que no le deja predecir correctamente el fenómeno en este caso es la ley de Pascal que precisa que «la presión hecha en algún punto del fluido confinado se reparte con la misma magnitud hacia todas las direcciones». La mayoría de los estudiantes no se percatan de que no se tiene un fluido en un recipiente hermético sino que el aire en los tubos está libre a la atmósfera (pregunta 4).

Test para evaluar la LPHB

A continuación se presentan los 12 ítems o preguntas del Test-LPHB en las figuras del 5 al 16. Evalúa la dimensión conceptual de la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli y por tanto, puede brindar información para determinar la efectividad de una metodología de enseñanza al aplicarlo antes y después de la instrucción.

Solamente el primer ítem de esta prueba fue adaptado desde una situación del test de mecánica de fluidos de Martin (Martin, Mitchell, & Newell, 2003), los demás

ítems han surgido de un arduo trabajo durante dos años en el ambiente de investigación e interacción con poblaciones de ingeniería de la U. de la Salle.

1. Fluye agua por un tubo y entra a una sección transversal de área menor. Si se desprecia la viscosidad, la fricción con las paredes y los efectos gravitacionales, entonces la frase correcta que da cuenta de la presión P y velocidad V , es:



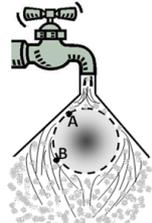
(Problema adaptado de FM_Concept_Inventory_Fluidos: Martin, J.K., Mitchell, J., and Newell, T.)

- P_2 es menor que P_1 y V_2 es menor que V_1
- P_2 es menor que P_1 y V_2 es mayor que V_1
- P_2 es mayor que P_1 y V_2 es menor que V_1
- P_2 es mayor que P_1 y V_2 es mayor que V_1
- P_2 es igual que P_1 y V_2 es igual que V_1

Figura 5. Pregunta 1 del test-LPHB

Fuente: Autor.

2. Se coloca un embudo pequeño a la salida de una llave de agua y se abre el grifo. Se introduce luego una bola de ping-pong por la parte ancha del embudo y se observa que la bola permanece pegada sin que el flujo de agua la arrastre. Respecto a la presión (P) y rapidez (v) en los puntos mostrados de la figura, el fenómeno se da porque el flujo de agua, posee una,



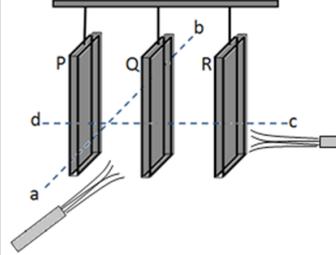
- $P_A = P_B$ y $v_A = v_B$.
- P_A mayor que P_B y v_A mayor que v_B .
- P_A mayor que P_B y v_A menor que v_B .
- P_A menor que P_B y v_A menor que v_B .
- P_A menor que P_B y v_A mayor que v_B .

(Problema por Luis H. Barbosa)

Figura 6. Pregunta 2 del test-LPHB

Fuente: Autor.

3. Se tienen tres láminas, **P**, **Q** y **R**, de cartones colgadas verticalmente como se muestra en la figura. Qué sucederá, si se sopla en medio de **P** y **Q**, a lo largo de la línea **ab** y sobre **R** a lo largo de la línea **cd**?



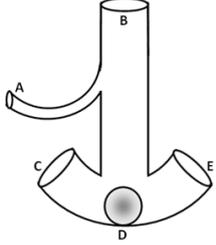
- P** y **Q** se juntan y **R** se mueve hacia **Q**
- P** y **Q** se separan y **R** se mueve hacia **Q**
- P** y **Q** se juntan y **R** se mueve fuera de **Q**
- P** y **Q** se separan y **R** se mueve fuera de **Q**
- P** y **Q** no se mueven y **R** se mueve hacia **Q**

(Problema por Luis H. Barbosa)

Figura 7. Pregunta 3 del test-LPHB

Fuente: Autor.

4. Se tiene un instrumento hecho de tubos de vidrio abiertos a la atmósfera como se muestra en la figura. En ese aparato se dispone de una esfera de madera en el fondo en la posición **D**. Qué le sucede a esta esfera cuando se sopla fuertemente por el tubo **A**?



- Permanece inmóvil
- Oscila entre **C** y **E**
- Se mueve y sale por **C**
- Se mueve hacia **B**
- Se mueve y sale por **E**

(Problema por Luis H. Barbosa)

Figura 8. Pregunta 4 del test-LPHB

Fuente: Autor.

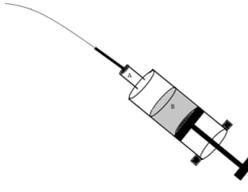
| | |
|---|--|
| <p>5. Se tiene una jeringa llena de medicamento como se muestra en la figura. Cuando la enfermera presiona el émbolo constantemente el líquido avanza hasta alcanzar la aguja y se observa que el chorro del líquido cae lejos. Respecto a la <i>rapidez</i> (V) y la <i>presión</i> (P) del líquido dentro de la aguja y la parte ancha de la jeringa se puede precisar de manera correcta que,</p> <p>A. $V_{AGUJA} > V_{JERINGA}$ Y $P_{AGUJA} < P_{JERINGA}$ B. $V_{AGUJA} < V_{JERINGA}$ Y $P_{AGUJA} > P_{JERINGA}$ C. $V_{AGUJA} < V_{JERINGA}$ Y $P_{AGUJA} < P_{JERINGA}$ D. $V_{AGUJA} > V_{JERINGA}$ Y $P_{AGUJA} > P_{JERINGA}$ E. $V_{AGUJA} > V_{JERINGA}$ Y $P_{AGUJA} = P_{JERINGA}$</p> |  <p>(Problema por Luis H. Barbosa)</p> |
|---|--|

Figura 9. Pregunta 5 del test-LPHB

Fuente: Autor.

| | |
|--|--|
| <p>6. Se dispone de una hoja de papel higiénico de medio metro de larga unida al carrete y sostenida debajo de un secador de pelo que arroja aire horizontalmente. Al encender el aparato y producir el flujo de aire por encima del carrete, la hoja:</p> <p>a. se mueve hacia abajo bruscamente y queda perpendicular al flujo. b. se levanta en contra de la gravedad y es absorbida en dirección del flujo. c. se enrolla, forma un grumo y se mueve aleatoriamente. d. es repelida por el secador y se mantiene diagonalmente hacia abajo. e. permanece como estaba sin notar el flujo.</p> <p>(Problema por Luis H. Barbosa)</p> |  |
|--|--|

Figura 10. Pregunta 6 del test-LPHB.

Fuente: Autor.

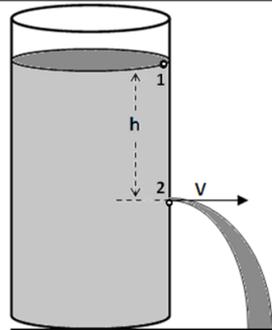
| | |
|--|--|
| <p>7. <u>Torricelli</u> encontró experimentalmente que la rapidez del agua que sale por un orificio de un tanque como el mostrado en la figura está dada por $V = \sqrt{2gh}$, para encontrar esta expresión de rapidez mediante la ecuación de Bernoulli, se debe suponer que, aproximadamente la,</p> <p>1. rapidez del nivel del agua en el punto 1 es nula. 2. presión de la atmósfera en 1 es igual que en 2. 3. rapidez del agua en el punto 1 es igual que en 2. 4. presión de la atmósfera en 1 es mayor que en 2.</p> <p>De acuerdo a las anteriores afirmaciones, sólo son correctas:</p> <p>a. 1 y 2 b. 1 y 3 c. 1 y 4 d. 1, 2 y 3 e. 3</p> <p>(Problema por Luis H. Barbosa)</p> |  |
|--|--|

Figura 11. Pregunta 7 del test-LPHB.

Fuente: Autor.

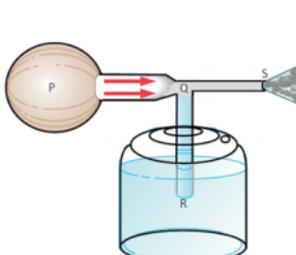
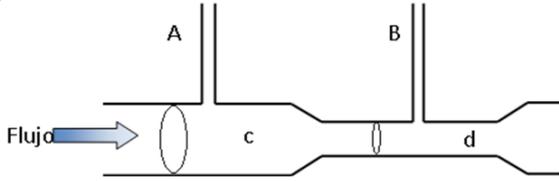
| | |
|--|--|
| <p>8. El prototipo de la figura es un atomizador o vaporizador. Cuando se oprime en P, el líquido en el recipiente asciende por el tubo de R a Q y luego es esparcido desde S. El líquido sube debido a que,</p> <p>a. el aumento de su rapidez en Q hace aumentar su presión respecto a R. b. el aumento de su rapidez en Q hace disminuir la presión respecto a R. c. al hacer fuerza en P hace crecer su presión en el fondo del recipiente. d. en P se genera un vacío que chupa y hace subir el fluido. e. desde P baja el aire al recipiente, transmite fuerza y lo hacer subir.</p> |  <p>(Problema por Luis H. Barbosa)</p> |
|--|--|

Figura 12. Pregunta 8 del test-LPHB.

Fuente: Autor.

9. Fluye agua por un tubo horizontal cuya sección transversal de área cambia como se observa en la figura. En dos de esas secciones se han conectado tubos verticales de igual diámetro suficientemente largos para que el líquido no salga por ninguno de ellos y continúe por el tubo horizontal. Respecto a esta situación se puede decir que los niveles del líquido en:

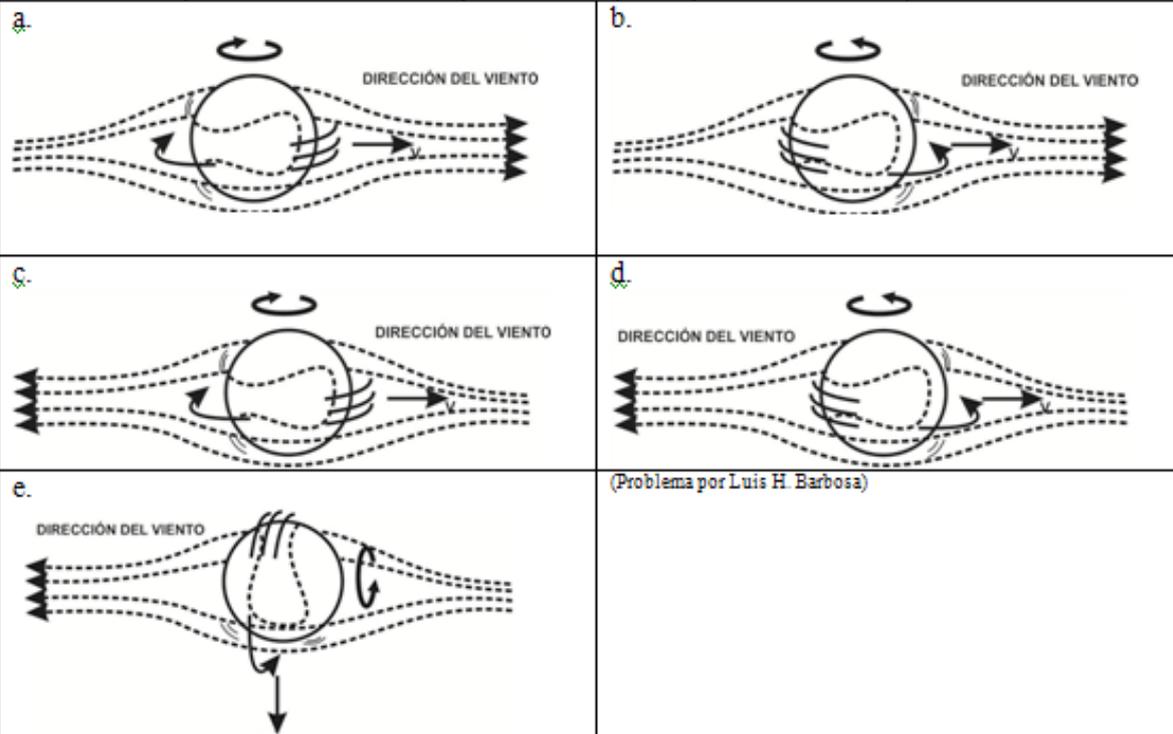


a. A y B son iguales y la rapidez V_c es menor que V_d
 b. A y B son iguales y la rapidez V_c es mayor que V_d
 c. A es mayor que B y la rapidez V_c es mayor que V_d
 d. A es mayor que B y la rapidez V_c es menor que V_d
 e. A es menor que B y la rapidez V_c es mayor que V_d

(Problema por Luis H. Barbosa)

Figura 13. Pregunta 9 del test-LPHB.
 Fuente: Autor.

10. Una bola de tenis avanza de izquierda a derecha de esta página rotando sobre sí misma y respecto a eje vertical (parte superior de la hoja). Mientras la bola avanza se desvía hacia afuera de esta hoja. La gráfica que mejor representa la dirección del aire y rotación (horario o antihorario) de la bola para que esto suceda, es:



(Problema por Luis H. Barbosa)

Figura 14. Pregunta 10 del test-LPHB
 Fuente: Autor.

11. Un flujo continuo de aire se inyecta en un prototipo como el que se muestra en la figura. Justo en las secciones transversales A_1 y A_2 se han colocado dos tubos verticales que comunican a un recipiente cerrado con agua coloreada. El diagrama que mejor representa la disposición del nivel del fluido en los tubos verticales es:

a.

b.

c.

d.

e.

(Problema por Luis H. Barbosa)

Figura 15. Pregunta 11 del test-LPHB
Fuente: Autor.

12. El carrito de la figura 1 se puede mover libremente sobre una superficie horizontal de izquierda a derecha de esta página (y viceversa). Sobre este hay un cilindro que puede rotar sobre sí mismo. Suponga que un ventilador emite un flujo de aire perpendicular hacia el cilindro, en dirección saliendo de esta página. Respecto al movimiento del carrito se puede decir que,

1. Si el cilindro se mueve en sentido horario el auto se mueve hacia la derecha.
2. Si el cilindro se mueve en sentido horario el auto se mueve hacia la izquierda.
3. Como llega la misma cantidad de aire por ambos lados del cilindro, no hay ningún empuje neto y el auto no se mueve así el cilindro rote.

(Figura 1. Problema por Luis H. Barbosa)

Figura 2. La misma figura 1 vista en perspectiva

Si Falso (F) y verdadero (V), de acuerdo a las afirmaciones, se puede precisar en su orden, que:

- a. VVV
- b. VVF
- c. VFF
- d. FFF
- e. FFV

Figura 16. Pregunta 12 del test-LPHB
Fuente: Autor.

Conclusiones

Se presenta a la comunidad académica un *test* sobre la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli para indagar el estado conceptual de comunidades de aprendizaje y también para monitorear su evolución luego de la instrucción, es un test que se enfoca en un solo concepto, validado y calibrado con índices de la teoría clásica del test. Es un instrumento que sirve para investigar al aspecto conceptual de apropiación de la LPHB sobre las poblaciones intervenidas luego de la instrucción.

Se recomienda que las preguntas no se usen para evaluaciones de aprobación de la materia, es decir, que no se resuelvan sus ítems ya que entonces el test pierde objetividad para hacer una lectura confiable en la investigación. El uso adecuado es como en el caso de pre/pos-test, se aplica al inicio, se hace la instrucción y luego al final se aplica el *test*. Si un estudiante pide solución, se usa algún ejemplo parecido, en estos casos lo mejor es dar algún incentivo al aplicar el test e indicar que no se resolverá explícitamente en las comunidades donde se investiga por la enseñanza-aprendizaje de la LPHB.

El *test*-LPHB fue ajustado primero en una población de cerca de 203 estudiantes y con una última calibración en una muestra de 63 estudiantes. Se advierte que los

índices no caen en los rangos adecuados cuando la población es completamente ignorante del tema, la razón es que la mayoría de situaciones de los ítems son de eventos discrepantes. Esta investigación no solo provee un instrumento de evaluación para futuras investigaciones sino que además reporta algunas de las concepciones alternativas de las poblaciones intervenidas acerca del aprendizaje de la ley de Bernoulli. Es importante resaltar la metodología sobre cómo se construye y se valida un test con la novedad de que no es un inventario de conceptos sino un inventario de matices de un solo concepto. Ya que la LPHB resulta ser una regularidad muy importante en la base conceptual del estudiante, se espera contribuir con un instrumento que permita determinar la efectividad de nuevas metodologías de enseñanza-aprendizaje de la LPHB en poblaciones de aprendizaje de la física general.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Central por el apoyo a estudios de Doctorado del autor y al CICATA-IPN de México por su colaboración, también a los estudiantes de ingeniería de la Universidad de la Salle. Igualmente a los profesores: Jorge Dueñas, Paco Talero, Cesar Herreño, Jaime Buitrago, Luis A. Méndez que muy gentilmente colaboraron y aportaron su valioso tiempo para validar el test de la LPHB.

Bibliografía

- Adams, W., & Wieman, C. (2010). Development and Validation of Instruments to Measure Learning of Expert-Like Thinking. *Internat. Journal of Science Education*, 1-24.
- Adkins, D. (1994). *Elaboración de tests. Desarrollo e interpretación de los tests de aprovechamiento*. Mexico DF: Trillas.
- Aliaga, J. (1973). *Psicometría: Tests Psicométricos, Confiabilidad y Validez*. Recuperado el 2 de abril de 2013, de <http://www.uigv.edu.pe/facultades/psicologia/recursos/05LibroEAPAliaga.pdf>
- Barbosa, L. H., Mora, C., Talero, P., & Organista, J. (2011). El soplador Mágico: un experimento discrepante en el aprendizaje de la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli. *Revista Brasileira de ensino de Física*, 33, 43091-43097.
- Bauman, R. (2000). An alternative derivation of Bernoulli's principle. *Am. J. Phys.* 68 (3), 288-289.
- Bauman, R., & Schwaneberg, R. (1994). Interpretation of Bernoulli's equation. *The Physics Teacher* 32 (8), 478-488.
- Ding, L., Chabay, R., Sherwood, B., & Beichner, R. (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: BEMA. *Phys. Review Special Topics-Physics Educ. Research*, 2, 0101051-0101057.
- Engelhardt, P., & Beichner, R. (2004). Students understanding of direct current resistive electrical circuits. *Am. J. Phys.* 72, 98-115.
- Evans, D., Gray, G., Krause, S., & Martin, J. (2003). Progress on concept inventory assessment tools. *In Proceedings of the FIE conference, IL*. Champaign: Stipes Publishing L.L.C.

- Feynman, R., Leighton, R., & Sands, M. (1988). *The Feynman Lectures on Physics. Version-español, Vol. 2.* Mexico: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Ghiselli, E., Campbell, J., & Zedeck, S. (1981). *Measurement Theory for the Behavioral Sciences.* San Francisco: Freeman.
- Guillen, M. (2010). *Las Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo.* México: Drokerz Impresiones.
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the FCI. *The Physics Teacher.* 33, 502-506.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher,* 30 (3), 141-158.
- Issen, K., Steif, P., & Richardson, J. (2004). Probing conceptual knowledge of students in strength of materials. *In Proceedings of the 17th ASCE Engineering Mechanics Conference.* Newark: University of Delaware.
- Jacobi, A., J. Martin, J., Mitchell, T., & Newell. (2003). A concept inventory for heat transfer. *In Proceedings of the 2003 FIE conference, IL.* Champaign: Stipes Publishing L.L.C.
- Klaus, W., & Ingelman-Sundberg, M. (2007). *Misinterpretations of Bernoulli's Law.* Recuperado el 3 de febrero de 2011, de Misaplications: <http://plato.if.usp.br/2-2007/fep0111d/Bernoulli.pdf>
- Krause, S., Decker, J., Niska, J., Alford, T., & Griffin, R. (2003). Identifying student misconceptions in introductory materials engineering classes. *In Proceedings of the ASEE Annual Conference.* Washington: ASEE Annual Conference.
- Martin, J., Mitchell, J., & Newell, T. (2003). Development of a concept inventory for fluid mechanics. *Proceedings of the FIE conference, IL.* Champaign: Stipes Publishing L.L.C.
- Midkiff, K., Litzinger, T., & Evans, D. (2001). Development of engineering thermodynamics concept inventory assessment instruments. *In Proceedings of FIE Conference, IL.* Champaign: Stipes Publishing L.L.C.
- Mora, C., & Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin American Journal of Physics Education (3),* 72-86.
- Rhoads, T., & Roedel, R. (1999). The wave concept inventory: a cognitive instrument based on Bloom's taxonomy. *In Proceedings of FIE Conference, IL.* Champaign: Stipes Publishing L.L.C.
- Richardson, J. (1999). *Concept Inventories: Tools for uncovering STEM student's misconceptions.* Recuperado el 2 de abril de 2012, de http://www.aaas.org/publications/books_reports/CCLI/
- Richardson, J., Morgan, J., & Evans, D. (2001). Development of an engineering strength of materials concept inventory assessment instrument. *Proceedings of FIE Conference, IL.* Champaign: Stipes Publishing L.L.C.
- Roedel, R., El-Ghazaly, S., Rhoads, T., & El-Sharawy, E. (1998). The wave concepts Inventory: An assessment Tool for Courses in Electromagnetic Engineering. *Proceedings of the FIE conference, IL.* Champaign: Stipes Publishing L.L.C.
- Steif, J., Richardson, J., Morgan, P., & Dantzler, J. (2003). Development of a concept inventory for strength of materials. *Proceedings of the FIE conference, IL.* Champaign: Stipes Publishing L.L.C.
- Wage, K., & Buck, J. (2001). Development of the signals and systems concept inventory. *Proceedings of the FIE conference, IL.* Champaign: Stipes Publishing L.L.C.

Sobre el Autor

Luis Hernando Barbosa

Licenciado en Física (UPN), Especialista en Ciencias Físicas (UN), Magister en Ciencias Físicas (UN), Doctor en Ciencias en Física Educativa (Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada-CICATA, Instituto Politécnico Nacional, IPN). Ganador de la Presea Lázaro Cárdenas 2013 del IPN en México en la categoría de Ingeniería y física matemática nivel de doctorado por su

producción académica que entrega el presidente de México como un reconocimiento a la labor, valores y estímulo a la excelencia de quienes han contribuido a mejorar, a través de la ciencia, la vida del hombre y han dado prestigio tanto al IPN como a sus instituciones de origen. Profesor de Física de la Universidad Central y Catedrático de la Universidad de la Salle, Bogotá (Colombia). lhbffisica@gmail.com - lbarbosab@ucentral.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.