

El Soplador mágico: un experimento discrepante en el aprendizaje de la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli

(*The magic blower: a discrepant experiment in the learning of the Bernoulli's Law of hydrodynamic pressure*)

Luis H. Barbosa^{1,2}, Cesar E. Mora², Paco H. Talero¹ y José O. Organista¹

¹Grupo de Física y Matemática, Depto. de Ciencias Naturales, Universidad Central, Carrera 5, Bogotá, Colombia

²Depto Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada,

Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México

Recibido em 8/3/2011; Aceito em 13/7/2011; Publicado em 1/12/2011

El propósito de este artículo es presentar un experimento discrepante, su modelación física y las bondades pedagógicas del montaje para apropiar la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli. Se presenta resultados del impacto sobre una población de estudiantes y se mide su movilización surgida del proceso de ir desde un estado de disonancia a un estado de consonancia. El aparato se ha usado como proyecto para que la población en estudio lo trabaje en su tiempo independiente durante 4 semanas. La evolución del aprendizaje se precisa con la ganancia normalizada de Hake y el factor de concentración de Bao. Se ha encontrado una experiencia muy enriquecedora pedagógicamente representada por valores de ganancia de Hake mayores a 0.5.

Palavras-chave: material didáctico, experimentos discrepantes, demostraciones experimentales, enseñanza de la Física, métodos de enseñanza.

The main purpose of this article is to present a discrepant experiment, its physical modeling as well as its pedagogical benefits of the assembly to learn the Bernoulli's Law of hydrodynamic pressure. The impact of the results is presented on a population of students and the interactive engagement is measured starting from a process of dissonance to a process of consonance. The prototype has been implemented as a project in order that the student's population makes time by their own during four weeks. The evolution of the learning process is specified with the Hake's average normalized gain and the Bao's concentration factor. The experience has turned out to be quite fruitful from a pedagogical standpoint represented by the Hake's gain values above 0.5.

Keywords: didactic material, discrepant experiments, demonstration experiments, physics education, teaching methods.

1. Introducción

La ley de presión hidrodinámica de Bernoulli (LPHB) es una de las ecuaciones que sin duda han cambiado la actividad de la humanidad. Así lo precisa Guillen en su ensayo de ciencia sobre las cinco ecuaciones que cambiaron el mundo [1]. Esta ecuación establece un mecanismo de explicación con las variables presión y velocidad del fluido para un sinnúmero de fenómenos como el origen de la voz [2], la salida del líquido del atomizador [3], el funcionamiento del carburador de los autos [4], la eficiencia de las chimeneas [5], el tiro de chanfle en fútbol [6], entre otras. A pesar de lo importante de esta regularidad, en una revisión de McDermott y Redisch hay pocos estudios sobre la enseñanza de este concepto en programas de Física General que evidencien su aprendizaje [7]. Sobre la interpretación de esta ecuación, Bauman y Schwaneberg [8] reportan

ciertas concepciones erróneas que a menudo se usan en la deducción y elucidación de esta ecuación en textos universitarios [9,10], en la misma dirección, Weltner e Ingelman-Sundberg reportan una serie de malentendidos que a menudo los profesores usan como aplicaciones para introducir la LPHB y que pueden ser contraproducentes usarlas por ser consideradas como sombrías a la hora de explicar el gradiente de presión desde el cambio de velocidad de la línea de corriente del flujo [11]. Se necesitan, por tanto, situaciones que permitan introducir esta ecuación pero que a la vez sean fértiles para apropiar este concepto. En consecuencia, se reportan dos nuevos prototipos de experimentos denominados sopladores que ofrecen un alto valor pedagógico para apropiar el concepto que subyace a la LPHB, inspirados por Walker y por un trabajo anteriormente reportado [12,13]. La principal ventaja de estos prototipos es que al accionarlos vislumbran una fenomenología

¹E-mail: lhbffisica@gmail.com.

discrepante que, como se sabe de otros trabajos anteriores, produce una gran movilización del estudiante para apropiarse temas de la física y desarrollar sus competencias investigativas [14-17].

Por lo anterior, el propósito de este artículo es presentar dos prototipos de Experimentos Discrepantes (ExD) así como cierta modelación física utilizando la ecuación de Bernoulli. También se reporta el impacto sobre una población de estudiantes midiendo el atributo pedagógico “discrepante” basado en una idea sobre el factor de concentración de Bao [18]. Asimismo, se reporta la ganancia normalizada de Hake [19] sobre una población de estudiantes en la que se utilizaron los dos montajes para introducir la ecuación de Bernoulli. En lo que sigue del artículo, se ilustran los dos prototipos mencionados, en la sección 2 se plantea una modelación física del fenómeno para ser utilizado en estudiantes del nivel universitario introductorio, en la sección 3 se precisa la discrepancia y su valor pedagógico, en la sección 4 se presenta el impacto sobre una población de estudiantes midiendo en particular, la ganancia promedio normalizada de Hake; finalmente se presentan las conclusiones.

2. Montajes propuestos

Los montajes presentados a continuación se pueden construir de acrílico, de vidrio o de manguera flexible y son denominados sopladores mágicos. Lo mágico pone el tinte de motivación, útil para hacer movilizar a los estudiantes. Como expresó Einstein alguna vez [20], refiriéndose precisamente al comportamiento de la aguja magnética, “el desarrollo del mundo intelectual es, en cierto sentido, la superación del sentimiento de admiración: la huida incesante de lo sorprendente, del milagro, de lo mágico”.

Se sugiere que se construyan de material transparente para poder seguir la ruta visualmente a una esfera en la parte inferior del montaje cuando se sopla por el tubo A. Como se observa en la Fig. 1 un soplador consiste de tres bocas de tubo abiertas a la atmósfera con una esfera liviana de balsa o de corcho en el fondo del montaje que se puede mover fácilmente.

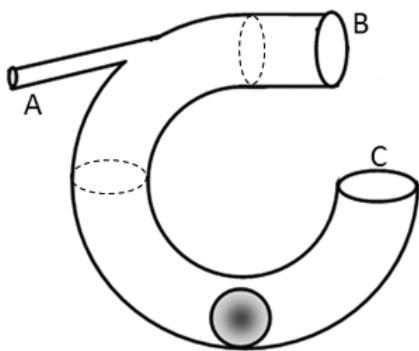


Figura 1 - Soplador mágico 1.

El montaje de la Fig. 2 es similar al primero. Para accionar el aparato también se debe soplar por el tubo A y observar para dónde coge la esfera. Lo nuevo en este prototipo es la disposición de las bocas de los tubos.

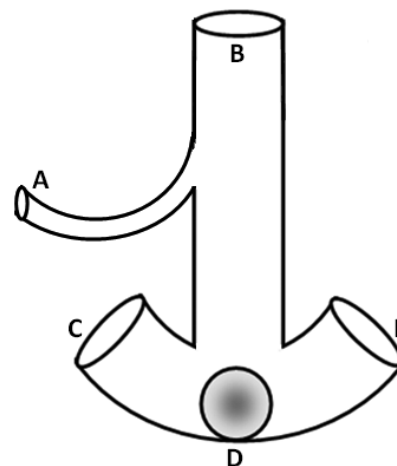


Figura 2 - Soplador mágico 2.

Ambos montajes son ExD ya que al accionarlos (soplar por el tubo A) la esfera en el fondo de los montajes se mueve hacia B. Esto es contra-intuitivo ya que la gran mayoría de los estudiantes, en el primer caso, predicen que la esfera se mueve hacia C y en el segundo caso, la mayoría predicen que la esfera no se mueve. Los dos prototipos son ricos en posibilidades de interrogación para los estudiantes. Se sugiere no mostrar ambos prototipos simultáneamente, sino mantener uno de ellos oculto para evaluar el aprendizaje del estudiante.

3. Modelación del fenómeno

Para formalizar el estudio del fenómeno suponemos que la causa del movimiento de la esfera es debida al flujo de aire que se produce al soplar en el tubo A. Más particularmente, la velocidad del fluido en el tubo B es mayor que en el lugar donde se encuentra la esfera. Entonces, la presión del fluido, donde la velocidad es mayor, disminuye, y origina un flujo de aire que arrastra a la esfera hacia el tubo B. Suponemos que el flujo en cuestión, es un flujo estacionario con viscosidad despreciable y que la ecuación de Bernoulli que describe este fluido está dada por

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2. \quad (1)$$

Como interesa seguirle la ruta a la esfera de masa m , consideraremos una parte del artefacto y dos posiciones para aplicar la ecuación de Bernoulli (ver Fig. 3).

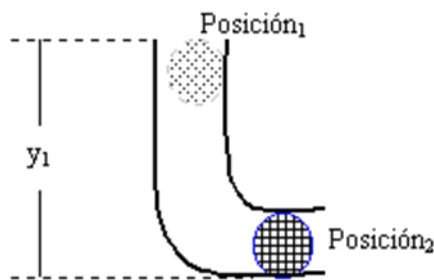


Figura 3 - Sección soplador mágico 1.

En la posición 2, inicialmente, la velocidad del fluido es cero. De igual forma, la altura es nula, entonces la expresión queda

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2. \quad (2)$$

De la expresión (2) se deduce que para que se mantenga la igualdad cuando se sopla, la presión P_1 debe disminuir drásticamente respecto a P_2 ya que la velocidad v_1 aumenta, la altura y_1 permanece constante y P_2 es la presión atmosférica. Esta diferencia de presiones origina el flujo que arrastra la esfera que está en el fondo del tubo. Si además se despeja la velocidad, v_1 , de la expresión (2) se tiene

$$v_1 = \sqrt{2 \left(\frac{P_2 - P_1 - \rho g y_1}{\rho} \right)}. \quad (3)$$

Esta es aproximadamente la velocidad del flujo de aire en la salida de la boca del tubo B del soplador. Con ρ como la densidad del aire, g la gravedad, P_2 la presión atmosférica y y_1 aproximadamente la altura del soplador. Este es el flujo que arrastra la esfera y que suponemos lleva la misma velocidad de la esfera considerando que la esfera es una parte constitutiva del flujo originado por la acción de soplar. En este caso la presión P_1 se desconoce, pero podría intentarse hallar haciendo uso de la fuerza de arrastre del aire y de la segunda ley de Newton. Si se considera que la fuerza de arrastre del aire empuja y actúa sobre una región efectiva de la esfera (circular) de valor

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (4)$$

siendo d el diámetro de la esfera, se puede obtener una expresión para la presión P_1 despreciando pérdidas por rozamiento. Por segunda ley

$$F - mg = ma. \quad (5)$$

Con m como la masa de la esfera. Si se utiliza el hecho de que

$$F = PA. \quad (6)$$

La expresión (5) combinada con la expresión (6) arroja para la presión P_1 lo siguiente

$$P_1 = \frac{4m(a+g)}{\pi d^2}. \quad (7)$$

Sustituyendo la expresión (7) en la expresión de la velocidad dada en la expresión (3), se obtiene

$$v_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{aire}} \left(p_{atm} - \frac{4m_{esf}(a+g)}{\pi d^2} - \rho_{aire} g y_{sop} \right)}. \quad (8)$$

Para un soplido fuerte y corto en duración, se puede suponer, como caso particular, que la aceleración es nula e inferir una expresión más simple para la rapidez de la esfera. Como ejercicio para los estudiantes se les puede sugerir que deduzcan una expresión para la velocidad de salida de la esfera con cinemática del plano analizando trayectoria semi-parabólica de la esfera. Se pueden matematizar algunas otras observaciones interesantes, pero por lo pronto esta modelación nos acerca bastante a la descripción del movimiento discrepante propuesto e involucra la LPHB.

4. Valor pedagógico y medición de la discrepancia

4.1. Noción y utilidad de la discrepancia

El motor activador de la movilización del estudiante para aprender y desarrollar sus capacidades en esta metodología es la disonancia cognitiva que genera el fenómeno. Este es un estado altamente desequilibrante y Festinger [21] precisa que una persona presenta disonancia cognitiva, cuando percibe dos informaciones contrarias de un mismo estímulo o mantiene al mismo tiempo dos pensamientos que están en conflicto. Es decir, presenta incompatibilidad de dos cogniciones simultáneas. Festinger plantea que al producirse esa incongruencia o "disonancia" de manera apreciable, la persona se ve automáticamente motivada a esforzarse en generar ideas y creencias nuevas que permitan reducir la tensión hasta conseguir que el conjunto de sus ideas y actitudes encajen entre sí, logrando una cierta coherencia interna o "consonancia".

La manera como se produce la reducción de la disonancia puede involucrar distintos caminos. Por ejemplo, un cambio de actitud o de ideas ante la realidad. Desde luego, como el fenómeno del montaje no se puede cambiar, el único camino para reducir tal desequilibrio, es cambiar de ideas. Aquí es donde el maestro de física, no debe apresurarse a dar una respuesta, sino que al unísono con sus estudiantes debe procurar jugar, degustar el fenómeno, hacer preguntas y sobre todo manifestar al estudiante que se inicia un trabajo fascinante para develar el cómo y el por qué del fenómeno. Como la tarea es reducir la disonancia, resulta apropiado asignar unas tareas para el éxito de esa gran empresa. Es importante sugerir alguna metodología de trabajo como

observar, anotar detalles, plantear preguntas, generar conjeturas, utilizar algún modelo conceptual y cadenas de razonamiento para describir el fenómeno; acordar momentos para presentar avances del entendimiento del evento, búsqueda de información, etc.

4.2. Factor de concentración y medición de la discrepancia

En un trabajo de Lei Bao y Redisch [18] sobre un análisis cuantitativo de la forma cómo se distribuyen las respuestas de los estudiantes frente a un test de escogencia múltiple con única respuesta (MCSR), se construye una medida que da información de esa distribución de respuestas. Ellos definen un factor C, denominado factor de concentración como una función de las respuestas de los estudiantes que toman valor en un intervalo de [0,1] y está dado por

$$c = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m} - 1} \times \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right), \tag{9}$$

aquí *m* representa el número de opciones para una pregunta en particular, *N* corresponde al número de estudiantes, *n_i* es el número de estudiantes que han elegido la respuesta *i* de la pregunta. Los promedios de porcentajes de respuestas correctas para cada pregunta muestran la dominancia de la cantidad de modelos conceptuales de esa población. Por ejemplo, *C* = 0 corresponde a una selección al azar de respuestas, *C* = 1, es que todos los estudiantes seleccionan la misma respuesta. Si *C* > 0,5 implica una alta concentración ya que más del de 60% de los estudiantes han seleccionado la misma respuesta. Si *C* está entre 0,2 y 0,5 indica que la población posee dos modelos de selección y un valor menor de 0,2 precisa una distribución de por lo menos tres modelos o de tendencia al azar. Bao codifica el puntaje y factor de concentración como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 - Codificación para asignar "nivel de discrepancia".

Puntaje (S)	Nivel	Concentración (C)	Nivel
0.0-0.4	Bajo (B)	0.0-0.2	B
0.4-0.7	Medio (M)	0.2-0.5	M
0.7-1.0	Alta (A)	0.5-1.0	A

Basados en la anterior idea se puede establecer una manera de medir la discrepancia que un ExD presenta a una población determinada cuando se acciona. Entonces se podría establecer un patrón para distinguir el "nivel de discrepancia". Al combinar puntaje y factor de concentración se pueden establecer tres patrones de entrelazado que representan el nivel de discrepancia como se muestra en la Tabla 2.

De acuerdo a la Ecuación (9) se puede entonces construir un gráfico 2D con Puntaje (S) en la abscisa y factor de concentración (C) en la vertical que dé cuenta

de zonas de alta o baja concentración para obtener información del nivel de discrepancia que le produce un ExD, cuando se acciona por primera vez, en una población determinada. Por ejemplo, el soplador de la Fig. 2, fue encuestado en una población de 93 estudiantes de tercer semestre de ingeniería de la Universidad Central en 2010 con la pregunta de la Fig. 4. Esta pregunta se planteó en una prueba voluntaria de 15 ítems en la última semana de finalización del curso de Física 1. La idea era capturar si el montaje de la Fig. 2 era discrepante o no para los estudiantes.

Tabla 2 - Elecciones de los 93 estudiantes de la pregunta de la Fig. 4.

Discrepancia	Implicaciones de los patrones	
Alta	BA	Un modelo incorrecto
Nula	AA	Un modelo Correcto
Media	BM	Dos posibles modelos incorrectos
Media	MM	Dos modelos populares
Sin lectura	BB	Posible resultado del azar

10. Se sopla fuertemente por el tubo A del prototipo de la figura. Si los tubos están abiertos, la esfera de balsa en el fondo se mueve hacia:
- a. B
 - b. E
 - c. C
 - d. No se mueve

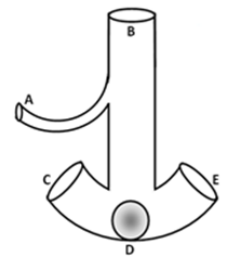


Figura 4 - Pregunta de encuesta de un Test de 15 preguntas que se utilizó en una población de 93 estudiantes de tercer semestre de la facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Bogotá.

En este caso para el test MCSR (N = 93, m = 70) los resultados se reportan en la Tabla 3.

Tabla 3 - Elecciones de los 81 estudiantes de la pregunta de la Fig. 5 para el pre/pos-test.

Respuestas	A	B	C	D
No de elecciones	10	7	6	70

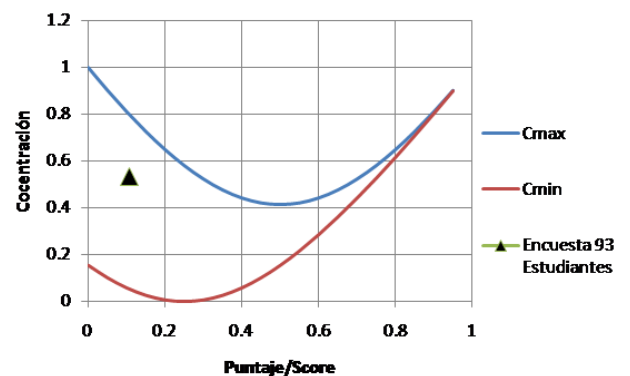


Figura 5 - El punto de intersección se encuentra en la zona de bajo puntaje y alta concentración, es decir alta discrepancia con un modelo incorrecto.

De acuerdo a la Ecuación (9) al graficar concentración en función del puntaje, se obtiene la gráfica de la Fig. 5. Se puede entender según la codificación de la Tabla 2, que la respuesta D de la pregunta vislumbra una alta concentración en un bajo puntaje y corresponde a una tendencia hacia la alta discrepancia y un modelo incorrecto de comprensión en la población. Esta pregunta se planteó en una prueba voluntaria de 15 ítems a una población de 93 estudiantes de tercer semestre de ingeniería en la última semana de finalización del curso de Física 1. La idea era capturar si el montaje de la Fig. 2 era discrepante o no para los estudiantes.

5. El soplador como proyecto

5.1. Metodología: de la disonancia a la consonancia

El montaje de la Fig. 1 fue utilizado alternativamente a la clase tradicional con un total de 81 estudiantes de tres grupos (27, 28 y 26, respectivamente, para un total de 81 estudiantes). Los dos primeros grupos fueron de la Universidad de la Salle y el tercer grupo de la Universidad Central de Bogotá. Los tres grupos tomaron la asignatura de física mecánica y en su contenido programático deben aprender algunos conceptos de fluidos de hidrostática e hidrodinámica [23]. Antes de presentar el montaje como proyecto, para que los estudiantes lo trabajaran en su tiempo independiente durante 5 semanas, se aplicó un test de 15 preguntas para identificar preconceptos de la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli. Este test se viene calibrando con la misma metodología de calibración que se reporta del test BEMA [22]. Solo se eligieron tres preguntas (ver Fig. 6) para evaluar la evolución del aprendizaje con el prototipo de la Fig. 1.

Se les entregó un taller con algunas ideas que guiaran su construcción y posterior análisis [23]. Se les enfatizó con una parábola de inicio del taller que dice “Les contaré una plática entre el maestro y el discípulo cuando este último objeta a su maestro: ¡Gran sabio!, Tu siempre nos cuentas parábolas pero nunca nos das el significado; y el maestro contestó, ¡Pequeño saltamontes!, ¿te gustaría que te diera una manzana ya masticada?”. Los talleres de trabajo utilizados presentan un esquema general que se puede resumir en cuatro etapas: (i) Familiarizarse con el montaje: se construye, siempre se juega, se degusta el fenómeno, se observa. (ii) Obtener información: Se plantean interrogantes, conjeturas, se identifica la discrepancia, se describe el hecho, se identifica lo relevante e irrelevante. (iii) Abstractar y describir: Mediante modelos conceptuales se describe el fenómeno, se identifican posibles variables que podrían medirse, se aíslan aspectos del fenómeno y se mide, se estudia la relación entre variables medidas, se abstraer, se modela y se verifica. (iv) Socialización de la actividad.

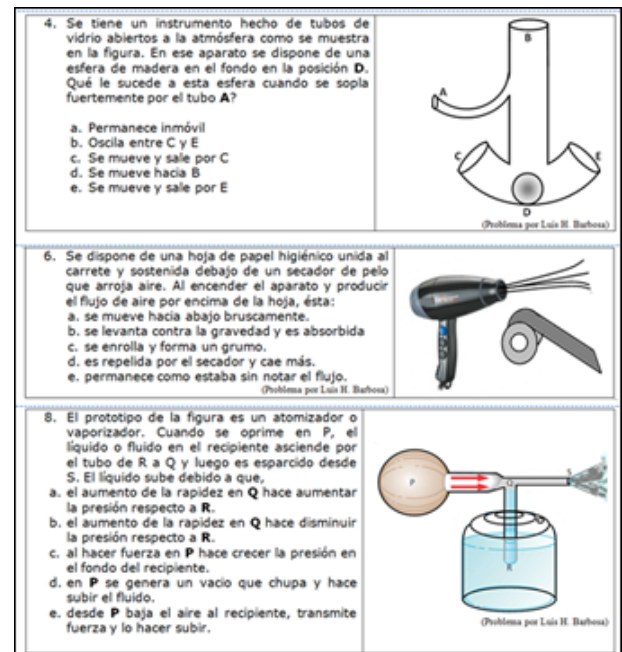


Figura 6 - Preguntas de pre-test/pos-test de un cuestionario de 15 preguntas que se utilizó en una población de 81 estudiantes de tercer semestre de la facultad de Ingeniería de la Universidad de la Salle de Bogotá y de la universidad Central repartidos en tres cursos durante 2010.

Durante 4 semanas ellos indagaron, en sus tiempos libres, construyeron mecanismos de explicación e hicieron cálculos para acercarse a la comprensión del fenómeno. En la quinta semana se programó una socialización de la actividad durante dos horas, al final se hizo una síntesis de la LPHB para explicar el fenómeno. Desde la quinta a la catorce semana no se volvió a tocar el tema en el curso. En la semana quince se aplicó de nuevo el mismo test. Los resultados de sus respuestas se presentan en la Tabla 4 y las preguntas del test que se analizaron se muestran en la Fig. 6. Se supone que estas preguntas (4, 6 y 8) son las que mejor pueden evaluar algún cambio conceptual de este experimento.

De nuevo al graficar concentración en función del puntaje, se obtiene la gráfica de la Fig. 7. Los círculos corresponden al pre-test y los datos de triángulos corresponden al pos-test.

Se observa que la población en estudio aumenta su comprensión del fenómeno al pasar de una zona de alta discrepancia con un modelo incorrecto de razonamiento a una zona de alta consonancia con un modelo correcto de razonamiento propio del consenso de la comunidad científica. Se muestra de nuevo que la pregunta 4 presenta una alta discrepancia con el pre-test, pero este estado se transforma en consonancia en el pos-test. Esto evidencia una gran evolución de aprendizaje y de comprensión del fenómeno para la población en estudio.

Tabla 4 - Respuestas seleccionadas por Curso para preguntas de la Fig. 5 para pre-test y pos-test.

Respuestas	No preg.	A	B	C	D	E
Pre-test	cuatro	62	5	4	8	2
	seis	55	8	3	2	13
	ocho	1	6	12	47	15
Pos-test	cuatro	0	10	6	63	2
	seis	6	61	1	12	1
	ocho	2	58	5	11	5

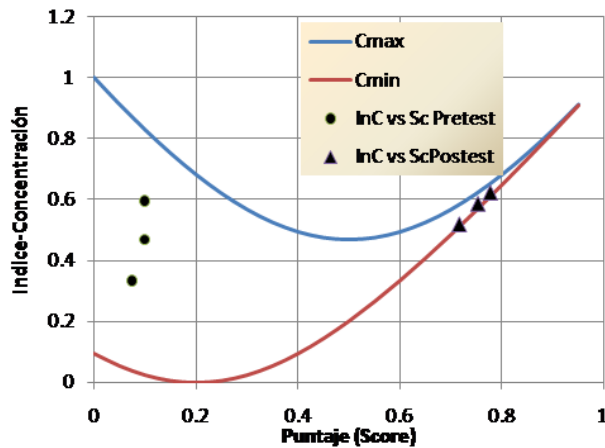


Figura 7 - Concentración de las respuestas en tres cursos para un total de 81 estudiantes antes (círculo pre-test) y después (triángulo-pos-test) de dejar como proyecto de investigación el prototipo de la Fig. 1.

5.2. Medición de la ganancia de Hake

La ganancia normalizada de Hake [19] es un parámetro que da cuenta de la evolución del aprendizaje del estudiante y evita el problema de comparar entre estudiantes que inician un curso mejor preparados que otros, además permite determinar si una metodología de enseñanza es eficiente respecto del conocimiento inicial del estudiante. Se define como la razón del aumento de una prueba preliminar (pre) y una prueba final (pos) respecto del máximo aumento posible

$$\langle g \rangle = \frac{\% \langle pos \rangle - \% \langle pre \rangle}{100 - \% \langle pre \rangle} \quad (10)$$

En la Tabla 5 se presentan las respuestas por grupos: de la Universidad de la Salle el grupo 1 de 27 estudiantes y el grupo 2 de 28 estudiantes, de la Universidad Central el grupo 3 con 26 estudiantes.

En esta distribución de respuestas de los estudiantes del grupo 1 presentan una ganancia de 0,60 con desviación de 0,35, el grupo 2 de 0,77 con desviación de 0,26, mientras que el grupo 3 presenta una ganancia de 0,80 con desviación de 0,20. La ganancia se ha medido por grupo, ya que en cada uno presenta unas circunstancias y afectaciones propias e irrepetibles. Desde este punto de vista no es apropiado calcular la ganancia total de los tres grupos a fin de mantener las mismas circunstancias de ambiente de aprendizaje.

Tabla 5 - Respuestas seleccionadas por Curso para preguntas de la Fig. 5 para pre-test y pos-test.

Respuestas	Grupo	A	B	C	D	E	
PRE test	1	23	0	0	4	0	
	Pregunta 1	2	20	3	3	2	0
	3	19	2	1	2	2	
PRE test	1	17	4	1	1	4	
	Pregunta 2	2	20	2	2	0	4
	3	18	2	0	1	5	
PRE test	1	0	2	4	19	2	
	Pregunta 3	2	0	3	5	13	7
	3	1	1	3	15	6	
POS test	1	2	13	4	6	2	
	Pregunta 1	2	0	2	2	24	0
	3	0	5	2	17	2	
POS test	1	3	18	1	4	1	
	Pregunta 2	2	0	20	0	8	0
	3	3	23	0	0	0	
POS test	1	0	3	2	22	0	
	Pregunta 3	2	0	21	1	4	2
	3	0	24	0	1	1	

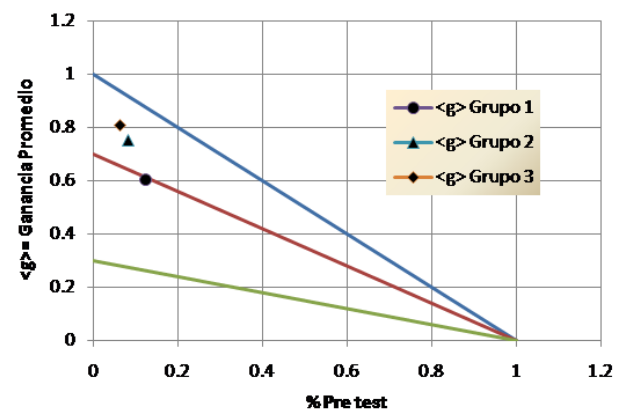


Figura 8 - Ganancia respecto al promedio del pre-test que se puede obtener con la información dada en la Tabla 5.

De acuerdo a la Ecuación (10) y teniendo en cuenta la información de la Tabla 5 se puede obtener la ganancia de Hake versus el promedio del pre-test. Como se observa en la gráfica de la Fig. 8, la ganancia por grupo se sitúa arriba de 0.5 en una región entre media y alta ganancia frente al valor promedio inicial del pre test. Esto es un resultado que está en consonancia con la evolución de aprendizaje predicha por el factor de concentración de Bao cuando los estudiantes pasan de una zona de alta discrepancia a una zona de alta consonancia. Se sabe que valores de ganancia cercana o mayores a 0.5 dan cuenta de la eficacia de la metodología como lo reporta Hestenes al analizar el FCI mediante esta herramienta [24].

6. Conclusiones

Se ha ilustrado el valor pedagógico del soplador mágico para apropiarse la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli en estudiantes de ingeniería de primeros semestres. Su valor pedagógico estriba en la movilización que produce en los estudiantes cuando ellos van desde

el estado mental “disonancia” al estado mental “consonancia”. Este se ha medido teniendo en cuenta la distribución de respuestas en un test de escogencia múltiple con única respuesta estudiando tal distribución con dos instrumentos: el factor de concentración de Bao y la ganancia normalizada de Hake. Al utilizar el soplador mágico como experimento discrepante para que los estudiantes lo trabajaran en su tiempo independiente y luego socializaran la bitácora de construcción, análisis, modelación se ha encontrado que hubo una gran evolución del aprendizaje de la población en estudio. No se ha comparado frente a ningún método ya que se puede usar como proyecto complementario a cualquier metodología de enseñanza. Una ganancia mayor a 0,5 en tres grupos experimentales es un indicador de una alta eficiencia de la metodología para aprender y apropiarse un concepto en una población determinada con uso del tiempo libre o independiente de los estudiantes.

Agradecimientos

A la universidad central por el apoyo en tiempo a los estudios de Doctorado del autor principal. Del mismo modo, al CICATA del IPN de México por su continua colaboración y cooperación.

Referencias

- [1] Michael Guillen, *Cinco Ecuaciones que Cambiaron el Mundo* (Drokerz Impresiones, México, 2010).
- [2] Description of the phonation process <http://www.ims.uni-stuttgart.de/phonetik/EGG/page9.htm>, consultado el 30/12/2010.
- [3] Raymond A. Serway and John W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers* (Brooks/Cole, Pacific Grove, 2004), v. 1, 6th ed.
- [4] Carburetor, Mechanical, managed by gugaf.com <http://mechpage.blogspot.com/2010/11/carburetor.html>, consultado el 30/12/2010.
- [5] http://www.casvirtual.cl/wiki/index.php?title=Principio_de_Bernoulli, consultado el 30/12/2010.
- [6] Video de jugador de Futbol de Brasil Roberto Carlos: <http://www.youtube.com/watch?v=2IJTzpVCygQ&feature=related>, consultado el 30/12/2010.
- [7] Lillian C. McDermott and Edward F. Redish, *Am. J. Phys.* **67**, 755 (1999). <http://dx.doi.org/10.1119/1.19122>, consultado el 30/12/2010.
- [8] Robert P. Bauman and Rolf Schwaneberg, *The Physics Teacher* **32**, 478 (1994).
- [9] R.P. Bauman, *Am. J. Phys.* **68**, 288 (2000).
- [10] D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, *Fundamentals of Physics* (John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2005), v. 1, 7th ed.
- [11] Klaus Weltner and Martin Ingelman-Sundberg, Misinterpretations of Bernoulli's Law. <http://plato.if.usp.br/2-2007/fep0111d/Bernoulli.pdf>, consultado el 3/2/2011.
- [12] J. Walker, *Física Recreativa: La Feria Ambulante de la Física* (Noriega Editores, México, D.F., 2000).
- [13] L.H. Barbosa, *Rev. Col. de Física* **35**, 95 (2003).
- [14] Luis H. Barbosa, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **2**, 246 (2008).
- [15] L.H. Barbosa and Paco H. Talero, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **3**, 135 (2009).
- [16] L.H. Barbosa, *Rev. Col. de Física* **42**, 11 (2010).
- [17] John A. Davis and Bruce G. Eaton, *Resource Letter PhD-1: Physics Demonstrations*. En línea en <http://dx.doi.org/10.1119/1.11625>, consultado el 7/1/2011.
- [18] Lei Bao and Edward Redish, *Am. J. Phys.* **69**, S45 (2001).
- [19] R. Hake, *Am. J. Phys.* **66**, 64 (1998).
- [20] M. Kagánov y V. Tsukérnik, *La Naturaleza del Magnetismo* (Editorial Mir, Moscú, 1985).
- [21] L. Festinger, *A Theory of Cognitive Dissonance* (Stanford University Press, Stanford, 1957).
- [22] L. Ding, R. Chabay, B. Sherwood and R. Beichner, *Phys. Review Special Topics-Physics Education Research* **2**, 010105 (2006), <http://prst-per.aps.org/pdf/PRSTPER/v2/i1/e010105>.
- [23] lhbfsica, Web pag. of L.H. Barbosa, <http://sites.google.com/site/lhbfsica/>, consultada el 30/1/2011.
- [24] Hestenes, D.M. Wells and G. Swackhammer, *The Physics Teacher* **30**, 141 (1992).