



Experiencia educativa sobre la utilización de un experimento contraintuitivo en el estudio de la transferencia de calor por convección

Alejandro Casallas¹, David Julián Molina², Manuel Quimbayo³

Recibido: febrero 01 de 2013 Aprobado: abril 02 de 2013

Resumen

Este artículo analiza los eventos relacionados con fenómenos de transporte de calor en el contexto de la termodinámica clásica a partir de la experimentación realizada en el desarrollo del curso de "Fluidos y termodinámica" con estudiantes de Ingeniería Civil UNIMINUTO. Introducimos a través de un montaje experimental las condiciones para estudiar el fenómeno de las corrientes de convección.

Palabras clave: Convección, calor, experimentación.

Abstract

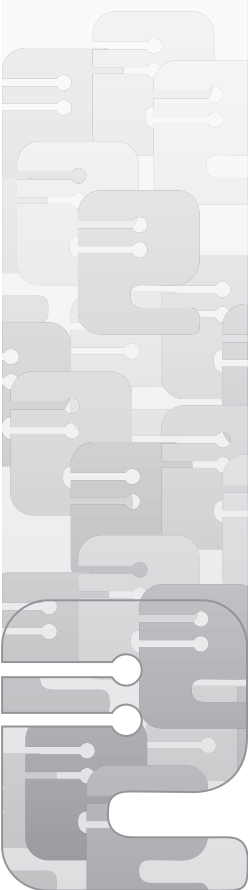
This paper studies the events related with heat transport phenomena and classical thermodynamics for engineering students. The goal of this review is to introduce an experimental setup in order to explain the physics involved in the convection currents. The results are associated with the answers to the students of the civil engineering in UNIMINUTO.

Keywords: Convection, heat, experiment.

1 Departamento de Ciencias Básicas, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Grupo de Física - Investigaciones

2 Departamento de Ciencias Básicas, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Grupo de Física - Investigaciones

3 Departamento de Ciencias Básicas, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Grupo de Física - Investigaciones



I. INTRODUCCIÓN

La termodinámica y en particular las formas de transferencia de calor, son de suma importancia para el ingeniero ya que hacen parte de las bases científicas con las cuales describen diversos fenómenos naturales. Sin embargo, la forma de transferencia de calor por convección no es estudiada en ocasiones, con el detalle necesario. La dificultad matemática se convierte en una de las razones por las cuales abordar la convección en cursos de introducción a la termodinámica, se vuelve complicado.

A pesar de la dificultad matemática que pueda tener, es posible lograr un acercamiento conceptual significativo para ser alcanzado de manera sencilla a través de una experiencia educativa en el aula. Este propósito se formaliza utilizando un experimento con características llamativas o lúdicas, con el cual se garantice la motivación del estudiante. Adicionalmente, este experimento debe conducir de manera “natural” a la reflexión del fenómeno que el educando presencia. Esto puede ser logrado utilizando un experimento contraintuitivo (Barbosa, 2011) con el que se generen las condiciones apropiadas de aprendizaje.

En el presente artículo se muestran los resultados de la implementación de un experimento con características disonantes o contraintuitivas enfocado en el estudio de la convección; cabe resaltar que esta práctica fue aplicada por un grupo de estudiantes de Ingeniería Civil de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

El escrito está estructurado de la siguiente forma: en la primera sección se describen de manera general las características de la convección; en la segunda se muestra la actividad de aula planeada, y posteriormente se describe la propuesta metodológica junto con un análisis de las respuestas de los estudiantes frente a los conceptos aplicados en el experimento, y finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

II. CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección es un fenómeno de transporte en el que, adicionalmente al transporte de energía (calor), también hay transporte de masa que surge principalmente en líquidos y gases. La convección es de gran importancia en la explicación de fenómenos atmosféricos (huracanes) y oceánicos (corrientes marinas).

De igual manera, la convección es la base del funcionamiento de diferentes dispositivos de uso técnico tales como aparatos de destilación solar, de secado solar, tratamiento térmico de alimentos enlatados y

sistemas de calefacción por caldera; por lo tanto, se hace necesario conocer conceptualmente este fenómeno, debido a la relevancia que tiene para la explicación de diversos fenómenos naturales y su aplicación directa en diversas áreas de la ingeniería.

Existen dos tipos de convección, la forzada y la natural. En la primera, las características del flujo están dadas por una fuerza externa (Bird, 1992). En la segunda, son las fuerzas de flotación las que caracterizan el movimiento del fluido (Yunus). En este escrito solo se tendrá en cuenta el segundo caso.

Debido a que también hay flujo de masa, el método analítico con el que se aborda el problema es el balance de cantidad de movimiento. Sin embargo, la convección incluye la Ley de Fourier, a partir de la cual es posible considerar simultáneamente la transferencia de calor por conducción.

A modo de ejemplo, supóngase un fluido entre dos láminas a temperatura $T_2 > T_1$, como se ilustra en la Figura 1. El control de flujo de momentum lineal, unido con la transferencia de calor por conducción, conllevan a una distribución de velocidades dependiente de la temperatura y de su promedio (Bird, 1992).

Figura 1: Flujo por convección natural

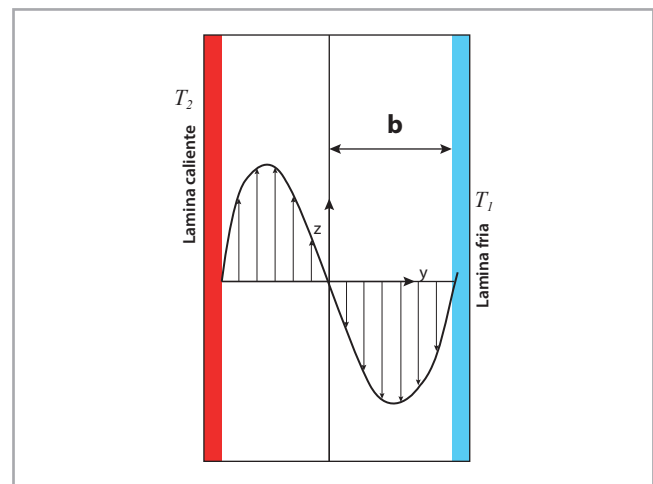


Figura 1. La gráfica caracteriza las líneas de flujo laminar entre dos superficies en diferentes temperaturas. Los vectores se adaptan a la dirección del gradiente de temperatura y su amplitud es función de la diferencia de temperaturas.

El resultado es:

$$\mu \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} = -\bar{\rho}\bar{\beta}[T_m - \bar{T} - \frac{1}{2}\Delta T(\frac{y}{b})] \quad (1)$$

Donde \bar{T} es una temperatura arbitraria entre T_1 y T_2 ; $\bar{\rho}$ es la densidad a temperatura \bar{T} y $\bar{\beta}$ representa el módulo de densidad. La solución de la ecuación dife-

rencial muestra cómo la distribución de velocidad en z es proporcional a la diferencia de temperatura y a la posición en y .

Se observa que el aparato matemático requerido por el estudiante no resulta sencillo. Sin embargo, es posible lograr una aproximación conceptual con el fin de brindarle herramientas básicas de análisis y características fundamentales de la convección.

III. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE PROPUESTO

El experimento implementado para los estudiantes se suele denominar “humo que baja”. Éste consiste en utilizar una botella transparente o simplemente una “cámara cerrada” (Figura 2) la cual está sellada en su parte superior. En ella son efectuados dos orificios como se muestra en la figura. Adicionalmente es necesario usar un pedazo de papel en forma de “embudo”, que es introducido en el orificio superior. La parte ancha del embudo, que queda fuera de la botella debe ser incinerada. El humo que surge en la combustión será de gran interés en el montaje experimental, puesto que las preguntas están dirigidas a cómo sería el subsecuente movimiento del humo, de acuerdo con lo que los estudiantes saben de mecánica de fluidos y termodinámica.

Figura 2: Esquema de montaje experimental

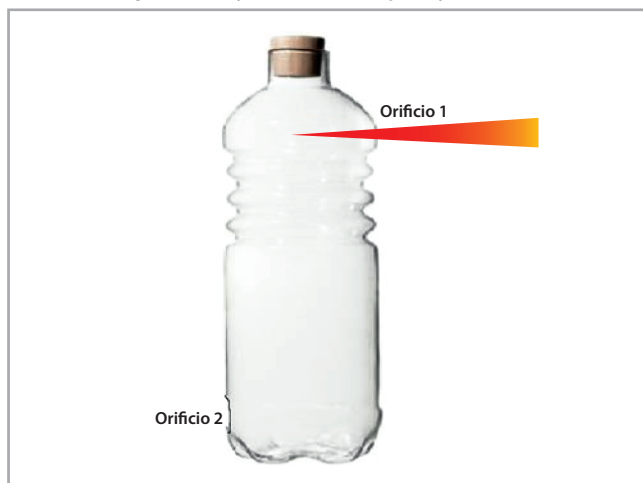


Figura 2. La figura ilustra el montaje básico del experimento. El orificio debe situarse en la parte superior del recipiente para observar el fenómeno de manera más detallada. La base del tubo puede ser construida con acetato. Tomado de Tianguis de Física, s.f.

En la Figura 3 se muestra una secuencia de fotografías de lo sucedido, con un montaje más elaborado. Se observa cómo el humo desciende dentro de la cámara, en contra de lo comúnmente observado (humo subiendo). Este experimento es considerado como contraintuitivo o discrepante, pues lo esperado por

el espectador es contrariado con la evidencia. Esto genera un ambiente propicio para el estudio, donde el experimento en cierta forma reta al estudiante a dar explicación de lo sucedido, antes y después de llevar a cabo el experimento, esto con el fin de mostrar el impacto que la práctica tiene en el aprendizaje de conceptos propios de la convección (temperatura, densidad, presión etc.).

Figura 3: Secuencia de Humo

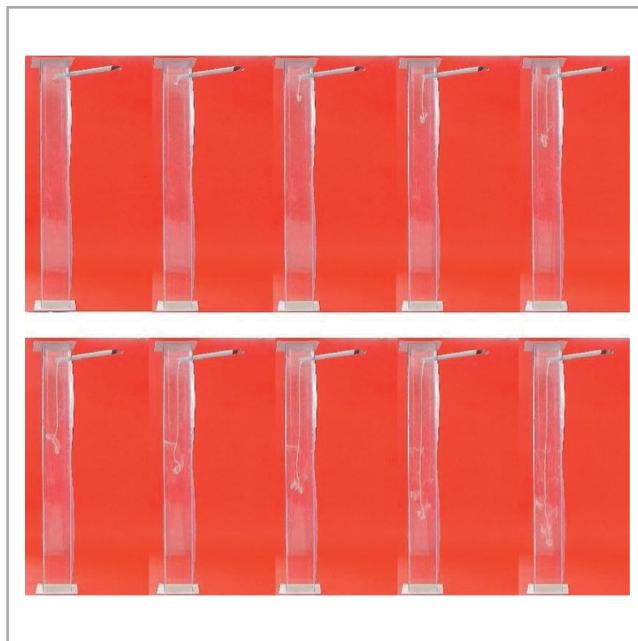


Figura 3. La secuencia fotográfica ilustra el movimiento del humo al interior del recipiente. Tomado de Tianguis de Física, s.f.

Para dar explicación correcta a este fenómeno es necesario mencionar que el papel no sufre una combustión total al quemarse; por esta razón, durante el proceso de incineración se desprenden pequeñas partículas, conocidas como cenizas, que brindan el color característico al humo que se desprende del papel, las cuales se suman a los gases producidos en dicho proceso.

En el lado externo, la llama calienta el aire circundante generando aumento en su volumen y por tanto una disminución de la densidad. Este cambio genera una fuerza de flotación sobre la masa de aire caliente, creando una corriente ascendente que arrastra consigo algunas las partículas que permanecen debido a la combustión incompleta del papel.

Por otro lado, parte de los subproductos de la combustión incompleta viajan por el tubo formado por el papel o embudo, enfriándose en su recorrido y aumentando la densidad.

Al llegar al extremo estrecho del embudo de papel, en la parte interior de la botella, se encuentra con un

medio menos denso y sin corrientes de convección. Por tanto, se precipita al fondo de la botella, tal como se observa en la Figura 3.

IV. PROPUESTA METODOLÓGICA

Se aplica el experimento descrito bajo una metodología fundamentada en dos etapas. En la primera se indaga acerca del nivel de abstracción de los estudiantes, haciendo una descripción teórica del experimento, a través de una evaluación del nivel de aplicabilidad de los preconceptos relacionados con diferencias de densidad y cambios de temperatura. En la segunda etapa se desarrolla la experiencia y con base en los resultados de la misma se confrontan los preconceptos con la realidad del fenómeno.

La aplicación del experimento en dos etapas ofrece la posibilidad de caracterizar los conocimientos previos que poseen los estudiantes y cómo estos son susceptibles de ser aplicados a nuevos fenómenos; por otra parte, estos conocimientos pueden ser extendidos de manera natural a sistemas físicos más complejos y generales. Resulta relevante resaltar que la experimentación favorece la relación enseñanza - aprendizaje del fenómeno de convección natural.

A continuación se presenta el contenido de la practica antes y después del experimento, haciendo énfasis en cómo los estudiantes hacen uso de su conocimiento para explicar la naturaleza del fenómeno.

Una vez formalizado el contenido del experimento, se formula un conjunto de preguntas de control⁴ que contienen aspectos centrales acerca de la naturaleza física del fenómeno, así como indicadores de abstracción y formalización del conocimiento físico que permiten evaluar el nivel de comprensión y análisis realizado por los estudiantes durante la prueba. A partir de las preguntas de control se categorizan las respuestas de los estudiantes en grupos⁵ tendientes a ilustrar las diversas etapas de construcción de conocimiento a través de los resultados del experimento. Para medir el nivel de impacto de la prueba se construye un conjunto de histogramas que relacionan el nivel de respuesta de los estudiantes durante la primera y segunda etapa

4 Es el humo generado en la combustión del papel, más o menos denso que el aire circundante? ¿Es posible que el humo salga por el extremo angosto del dardo? Si su respuesta es afirmativa describa el movimiento del humo en el interior del recipiente justificando el porqué de su respuesta. ¿Puede la combustión del papel modificar las condiciones iniciales del aire circundante, de tal manera que esto cause un cambio en el movimiento de este último?

5 La categorización de cada respuesta depende de los principios físicos empleados por el estudiante para justificar su respuesta, así como del uso de conceptos clásicos de la mecánica Newtoniana dispuestos para argumentar el contenido del experimento.

de aplicación de la experiencia, cada indicador denotado S1, S2 y S3 agrupa las categorías más globales de respuesta generada por cada estudiante en cada etapa, descritas por los siguientes criterios:

1. Categoría S1: corresponde a una respuesta que no se adapta conceptualmente a la naturaleza del fenómeno, o que se encuentra fuera del contexto de la física requerida para dar cuenta de la situación.
2. Categoría S2: contiene todas aquellas respuestas que toman como referencia un principio físico para explicar el comportamiento del sistema, pero que no están formalmente bien definidas.
3. Categoría S3: recoge todas aquellas respuestas que describen el fenómeno aplicando de manera precisa los conceptos físicos de densidad, temperatura y volumen.

Con base en los resultados contenidos en las gráficas se aprecia que al agrupar las preguntas algunos de los conceptos requeridos para explicar la naturaleza física del fenómeno no fueron aplicados correctamente en la primera etapa; por otra parte, se halló que los estudiantes demostraron capacidades de abstracción tendientes a explicar la fenomenología del experimento a través de un esquema causal .

Figura 4: Agrupación de las respuestas ofrecidas por los estudiantes que corresponden a la categoría S1

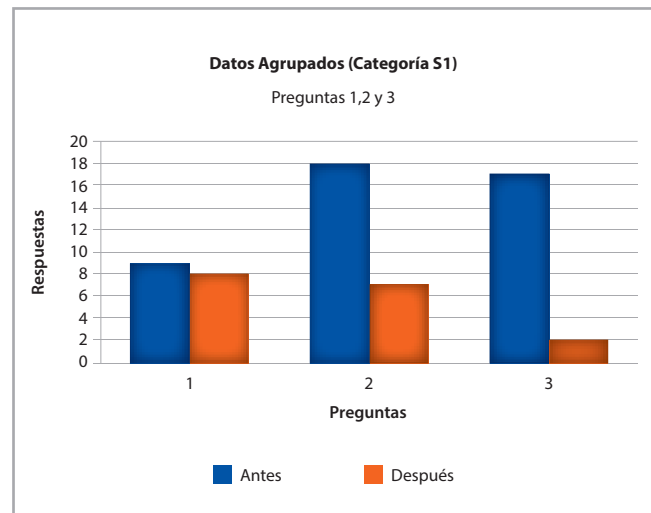


Figura 4. La gráfica ilustra las respuestas acumuladas de los estudiantes a las preguntas contenidas en la categoría uno. En color azul se agrupan las respuestas previas a la práctica experimental, por otra parte las barras en color naranja ilustran la respuesta del conjunto de estudiantes después de la realización de la experiencia.

La evolución en la caracterización del fenómeno (figuras 4, 5 y 6) revela que la aplicación de experimentos contraintuitivos contribuye a estimular la capacidad de abstracción, modelación y formalización del conocimiento científico.

Figura 5: Agrupación de las respuestas ofrecidas por los estudiantes que corresponden a la categoría S2

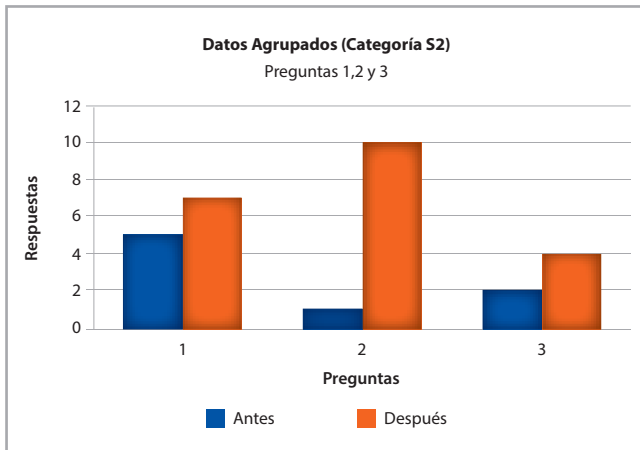


Figura 5. La gráfica ilustra las respuestas acumuladas de los estudiantes a las preguntas contenidas en la categoría dos. En color azul se agrupan las respuestas previas a la práctica experimental, por otra parte las barras en color naranja ilustran la respuesta del conjunto de estudiantes después de la realización de la experiencia.

Figura 6: Agrupación de las respuestas ofrecidas por los estudiantes que corresponden a la categoría S3

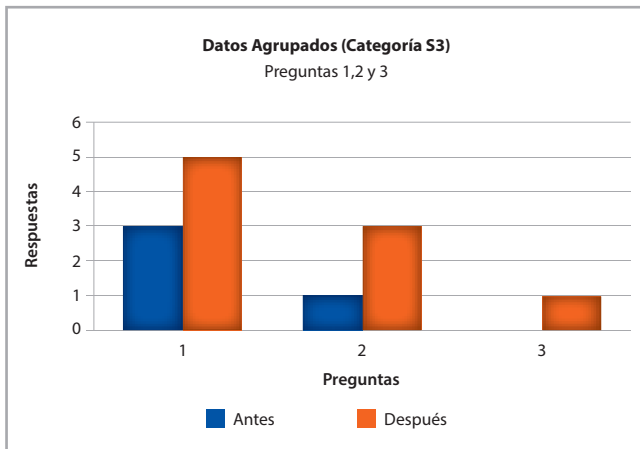


Figura 6. La gráfica ilustra las respuestas acumuladas de los estudiantes a las preguntas contenidas en la categoría tres. En color azul se agrupan las respuestas previas a la práctica experimental, por otra parte las barras en color naranja ilustran la respuesta del conjunto de estudiantes después de la realización de la experiencia.

V. CONCLUSIONES

Los estudiantes demostraron capacidades de abstracción tendientes a explicar la fenomenología del experimento a través de un esquema causal.

La metodología aplicada permite re evaluar las ideas primarias e implementar correcciones que amplían las habilidades técnicas de los estudiantes.

Dentro de los aportes pedagógicos cabe resaltar en este punto que el desarrollo de la actividad generó un espacio de discusión y socialización amplio, a través del cual se intercambiaron ideas y se formularon hi-

pótesis que contribuyeron a la formalización y caracterización de los conceptos involucrados.

Los resultados recogidos sugieren que realizar una práctica de carácter contraintuitivo, desarrollada en dos etapas y socializada bajo criterios de preconcepciones es una herramienta apropiada a la hora de introducir el programa de termodinámica en la asignatura Fluidos y Termodinámica en UNIMINUTO.

VI. REFERENCIAS

1. Barbosa, L, y Talero, P. (Enero, 2009) La compuerta mágica: Descripción de un flujo discrepante en dos globos elásticos interconectados. *Latin-American Journal of Physics Education*. (3) 1: 135-139.
2. Barbosa, L.H. y Mora-Ley, C. (2011) Los experimentos discrepantes como escenario propicio para cultivar la intuición física de los estudiantes. *Revista Colombiana de Física*. (43), 3: 565-570.
3. Bird, R.B y Stewart, W.E.(1992) *Fenómenos de Transporte*. Ediciones Repla.
4. Cengel, Y. y Boles, M. *Termodinámica*. México: Mc Graw Hill. Sexta edición.
5. Sánchez B., G. (Julio-Diciembre, 2010) Las estrategias de aprendizaje a través del componente lúdico. *Suplementos marcoELE. Revista de didáctica Español como lengua extranjera* 11.