

VERIFICACIÓN DE LA RELACIÓN DE CALLEN DE LA TERMODINÁMICA: MODELO PILOTO

VERIFICATION OF H.B. CALLEN'S THERMODYNAMICS.
A PILOT STUDY

VERIFICAÇÃO DA RELAÇÃO DE CALLEN DA
TERMODINÂMICA. MODELO PILOTO

JOSÉ JESÚS RODRÍGUEZ NÚÑEZ*

jjrn01@gmail.com

SEMIA RAFEH DE MADDAH**

semiara@gmail.com

Universidad de Carabobo.

Valencia, Edo. Carabobo. Venezuela.



Fecha de recepción: 09 de marzo de 2010

Fechas de correcciones: abril 2010, febrero 2011, octubre 2011

Fecha de aprobación: 23 de octubre de 2011

Resumen

Aplicar y verificar las leyes físicas en el aula de clases constituye un reto ante el bajo nivel de dominio cognoscitivo de los estudiantes. El diseño y la incorporación de instrumentos para la verificación de las leyes favorecen la reorientación de la enseñanza hacia la práctica in situ. En este sentido, se hace necesario diseñar la instrumentación física (equipo) y académica (práctica) necesaria para facilitar la verificación de la relación de Callen, durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta investigación, orientada bajo la modalidad de proyecto especial y apoyada en una investigación de campo, permitió diseñar e implementar un equipo y una práctica que apuntan a aumentar el nivel de dominio cognoscitivo de los estudiantes de Física, en el área de Termodinámica.

Palabras clave: instrumentación física y académica, dominio cognoscitivo, relación de Callen.

Abstract

Applying and verifying physics laws in the classroom may become a challenge when some students show low cognitive abilities. Design and elaboration of teaching tools for the verification of laws contribute to teaching practice in situ. This study was based on a project and a field study research whose purpose was to design physical tools (equipment) and academic resources (practice) to verify H.B. Callen thermodynamics during the learning-teaching process. The implementation of equipment and practice helped to increase knowledge of Physics students in the area of Thermodynamics.

Keywords: academic and physical instruments, cognitive domain, Callen thermodynamics

Resumo

Aplicar e verificar as leis físicas na sala de aula constitui um desafio ante ao baixo nível de domínio cognoscitivo dos estudantes. O desenho e a incorporação de instrumentos para a verificação das leis favorecem a reorientação do ensino para a prática in situ. Em este sentido, se faz necessário desenhar a instrumentação física (equipo) e acadêmica (prática) necessária para facilitar a verificação da relação de Callen, durante o processo de ensino-aprendizagem. Esta pesquisa, orientada baixo a modalidade de projeto especial e apoiada numa investigação de campo, permitiu desenhar e implementar um equipo e uma prática que apontam a aumentar o nível de domínio cognoscitivo dos estudantes de Física, na área de Termodinâmica.

Palavras-chave: instrumentação física e acadêmica, domínio cognoscitivo, relação de Callen.

INTRODUCCIÓN



a educación actual demanda la formación de docentes que incorporen cambios, capacitando al estudiante con tecnología novedosa y buscando estimular y orientar eficientemente la iniciativa y originalidad de éste.

Actualmente, existe en Física un bajo nivel de dominio cognoscitivo, que se muestra en el alto índice de aplazados y en el bajo rendimiento escolar. Ante esto, se sugiere un cambio centrado en el enfoque del proceso educativo y en la planificación de sus estrategias y recursos. El docente, como elemento del proceso educativo, debe conocer sus roles, sus deberes y sus derechos, y debe tener las estrategias adecuadas para lograr un mejor desempeño de su actividad profesional, asegurando el funcionamiento del sistema en las mejores condiciones posibles, fomentando el rendimiento escolar y enfrentando el reto de mejorar la calidad de la educación venezolana.

El aprendizaje de los procesos cognoscitivos complejos no se produce con facilidad; ello propicia la ineficiencia comprensiva y crítico-analítica, y conlleva a los métodos de estudio repetitivos, propios del aprendizaje memorístico, de lo cual no se escapa el estudio de la física. En Venezuela, la didáctica de la física en el nivel de bachillerato se desarrolla apegada a las orientaciones de la didáctica tradicional, dando relevancia a los contenidos teóricos y al poco empleo del laboratorio, por lo que el uso de equipos de laboratorio innovadores es prácticamente nulo, sobre todo en lo concerniente a termodinámica (incluida en el programa de primer año). La renovación es una medida natural que debe producirse periódicamente en los sistemas educativos y en las instituciones de enseñanza con el fin de actualizar el contenido instruccional,

en consonancia con el estado de progreso científico, tecnológico y humanístico, y con la exigencia del Estado a la formación educacional de sus ciudadanos en formación. Por ello, la comunidad de docentes debe hacer un esfuerzo para ponerse a tono con la nueva realidad, con las nuevas exigencias, efectuando ajustes en sus prácticas docentes tanto cognoscitivas como metodológicas, mediante su participación en programas de actualización, mejoramiento y perfeccionamiento profesional, así como también de manera autodidacta, seguramente su forma más usual de actualizarse.

Recuérdese que la enseñanza de la Física tiene varias tipologías: la enseñanza por procesos de la ciencia y descubrimiento (Física Experimental), la enseñanza discursivo-creativa o teórica (Física Teórica), y la enseñanza por descubrimiento e invención (Física Aplicada). La enseñanza a través de los procesos de la ciencia requiere hoy de muchos instrumentos, aparatos, equipos costosos de laboratorio, instalaciones debidamente adecuadas y, por supuesto, una buena preparación de los docentes en este tipo de métodos. La enseñanza en forma teórica es la más usual, aunque sus requerimientos cognoscitivos y conceptuales exigen una gran dedicación y preparación profesional. Por el contrario, la práctica experimental de la Física proporciona una gran cantidad de recursos cognoscitivos y metodológicos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, por lo que se requiere una formación pertinente y una experimentación científica continua en el área. Se debe advertir que la enseñanza puramente teórica de la Física puede conducir a un resultado sumamente aberrante: la enseñanza por fórmulas y resolución de problemas conlleva a una explicación netamente matemática que desliga al estudiante del mundo real. Por ejemplo, la mecánica newtoniana posee una estructura inválida a altas velocidades, lo cual fue comprobado mediante la experimentación, conduciendo a la teoría de la relatividad de Einstein; por eso la experimentación será siempre la guía. Si la exposición respectiva sólo sustenta la definición operacional y no presenta una experiencia práctica simultánea, definitivamente se conduciría a una concepción errónea de la Física. Por su parte, la enseñanza mediante el descubrimiento y la invención es un reto permanente a la inteligencia tanto del docente como de los estudiantes, ya que exige una actitud ingeniosa para solucionar los problemas, incluyendo el mismo hecho de aprender cosas conocidas re-descubriéndolas uno mismo. Es una didáctica fundamental que permite favorecer una formación conceptual sólida en el estudiante.

Actualmente, en el área de termodinámica del primer año de bachillerato se trabaja con algunos conceptos como calor, temperatura, equilibrio termodinámico, dilatación de los cuerpos, etc., pero no se plantea la necesidad de conocer y aplicar las leyes o principios termodinámicos.

Ante esta realidad, se ha propuesto la construcción de un equipo de laboratorio llamado Equilibrio Termodinámico, basado en la teoría propuesta por Herbert B. Callen sobre las condiciones de equilibrio termodinámico para fluidos. La novedad que se presenta es que es la primera vez, a juicio del postulante y del orientador, que se construye un equipo termodinámico (instrumentación física) con su práctica de laboratorio (instrumentación académica) para mejorar la didáctica de la física en Venezuela.

1. OBJETIVOS

- Proponer una instrumentación académica para los estudiantes de física de primer año de bachillerato en el área de termodinámica.
- Diseñar y construir una instrumentación física (equipo de laboratorio) que permita verificar las leyes de la termodinámica según la relación de Callen.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Esta investigación se centra básicamente en variables vinculadas con la docencia y la investigación en el área de física. Dentro de este marco se construyeron los antecedentes de la investigación y las bases teóricas del estudio.

Las investigaciones educativas coinciden en señalar que las estrategias que utiliza el docente están estrechamente vinculadas con la investigación y determinan las decisiones académicas y la adecuación de la gestión de los programas instruccionales, entre ellos los del área de física. Estudios recientes, como el de Redondo (2004), proponen para la aprehensión de los conceptos fundamentales y principios de la termodinámica metodologías alternativas tales como extender la aplicación de estrategias, evaluarlas cualitativamente y desarrollar más experiencias enfatizando una estrategia metodológica (guía de laboratorio termodinámico y su instrumentación).

En la acción educativa, donde se desea obtener del educando un máximo rendimiento, se requiere una planificación de objetivos claramente definida, en la que se destaque los resultados deseados. Es necesario que el docente seleccione estrategias metodológicas adecuadas para la construcción efectiva del proceso educativo. Díaz-Barriga y Hernández (1999) afirman que las estrategias de enseñanza se pueden clasificar, basándose en el momento del uso y presentación, en: pre-instruccionales, co-instruccionales y post-instruccionales. Las estrategias pre-instruccionales son las que preparan al estudiante a qué y cómo va a aprender; entre ellas están los objetivos y los organizadores previos. Las estrategias co-instruccionales abarcan el proceso mismo de la enseñanza, cumplen fun-

ciones como la conceptualización de contenido y mantienen la atención y motivación de los educandos; pueden mencionarse las actividades experimentales y de laboratorio, las ilustraciones y otras. Las estrategias post-instruccionales son las que se presentan después del contenido que se ha de aprender y permiten al estudiante formar una visión sintética y crítica del material; entre ellas están los resúmenes finales, los mapas conceptuales y los informes.

Para la enseñanza de la ciencia existe el redescubrimiento (Nérci, 1990), una técnica activa por excelencia. Su empleo es aconsejable para el aprendizaje de asuntos sobre los cuales el estudiante tenga poca información. Requiere, para su pleno éxito, un laboratorio donde el estudiante pueda realizar o presenciar las actividades que le lleven al redescubrimiento de una explicación, de una ley, de un principio o de una regla. El docente puede sugerir una serie de informaciones a los estudiantes; estas informaciones pueden ser las mismas para todos o bien pueden ser diversificadas, pero ellos tienen que resolverlas individualmente. No obstante, hay preguntas que pueden ser resueltas en grupos. Esta técnica ofrece la ventaja de estimular el espíritu de iniciativa, de investigación y de trabajo, pues el estudiante es llevado a redescubrir, por su propio esfuerzo, las informaciones que, de otro modo, le serían suministradas por el docente. Tiene, además, el mérito de posibilitar el auténtico aprendizaje, eliminando la simple memorización. Y, por encima de todo, se caracteriza por la satisfacción que trasmite al estudiante al hacerlo sentir capaz de observar, pensar y realizar. La técnica de redescubrimiento puede presentar dos modalidades: en la primera, el docente realiza las experiencias; en la segunda, son los estudiantes quienes la llevan a cabo:

1.- Primera modalidad: las experiencias son encaminadas por el docente, pudiendo los estudiantes participar de ellas según la conveniencia y oportunidad. Pero quien realmente dirige el trabajo es el docente.

2.- Segunda modalidad: los estudiantes son encaminados a ejecutar experiencias y extraer de ellas conclusiones de los datos obtenidos y de las observaciones efectuadas. Está claro que los estudiantes deben recibir las instrucciones necesarias para la efectivización de los trabajos escolares, pero la ejecución es de su total responsabilidad. Una aplicación de esta modalidad en la termodinámica puede ser, por ejemplo: emitir el concepto más general posible del calor.

2.1. Tratamiento que se le da a la Termodinámica en bachillerato

Los fenómenos térmicos han sido estudiados desde tiempos muy remotos, y nosotros mismos diariamente experimentamos con objetos fríos y calientes. Por ejemplo,

una pieza de metal que se expone al sol se siente caliente al tocarla; en cambio, un pedazo de madera expuesta al sol puede tocarse y no se siente tan caliente como el metal. Estas y otras sensaciones que forman parte de la vida cotidiana pueden explicarse con la ayuda de la termodinámica, rama de la Física que se encarga del estudio del calor y del trabajo físico, así como también de la transformación de un grupo en otro. Obsérvese el programa de Física del primer año de bachillerato, del diseño curricular del sistema educativo bolivariano (2007: 1):

[...] está centrado en los conceptos de equilibrio y desequilibrio térmico. Dos cuerpos que se encuentren en contacto térmico tenderán al equilibrio térmico, el cual se manifiesta cuando las temperaturas de ambos son iguales. Los estudiantes deben alcanzar esta conclusión a través de experimentos. Para ello, pídale que anoten la temperatura del agua, que se encuentra en cada uno de dos cuerpos en contacto, cada dos minutos.

Puede observarse que el énfasis central del programa está puesto en la unidad llamada calor. Esta unidad se aboca al estudio del calor y de la temperatura como conceptos básicos, a la vez que se incluyen procesos en los que se intercambia calor entre cuerpos en contacto que se encuentren a temperatura distinta, lográndose consiguientemente una igualdad de temperaturas al alcanzarse el equilibrio térmico entre ellos.

A fin de que el estudiante comience a integrar todos los fenómenos físicos que ocurren a su alrededor es conveniente que estudie tanto cualitativa como cuantitativamente los efectos del calor sobre el medio ambiente. De esta manera, su imagen física del mundo comenzará a ensancharse, a tal punto que podrá correlacionar termodinámica con dinámica de los objetos materiales, ya que las moléculas que se mueven en el nivel microscópico dan origen a diversos fenómenos térmicos.

En el marco de referencia de la enseñanza de la física en nuestro país el programa de bachillerato introduce algunos elementos cualitativos en el área de las Ciencias Naturales. Por primera vez, el primer año de bachillerato presenta la física como una disciplina específica que pretende que el estudiante desarrolle destrezas de observación y análisis cualitativo de los fenómenos físicos estudiados y relacione el conocimiento científico con el avance tecnológico para valorar su importancia y en particular la de la Física. Aquí radica la importancia de esta propuesta, ya que el estudiante vive una experiencia de laboratorio totalmente novedosa y tiene la oportunidad de comparar sus concepciones previas sobre termodinámica con la visión científica del tema. Esto quiere decir que la estructura cognoscitiva del estudiante sufre una acomoda-

ción de lo aprendido, una transformación de los esquemas del pensamiento en función de la nueva circunstancia.

Un hito fundamental en la didáctica de la ciencia es la aparición de lo que se ha llamado el paradigma del constructivismo, personalizado en la obra de Ausubel, Novak y Hanesian (1991), aunque arropado por otros muchos investigadores. El constructivismo recoge buena parte de las aportaciones de la psicología cognitiva e introduce una nueva revisión de los conceptos de aprendizaje. En el caso de la ciencia, frente al aprendizaje por descubrimiento, centrado en la enseñanza de procedimientos para descubrir y en las reglas simplificadas del método científico (observación, construcción de hipótesis, experimentación comprobatoria, etc.), el constructivismo aporta una visión más compleja, en la que el aprendizaje memorístico se contrapone al aprendizaje significativo, rescatando el valor de los contenidos científicos y no sólo de los procedimientos, estrategias o métodos para descubrirlos. Esta distinción sitúa la cuestión en otro nivel, ya que, para el constructivismo de Ausubel, no hay una relación única ni constante entre el aprendizaje memorístico y la enseñanza receptiva, como tampoco la hay entre el aprendizaje significativo y la enseñanza basada en el descubrimiento. El aprendizaje significativo puede producirse también por medio de la enseñanza receptiva, y no necesariamente por descubrimiento.

La idea del cambio conceptual es uno de los aportes nucleares del constructivismo: la construcción personal del conocimiento desde las ideas previas de los estudiantes supone la necesaria existencia de un cambio conceptual que permita el salto de una concepción a otra.

El consenso que el constructivismo ha alcanzado en la didáctica de las ciencias ha supuesto un cambio fundamental en la orientación de las investigaciones de la enseñanza científica. Y aunque se han encontrado escollos, puede afirmarse que en su versión menos dogmática el constructivismo sigue constituyendo el paradigma dominante en este ámbito.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación está enmarcada en la modalidad de Proyecto Especial, según lo define el Manual de trabajos de grado de especialización, maestría y tesis doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2005): "Se incluyen en esta categoría los trabajos de elaboración de libros de textos y de materiales de apoyo educativo, el desarrollo de software, prototipos y productos tecnológicos en general" (pág. 17). Este proyecto especial posee un carácter innovador que produce un aporte significativo al conocimiento sobre el tema seleccionado.

3.1. Fases del proyecto

El trabajo ofrece el diseño de una instrumentación académica y una instrumentación física para que el docente y el estudiante de Física de primer año de bachillerato interactúen de forma activa en función de la mejora del proceso de la enseñanza-aprendizaje de la Termodinámica. Se realizó en las siguientes fases:

Fase I: Diagnóstico

El diagnóstico se aplicó a los docentes de la Unidad Educativa Dr. Raúl Leoni, ubicada en la Urbanización Los Samanes, en Maracay (estado Aragua), con el fin de determinar qué necesidades tienen al tratar de facilitar los conocimientos básicos de la Termodinámica y sus leyes a los estudiantes de la asignatura Física del primer año de bachillerato. Para ello se realizó un cuestionario en el cual se consideraron el grado de conocimiento y las experiencias académicas utilizadas, incluyendo el laboratorio.

Fase II: Factibilidad

Es la posibilidad de ejecución del tema, de una manera sencilla y sin el uso excesivo de ecuaciones, en la que el estudiante y el docente logren un aprendizaje significativo de los procesos y principios básicos de la termodinámica con la ayuda de un equipo de laboratorio, interactuando con un objeto y generando un informe técnico que permita dejar atrás las llamadas experiencias imaginarias.

Fase III: Diseño del proyecto

Considerando los resultados obtenidos en el diagnóstico, se diseñó y construyó un equipo de laboratorio completamente novedoso, donde el estudiante, a través de la experimentación, utiliza la teoría, y, a través de la observación y análisis de los resultados, aprende de una forma significativa lo que es proceso, sistema, equilibrio y primera ley de termodinámica. También se diseñó la instrucción académica asociada, denominada Guía de laboratorio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico que sustenta la propuesta

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico aplicado a los docentes de la Unidad Educativa Dr. Raúl Leoni.

Ítem 1: en relación con la existencia o no de experiencias de laboratorio para la Unidad II, Calor, del programa de Física del primer año de bachillerato, la respuesta de todos los docentes fue que no realizan ninguna experiencia de laboratorio; a lo sumo, algunas veces trabajan con experiencias imaginarias.

Ítem 2: en cuanto a la importancia de dar a conocer a los estudiantes el tema de transferencia de energía, 80% de los docentes estuvieron de acuerdo con la importancia del tema para los estudiantes, y el 20% restante considera que el programa de primer año de bachillerato es muy completo y extenso como para agregar un tema más al programa.

Ítem 3: en cuanto a la aplicación del tema de la primera Ley de la Termodinámica a los estudiantes del primer año de bachillerato, el 100% afirmó la falta de un equipo de laboratorio y el tiempo que debe emplearse para desarrollar el tema.

Ítem 4: en cuanto a la metodología utilizada por los docentes para facilitar el tema de reservorio térmico, 100% de los docentes señaló el método deductivo y, como técnica, la exposición, basada en la experiencia de los estudiantes con su entorno.

Ítem 5: en cuanto al proceso de enseñanza-aprendizaje, específicamente sobre las prácticas de laboratorio, el 100% respondió que no se realiza adecuadamente por falta de equipos de laboratorio.

Ítem 6: en cuanto al número de prácticas de laboratorio durante un año escolar, respondieron que en la institución se realizan cinco prácticas de laboratorio: dos de cinemática, una de dinámica y las dos restantes de electricidad, en otras palabras, ninguna de termodinámica.

Ítem 7: 100% de los encuestados respondieron que los estudiantes pueden utilizar o conocer el termómetro clínico a lo sumo, pero tienen dudas con respecto al vacuómetro (instrumento de medida de la presión al vacío), ya que en la institución no existen estos instrumentos.

Ítem 8: 100% de los encuestados respondieron que en las prácticas de laboratorio no se han diseñado ni construido nuevos instrumentos para mejorar la calidad de la enseñanza de la termodinámica, y agregan que existe una falta de preocupación por parte de las universidades pedagógicas en dar talleres de actualización a los docentes.

4.2. Conclusiones del diagnóstico

La utilización del laboratorio en termodinámica prácticamente es nulo, ya que se basa únicamente en experiencias imaginarias.

En relación a agregar al programa de física de primer año de bachillerato el tema de las leyes de la termodinámica, los docentes están de acuerdo en su aplicación, siempre y cuando el tema no se haga extenso y no haya un abuso de la matemática para su comprensión, y si se proponen prácticas novedosas para que el estudiante se entusiasme en el estudio de la termodinámica.

4.3. Construcción de la instrucción física (equipo de laboratorio)

La construcción del equipo de laboratorio comenzó con el diseño de los envases que se iban a utilizar, los cuales, por tratarse de una práctica, deben reunir ciertas características tales como la transparencia (para que el experimentador pueda observar todos los fenómenos que ocurren en la práctica) y la resistencia a las variaciones de temperatura y de presión (el experimento se realiza en el vacío). También se debe cuidar que no exista escape de los fluidos. El dispositivo se elaboró con vidrio tipo pirex, con un conector de rosca, para que no exista escape de ningún tipo de fluido cuando se le conecte las mangueras de alta presión (figura 1).

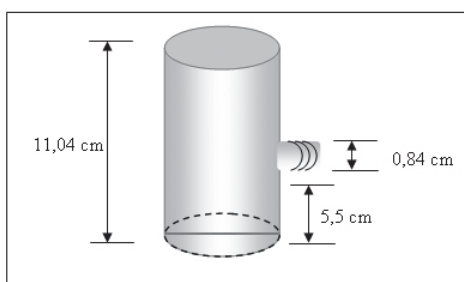


Figura 1. Diagrama del envase de vidrio con sus respectivas medidas en unidades de centímetro

Luego, se diseñaron y construyeron los émbolos y brazos oscilantes. Se escogió el aluminio, por ser un material resistente y ligero, y por ser un buen conductor de calor. En la figura 2 se muestran las medidas de los materiales de este diseño original.

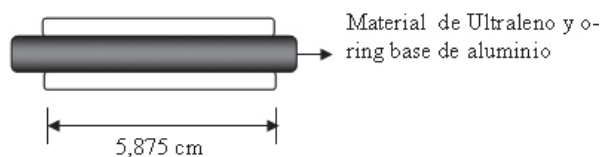


Figura 2. Vista de frente del émbolo con sus brazos

Para que el movimiento de la barra se mantuviera en forma vertical, se diseñó y construyó una especie de tapa para los envases de vidrio, elaborada en ultraleno, ya que este material posee características como: baja fricción (su similitud a la PTFE, que supera al acero inoxidable pulido, le permite ser utilizado en la mecanización de la pieza); protección contra el desgaste (el material se utiliza para proteger estructuras de mucho valor contra el desgaste prematuro por la fricción); resistencia al impacto (resiste productos químicos muy fuertes). El diseño de la tapa del envase de vidrio, que se utiliza como guía de émbolo, se observa en la figura 3.

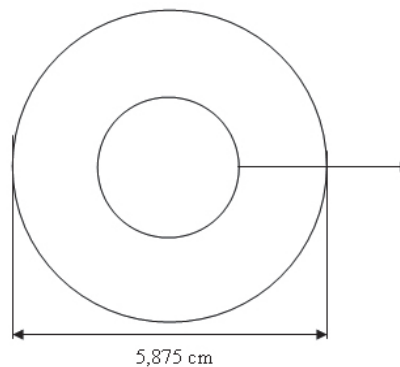


Figura 3. Tapa de los envases de vidrio

El conjunto de envase de vidrio, émbolo y brazo oscilante se observa en la figura 4.

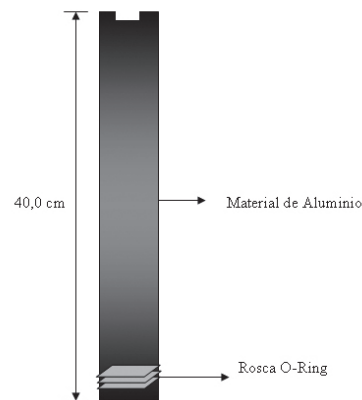


Figura 4. Un envase de vidrio con el émbolo, el brazo oscilante y la tapa

El movimiento de los émbolos y sus sellados fueron la parte más difícil, y fue necesaria una gran cantidad de tiempo para optimizarlos. Se pasó de trabajar con el o-ring puro a trabajar con o-ring y teflón, y luego con o-ring y ultraleno, mejorando con esto el diseño en el sellado. Se realizó una serie de pruebas con la máquina al vacío, donde se verificó la existencia o no de escape de fluido dentro del sellado realizado (figura 5).

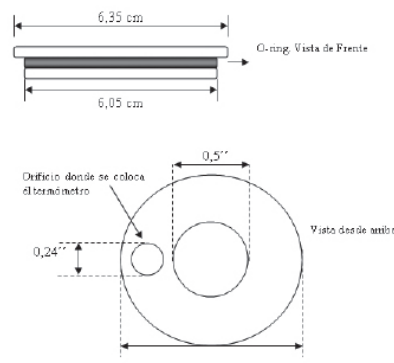


Figura 5. Verificación de escape de gas por algunas de las conexiones que van hacia el vacuómetro

Se optimizó el movimiento de los émbolos con aceite de transmisión. Además, los envases de vidrio fueron conectados a una serie de mangueras de alta presión, tubos de cobre y llaves de paso, que van conectados a la máquina que produce el vacío. También se elaboró un cajón de madera como base del equipo de experimentación. Cabe destacar que las dimensiones del equipo se consideran la facilidad para su transporte de un lugar a otro. Las medidas del cajón se presentan en las figuras 6 y 7.

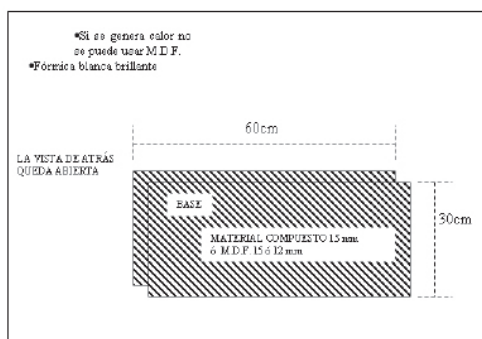


Figura 6. Plano del cajón de madera

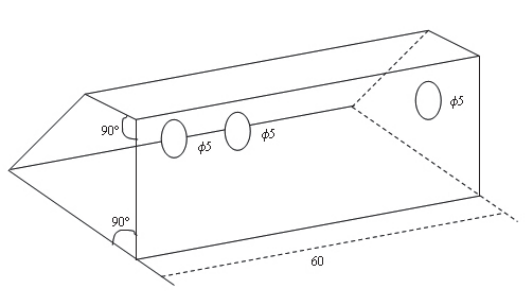


Figura 7. Vista del cajón armado

En el diseño del cajón de madera se tomó en cuenta que el experimentador tiene que realizar las medidas de presión de los fluidos al vacío. Esto indica que se debían colocar los vacuómetros en el cajón (figura 8).



Figura 8. Los vacuómetros con sus conexiones y llaves de paso

Para que no exista intercambio de calor con el medio, se construyeron moldes de arcilla redondos para colocarlos debajo de los envases de vidrio. También se utilizó anime y goma de hule para amortiguar los envases. El siguiente paso fue la elaboración de un radiador, con una lámina de bronce que recubre el envase de vidrio para permitir que el calor se distribuya homogéneamente, como se observa en la figura 9. Para suministrar calor a los envases se empleó un alambre con una resistencia de cinco ohmios (5Ω) y una longitud de 1,05 metros, conectado a una fuente de poder de cinco voltios, y enrollado en cada uno de los envases. Para medir el movimiento de cada uno de los émbolos se colocó una lámina de aluminio en forma de flecha, que indica la longitud recorrida por cada uno de ellos (figura 9). En las figuras 10 y 11 se puede encontrar una vista frontal y posterior del equipo totalmente construido.

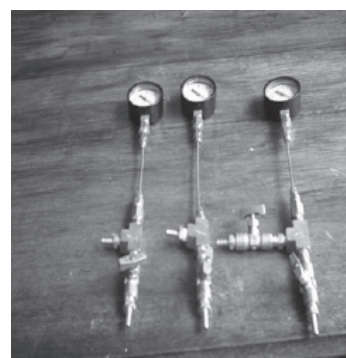


Figura 9. Materiales del equipo de laboratorio, donde se destaca el radiador de bronce

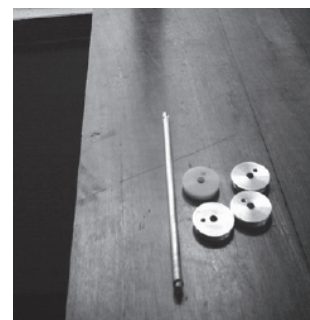


Figura 10. Vista frontal del equipo

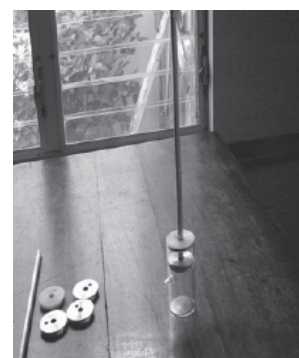


Figura 11. Vista trasera del equipo

4.4. Desarrollo de la instrucción académica (práctica de laboratorio)

Como una manera de dar el primer paso para remediar el divorcio entre la vida real y lo que se intenta enseñar en las instituciones de docencia, se ha atacado el problema de implementar un experimento de equilibrio termodinámico. Esta investigación toma las ecuaciones (1) y (2) como punto de partida para su comprobación experimental a través de la construcción de una instrumentación física (equipo experimental) y académica estructurada con un diagnóstico que sustenta la propuesta de construcción del equipo de laboratorio y la práctica de laboratorio asociada. Este diseño, por increíble que parezca, se usa para verificar teóricamente las siguientes relaciones (en equilibrio termodinámico):

$$T_{1,f} = T_{2,f} = T_{3,f} \quad (1)$$

$$P_{1,f} + 2P_{2,f} = 3P_{3,f} \quad (2)$$

donde $T_{i,f}$ es la temperatura final del envase i -ésimo ($i = 1, 2, 3$), y $P_{i,f}$ es la presión final del envase i -ésimo ($i = 1, 2$ y 3).

La ecuación (1) es el reflejo de la “ley cero” de termodinámica, es decir, todos los cuerpos en contacto térmico adquieren la misma temperatura en equilibrio termodinámico. La ecuación (2) refleja la relación entre las presiones debido a los cambios de volumen producidos por la relación de los brazos oscilantes. De este modo, una vez concluida la experiencia, el estudiante estará en capacidad de verificar las relaciones de Callen.

4.5. Objetivos específicos

1. Identificar y manipular los instrumentos de medidas, como el termómetro, el vacuómetro, la regla y el cronómetro.
2. Identificar los conceptos de presión a los fluidos (líquidos y gases).
3. Verificar experimentalmente la relación de Callen a través de los datos obtenidos en la práctica.

4.6. Procedimiento

1. El estudiante debe proceder a realizar el montaje tal como muestra la figura 12.



Figura 12. Experiencia de Callen. El estudiante debe tener en cuenta la medida de los brazos oscilantes indicada en la figura

Observación: antes de producir el vacío en los envases debe agregarse 2 cm de acetona o metanol, ya que estas dos sustancias tienen el punto de ebullición en 56 y 64° C, respectivamente. Se recomienda la acetona porque el metanol es una sustancia potencialmente cancerígena.

2. Verificar que no exista fuga de gas en las tuberías y en los envases.
3. Informar al estudiante sobre el uso del termómetro y del vacuómetro.
4. Introducir el termómetro en los envases por el orificio.
5. Colocar tres reglas graduadas al lado de cada uno de los recipientes.
6. Verificar por medio de un nivel de agua que el sistema se encuentre en equilibrio.
7. Suministrar calor en forma de energía eléctrica a los recipientes a través de la resistencia enrollada en cada envase (5V), a través de una fuente de poder, aproximadamente por unos dos minutos.
8. Anotar las observaciones, de acuerdo a las lecturas obtenidas en los vacuómetros y en los termómetros.
9. Una vez realizadas las observaciones, los estudiantes discutirán en equipo:
 - a) El sistema termodinámico empleado.
 - b) El proceso térmico que se produjo durante la experiencia en el laboratorio.
 - c) La verificación de la relación de Callen, o sea:

$$T_{1,f} = T_{2,f} = T_{3,f}; \quad P_{1,f} + 2P_{2,f} = 3P_{3,f}$$

10. Realizar una plenaria en la que cada equipo discute con el docente los resultados obtenidos durante la práctica.

11. El equipo sacará sus conclusiones acerca de la experiencia realizada.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La instrumentación física dirigida a la construcción de un equipo de laboratorio novedoso se llevó a cabo satisfactoriamente. El estudiante podrá manejar los conceptos básicos de la termodinámica sin tener que aplicar ecuaciones y relaciones complejas, ya que lo realizará de forma experimental, donde la herramienta más apreciada es la observación, generando a través de ésta una serie de conocimientos, como, por ejemplo, diferenciar entre sistema abierto y sistema cerrado, o entre presión y temperatura. En otras palabras, se le presenta al estudiante del primer año de bachillerato una herramienta útil para el estudio y el incentivo de la ciencia, de modo que cuando él aplique estos conceptos pueda comprender mejor los fenómenos naturales.

Lo que se busca es crear una polémica entre la teoría y el conocimiento que se puede generar en la ejecución de la práctica. Esta práctica o instrucción académica también es un instrumento útil para el docente, sea en bachillerato o en educación superior, ya que le permite transmitir los conocimientos de manera sencilla, práctica y de fácil aplicabilidad.

En la República Bolivariana de Venezuela, el hacer una investigación experimental como esta, donde uno de

los objetivos contemplados fue la construcción del equipo de laboratorio, promueve futuras mejoras y la elaboración de experiencias semejantes.

Fue difícil trabajar a partir de la teoría propuesta por Callen, ya que las universidades del país no tienen un organismo que sirva de ayuda en lo referente a la elaboración de equipos de laboratorio e instrumentación. Gracias a la colaboración del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo, se construyó en su totalidad el equipo que permitió verificar en equilibrio para $P_1=P_2=P_3$ y $T_1=T_2=T_3$ las ecuaciones (1) y (2), quedando para próximas investigaciones la verificación de los resultados esperados y otras optimizaciones para el equipo.

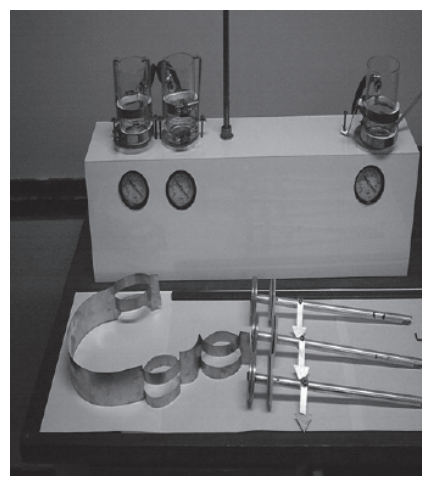
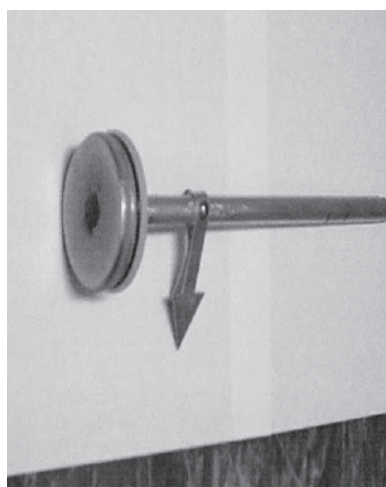
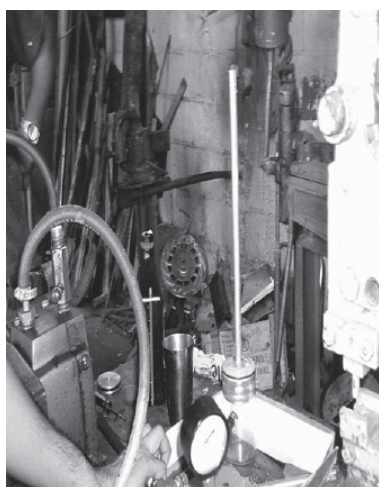
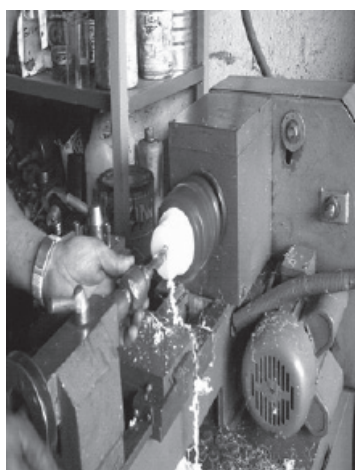
José Jesús Rodríguez Núñez, Ingeniero Electricista. Msc. Administración de Empresas. Msc. Educación en Física. Docente e Investigador de la Facultad de Ingeniería, Barbula, Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela.

Semia Rafeh de Maddah, Profesor de Educación Media. Msc. Física. Dr. Física. Docente e Investigador de la Facultad de Ingeniería, Barbula, Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela.

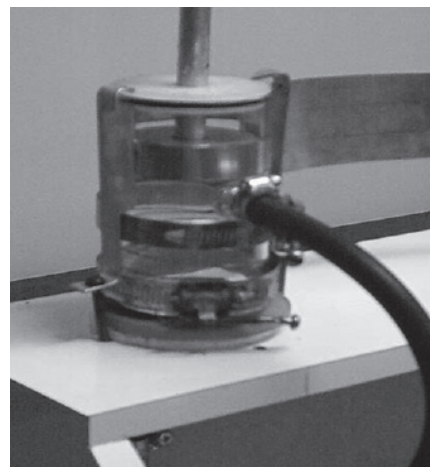
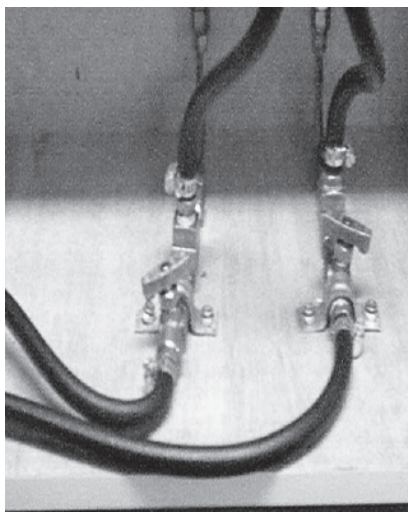
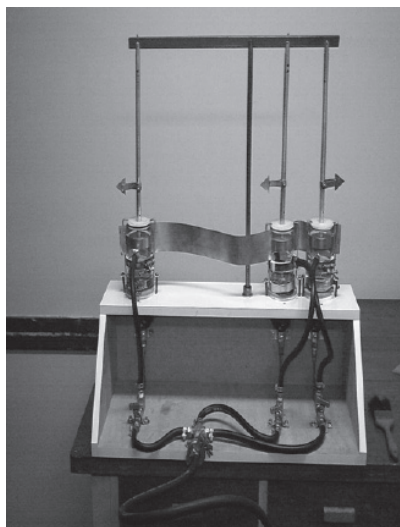
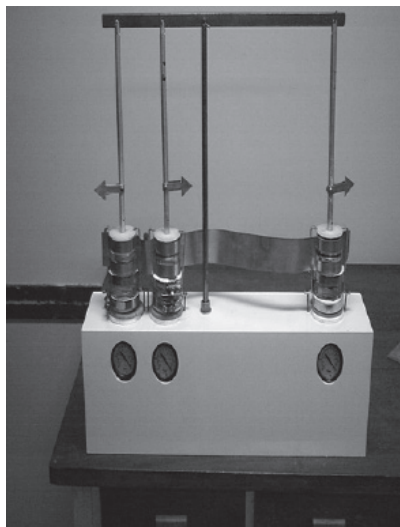
BIBLIOGRAFÍA

- Ausubel, David; Novak, Joseph; y Hanesian, Helen. (1991). Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo. 2.^a ed. México: Trillas.
- Boggino, Norberto. (2007). El constructivismo entra al aula. 2.^a ed. Rosario (Argentina): Homo Sapiens Ediciones.
- Callen, Herbert. (1985). Thermodynamics and introduction to thermostatics. 2.^a ed. New York (Estados Unidos): John Wiley & Sons.
- Díaz-Barriga, Frida; y Hernández Rojas, Gerardo. (1999). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. México: McGraw-Hill.
- Michenel Machado, José Luis. (2001). El lenguaje y algunas tendencias en investigación en educación de la Física. Accesible en: <http://www.jmichinefísica.ciens.ucv.ve>.
- Ministerio del Poder Popular para la Educación. (2007). Currículo Nacional Bolivariano, Diseño Curricular del Sistema Educativo Bolivariano. (s.d.).
- Ministerio del Poder Popular para la Educación. (2007). Subsistema Educación Secundaria Bolivariana, Liceos Bolivarianos: Currículo y orientaciones metodológicas. (s.d.).
- Nérci, Imídeo Giuseppe. (1990). Hacia una didáctica general dinámica. Buenos Aires (Argentina): Kapelus.
- Redondo, Edgar (2004). Estrategias didácticas en algunos tópicos de la física clásica empleando un péndulo simple de un sistema educativo en web. Valencia (Venezuela): Universidad de Carabobo.
- Ruiz Limón, Ramón. (2004). Historia de la psicología y sus aplicaciones. Accesible en: <http://www.eumed.net/libros/2007b/288/43.html>.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2005). Manual de trabajos de grado de especialización, maestría y tesis doctorales. Caracas (Venezuela).

FOTOGRAFÍAS



FOTOGRAFÍAS



El Prof. José Rodríguez agradece al FONACIT (Proyecto S1 2002000448) y al CDCH-UC (Proyecto 2004-014) que han servido de fuentes de financiamiento para el desarrollo de la parte instrumental de este apasionante experimento. La Prof. Semia Rafeh forma parte del personal del Laboratorio de SUPERCONDUCTIVIDAD COMPUTACIONAL (SUPERCOMP), laboratorio financiado por el FONACIT y el CDCH-UC.