

25
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

LA ENERGIA COMO CONCEPTO
INTEGRADOR EN UN CURSO DE
FISICA DE NIVEL MEDIO SUPERIOR,
CON ENFOQUE EXPERIMENTAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

FISICO

PRESENTA:

JESUS MARTINEZ CAMAÑO



MEXICO, D.F.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CIUDAD UNIVERSITARIA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
División de Estudios
Profesionales
Exp. Núm. 55

M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Universidad Nacional Autónoma de México.
P r e s e n t e .

Por medio de la presente, nos permitimos informar a Usted, que habiendo
revisado el trabajo de tesis que realizó el pasante _____
Jesús Martínez Camaño

con número de cuenta 7524764-5 con el título: "Energía como con-
cepto integrador en un curso de Física de Nivel Medio Superior con enfoque experi-
mental"

Consideramos que reúne ___ los méritos necesarios para que pueda conti-
nuar el trámite de su Examen Profesional para obtener el título de -
Físico.

GRADO NOMBRE Y APELLIDOS COMPLETOS

FIS. JUAN AMERICO GONZALEZ MENENDEZ

Director de Tesis
M. EN C. MARIA DEL PILAR SEGARPA ALBERU

M. EN E. S. FERNANDO FLORES CAMACHO

DR. MARCO ANTONIO MARTINEZ NEGRETE

Suplente
M. EN C. IGNACIO CAMPOS FLORES
Suplente

FIRMA

INTRODUCCION

La intención de este trabajo es mostrar como a través del concepto de energía se desarrolla una secuencia conceptual, con un enfoque, con base en actividades experimentales.

Los antecedentes presentan la exposición de motivos que llevaron a la realización de este trabajo.

En el capítulo I, se analiza los aspectos que se consideraron para elegir el método experimental como un enfoque en el desarrollo de una secuencia conceptual, asimismo las razones y ventajas de utilizar el concepto de energía como el hilo conductor de la secuencia.

En este mismo capítulo se presenta como problema de tesis la elaboración de la secuencia conceptual, usando a la energía como concepto integrador con enfoque experimental. En ese apartado se plantean los objetivos de aprendizaje de la secuencia, asimismo la ubicación de éste trabajo en el ámbito de la innovación educativa.

Para el capítulo II se ha dejado la presentación de la secuencia mediante un diagrama conceptual, habiendo analizado los elementos que se integran en la elaboración de una secuencia como son: las rupturas conceptuales y las definiciones y conceptos que sirven de marco teórico a la secuencia, que le dan coherencia y consistencia a la propuesta. Estos problemas son abordados tomando en cuenta la literatura existente, particularmente, en lo que se refiere a la ruptura que hay entre la Mecánica y la Termodinámica y por otro lado el cuidado que debemos tener al asumir las definiciones de los libros de texto de bachillerato.

Por otra parte, se discuten los diversas enfoques en que se puede abordar la

Termodinámica. Se establece el contexto para las definiciones y conceptos usados en la secuencia, además de señalar las respuestas dadas a los problemas presentados al principio del capítulo, lo cual muestra las ventajas educativas de la secuencia.

En el capítulo III se ha dejado la presentación de las actividades experimentales, que le dan cuerpo a la secuencia ya que en ellas se enlazan los aspectos didácticos con los de la física misma. Las actividades tienen como base experimentos cualitativos, en cuya interpretación se utilizan los conceptos establecidos en el capítulo I. En el mismo se dan sugerencias para llevar a cabo los experimentos, también se dan sugerencias para abordar los contenidos con otro tipo de materiales. Un aspecto importante de los experimentos, es su fácil reproducción en condiciones controlables.

En la siguiente sección se mencionan los comentarios finales sobre la experiencia obtenida después de desarrollar la secuencia frente a un grupo de estudiantes en un curso de Física II de la E.N.P.-UNAM y en el Colegio de Bachilleres. En este sentido se comentan las experiencias que se han tenido con profesores del Colegio de Bachilleres, en donde coordinarán cursos de formación, además se presentan los resultados de un examen aplicado a un grupo de estudiantes que abordaron la secuencia.

Por último en los apéndices se dan los resultados típicos de los experimentos en los cuáles se cuantifica, en particular, el calentador mecánico (experimento que es una variante del efecto Joule) que en esta perspectiva se convierte en el experimento clave. Además se discute la transformación de energía en el proceso de disipación por fricción.

INDICE

	PAG
INTRODUCCION	
BIBLIOGRAFIA	
ANTECEDENTES.....	4
CAPITULO I.....	5
Estrategias de enseñanza.....	8
Experimentación en la física.....	9
Las actividades experimentales como un recurso didáctico.....	10
La energía en la física.....	10
La energía en la educación.....	14
Problema de tesis.....	15
Aprendizajes esperados.....	16
CAPITULO II.....	18
De la Mecánica a la termodinámica.....	19
Diversos enfoques para abordar la Termodinámica.....	21
Definiciones en los libros de texto.....	21
Secuencia propuesta.....	26
Consideraciones de la secuencia a los problemas.....	35

Las definiciones básicas en la secuencia.....	38
CAPITULO III.....	61
<i>Descripción de los actividades experimentales</i>	
COMENTARIOS FINALES.....	110
APENDICE A.....	129
<i>El péndulo de Wilberforce</i>	
APENDICE B.....	131
<i>El calentador Mecánico</i>	

ANTECEDENTES

Como profesor de Física de la E.N.P. y del Colegio de Bachilleres, tengo la responsabilidad de motivar y promover el interés por el estudio de la Física a estudiantes cuyas edades fluctúan entre los 15 y 17 años.

Estas edades corresponden a los primeros años del bachillerato en ambas instituciones, el objetivo de la enseñanza de la Física en esos años es el de proporcionar cultura científica, independiente de su elección profesional, que les permita continuar con su formación.

En este sentido, el desafío es grande ya que se tienen que desarrollar estrategias didácticas dirigidas a estudiantes que en su mayoría no les interesa estudiar Física. Este trabajo de tesis pretende contribuir a la superación de ese desafío proponiendo una secuencia conceptual, con un enfoque, que permita generar estrategias atractivas e interesantes para la formación de los estudiantes.

CAPITULO I

Resumen: En este capítulo se analizan dos elementos importantes de una estrategia didáctica; el enfoque y el concepto integrador, además de justificar la elección de la experimentación como el enfoque y la energía como el concepto integrador. La argumentación de la experimentación se basa en el papel que juega en la física como un instrumento para producir conocimientos. Y por otro lado el uso que puede tener como un recurso didáctico. De la misma manera para el concepto de energía se resaltan las ventajas al analizar diferentes campos de la física a través de la energía, y otras ciencias. Se señala la importancia de la energía en el ámbito social y educativo lo cual ha promovido reflexiones que han tenido repercusiones inmediatas en los currículos escolares.

Por último se plantea como problema de tesis la elaboración de una secuencia conceptual con base en el enfoque y el concepto integrador seleccionados. Además se proporcionan algunos de los aprendizajes que esperamos al desarrollar esta secuencia, así mismo sus ventajas y límites del trabajo de tesis.

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

La enseñanza tradicional (transmisión/recepción) ha mostrado su ineficacia en remover los conceptos pre-científicos y su pequeña contribución al aprendizaje significativo de las ciencias.

Lo cual ha promovido la búsqueda de estrategias de enseñanza que permitan superar las dificultades en el aprendizaje de las ciencias, particularmente en la Física, esta búsqueda se ha centrado en la metodología científica y cuenta con una larga trayectoria, con base en la intuición de la generalidad de los profesores de ciencias.¹

En la mayoría de los casos, las estrategias de enseñanza están permeadas por los programas oficiales de las diferentes instituciones de nivel medio superior y en general se reducen al esquema tradicional. Por lo que un currículo que conjunte la aplicación de la metodología científica con la adquisición de un cuerpo coherente de conocimientos sería deseable.

Por lo que, se vuelve relevante la secuenciación de los contenidos, así como el enfoque para su enseñanza. En este sentido, el trabajo de tesis aborda la elaboración de una secuencia conceptual usando a la energía como el concepto integrador, que proporciona la coherencia, con la experimentación como el enfoque para su desarrollo.

Este trabajo se ubica en la innovación educativa, por lo que varios aspectos no son tratados con profundidad, como la evaluación del aprendizaje y el cambio de actitud al estudio de la Física.

¹ Gil Daniel et al, La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria, Ed. Horsori-I.C.E. Universidad de Barcelona, España, 1991.

EXPERIMENTACION EN LA FISICA

Se propone el enfoque experimental, ya que es a través de éste que se generan fundamentalmente los conocimientos en Física, porque ha servido para crear modelos o confirmar predicciones de modelos previamente establecidos, por ejemplo, estan los trabajos de Faraday que sirvieron para desarrollar la teoría electromagnética y la predicción de la desviación de la luz cuando pasara por objeto masivo resultado del análisis de la teoría de la relatividad general. En este sentido, es importante que a los muchachos a los cuales se les esta formando una cultura científica conozcan la manera en que se producen los conocimientos en Física y construyan su conocimiento de forma análoga a como los físicos lo hacen, bajo la guía del profesor.

Por lo que debe aclarar el papel de la experimentación en la investigación científica como lo señala justamente Baird.² "No hay un proceso único de investigación científica, un "método científico" exclusivo. Las ideas y las observaciones tienden a entremezclarse de un modo u otro en su avance, sin una preminencia automática de una sobre las demás. Con todo, independientemente del orden preciso que siga una investigación, hay un aspecto que permanece invariable: la actividad fundamental de la experimentación científica consiste en comparar las propiedades de los modelos con las propiedades correspondientes al mundo real." De principio se esta de acuerdo con el autor, en que no existe un camino único para llegar a producir conocimientos y la tarea final es comparar los modelos elaborados con la realidad concreta. En este sentido, la enseñanza de la física basada en actividades experimentales tiene como objetivo mostrar una física dinámica en la cual no haya recetas, por otro lado, el uso del método experimental es para que los estudiantes "redescubran el conocimiento" y se

² Baird, D.C.. Experimentación. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana 20 edición México 1991 Pág 58

apropien de él. Aunque esto no significa que lo hagan para toda la secuencia, sólo en aquellas partes donde sea posible, el profesor debe orientar y conducir la enseñanza.

LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES COMO UN RECURSO DIDACTICO

Es conocido que la mayoría de los muchachos de 15 a 17 años todavía no han desarrollado el pensamiento formal, lo cual dificulta que realicen las abstracciones necesarias en el aprendizaje de la Física.³ En este sentido, la experimentación aparece como un auxiliar didáctico para ayudar al proceso de formación de conceptos físicos, con la abstracción de parte de los estudiantes que esto supone, con las experiencias podemos ir de lo concreto a lo abstracto. Por otro lado, con la realización de las actividades, en general, se hacen evidentes los esquemas alternativos que los estudiantes tienen acerca de los conceptos involucrados en los experimentos, lo cual es una guía para el profesor, pero no basta decirle que están equivocados y ya, sino fomentar la reflexión sobre los conceptos que les permita reconstruir sus esquemas bajo la dirección del profesor.

LA ENERGIA EN LA FISICA

Desde la época en que se establece el principio de la conservación de la energía (finales del siglo XIX) con los trabajos de Mayer, Joule y otros, se destaca la importancia que tenía este principio para estudiar diferentes sistemas físicos, de manera más explícita J.C. Maxwell ya lo señalaba. "La discusión de las diversas formas de energía (gravitacional, molecular, térmica, electromagnética, etc.) con las condiciones de la transferencia de energía de una forma a otra y la constante disipación de la energía disponible para producir trabajo, constituye la totalidad de la ciencia física, en cuanto ha sido desarrollada en la forma

³ Gutierrez R. en La enseñanza de las ciencias experimentales etapa 12-16 años, Ed. Narcea, España, 1987.

dinámica bajo las diversas designaciones de Astronomía, Electricidad, Magnetismo, Óptica, Teoría de los Estados Físicos de los Cuerpos, Termodinámica y Química."⁴

En este sentido es contundente la conclusión a la que llega J.D. Bernal

" El principio de la conservación de la energía -de la cual el trabajo mecánico, la electricidad y el calor son solamente formas diferentes- fue el mayor descubrimiento físico de mediados del siglo XIX. Este principio permitió conectar muchas disciplinas científicas y vino a ser enteramente representativo de las tendencias de la época. La energía se convirtió en el concepto universal de la Física y por decirlo así, en la norma de oro para explicar los cambios que ocurren en el universo." ⁵

También hoy en día se le reconoce a la energía como un elemento unificador, en este sentido veamos lo que dice R. Feynman acerca de la conservación de la energía. "Hay un hecho, o si prefiere, una ley, que gobierna todos los fenómenos naturales conocidos hasta la fecha. No se conoce excepción a esta ley -es exacta hasta donde sabemos-. La ley se llama conservación de la energía. Establece que hay cierta cantidad que llamamos energía, que no cambia en los múltiples cambios que ocurren en la naturaleza. Esta es una idea muy abstracta, porque es un principio matemático; significa que hay una cantidad numérica que no cambia cuando algo ocurre. No es la descripción de un mecanismo, o de algo concreto; ciertamente es un hecho raro que podamos calcular cierto número y que cuando terminemos de observar que la naturaleza haga sus trucos y calculemos el número otra vez, éste será el mismo." De los comentarios anteriores podemos señalar que el comportamiento, de

⁴ Ver el libro de Maxwell C.J. Materia y Movimiento. De la serie Ciencia y Técnica, editado por el I.P.N., México, 1987. Pág. 157

⁵ Ver el libro de Bernal J.D., La ciencia en la historia, Ed. UNAM y Nueva Imagen, México, 1981.

una gran cantidad, de sistemas físicos se puede analizar a través de la energía y no sólo para la Física, ya que es posible extenderlo a otras disciplinas. Y si logramos desarrollar una metodología que nos permita dicho análisis estamos ante la posibilidad de que los estudiantes tengan una perspectiva totalizadora de la Física.

Esta ventaja que ofrece la energía para analizar una gran cantidad de sistemas físicos, se aprovecha para organizar un conjunto de conceptos alrededor de ella con el fin de estructurar una secuencia coherente y con pocas rupturas entre las diferentes ramas de la física. También es cierto que no es la única manera de organizar los contenidos, existen otros conceptos utilizados con ese fin, por ejemplo la fuerza, que es la presentación que la mayoría de los textos hacen. La diferencia estriba en que el uso de la energía en la vida diaria de los estudiantes le permite asociar los conocimientos de la física con esa vida diaria y parece menos extraño un análisis energético de los sistemas que desde el punto de vista de las fuerzas. Para apoyar estos comentarios, veamos el impacto a nivel social de la energía.

Hoy en día, a toda hora y a cada momento hacemos referencia al uso de energía, ya sea en nuestros hogares, en el trabajo, en la escuela y particularmente en la industria. Por lo que los estudiantes están inmersos en un ambiente donde la energía es una referencia inmediata. Esta cuestión no es nueva sino desde el siglo pasado la energía es considerada como una parte importante del desarrollo social y económico. A este respecto retomemos un comentario de J.D. Bernal "Toda actividad humana -la industria, el transporte, la iluminación y hasta la alimentación y la vida misma- fueron consideradas como dependientes de una magnitud común: la energía."

Y esto también tiene un significado no sólo a nivel social sino intelectual ya

que ha influido en esas esferas; como lo menciona el mismo Bernal "El estudio del calor y sus transformaciones ha tenido enorme importancia intelectual para el desarrollo de la civilización moderna. Y, desde el punto de vista técnico y económico, su importancia ha sido aún mayor." Quizás hoy en día se recobre con fuerza la discusión debido principalmente al deterioro social y ambiental de las sociedades, de esta manera la propuesta adquiere vigencia en la medida que abre las posibilidades para que los estudiantes tomen conciencia como seres sociales. Es claro que la trascendencia de la escuela, se logra en la medida que el profesor utiliza los contenidos escolares para explicar el desarrollo social.

SISTEMAS FISICOS Y ENERGIA

Desde el punto de vista metodológico, la energía permite elaborar esquemas, que si bien abstractos, potentes para analizar sistemas físicos. Tomemos el análisis que hace Feynman de la conservación de la energía, considerando la analogía con la historia de "Daniel el travieso". Dice "Primero, cuando estamos calculando la energía, a veces algo de ella deja el sistema y se va, y a veces algo entra. Para verificar la conservación de la energía debemos tener cuidado de no agregar ni quitar nada. Segundo, la energía tiene un gran número de formas diferentes, y hay una fórmula para cada una. Estas son: energía gravitacional, energía cinética, energía calórica, energía elástica, energía eléctrica, energía química, energía radiante, energía nuclear, energía de masa. Si hacemos el total de las fórmulas para cada una de estas contribuciones, no cambiará a excepción de la energía que entra y que sale." ⁶ En la misma dirección mencionemos como el Holton ⁷ agrupa en tres grupos, las aplicaciones de la conservación de la energía.

⁶ Feynman R. Lecturas en Física vol. I, el capítulo 4 en la edición bilingua.

⁷ Ver Holton, G., Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas, Ed. Reverté, España, 1981.

I) Para un sistema aislado o cerrado

II) Para un sistema al que se le comunica energía.

III) Para un sistema al que se le comunica energía y que también realiza un trabajo o cede energía al exterior.

Entonces los elementos fundamentales en el análisis energético, es la elección del sistema y la entrada y salida de energía.

LA ENERGIA EN LA EDUCACION

Estas reflexiones han promovido discusiones en el ámbito educativo, incluso a nivel mundial, se han hecho intentos por organizar planes y programas fundamentados en la energía, que apuntan a la integración de las ciencias.^a Parece que el intento de las ciencias integradas, fue eso, un buen intento pero que resultó fallido, aquí no se analizará el porqué, sólo retomaremos el hecho el concepto de energía se utilizó como una posibilidad para organizar los contenidos de un programa de física. Aunque desde otro punto de vista el concepto de energía volvió presentarse, en la discusiones, sobre la organización del currículum y en el Colegio de Bachilleres se utilizó como eje integrador en un programa de física.

En el currículum del Colegio de Bachilleres y en el bachillerato de la UNAM, se enseña la Física en dos niveles; el tronco común y las materias optativas, estas últimas que deberían tener un carácter propedeúutico para los estudiantes que ingresarán a las licenciaturas de carreras científicas o de ingeniería. Sin embargo en el tronco común el curso de física será el último que lleven el 80% de los estudiantes. La propuesta está dirigida al primer nivel en el CB y EMP.

^a Enseñanza de las ciencias fundamentales. Nuevas Tendencias en la enseñanza de la Física vol. IV UNESCO 1978.

En el Colegio de Bachilleres se ha retomado la discusión, a diferentes niveles, y ya se dieron los primeros pasos al lograr que en los programas de Física de los tres primeros semestres los contenidos esten organizados alrededor de la energía y el enfoque sea el experimental, en estos momentos se encuentran en un período de evaluación institucional, después de haber sido aplicado durante dos años tanto el asesor como el autor de este trabajo estan comprometidos, aunque todavia no hay resultados concretos.

El plasmar una metodología de enseñanza en un programa de asignatura enfrenta una serie de problemas, pero existe uno que destaca por su implicación en la metodología. Es la secuencia de los conceptos que se van enseñar por parte de los profesores, pero no sólo es la secuencia sino la unidad que deben mantener los contenidos, ello implica la necesidad de que la secuencia cuente con concepto integrador, Las ventajas de tener un concepto integrador en una secuencia de contenidos, es que permite mostrar una estructura con pocas rupturas conceptuales y no, una física formada por pedazos. Y esto ayude a los estudiantes a reestructurar, con más facilidad, sus estructuras cognitivas.

El problema propuesto para este trabajo de tesis es elaborar una secuencia conceptual cuyo eje integrador sea la energía, con la característica particular, de que la columna vertebral de dicha secuencia es una serie de actividades experimentales tanto cualitativos como cuantitativos organizados de tal forma, que coadyuve a establecer y interrelacionar los conceptos físicos.

Las ventajas de la propuesta son amplias, ya que los experimentos proporcionan elementos a los estudiantes para: inferir los conceptos a partir de una referencia concreta, les motiva a encontrar respuestas en las experiencias (o más dudas) y por el otro lado, las actividades se vuelven significativas en la medida

que pueda relacionarlos con su vida cotidiana. Por otra parte, la secuencia ofrece posibilidades de organizar objetivos de aprendizaje, para adecuar el curso.

APRENDIZAJES ESPERADOS

En lo que se refiere a los objetivos de aprendizaje de esta secuencia conceptual se espera de los estudiantes:

-Que identifiquen los diferentes tipos de energía mecánica en sistemas mecánicos.

-Que analicen la transmisión y transformación de la energía en los sistemas mecánicos

-Que desarrollen una metodología para estimar (cuantificar) diversas formas de energía, aún sin conocer la expresión matemática. Como la energía cinética traslacional, la cinética rotacional, la energía de combustión, etc.

-Que manejen el principio de la conservación de la energía en problemas que involucren a sistemas físicos sencillos.

-Reconozcan que la energía se transforma y transmite.

-Usen de manera adecuada los términos de calor, temperatura y energía interna.

-Usen la definición de calor en el contexto termodinámico.

-Que el concepto de temperatura se ubique en el modelo cinético, pero delimitando su rango de validez.

-Que identifiquen el concepto de potencia como la rapidez de transmisión de energía, independiente del tipo de energía eléctrica, radiación, mecánica etc..

-Identifiquen al trabajo y el calor como procesos de transferencia de energía.

Por otro lado es importante señalar las limitaciones del trabajo, ya que la tesis apunta a mostrar una secuencia conceptual y dista mucho de ser un documento con los parámetros requeridos para ser una investigación en el campo educativo. Este trabajo se dirige hacia una innovación educativa.

En los comentarios finales del trabajo se consignan los resultados obtenidos de la aplicación de un examen cuyos objetivos son: mostrar si distinguen energía interna de calor y si mantienen la idea del calórico después de ser sometidos a esta secuencia, además de tener claro el concepto de temperatura y de equilibrio térmico.

El profesor Gabriel Urreola del plantel 20 del Colegio de Bachilleres, permitió que se le aplicará este examen a su grupo, con el que trabajo una buena parte de la secuencia. El examen fué tomado de una prueba elaborada por Marcos Moreira, cuyos reactivos y resultados se encuentran en los comentarios finales.

Resumen.

En el proceso de elaboración de una secuencia, existen diversos problemas para su estructuración: las rupturas conceptuales entre las diversas ramas de la física, en este caso concreto la mecánica y la termodinámica, y el establecimiento del marco conceptual que le de coherencia a la secuencia. Esto se ubica a partir del análisis de estos problemas en los artículos sobre la enseñanza de la física producidos a nivel internacional. En lo que se refiere al marco se hace una crítica a las definiciones que se proporcionan en los diferentes libros de texto más populares en bachillerato.

Posteriormente se muestra mediante un diagrama, la secuencia con las características señaladas en el capítulo anterior. Se mencionan las ventajas didácticas de la secuencia a la luz de los problemas establecidos y se establece el marco teórico que le dará la coherencia a la secuencia, fijando el contexto para cada definición utilizada.

DE LA MECANICA A LA TERMODINAMICA

En una secuencia donde el eje sea la energía se tiene que considerar la 1ª ley de la termodinámica como un punto de arribo, aunque la secuencia que se presenta más adelante pretende ser un camino para abordar la termodinámica.

El desarrollo de una secuencia conceptual coherente, implica que en su estructura no deben existir rupturas conceptuales como la identificada en la literatura al pasar de la mecánica a la termodinámica. El ejemplo de dichas rupturas es la manera en que se presenta el concepto de trabajo en mecánica y en termodinámica. Esta se presenta cuando, al utilizar el teorema del trabajo y la energía en ciertos problemas como el cálculo del trabajo neto en el choque no elástico de dos objetos y el cálculo del trabajo neto en situaciones donde existen fuerzas no conservativas, no permite explicar el calentamiento de los objetos en esas condiciones y se habla de calor o energía interna cuando estos conceptos no los aborda la mecánica.¹

Harvey et al analizan una colisión totalmente inelástica entre dos cuerpos en el sistema de referencia del centro de masa.

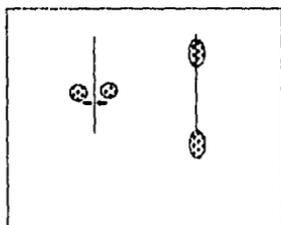


Figure 1: Dos objetos de igual masa chocan inelásticamente, con la misma velocidad pero sentidos opuestos, el choque es visto desde el sistema del laboratorio.

¹ Harvey S. Leff and A. John Mallinckrodt, "Stopping objects with zero external work: Mechanics meets Thermodynamics", Am. J. Phys. 61 (2), February 1993.

Llegando a la conclusión de que cada cuerpo en la colisión no hace trabajo sobre el otro. Este resultado de trabajo cero refleja el hecho de que las fuerzas de interacción son siempre perpendiculares al desplazamiento de los elementos sobre los cuáles actúan. Esto no concuerda con las ecuaciones correspondientes al teorema del trabajo y la energía. Una pequeña reflexión muestra el por qué de la incompatibilidad de las ecuaciones.

El teorema de trabajo-energía es consistente en mecánica pura y aplicada sólo para partículas o para cuerpos rígidos ideales; pero no es posible aplicarlo a situaciones en donde los cuerpos sean deformables.

Algunos autores han propuesto modificaciones a este teorema de manera que sea consistente en los análisis físicos, como en el ejemplo que se tomo de referencia, consideran al cambio de energía interna en el teorema mediante la ecuación siguiente: $W_{ext} = \Delta K + \Delta U$ donde ΔU es el cambio de energía interna del cuerpo y W_{ext} es el trabajo externo neto hecho sobre el cuerpo. En cambio otros usan en forma conjunta la primera ley de la termodinámica y la ecuación de el "pseudotrabajo-energía" ² con el fin de superar las aparentes paradojas que surgen al utilizar el teorema del trabajo y la energía en situaciones de cuerpos deformables. Estas consideraciones incluso ya son tomadas en cuenta en la nueva edición del libro de Resnick³ en el capítulo de energía. Por otro lado, Arons sintetiza, señalando que los autores solo tratan de distinguir entre las dos cantidades de trabajo que aparecen en sus formulaciones, adoptando el nombre de "pseudotrabajo"⁴ a la cantidad relacionada con el desplazamiento de el centro

² Vease los artículos de Bruce Arne Sherwood and W. H. Bernard "work and heat transfer in the presence of sliding friction" Am. J. Phys. 52 (11), November 1984.

C. Penchina, Am. J. Phys. 46, 295 (1978).

B.A. Sherwood, Am. J. Phys. 51, 597 (1983).

³ Referencia del Resnick

⁴ Arons A.B, A Guide to Introductory Physics Teaching, New York, Wiley, 1990.

de masa y reservándose el nombre de trabajo para la cantidad que aparece en la primera ley de la termodinámica. Es claro que los autores pretenden utilizar al teorema como una ecuación puente entre la mecánica y la termodinámica.

DIVERSOS ENFOQUES PARA ABORDAR LA TERMODINAMICA

En los textos de termodinámica, ésta es tratada en forma abstracta ya que se estudian las propiedades del sistema de forma macroscópica sin tomar en cuenta algún "modelo" microscópico de la materia, el enfoque es conocido como el ortodoxo. Pero una formulación donde todos los sistemas sean cajas negras implica una habilidad, que para muchachos de 15 y 16 años generalmente no tienen y requieren un referente más concreto, en este sentido el enfoque es abstracto para los estudiantes de nivel medio superior, lo cual dificulta la tarea de acceder a la termodinámica. También existen otras maneras de presentar la temática, como el de aquellos basados en el desarrollo histórico de los conceptos de calor y temperatura pero se ha visto que los estudiantes no rebasan el esquema del calórico, lo cual a la postre es una dificultad para comprender la termodinámica. Hay otros que reconocen la situación y le dan la vuelta a la historia, como el Harvard, donde evitan la discusión⁵.

Por otra parte, en la mayoría de textos de Física General de nivel medio superior la presentación inicia con la calorimetría, lo cual muchas veces refuerza la idea del calórico como bien lo apunta Holton: el estudio de la "calorimetría" conduce a la idea de que el calor es "algo" que se conserva (el "calórico").⁶

DEFINICIONES EN LOS LIBROS DE TEXTO

En una revisión de los textos de Física para bachillerato y licenciatura se observó, lo que parecen errores conceptuales o de definiciones simplistas, que

⁵ El capítulo 10 del manual del profesor del proyecto Harvard.

⁶ véase pág. 385 de Holton G. y Brush S.G. Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas. Ed. Reverté, España, 1981.

generan confusión cuando se quiere interpretar los experimentos. Esto es importante resaltarlo porque el profesor necesita estar consciente del contexto de las definiciones y hacer ver sus limitaciones; para qué de alguna manera transmitir a los estudiantes ese contexto.

Por otro lado, esta observación nos empuja a establecer un esquema donde los conceptos y definiciones tengan coherencia, cuestión que será retomada en el apartado próximo.

Se transcribirán algunos párrafos de textos donde son evidentes las confusiones; por ejemplo consideremos el párrafo de un texto prestigiado a nivel de licenciatura. "Si repartimos entre varios vasos un litro de agua a 50°C de temperatura, cada vaso conserva la temperatura inicial de 50°C. (Veremos que la temperatura es una medida de la energía media de traslación por molécula.) En cambio, el calor contenido en medio litro de agua a 50°C es la mitad del contenido en un litro de agua a 50°C. (Entendiendo que el calor es una medida de la energía molecular total y en medio litro de agua hay la mitad de moléculas que en un litro.)"⁷ el subrayado es mío.

"La energía interna de la pelota de béisbol es la que resulta de las energías cinéticas y potencial de sus moléculas. La energía interna es a lo que nos referimos cuando hablamos de energía calorífica. El calor es la energía interna que se transmite de los cuerpos de energía interna más alta a los cuerpos de energía interna más baja. El calor se puede usar para hacer trabajo; el trabajo se puede usar para producir calor."⁸

"La energía asociada a los movimientos traslacionales de carácter aleatorio (movimiento de una molécula en su totalidad) suele recibir el nombre de energía térmica..... La energía total (energía cinética más potencial) contenida en el

⁷ Ingard y Kraushaar, Introducción al estudio de la Mecánica, Materia y Ondas, Ed. Reverté, España, 1972.

⁸ Murphy-Smoot, Física, Principios y Problemas, Ed. cecsa, México, 1990.

interior de un cuerpo se llama energía interna.....Cuando a éste se le agrega calor, puede convertirse en energía en energía térmica o traslacional aleatoria de las moléculas, con lo cual se eleva la temperatura. También puede transformarse en energía rotacional o vibratoria interna, la cual no hace que se eleve la temperatura. En general se da una combinación de ambas. En consecuencia, **El calor es energía interna que se agrega a un cuerpo o que se extrae de él."**⁹

"La energía térmica representa la energía interna total de un objeto, es decir, la suma de sus energías moleculares cinética y potencial."¹⁰

Quizás la mayor confusión se dá entre calor y energía interna, además es muy común en los textos llamar energía térmica a la energía cinética de las moléculas. Esto último parece ser otra fuente de confusión, ya que al explicar, la conducción del calor a través del modelo cinético, se dice que la energía se transmite por los choques entre las moléculas de los materiales, entonces pareciera que la transmisión de energía tiene que ver con la energía térmica (energía cinética de las moléculas) dejando entre ver como si ahí estuviera almacenado el calor. Pero esto no es aceptado por la termodinámica ya que en ese contexto el calor es un proceso, que como tal no puede estar contenido en algún cuerpo. Parece que este problema es debido al vicio, muy persistente de los libros de texto de usar terminología para cada concepto en física, lo cual en la mayoría de los casos promueve confusiones, por lo que, conviene reflexionar sobre la conveniencia de manejar primero un contexto para los conceptos, antes de usar los términos, que no dicen nada cuando se encuentran fuera de él. Es decir tenemos que hacer ver a los estudiantes que el lenguaje de la física evoluciona conforme se desarrollan los conceptos. Esto es pasado por alto en el esquema de la enseñanza tradicional, donde, primero se dan las definiciones asociadas con

⁹ Wilson J.D., Física con aplicaciones, Ed. Mc Graw Hill, México, 1991.

¹⁰ Tippens Paul E., Física Conceptos y Aplicaciones. Ed. McGraw-Hill, México, 1983.

la terminología lo que genera una estructura sin contenido.

También se generalizan resultados que para la misma Física son inadmisibles; por ejemplo, la energía es la capacidad de hacer trabajo. Esta afirmación tiene sentido si nos restringimos a la mecánica, pero si lo usamos para definir la energía, la segunda ley de la termodinámica limita la definición. Otra generalización común es: la temperatura es proporcional a la energía cinética media de las moléculas de una sustancia que como veremos más adelante es una interpretación del modelo cinético, pero de ninguna manera se puede utilizarla como una definición de temperatura.

Otro aspecto que vale la pena mencionar son los diferentes niveles de la energía interna que se manejan en los textos. En ellos, llaman a la energía interna a la suma de la energía cinética de las moléculas más la energía potencial de interacción de las mismas. Clasificando a la primera como energía térmica, pero a la segunda no le ponen nombre, este aumento en la terminología implica una complicación innecesaria en la enseñanza de la física a nivel medio. Esto tuviera sentido si manejara el esquema conceptual y se quisiera resaltar la importancia que tiene la energía cinética en la transmisión de energía en las sustancias. Por otra parte, otros autores aumentan el número de niveles de la energía interna U , por ejemplo;

$$\Delta U = \Delta U_{\text{cinética}} + \Delta U_{\text{pot}} + \Delta U_{\text{química}} + \dots$$

lo cual complica los conceptos, para los estudiantes de nivel medio que apenas están formando una idea del comportamiento molecular.

Por otra parte, el concepto de energía interna es tratado en la literatura, en el contexto de la primera ley de la termodinámica, pero ahí existen diversas interpretaciones del mismo concepto lo cual es importante tenerlo en cuenta para mantener la coherencia del marco físico. Primero señalemos que algunos autores han tratado de precisar cual es el significado del cambio de energía interna en

la primera ley de la termodinámica, en particular, para Moore¹¹ la presentación de la forma $\Delta U=Q-W$ es una expresión restringida de la primera ley; él considera que la ecuación proporcionada por Tolman (1934): " $\Delta E=Q-W$ es la forma general de la primera ley, donde ΔE es el incremento en el contenido de energía correspondiente algún cambio de estado". Definiendo a E por la siguiente ecuación: energía almacenada E = energía interna U +macroscópicas energías potenciales y cinéticas+energía almacenada electricamente, magnéticamente, tensión superficial, etc. Esta situación aparece al definir el sistema y sus fronteras. Y llama a la energía interna U una forma de energía almacenada la cual esta directamente relacionada con la transferencia de calor, es la energía microscópicamente almacenada en dos formas: como energía cinética debido al azaroso desplazamientos moleculares, vibraciones y rotaciones, y energía potencial de fuerzas entre moléculas.

Según el autor coinciden cuando existen procesos cuasi-estáticos en sistemas simples y supone que E es igual a U . Se presenta esta discusión como un ejemplo de lo conscientes que deben estar los profesores sobre el contexto de los conceptos y ecuaciones que enseñan en los cursos de Física. En este mismo sentido, cabe señalar la ventaja o desventajas de los términos usados a menudo, que muchas veces refuerzan las ideas que se quiere combatir por ejemplo la capacidad calorífica que da la sensación de que el calor entra a un objeto y permanece ahí de manera semejante como si fuera un fluido (calórico). Por lo cual consideramos que en aquellos términos que presenten estas dificultades se cambien por otros que reflejen con mayor precisión las ideas físicas, que para el ejemplo citado se llamará capacidad térmica. Aunque hay que reconocer el riesgo, al introducir otra terminología ya que puede causar confusión en los estudiantes,

¹¹ Moore Guy S.N., General, restricted and misleading forms of the First law of Thermodynamics, Phys. Educ. 28(1993).

pero esto es un proceso, en algunos diccionarios se establece la igualdad de los términos.

SECUENCIA PROPUESTA

Para abordar la secuencia, mostrada en el diagrama anexo, se requiere que los estudiantes manejen algunos conceptos de mecánica, tales como: velocidad, peso, fuerza, fuerzas en equilibrio, fuerza de gravedad, fricción estática y fricción cinética.

En la secuencia se aprecian dos grandes bloques: la energía mecánica y la energía interna.

-TRABAJO MECANICO

Este concepto se presenta para el caso particular de subir objetos a una altura determinada, con respecto al piso. La razón de usar esta idea es que en Termodinámica se utiliza de manera amplia, pero también es posible introducir el trabajo, para el caso horizontal más adelante en la secuencia.

-ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Parece que un objeto al estar a cierta altura con respecto al suelo, puede levantar otro objeto mediante un mecanismo adecuado (una polea), esta noción se usa para introducir el concepto de energía potencial gravitacional. Por otra parte, sólo en este contexto es válido decir que la energía es la capacidad para hacer trabajo y no en términos generales. La secuencia se basa en las transformaciones de energía potencial gravitacional en otros tipos de energía mecánica.

-ENERGIA POTENCIAL

Se pretende generalizar el concepto de energía potencial gravitacional para el caso de la configuración de un sistema, de tal manera que se pueda usar para interpretar la energía potencial en las moléculas. Aunque resulta abstracta para los estudiantes de preparatoria.

-ENERGIA CINÉTICA TRASLACIONAL

Este concepto se introduce a partir de la transformación de la energía potencial de los objetos y se prescinde del modelo matemático.

Para estimar la energía cinética se recurre al diseño de un dispositivo experimental que permita la transformación de esta energía *en EPE*, es decir en subir objetos. El punto esencial de estas estimaciones es la aceptación de la conservación de la energía en los sistemas mecánicos.

Aunque a primera vista resulta limitada, a pocos ejemplos, la estimación de la energía cinética es ilustrativa de la metodología que se utiliza en Física para calcular y descubrir otros tipos de energía no conocidas. Que es precisamente la elegancia del análisis energético.

El planteamiento es el mismo para los otros tipos de energía mecánica que se mencionan en la secuencia como la energía cinética rotacional y la energía potencial elástica.

-CONSERVACION DE LA ENERGIA

Es conocido la importancia de este principio en la Física y la forma rigurosa en que se puede deducir para el caso mecánico, así como su inferencia al caso general en la primera ley de la Termodinámica. En cuanto a su deducción parece compleja a los estudiantes y poco significativa, por lo que en la secuencia se infiere partiendo de la intuición de los estudiantes. Esto es a través del comportamiento de los sistemas mecánicos simples como el péndulo, se les pide imaginen las transformaciones de energía en situaciones de fricción despreciable. De manera análoga a la conservación de la masa en las experiencias propuestas por Piaget.

-TRANSFORMAR PARA MEDIR

Al analizar un sistema mecánico, desde el punto de vista de la energía, existen otros tipos de energía aparte de la energía potencial gravitacional como la

cinética traslacional y la energía potencial elástica, cuyos valores se calcularán usando la hipótesis de que la energía permanece constante, de tal manera, que se adecuará un dispositivo que permita transformar estos tipos de energía a energía potencial gravitacional. No importando el que no se conozca la expresión matemática de la energía cinética o la potencial elástica. El mismo razonamiento se utiliza para determinar el valor de otras formas de energía como la de combustión, solar y la eléctrica. Sabiendo como calcular la energía transmitida al agua, esto último se realiza con el calentador mecánico que se explicará más adelante al comentar las actividades.

-ENERGIA CINETICA TRASLACIONAL

En la secuencia, a esta forma de energía mecánica sólo se da cuenta de su existencia y su definición, pero no se pretende manejar su expresión matemática, dado el conocido problema entre los profesores de nivel medio que saben las dificultades de los estudiantes de 15-16 años para manejar el álgebra, pero que esto no se convierta en un obstáculo para abordar conceptualmente la energía cinética. El argumento anterior se utiliza para la energía cinética rotacional y la energía potencial elástica.

-TRANSMISION DE LA ENERGIA

En el análisis energético de los sistemas mecánicos, la transformación y transmisión de energía son ideas importantes, ya que la metodología para calcular y descubrir otras formas de energía se basa en estas dos ideas. En particular, la transmisión de energía se puede usar para desarrollar el concepto de resonancia en los sistemas mecánicos. Concepto que en los temas de electromagnetismo y energía atómica cobra relevancia. La forma en que es manejada, es como la manera más eficaz de transmitir la energía.

DISIPACION DE LA ENERGIA

Al analizar los sistemas mecánicos reales, nos conduce a la conclusión de que la

energía no se conserva en estos sistemas. Lo que permite la entrada a la fricción cinética, aunque se supone que este concepto es antecedente, en esta parte de la secuencia toma relevancia al ser considerada como la responsable de la disipación de la energía, al transformarse la energía en los sistemas mecánicos. En este contexto se menciona que la fricción estática, da lugar a la transformación de la energía pero no disipa energía. Esa diferencia es marcada en la secuencia.

MAQUINAS MECANICAS

Se introduce la idea de máquina mecánica como el sistema físico, cuya finalidad es levantar objetos. Como ejemplos de estas máquinas se estudian: la polea, la palanca, la polea móvil y el gato hidráulico. La presentación de estas máquinas frente a los estudiantes es utilizando la técnica de la "caja negra", debido a que estos sistemas posteriormente se estudiarán pero analizando su mecanismo de funcionamiento, en particular el gato hidráulico.

En este apartado, se considera el concepto de eficiencia de una máquina mecánica como el trabajo de entrada entre el trabajo de salida, lo cual da la llave para abordar la termodinámica. Aquí mediante un poco de ayuda a los estudiantes, se infiere el concepto de máquina ideal como la aquella cuya eficiencia es de uno (no hay fricción), lo cual supone la conservación de la energía en estas máquinas. En estos momentos de crítica a la secuencia después de ponerla a consideración frente a estudiantes, me ha llevado analizar la pertinencia de estos temas en este lugar de la secuencia, parece que, si se cambia al final cuando se estudie las máquinas térmicas no rompe con la continuidad y se gana claridad.

TRABAJO MECANICO Y ENERGIA INTERNA

Esta sección es importante en la secuencia, dado que en ella, se vincula el trabajo mecánico con la energía entregada a un sistema, cuya apariencia física no cambia. Es decir, el sistema puede no estarse moviendo o cambiar de forma pero

ya consta de que otros bajen

tiene más energía, el ejemplo típico es el calentador mecánico (más adelante se describirá con detalle) cuyo objetivo es calentar agua por medios mecánicos, se logra friccionando un tubo de cobre que contiene agua, este experimento se interpreta diciendo que la energía transmitida al agua incrementará su energía interna, considerando la conservación de la energía. La variable del sistema que permite notar este incremento de energía es el cambio en la temperatura del agua.

MODELO CINETICO MOLECULAR

En la primera etapa de elaboración de la secuencia, se creía importante, la introducción del modelo cinético molecular para apoyar a los estudiantes a formarse una "imagen molecular" de la energía interna. Parece que es complicado formarse esta imagen, esto es claro cuando se piden explicaciones de los cambios de fase de las sustancias, a partir de esta imagen. Este cuestionamiento surgió de la revisión de este trabajo, se busca la forma de resolver la situación, dándole menos peso al modelo cinético y hablar más de energía transmitida al agua. En esa discusión se encuentra la asociación de la temperatura con los niveles de la energía interna, generalmente con la energía cinética molecular, que para el caso de los gases es clara, pero a los otros estados no resulta sencillo, este comentario vale para la energía potencial entre las moléculas cuyo entendimiento es necesario para explicar los cambios de fase.

MEDICION DEL CAMBIO DE ENERGIA INTERNA DEL AGUA

Con el experimento del calentador mecánico se establece cuantitativamente, el cambio de energía interna del agua conociendo los cambios de temperatura y la masa de agua calentada. Aunque muchos profesores lo asocian con el experimento de Joule, físicamente estamos midiendo la capacidad térmica del agua. Esta relación, es el punto de partida para poder estimar otras formas de energía no mecánicas.

ENERGIA DE COMBUSTION

Con la expresión obtenida en el experimento del calentador mecánico, más adelante se hará explícita, se estima la energía de combustión de: alcohol, gasolina blanca, petróleo y gas butano. Al montaje experimental se le llama calentador químico, en particular con el alcohol se introduce el concepto de potencia como la energía transmitida en la unidad de tiempo. En este caso la estimación de la energía de combustión se basa en calentar agua y con el argumento de la conservación. Los valores obtenidos con respecto a tablas es de aproximadamente el 50%, hay que recordar que los valores de las tablas son resultados, de experimentos hechos con la bomba calorimétrica en donde existe un mayor control de variables, pero lo importante de esta parte es que permite a los estudiantes relacionar los métodos de la escuela con la vida diaria, ya que se le pueden proponer tareas, como la de calcular la potencia del quemador de la estufa de su casa.

ENERGIA ELECTRICA

En el mismo sentido del calentador químico, estimar la energía proporcionada por un foco al calentar agua, es atractivo para los estudiantes. Esto lo hacen en un dispositivo conocido como calentador eléctrico, en el experimento se aplica la expresión del calentador mecánico y el concepto de potencia. Este método permite calcular la potencia de cafeteras eléctricas.

ENERGIA SOLAR

Esencialmente en este experimento, se calienta agua usando la energía proporcionada por el sol, el agua eleva su temperatura siendo expuesta al sol por medio de un bote metálico.

Con el experimento del calentador solar se introduce el concepto de intensidad de radiación solar. Además que sirve de realimentación para los estudiantes, dado que en estos momentos manejan el método para estimar energías diferentes de

la mecánica. Por otro lado, esta experiencia es útil para introducir la discusión sobre absorción y emisión de energía en objetos de color negro y blanco.

DESEQUILIBRIO TERMICO Y CALOR

Esta sección es importante, ya que en ella aparece el concepto de calor desde el punto de vista termodinámico. Tiene su origen al estudiar otro calentador denominado baño María, en éste se calienta agua utilizando agua más caliente, lo que de manera clara nos lleva a la idea de transmisión de energía, debido a la diferencia de temperaturas en las aguas en el experimento mencionado. Por consecuencias del mismo experimento se introduce el concepto de equilibrio térmico y llegar a la ley cero de la termodinámica.

CAPACIDAD TERMICA ESPECIFICA

La experiencia del calentador baño María nos muestra que a un objeto, se le puede transmitir energía, poniendolo junto con otro de mayor temperatura. De esta manera se analiza que la energía transmitida a los objetos depende de los diferentes materiales, también aparece en forma natural explicar que existen buenos y malos conductores del calor. Lo cual nos conduce a la capacidad térmica y al problema de la transmisión de calor y para un curso más formal al de paredes.

Este tema es un ejemplo, para analizar una característica que tiene la secuencia, el uso de terminología que pretende estar más cerca del concepto físico aceptado. Dejando fuera términos que pudieran prestarse a reforzar ideas ya superadas o confusiones, en este caso se prefiere capacidad térmica a capacidad calorífica. Aunque también es cierto que en la mayoría de los libros de texto se sigue utilizando esa terminología, por lo que se propone el uso de la nueva terminología y señalando a los estudiantes los diversos nombres presentados por los autores.

PRESION Y PRESION ATMOSFERICA

Estos temas se agregan a la secuencia para darle coherencia, ya que sin el concepto de presión nos es posible analizar los procesos termodinámicos. Para Boyle es requisito la medida de la presión atmosférica, por lo que se tuvo la necesidad de agregar estos temas a la secuencia. ^{Además para el proceso adiabático} se considera el uso del modelo cinético para el concepto de presión en gases, haciendo analogías del comportamiento molecular con el golpeo de pelotas de beisbol con el bat. Es decir para que la pelota tenga una velocidad mayor que la lanzada por el pitcher, se golpea con el bat, con la fuerza disponible por el bateador y para disminuir la velocidad el bateador echa para atrás el bat dando un toque de bola.

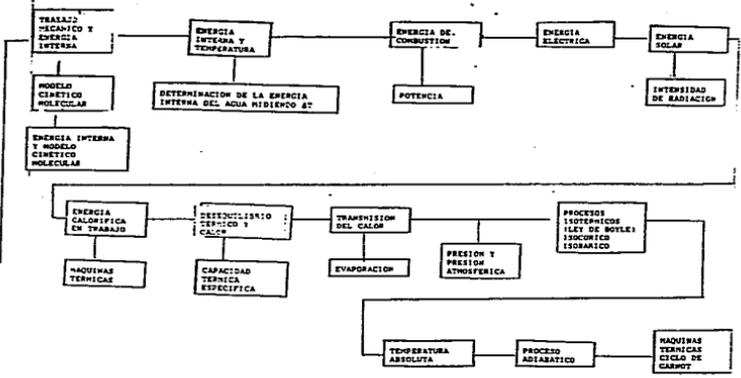
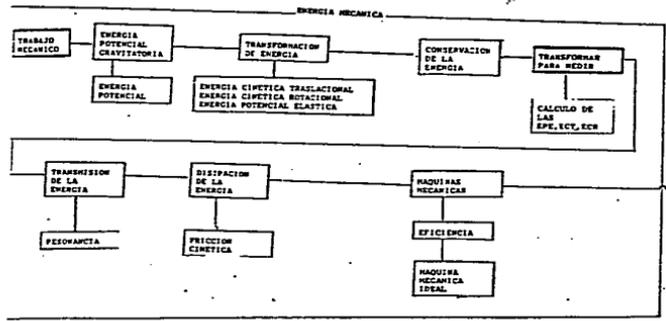
PROCESOS ISOTERMICOS, ISOCORICO Y ISOBARICO

Los procesos termodinámicos se introducen con el fin de poder abordar la escala absoluta de temperaturas, las máquinas térmicas y su eficiencia. En particular, los procesos isocórico y isobárico son estudiados a través de los termómetros a volumen constante y presión constante, que mediante extrapolación de las gráficas obtenidas se llega al cero absoluto de temperatura. Estan las bases puestas para un abordaje más profundo de la termodinámica. Con la introducción de la temperatura absoluta se puede empezar a estudiar las máquinas térmicas y el ciclo de Carnot. Se recomienda a los estudiantes que construyan modelos de máquinas térmicas y calculen su eficiencia, con base en lecturas introducir ^{para} ciclos de Carnot.

PROCESO ADIABATICO

Estando consciente de la dificultad que representa para los estudiantes, el manejo del modelo cinético molecular. Adquiere relevancia la introducción de este proceso termodinámico en la secuencia, aunque quizás después del calentador mecánico, para conceptualizar la energía interna ya que su definición desde la teoría molecular no es fácilmente asimilable. Esto se podría hacer con la

Antecedentes
 Velocidad en el MRU
 Concepto de Inercia
 Definición de Inercia
 Fórmulas básicas y cinética
 Tipos de Movimiento
 NOTACION: ENERGIA POTENCIAL GRAVITATORIA (EPI), ENERGIA CINETICA
 TRASLACIONAL (ECT), ENERGIA CINETICA ROTACIONAL (ECR), ENERGIA
 POTENCIAL ELASTICA (EPE)



experiencia de la bomba de bicicleta, en este caso se calienta aire comprimiendolo. Es decir se sugiere un cambio de lugar.

CONSIDERACIONES DE LA SECUENCIA A LOS PROBLEMAS

Con respecto al problema de la ruptura conceptual entre la mecánica y la termodinámica, el uso del teorema del trabajo y la energía como concepto puente, en la propuesta no habría tal dificultad debido a que en la metodología no hay la división en Física de partículas y de cuerpos deformables, sino el análisis se centra en el uso de sistema físico, para lo cual no es necesario distinguir uno de otro.

En la proposición, la ecuación que usaremos como puente describe un proceso sin variación de la energía cinética en donde sólo importa el estado inicial y final del sistema (sistema de fuerzas conservativas como el campo gravitacional terrestre). La ecuación que usaremos es $\Delta EPG=W$ donde ΔEPG =cambio de energía potencial gravitatoria y W =trabajo.

En esta propuesta para abordar la Termodinámica, se empieza con el cálculo del trabajo de entrada y salida de una máquina mecánica (suben y bajan objetos), tales como poleas, palancas, gatos hidráulicos y polipastos que evidentemente no son sistemas abstractos; pero que pueden ayudar a la abstracción. El recurso de la caja negra es utilizado para introducir el concepto de eficiencia y el concepto de ciclo, es posible llegar a él estudiando la eficiencia del gato hidráulico como máquina mecánica; es claro que la eficiencia y ciclo son conceptos termodinámicos. Más adelante se menciona la forma en que se desarrollan estas ideas.

En lo que se refiere a la manera de abordar la termodinámica, el centro de la metodología se encuentra la idea de "trasformar para medir" que posteriormente se explicará con más detalle en que consiste, pero en el esquema básico es el

estimar diversas energías calentando agua; como la energía de combustión, la energía disipada por una resistencia eléctrica, fricción y energía solar, conociendo previamente como determinar los cambios de la energía interna del agua, (esto se hace con el calentador mecánico). Dejando a la calorimetría para la parte final de la secuencia, por lo mencionado anteriormente, y se utiliza el modelo cinético molecular para ayudar a los estudiantes a tener una imagen molecular de los procesos a nivel microscópico, se han encontrado dificultades en la introducción del modelo con los estudiantes, por lo que se sugiere su uso en aquellas partes de la secuencia donde parece útil como en la dilatación de los sólidos.

Otro aspecto dentro de esta perspectiva es el uso del concepto de sistema; es decir se estudia el comportamiento de algunos sistemas para hacer modelos simples y poder realizar predicciones sobre los mismos. Bajo esta idea se analizan los sistemas mecánicos, usando las transformaciones de energía. Una de las ventajas de este enfoque de sistemas es que se puede ampliar el estudio de otras ramas de la física, por ejemplo, tópicos de la Física Nuclear hasta la Astronomía donde se consideran las salidas y entradas de energía del sistema. La dificultad para los estudiantes es la elección del sistema y la determinación de sus fronteras. Sobre la discusión de los niveles de energía interna, para evitar continuar con el vicio de poner nombre a cada nivel de energía interna, diremos que los cambios en la temperatura, en el estado de agregación y (los defectos de masa) dentro del matiz relativista están asociados con los cambios de energía interna, para evitar poner un nombre a cada cambio.

Retomando entonces las diferentes definiciones podremos concretar con lo siguiente, los cambios en la energía interna (variable extensiva) están asociados a cambios en la temperatura o a cambios en el estado de agregación (sólidos, líquidos y gases) y se pretende interpretar desde el punto de vista del modelo

cinético molecular como cambios en la energía cinética media y cambios en la energía potencial (de configuración o de interacción) de las moléculas. Esto es difícil para los estudiantes (solo manejan la definición pero no pueden interpretar), se busca otra manera de definir la energía interna. Existe la idea que con la introducción de los procesos adiabáticos simplifique estas ideas. Todos los cambios de energía interna del sistema incluyendo a los asociados a las reacciones químicas o nucleares están ligadas con los cambios de energía en masa del sistema, desde el punto de vista de la relatividad. Aunque los defectos de masa en las reacciones químicas son pequeños, y más pequeños en los cambios de temperatura, que teniendo la más sensible de las balanzas no se podrían registrar esos cambios en la masa, o sea no parece que se viole la ley de Lavoasier.

Por otro lado, un buen ejemplo sobre las reacciones nucleares está vinculado con la producción de energía en el sol, este planteamiento de la producción aparece de manera natural al discutir el calentador solar, se verá adelante, lo que puede motivar la revisión de tópicos de física moderna (quizás a nivel de lecturas). Es un hecho, que en la vida diaria y profesional se usan otras unidades de energía: kw en el consumo de energía eléctrica, kilocaloría en el contenido energético alimenticio, el btu en el contenido energético de los combustibles y el electrón-volt en la física nuclear. A pesar de ello, en la propuesta se usará el sistema internacional como inicial y después las conversiones a otros sistemas de unidades. Buscando que las conversiones sean significativas a los estudiantes, por ejemplo; al comparar los contenidos energéticos entre el consumo de energía eléctrica y el consumo de gas se hablaría de las conversiones de kw a joules.

LAS DEFINICIONES BASICAS EN LA SECUENCIA SON LAS SIGUIENTES: TRABAJO MECANICO, CONSERVACIONE DE LA ENERGIA, TEMPERATURA....

TRABAJO MECANICO

Unicamente cuantificaremos el trabajo cuando subimos un objeto a cierta altura con respecto a un nivel de referencia.¹

La preferencia de usar este caso particular del trabajo mecánico es que este concepto surgió históricamente del problema de medir el trabajo que hacian los esclavos, bestias y máquinas para sacar el agua de las minas de carbón, en los albores de la revolución industrial. Y de forma simple de comparar los diversos trabajos, lo que permitió el desarrollo de las máquinas térmicas y a la postre establecer las leyes de la termodinámica.

La expresión matemática del trabajo mecánico toma la forma siguiente $W = \text{peso} \times \text{altura}$ en donde el peso² viene expresado en newtons y la altura en metros. Definiendo operacionalmente la unidad de medida del trabajo como el joule; el joule es el trabajo mínimo hecho sobre un objeto de 1 n de peso para levantarlo 1 m de altura. Sin incrementar su energía cinética.

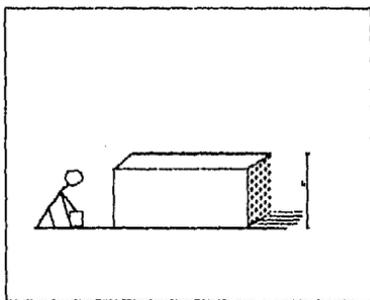


FIGURA 2. En la figura se

ilustra la manera en que se define el trabajo, una persona subiendo un objeto sobre una mesa.

¹ Una referencia sobre una perspectiva semejante ver el capítulo 26 del libro de Eric M. Rogers, *Physics for the Inquiring Mind* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1960).

² En el diagrama se mencionan los conceptos antecedentes de la secuencia, en particular, se encuentran el peso y la fricción estática y cinética.

Este tipo de trabajo con el que iniciamos la secuencia es precisamente la forma al que se hace referencia al abordar la termodinámica.

Supongamos que tenemos un sistema formado por una polea y dos objetos que están unidos por un hilo suspendidos en la polea como se muestra en la figura

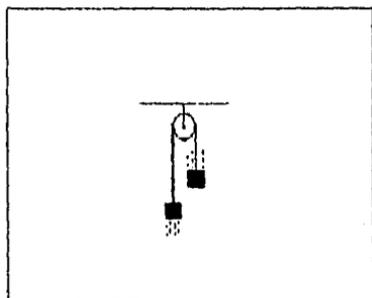


FIGURA 3 Un objeto de mayor peso puede subir otro objeto mediante una polea, haciendo trabajo sobre él. En este sentido decimos que el objeto de mayor peso tiene asociada una energía potencial gravitatoria (EPG).

uno de los objetos se encuentra a cierta altura de la superficie de la Tierra, además que su peso es mayor al que se ubica en la parte inferior. La experiencia nos dice que el objeto de mayor peso baja y el otro sube, esto lo interpretaremos como que el objeto tiene la capacidad de hacer trabajo ya que puede subir un objeto.

Esta capacidad será la energía potencial gravitatoria de un objeto, debido a que en su posición, con respecto a la superficie terrestre es posible que realice trabajo, es importante hacer notar que en algunos libros de texto de nivel medio definen la energía como capacidad de hacer trabajo lo cual no es del todo cierto ya que la segunda ley de la termodinámica pone restricciones en este sentido. Solo en casos particulares, como en la energía potencial gravitacional es válida la definición, ahora bien en la enseñanza es necesario

mencionar a los estudiantes el contexto de las definiciones que se usan en el curso.

A partir de la definición se infiere que EPG (energía potencial gravitatoria) es igual a cero cuando el objeto se encuentra sobre la superficie de la Tierra o un nivel de referencia, de ahí que sólo podamos medir diferencias de energía. De la misma manera para el caso del objeto que baja se dice que realiza trabajo sobre el objeto al subir y es igual al cambio de EPG del objeto que baja; esto se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera $W = \Delta EPG$ en donde las unidades de la EPG son las mismas que la del trabajo mecánico, Joules. Aquí es despreciable el ΔEC comparada con ΔEPG .

Si se analiza al sistema Tierra-objeto, que se encuentra a cierta altura con respecto a la superficie de ella, como un sistema con cierta configuración. Permite generalizar el concepto de energía potencial y decir que un sistema cambia su energía potencial si cambia la configuración del sistema, al hacer trabajo sobre el sistema. Esto es debido a la interacción entre los objetos ya sea por contacto o a distancia, como es el caso del sistema tierra-objeto. El introducir esta generalización produce ventajas dado que se pueden analizar sistemas microscópicos con esta idea y explicar los cambios de fase.

CONSERVACION DE LA ENERGIA

Para inferir que la energía se conserva, se observa que en un sistema mecánico como un péndulo simple; la energía EPG de la lenteja antes de soltarlo es igual a la EPG después de ir al otro lado de la vertical como se muestra en la figura.

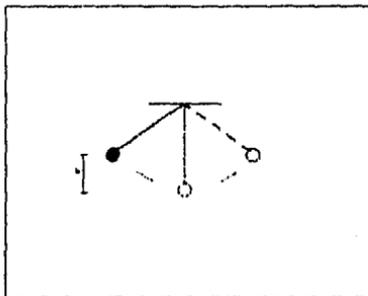


FIGURA 4. Se utiliza el péndulo como un ejemplo de un sistema mecánico cíclico del cual se le pide al estudiante que infiera la conservación de la energía, considerando que bajo ciertas condiciones el péndulo no dejara de oscilar.

Al analizar el sistema se tiene que el valor de EPG antes y después es el mismo entonces la energía se conserva en este sistema, a pesar de haber realizado un proceso de transformación de energía. Por lo tanto, para este sistema mecánico el $\Delta EPG=0$, esta aproximación es válida en la medida que la fricción disminuye.

Para los estudiantes se les menciona, en un proceso de abstracción, que si fuera posible que no hubiera fricción entonces el péndulo no se detendría.

En el sistema se conserva la energía, pero si se tomará película del movimiento del péndulo, al pasársela al revés, no habría ninguna diferencia entonces el sistema desarrolla un proceso de transformación de energía de

forma reversible.¹ Esto significa que la reversibilidad se encuentra asociada con la conservación de la energía en los sistemas mecánicos. Por otro lado, desde la "termodinámica" la reversibilidad esta asociada a la no fricción cinética en el sistema así como a las transformaciones cuasi-estáticas en el mismo, para que $E_I = E_P$ y $\Delta E_C = 0$. Hay otros ejemplos de sistemas mecánicos donde se infiere la conservación de la energía, el sistema masa-resorte, disco de Maxwell y péndulo de Wilberforce.

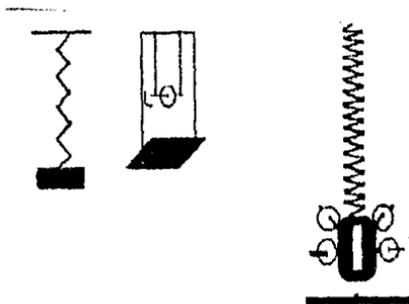


FIGURA 5: Aquí se muestran los sistemas mecánicos usados para inferir la conservación de la energía, a la izquierda está el sistema masa resorte, al centro el disco de Maxwell y a la derecha el péndulo de Wilberforce.

Estos sistemas mecánicos tienen la propiedad de regresar al estado inicial, que momentos después no es posible distinguir ese estado, posteriormente a las transformaciones energéticas del sistema mecánico.

Esta idea sobre reversibilidad es importante desde el punto de vista metodológico, ya que se puede implicar la existencia de otros tipos de energía

¹ García-Colín Scherer L. Introducción a la Termodinámica Clásica, Ed. trillas, México, 1976.

como la energía cinética traslacional, dado que la intuición sobre la conservación supone que al desaparecer la EPG se tuvo que convertir en otra forma de la energía que viene asociada al movimiento de la lenteja del péndulo. Creemos que este método es más útil para inferir las otras energías, que el camino numérico de calcular el trabajo hecho por el cambio de energía cinética y posteriormente el trabajo por el cambio de la EPG, para luego observar que los valores numéricos son iguales y de ahí establecer el principio de la conservación de la energía mecánica.

De la misma forma, la energía cinética rotacional puede establecerse a partir de un sistema mecánico reversible como el disco de Maxwell. Rápidamente suponemos esta energía si aceptamos la conservación de la energía mecánica para este sistema mecánico.

Las expresiones para la EPE (energía potencial elástica) para el caso de un resorte $\Delta EPE = 1/2 kx^2$, ΔECT (energía cinética traslacional) $= 1/2 mv^2$ y ΔECR (energía cinética rotacional) $= 1/2 I\omega^2$ no se desarrollan en la secuencia, pero en algunos casos se pueden estimar experimentalmente los valores de dichas energías, suponiendo la conservación en los montajes experimentales, como se verá más adelante, aunque en un curso más formal se tienen que deducir.

Esta inferencia del principio de la conservación de la energía, esta basada en la intuición de los estudiantes y pretende suavizar la presentación de este principio físico fundamental, sin recurrir a la formalidad matemática. Quizás ayude al desarrollo de la intuición física de los estudiantes, tan importante en la solución de problemas en Física.

La manera de calcular el cambio de la energía cinética traslacional (ECT) de un objeto en movimiento, se hace experimentalmente sin necesidad de usar la expresión matemática de la ECT, ya que este cálculo se puede realizar si estamos en la posibilidad de diseñar un experimento en el cual se pueda transformar la energía cinética de un objeto en energía potencial gravitatoria de otro objeto, del cual se conoce la manera de medir los valores de la EPG. Esta estimación tiene como hipótesis la conservación de la energía, en la figura se muestra un posible arreglo, para un carrito en movimiento sobre una superficie horizontal.

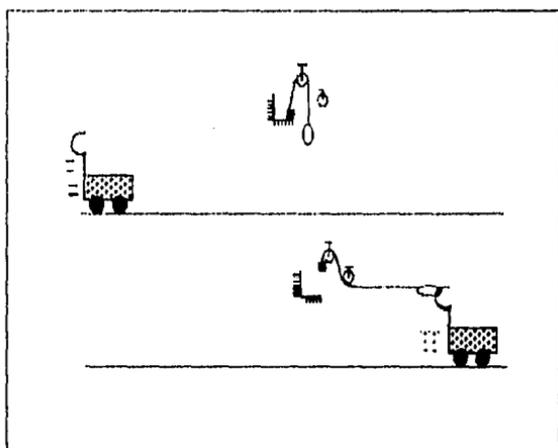


FIGURA 6. Un carro en movimiento jala una pesa mediante un hilo, de tal forma que el cambio de la de la energía cinética del carro éste haciendo trabajo.

En general se realiza trabajo cuando hay transmisión de una forma de energía mecánica a otra forma, así se transforma la energía del resorte en EC del cohete (en un lanza proyectiles) o cuando una rueda que gira se detiene y estira un resorte. De manera análoga se puede calcular la energía cinética rotacional (ECR) de un objeto que gira y mientras sube un objeto como se muestra en la figura.

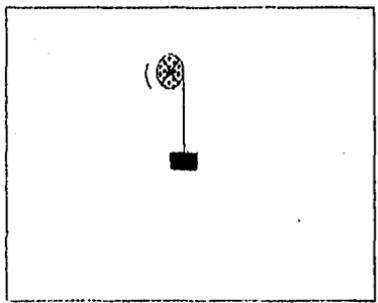


FIGURA 7. Se muestra una rueda girando de tal manera que sube un objeto; la ECT se transforma en EPG.

Esta perspectiva de calcular otras formas de energía a partir de la EPG supone una estimación de la energía disponible en el sistema.

Esta parte de la secuencia es importante ya que en el se esboza la metodología para calcular otros tipos de energía, que de manera reiterativa emplearemos, incluso en formas no mecánicas de energía.

DISIPACION DE LA ENERGIA MECANICA

En los sistemas mecánicos reales siempre aparece la fuerza de fricción cinética, como un agente que disipa la energía, por ejemplo, la lenteja de un péndulo que se encuentra en movimiento, por nuestra experiencia sabemos que un tiempo después quedará en reposo perdiendo toda la energía que tenía al inicio del proceso. Aunque antes se había usado el péndulo como ejemplo de un sistema que en condiciones de fricción despreciable se conserva la energía, ahora esa intuición es utilizada como un argumento lógico para explicar lo que observa en este sistema.

Apelando al principio de la conservación de la energía interpretaremos que esa

46

energía pérdida se transformó en otra. Y esto debido a la fricción cinética, es decir, que el trabajo hecho contra la fricción se convirtió en otra energía. Por otro lado, la fricción estática produce sólo transformaciones de energía mecánica de una en otra, por ejemplo cuando un balón rueda sobre un plano inclinado, sin resbalar. Regresando al problema de los sistemas reales como en ellos no podemos quitar completamente la fricción cinética, es de esperar una transformación de la de energía debido a la fricción. Por lo que en estos sistemas se llevarán a cabo procesos irreversibles dando una dirección temporal a las transformaciones energéticas.

RESONANCIA

Para los sistemas cíclicos reales en donde hay transformaciones de energía mecánica a otras formas de energía, para compensar esa pérdida de energía mecánica es necesario suministrarle energía al sistema para seguir el proceso de cambios de energía. A la manera eficaz de transmitir energía a un sistema mecánico se le llama resonancia. Esto significa que si se transmite energía a la misma frecuencia con que oscila el sistema mecánico real, este aumentará su amplitud compensando la "pérdida de energía mecánica" en el sistema.

Cabe mencionar que la resonancia, es muy importante para entender las causas de algunos incidentes que se han dado, como por ejemplo; recuerdese el famoso puente de Tacoma en E.U.A., que cayó debido a la resonancia producida por el viento. En este sentido, hay que mencionar la hipótesis que se maneja sobre los grandes estragos que causó el terremoto de 1985 en la ciudad de México, gira entorno a la idea de que el valle no tiene un piso duro y al llegar las ondas sísmicas al valle rebotaban con las orillas de suelo duro produciéndose en algunos puntos resonancia, focalizados particularmente en los puntos donde hubo un mayor desastre.

Se debe señalar que la resonancia se estudia en sistemas acústicos, circuitos

eléctricos de corriente alterna y en física atómica, lo que le da mayor importancia para ser considerada al organizar un curso de física a nivel medio.

MAQUINAS MECANICAS

Una máquina mecánica se define; como un dispositivo o sistema físico que permita subir objetos pesados al bajar, en general, otros más livianos por ejemplo: prensa hidráulica, grúas, poleas, ect.. En estos sistemas un objeto tiene energía potencial gravitacional, por lo tanto capacidad para hacer trabajo, y es aprovechada para hacer trabajo sobre un objeto que sube mediante el mecanismo de la máquina¹. Se puede generalizar el concepto y decir que es un sistema con entradas y salidas, en donde no importa explicarnos la forma en que lo hace, esto es pensar como una caja negra, en este sentido como la máquina realiza un trabajo de entrada y de salida estableceremos que el cociente del trabajo de salida $= (W_s)$ entre el trabajo de entrada $= (W_e)$ es la eficiencia de la máquina mecánica, esto es $e = W_s / W_e$.

En este momento, es necesario mencionar que el gato hidráulico es un ejemplo de una máquina cíclica, ya que cada vez que vuelve a la condición de hacer trabajo, se le tiene que proporcionar trabajo para regresar a su posición de inicial de tal manera, que en esta máquina se ilustra muy bien el concepto de ciclo, siendo una condición para hablar de la eficiencia de una máquina. Conviene notar que en una máquina real cíclica puede no conservarse la energía, siendo cíclica en un intervalo de tiempo pequeño.

Se podrá verificar para muchas máquinas mecánicas reales que la máxima eficiencia que pueden alcanzar, es menor que uno y por más que disminuyamos la fricción la eficiencia será menor que uno. Si podemos imaginar máquinas en las cuales no

¹ Algunas personas consideran que hay una diferencia entre máquina y motor, siendo éste último una parte de la máquina; por ejemplo el automóvil es la máquina y la parte donde se quema el combustible y se transforma la energía sería el motor. Esto es la máquina es el dispositivo que proporciona el trabajo útil.

* que en un momento la potencia de salida sea mayor que la de entrada.

48

exista fricción entonces tendremos máquinas con eficiencia igual a uno. Como es claro estas máquinas las llamaremos ideales y en ellas el trabajo de entrada será igual al de salida. En estas máquinas la energía se conserva y por tanto las transformaciones energéticas serán cuasiestáticas y cíclicas, por lo que efectuaran procesos reversibles. A diferencia de las máquinas reales en las cuáles se llevaran a cabo procesos irreversibles.

En este punto, se debe insistir en que la disipación en las máquinas reales se efectúa a través de la fricción cinética, para una explicación del proceso se requiere el uso de un modelo de estructura de la materia, por lo que se cree conveniente introducir el modelo cinético molecular, como un soporte más en la construcción de este edificio.

MODELO CINETICO MOLECULAR

El estudio de la estructura interna de las sustancias nos permite comprender, la gran variedad y diversidad que la materia tiene. La comprensión pasa por desarrollar un modelo que proporcione elementos para la explicación de los fenómenos que observamos en la naturaleza. Para esto se supondrán una serie de hipótesis, que permita interpretaciones coherentes con las observaciones macroscópicas.

Una de las primeras hipótesis es que cualquier sustancia está constituida por moléculas. Las moléculas están compuestas de átomos, si las moléculas no cambian durante el transcurso de algún proceso de la Naturaleza, la sustancia conserva sus propiedades químicas. Si las moléculas cambian su estructura o se descomponen en átomos, surgen otras especies de la sustancia con otras propiedades físicas y químicas.

Formulemos ahora los principios fundamentales de la teoría cinética molecular de la estructura de la sustancia:

- 1) todas las especies de sustancias están constituidas por moléculas entre las cuales existen distancias intermoleculares;
- 2) en cualquier sustancia las moléculas se mueven constante y caóticamente (desordenadamente);
- 3) a pequeñas distancias entre las moléculas actúan tanto fuerzas de atracción, como de repulsión cuya naturaleza es electromagnética.

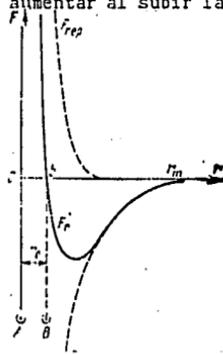
Desde el punto de vista didáctico, cabe mencionar que los estudiantes que hayan asimilado la 1ª Ley de Newton tienen elementos para aceptar el modelo. Es decir si conciben el movimiento continuo sin necesidad de fuerzas.

El papel del modelo cinético en la secuencia es ayudar a formar una imagen molecular, para entender las transformaciones de energía a nivel microscópico, pero insistiendo en que el modelo, no es más que marco para interpretar los cambios a nivel molecular, que con otro modelo también se interpreta la naturaleza.

DIFUSION

Uno de los fenómenos más conocidos en la naturaleza que es explicado por el movimiento caótico de las moléculas es la difusión. Y por difusión entenderemos la nivelación de la concentración de las moléculas de cualquier sustancia en el espacio, condicionada por el movimiento caótico de las moléculas. Por lo antes dicho, que la velocidad media del movimiento caótico de las moléculas aumenta al elevarse la temperatura. Por eso la rapidez de difusión debe aumentar al subir la temperatura.

Fuerzas de interacción molecular.



Se sabe que en la estructura de las sustancias la composición de todas las moléculas hay cargas eléctricas positivas y negativas. Debido a la ley de Coulomb, entre las moléculas ejercen simultáneamente fuerzas de repulsión y fuerzas de atracción. Además, entre las cargas en movimiento de los átomos y las moléculas existe interacción magnética que influye en la resultante de las fuerzas de repulsión y atracción de las moléculas. Estas fuerzas determinan la configuración de la sustancia y por lo tanto la energía cinética traslacional y potencial de las moléculas. En este sentido se considera que la energía potencial de una molécula separada, que no interacciona con otras, es igual a cero. Entonces, al interaccionar dos moléculas, la energía condicionada por las fuerzas de repulsión, será positiva; y por las de atracción, negativas ya que al acercarse, las moléculas deben ejercer determinado trabajo para vencer las fuerzas de repulsión, mientras que al contrario, las fuerzas de atracción realizan trabajo. La energía potencial de las moléculas depende de la distancia de separación entre las moléculas, si consideramos sólo dos moléculas habría una configuración estable a cierta distancia R_0 (la resultante de las fuerzas moleculares es igual a cero), siempre y cuando las moléculas no tuvieran energía cinética, a una distancia mayor que R_0 la energía potencial de interacción sería de atracción, a menor, la energía potencial es de repulsión. Entonces para alejar una molécula de otra hay que hacer trabajo, igual a la magnitud E_{min} , para vencer las fuerzas de interacción de las moléculas. Debido a que, en realidad, las moléculas poseen siempre energía cinética, la distancia entre ellas varía ininterrumpidamente y puede ser mayor o menor que R_0 . Si la energía cinética es menor que E_{min} la molécula se mueve alrededor de R_0 , si es mayor que E_{min} , la distancia entre las moléculas puede crecer de manera indefinida.

Cuanto más alta es la temperatura de un cuerpo la energía cinética de las moléculas es mayor y esto provoca un aumento en la distancia media de las moléculas. Esto explica la dilatación de los cuerpos sólidos y líquidos, al calentarlos además de la difusión.

TEMPERATURA

Reconociendo las sensaciones fisiológicas que el hombre tiene cuando toca los cuerpos, podemos decir que la magnitud que caracteriza el grado de calentamiento de un cuerpo, se le da el nombre de temperatura de dicho cuerpo. Aunque en realidad la sensación de frío y caliente tiene que ver con la rapidez (potencia) con que el objeto cede o recibe calor de nuestra piel, la intensidad del calor (potencia /área). Otra manera de definir la temperatura es señalando como se mide, esto es dando una definición operacional; para lo cual diremos que el valor marcado en el termómetro en una escala determinada es la temperatura del cuerpo. Desde el punto de vista del modelo cinético molecular hace ver que la temperatura (variable intensiva) de todo cuerpo se interpreta como la energía cinética de traslación media de sus moléculas. La interpretación de la temperatura de acuerdo al modelo cinético molecular consiste en lo siguiente: cuanto más alta es la temperatura de un cuerpo, tanto más energía cinética traslacional corresponde, por término medio, a una molécula del mismo. Por tanto, para calentar un cuerpo es necesario comunicarle cierta energía, y para enfriarlo, quitarle ésta de acuerdo al modelo cinético molecular.

Por otra parte, ya que la energía cinética depende del cuadrado de la velocidad de la molécula, es claro que debe existir una relación entre los cambios de

temperatura y los cambios de velocidad de las moléculas, la velocidad media del movimiento del centro de masa de las moléculas aumenta al calentar el cuerpo, y disminuye al enfriarlo. Aquí convendría hacer una aclaración, se dice que calentamos un cuerpo siempre que éste aumente su temperatura y en los cambios de fase donde no aumenta la temperatura, en un recipiente abierto, le comunicamos energía (calor) pero no calentamos.

Debemos tener cuidado con la definición de temperatura a partir de la teoría cinética, ya que es posible aplicarla al caso de los gases, pero generalizarla para los sólidos no resulta tan evidente. Esto no quiere decir, no usarla sino hay que señalar su contexto, porque cuando se revisa a nivel cuántico² la energía ya no es proporcional a la temperatura de ahí que no es posible seguir sosteniendo la definición de temperatura establecida en el modelo cinético. Obviamente que desde el punto de vista termodinámico es más difícil aceptar la definición de temperatura dada en el modelo cinético ya que es incompatible, pero una discusión con los estudiantes sobre estas incongruencias serían abstractas para estudiantes de nivel medio.

CONCEPTO DE ENERGIA INTERNA DE UN CUERPO

Las moléculas de un cuerpo poseen energías cinética y potencial. Los átomos dentro de las molécula y a los electrones en el átomo, también, se les asocia energía cinética y potencial, la que se llama energía química atómica. Se sabe que en las reacciones nucleares (fusión y fisión) pueden liberar una enorme energía, llamada energía nuclear (mal llamada atómica, en particular, cuando se refiere a la bomba atómica en vez de bomba nuclear). En la secuencia, la energía interna de un cuerpo es la suma de las energías cinética y potencial de todas las partículas.

² Ver el artículo de R. Balerlein, *The meaning of Temperature*, *The physics Teacher*, October 1990.

Resulta que dentro de un cuerpo, entre sus partes, siempre tiene lugar intercambio de energía, pero por falta de acciones externas su energía interna queda invariable. La energía interna de un cuerpo se determina sólo por su estado, es decir es una función de las variables que determinan el estado, y no depende de que forma dicho cuerpo ha pasado a tal estado. Por eso a la energía interna de un cuerpo se le da el nombre de función de estado. Se llama sistema cerrado aquél cuyo energía interna queda invariable. Considerando la energía para un sistema de partículas que interaccionan:

$$E = E_{int} + E_{cm}$$

$$E = E_1/2mv^2 + EU_{int} + 1/2(\sum m_i)v_{cm}^2$$

donde los dos primeros términos es toda la energía que se ve en el marco de referencia fijo al centro de masa.

También hay que notar lo extendido del término energía térmica, en los libros de texto, para la energía cinética traslacional de las moléculas haciendo ver que sólo esta parte de la energía interna interviene en las interacciones (aumento de temperatura) creemos que esto no es conveniente, porque en los casos de un cambio en el estado de agregación existe un cambio en la energía interna (energía potencial) y la temperatura permanece constante lo que implicaría que la "energía térmica" no cambie, lo cual crea una confusión al no darle nombre a estos cambios de energía potencial. Por otra parte, es muy común decir que hay un flujo de calor cuando existe un intercambio de energía térmica, lo que nos es correcto dado los flujos de calor en los cambios de agregación en los cuales la energía térmica permanece sin alteración. Motivo por el cual preferimos decir que existe un cambio en la energía interna cuando hay un aumento en la temperatura y cambios de agregación.

CAMBIOS DE AGREGACION. MODELO CINETICO MOLECULAR Y DIAGRAMAS DE ENERGIA

Una misma sustancia puede encontrarse en estado sólido, líquido y gaseoso, que con frecuencia se denominan estados de agregación, por ejemplo el hielo, el agua y el vapor de agua. Resulta que el estado de agregación está relacionado íntimamente con la magnitud de la energía interna por una unidad de masa de la sustancia. En estado líquido esta energía es mayor que en el sólido, mientras que en estado gaseoso es mayor que en el líquido.

Por lo cual el paso de un estado de agregación de una sustancia a otro tiene que estar relacionado con el cambio de energía interna de dicha sustancia. Desde el punto de vista del modelo molecular se puede explicar lo que sucede al aumentar la energía interna de la sustancia. Para ello, se debe analizar las curvas de potencial de dos moléculas, que determina la energía potencial de éstas en función de la distancia r entre ellas, ver figura b.

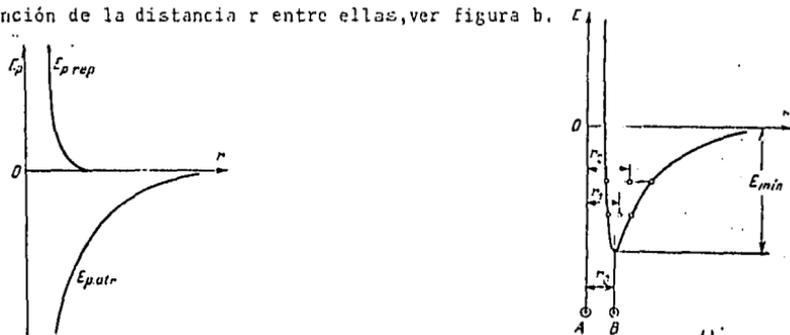


FIGURA 8. a) Energía potencial de repulsión y de atracción de dos moléculas en función de la distancia entre ellas; b) resultante de la energía potencial de interacción entre dos moléculas.

Si no hubiera energía cinética, las moléculas se habrían dispuesto a una distancia r_0 , correspondiente a un equilibrio estable, ya que en este caso la resultante de las fuerzas de interacción molecular es igual a cero, figura de abajo. Sin embargo las moléculas se mueven y la distancia cambia constantemente. Cuando la energía cinética del movimiento traslacional de una molécula E_c es pequeña, entonces la

FIGURA 9. Considerando dos moléculas A y B; en la figura se muestran la gráfica de las fuerzas moleculares resultantes que actúan sobre la molécula B, en dependencia de la distancia r entre las moléculas A y B.

molécula efectúa un movimiento vibratorio. Su energía cinética se transforma en potencial, y viceversa.

Puesto que a la izquierda de r_0 , la curva de potencial asciende bruscamente y a la derecha, más suavemente, la distancia media r_1 , entre las moléculas se hace mayor que r_0 .

Al calentar la sustancia, crece la energía cinética media del movimiento de traslación de las moléculas, y junto con ella, la distancia entre ellas. En la figura b, r_2 corresponde a la temperatura de la sustancia T_2 , r_1 , a la temperatura T_1 . Aquí $T_2 > T_1$, así pues al calentarse la sustancia se dilata, al enfriarse se comprime. Aunque existe un caso particular el agua de 0° a 4°C que en lugar de dilatarse se comprime a esto se le llama el efecto anómalo del agua. Mientras la energía cinética traslacional de las moléculas sea menor que $E_{\text{máx}}$, las moléculas sólo vibran y la sustancia permanece en estado sólido. Durante el aumento de la energía interna E_0 se aproxima a $E_{\text{máx}}$, la sustancia pasa al estado

líquido, ya que aquellas moléculas, en las que E_a resulta menor que E_{mzn} , siguen vibrando, en tanto que en las que E_a es mayor que E_{mzn} pasan a una nueva posición, es decir, la sustancia se hace fluida. Cuando se aumenta más la energía interna, E_a sea mucho mayor que E_{mzn} , la sustancia pasa al estado gaseoso, debido a que las fuerzas de interacción molecular no pueden mantener una molécula cerca de otra.

Por tanto, si $E_a \ll E_{mzn}$, la sustancia es sólida; si $E_a = E_{mzn}$, la sustancia es líquida; si $E_a \gg E_{mzn}$, entonces la sustancia es gaseosa.

TRABAJO Y ENERGIA INTERNA

Recordemos, que por energía interna de un cuerpo se entiende la suma de las energías cinética y potencial de todas las partículas del cuerpo y de la energía atómica o química y nuclear de sus átomos: ¿qué energía no forma parte de la energía interna de un cuerpo?

Por ejemplo, tomemos a la Tierra como dicho cuerpo, es conocido que la Tierra y el Sol forman un sistema debido a la atracción gravitacional entre ellos, además la Tierra se mueve en una órbita alrededor del Sol; respecto a él la Tierra posee energía potencial y energía cinética. Esta energía no forma parte de la energía interna de la Tierra, puesto que está relacionada con un cuerpo fuera de ella. Por tanto, en la energía interna de un cuerpo no se incluyen las energías cinética y potencial de este cuerpo respecto de todos aquellos cuerpos situados fuera de él.

En la mayoría de los casos no sabemos calcular la energía interna. Sin embargo, para resolver casos prácticos, el papel central no es en sí la energía interna sino el cambio ^{de ella}, es decir la diferencia entre sus valores al comienzo y al final de uno u otro proceso. Y para ello no es necesario conocer el valor numérico de la energía interna. "Puesto que todos los fenómenos dependen de las

variaciones de la energía del cuerpo y no de su valor total, es innecesario, aun cuando fuera posible, hacer culaquier estimación de la energía del cuerpo en su estado normal"¹.

Con base en la ley de la conservación de la energía podemos afirmar que la transformación de la energía interna de un cuerpo siempre está relacionada intimamente con su interacción con otros cuerpos y con el medio circundante.

En ciertos casos, al conocer qué cantidad de energía pierden o reciben durante la interacción estos cuerpos y el medio circundante, se determina la variación de la energía interna del cuerpo. En otros, según la variación de la energía interna del cuerpo se calcula la cantidad de energía recibida por el medio circundante y otros cuerpos que tomaron parte en la interacción.

Al serrar leña con una sierra, ésta se calienta, taladrar una pieza metálica, ésta junto con la broca se calientan mucho. Más ejemplos de este tipo y otros se pueden mencionar pero la característica principal es que cuando se realiza trabajo mecánico W destinado a ^{equilibrar} el rozamiento, los cuerpos se calientan, es decir, aumenta su energía interna. Para estos casos, tiene lugar la transformación de la energía mecánica de los cuerpos (que no forma parte de su energía interna) en energía interna, lo que se acompaña con el calentamiento de los cuerpos.

ENERGIA DE COMBUSTION

La energía interna tiene tres niveles en que se presenta en un cuerpo, molecular, químico (atómico) y nuclear. Como sabemos, las moléculas constan de átomos y descomponerlas en átomos se necesita realizar trabajo para vencer las fuerzas de atracción entre estos, es decir, consumir energía.

El efecto contrario, agrupar átomos en moléculas desprende energía por lo que la formación de moléculas y división necesita de energía para llevarse a cabo; este

¹ cita tomada de Maxwell James C., Materia y Movimiento, Serie ciencia y técnica editado por I.P.N., México, 1987.

se produce a nivel químico, en el caso de la combustión los átomos se combinan para formar otros compuestos por lo que hay un desprendimiento de energía. A las sustancias que tienen la propiedad de combinarse con oxígeno mediante la combustión se llaman combustibles; los usuales son el petróleo, carbón, gasolina, alcohol etc. que en general contienen carbono. En la combustión los átomos de carbono se unen con los del oxígeno del aire, particularmente se unen un átomo de carbono con dos átomos de oxígeno formando la molécula de óxido de carbónico (la energía de combustión no puede asociar a la energía potencial química del combustible; en todo caso al sistema combustible más oxígeno baste recordar los experimentos con la bomba calorimétrica). Durante la combustión se libera energía la cual se puede estimar al variar la energía interna del agua cuando utilizamos la combustión para calentar a está; calcular la energía suministrada al agua, se puede realizar tomando en cuenta la capacidad térmica específica del agua. Llamaremos energía específica de combustión a la cantidad de calor que se desprende al quemar por completo 1 kg. del mismo. Es importante notar que esta energía aparecida en la combustión, sólo se da cuando la reacción química es llevada a cabo y no antes de efectuarse. Determinar la energía proporcionada por los combustibles, sólo puede realizar por métodos experimentales en la tabla se muestra algunos valores de la energía específica de combustión (en j/kg).²

leña seca 1.0×10^7

carbón pardo 1.3×10^7

alcohol 2.7×10^7

coque 2.9×10^7

gas natural 4.4×10^7

gasolina 4.6×10^7

² Datos tomados de A.V. Piórisshkin N.A. Ródina, Física I
U.R.S.S., Ed. Mir-Moscú, 1986

Con el fin de calcular la cantidad de calor Q que se desprende al quemarse por completo una masa cualquiera de combustible m , hay que multiplicar su energía específica de combustión q por la masa del combustible que se quema $Q=q*m$

POTENCIA

Aquí consideraremos la potencia, en general potencia media, como la energía transmitida por la unidad de tiempo; es decir $P=\Delta E/t$ en donde la energía se expresara en joules y el tiempo en segundos de lo cual las unidades de la potencia serán los watts.

También, es posible determinar la eficiencia de una máquina utilizando el concepto de la potencia. Que además en la realidad así es como se mide la eficiencia y no usando los trabajos de entrada y salida, como se había definido antes. Por lo que la $e=P_s/P_e$ y de la misma manera se puede expresar en porcentajes, hay que hacer notar que la eficiencia es una cantidad adimensional esto es sin unidades.

Se puede calcular la potencia de un foco midiendo el tiempo que tarda en calentar una masa conocida de agua y usando la expresión $\Delta EI=4.2 *M*\Delta T$, conviene aclarar que $\Delta T(^{\circ}C)=\Delta T(^{\circ}K)$, en el capítulo siguiente, se mostrará como se obtiene a partir de un experimento, con un prototipo, que es una variante del experimento del joule. Esto significa que para determinar la potencia del foco usaremos métodos calorimétricos; es decir analizando el intercambio de calor entre el foco y otro sistema para el cual medimos la temperatura y se conoce su capacidad térmica específica, por simplificar la sustancia que se maneja constantemente es el agua. Con esto se quiere señalar que podemos calcular la potencia de un foco calentando agua, sin necesidad de medir el voltaje y la corriente que circula por el foco.

De la misma manera si quisieramos determinar la potencia del Sol o mejor dicho la intensidad, basta que calentemos agua utilizando el metodo anterior, esto es

medir el tiempo de exposición de una masa de agua en un recipiente a la energía radiada por él, además midiendo la superficie donde llegan los rayos del sol es factible encontrar la intensidad de radiación solar.

CAPITULO III

Resumen:

En este capítulo se describirán las actividades experimentales que sirven para desarrollar la secuencia, una buena parte de los experimentos tienen un carácter cualitativo y los cuantitativos son reproducibles en las condiciones planteadas, a pesar de que en su diseño se han utilizado materiales de bajo costo.

Por lo que hace a los experimentos donde se dan resultados típicos, salvo el calentador mecánico, pueden diferir si se realizan con otras condiciones porque hay variables que no se controlan fácilmente, pero lo más importante en ellos es la conceptualización a partir del esquema desarrollado en el capítulo anterior. En donde el análisis energético juega el papel primordial.

A lo largo del desarrollo experimental se dan sugerencias sobre experimentos o incluso alternativas que presentan el mismo marco de interpretación. No es repetitivo señalar que los experimentos forman niveles, en el sentido de que en ciertos momentos sólo sirven para inferir conclusiones, obtener fórmulas empíricas y otras veces se utilizan como comprobaciones de predicciones hechas antes; es decir permiten construir conceptos y modelos, así como muestran el poder predictivo de la Física.

TRABAJO Y ENERGIA:

En las actividades experimentales propuestas en esta sección, la mayoría tiene un carácter cualitativo que ilustran las principales ideas que se manejan en el desarrollo conceptual.

Se menciona a los estudiantes, que los humanos durante sus actividades gastan energía y comparar esos gastos nos lleva a la necesidad de definir el trabajo como una medida del consumo de energía. Se restringe el cálculo del trabajo aquel que consiste en subir objetos pesados, que nos permite abordar, rápidamente la Termodinámica, se dice que se hace trabajo cuando sube un objeto a cierta altura. Para este punto se define el joule de manera operacional; es decir con un dinamómetro graduado en newtons se levanta un objeto de 1 newton de peso a 1 metro de altura a velocidad constante, por lo que se dice que se ha hecho un joule de trabajo. También es posible con el mismo dinamómetro levantar objetos a diversas alturas, con el fin de medir el trabajo realizado. Es importante mencionar que sólo se utilizará el sistema internacional de unidades dado que esa es la tendencia y parece más útil manejarlo desde el principio para evitarse complicaciones de conversión de unidades.

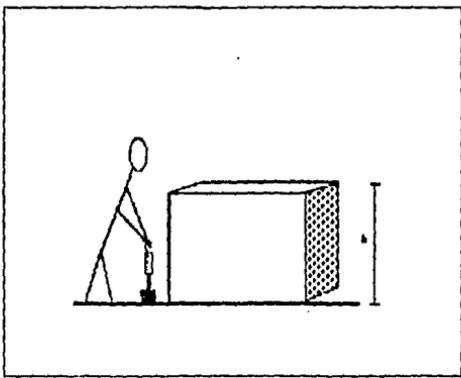


Figura 1 En ella se muestra a un muchacho levantando un objeto,

Figure 1

con un dinamómetro, a cierta altura es decir ha hecho trabajo, el trabajo lo hace a $v = cte.$

ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Para introducir este concepto se sugiere utilizar un sistema de una polea fija como se muestra en la figura.

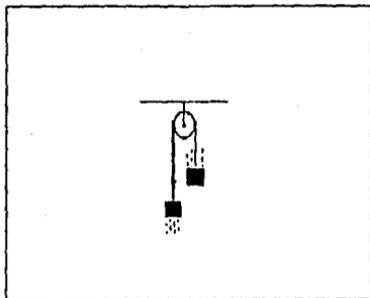


FIGURA 2. Con una polea fija

se introduce el concepto de energía potencial gravitatoria, la pesa de un que se encuentra en la parte superior tiene la capacidad de subir otra pesa; es decir hace trabajo.

donde uno de los objetos baje y el otro suba. Interpretando que el objeto que baja hace trabajo sobre el otro, sólo en este sentido restringido es válido hablar de que la energía potencial gravitacional es la capacidad de hacer trabajo debido a su posición ya que puede subir otro objeto; y el cambio de la energía potencial del objeto es igual al trabajo para subir al otro, $\Delta EPG = W$ es posible hacer ver que esta relación es válida independiente de la posición del sistema con respecto a la superficie de la tierra, se puede repetir el experimento sobre la mesa del laboratorio o en el piso del salón de clases y con ello revisar la referencia para medir la EPG. Es importante señalar que la ecuación anterior será la ecuación puente para pasar de la Mecánica a la Termodinámica, en vez del teorema del trabajo y la energía mencionado en los textos ($F \cdot dr = \Delta mv^2/2$), en el caso considerado, elevar objetos con $v = \text{cte.}$ el trabajo neto es igual a cero y el trabajo en cuestión a que se hace referencia es el realizado en contra de la fuerza gravitatoria.

Para generalizar el concepto de energía potencial gravitacional a energía de configuración del sistema se ilustra mediante la siguiente actividad, con un tubo de ensaye o un tubo de pvc transparente se colocan dos imanes cilindricos dentro del tubo puestos de tal manera que se atraigan que al separarlos se tiene que hacer trabajo pero es posible recuperarlo dejandolos juntarse otra vez, de manera análoga se comporta el sistema pesa-tierra de la actividad anterior, sea dicho de paso que la energía potencial es energía de interacción de un sistema. Puestos los imanes en posición de repelerse se juntan y se dejan que separen para introducir el concepto de energía potencial elástica ya que su comportamiento es semejante al de un resorte y esta energía se asocia a la deformación del mismo.

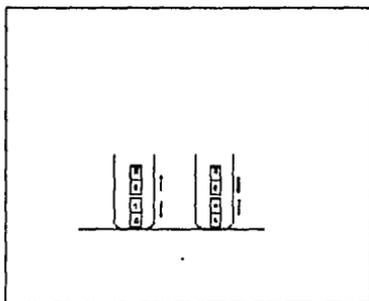


FIGURA 3. Se utiliza un par de imanes en repulsión y atracción, como una analogía para introducir el concepto de energía potencial como energía de interacción, de la misma manera se comporta el sistema formado por el objeto y la tierra.

En este sentido, la energía potencial gravitacional se puede reinterpretar como energía del sistema formado por la tierra y la piedra.

ENERGIA MECANICA

Aquí se hará ver la existencia de otras formas de energía mecánica mediante el análisis cualitativo de algunos sistemas mecánicos. El siguiente paso es inferir la existencia de la energía cinética traslacional, para ello se propone el uso

de un lanza proyectiles o bien una pistola de dardos. Aquí el análisis se lleva a cabo haciendo ver, que justo, en el momento que el resorte deja de actuar el proyectil todavía no adquiere EPG pero que después llega una altura. Entonces se infiere que el movimiento del proyectil debe tener una energía que puede desarrollar un trabajo, está energía debido a su movimiento la llamaremos ENERGIA CINETICA TRASLACIONAL, que abreviaremos como ECT.

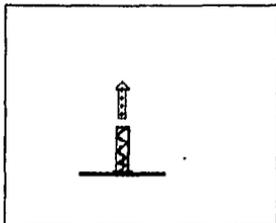


FIGURA 4. Se muestra un lanza proyectiles de resorte, en donde analiza el movimiento del proyectil para introducir el concepto de energía cinética traslacional.

Otro ejemplo es el experimento del clavo-pilón en donde la ECT del pilón es convertida en trabajo para hundir más el clavo.

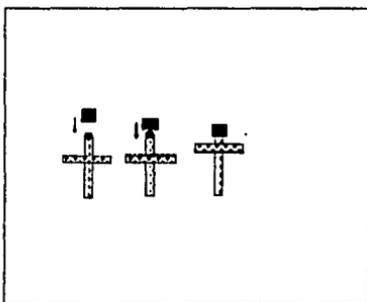


FIGURA 5. Con el sistema clavo pilón se muestra la transformación de ECT y EPG, otro ejemplo de un sistema mecánico en donde se da esa transformación de energía.

66

Con el disco de Maxwell se puede hacer un análisis energético, de forma que se infiera la energía cinética rotacional (ECR), aunque es común en los programas de nivel medio no hacer referencia a este tipo de energía, creemos que en esta presentación es posible hacer un análisis cualitativo, dado que la expresión para la ECR ($\frac{1}{2}I\omega^2$) requiere de más conceptos. Es claro que en este disco existen tres tipos de transformación de energía mecánica, EPG, ECT y ECR.

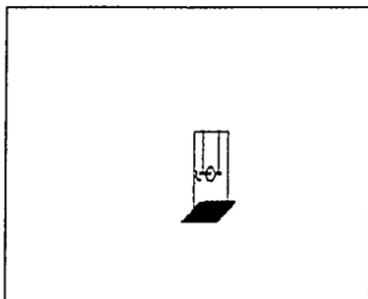


FIGURA 6. Aquí se muestra un disco de Maxwell usado para introducir el concepto de energía cinética rotacional, haciendo que el disco baje una cierta altura, pero al desenredarse el hilo tiene la posibilidad de volver a subir, dándose transformaciones de energía.

Como ejemplo de las transformaciones de energía en un sistema mecánico, se propone estudiar el péndulo simple, donde las transformaciones de energía son de EPG a ECT y a EPG; aquí hay que hacer notar la dificultad para un análisis, desde el punto de vista de las fuerzas, si se le pide a estudiantes de nivel medio es extremadamente complicado que lo hagan. La importancia de este experimento se encuentra en la posibilidad, de forma intuitiva, de sugerir la conservación de la energía, es decir el hecho de que el péndulo regrese a su posición original en repetidas ocasiones durante mucho tiempo, de tal forma que mantenga la misma energía, en este sentido, se puede plantear que la energía siempre cambiará de EPG a ECT y viceversa, manteniendo su valor inicial. En un proceso de abstracción

el estudiante se puede imaginar que si eliminamos la fricción este sistema no dejaría oscilar de un lado a otro. Es decir que la energía se conservaría en los sistemas mecánicos si no hubiera fricción. Este caso es un ejemplo, de un sistema mecánico cíclico donde la energía se conserva y por lo tanto reversible.

Se destaca más lo cíclico que lo periódico, ya que en termodinámica a donde se extenderían estos conceptos no se maneja el tiempo como variable.

Analizar las transformaciones de energía en el péndulo y su conservación nos da pie a discutir la reversibilidad del sistema, si se toma una película (o un video) no hay manera de saber, al verlo, si "corre hacia adelante" o "corre hacia atrás", haciendo ver que la reversibilidad de un sistema depende de que en ese, la energía se conserve. En este momento se entiende como energía a la suma de EPG y ECT y cuando decimos que se conserva esta suma es una constante. Nótese que puede prescindirse aquí de la expresión de $\frac{1}{2}mv^2$ y la $ECT = E_{total} - EPG$ (dado $EPG = 0$ en el punto más bajo de la oscilación).

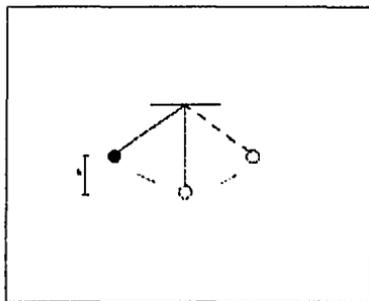


FIGURA 7. La lenteja de un péndulo se suelta desde una

altura h , medida a partir de su posición de equilibrio; se recurre a la intuición de los estudiantes para inferir que el péndulo no dejará de oscilar si pudieran suprimir los agentes disipativos.

Un experimento alternativo que permita la discusión anterior es un péndulo con una varilla que sirve como obstáculo al movimiento de la pesa, como se muestra en la figura.

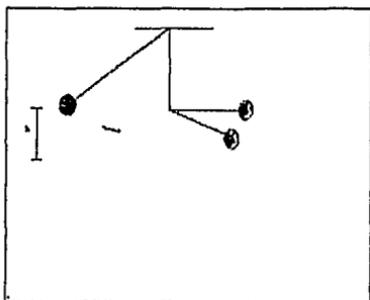


FIGURA 8. En este caso el obstáculo, permite que el estudiante transfiera la idea de conservación a otra situación análoga.

Sistema masa-resorte en este caso es conveniente usar un resorte suave y colocarlo en posición vertical como se muestra en la figura.

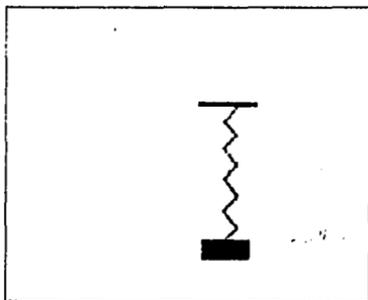


FIGURA 9. Otro ejemplo más para sugerir la conservación en los sistemas mecánicos es el sistema masa resorte.

En este experimento se sigue la misma lógica que en el péndulo sólo que en este sistema debemos agregar la EPE del resorte, es otro ejemplo de un sistema cíclico que bajo ciertas condiciones límite es reversible y se cumple con la conservación de la energía mecánica. Sólo que aquí la energía es la suma de la EPG, ECT, más la EPE.

Péndulo de Wilber-Force.

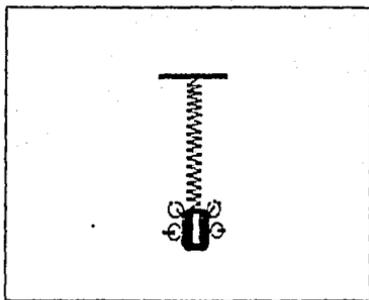


FIGURA 10. Este sistema mecánico tiene la particularidad de que en él se pueden encontrar las cuatro formas de energía mecánica, al jarse el resorte la pesa empieza a subir y bajar, y llega un momento en que gira para después volver a subir y bajar.

En este sistema se presentan todas las formas de energía mecánica: es decir la EPG, ECT, EPE y la ECR y a la suma de ellas le llamaremos energía mecánica, esto es, $EM = EPG + ECT + EPE + ECR$ que del mismo modo se infiere su conservación en estos sistemas cíclicos.

Por otra parte, con la manipulación del sistema es fácil ver la relación de la distribución de la masa (momento de inercia) con el periodo de rotación.

En los sistemas anteriores se realizó un análisis cualitativo de las transformaciones de energía en los sistemas cíclicos cuyo objetivo es inferir la conservación de la energía mecánica de manera intuitiva, sin utilizar algún teorema, el método es resaltar la observación de los sistemas mecánicos. En el apéndice A se realiza un análisis de las condiciones bajo las cuales se da la transformación de energía.

PENDULOS ACOPLADOS

En la figura se muestra un esquema de dos péndulos que están acoplados por una masa, que en este caso, es una tuerca común y corriente. (Por cierto la construcción del sistema se debe a tres estudiantes, de la preparatoria del plantel cuatro).

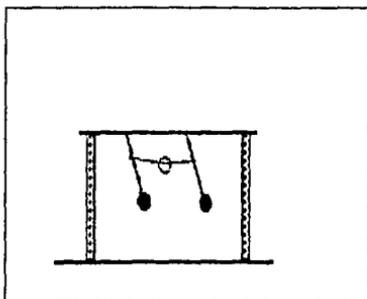


FIGURA 11. En este sistema mecánico, se muestra claramente la transmisión de energía mecánica, idea que es útil para otros temas. Un péndulo se pone a oscilar y después de un cierto tiempo se para y el otro péndulo empieza a oscilar y viceversa, hasta que después de un largo rato se paran.

El nombre técnico con el cual se le puede encontrar en la literatura es el péndulo de Oberfeld, para este, también la solución analítica no es sencilla y se requiere resolver ecuaciones diferenciales, que para nuestro objetivo no importa saber cómo hallar la respuesta. La importancia de este dispositivo en la secuencia se debe a que en este sistema es claro cómo la energía mecánica de un péndulo se transmite al otro, y los péndulos permanecen oscilando durante largo tiempo. Para el nivel medio superior, nos bastan los aspectos cualitativos, que son los que vamos a discutir con los estudiantes.

En este sentido, interpretando las conversiones de energía en la oscilación del péndulo; sabemos que la EPG se transforma en ECT y viceversa, salvo que

un tiempo después, este péndulo tiene oscilaciones cada vez menores y en cambio el otro péndulo empieza a oscilar con una mayor amplitud alcanzando casi el tamaño de las amplitudes del primer péndulo.

Considerando la conservación de la energía es posible explicar que la energía mecánica perdida por el primer péndulo, es transmitida al otro péndulo ya que este empieza a oscilar dado que la energía no se puede crear, en estos instantes se manifiesta una característica más de la energía y es que se puede transmitir. De aquí se desprenden una serie de preguntas como la siguiente ¿la energía se puede transmitir por otros mecanismos diferentes de los mecánicos, que requieren un medio elástico?, ¿existirá alguna forma eficiente de transmitir la energía de un sistema mecánico a otro?, ¿cuáles son las condiciones bajo las cuales se puede transmitir la energía?.

En este momento de la secuencia experimental, un factor en los análisis de los experimentos es la disipación de la energía, que es un elemento a considerar, en los sistemas mecánicos anteriores cuando se hacen los balances de energía. Por ejemplo, en el caso de los péndulos acoplados la energía mecánica, aunque se disipa, es claro que el otro péndulo adquiere la energía, haciendo ver que la energía se conserva a pesar de las transformaciones que sufra en el sistema: esto es, cuando hablemos de pérdida de energía estaremos pensando en una transformación de energía en formas no conocidas.

CALCULO DE LA ECT, ECR, EPE.

En el desarrollo de la secuencia no se menciona de manera explícita la ecuación para calcular la ECT, pero no es indispensable durante el proceso experimental, en esta sección se muestra, cómo mediante arreglos experimentales se pueden calcular estos tipos de energías. El elemento teórico es la conservación de la energía de tal manera que cualquier forma de energía mecánica se puede transformar a EPG, es decir que con un arreglo

experimental adecuado la ECT es aprovechada para levantar objetos y se calcule el incremento de EPG del objeto levantado, ya que por la conservación esta tiene el mismo valor que el decremento de ECT. Un arreglo posible se muestra en la figura

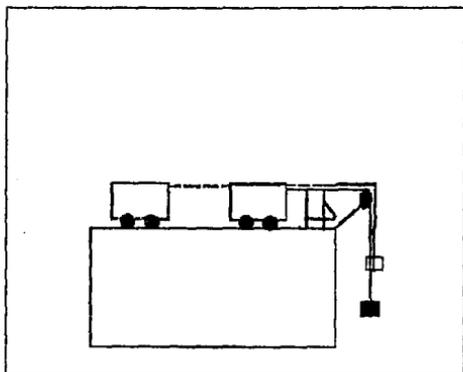


FIGURA 12. Se

muestra un posible arreglo para estimar la ECT de un carrito en movimiento, este levanta un objeto al variar su movimiento; es decir hace trabajo a consta de su cambio de movimiento. Este método de transformar para medir es la esencia de la secuencia.

Con este mismo arreglo se jala un bloque de madera de forma que se mueva con velocidad constante. En la figura es mostrado el arreglo

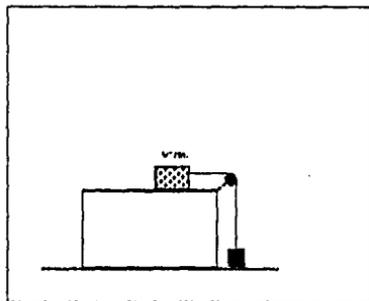


FIGURA 13. Esta experiencia es importante, ya que el cambio de la EPG de la pesa, hace trabajo que se disipa por la

fricción entre la superficie y el bloque de madera, no hay variación de la ECT.

Este caso es particularmente, importante dado que si lo analizamos desde el punto de vista de la energía no hay variación de la ECT pero la pesa perdió EPG, esto es el bloque no adquirió ECT de lo cual se deduce que el trabajo neto vale cero. Aplicando el teorema del trabajo y la energía, de la mecánica, a esta cuestión conduce a una situación difícil dado que el trabajo hecho se transforma en energía interna, lo cual no es considerado en dicho teorema. Este problema ha llevado a diversos autores a pensar en la limitación del teorema para el caso de cuerpos rígidos y para cuerpos deformables ya que sólo es aplicable a partículas¹ (e incluso esto ha obligado a definir nuevos conceptos como el de pseudo-trabajo y la pseudo-energía que es la energía con respecto al centro de masa), dado que no da cuenta en la transformación de la EPG en energía interna del bloque y de la superficie. La ventaja de la secuencia es que el enfoque de sistemas no conduce a dichas contradicciones. Otro ejemplo es el péndulo en el cual se estima la ECT en el punto más bajo de la trayectoria, en donde se escoge que EPG=0, sabiendo previamente la EPG que tenía antes de ser soltado.

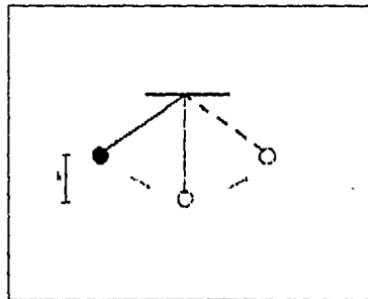


FIGURA 14 Una vez más se utiliza el péndulo, aunque en esta ocasión para introducir el concepto de resonancia. Para haya resonancia se debe proporcionar energía al péndulo a la frecuencia de oscilación del péndulo.

¹ A. John Mallinckrodt and Harvey S. Leff, All about work, Am. J. Phys., 60(4), April 1992.

Este montaje experimental nos puede servir para introducir a los estudiantes al tema de resonancia, los antecedentes de ello son los péndulos acoplados analizados como un sistema donde transmite la energía, y surge de forma natural al plantearnos la siguiente pregunta ¿dado que la energía se disipa en los sistemas reales como es posible mantenerlos en movimiento indefinidamente?

La respuesta es dándole energía al sistema, lo importante del péndulo es mostrar que existe una manera eficaz de proporcionarle energía acoplado la frecuencia del péndulo con la de transmisión de la energía, a esto se le llama resonancia. En otro tema se puede usar un resorte y una pesa de forma que las amplitudes se hacen cada vez más grandes en la medida que le transmitimos energía al sistema masa resorte.

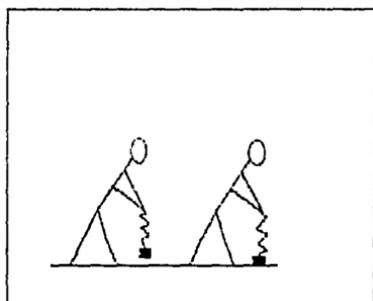


FIGURA 15. En la figura se muestra la manera en que se puede ilustrar la resonancia usando un resorte del cual cuelga una pesa, al transmitirle energía a la frecuencia de oscilación del resorte se tienen cada vez, amplitudes más grandes.

Para la EPE se usa el mismo método que con la ECT, para ello se utiliza un lanza proyectiles, se mide la altura a la que llega el proyectil y de ahí se calcula la EPE. En la figura se muestra un dispositivo que ilustra lo dicho.

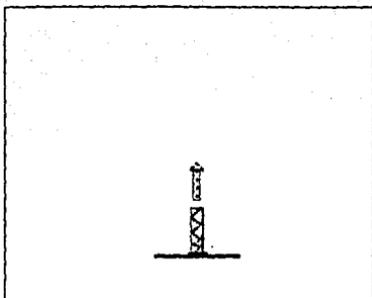


FIGURA 16 Con un lanza proyectiles se puede estimar la EPE, midiendo la altura alcanzada por el proyectil, de esta manera se sabe cuanto cambio la EPG.

Un experimento que sirve para comparar la ECR, es dejar caer un balin por un plano inclinado de forma que rueda sin resbalar, con la ECT de un disco de baja fricción que es dejado caer al mismo tiempo que el balin, ver figura, muestra como el disco le gana la carrera debido a que el balin transforma su energia potencial en ECR y ECT, a diferencia del disco cuyos cambios son de EPG a ECT.

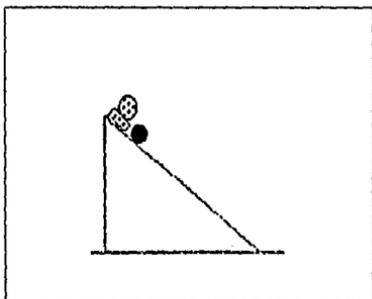


FIGURA 17. En la figura se muestra un experimento interesante para hacer ver a los estudiantes que un objeto en movimiento puede tener dos tipos de energias ECT y ECR, en este caso el balin al rodar y trasladarse tiene esos tipos de energia.

Un ejemplo más el que una rueda de bicicleta levante un objeto a través de un hilo y con ello calcular la ECR de la rueda, en este caso.

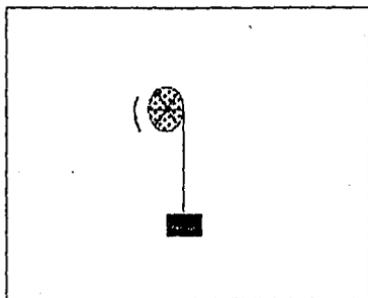


FIGURA 18. Con un rin

de bicicleta es posible estimar la ECR, haciendo subir un objeto al frenarse la rotación de la rueda.

Los experimentos anteriores muestran el método que se utilizará para medir diferentes formas de energía, a pesar de no conocer explícitamente la expresión matemática, esto es calcular algún tipo de energía implica buscar un dispositivo que nos permita transformar esa a subir objetos y con el argumento de la conservación determinar su valor. De manera sintética transformar para medir.

MAQUINAS MECANICAS

Se define las máquinas mecánicas como aquellas máquinas que nos permiten subir objetos haciendo que otros bajen: ejemplos de estas máquinas son grúa, gato hidráulico, elevador, polea, polea móvil, palancas y tornos.

En este momento se usan como cajas negras, de manera que puedan pensar como dispositivos con entradas y salidas para definir la eficiencia de una máquina. Es oportuno mencionar que en la secundaria el enfoque de máquinas se centra en la ventaja mecánica y aquí en este trabajo se presenta como eficiencia,

Para el caso de palanca y la polea se han medido los trabajos de entrada y

salida, de donde se obtienen eficiencias del orden del 96 al 98%, expresadas en tanto por ciento. En la figura de abajo se muestran dos máquinas de los cuales se ha calculado su eficiencia:

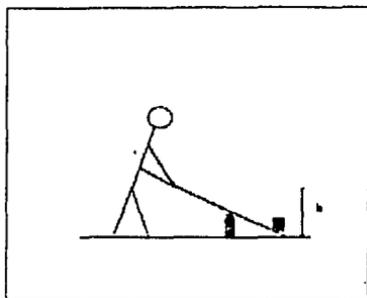


FIGURA 19. En este momento la polea es

estudiada desde otro punto de vista, aquí se utiliza como un ejemplo de una máquina mecánica, la cual tiene una eficiencia de 97%, en la misma situación se encuentra la palanca que se maneja también como máquina, la palanca con brazos iguales, para evitar hablar de torcas.

Es interesante medir la eficiencia del gato hidráulico, ya que una observación cuidadosa del experimento nos conduce naturalmente al concepto de ciclo, que regularmente se discute en termodinámica. Esto viene de considerar, el trabajo hecho para regresar el gato a las condiciones en que pueda volver a trabajar como máquina mecánica. El que no se tome en cuenta este trabajo al subir la palanca lleva a resultados inconsistentes con eficiencias mayores del 100%. Uno podría suponer que colocando una barra larga y pesada nos ahorraría ese trabajo, no es posible dado que el trabajo sería muy grande y con ello bajar la eficiencia del gato, los valores alcanzados en los experimentos dan una eficiencia entre el 60 y el 70%, es claro que la reproducibilidad de estos valores tiene que ver con las características de los gatos y con la carga que se levanta.

Ahora el problema metodológico es ubicar que forma adoptó la energía. Responder a la pregunta nos obliga recuperar las observaciones de las experiencias anteriores y otras, como la frotación de las manos produce un calentamiento de las mismas, también cuando tocamos la llanta de un auto que frena, no hay que olvidar que las sensaciones de caliente se hacen con los sentidos. Hasta el momento podemos señalar que la energía mecánica tomó una forma desconocida y determinarla necesita cambiar nuestro esquema de estudio. Tendremos que revisar la estructura interna de los sistemas con el fin de ubicar este nuevo tipo de energía. Por lo cual se requiere incorporar al modelo que estamos desarrollando el modelo cinético molecular, de manera que el punto de vista físico sea más integral en el estudio del comportamiento de los sistemas físicos. Es decir trataremos de implantar una visión totalizadora de la física.

MODELO CINETICO MOLECULAR

Desde el punto de vista ortodoxo de la Termodinámica, es bien conocido, que no debe mezclarse la Termodinámica con los modelos microscópicos. Por otro lado, existe la posición de la Física térmica que combina estos modelos, en donde se usa el modelo atómico para desarrollar un esquema capaz de describir las propiedades de los sistemas macroscópicos. Que bajo la perspectiva didáctica resulta conveniente que los estudiantes de bachillerato manejen "imágenes" en vez del formalismo de la Termodinámica.

Para el desarrollo del modelo se recurre a experiencias cualitativas que nos ayuden tener una imagen mental de como suponemos esta estructurada la materia. También esta sección se aborda el concepto de temperatura y la manera que se mide.

Para ilustrar el carácter caótico del movimiento molecular, se pueden hacer dos experimentos:

(1)-El movimiento browniano

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

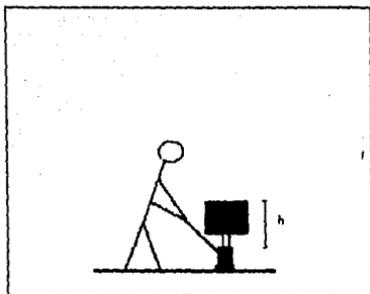


FIGURA 20. Presentando al gato hidráulico como una caja negra, se puede estudiar su eficiencia como máquina, para hacerlo más impresionante se le pide a un estudiante que se suba al gato y otro compañero lo suba.

Con estos mismos experimentos se infiere el concepto de máquina ideal, por ejemplo con la polea se mejora la eficiencia si disminuimos la fricción aceitanto el eje de la polea. De forma que mediante un proceso límite de ir haciendo cada vez más pequeña la fricción y reconocer que en situación de nula fricción la máquina tendrá una eficiencia del 100%, pero es claro que acontece sólo idealmente. Desde el punto de vista de la energía para esta máquina ideal no hay disipación de energía mecánica. Este aspecto adquiere una relevancia especial dado que al estudiar las máquinas reales la no conservación implica una disipación de energía mecánica debida a la fricción cinética en las máquinas, se precisa el hecho de que la fricción cinética es responsable de la disipación ya que en el caso de una rueda moviendose sobre una superficie horizontal la fricción estática provoca que la rueda gire y no resbale, lo cual esta produciendo que parte de la energía cinética se transforme en cinética rotacional. ¿ Entonces que pasa con la energía mecánica que se disipa?. La misma metodología nos responde la pregunta, se ha hecho ver que la idea de que la energía se transforma y transmite pero no se pierde ha resultado fructífera.

(2)-La difusión y como actividad complementaria la discusión de la película; El comportamiento de los gases del PSSC, versión en español que se encuentran en el CEF.

Para el primer caso ya existen dispositivos especiales donde se realizan las observaciones. En el segundo ejemplo es posible usar gases o líquidos, parece más claro con los líquidos, para ello, se vierte un poco de tinta en un vaso con agua fría y en otro con agua caliente y se observan las diferencias en cada caso. Posteriormente interpretar las observaciones a la luz de la ~~imagen~~ cinética molecular.

Después se plantean las hipótesis del modelo con el fin de proponer una estructura para los sólidos, líquidos y gases. En este sentido es conveniente desarrollar una imagen para representar dichas estructuras, a manera de ejemplo supongamos que la estructura de un sólido consiste en esferas ligadas por resortes, donde las esferas representan las moléculas del sólido y los resortes la interacción entre las moléculas, los cuales están vibrando constantemente. La tarea es que con esa estructura podamos dar cuenta de las propiedades de los sólidos a partir de ese modelo. En particular se explican los cambios de fase así como la dilatación de los mismos. Una imagen de los líquidos sería las esferas magnetizadas que pueden resbalar entre sí y para el caso de los gases son esferas moviéndose para todos lados sin interacción entre las moléculas (sólo cuando chocan entre sí). Aunque no se han mencionado los requisitos para abordar la secuencia en este momento es conveniente señalar que para aceptar lo anterior es necesario haber asimilado la 1ª ley de Newton. (En caso contrario podrá pensarse que las moléculas "están vivas").

Existe un modelo mecánico del modelo cinético que consiste en un cilindro de pvc y municiones agitadas fuertemente por un pistón, en la figura de abajo se muestra un tipo de diseño, esté a su vez se mueve debido

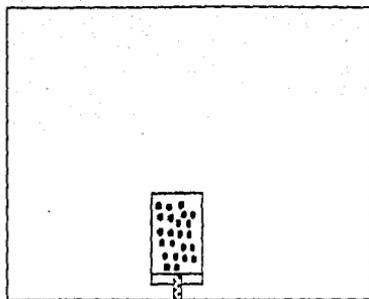


FIGURA 21. Aunque en la figura no aparece, un motor mediante una manivela puede subir y bajar una membrana de tal manera que este golpeando los pequeños balines y estos a su vez mantengan el bloque de la parte superior a una altura. Con el dispositivo se puede tener una representación del comportamiento de las moléculas en un gas desde el punto de vista del modelo cinético molecular, el inconveniente que los estudiantes se pueden quedar con la impresión de que las moléculas se seguirán moviendo si le seguimos dando energía, esto es, un objeto para moverse necesita una fuerza, lo cual desde el punto de vista de Newton es incorrecto.

a un motor. En el mismo tubo se agrega unas tapitas de unicel sobre las municiones de forma que con el golpeteo sostiene a la tapa. El dispositivo aunque permite discutir cualitativamente las hipótesis del modelo cinético molecular es de mucha ayuda para acercarse a tener una imagen de la agitación molecular. Por otro lado con luz estroboscópica se logra que las moléculas se muevan en "cámara lenta" como guía en la discusión.

Por otra parte, hay varios hechos que se interpretan a través del modelo cinético de manera satisfactoria, como son la dilatación volumétrica y los cambios de agregación de la materia que servirán de base en la interpretación de la energía interna.

En el primer caso en la dilatación volumétrica, se propone el uso de los anillos de Gravensade que en esencia es un anillo y una esfera, regularmente, de latón

esta última se calienta con la flama de un mechero tiempo después se introduce la esfera en el anillo y se observa que la esfera no puede cruzar el anillo, que estando a temperatura ambiente si lo puede hacer. En la figura se muestran el anillo y la esfera;

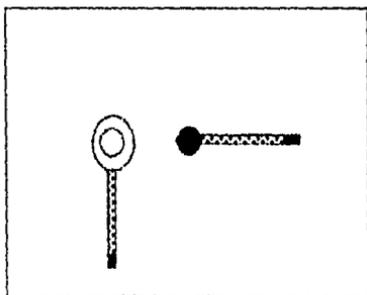


FIGURA 22. En la figura se

muestra una ilustración del dispositivo los anillos de Gravensade usados para mostrar la dilatación de los sólidos.

La interpretación de la expansión volumétrica se da en términos del modelo cinético, en particular para los sólidos, pero es posible mostrar el efecto también en los líquidos y gases: en el primero se calienta agua en un tubo de vidrio y el segundo un globo con aire se mete en agua caliente. Es importante que los estudiantes comprendan la dilatación de los líquidos para entender el funcionamiento del termómetro, en particular el de mercurio. Aquí la clave es relacionar el aumento de temperatura con el aumento de la columna de mercurio. En este sentido se puede señalar que la temperatura es el "grado de calentamiento", que al calentar una sustancia esta aumenta su temperatura y se puede medir con el uso de un termómetro. Cabe aclarar que el calentar una sustancia significa aumentar su temperatura, y no necesariamente darle calor ya que la energía puede proporcionarsele en forma de trabajo. Por otra parte, cuando el agua esta hirviendo (en recipiente abierto) se le suministra calor pero no se está calentando ya que su temperatura se mantiene constante.

Por otro lado, se relaciona el aumento de temperatura con el incremento de energía interna de las sustancias mientras no cambien de estado de agregación ni reaccionen químicamente; y de manera específica con la energía cinética de traslación de las moléculas. Esta asociación se debe principalmente, a que con ella podemos explicarnos la dilatación de las sustancias, por ejemplo cuando se expande un gas una explicación coherente es relacionar el aumento de temperatura con el incremento de la energía cinética ^{media} de las moléculas del gas.

Es conveniente señalar que los autores llaman energía térmica a la energía cinética de traslación ^{total} de las moléculas, pero creemos que esto complica más la comprensión del modelo, debido en a que en los cambios de agregación de la materia, no hay un aumento de temperatura si la presión se mantiene constante, donde toda la energía entregada a las sustancias es para romper las ataduras (energía potencial negativa) moleculares. En este caso no existe un nombre especial al incremento de la energía potencial (aquí pasaría de un valor negativo a EP=0 donde la molécula esta "libre") a menos que se regresé a la terminología del calórico y se hable de calor sensible o calor latente pero esa terminología obsoleta provocará más confusiones.

Al agua, hielo y parafina se les hace cambiar su fase, el suministro de energía es por medio de una flama de un mechero con el calentamos el agua hasta su punto de ebullición, así como las demás sustancias al punto de fusión. En estos casos la interpretación a los cambios de fase lleva a considerar a la energía adicional suministrada como la energía necesaria para romper las ataduras de las moléculas y asociar esta energía con la energía potencial, la que tienen debido a su configuración. Con esta serie de experimentos relacionamos la energía cinética y la energía potencial de las moléculas con la energía interna de las sustancias y cualquier aumento en estas energías implica un aumento en la energía interna. Tomando de nuevo el esquema de sistemas entonces asumiremos que un suministro de

energía al sistema producirá un incremento en la energía interna del mismo que se refleja por un aumento de temperatura o un cambio de estado de agregación. Una representación bastante aceptable de una estructura sólida es un "colchón de resortes" microscópicos en el cual las moléculas eran sostenidas entre sí a través de fuerzas elásticas. Bajo estas consideraciones las moléculas al vibrar tendrán oscilaciones longitudinales y transversales, que en la mayoría de los sólidos predomina las longitudinales para amplios intervalos de temperatura, esto explica la dilatación de los mismos, pero existen sustancias que para ciertas temperaturas se contraen en lugar de dilatarse como es el caso particular del agua. En este ejemplo, cuando incrementamos la temperatura de 0°C a 4°C se contrae, conocido como efecto anómalo del agua, con base en el modelo molecular se podría explicar esta situación suponiendo que las moléculas al vibrar lo hacen longitudinal y transversal, pero en el agua predominan las oscilaciones en el modo transversal, en el rango de temperatura entre los 0°C y 4°C, lo que produce la contracción del líquido. Esta contracción se da también en materiales como el hule.

Con ello estamos en condiciones de volver a considerar el problema de analizar la pérdida de ^{energía} mecánica en las máquinas reales. La única evidencia experimental es que se calientan, y esto significa un aumento en la energía interna del sistema.

CALENTADOR MECANICO

El calentador mecánico es un aparato para calentar agua por medios mecánicos. El prototipo consiste en un tubo de cobre adaptado sobre una base de madera, además con dos poleas como se muestran en la figura. En la misma figura también se muestra un termómetro que tiene el fin de registrar el aumento de temperatura del agua.

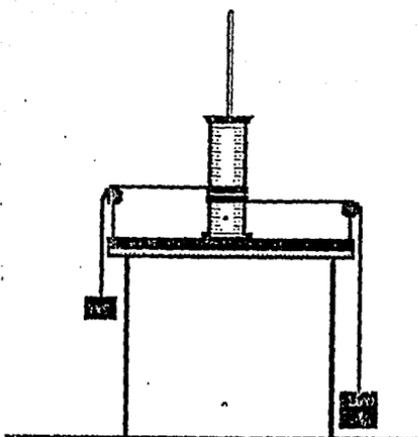


FIGURA 23. En la figura se muestra el experimento "calentador mecánico", en este caso de un lado se ~~tiene~~ una pesa de 100 gr y del otro de 3 kg. con forma se complica un poco el experimento porque hay que estar intercambiando las pesas.

Existen dos maneras de realizar el experimento, el primero consiste en poner una pesa de 3 kg. en un extremo y en el otro una pesa de ~100 gr. que sirva para mantener la tensión del hilo. Aquí conviene señalar la pertinencia de usar un hilo plástico o de los que usan para la caña de pescar, porque al utilizar hilo de cañamó provoca muchos problemas, al tomar los datos, dado que este hilo al estirarse se deforma más de lo debido lo cual implica que hagamos más trabajo del correspondiente para calentar el agua, esto es una variable que debemos controlar. Por otro lado es necesario aclarar que se le pone una camisa de unicel al tubo de cobre, para evitar tanto: el que podamos calentar el tubo tocándolo con las manos como el que se enfríe una vez calentado por fricción. De otra forma, se puede poner dos pesas (de 3 Kg. cada una) en los extremos del hilo, como se muestra en la figura.

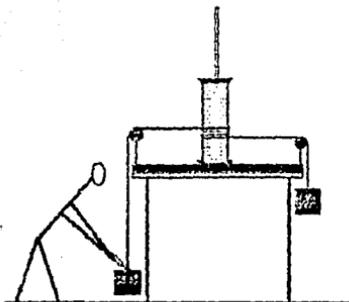


FIGURA 24. En la figura se muestra como los estudiantes realizan el experimento, en el mismo se utiliza un dinamómetro cuya función es medir el peso que en realidad están levantando.

Nos parece que esta última manera es la más conveniente para presentarse con los estudiantes, por la comodidad en la realización de la experiencia.

Se debe apuntar que la ejecución del experimento pasa por mostrar a este dispositivo como una máquina mecánica que permite subir un objeto y bajar otro. Esto significa que tenemos un sistema con entradas y salidas: lo que nos da pie a que podamos medir la eficiencia como una máquina con un sistema de poleas fijas de lo cual se obtienen eficiencias del 96% después, al enrollar el hilo en el tubo, la eficiencia disminuye a medida que aumenta el número de vueltas. El número de vueltas conveniente es de tres a cuatro vueltas ya que si le damos un mayor número corremos el riesgo de requerir pesas de gran peso lo haría inoperante el dispositivo o la tensión en uno de los hilos se hace prácticamente nula, lo cual provoca que el hilo se saiga fácilmente de la polea. Se sabe que la fricción es una función del número de vueltas, en forma precisa una relación exponencial. Regresando al problema, la idea pues es hacer 1 kJ de trabajo y observar cual es el incremento de temperatura, de la masa de $.050 \text{ kg}$ de agua. El procedimiento experimental requiere por un lado ver la relación que existe

entre el ΔT y el trabajo hecho sobre el sistema, manteniendo la masa de agua constante.

Se le pide a los estudiantes que registren los incrementos de temperatura al hacer .25 kJ., .5 kJ., .75 kJ. y 1 kJ. de trabajo. El experimento es tan controlable que al hacer 1 kJ. de trabajo se obtiene un incremento de temperatura de alrededor de 4° . Se les puede pedir que hagan la gráfica de trabajo contra temperatura y podrán verificar que es una relación directamente proporcional.

Ahora para la relación entre la masa de agua y el incremento de temperatura, se tienen un poco más de problemas debido a la importancia que va teniendo la capacidad térmica del cobre en la medida que se coloca una menor cantidad de agua, esto se puede remediar si consideramos masas de .025 kg., .035 kg., .040 kg. y .045 kg. también es posible solicitar que hagan una gráfica de ΔT contra masa y observar que existe una relación inversa entre estas dos variables.

La primera relación se puede expresar de la siguiente forma $\Delta T \propto W$ donde ΔT es el incremento de temperatura y W es el trabajo hecho sobre el sistema. Para la segunda parte $\Delta T \propto 1/m$ donde, m es la masa del agua, de estas dos relaciones se puede obtener la siguiente expresión;

$\Delta T \propto W \cdot 1/m$ o bien $\Delta T \propto W/m$, este resultado se obtiene a partir del siguiente razonamiento si ΔT es proporcional a una cantidad y también es proporcional a otra entonces será proporcional al producto. Por otra parte, si queremos expresarlo en términos de una igualdad, habrá que usar las unidades convenientes, en este caso sólo usaremos el sistema internacional, para ello utilizaremos el razonamiento siguiente; si un 1 kJ. de trabajo produce un aumento de temperatura de 4° en .050 kg. de agua, como se pudo medir del experimento anterior, entonces el incremento de temperatura debido también a un kJ de trabajo para una masa de un 1 kg. es de $.2^\circ$. Como la relación entre la masa y la temperatura es inversa entonces al aumentar la masa 20 veces la temperatura debe disminuir 20 veces.

Aquí aunque para los estudiantes no lo podemos justificar, se agrega .04 a este número debido a la capacidad térmica del cobre, número que se puede obtener a través del cálculo de la masa equivalente del cobre, posteriormente se expondrán los resultados, con el fin de no perder continuidad seguiremos la deducción de la expresión empírica.

Entonces se dice que el incremento de temperatura de una masa de agua de 1 Kg. es de .24° de la cual se tiene que $\Delta T = .24 * W/m$ esta expresión se puede poner de la forma siguiente:

$W = 4.2 * m * \Delta T$ si esta fórmula le ponemos las unidades tenemos que

$W(kj) = 4.2 * m(kg) * \Delta T(^{\circ}C)$ es claro que las unidades de la constante

4.2 son $kJ/kg^{\circ}C$, es necesario remarcar que esta es una ecuación empírica, cuya interpretación daré a continuación; dado que el agua aumento su temperatura, el agua incremento su energía interna, este incremento se debe a que el trabajo se transformó en esa energía, esto se deduce del hecho que la energía se conserva. Por lo que, si supone que no hubo otro tipo de transmisión de energía al sistema (trabajo adiabático) tenemos que $W = \Delta E_i$ donde E_i es la energía interna del agua, esta suposición es válida. Por otro lado, la energía absorbida por el cobre se estima con el método mencionado anteriormente. Con la consideración hecha tenemos que la fórmula encontrada se puede formular de la siguiente forma:

$$\Delta E_i (kJ) = 4.2 * m (kg) * \Delta T (^{\circ}C)$$

Esta fórmula permite calcular los cambios de energía interna del agua. Esto es importante, ya que al calentar agua de diversas maneras, siempre se tiene la oportunidad de estimar la energía utilizada para calentar el agua, este argumento es válido debido a la conservación de la energía.

Por otra parte, rigurosamente hablando el 4.2 (o 4.186) corresponde al calor específico a $p = cte.$, ya que al calentar el agua, esta se dilata haciendo trabajo en contra de la atmósfera: así que $W_{atm} = \Delta U - P \Delta V$ y siendo coherentes hablaríamos

del aumento de entalpía pero en nuestro caso PAV-0 (estimado) y es enteramente despreciable.

En el apéndice B se dan algunas precisiones sobre el calentador mecánico, como la estimación de la energía absorbida por el tubo de cobre, así como una explicación del calentamiento en los procesos de disipación de energía por fricción.

CALENTADOR QUIMICO

A partir de la relación obtenida del calentador mecánico podemos estimar la energía liberada al quemar una cierta cantidad de alcohol, cabe aclarar que la estimación de esta energía no requiere de ningún modo el concepto de calor y sólo debemos transformar esta energía, en energía interna del agua, para ello basta calentarla. Se logra hacer esto montando un dispositivo como el de la figura;

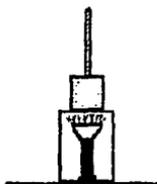


FIGURA 25. En la figura se muestra el arreglo para calentar agua con la combustión de una cantidad de alcohol

En una lata vacía de atún se calienta agua, por ejemplo .2 kg. y en una

corcholata se pone 1 ml. de alcohol; así al quemar el alcohol el agua se calienta y el aumento de temperatura es registrado por el termómetro, con estas medidas se estima la energía liberada en la combustión del alcohol.

Con la relación $\Delta E_i(kj)=4.2 \cdot m \cdot \Delta T$ se calcula el cambio de energía interna del agua, el cual se supone que es debido a la energía liberada por la combustión. Si se compara los valores obtenidos por este método, con los valores reportados en la literatura corresponden aproximadamente al 50 o 60%.

Sin embargo es importante destacar que se obtienen valores de orden de magnitud de 10 Mj. cuando se quema 1 kg de combustible. Lo cual se comparará más tarde con la energía liberada cuando se fusiona 1 kg de hidrógeno (y se convierte en helio) que es 10^6 veces mayor.

Existe un método para medir esta energía de combustión por medio de un aparato llamado bomba calorimétrica que consiste en un cilindro de acero con sello hermético. Una masa conocida de una sustancia se coloca en la bomba en una atmósfera de oxígeno a alta presión (unas 15 veces la atmosférica). La ignición se da con una corriente eléctrica, la combustión ocurre en forma de explosión. Y el calor producido por la combustión de la sustancia se determina por medios calorimétricos (calentando agua ya que el cilindro se encuentra rodeado de la misma). En la tabla de abajo se tienen los valores de la energía de combustión medidos con una bomba calorimétrica.

VALORES TIPICOS DE LA ENERGIA LIBERADA POR LA COMBUSTION

SUSTANCIAS	Mj/Kg
ACEITE DIESEL	44.1
ALCOHOL	26.9
CARBON ANTRACITA	33.6

COMBUSTOLEO	43.3
COQUE	25.2
GAS NATURAL	4.2
GASOLINA	47.9
MADERA (PINO)	18.9

Una manera equivalente de estimar la energía liberada por la combustión es suponiendo que iguales incrementos de temperaturas en iguales masas de agua, se deben a las mismas cantidades de energía.

Esto se logra mediante experimentos paralelos; por ejemplo calentando agua con el calentador mecánico, se mide la energía entregada a la masa de agua, ahora si esa misma cantidad de agua es calentada pero quemando combustible y si se tiene el mismo incremento de temperatura, se podría decir cuanto energía le entregamos al agua por este método, comparándola con la del calentador mecánico.

En seguida se introduce el concepto de potencia, de manera natural, por ejemplo si el ml. de alcohol lo ponemos en dos corcholatas, se observa que el alcohol se consume más rápido, pero logrando aproximadamente el mismo aumento de temperatura en la masa de agua que si hubieramos usado una corcholata. Es decir aparece el tiempo como una variable en la transformación y la transmisión de la energía.

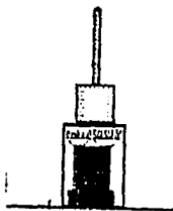


FIGURA 26. Este arreglo ilustra la manera en que se introduce el concepto de potencia, en la secuencia.

Una experiencia alternativa es colocar una corcholata de mayor área y poner el ml. de alcohol en la ficha y de esa manera ver que el combustible se consume más rápido pero alcanzando el mismo incremento de temperatura que con la corcholata normal. Por lo que se define a la potencia como $P = \text{energía transmitida} / \text{tiempo}$
 $P(\text{watts}) = \text{energía (J)} / t (\text{seg.})$

Esta forma de definir la potencia nos proporciona un método para calcular la potencia de un mechero, o la del quemador de la estufa de casa que sirve como una investigación para los estudiantes. De la misma manera es posible estimar la energía liberada por otros combustibles como el carbón, leña, petróleo etc..E incluso valorar el costo de la energía liberada por un tanque de gas, además se familiarizan con el watt que no necesariamente está asociado a fenómenos eléctricos como es la creencia común.

CALENTADOR ELECTRICO

En la figura se muestra un tortillero de unícel con un foco conectado a la línea de alimentación, que funcionando calienta una cierta cantidad de agua y con el termómetro se registra los aumentos de temperatura.

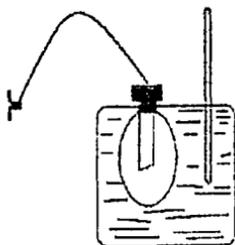


FIGURA 27. En un tortillero de unícel se coloca una cantidad conocida de agua y con el foco encendido se calienta el agua, con unos pocos datos se puede estimar la energía entregada por el foco, para obtener la potencia del mismo. Es un experimento muy noble, ya que los cálculos dan valores bastante aceptables respecto a los valores nominales.

Este dispositivo se puede usar para determinar la potencia del foco, utilizando la definición de potencia vista con el experimento anterior, para ello basta medir el incremento de temperatura y el tiempo que se deja prendido el foco. Los resultados con el aparato son bastante reproducibles: en algunos experimentos hechos se deja al foco durante 10 minutos, que caliente 1.5 Kg. de agua, el incremento de temperatura obtenido ha sido de 6°.

Por lo tanto el incremento de energía interna del agua es de

$$\Delta E_i = 4.2 * m * \Delta T$$

$$\Delta E_i = 4.2 (1.5)(6)$$

$$\Delta E_i = 37.8 \text{ KJ} \text{ que en joules son } 37800 \text{ j}$$

$$P = 37800 \text{ J} / 600 \text{ s}$$

$$P = 63 \text{ w que es un resultado muy aceptable al compararlo con los } 60 \text{ W,}$$

el valor nominal dado por el fabricante para este foco. es de 60 W.

Dando un resultado bastante aceptable, dejando constancia de la fuerza del método en la determinación del incremento de la energía interna del agua. En este experimento al calentar el agua por arriba, el agua de abajo (más densa) permanece fría. **Fe70** sirve para introducir la idea de la convección en el agua, ya que al apagar el foco antes de hacer la lectura con el termómetro hay que menear el tortillero para homogenizar la temperatura del agua. Una manera de verificar la acción es poniendo dos termómetros uno con el bulbo más abajo que el otro, y observar valores distintos en cada termómetro.

Aquí el análisis energético se podría realizar en términos de sistemas, pero además es posible introducir la idea de que la luz es una forma de energía, porque en este caso la energía que entra al agua es debido al calentamiento del foco así como a la luz que emite. Aunque en el experimento la energía absorbida por el agua se debe principalmente al calor transferido por el foco. De hecho si se pinta de negro el foco, el resultado es el mismo de lo cual se sigue que es

"despreciable" la energía que escapa del sistema como radiación.

Otra manera de utilizar esta experiencia es prediciendo el aumento de temperatura de cierta cantidad de agua conociendo la potencia del foco, chequear el resultado midiendo con el termómetro el aumento de temperatura. Este ejercicio es importante dejarlo a los estudiantes ya que se percibe el carácter predictivo de la física, en este sentido podemos poner problemas, tales como la determinación de la potencia de la cafetera de su casa, la parrilla eléctrica etc. Y comparar el costo de la energía consumida para calentar un Kg. de agua por medios eléctricos y quemando combustibles. Si consideramos ahora el sistema eléctrico completo; es decir desde la hidroeléctrica o termoeléctrica hasta la cafetera eléctrica, se repite nuevamente el mismo esquema la entrada de energía es trabajo (caída de agua) o calor (quemado de combustible) en la termoeléctrica. En este sentido es conveniente que los estudiantes manejen las diferentes unidades y sus equivalencias en que se mide la potencia: $Kw-h=3.6 \text{ MJ}$, $Kcal=4.2 \text{ KJ}$ y $BTU=1.05 \text{ KJ}$., aquí se recomienda que los estudiantes vean la película del PSSC conservación de la energía.

CALENTADOR SOLAR

Como parte de la secuencia experimental se estima la energía producida por el sol, obviamente por el método desarrollado; es decir calentando agua y calcular el incremento de energía interna del agua usando la expresión $\Delta E_i = 4.2 * m * \Delta T$, luego estimar la energía emitida por el sol bajo el argumento de la conservación de la energía.

Este experimento se puede realizar calentando una cierta cantidad de agua puesta en un recipiente metálico, en forma de paralelepípedo como el de aceite de oliva, donde se introduce un termómetro. Una de las caras del recipiente se pinta de negro y se expone al sol, de forma que los rayos sean perpendiculares a la superficie de exposición. En la figura de abajo se muestra el arreglo,

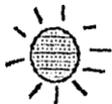


FIGURA 28. Con una lata de aceite de oliva se puede estimar la intensidad de radiación del sol. El bote se coloca del tal manera que los rayos son perpendiculares a la superficie de exposición, se le puede dejar durante diez minutos lo que permite estimar la potencia solar, y si se mide la superficie, entonces se calcula intensidad. Es un experimento que se presta para que los estudiantes lo realicen en su casa.

La idea de usar sólo rayos perpendiculares es con el fin de no introducir más variables en las mediciones. También es posible empezar a tratar la energía reflejada y absorbida con este experimento pintando una cara blanca y una negra para comparar el calentamiento producido en el agua por cada superficie. Igual que en los experimentos anteriores se puede ir discutiendo la transmisión de energía a pesar de no haber definido el calor.

Colocando en otro recipiente, de las mismas características, igual cantidad de agua de tal manera que la superficie de exposición sea la mitad, medir los cambios de energía interna del agua en cada caso, para agregar otra variable al experimento "el área de exposición" que nos lleva al concepto de intensidad de radiación solar, que en nuestro caso se definirá como potencia entre unidad de área. Hay tres aspectos que se pueden discutir sobre la energía emitida por el sol y son:

-Cómo se genera la energía del sol

-Usos de la energía solar

-Discusión ecológica de la energía.

En un experimento hecho a principios de Febrero de 1994 se obtuvieron los siguientes resultados, se colocó una masa de agua de 1 Kg. en un bote de forma de paralelepípedo, se expuso al sol durante 10 min. de tal manera que se tuvo un aumento de temperatura de 2 °C, por lo tanto el incremento de energía interna del agua fué de $\Delta E_T = 4.2(1)(2)$, entonces $\Delta E_T = 8.4$ Kj. por lo que la potencia obtenida es $P = 8.4/600$, $P = 14w$.

Por otra parte, el área de exposición del bote es $A = .0145$ m² con estos datos podemos encontrar la intensidad de radiación del sol $I = 14w / .0145m^2$ entonces la intensidad de radiación es $I = 965.52$ j/m²s en unidades de kj será de $I = .96$ kj/m²s ~ 1 kj/m².

Un problema interesante que se puede derivar del cálculo de la intensidad de radiación. Sirve para relacionarlo con tópicos de la física que frecuente se revisan en física moderna; es el defecto de masa y las reacciones nucleares. Además se puede determinar la edad del Sol usando un modelo "químico" y "nuclear".

Primero debemos calcular la potencia total del Sol. se sabe que el flujo solar recibido en la tierra es de 1.4 kw/m² (con buena aproximación se podría usar el valor encontrado en el experimento hecho antes).

Por otra parte, la distancia entre la Tierra y el Sol es de $1.5 \times 10^{11}m$ la superficie de la esfera por la cual pasa ese flujo es $A = 4\pi r^2$, por lo tanto $A = 4\pi(1.5 \times 10^{11})^2$ $A = 28.274 \times 10^{22}$ m². A partir de esta expresión se tiene que la potencia solar es $P_{solar} = \text{flujo solar} \times \text{área}$: $P_{solar} = 1.4$ Kw/m² $(28.274 \times 10^{22}$ m²), $P_{solar} = 3.96 \times 10^{23}$ Kw $\sim 4 \times 10^{23}$ Kw.

Si se supone al Sol como sistema, cuya energía es obtenida de las reacciones químicas al entrar en combustión gasolina con oxígeno, y la energía liberada por

la gasolina es de 47.9 MJ/Kg. Y suponiendo que toda la masa del Sol es de gasolina en combustión, $m_{\text{sol}} = 2 \times 10^{30}$ Kg entonces la energía liberada es de $E = (47.9 \times 10^3 \text{ KJ/Kg})(2 \times 10^{30} \text{ Kg}) = 95.8 \times 10^{23}$ KJ, por otro lado $P = E/t$, por lo que, el tiempo que lleva consumirse esa energía que es irradiada a 4×10^{23} Kw es;

$$t = E/P = 95.8 \times 10^{23} \text{ J} / 4 \times 10^{23} \text{ W}; t = 24 \times 10^{10} \text{ s} = 7.5 \times 10^3 \text{ años}$$

esto implica que si la energía del Sol fuera por combustión de la mezcla de gasolina y oxígeno entonces la vida del Sol sería de 7500 años.

Ahora considerando que la energía del Sol se debe a la conversión de hidrógeno en helio es de .7% de la energía en reposo; por tanto de la ecuación de Einstein $E = (7 \times 10^{-3})(2 \times 10^{30} \text{ Kg})(3 \times 10^8 \text{ m})^2$; $E = 1.3 \times 10^{45}$ J.

entonces el tiempo en agotarse el combustible nuclear es de;

$$t = 1.3 \times 10^{45} \text{ J} / 4 \times 10^{23} \text{ W} = 0.325 \times 10^{22} \text{ s} = 10^{11} \text{ años}$$

que representa ~20 veces más la edad actual del Sol. Esto serviría como motivo para estudiar las reacciones nucleares y la famosa ecuación de Einstein. Quizás esto se dejaría en una lectura para los estudiantes complementándolo con una película sobre las reacciones nucleares; en ese mismo sentido abordar la generación de energía por medios nucleares y sus riesgos.

MAQUINAS TERMICAS

Hasta el momento se ha visto que el trabajo mecánico se transforma en energía interna de los sistemas. Y que existen otras formas de energía con las cuáles también se puede incrementar la energía interna de los mismos. Como ejemplo, de esas transformaciones se utilizaron diversos métodos para calentar agua y estimar sus cambios de energía interna.

Queda el problema inverso de ver si la energía interna de los sistemas se puede transformar en trabajo mediante, un proceso adecuado para ello se pide a los estudiantes que construyan algunos prototipos de máquinas térmicas (máquinas de fuego como les llamaban en la época de Carnot) y con ellas introducir el

concepto. Distinguirlo de las máquinas mecánicas por el tipo de energía de entrada que tienen; además se puede redefinir la eficiencia de las máquinas pero en términos de la potencia de entrada y la potencia de salida. En la figura de abajo se muestra un esquema que se puede dejar para que los estudiantes realicen el prototipo.

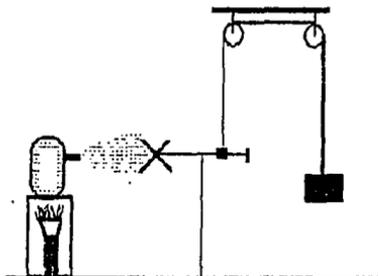


FIGURA 29 Se muestra un esquema de un prototipo que pueden realizar los estudiantes, con una caldera se produce vapor a presión, de tal forma, que haga girar unas aspas y estas a su vez, giran un eje en el cual se puede enredar un hilo que conectado a una pesa, la levanta mediante el sistema de poleas.

También se puede introducir la idea de que los animales (incluyendo a los humanos) pueden considerarse como "máquinas" en el sentido de que requieren "combustible" (alimentos) para funcionar. Si bien en este caso se hablaría de máquinas químicas.

CALENTADOR BAÑO MARIA

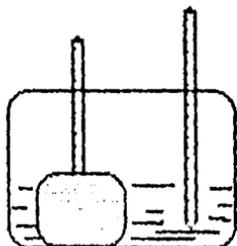
El experimento clave para desarrollar el concepto de calor es el conocido por calentador baño María, el nombre es resultado del papel que juega en la secuencia, es decir en esta parte se procederá a calentar agua con agua a mayor temperatura.

En este experimento típico de "calorimetría" hay que destacar que:

- 1) Se propone después de desarrollar un esquema para abordar la Termodinámica.

2) Se destaca que existe desequilibrio térmico entre dos sistemas en lugar de mezclar simplemente agua fría y agua caliente.

Para ello se utiliza un "tortillero de unicol" en cuyo interior hay una lata de sardinas, y dos termómetros. Uno puesto de manera que mida la temperatura del agua dentro de lata, y el segundo termómetro se coloca justamente para medir la temperatura del agua fuera de la lata. En la figura se muestra un esquema del dispositivo



Con una cafetera o en un vaso de precipitados se calienta agua digamos a una temperatura de 50° y se coloca .2 Kg de agua en la lata de sardinas. Después vierte .3 Kg de agua, a temperatura ambiente, en el tortillero de manera que cubra la lata. Con los termómetros se van registrando los cambios de temperatura que sufre el agua dentro de la lata y la de fuera de ella. En un experimento hecho con este dispositivo se obtuvieron los siguientes resultados: el agua de la lata registro una temperatura inicial de 53° y alcanzó una temperatura final 35° , el agua fuera de la lata tuvo una temperatura inicial de 23.5° y al final del proceso llegó a la misma temperatura de 35° . Conociendo las masas de agua y los cambios de temperatura del agua podemos calcular los cambios de energía interna del agua mediante la expresión $\Delta E_i = 4.2 * m * \Delta T$ que se obtuvo en el experimento del calentador mecánico.

Para el agua dentro de la lata $\Delta E_i = 4.2 * (.2) * (-18)$, de la cual se tiene que el cambio de energía interna es $\Delta E_i = -14 \text{ KJ}$.

y el cambio de energía del agua fuera de la lata es $\Delta E_i = 4.2 \cdot (.3)(11.5)$, haciendo las operaciones $\Delta E_i = 15 \text{ KJ}$.

El siguiente paso es interpretar los resultados, en este experimento se calentó agua con agua a mayor temperatura, es decir que el agua de mayor temperatura tuvo decremento en su energía interna (el signo negativo se interpretará en este sentido) y la otra incremento su energía interna. Suponiendo que el sistema está aislado térmicamente, entonces tenemos que hubo una transferencia de energía del agua de mayor temperatura a la de menor, tan sólo debido a la diferencia de temperaturas. Pues a este modo de transmitir energía se le llama calor.

También es posible discutir el concepto de equilibrio térmico con este experimento, ya que en la situación presente la interacción térmica entre los sistemas formados por el agua a diferentes temperaturas, llega a un punto donde no hay variación de la temperatura, esto es si el sistema permanece aislado térmicamente. Uno puede extender el resultado al caso de tres sistemas y abordar la ley cero de la termodinámica con este tipo de dispositivos. Aunque la intención de la secuencia no es tratar las leyes de la termodinámica, es sólo un ejemplo de cómo con el concepto de energía se puede acceder a diferentes campos de la física.

CAPACIDAD TERMICA ESPECIFICA²⁸

Para introducir el concepto de capacidad térmica se recurre a experimentos donde se calientan, pedacitos de cobre o latón en un tortillero con agua caliente, y se registran los incrementos de temperatura de esos metales. Por el desarrollo de la metodología solo es posible medir los cambios de energía interna del agua, lo que permite estimar la energía que le entrega el agua caliente a cada uno de los metales usados en los experimentos. Esto es, con la misma expresión que se venía

²⁸ Se prefiere esta terminología en vez de la más común: calor específico, porque esta última sugiere que el calor es algo inherente a las sustancias. Sin embargo es necesario que los estudiantes sepan que en la literatura es el nombre usual.

trabajando $\Delta E_1(\text{kJ}) = 4.2 * m_{\text{agua}}(\text{kg}) * \Delta T (\text{°C})$ se utiliza para el cobre y el latón, aunque la constante ya no es la misma.

Otro aspecto importante dentro de la secuencia es el hecho de que este concepto permite hacer una serie de correcciones en los cálculos de la transmisión de energía en experimentos anteriores, como en el calentador mecánico, el calentador químico y el baño María, donde se usaron metales. Una razón del porque, no se introduce este concepto antes, es que si en los experimentos todavía no es claro el concepto de calor fácilmente se cae en la idea de que el calor es una sustancia que entra y sale de los objetos. Esto se empieza haciendo ver que es más fácil variar la temperatura de otras sustancias comparadas con una cantidad igual de agua, para con ello se generaliza la expresión anterior para diferentes sustancias $\Delta E_1(\text{kJ}) = \text{cte} * m_s(\text{kg}) * \Delta T (\text{°C})$, donde el valor de la constante depende de la sustancia que se trate.

El experimento se realiza de la manera siguiente. En un tortillero de unicel se coloca cobre (.5 kg) a la temperatura ambiente y se vierte agua a una temperatura de 50 °C cerrando el recipiente. Con un termómetro registrar los cambios de temperatura, en la figura se muestra un esquema del dispositivo usado.



Después de un tiempo observar el valor de la temperatura de equilibrio, y partir de ese valor estimar la energía transferida del agua al cobre, la constante de proporcionalidad de la expresión $\Delta E_1 = \text{cte} * m_{\text{cobre}} * \Delta T$ nos proporciona la capacidad

térmica del cobre, además se puede señalar que esta constante depende de cada sustancia. Y se puede mencionar que se obtendría el mismo valor para la CTE. de diferentes sólidos y líquidos si se calentarán por medios mecánicos.

Por otra parte, se podría reinterpretar el experimento del calentador mecánico, ya que realidad estamos determinando la capacidad térmica del agua. Para fundamentar este comentario veamos lo que se discutía acerca del equivalente mecánico del calor.

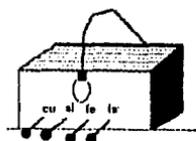
"La cantidad de trabajo que era preciso disipar dentro del agua (manteniendo una corriente eléctrica en una resistencia sumergida en ella, o agitándola de un modo irregular) por unidad de masa para pasar de 14.5 a 15.5 °C se denominó equivalente mecánico del calor, u resultó ser de 4.1860 j/cal. En el transcurso de los años veinte se admitió que la medida de este equivalente mecánico del calor correspondía realmente a la del calor específico del agua, utilizando como unidad de calor el joule. Dado que el calor es una forma de la energía y el joule es una unidad universal de energía, pareció que la caloría resultaba superflua".²⁹

CONDUCCION DEL CALOR EN SOLIDOS LIQUIDOS Y GASES

En estos momentos se puede reflexionar acerca del papel que juega la lata de sardina en el calentador Baño María, que si, es reemplazada por un recipiente de unicel se observará que el equilibrio térmico lleva mucho más tiempo. Esto nos conduce necesariamente al concepto de conductividad calorífica.

La diferente conductividad en los metales se puede mostrar con el siguiente experimento: para ello se utiliza un dispositivo como el que se muestra en la figura.

²⁹Ver Zemansky Mark., Calor y Termodinámica, Ed. Aguilar, España, 1973. Página 89.



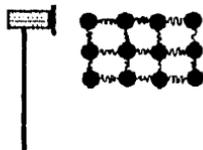
En donde se pone cera en la parte final de las varillas de diferentes metales, por ejemplo, cobre, latón, fierro y aluminio los cuales se calientan en el otro extremo de la varilla por medio de agua caliente de tal manera, que en el metal que tiene mejor conductividad se derrite la cera. En este caso resulta ser el cobre.

La buena conductividad de los metales explica la sensación de frío cuando tocamos objetos metálicos y comparamos la sensación con otros objetos, que son malos conductores, como la madera, el papel y la ropa, si todos los objetos se encuentran a la temperatura ambiente. Es decir que en una habitación cerrada donde los objetos están en equilibrio térmico, si tocamos objetos metálicos se sienten más fríos que los otros²⁰. Una experiencia útil para aclarar lo señalado sería si pusieramos un termómetro en contacto con todos los objetos mencionados y verificar que tienen la misma temperatura.

Una de las razones del porqué se utiliza el modelo cinético molecular en la descripción de los eventos físicos, es que ayuda a los estudiantes a tener una imagen mental de como se llevan cabo los procesos de cambio en las sustancias y un buen ejemplo de esta situación es la conductividad del calor en los sólidos, en particular en los metales, como una analogía podemos imaginarnos que las moléculas en los sólidos, son como pelotitas unidas por resortes de forma que al

²⁰ Conviene señalar que la sensación de caliente o frío tiene que ver más con la potencia y su intensidad con que se recibe la energía de los otros objetos. Si relacionamos directamente la sensación de caliente o frío con la temperatura hay que controlar las otras variables.

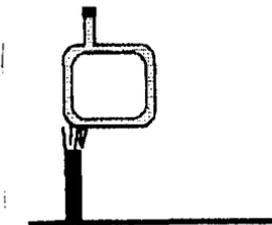
aumentar la vibración en algunas de ellas, en consecuencia aumenta la vibración de las pelotitas vecinas, en el dibujo se muestra la situación.



CORRIENTES DE CONVECCION

En esta parte se continua con la integración, de algunas acciones, que se efectuaron durante la realización de los experimentos y no se abordó su explicación por ejemplo cuando se dijo que se meneara el tubo de cobre en el calentador mecánico, el tortillero en el calentador eléctrico, la lata en el calentador solar etc. Como se sabe, esto era para poner en equilibrio térmico toda la masa de agua en cada uno de los experimentos, debido a que al calentar agua se presenta una forma de transmitir el calor en los líquidos y en general en los fluidos es llamada corrientes de convección. La observación de estas corrientes se pude hacer en líquidos con el siguiente experimento:

En el caso de los líquidos es fácil mostrar el efecto con el tubo de convección como se muestra en la figura.



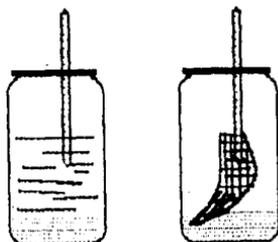
Las corrientes de convección en gases se hacen observables poniendo a girar un rehilete con aire en movimiento, debido al calentamiento del mismo encima de objetos muy calientes como planchas. En la figura se muestra un arreglo de esta

situación.

EVAPORACION Y EBULLICION

Para explicar los efectos de evaporación se propone que se realicen una serie de experimentos con alcohol, primero se considera la sensación de frío cuando nos untamos un poco de alcohol en la piel; en este caso, la observación objetiva se hace colocando una gasa húmeda con alcohol y envolviendo el bulbo del termómetro y verificar como baja la temperatura.

Con la misma gasa húmeda de alcohol se envuelve el bulbo pero ahora se mete en un frasco de tal manera que el alcohol deje de evaporar al aire libre. Puede uno observar que de principio el termómetro va marcando valores menores hasta que después de tiempo registra el valor de la temperatura ambiente. Para explicar estos hechos se recurre al modelo cinético molecular, haciendo ver que en el segundo caso existe un equilibrio dinámico entre la evaporación y la condensación del alcohol.



PROCESOS TERMODINAMICOS

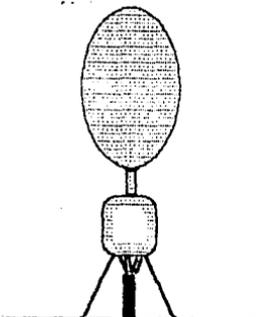
Sin embargo con el estudio de los gases se da un paso más en el abordaje de la Termodinámica, ya que con ellos, se estudian los procesos termodinámicos.

En la secuencia se identifica a la ley de Boyle como un proceso isotérmico, en el cual las variables son la presión y el volumen del gas. El experimento se realiza con una jeringa de plástico, en la cual se toma en cuenta la presión atmosférica local, de tal manera que la relación entre la presión y el volumen sean múltiplos de la presión atmosférica, también se establece la diferencia

entre la presión absoluta y la manométrica. En la figura se muestra un posible arreglo



Con un globo colocado en la boquilla de una botella, y esta última en baño María hacer ver la relación cualitativa entre la temperatura y el volumen de un gas, en la figura se ve el dispositivo. Es recomendable que los estudiantes vean la película el comportamiento de los gases del PESC.



TEMPERATURA ABSOLUTA

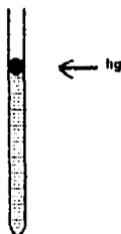
Para introducir la escala de temperaturas absolutas, con un termómetro de gas a volumen constante se construye la gráfica P-T y se extrapola al punto de presión cero y se estima el valor de la temperatura centígrada en estas condiciones. Si no hay este tipo de termómetros en los laboratorios, la gráfica se puede construir a partir de los datos obtenidos del video "Buscando el cero absoluto" de la serie Harvard Project ²¹. En la figura se muestra el aparato usado para obtener los datos del experimento, en el apéndice B se muestran los datos del

²¹ Este video puede consultarse en el CSF (comité para la enseñanza de la física) de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

experimento hecho en un taller con maestros. La esfera del termómetro tiene un volumen constante de aire, del cual se mide su presión absoluta con el manómetro cuya escala esta dada en psi's. La esfera se coloca en contacto: con agua a temperatura ambiente, hielo con agua, una mezcla de agua, hielo y sal y agua en ebullición. Con esos valores de temperatura y presión se traza una gráfica y se extrapola, para valores de presión cero llegando a la idea del cero absoluto.



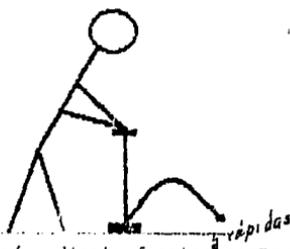
Con el mismo fin de establecer la escala absoluta de temperaturas, se puede usar un termómetro de gas a presión constante que se construye con un tubo de diámetro pequeño, al cual se le pone una gota de mercurio, manteniendo un volumen de gas que varia cuando es calentando en un baño María. De la misma manera, se extrapola en la gráfica, pero ahora de $V-T$, cuando el volumen tiende a cero. En la figura se muestra un arreglo del experimento.



PROCESOS ADIABATICOS

En esta parte de la secuencia se aborda las compresiones y expansiones adiabáticas. Las compresiones se infieren a través de la actividad siguiente: con

una bomba de las utilizadas para inflar los neumáticos de las bicicletas se comprime el aire, digamos durante 25 veces, dejando que el aire escape y verificar que la bomba se calienta un poco, pero el aumento de la temperatura es mayor si no se deja escapar el aire de la bomba. Con este método es posible calentar el aire comprimiéndolo. Las primeras bombeadas cuando se dejó escapar el aire hacen ver que el calentamiento no se debe propiamente a la fricción, sino a la compresión del gas.



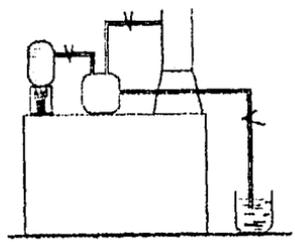
La forma en que se calentó fué mediante fuertes compresiones del aire haciendo que el proceso se aproxime a un adiabático, por lo rápido no "dando tiempo" a que "ceda calor" el sistema a sus alrededores. La compresión adiabática reversible (o isentrópica), tiene que realizarse con lentitud, en la práctica no es posible ya que no existen los aisladores térmicos ideales. Pero una transformación no de equilibrio en un gas bien aislado térmicamente puede acercarse a la adiabática, si transcurre en poco tiempo, dado que en ese intervalo de tiempo no habrá intercambio de calor entre el medio ambiente y el gas. Por eso el gas se calienta al comprimirlo rápidamente como sucedió en el caso de la bomba de bicicleta y se enfría durante una rápida dilatación. Esto último se ilustra dejando escapar la carga de un extinguidor de gas o el aire de una llanta.

Una expansión adiabática se puede llevar a cabo mediante una basuka hecha de latas de jugo y usando como combustible alcohol. Con el dispositivo se lanza una pelota de tenis de aproximadamente el mismo diámetro que el tubo del cañon. Esta pelota logra alcanzar alturas de más de 20 m; pero es necesario tomar precauciones, ya que existen peligros al explotar el alcohol. Contrastando este

proceso con el que se efectua en la bomba calorimetrica, en este caso, toda la energia disponible de la combustión se utiliza para calentar agua, en la basuka no todo el combustible reacciona con el oxígeno de la atmósfera y en este ejemplo el incremento de energia interna se usa para realizar trabajo.

MAQUINAS TERMICAS

Se propone para cerrar la secuencia la revisión de las máquinas térmicas, así como señalar la eficiencia de una máquina térmica ideal (Carnot). Para ello, a manera de demostración, se pone en funcionamiento la máquina de Savery. En la figura se muestra un arreglo del montaje en el laboratorio, por razones de seguridad es conveniente que el profesor lo haga demostrativo.



El cálculo de la eficiencia de esta máquina se puede, en términos del cociente de la potencia de salida entre la potencia de entrada. Es conveniente promover la discusión en el grupo sobre la eficiencia de las máquinas térmicas y el máximo valor que pueden alcanzar estas. Se hizo

la inferencia en las máquinas mecánicas en donde se introdujo el concepto de máquina ideal cuyo valor máximo en su eficiencia es la unidad. Aquí se menciona cuales son las condiciones para tener una máquina ideal, es decir una máquina funcionando en ciclos formado por procesos isotermicos y adiabáticos. De la película del PSSC que se refiere a la conservación de la energía en una termoelectrica, se pueden extraer datos para calcular la eficiencia de una máquina térmica.²²

²² Esta película existe (o puede consultarla) en el CEP.

COMENTARIOS FINALES

Con el fin de contar con parámetros del aprendizaje, después de llevar a cabo la secuencia frente a un grupo de estudiantes. Se tomó de referencia el cuestionario elaborado por Marcos Moreira sobre calor y temperatura, este instrumento ya sido probado con otros estudiantes aunque no se conocen los resultados.

El cuestionario se aplicó a dos grupos de estudiantes; uno de ellos no había sido expuesto a la secuencia y con el otro grupo se desarrollo la secuencia. Estos grupos de estudiantes estuvieron bajo la dirección del profesor Gabriel Urreola del plantel 20 del Colegio de Bachilleres.

Los resultados son expresados en porcentaje, dado que el tamaño de la muestra no fue la misma. Por otro lado, se considero hasta la pregunta 16 ya que el desarrollo de la temática vista en el curso corresponde a esa pregunta.

Para cada inciso se pone el porcentaje que respondieron como correcta a esa pregunta.

Por otro lado, con el grupo que no siguió la secuencia el formato de respuestas permitia, combinaciones de las mismas, a diferencia del formato aplicado al grupo expuesto, el cual no tenía ese formato.

Pregunta 01. Asociamos la existencia de calor:

I) a cualquier cuerpo, pues todo cuerpo posee calor.

II) sólo a aquellos cuerpos que están "calientes".

III) a situaciones en las cuales ocurre, necesariamente, transferencia de energía.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 14%

II) 6%

III) 76%

no contestó 4%

Un 76% del grupo acertó a la respuesta, pero existen estudiantes con la idea de que los cuerpos tienen calor.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 23%

II) 3%

III) 40%

I y II) 9%

I y III) 15%

II y III) 6%

todas bien) 6%

Aunque con un porcentaje menor, los estudiantes responden bien a la pregunta, pero aquí aumenta el número de personas que se van con la idea del calor en los cuerpos.

Pregunta 02. Para que se pueda hablar de calor:

I) es suficiente un único sistema (cuerpo).

II) son necesarios, por lo menos, dos sistemas.

III) es suficiente un único sistema, pero él tiene que estar "caliente".

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 6%

II) 86%

III) 6%

no contestó 2%

En esta pregunta la mayoría acepta que se puede hablar de calor si hay por lo menos dos sistemas. Este grupo de estudiantes es mayor que el respondió bien la pregunta anterior, parece que la respuesta giro en torno a la experiencia cotidiana que a la académica.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 20%

II) 45%

III) 20%

I y II) 9%

I y III) 6%

II y III)

todas bien)

no contesto) 3%

Haciendo corresponder los resultados de la pregunta anterior, con los de está, es interesante observar que un mayor número de estudiantes acierta a la respuesta, pero remitiéndose más a la experiencia diaria que al análisis conceptual de la escuela.

Pregunta 03. Para que se pueda admitir la existencia de calor debe haber:

I) una diferencia de temperaturas.

II) una diferencia de masas.

III) una diferencia de energías.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 76%

II) 2%

III) 22%

no contestó 2%

Parece que el grupo mancha la definición de calor asumida en la secuencia, ya que

un 76% conoce las condiciones para que haya calor, también hay grupo grande que admite que las condiciones se deben a una diferencia de energía.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 26%

II) 6%

III) 29%

I y II) 12%

I y III) 12%

II y III) 3%

todas bien) 12%

no contesto) 3%

Bajo la idea de que el calor es una forma de la energía, entonces las condiciones para que exista debe ser con una diferencia de energía, con ese razonamiento la mayoría da esa respuesta. Aunque hay un porcentaje que acierta en la respuesta. Es interesante observar que hay quienes piensan que se deben de dar las dos condiciones para que exista calor.

Pregunta 04. Calor es:

I) energía cinética de las moléculas.

II) energía transmitida sólo por medio de una diferencia de temperaturas.

III) la energía contenida en un cuerpo.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 44%

II) 42%

III) 14%

no contestó 4%

Aquí un 42% da la definición termodinámica de calor que es la asumida en la secuencia, pero un porcentaje un poco mayor da la definición desde el punto de

vista de la teoría cinética, que es una definición extendida en los libros de texto, la cual es natural porque seguramente, durante su curso la revisaron.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 14%

II) 9%

III) 51%

I y II) 6%

I y III) 9%

II y III) 9%

todas bien) 3%

Parece que al no recordar la definición de calor, recurrieron a la experiencia diaria y definieron al calor como una energía pero que esta en los cuerpos. Aunque algunos tienen una buena memoria y remiten su respuesta a la teoría cinética.

Pregunta 05. En el interior de una habitación que no haya sido calentada o refrigerada durante varios días:

I) la temperatura de los objetos de metal es inferior a la temperatura de los objetos de madera.

II) la temperatura de los objetos de metal, de las mantas y de los demás objetos es la misma.

III) ningún objeto presenta temperatura.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 34%

II) 50%

III) 12%

no contestó 4%

Esta pregunta tiene una relación directa con las actividades propuestas en la

secuencia, lo que explica, que casi la mitad del grupo responda bien, aunque hay todavía estudiantes que respondieron con respecto a las experiencias cotidianas, ya que persiste la referencia vivencial de lo que sentimos cuando tocamos un objeto metálico y otro de madera, de que están a diferente temperatura.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

- I) 54%
 - II) 20%
 - III) 20%
 - I y II) 3%
 - I y III)
 - II y III) 3%
- todas bien)

Aquí es claro que la respuesta se da en términos de la experiencia cotidiana, aunque hay un grupo que respondió, que ningún objeto tiene temperatura; quizás pensando que los cuerpos fríos no tienen temperatura.

Pregunta 06. El agua (a 0°C) que resulte de la fusión de un cubito de hielo (a 0°), contiene, respecto al hielo:

- I) más energía interna.
- II) menos energía interna.
- III) igual cantidad de energía interna.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

- I) 12%
 - II) 10%
 - III) 76%
- no contestó 2%

Es claro que los estudiantes no aplican el concepto de calor y además existen dificultades en la definición de energía interna. Y confunden temperatura con

energía interna.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 17%

II) 23%

III) 51%

I y II)

I y III) 3%

II y III) 3%

todas bien) 3%

Es claro, su desconocimiento de la energía interna y su confusión con la temperatura.

Pregunta 07. Se coloca un cubito de hielo a 0 °C en un recipiente con agua también a 0 °C. En tal caso:

I) el agua cede calor al hielo.

II) tanto el agua como el hielo están desprovistos de calor, porque están a 0 °C.

III) ninguno de los dos puede ceder calor al otro.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 14%

II) 50%

III) 34%

no contestó 2%

Persiste la confusión de calor con temperatura, además el calor lo siguen asociando al cuerpo. Aunque una tercera parte contesta bien a la pregunta.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 14%

II) 12%

III) 31%

I y II)

I y III) 3%

II y III) 40%

todas bien)

Es interesante la respuesta, ya que un 40% piensa que como están a cero grado están frios y no tienen calor. Por lo tanto no pueden ceder calor. Aunque una tercera parte acierta en la respuesta, lo curioso es que corresponde al mismo porcentaje de aquellos que estudiaron con la secuencia.

Pregunta 08. Dos cubos metálicos A y B son puestos en contacto. A está más "caliente" que B. Ambos están más "calientes" que el ambiente. Al cabo de cierto tiempo la temperatura final de A y B será:

I) igual a la temperatura ambiente.

II) igual a la temperatura inicial de B.

III) un promedio entre las temperaturas iniciales de A y B.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 50%

II) 8%

III) 42%

no contestó

La mitad acierta a la pregunta, pero casi la misma proporción de estudiantes piensa que va ser el promedio de las temperaturas. Experiencia muy común al "tibiar agua"

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 48%

II)

III) 31%

I y II)

I y III) 17%

II y III) 3%

todas bien)

Da la impresión de que la experiencia cotidiana señala la respuesta, dado que el mismo porcentaje de estudiantes acierta en los dos casos considerados. Pero aquí surge una tercera opción la de aquellos que creen que el primer y tercer inciso son correctos, considerando que la temperatura es el promedio, pero después tendrán la temperatura ambiente.

Pregunta 09. Dos pequeñas placas A y B del mismo metal e igualmente espesas son colocadas en el interior de un horno, el cual es cerrado y luego accionado. La masa de A es el doble de la masa de B ($m_A = 2m_B$). Inicialmente las placas y el horno están todos a la misma temperatura. Mucho tiempo después la temperatura de A será:

I) el doble de la de B.

II) la mitad de la de B.

III) igual a la de B.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 16%

II) 26%

III) 56%

no contestó 2%

Más de la mitad supone que alcanzarán el equilibrio térmico y una tercera parte señala que alcanzara la mitad debido a que tiene el doble de masa.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 31%

II) 29%

III) 34%

I y II)

I y III) 6%

II y III)

todas bien)

Para esta pregunta, las opiniones estan igualmente distribuidas en los tres incisos propuestos, por lo que, no habria una tendencia dominante. A diferencia del grupo que si estudio con la secuencia, donde se nota una diferencia.

Pregunta 10. Considere dos esferas idénticas, una en un horno caliente y la otra en una heladera. ¿ Basicamente que diferencia hay entre ellas inmediatamente después de sacarlas del horno y de la heladera respectivamente ?

I) En la cantidad de calor contenida en cada una de ellas.

II) En la temperatura de cada una de ellas.

III) Una de ellas contiene calor y la otra no.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 14%

II) 40%

III) 38%

no contestó 8%

Considerando la primera y tercera respuesta es claro la persistencia de los estudiantes de asociar a los cuerpos calientes calor, y otra buena parte acerto en la respuesta.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 12%

II) 17%

III) 20%

I y II) 14%

I y III) 3%

II y III) 14%

todas bien) 20%

Aquí las respuestas se distribuyen más y la quinta parte asocia el calor contenido en los cuerpos, además de tener una diferencia de temperaturas.

Pregunta 11. En dos vasos idénticos que contienen la misma cantidad de agua a temperatura ambiente son colocados, respectivamente, un cubito de hielo a 0°C y tres cubitos de hielo a 0°C . ¿ En cuál situación el agua se enfría más ?

I) En el vaso donde son colocados tres cubitos de hielo.

II) En el vaso donde es colocado un cubito de hielo.

III) Enfría igualmente en los dos vasos.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 68%

II) 10%

III) 22%

no contestó

Aquí un 68% acierta en la respuesta, aunque existe un grupo de estudiantes que piensa en que tienen que enfriar igual. Parece que la respuesta se puede dar recurriendo a la experiencia.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 66%

II) 5%

III) 29%

I y II)

I y III)

II y III)

todas bien)

El argumento de que la respuesta se puede dar con base en la experiencia, lo confirma el hecho de que un grupo casi igual al que tomo la clase respondió bien. Aunque en este caso el grupo para la opción tres aumenta en un siete por ciento, lo cual hace pensar que el concepto de capacidad térmica no esta presente en su esquema.

Pregunta 12. Dos esferas del mismo material pero cuyas masas son diferentes quedan durante mucho tiempo en un horno. Al retirarlas del horno, son inmediatamente puestas en contacto. En esa situación:

I) fluye calor de la esfera de mayor masa para la de menor masa.

II) fluye calor de la esfera de menor masa para la de mayor masa.

III) ninguna de las dos esferas cede calor a la otra.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 20%

II) 26%

III) 54%

no contestó

En este caso, la mitad del grupo piensa en el equilibrio térmico y concluyen que no hay cesión de calor. La otra mitad considera como un factor en el calentamiento de los cuerpos, la masa de estos.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 17%

II) 17%

III) 57%

I y II) 9%

I y III)

II y III)

todas bien)

Es interesante observar que en este grupo, se intuye el equilibrio térmico en una proporción mayor que los que tuvieron la clase. Y aparece un pequeño grupo del 9% que tiene la idea de que la masa también interviene, pero no está claro como influye en el equilibrio térmico. Los porcentajes del grupo que tomó la clase y el que no, son muy parecidos.

Pregunta 13. Las mismas esferas de la pregunta anterior son ahora dejadas durante mucho tiempo en una heladera. En esa situación, al retirarlas e inmediatamente ponerlas en contacto:

I) ninguna de las esferas posee calor debido a su baja temperatura.

II) fluye calor de la esfera de mayor masa para la de menor masa.

III) ninguna de las esferas puede ceder calor a la otra.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 36%

II) 20%

III) 44%

no contestó

Parece que la respuesta es simétrica, a la pregunta anterior y responden con ese esquema. Pero un 36% asocia la temperatura con la cantidad de calor en los cuerpos y el 20% de estudiantes mantienen la idea de que a mayor masa debe contener más calor que la de menor masa.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 23%

II) 29%

III) 20%

- 123
- I y II) 8%
- I y III) 20%
- II y III)
- todas bien)

En este caso la respuesta se distribuye de manera más uniforme entre las tres opciones, aparece un 20% que asocia la temperatura de los cuerpos con el calor contenidos en ellos, y como se encuentran "fíos no tienen calor por lo tanto no lo pueden ceder".

Pregunta 14. ¿ Qué es lo que cambia cuando una porción de agua que ya está hirviendo pasa, por ebullición, para el estado de vapor ?

- I) Su energía interna.
- II) El calor contenido en ella.
- III) Su temperatura.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

- I) 54%
- II) 8%
- III) 34%

no contestó 4%

Es interesante, la mitad del grupo sabe que en los cambios de estado la variable que cambia es la energía interna, pero un número grande de estudiantes no conoce que los cambios de estado son procesos isotérmicos, a pesar que en la secuencia hay experimentos con cambios de estado y se utilizan termómetros.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

- I) 40%
- II) 6%
- III) 17%
- I y II) 6%

I y III) 2%

II y III) 6%

todas bien) 23%

El grupo que respondió bien, parece que tiene la idea intuitiva que algo dentro del agua cambió y tiene que ver con la energía. Y el número de estudiantes que considera que el calor, la energía y la temperatura cambia en la ebullición es de un 20%, bajo una respuesta más bien descriptiva, ya que se pudiera pensar que razonamiento que usaron para la respuesta es el siguiente: "al ebullición de agua se le tiene que agregar calor, la cantidad de éste en el agua cambió así como su energía interna y por lo tanto su temperatura".

Pregunta 15. Cuando se transporta calor por conducción de una extremidad de una barra metálica para la otra, es más correcto afirmar que eso ocurre porque:

I) el calor fluye a través de la barra, casi como si fuera un líquido.

II) la transferencia de energía ocurre por movimiento desordenado de átomos y/o moléculas.

III) energía fluye a través de la barra, pero nada pasa con átomos y/o moléculas.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

I) 58%

II) 24%

III) 14%

no contestó 4%

Un buen número piensan que el calor es fluido que está dentro de los cuerpos y se distribuye a lo largo de la barra, en estas experiencias no rebasan la teoría del calórico.

Al 24% les ayudó que en la secuencia se revisará el modelo cinético, lo cual les permitió responder bien a la pregunta.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

- I) 6%
- II) 43%
- III) 14%
- I y II) 11%
- I y III) 9%
- II y III) 14%
- todas bien) 3%

El último argumento tiene fundamento, ya que el grupo que no tomó la secuencia respondió bien, pero se estaban preparando para un examen extraordinario de electricidad.

Pregunta 16. La energía interna de un cuerpo puede ser asociada con:

- I) calor
- II) energía cinética de átomos y/o moléculas.
- III) energías potenciales de átomos y/o moléculas.

GRUPO EXPUESTO A LA SECUENCIA

- I) 28%
- II) 38%
- III) 24%
- no contestó 10%

Un buen porcentaje mantienen la idea de que el calor está contenido en los cuerpos, por lo que la asocian con la energía interna. El otro grupo de 38% sólo relaciona la energía interna con el movimiento molecular, una idea muy generalizada después de estudiar el modelo cinético.

GRUPO NO EXPUESTO A LA SECUENCIA

- I) 26%
- II) 14%

III) 17%

I y II) 6%

I y III) 11%

II y III)

todas bien) 20%

no contesto) 3%

La respuesta del mayor número de estudiantes relaciona el calor con la energía interna y le sigue un grupo que considera que la energía interna esta relacionada con todo, quizás pensando que esta asociada con el comportamiento de las moléculas y que el calor es parte de esa energía interna que se encuentra en los cuerpos.

CONCLUSIONES DE LA ENCUESTA

Bajo un análisis global de los resultados obtenidos en la encuesta, no se podrían señalar conclusiones determinantes sobre los beneficios de la secuencia, ya que los estudiantes muestran que manejan las definiciones de la secuencia pero no son capaces de usarlas para analizar algunos hechos que ocurren en la vida diaria. Y siguen manteniendo esquemas ya superados, como el calórico, a pesar de haber abordado la secuencia. Aunque en la aplicación de la encuesta no hubo suficiente control, tampoco se dió en la aplicación de la secuencia, ya que el profesor del grupo aseguro haberla aplicado, pero no se sabe con certeza que haya hecho todas las actividades propuestas.

Comentarios generales

Los resultados sobre este trabajo se podrian establecer en niveles. Por un lado la experiencia como profesor que imparte la materia de física en la Escuela Nacional Preparatoria, donde en el curso normal se ha considerado parte de la secuencia mencionada en el trabajo. El aspecto más positivo de esta secuencia es

que el enfoque experimental de la física permite captar más la atención de los estudiantes comparandolo cuando los contenidos se vieron en la forma tradicional de gis y pizarrón. Uno quizás esperaría un mayor aprendizaje de la física con la metodología pero hasta donde se ha visto todavía no se tiene resultados determinantes, a pesar de la falta de recursos para alcanzar las condiciones óptimas, para desarrollar este tipo de metodologías. Cabe señalar que las conclusiones sobre la efectividad de la estrategia serían subjetivas, en la medida que todavía no se logra elaborar instrumentos confiables para valorar la secuencia. Y el instrumento usado en la encuesta tiene una intencionalidad discutible para ser una revisión rigurosa del aprendizaje. Por lo que, sólo existe referencias personales y vivenciales del problema. Sin temor a equivocarme creo que la metodología cubre aspectos importantes tales como una mayor participación de los estudiantes en la construcción de los conceptos, parece que hay un mayor interés. Recientemente al aplicar un examen en un tema de mecánica trabajado con el mismo enfoque, encontramos en los aprendizajes referidos a la memoria, mejores resultados. En aquellos que se requería una mayor complejidad la gran mayoría de los alumnos tuvo dificultades, lo cual concuerda con los resultados de la encuesta. Esto es un indicativo que la cultura que se le ha formado a los estudiantes en sus estudios anteriores refleja un aprendizaje basado en la memoria. Lo cual dificulta aún más el camino trazado para estas metodologías cuyo esencia es crear modelos abstractos.

En lo que se refiere a la organización conceptual, es un aspecto fundamental en la enseñanza, ya que es un instrumento valioso para hacer una revisión crítica acerca de la imagen que tenemos de la Física. En este sentido quisiera mencionar que al plantearse estas tareas, resulta frecuente que hagamos generalizaciones simplistas de las leyes y principios que la mayor parte de las veces nos conduce a falsas interpretaciones, como es el caso del teorema del trabajo y la energía

en la mecánica, sin tomar en cuenta las limitaciones de los mismos resultados de la física y promoviendo aprendizajes poco críticos de la Física.

Por el trabajo que desempeño en el Colegio de Bachilleres como coordinador del Colegio de física cuya función es la coordinación en la formación de profesores, y por haber trabajado en la comisión elaboradora de los programas de Física de esta Institución, se nos ha permitido insertar gran parte de la secuencia, que extendida para otros tópicos, forma un paquete de tres asignaturas cuyo eje central es la energía.

Se está llevando a cabo una revisión del programa de física I y en breve se empezará con el de física II. Los resultados que ha arrojado esta revisión son alentadoras en cuanto que los profesores reconocen que se logra captar un mayor interés. El único problema es la falta de materiales para hacer experimentos, esto se ha venido subsanando poco a poco al involucrar a los estudiantes en la construcción de prototipos con materiales de bajo costo, pero es un proceso de largo tiempo.

Uno de los graves problemas al que nos hemos enfrentado con la formación de profesores es la poca formación experimental. Esto ha implicado dificultades para entender la secuencia propuesta en este trabajo, ya que las resistencias a los cambios se han debido a su imagen que tienen de la física, la mayoría de la planta docente tiene formación de ingenieros, en donde la tradición experimental es nula. Parece que esta situación no es exclusiva del Colegio, sino también en la preparatoria no hay esa tradición. Por lo que urge, se tomen acciones en la formación experimental de los profesores a nivel medio superior.

Como una última conclusión quiero señalar que este tipo de metodologías basadas en actividades experimentales son fértiles ya que permiten desarrollar una amplia gama de posibilidades para interesar a los estudiantes en el fascinante mundo que es la Física.

APENDICE A

PENDULO DE WILBERFORCE

El péndulo de Wilberforce es libre de oscilar en dos modos distintos, por un lado el modo longitudinal y el modo rotacional.

Cuando el cuerpo se eleva más allá de su posición de equilibrio y se suelta desde el reposo, oscila en forma vertical y lentamente transmite su energía a una oscilación rotacional. Para la transferencia de un modo a otro, es una condición necesaria que la frecuencia del modo vibracional sea igual a la frecuencia del modo rotacional. Por esto se necesita ajustar el momento de inercia del cuerpo, sin cambiar la masa.

En las oscilaciones longitudinales existe un intercambio de energía potencial elástica y potencial en energía cinética traslacional y viceversa, energía que un tiempo se va transfiriendo al modo rotacional, que posteriormente sólo tiene ese modo de oscilar y la transferencia de energía solo se da entre la energía potencial elástica y la energía cinética rotacional de hecho también podría hablarse de dos formas de EPE según se estire el resorte o se tuerza, esto se infiere del hecho que la constante de los resortes depende del módulo de Young; así como del coeficiente de Poisson. Cuando se presentan de manera simultánea los dos modos de oscilación, las diferentes formas de energía se transfieren de unas a otras. Lo que en todo caso quizás es más conveniente hablar de energía asociada en vez de energía almacenada. Este es un término usado comúnmente en libros de texto y sugiere que la energía es alguna sustancia que se puede guardar.

La solución analítica del péndulo de Wilberforce, implica plantear un sistema de dos ecuaciones diferenciales, que se obtienen de las siguientes consideraciones; un resorte sin masa con una constante k y una constante torcional Δ del cual cuelga una masa m cuyo momento de inercia es I con respecto al eje vertical. Si se analiza el sistema en coordenadas cilíndricas z y θ con $z=\theta=0$ en la posición de

equilibrio, consideremos un acoplamiento lineal de la forma c por $z \cdot \theta/2$

Aplicando las ecuaciones de Newton al sistema:

$$mz'' = -k \cdot z - 1/2 \cdot \epsilon \cdot \theta$$

$$\text{y } I\theta'' = -\Delta \cdot \theta - 1/2 \cdot \epsilon \cdot z$$

Entonces las frecuencias de oscilación

$$\omega_z^2 = k/\epsilon \quad \text{y} \quad \omega_\theta^2 = \Delta/I$$

para encontrar las frecuencias de oscilación de los dos modos normales, se tienen cuando $\omega_\theta = \omega_z = \omega$

$$\omega_1 = \omega + \omega_b/2 \quad \text{y} \quad \omega_2 = \omega - \omega_b/2$$

donde $\omega_b = \epsilon/2W/ml$

de aquí $\omega_b = \omega_1 - \omega_2$

significa la frecuencia de las pulsaciones de los dos modos normales

ω_1 y ω_2

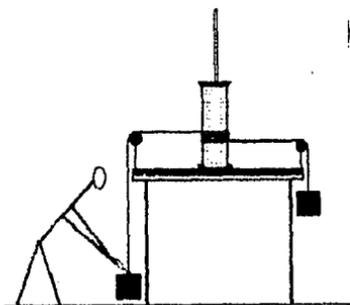
Para diseñar un péndulo de Wilberforce de bajo costo, se pueden seguir las especificaciones que Williams J. propone, con una lata de película de 35 mm llena con una mezcla de arena y yeso, y una varilla con rosca de 1/8" y 8 cm de longitud con tuercas que permitan ajustar el período para la oscilación rotacional. El resorte se hace con alambre de acero piano de calibre 12, que en un taller, se puede fabricar con los datos siguientes: Una longitud aproximada de 4 m de alambre del cual se hace un embobinado de un diámetro de 1.3 a 1,6 cm, para obtener un resorte de 10 cm de largo.

La idea del diseño es mantener la condición de igualdad de las frecuencias ω_θ y ω_z , con esto satisfecho podremos observar las transformaciones de energía en el péndulo. Con este sistema mecánico se termina el análisis de los mismos atendiendo sólo las transformaciones de la energía mecánica.

APENDICE B

CALENTADOR MECANICO

Para llevar a cabo la experiencia los estudiantes tienen que levantar la pesa usando un dinamómetro, como se muestra en la figura; esto nos proporciona en forma directa el valor de la fuerza que estamos aplicando al levantar la pesa y con ello encontrar el trabajo que se hace al subir las pesas, para determinar el trabajo lleva consigo el medir la altura que se levantan las pesas.



Efectuado el cálculo del trabajo en subir la pesa en una ocasión, ahora se busca establecer cuantas veces hay que subir las pesas, para suministrar ^{kJ} 1 de trabajo al calentador. La cantidad de agua que le cabe al dispositivo es de .050 ^{kg}; que es la medida estándar del experimento, aunque se pueden poner cantidades menores y realizar la actividad, con fines didácticos convendría hacerlo con una masa de agua de .025 Kg. y determinar la variación con la masa. En esto debemos tomar nota dado que al disminuir la masa del agua empieza a ser importante la masa del tubo de cobre, por la capacidad térmica del cobre, en esta primera parte nos posible tener todas las variables posibles del desde el punto de vista didáctico. Ya que implicaría definir la capacidad térmica antes de discutir el concepto de calor. Pero se puede hacer una estimación de la energía que absorbe el cobre, por un lado la capacidad térmica específica del cobre es aproximadamente la décima parte del agua, que en las unidades del S.I., es de 0.4 dado que en el

experimento se tiene un aumento de temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la masa del tubo de cobre es de aproximadamente $.060\text{ Kg}$, entonces el incremento de energía interna para el cobre es de $\Delta E_{\text{cobre}} = (.4)(.060)(4)$

de la cual $\Delta E_{\text{cobre}} = .096\text{ Kj}$ y si esta energía se hubiera usado para calentar el 1 Kg agua, el incremento de temperatura es de $\Delta T = .03\text{ }^{\circ}\text{C}$ que es muy parecido al agregado que se hace en la deducción de la fórmula para el calentador mecánico en el capítulo anterior.

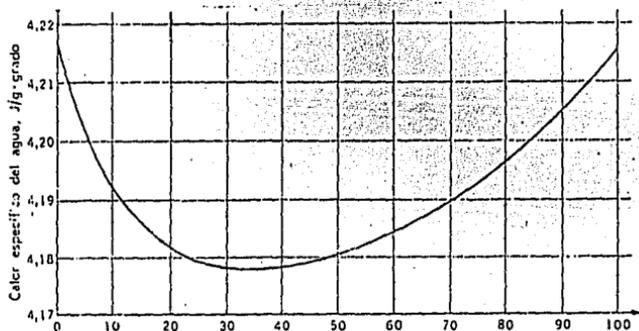
Es pertinente aclarar que este experimento se le conoce muy a menudo como el equivalente del calor; es decir se le identifica como el experimento de Joule. Pero si somos consistentes esto no es un equivalente del calor dado que es un proceso adiabático el cual no podríamos decir cuando hubo un flujo de calor. Aunque esto tuvo su origen en la calorimetría, lo que en realidad estamos encontrando es la capacidad térmica específica (o calor específico) del agua, es oportuno mencionar el comentario que sobre este punto hace el Zemansky.

A mediados del siglo XVIII, se desarrolló la calorimetría, las medidas se limitaban a el intervalo de temperatura que comprende del punto de solidificación al de ebullición del agua. La unidad de calor se denominó caloría y se definió como la cantidad de calor (calórico) necesario para elevar un grado Celsius la temperatura de 1 gr . de agua. Posteriormente se descubrió que la cantidad de calor suministrada al agua no igual si se elevaba de 0 a 1 que si era de 35 a 36 , para una misma masa de agua. Por lo que se definió la caloría como el valor necesario para pasar de 14.5 a 15.5

La cantidad de trabajo disipado dentro del agua por unidad de masa para elevar la temperatura de 14.5 a 15.5 se llamó equivalente mecánico del calor, resultando 4.1860 j/cal . En los años veintes se admitió que la medida del equivalente mecánico del calor era realmente el calor específico del agua; utilizando como unidad de energía el joule. Actualmente se acepta que no hay equivalente mecánico

del calor pero existe el calor específico del agua.³³

Sobre la capacidad térmica del agua quisieramos abundar un poco más y señalar que la capacidad térmica del agua no es una constante, sino que depende de la temperatura como se muestra en la gráfica de abajo, se tiene la variación de la capacidad comprendida entre los 0° y 100°



de la gráfica, podemos observar que el promedio de la capacidad térmica es de 4.2 coincide con nuestro experimento, ya que la segunda cifra ^{decimal} no podemos registrarla con los instrumentos que utilizamos para hacer el experimento.

Una alternativa a este experimento es utilizar simplemente un tubo de cobre de 1/2 pulgada de diámetro y unos 40 cm. de largo como se muestra en la figura



este modo simplifica y mejora el dispositivo propuesto, ya que en él no es necesario tomar en cuenta la fricción de las poleas que ya no hay en esta versión, que complica el análisis para los estudiantes. Hasta el momento las pruebas que se han hecho arrojan los mismos resultados. Esto hace posible un mayor número de estudiantes lo puedan realizar.

Antes se había mencionado el experimento como clave en el puente de la mecánica a la termodinámica ya que relaciona variables que tienen que ver con la

³³ Véase el libro de Zemansky M. Calor y Termodinámica, España, Ed. Aguilar, 1973

estructura interna con el trabajo mecánico, para este caso al subir las pesas. Si consideramos el trabajo neto sobre el sistema vemos que es cero, dado que al subir las pesas esto se hace a velocidad constante. Lo cual implicaría el no poder usar el teorema del trabajo y la energía; porque no habría variación en la energía cinética. Para salvar este punto en la literatura²⁴ el análisis de este problema se aborda, tomando una versión del teorema del trabajo y la energía al considerar la variación de la energía cinética con respecto al centro de masa y por otro lado formando parte del estudio a la primera ley de la termodinámica. En particular en el artículo usan un modelo para explicar la fricción entre dos materiales diferentes. Por otra parte, el estudio de la fricción lo hacen considerando un bloque que se desliza sobre una superficie horizontal, pero el problema que tenemos enfrente es el tratar de entender el mecanismo de calentamiento del tubo de cobre cuando es friccionado por el hilo.

Aunque en el artículo citado el análisis se refiere a un par de bloques, podemos hacer una analogía considerando que tramos muy pequeños de hilo y áreas del tubo de cobre podemos imaginarlos como bloques que se deslizan uno sobre el otro.

Sea un bloque de masa m que es acelerado sobre una superficie horizontal (cobre), para simplificar los cálculos supongamos que el bloque parte del reposo y se aplica una fuerza F y una fuerza de fricción f . El desplazamiento del centro de masa del bloque es Δx_{cm} , y la velocidad final $v_{cm,f}$.

Entonces para la ecuación del centro de masa tenemos que

$$F_{net} \Delta x_{cm} = \Delta(\frac{1}{2} m v_{cm}^2)$$

y de la primera ley de la termodinámica $\Delta E_i = Q + W$

Aplicando la ecuación del centro de masa al bloque mismo, se tiene

$(F-f) \Delta x_{cm} = \frac{1}{2} m v_{cm,f}^2$. El punto aquí es la selección del sistema al cual se le debe aplicar la primera ley; para este caso no conviene el bloque como sistema porque

²⁴ Ver libro de Arons, Feynman y el artículo de Sherwood y Bernard señalados en la bibliografía.

no podemos calcular la fuerza de fricción en la interfase, aunque se pueda calcular el trabajo de la fuerza F en el desplazamiento del centro de masa. De lo cual elegimos al sistema bloque-piso para aplicar la primera ley, antes de hacerlo es importante señalar que no existe ningún flujo de calor a pesar que el agua-cobre tengan una temperatura mayor que la del medio ambiente. Entonces el trabajo hecho sobre el sistema se debe a la fuerza F

de aquí que $\Delta E_i + \frac{1}{2} m v_{cm, f}^2 = F \Delta x_{cm}$ que es lo mismo que

$$\Delta E_i = F \Delta x_{cm} - \frac{1}{2} m v_{cm, f}^2$$

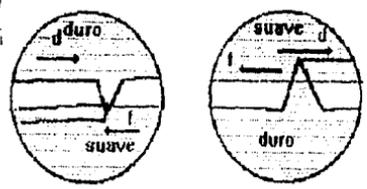
Este resultado se puede interpretar de la siguiente manera:

- 1) El incremento de energía interna de el sistema bloque-piso se debe principalmente al trabajo hecho por la fuerza F que no va en forma de energía cinética traslacional del bloque.
- 2) Este trabajo, el cual es directamente disipado, se transforma en energía interna; pero el incremento de energía interna no se debe al intercambio de calor entre el sistema y sus alrededores.

Por otra parte, si adoptamos un modelo para explicar la fricción en términos de ver lo que pasa a nivel molecular. Aquí las condiciones son de que la fricción se presenta entre dos materiales diferentes, cobre y plástico. El mecanismo de fricción implica hacer rupturas de juntas. En esta situación puede haber transferencia de calor por conducción térmica del hilo sobre el tubo. Tomando como analogía el artículo nos puede proporcionar elementos para comprender el mecanismo de disipación.

Sí el bloque superior es muy duro y el bloque inferior es suave, el dominante modo de fricción puede ser el de "arando" (ver figura) en el cual un diente duro se hunde en el material suave y lo va arando. De forma que la fuerza de fricción ejercida por el material suave sobre el diente duro actúa a través de la misma dirección del movimiento del bloque superior; d, y el trabajo debido a la fuerza

de fricción es $-fd$. Y la primera ley para el bloque superior es que el cambio de energía es cero, esto hace que el bloque no se caliente. Sin embargo si el bloque inferior se calienta más que el superior, alguna transferencia neta de calor por conducción térmica, puede cruzar la frontera del sistema.



En este sentido, los esfuerzos para romper las soldaduras entre los materiales hacen que produzcan regiones locales de alta temperatura esto debido a la vibración de los átomos de la red.

Este experimento es un ejemplo típico de un proceso irreversible,

Por otro lado, el proceso llevado a cabo es tal que se aproxima al adiabático: es decir la conversión de trabajo en energía interna del sistema.

Como es claro del experimento, que este tipo de proceso van acompañado de aumento de temperatura del sistema. Para volver el sistema y su medio exterior inmediato a sus estados iniciales sin producir ningún cambio, se tendría que disminuir la energía interna del sistema extrayendo calor, para hacer descender su temperatura y convertir íntegramente este calor en trabajo. Como esto contradice la segunda ley de la termodinámica, este proceso es irreversible. Aquí la transformación de trabajo en energía interna, del sistema tiene lugar por el rozamiento. Lo cual se conoce como efectos disipativos, en este caso el trabajo se disipa.

CALENTADOR QUÍMICO

Los valores obtenidos en algunos experimentos usando diversas sustancias como la gasolina blanca y el alcohol son; para la gasolina blanca de 11.4 KJ y para el

alcohol de 7.7 KJ que es un 60% de los valores dados en tablas. Estos últimos gozan de un mejor control de variables que en el experimento desarrollado en la secuencia, pero la importancia no radica en si nos acercamos a los valores de las tablas o no, sino que la metodología para obtener los valores.

La estandarización de los valores, no es fácil por las condiciones ya que cambian cada vez que se hace el experimento, debido al tipo de alcohol, la lata etc.. Tampoco se estima la pérdida de energía por otros factores como es la capacidad térmica de la lata, el calentamiento del aire por convección y radiación. El papel central es la conservación y transformación de la energía, a estas alturas es el argumento lógico que explica todas las estimaciones e interpretaciones.

CAPACIDAD TERMICA

Experimento sobre la capacidad térmica específica, el aspecto notable que esperamos los estudiantes vean, es que la energía interna del agua tenga cambios grandes y esto se refleja en una disminución importante de la temperatura. Esto es para que sea notorio la transferencia de energía del agua al cobre se recomienda que la masa del cobre debe ser mucho mayor que la del agua. Ya que la capacidad térmica específica del cobre es mucho menor que la del agua en números; se sugiere poner una pesa de 1 Kg y ponerlo en contacto térmico con una masa de agua de .2 Kg; y de esta manera esperar un tiempo razonable de 5 a 10 minutos al equilibrio térmico. Para evitar que los estudiantes tengan un accidente se vierte el agua a donde está el cobre, digamos a una temperatura de 50° y sellar el recipiente.

Como se mencionó en el capítulo anterior es importante dentro de la secuencia ya que es el momento de empezar hacer correcciones, que estuvieron pendientes, como la del calentador mecánico; aquí es el lugar natural.

TEMPERATURA ABSOLUTA

Los puntos que se pueden tomar para construir la gráfica P-T son con agua a temperatura ambiente, la ebullición del agua, la fusión del hielo y con una mezcla de hielo, sal y alcohol.

En la tabla de abajo se muestran los valores típicos

condiciones	T(°C)	P(psia)
ebullición del agua	92	17.5
agua a temperatura ambiente	19	15
fusión del hielo	0	13.9
mezcla de sal con hielo	-9	13.7
mezcla de sal con hielo y alcohol	-11.5	13.5

de gas a volumen cto.

Regularmente los termómetros que existen en los laboratorios usan escalas inglesas de tal forma que la presión viene en lb/pul² y calibrados a la presión atmosférica al nivel del mar (15 psi's)..

PROCESO ADIABATICO

Para explicar el calentamiento del gas, en términos de la primera ley de la termodinámica, se tiene que $\Delta Q=0$ por lo tanto el cambio de energía interna es debido al trabajo hecho sobre el sistema o del sistema sobre el ambiente, el cual se manifiesta mediante un aumento de la temperatura. Durante una compresión violenta, el gas se puede calentar mucho. Si el gas esta formado por vapores, por ejemplo de gasolina, estos tienen la posibilidad de entrar combustión, este es el

mecanismo de los motores diesel. Para el caso de la explosión de la mezcla de alcohol y aire los gases resultantes realizan el trabajo contra la presión atmosférica, cuando la pelota todavía no sale del tubo, después que abandona la bazuka ya no se hace trabajo. Este trabajo lo hizo a expensas de el aumento en la energía interna de los gases durante la explosión.

BIBLIOGRAFIA

- Arons Arnold B. A Guide to Introductory Physics Teaching, Ed. John Wiley & Sons, USA
- Baierlein R. The Meaning of Temperature, The Physics Teacher, October 1990.
- Bauman R.P. Physics that Textbook Writers Usually Get Wrong. the Physics Teacher Vol.30, Sept.1992.
- Baird, D.C., Experimentación, Ed. Prentice-Hall, México, 1991.
- Bernal John D. La ciencia en la historia, Ed. Nueva Imagen y UNAM., México, 1981
- Canagaratna S.G. Critique of the treatment of work. Am.J.Phys., vol 46, Nº 12, December 1978.
- Carreón et al Física I, fascículo V, Ed. Colegio de Bachilleres, México, 1992
- Chisholm D. Some energetic thoughts, Phys. Educ. 27(1992).
- Cor van Huis and Ed van den Berg Teaching energy: a systems approach. Phys. Educ. 28(1993).
- Feymann R. et al, Física vol.1: Mecánica radiación y calor, Ed. Fondo Educativo Interamericano, México 1971.
- French A.P. Some thoughts on introductory physics courses, Am. J. Phys., 56(2) February 1988.
- Haber-Schaim et al. Física PSSC (7ª edición), Ed. Kendall, USA, 1991.
- Haber-Schaim U. Basics in physics, The Physics Teacher February 1982.
- Kauser W., Introducción a los Principios de Mecánica, Ed. UTEHA, México, 1969.
- Hernández M.L.G. et al Física II, fascículo III, Ed. Colegio de Bachilleres, México, 1993.
- Ingard U. y Kraushaar W., Introducción al estudio de la Mecánica, Materia y Ondas, Ed. Reverté, España, 1972.
- Iona M. What is work? The Physics Teacher May 1986.
- Kruger C. Some primary teachers' ideas about energy, Phys. Educ. 25(1990)

- Leff H.S. and Mallinckrodt A.J. Stopping objects with zero external work: Mechanics meets thermodynamics. Am. J. Phys. 61(2), February 1993.
- Mallinckrodt A.J. and Leff H.S. All about work, Am. J. Phys. 60(4), April 1992.
- Martínez C.J. y Vázquez L.G., Física II, fascículo II, Ed. Colegio de Bachilleres, México, 1993.
- Maxwell J.C. MATERIA Y MOVIMIENTO, México, Ed. IPN
- Moloney M.J. String-coupled pendulum oscillators: Theory and experiment. Am. J. Phys. 46(12), Dec. 1978.
- Moore Guy S.M. General, restricted and misleading forms of the First law of thermodynamics, Phys. Educ. 28(1993).
- Orear J. Física, México, Ed. Limusa, 1989
- Pessoa de Carvalho A. y Castro R.S. La historia de la ciencia como herramienta para la enseñanza de física en secundaria: un ejemplo en calor y temperatura., mecanograma de USP, Brasil.
- Pessoa de Carvalho A.M. Construcao do conhecimento e ensino de ciencias, USP.
- Salazar A. Sanchez-Laveaga A. and Arriandanga M.A., Is the frictional force always opposed to the motion?, Phys. Educ. 25 (1990).
- Sherwood Bruce A. and Bernard W.H., work and heat transfer in the presence of sliding friction Am. J. Phys. 52(11), November 1984.
- Rosas J. et al Física II, fascículo I, Ed. Colegio de Bachilleres, México, 1993
- Resnick R. y Halliday D. Física parte I, México, Ed. C.E.C.S.A., 1977
- Reif F. Física Estadística, Berkeley physics course vol.5, Ed Reverté, España, 1969.
- Tippens P. Física Conceptos y Aplicaciones, Ed. McGraw-Hill, México, 1983.
- Van Ness H. C. y Abbot M. M., Termodinámica, Serie Schaum, Ed. McGraw-Hill, México, 1986.
- Zemansky Mark W., Calor y Termodinámica, Ed. Aguilar, España, 1973.

Fe de erratas

En la página 17 debe decir Marco Antonio en lugar de Marcos
idem página 110

La unidad de consumo de energía eléctrica es el kw-h en lugar
del kw, en la página 37

En el segundo renglón de la página 50 dice " Debido a la ley
de Coulomb....." debe decir: Debido a las configuraciones
multipolares las fuerzas repulsivas se convierten en
atractivas al aumentar la distancia entre moléculas.

En los renglones 19 y 20 de la página 50, debe decir fuerza
en lugar de energía potencial.

En el quinto renglón, del segundo párrafo de la página 52
dice " energía" debe decir: energía cinética media por
molécula

En la segunda ecuación de la página 53 los dos primeros
términos son la "energía interna o energía propia" y el
último término corresponde al movimiento del sistema como un
todo y no es una propiedad en si del sistema, sino que
depende del marco de referencia desde donde se observe. En el
marco referencia del centro de masa $V_{cm}=0$ y el último término
se cancelará.

El dibujo que aparece en la página 49 debe estar ubicado en
la página 53.

Al final del primer párrafo de la página 56 debe decir: Para
un gas diluido, su energía potencial, la energía de
interacción entre moléculas puede considerarse igual a cero,
por tanto para los líquidos y sólidos la EP tendrá valores
negativos.

En el último párrafo, de la página 58, el valor 4.186 no es
constante ya que el calor específico del agua no es
constante.

El pie de figura de la página 92 debe estar en la página 91.

En la parte final del segundo párrafo, de la página 96 dice "
la intensidad de radiación es $1=965.52 \text{ J/m}^2$ en unidades de
kJ..." debe decir: la intensidad de radiación es $1=965 \text{ W/m}^2 =$
 1 kW/m^2 . Donde la intensidad de radiación solar (I.R.S.) es
igual flujo/área. Y el valor dado de 1.4 kW/m^2 es obtenido
por los satélites fuera de la atmósfera

En la parte final del párrafo segundo, de la página 100 donde
se refiere a la ley cero de la termodinámica, se debe
considerar que el tercer sistema sería el mismo termómetro

que estuviera en contacto primero con un sistema y en seguida con el otro para el experimento propuesto.

En el último párrafo, de la página 109, donde dice " cuyo valor máximo en su eficiencia es la unidad " debe continuar el párrafo con el siguiente agregado: y sin embargo para el caso de la máquina térmica "ideal" que funcione cíclicamente la eficiencia no sería uno (como el caso de la máquina mecánica ideal). Si no esta dada por $e=1-T_{fria} / T_{caliente}$ establecida por Carnot.