

UNA REFLEXIÓN SOBRE EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA DE LAS TRANSFORMACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA TERMODINÁMICA

JESSYCA SUSANA SÁNCHEZ FORIGUA

**Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar el título de
Magister en Docencia de las ciencias naturales**

Asesor

JUAN CARLOS CASTILLO AYALA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

Bogotá, 2016

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN – RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Tesis de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Una Reflexión Sobre El Principio De Equivalencia De Las Transformaciones Para La Enseñanza De La Termodinámica
Autor(es)	Sánchez Forigua, Jessyca Susana
Director	Juan Carlos Castillo Ayala
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016, 74 páginas.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ENSEÑANZA, TERMODINÁMICA, TRANSFORMACIÓN, EQUIVALENCIA, ESTUDIOS HISTÓRICOS, RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES.

2. Descripción
La reflexión que se presenta es de corte histórico sobre el principio de equivalencia de las transformaciones y las problemáticas que lo configuraron, desde los planteamientos de Carnot, Clapeyron, Thomson, Joule, Mayer y Clausius y tiene como objetivo: configurar algunos aspectos que permitan al maestro de física ampliar su conocimiento acerca del principio de equivalencia de transformaciones a través de un análisis de corte histórico de los trabajos de Clausius, con el fin de proveer elementos para la recontextualización de saberes en curso introductorios de termodinámica. Por tanto, se enmarca en un ámbito de la enseñanza de las ciencias que pretende que la labor del docente no solo sea el de transmitir conocimientos sino proveer a sus estudiantes de situaciones donde sean ellos los protagonistas de su construcción, es decir que el profesor será un mediador entre la ciencia y el sentido común, sin embargo como se menciona en el trabajo el decir que el estudiante construye conocimiento no significa que lo haga al azar, sino que precisamente es responsabilidad del profesor su formación y habilidad para orientar las situaciones que le demanden su labor.

3. Fuentes

Referencia bibliografía	Síntesis de aportes
Ayala , M. M. (2004). Historia de las ciencias y la formación de profesores: un análisis contextual. <i>Física y Cultura</i>(7), 104. Ayala M., M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. <i>Pro-Posições</i>, Vol 1(49), 19-37.	Estas dos referencias escritas por la profesora Mercedes Ayala muestran la importancia e implicaciones de realizar estudios de tipo histórico en la ciencias, que confluyen a que el maestro realice procesos de recontextualización de saberes, es decir que interprete en palabras actuales el pasado, generando un dialogo con los escritos originales de los autores.
Carnot, S. (1824). <i>Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego</i> (Alianza Editorial, 1987, Madrid ed.). (J. Odon Ordoñez , Trad.) París. Clausius, R. (1879). The mechanical theory of heat. En M. A. Translated By Walter R. Browne, <i>The mechanical theory of heat</i> (pág. 428). London: MacMillan and CO. Perez Cruz, J. (2005). <i>La termodinámica de Galileo a Gibbs</i>. Canarias:	Estos documentos aportan al trabajo en la configuración de las problemáticas que conformaron el principio de equivalencia de las transformaciones.

Fundación Canaria Orotava. Thomson, W. (. (1899). The Dynamical Theory of Heat. En P. W. F. Maguie, <i>Harper's Scientific Memoirs</i> (pág. 151). New York and London: W. F. Maguie, Ph.D.	
Giancoli, D. (1994). Física, Principios con Apliación . Pretice-Hall Hispaoamericana S.A. Rodríguez, L. D., & Romero, Á. (1999). La construcción de la historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. <i>Física y Cultura</i> , 3-16.	Estas dos referencias aportan a la conformación de la problemática de enseñanza y conocimiento presente en el texto.

4. Contenidos
Los capítulos que se desarrollaron en el trabajo fueron los siguientes. Primer capítulo: este hace referencia a la ubicación problemática del trabajo y aborda los temas de la imagen de ciencia, los tipos de historia asociados a cada imagen y la importancia de esto para el maestro en su práctica pedagógica. Segundo capítulo: se realiza una reflexión de corte histórico alrededor de las problemáticas que conformaron y configuraron el principio de equivalencia de transformaciones realizada por Clausius, además las influencias de científicos como Carnot, Clapeyron, Joule, Mayer y Thomson en la constitución del mismo.

Tercer capítulo: en este capítulo se diseña una propuesta para el aula dividida en tres sesiones, partiendo de la discusión basada en la importancia de los estudios históricos y los procesos de recontextualización de saberes por parte del maestro, y también edificada bajo una estructura particular de la termodinámica que trata de clasificar las variables de acuerdo a qué mide y su procedencia,

Consideraciones Finales: este es un texto sintético de los aportes que este trabajo deja, bajo las intenciones propias de la maestría en la que se suscribe, regida por unos intereses particulares hacia los estudios culturales, la importancia de la historia de las ciencias y la enseñanza de las ciencias.

5. Metodología

- Hacer una reflexión de corte histórico de algunos textos originales de Carnot, Thomson, Clausius con relación a los procesos cíclicos y transformaciones de calor en trabajo, y viceversa, con el fin de ampliar y enriquecer el conocimiento del maestro respecto a ésta problemática.
- Sintetizar las compresiones hechas de los trabajos originales leídos anteriormente, apoyados por otras referencias bibliográficas con la finalidad de poder establecer criterios para la enseñanza del principio de equivalencia de las transformaciones.
- Diseñar una serie de situaciones, guiados por un proceso de recontextualización de saberes realizado por el maestro, que involucren al estudiante en el proceso de construcción de conocimiento alrededor del concepto de entropía de forma significativa con el fin de poder ampliar la experiencia pedagógica y restablecer los criterios de enseñanza.

6. Conclusiones

Este trabajo aporta una manera particular de ver la ciencia no como un cúmulo de productos y

resultados sino como la actividad misma realizada por comunidades inmersas en contextos sociales y necesidades propias, que les permiten conocer y validar las formas de interpretar el mundo natural, en particular, las problemáticas inscritas en la constitución del principio de equivalencia de las transformaciones con el fin de que el maestro amplíe su conocimiento y genere criterios para elaborar una serie de actividades.

Elaborado por:	Jessyca Susana Sánchez Forigua
Revisado por:	Juan Carlos Castillo Ayala

Fecha de elaboración del Resumen:	21	02	2017
--	----	----	------

Contenido

TABLA DE FIGURAS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
UBICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	12
OBJETIVO GENERAL.....	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
REFLEXIÓN SOBRE LAS PROBLEMÁTICAS CONFIGURADAS PARA ESTABLECER EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA DE TRANSFORMACIÓN.....	27
SOBRE LAS REFLEXIONES REALIZADAS POR CARNOT.....	29
SOBRE LOS APORTES REALIZADOS POR CLAPEYRON ACERCA DEL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA DE LAS TRANSFORMACIONES	38
CICLO DE JOULE: TRANSFORMACIÓN DE TRABAJO EN CALOR	40
CICLO DE MAYER: TRANSFORMACIÓN DEL CALOR EN TRABAJO.....	42
SOBRE EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA DE TRANSFORMACIONES DESCRITO POR CLAUSIUS	45
SOBRE LA IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE CORTE HISTÓRICOS, LA RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES Y LA PROPUESTA DE AULA	49
IMPORTANCIA E IMPLICACIONES DE ESTUDIOS DE CORTE HISTÓRICO.....	49
LOS PROCESOS DE RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES: PRIMERA FASE, DISEÑO DE PROPUESTA DE AULA	52
Propuesta para la enseñanza: La Termodinámica en el aula.....	52
CONSIDERACIONES FINALES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXO 1. ¿POR QUÉ EL CICLO DE CARNOT ES CATALOGADO COMO EL MÁS SENCILLO?	68
ANEXO 2. CICLO DE CARNOT.....	71
ANEXO 3. SUPUESTOS EPISTEMOLÓGICOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA ABORDAR LOS ORIGINALES	74

TABLA DE FIGURAS

Figura. 1. Procesos de construcción.....	16
Figura. 2. El cuerpo A que se encuentra a mayor temperatura, la flecha roja representa el paso del calórico del cuerpo A al sistema -recipiente dotado de un embolo; la flecha de color verde que va hasta el cuerpo B a temperatura baja representa el transporte del calórico que no se utilizó para producir fuerza, y la flecha azul representa la potencia motriz que es producida por la máquina.....	27
Figura. 3. El cuerpo B que se encuentra a menor temperatura, la flecha verde representa el paso del calórico del cuerpo B al sistema -recipiente dotado de un embolo; la flecha de color rojo que va del sistema hasta el cuerpo A a temperatura mayor representa el transporte del calórico que se introdujo al sistema gracias a un consumo de potencia motriz más el calórico proveniente del cuerpo B a menor temperatura, y la flecha azul representa la potencia motriz que es consumida por la máquina.....	28
Figura 4. Representación esquemática donde la potencia motriz producida es igual a la potencia motriz consumida. $W_1 = W_2$	29
Figura 5. La potencia motriz producida es mayor a la potencia motriz consumida. $W_1 > W_2$	30
Figura 6. 6. a. la fuerza motriz producida gracias al transporte de calórico es de 1 unidad. Sin embargo, se puede mejorar la manera en que se transporta el calórico para que este pueda ser mejor utilizado y produzca en el embolo una mayor expansión y que el resultado sea más potencia motriz producida. 6. b. se utilizó de mejor manera el transporte de calórico ya que se produjo 5 unidades de fuerza motriz, pero si aún se puede seguir mejorando hasta llegar a producir el máximo de fuerza motriz. 6. c. La fuerza motriz producida es de 18 unidades gracias a que fue utilizada de manera más ventajosa el transporte del calórico. Por tanto, este último ejemplo es el que consiguió una mayor eficiencia el máximo de potencia motriz.....	31

Figura. 7. Instrumento utilizado para análisis de la transformación de trabajo en calor de Joule, la zona encerrada en rojo es el sistema y la zona encerrada en azul es el entorno. (Perez Cruz, 2005).....	35
Figura. 8. En cuerpo a temperatura T se encuentra en la parte inferior del sistema con un sombreado más oscuro y se pone en contacto con este. (Perez Cruz, 2005).....	35
Figura. 9. El sistema vuelve a su temperatura inicial, ya no se evidencia contacto con el cuerpo a temperatura T . (Perez Cruz, 2005).....	36
Figura. 10. Etapas del ciclo de Mayer ab (Perez Cruz, 2005).....	37
Figura. 11. Representación gráfica de las cuatro etapas del ciclo modificado de Mayer. (Perez Cruz, 2005).....	39
Figura. 12. Gráfica de los procesos térmicos en un ciclo de una máquina térmica, donde las curvas ab y cd corresponden a procesos isotérmicos y las curvas bc y da corresponden a procesos adiabáticos.....	41
Figura 13. Comparación entre dos ciclos de presión vs volumen. 3 a, ciclo de Carnot. 3 b, ciclo arbitrario.....	64
Figura 14. Representación del ciclo arbitrario 2.....	65
Figura 15. Representación gráfica del ciclo de Carnot.....	68

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación se centra en un análisis de corte histórico sobre el problema de la transformación de trabajo en calor y viceversa, y aleatoriamente en las equivalencias de las transformaciones presentes en un proceso cíclico del cual emerge el concepto de entropía dado por el científico Clausius en el siglo XIX, para lo cual se hace un análisis de los escritos (memorias) de algunos científicos de la época como Carnot, Thomson y el mismo Clausius para luego confluir este estudio en el diseño de una serie de actividades para el aula de clases con el fin de familiarizar al estudiante con la actividad científica y la construcción de conocimiento, desde la experimentación, el análisis de imágenes, videos, elaboración de textos alrededor de la problemática central de esta investigación.

El texto consta de tres capítulos, el primero, configura la importancia de la imagen de ciencia que debe tener el maestro, del papel que cumple la historia y el maestro de acuerdo a la imagen que se tenga, ejemplificándolo desde las diversas maneras cómo se lleve al aula de clase el concepto de entropía, resaltando el problema de enseñanza de la física en particular la termodinámica y las problemáticas que permiten hacer parte de la actividad científica a una comunidad, para lo cual se propone una pregunta problema y unos objetivos, también se propone la imagen de ciencia que se tomará a lo largo del trabajo con las implicación mencionadas anteriormente.

En el segundo capítulo, se sintetiza lo analizado en la lectura de los texto originales mencionados anteriormente, que parte del análisis de los procesos cíclicos presentes en una máquina térmica ideal descrita por Carnot, donde establece unos principios que posteriormente serán utilizados por Clausius para iniciar su análisis de los procesos cíclicos, también se muestra el aporte de Clapeyron al representar gráficamente el trabajo de Carnot. Otro aspecto importante de este capítulo fue el análisis de los ciclos de Mayer y Joule, que fueron relevantes para comprender tanto el cambio de naturaleza del calor manejado en la época como la manera en que se relacionan las transformaciones en un ciclo térmico donde se produce trabajo o calor y como es la equivalencia de esas transformaciones.

Por último, el tercer capítulo, muestra la importancia de los estudios históricos que ayudados por un proceso de recontextualización de saberes enriquecen las representaciones y conocimientos que tenga el profesor acerca de una temática en particular, en este caso el de la transformación de calor en trabajo o viceversa, que teniendo en cuenta una estructura particular de la termodinámica, la cual se basa en categorías conceptuales, confluye en el diseño y propuesta de una serie de actividades que permitan al estudiante hacer parte de la actividad científica. La propuesta de aula se divide en tres sesiones, donde en la primera sesión se trabaja la categoría conceptual de estado por medio del análisis de unos videos; la segunda sesión son situaciones experimentales que buscan trabajar la categoría conceptual de acción; y la tercera sesión trabaja la categoría de transformación por medio de experimentos mentales sobre una situación planteada referente a los ciclos de una máquina térmica.

PRIMER CAPITULO

UBICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La enseñanza de las ciencias, particularmente su práctica, según Rodríguez y Romero (Rodríguez & Romero, 1999), está determinada por la imagen de ciencia que tiene el maestro, la que orienta la manera cómo reflexiona, investiga y se relaciona con el conocimiento científico; además, la imagen de ciencia es, también, determinante para definir el papel que desempeñara el maestro en la clase de ciencias. Ahora bien, aunque hay múltiples imágenes de ciencia y de conocimientos, éstas pueden ser sintetizadas en tres clases, que permiten destacar formas particulares de relacionarse con el conocimiento científico; es importante resaltar que cada imagen de ciencia implica una forma particular de asumir la historia y la enseñanza de las ciencias, además del papel que tiene la historia para la enseñanza.

La primera imagen de ciencia, está ligada a una forma de concebir el conocimiento como la descripción verdadera y objetiva de la realidad, descripción que se encuentra en las teorías, leyes y conceptos establecidos por la ciencia; esta descripción es resultado del descubrimiento de la manera como se comporta la naturaleza, también, tal descripción es susceptible de ser comprobada, a través de la experimentación, es decir, mediante el experimento se le otorga un valor de verdad a las teorías, además de ser una fuente de nuevos descubrimientos. En este orden de ideas, se puede pensar que la ciencia, además de ser el conjunto de descripciones de los descubrimientos, se ha ido configurando de manera progresiva y lineal; así, la historia es usada como una herramienta que ayuda a organizar cronológicamente descubrimientos y las descripciones que constituyen la ciencia.

La segunda imagen asume la ciencia como un corpus de conocimientos que es la explicación verdadera del comportamiento del mundo natural por medio de teorías, leyes y conceptos; a diferencia de la anterior imagen de ciencia, estos productos son el resultado de la actividad científica y no del descubrimiento. Si bien esta imagen asume la ciencia como las explicaciones producto de la actividad de los científicos sigue asumiendo un

desarrollo lineal y progresivo de la ciencia, esto es, que mediante esta actividad se elaboran explicaciones cada vez mejores y más avanzadas, en consecuencia las explicaciones científicas nuevas, no solamente sintetizan las anteriores sino que las mejora de tal forma que permiten conocer de manera acertada los comportamientos del mundo natural. En este orden de ideas, la historia toma un papel netamente narrativo del desarrollo ordenado de esos productos de acuerdo a los avances que tuvo un científico posterior a otro.

La tercera imagen asume la ciencia como la actividad misma de producción de conocimiento y de explicaciones sobre el mundo natural; actividad que es realizada por las comunidades científicas (Khun, 1994), así la actividad científica está instalada en contextos determinados, aspecto que implica que ésta esté mediada por intereses, intensiones, ideologías, cosmovisiones y problemas de conocimiento, entre otros elementos, con lo cual la ciencia es una actividad que está en constante tensión y transformación, siendo las teorías, leyes, conceptos y experimentos síntesis o sistematizaciones no definitivas de tal actividad. Asumida así la ciencia como una actividad de producción de explicaciones a hechos que ocurren en la naturaleza, socialmente y culturalmente situada, se entiende la historia de las ciencias también como una actividad, igualmente situada social y culturalmente, que interpreta el pasado bajo unas intensiones y hechos singulares del presente, con el fin de comprenderlo.

La enseñanza de las ciencias, tanto en la imagen uno y como en la dos, implica que en la práctica se sitúe al maestro como un simple trasmisor de dichos productos de ciencia, como por ejemplo mostrar lo establecido en los libros de texto, propiciando una separación marcada y de apoderamiento de la verdad solo a las comunidades científicas donde es validado el conocimiento; en tanto que las personas que no pertenecen a estas comunidades, simplemente asumen lo que ellos digan, ya la tercera imagen, el que la ciencia sea tomada como la actividad misma, implica que tanto los científicos como las personas del común puedan elaborar explicaciones de los hechos naturales, ya que ellos pueden generar dinámicas experimentales acerca de intereses e intenciones con el fin de construir explicaciones, donde el maestro no simplemente es un transmisor de productos terminados si no que elabora actividades que le permitan en los contextos escolares y propios indagar sobre la naturaleza. Por tanto, debe reconocer el establecimiento de la relación entre la

imagen de ciencia, el conocimiento y el uso pertinente de la historia y epistemología de las ciencias, el cual se inclina por construir una imagen de ciencia que le permita abordar los problemas propios de su disciplina y las exigencias de la sociedad actual y cambiante (Rodríguez & Romero, 1999).

Se ha mostrado que hay diversas maneras de asumir el uso de la historia y cada una de estas tienen unas implicaciones propias en la forma de asumir el conocimiento, el papel del científico y el del maestro, por esto, a continuación se mostraran dos perspectivas del uso de la historia en las cuales se ampliará lo dicho anteriormente, la primera tiene que ver con una historia que identifica, sitúa y organiza un pasado, por medio de hechos que ya ocurrieron que son evidente y reales, por tanto, el historiador tiene como tarea organizar los datos, por fechas, descubrimientos y personajes, de tal manera que le permita verificar la veracidad de lo que va a contar. Lo anterior implica que, el sujeto sea independiente de su objeto de estudio; los hechos, *y le asigna un papel pasivo frente a la verdad histórica externa a él* (Rodríguez & Romero, 1999). Los hechos, son la fuente de la información, se consiguen o seleccionan en documentos y textos que les permitan rastrear el pasado obvio, en tanto, esto le permitirá armar una historia completa y real del pasado, posibilitando la existencia de una realidad donde las diversas historias sean compatibles y las elaboraciones conceptuales por parte de los científicos son superados por otros.

La segunda perspectiva, muestra que diversas historias no son compatibles debido a la subjetividad de cada historiador, es decir, la selección de la fuente implica una mirada particular de este, el sujeto ya no es independiente de su objeto de estudio, es él el que elige el hecho y el análisis no se centra en el dato sino en la perspectiva del autor que lo plantea, ya no se genera hechos sino imágenes. Lo anterior conlleva unas ventajas e implicaciones reconocer la subjetividad en la tarea del historiador que le da la posibilidad y necesidad de construir imágenes por medio de *procesos* de selección e interpretación, concientización sobre las *problemáticas* que se ponen en juego en los contextos culturales a los que se pertenece (Rodríguez & Romero, 1999). Ahora bien, ¿cuál de estas dos perspectivas es la que propende por construir una imagen de ciencia que le permita abordar los problemas propios de su disciplina y las exigencias de la sociedad actual y cambiante, al maestro?

Como lo hace notar Rodríguez y Romero...*La concepción de ciencia que el historiador tenga resulta determinante en el tipo de historia que haga* (Rodríguez & Romero, 1999)... y muestran tres tipos de imágenes de ciencia las dos primera, están ligadas a tomar los hechos científicos como acontecimientos que realmente ocurrieron, por ejemplo, los descubrimientos; o que ocurren regularmente en la naturaleza, por ejemplo, los enunciados. En la primera imagen de ciencia, estos autores definen la ciencia como un cúmulo de conceptos, leyes, principios y teorías estructuradas por medio de enunciados que manifiestan aspectos objetivos de la naturaleza, por tanto, dicha objetividad atribuida al mundo natural implica considerar al conocimiento científico con existencia independiente de los sujetos, atemporal y a histórico ya que determina y materializa unas relaciones de exterioridad y enajenación, es decir, independiente de toda acción humana.

En la segunda imagen de ciencia, se define el conocimiento científico como un conjunto de saberes constituidos por sujetos en contextos socio-culturales particulares validados por comunidades científicas (Rodríguez & Romero, 1999), por tanto, se les atribuye un carácter objetivo y universal, donde es la primera perspectiva de historia antes descrita, la que ayuda a hacer organizaciones cronológicas, donde las elaboraciones conceptuales van a ser siempre superadas por otras mejores y validadas así por los científicos, lo que conlleva una disociación entre los contextos de producción y difusión de conocimiento, implicando una separación por sectores, los productores y los consumidores. En estas dos imágenes el conocimiento científico solo es posible transmitirlo, no hay paso a la comprensión ni construcción del mismo, por tanto, el papel del maestro se limita a la aceptación y transmisión objetiva de los productos científicos, para dicha labor cuenta con la información que contienen los libros de texto.

En este contexto la ciencia no es más que una productora de conocimientos, productos que serán dados a la sociedad, que luego serán llevados a la escuela para ser enseñados y aprendidos por parte de profesores y estudiantes como verdades indiscutibles, sin reconocer que la ciencia es una actividad realizada por humanos.

La separación entre la actividad científica y los productos generados por ella lleva necesariamente a la “cosificación” de los mismos y pone al individuo en una relación de exterioridad y de

subordinación frente a lo que se reconoce como conocimiento científico. (Ayala, Malagón , & Romero, 2004, págs. 65-78)

Asumir de esta manera la ciencia implica, que el sujeto tenga la concepción de que hay procesos ya determinados para llegar a dichos resultados sin preocuparse por involucrarse en los procesos mismos; discutirlo, variarlo o contrariarlo, por el miedo a no conseguir los mismos resultados mostrados por la comunidad científica, ya que esa es la verdad, esto invade directamente la manera de enseñar las ciencias ya que el profesor lleva estos productos tal cual como son mostrados y el estudiante de manera pasiva los asume. Como bien lo resaltan Ayala et al, 2004, *esta manera se asumir el conocimiento científico que pone al sujeto en una relación de exterioridad frente al mismo, está fundamentado en la posibilidad de separar la actividad del resultado mismo de dicha actividad.* (Ayala, Malagón , & Romero, 2004, págs. 65-78)

En ese sentido, en dicho escenario se privilegiaría la recepción, acumulación y el hacer operativa la información, pero no el dialogo, la discusión, la contraposición, el acuerdo y la validación que son parte de procesos de construcción de conocimientos, dispuesta por la actividad social propia del espacio escolar; es ciertamente desmotivante que al estudiante se le muestre el conocimiento como un asunto terminado debido a que sus ideas, explicaciones, experiencia y formas de organizarla no se tendrán en cuenta a la hora de desarrollar una clase; convirtiéndose en receptores de información que está dada, clasificada y ordena por los libros, revistas, videos, internet o el mismo maestro, negando la posibilidad de vivenciar el proceder científico alrededor de un interés particular, que les permitirá generar unas pesquisas, contratiempos, cuestionamientos, formas de validar lo que están discutiendo en el aula.

En el caso particular de la enseñanza de la segunda ley de la termodinámica, en la cual se define el concepto de entropía, generalmente se acude a lo establecido en los libros de texto, sin tener en cuenta que existen diversas maneras de definir este concepto, donde cada una está de acuerdo con una cosmovisión particular y procede de problemáticas de investigación diferentes; por tanto, en el aula se da una imagen oscura y confusa que no le permite al estudiante plantearse inquietudes dirigidas a explicar fenómenos, ni a comprender el sentido del concepto de entropía. Por ejemplo en el libro de Giancoli (1994),

se muestran formas diferentes de asumir el concepto de entropía, pero se muestran de manera superficial. En primer lugar definen la entropía como el enunciado de la segunda ley propuesto por Clausius en el siglo XIX, teniendo como consideración un proceso reversible y un sistema aislado, para argumentar la idea de que la entropía siempre se mantiene constante o va en aumento como resultado de un proceso natural cualquiera que sea, de manera que lo ilustran por medio de un desarrollo matemático haciendo uso de la siguiente ecuación: $\Delta S = \frac{Q}{T}$, donde ΔS es la variación de la entropía cuando se le agrega una cantidad de calor Q al sistema, y T es la temperatura absoluta (Giancoli, 1994). En esta manera de exponer el concepto nunca se dice a qué se hace referencia con el término entropía y se obvia la importancia de que T sea tomada como la temperatura absoluta establecida por Thomson, ya que como los autores expresan “...finalmente tenemos un enunciado general cuantitativo de la segunda ley de la termodinámica...” (Giancoli, 1994, pág. 448), es decir que el interés del texto es poder llegar a resolver los ejercicios de fin de unidad, aunque reconocen que “...es una ley extraña...”.

En segundo lugar, ya teniendo situada la entropía, en el segundo principio de la termodinámica, dice que el concepto de entropía; se puede relacionar con otros conceptos como el de orden y desorden, ubicados desde la teoría de la información, a groso modo se menciona que entre más sea la información de un sistema más ordenado es, entre menos información más desordenado ya que no podemos obtener de este los suficientes datos para conocerlo, en este sentido exponen que al poner dos cuerpos a temperaturas diferentes en contacto finalmente los dos tendrán las mismas temperatura “Al principio del proceso podemos distinguir dos clases de moléculas: las que tienen una energía cinética media mayor, y las de energía cinética media menor. Después del proceso, todas las moléculas pertenecen a una clase, con la misma energía cinética media, y ya no tendremos la clasificación en dos grupos, con más orden” (Giancoli, 1994, pág. 449). En tercer lugar, en estrecho vínculo con la anterior versión, ya que se habla en los términos de orden y desorden, pero resaltando el argumento que cuando mayor sea el desorden mayor será la cantidad de energía degradada y por tanto menos el trabajo útil realizado, siendo este el caso para el aumento de entropía. En cuarto lugar, se relaciona el aumento de entropía con la evolución de los organismos y la dirección de los sucesos bajo el término de “flecha de

tiempo”, ya que los organismos son altamente ordenados y tienden a serlo a un más, también los sucesos temporales son irreversibles (Giancoli, 1994), se presenta por tanto un cambio en la manera como se concibe la realidad que ya no sería única si no que varía y depende del proceso, es decir también varía el cómo conocemos y construimos el fenómeno, sin embargo, esto no se hace notar. Por último y en quinto lugar, se presenta la forma estadística de interpretar el concepto de entropía, expuesta por Ludwig Boltzman a finales siglo XIX que viene siendo la medida del desorden de las partículas. Desde la termodinámica, se puede hablar de que un sistema puede tener cualquiera de estas dos condiciones, una en relación al equilibrio y la otra en relación al desequilibrio, pero comúnmente esto se asocia a que el equilibrio habla de un orden y el desequilibrio de un desorden, y de acuerdo con esta visión no es así, por ejemplo, si consideramos dos opciones de distribución en los niveles de energía de cuatro partículas, el primero, diciendo que tres de ellas están en un nivel de energía E_0 y la otra en un nivel de energía E_3 , será menor el número de estados posible, pero con la segunda opción de distribución decimos, que cada una de las cuatro partículas están distribuidas en niveles diferentes de energía, es decir, están en E_0, E_1, E_2, E_3 respectivamente, entonces será mayor la cantidad de estados posibles. De acuerdo a la siguiente ecuación se puede afirmar lo anterior;

$$P = \frac{N!}{n_0! + n_1! + n_2! + n_3!}$$

Ecuación 1. Distribución

Donde P habla del número de estados. N se refiere al total de partículas y n_i al número de partículas correspondiente a cada nivel, $i = 0, 1, 2, 3$. Entonces para el primer caso será:

$$P = \frac{4!}{3! + 0! + 0! + 1!} = 4$$

Ecuación 2. Distribución 1.

Y para el segundo caso sería así:

$$P = \frac{4!}{1! + 1! + 1! + 1!} = 24$$

Ecuación 3. Distribución 2.

Donde quedaría demostrado que es mayor el número de estados para el segundo caso, nótese que entre más desordenadas están las partículas, ya que están distribuidas por todos los niveles de energía, es mayor el número de estados y que a mayor orden, ya que su mayoría están solo en un nivel de energía, es menor el número de estados.

Cada una de las maneras en que se abordó el concepto de entropía en el libro se puede identificar con una historia que solo intenta organizar datos históricos por fechas enunciados, descubrimientos y personajes importantes en la constitución del concepto y donde se favorecen las dos imágenes de ciencias descritas anteriormente, ya que desconocen los *procesos* de selección e interpretación de los hechos y la concientización sobre las *problemáticas* que se ponen en juego en los contextos culturales a los que se pertenece.

La tercera imagen de ciencia, que muestran Rodríguez y Romero (1999), señala a la ciencia como una actividad de construcción de explicaciones a fenómenos del mundo natural ligado a contextos socio-culturales particulares y a necesidades e intenciones concretas surgidas en tales contextos, buscando a la vez la construcción de la historicidad del conocimiento que significa concientizarse de la misma *historicidad de los hechos científicos*, es decir, que tales hechos en algún momento tan solo fueron enunciados, hasta polémicos, que necesitaron de un trascender científico, político y social para ser validados y constituidos para ser llamados hoy en día así; hechos los autores citan el siguiente ejemplo:

El que los gases cambien su estado de presión cuando su volumen varía -o en otras palabras, que exista una relación funcional entre su elasticidad y su densidad-, por ejemplo, es un hecho hoy en día aceptado y por muchos naturalizado. Es más, es por esta razón (de ser un hecho) que sirve de base para la explicación a la experiencia de Torricelli. No obstante, tanto el hecho

como la explicación mencionados eran carentes de todo valor científico hasta que Robert Boyle y sus seguidores no lo diseñaran, lo hicieran evidente y crearan un ambiente favorable para que pudiera ser considerado como hecho.
(Rodríguez & Romero, 1999, pág. 10)

Para el caso particular de esta investigación, generar a través del calentamiento de agua, cierta cantidad de vapor que encerrado en un recipiente y dotado de un embolo produzca que este se mueva hacia arriba y en sentido contrario que el embolo se mueva hacia abajo gracias al cambio de temperatura del agua, es decir, el establecimiento de una relación de compensación entre el calor y trabajo y viceversa de trabajo y calor, sirvió para muchos en las elaboraciones de diferentes maquinas térmicas con mejores eficiencias, pero como hecho científico y de cocimiento se concretaría con el estudio de Clausius y el concepto que emergió de dichas construcciones explicativas; la entropía.

Siguiendo los mismos autores, los cuales citan a Ernst Mach, quien esgrime que la ciencia es la misma actividad de su producción, por tanto, el conocimiento son *procesos* continuos de organización de experiencia y de construcción conceptual a partir de ellos, tales *procesos* deben responder a necesidades particulares de los sujetos involucrados en tal actividad. Por cuanto, el concepto, son representaciones mentales cuya formación no es inmediata sino que requiere de un desarrollo y un progreso ligado a los intereses e intenciones particulares del sujeto; procesos de construcción de explicaciones (*Ver Figura. 1*). Sin embargo, la selección vuelve a jugar un papel protagónico, ya que depende del sujeto y sus intenciones, ésta constituye la abstracción o construcción del concepto

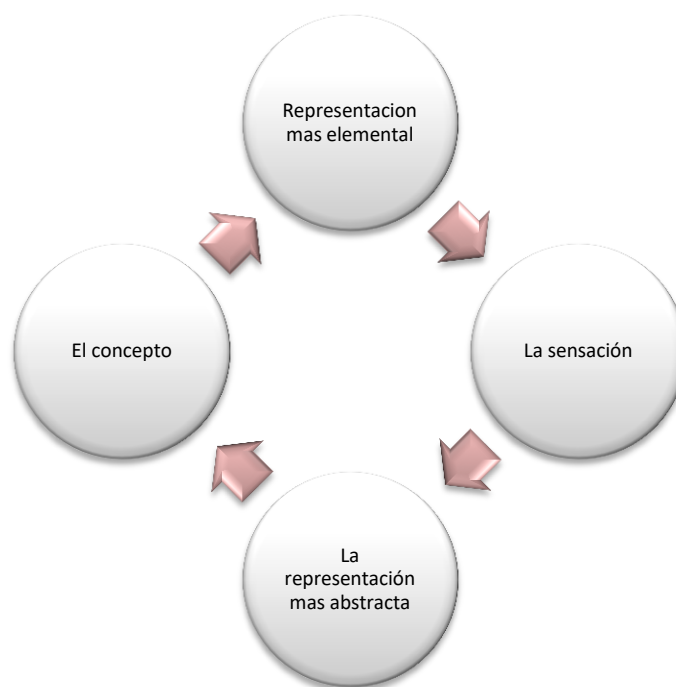


Figura. 1. Procesos de construcción

“El que vive el proceso puede pasar del hecho al concepto e inversamente para reconstruirlo” (Rodríguez & Romero, 1999, pág. 12). Entonces, esta imagen de ciencia no disocia las comunidades sino que invita a que el profesor sea parte de sus propios procesos de construcción lo que proporciona un carácter cultural a la labor educativa generando así nuevos sentidos culturales para su quehacer, lo que implica construir imágenes y representaciones que relacionen el mundo natural, el conocimiento científico y el conocimiento común, posibilita, dinamizar significativamente los contextos problemáticos para poder ser llevados al aula de clase donde el estudiante no sentirá que le cuentan la misma historia de siempre sino que está haciendo parte de la labor científica y de construcción de conocimiento; adelantar reflexiones sobre las implicaciones de tipo social y cultural a las que tenga lugar las problemáticas escogidas y la imagen de ciencia llevada al contexto escolar.

Es precisamente esta última imagen de ciencia, junto con la segunda perspectiva de historia, la que estructuran el presente trabajo, interesado por mostrar, un estudio histórico alrededor de la problemática de transformación de calor en trabajo y trabajo en calor, expuesta gracias a la constitución de la máquina térmica, dicha problemática aportó

no solo al mejoramiento eficaz de la maquina sino también a constituir explicaciones como la temperatura absoluta, constituyéndose como problema de conocimiento en los estudios realizados por Clausius.

El desconocimiento de una historia que está a la base de la construcción de un concepto y la manera como esta se puede difundir en el aula conllevó a desarrollar un trabajo de investigación en el pregrado constituido desde la siguiente pregunta *¿Cuáles fueron las problemáticas y contextos que dieron origen al concepto de entropía, y qué criterios se pueden establecer para definir rutas y posibles problemáticas para estructurar propuestas para la enseñanza de la termodinámica en general y de la entropía en particular?* La cuál en parte fue contestada en la monografía titulada REFLEXIONES SOBRE LA ENTROPÍA PARA LA ENSEÑANZA DE LA TERMODINÁMICA (2012), En donde, se ubica el trabajo dentro de una estructura conceptual, y se reconoce que esta estructura de la termodinámica ayuda a comprender por medio de analogías otros campos fenomenológicos de la física; estas analogías que se pueden construir por medio de las categorías conceptuales: estado, proceso y transformación. Por tanto, estas categorías constituyen una herramienta para la enseñanza de la física, y los conceptos que están relacionados con las categorías, por lo cual se le atribuye una de estas categorías a la entropía, que es la de transformación. En esta ubicación del trabajo muestra las diferentes maneras de hablar de la entropía y por tanto la importancia de este concepto. Lo anterior exige una ruta metodológica que guíe y pueda hacer evidente todo el proceso que se siguió en el trabajo.

Se explora los orígenes del concepto de entropía y las problemáticas que fundamentaron este concepto, a partir de los estudios realizados por Sadi Carnot y Thomson. De acuerdo con lo anterior, las problemáticas alrededor de la construcción de la ruta conceptual para llegar a definir la entropía, se sustentan en las ideas de la eficiencia de la máquina térmica y el establecimiento de una escala de temperatura absoluta, para lo cual fue necesario mostrar el ciclo de Carnot, los procesos que están inmersos en el funcionamiento de tal ciclo y su formalización, que posteriormente serán bases para encontrar la relación que define la eficiencia de la máquina térmica. De otro lado, la temperatura absoluta no es algo que este desligado de tales conceptos ya que esta se define a partir de la eficiencia de la máquina térmica, y con este trabajo de Thomson se construye una escala que no depende de

una sustancia, es decir, no es una definición operativa. De estos anteriores trabajos se establecen dos principios que serán fundamentales en la construcción del principio de equivalencia de las transformaciones, principios que cumplen dos condiciones para denominarse transformaciones equivalentes; por un lado, que una supone la otra y la segunda, que se sustituyen mutuamente, esto que conduce a la definición de entropía.

La construcción del concepto de entropía y la representación matemática del mismo expone la relación entre los efectos de las transformaciones equivalentes, donde se define la entropía como una magnitud física, enmarca la gran sistematización de los trabajos de Carnot y Thomson hecha por Clausius, estableciendo la relación que tienen aquellos trabajos con la definición de la entropía, que al inicio era conocida como el principio de equivalencia de las transformaciones, por lo anterior es necesario para este trabajo definir este principio y decir en que problemáticas e ideas está estructurado, para comprender la reflexión que hace Clausius acerca de la asignación del nombre de entropía a este principio.

Los trabajos originales de; Carnot, Thompson y Clausius, que posibilitaron establecer un trabajo disciplinar, en cuanto a las problemáticas que cada autor acuñó para establecer sus procedimientos que les permitieron formar explicaciones alrededor de los fenómenos térmicos y posteriormente el establecimiento del concepto de entropía, son necesarios para un maestro en formación ya que este podrá: explorar, organizar, analizar y establecer criterios de enseñanza acerca de las dinámicas involucradas en la construcción del fenómeno para una explicación del mismo, propiciando espacios de producción de conocimiento en el aula, tales acciones identifican un proceso de recontextualización de saberes como la herramienta pedagógica aquí mencionada.

El trabajo anterior alcanzó a explorar y organizar las problemáticas que trabajaron los diferentes científicos involucrados en la conceptualización de la entropía, pero no se realizó, el énfasis suficiente sobre el problema central del que emerge el concepto y es el de *la transformación de calor en trabajo y trabajo en calor*, el análisis y el establecimiento de los criterios de enseñanza, que unidos finalmente son los que permite, que tanto el profesor como el estudiante se involucren en su propia actividad científica en pro de la reconstrucción de una experiencia de conocimiento significativa.

Por tanto, es necesario que se tenga otra concepción acerca de la ciencia y es plantearla *“como actividad particular de grupos humanos, en donde la elaboración de conocimiento está estrechamente vinculada con las dinámicas sociales, no solo en el sentido de estar referenciado por las condiciones ideológicas del medio, y la infraestructura necesaria para su desarrollo, sino por los procesos dialécticos que se dan entre el pensamiento científico y el curso histórico del pensamiento de la humanidad”* (Pedreros Martínez & Vargas Nieto, 2014). El desconocimiento de la historia y el devenir de la ciencia ya no serán de segunda mano sino que formaran parte fundamental para la vinculación del profesor con la actividad propia de la construcción de conocimiento científico, por cuanto le permitirá entender desde que lugar fue dada dicha actividad, bajo qué intereses disciplinares, epistemológicos, políticos, económicos, etc., que gestaron las teorías, leyes, hipótesis y conceptos a tratar, propiciado un proceso de recontextualización, es decir, que se dé lugar a un dialogo entre esa génesis y la nueva forma de interpretación. Como bien lo señala María Mercedes Ayala.

En el proceso de recontextualización se requiere distinguir fases o momentos, pues, si bien el análisis histórico-crítico, en una primera fase, aporta elementos valiosos para la configuración de problemáticas en torno a las cuales organizar la actividad en el aula así como para determinar tanto formas posibles de abordarlas como estructuras conceptuales que están a la base de las mismas; es necesario un nuevo proceso de recontextualización para proveer condiciones que haga posible que los estudiantes enriquezcan y organicen su experiencia en torno a los fenómenos en cuestión en el sentido o perspectiva propuesta. Esta vez la reflexión sobre las condiciones cognitivas de los estudiantes (su familiarización con dichos fenómenos, su formación, etc.) y de trabajo en el aula dirige este proceso; puesto que éstas definen si una situación problemática propuesta resulta o no significativa para el grupo de estudiantes en cuestión y la forma de desarrollarla. (Ayala M., 2006, págs. 30-31)

Si bien el maestro de ciencias debe ser una persona preocupada por establecer; criterios propios de cómo él concibe la ciencia y la enseñanza, también es responsabilidad suya la manera cómo difunde estos criterios en el aula, lo cual se da cuando, en primer lugar, hay una inclusión directa en el aula, segundo, mantiene una coherencia entre sus acciones y lo que promueve. En ese sentido en *el nuevo proceso de recontextualización de saberes* se vivencian dos momentos; *uno, de diseño de la propuesta (definición y estructuración de las actividades didácticas) en el que juega de manera decisiva los supuestos del maestro-investigador sobre las condiciones cognitivas de los estudiantes; y otro, de trabajo en el aula, en el que se realiza un proceso de ajuste permanente de la propuesta, de acuerdo a las especificidades del grupo en cuestión. Sobre este segundo momento, es importante señalar que no se trata de examinar la bondad de la propuesta (si es o no exitosa) o el efecto de la propuesta didáctica.* (Ayala M., 2006, pág. 31)

El contexto en el que fueron inscritas y desarrolladas todas las técnicas experimentales junto con los trabajos teóricos que conjuntamente se acompañaron; jugaron un papel importante y único para cada científico, los cuales le permitieron validar sus trabajos, pero ahora a partir de qué criterios de enseñanza, el profesor, establece la manera en cómo pueden ser llevadas estas problemáticas de estudio, dados en contextos diferentes al del estudiante, al aula de clase, mostrando que la ciencias es una actividad de la cual ellos pueden hacer parte del problema de conocimiento, generando así los espacios de dialogo y validación necesarios para que esto tenga sentido. Donde la problemática de transformación de trabajo en calor y calor en trabajo, inscrita bajo un contexto particular de la historia sea el iceberg para el desarrollo de esta investigación, propiciando espacios para la producción de conocimiento.

Por cuanto la investigación está orientada por la siguiente pregunta:

¿Qué aspectos de la discusión con respecto al principio de equivalencia de las transformaciones, permite al maestro de física ampliar su conocimiento en relación con dicho principio de tal manera que le posibilite hacer una recontextualización de saberes para la enseñanza de la termodinámica en cursos introductorios?

OBJETIVO GENERAL

Ampliar el conocimiento acerca del principio de equivalencia de transformaciones a través de un análisis de corte histórica de los trabajos de Clausius, con el fin de proveer elementos para la recontextualización de saberes en curso introductorios de termodinámica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer una reflexión de corte histórico de algunos textos originales de Carnot, Thomson, Clausius con relación a los procesos cíclicos y transformaciones de calor en trabajo, y viceversa, con el fin de ampliar y enriquecer el conocimiento del maestro respecto a ésta problemática.
- Sintetizar las compresiones hechas de los trabajos originales leídos anteriormente, apoyados por otras referencias bibliográficas con la finalidad de poder establecer criterios para la enseñanza del principio de equivalencia de las transformaciones.
- Diseñar una serie de situaciones, guiados por un proceso de recontextualización de saberes realizado por el maestro, que involucren al estudiante en el proceso de construcción de conocimiento alrededor del concepto de entropía, de forma significativa, con el fin de poder ampliar la experiencia pedagógica y restablecer los criterios de enseñanza.

SEGUNDO CAPITULO

REFLEXIÓN SOBRE LAS PROBLEMÁTICAS CONFIGURADAS PARA ESTABLECER EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA DE TRANSFORMACIÓN

La ideología oficial propone una imagen de la ciencia como neutral. Sin embargo, los conceptos y las leyes científicas no son puro reflejo de la naturaleza: la ciencia es una actividad humana, que, por supuesto, nace de la relación que el hombre establece con la naturaleza, pero toma su forma y desarrollo en el marco de la cultura de una época, de las formas de conceptualizar y razonar, y aún más del papel que el científico desarrolla en relación con las tareas sociales, son los problemas concretos y conceptuales que se tienen que enfrentar y resolver en aquella época, en aquel contexto económico y social. (Baracca, 2002)

Como ya se ha mencionado anteriormente, los contextos particulares en los que se desarrolla un conocimiento, contribuyen a una manera determinada de asumirlo y construirlo, donde se establecen compromisos no solo de tipo científico y/o técnico sino también social, económico y político. La problemática de la presente investigación se instaura en la época de la revolución industrial, que buscaba transformar las antiguas sociedades agrarias, caracterizadas por una baja productividad típica de las relaciones feudales, dadas por el autoconsumo, lo que produce la necesidad capitalista de una revolución agrícola provocando el aumento de la producción y la población, consecuencia de: los nuevos cultivos, la intensificación de los mercados y el aumento de la mano de obra, lo anterior implica pensar en cuáles son las mejores formas de comercializar todos aquellos productos que se están elaborando, lo que dirige la mirada a los canales de distribución, es decir, el transporte de mercancía.

En este sentido, se comienza creando industrias agrícolas que requieren de expansión, tal expansión ocurre en dos etapas, la primera, a mediados del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX, que se basa en la utilización de materias primas como el carbón, fuente de “energía” de las maquinas a vapor utilizadas en industrias textiles y metalúrgicas; la

segunda, desde mediados del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, que se basa en la utilización de materias primas como el petróleo, que dio paso a la tecnicidad de la máquina con motores de mayor tecnología. La electricidad, como nuevo campo de conocimiento y tecnológico útil, en industrias como la química y siderúrgica.

La necesidad imperante de acelerar la producción de mercancía a un bajo costo produjo que se dejara de pensar en el hombre como mano de obra principal y se reemplazara por máquinas que lograran hacer su labor en mayor volumen y en menor tiempo, es bajo esa premisa que se crean las primeras máquinas. Los primeros diseños eran engranajes mecánicos que dependían, para moverse, de la fuerza motriz generada por los animales, corrientes de agua o viento y del mismo hombre, como las utilizadas en el área textil, la extracción de agua y minerales, pero aún se seguía utilizando como fuerza motriz la generada por los animales o la corriente de agua, pero no se podía dar abasto con la creciente industria; fue luego de la idea de algunos ingenieros que inventaron como utilizar la fuerza expansiva del vapor que dio paso al estudio de las máquinas a vapor (Mijailov, 2003). Dichas máquinas aumentaban la producción en masa y se podía utilizar solo un operario que la manipulara, así la efectividad y usos de estos aparatos se ampliarán; sin embargo, la búsqueda por mejorar técnicamente estos instrumentos convirtió estas acciones en problemas de conocimiento, ya que los científicos de la época se vieron llamados a colaborar con este hecho técnico que posteriormente, y como se muestra a continuación, con el análisis de las reflexiones de la potencia motriz del fuego, de Carnot, llamando a la atención sobre las modificaciones técnicas de la máquina de vapor que hizo Watt, permitiéndole a este joven oficial de la armada *sentar las bases de lo que serán las leyes fundamentales que gobiernan los procesos de la naturaleza en los que están involucradas las transformaciones de calor en trabajo* (Pérez Cruz, 2007).

En ese orden de ideas, se hará un recorrido por los principales aportes de los científicos que contribuyeron al desarrollo de dicha problemática, como fueron Carnot, con sus reflexiones acerca de potencia motriz del fuego; Clapeyron, con la sistematización y validación del trabajo de Carnot, Joule y Mayer, que contribuyeron cada uno, con análisis experimentales de los ciclos que hablan de la transformación de trabajo en calor y de calor en trabajo, respectivamente; en los cuales se deja entrever controversias propias de la época como la de

la existencia del calórico¹, es decir, el razonamiento de que el calor es un fluido que pasa de un cuerpo a otro debido a las diferencias de temperatura, y la importancia de la máquina de vapor como artefacto articulador de varios desarrollos técnicos que implicaron complejizar, compartir e importar conocimientos de un lado a otro para poder teorizar, formalizar y generalizar una forma de comprender fenómenos asociados con la fuerza expansiva del vapor, generado gracias al calentamiento de una sustancia; dichas teorizaciones, formalizaciones y generalizaciones son lo que hoy en día conocemos como termodinámica y que en esa época se llamó teoría del calor.

SOBRE LAS REFLEXIONES REALIZADAS POR CARNOT

La memoria de Sadi Carnot aparece en 1824 publicada en París bajo el nombre de *“Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas diseñadas para desarrollar dicha potencia”*, donde empieza por resaltar el poder del calor para transformar y de lo poco que el hombre ha podido aprovechar tal situación:

Deben atribuirse al calor las grandes transformaciones que llaman nuestra atención en la superficie de la tierra; a él se deben las agitaciones atmosféricas, la ascensión de las nubes, la caída de las lluvias y otros meteoros, las corrientes de agua que surcan la superficie del globo, y de las que el hombre ha llegado a utilizar sólo en una pequeña parte: finalmente los temblores de tierra, las erupciones volcánicas reconoce como su causa el calor. (Carnot S. , 1824, pág. 35)

Es así pues que estas situaciones son fuerzas motoras que brindan combustible, que puede llegar a cubrir algunas necesidades del hombre. El calor (fuego) se puede producir en cualquier lugar y momento, y como consecuencia obtener *potencia motriz*². En palabras de Carnot, *el objeto de las máquinas de fuego es desarrollar esa potencia, adecuarla para*

¹ El calor y trabajo son nombres de métodos, no nombres de sustancias. A comienzos del siglo XIX se creía que el calor tenía entidad física: se consideraba que era un fluido imponderable denominado calórico. Hoy se admite que el calórico no existe, y que ni es posible confinarlo en una botella, ni verterlo, estrujándolo, de un bloque de metal a otro. Lo mismo le ocurre al trabajo, que no se trata de ninguna energía almacenable.

² Cuando Carnot utiliza la palabra potencia motriz es para hacer notar que debe haber un movimiento o cambio de posición de un objeto, en este caso, un recipiente dotado con un embolo que le permitirá variar su volumen.

nuestros usos. Ahora bien, la manera de hacerlo es por medio del estudio de las máquinas de fuego, que es lo que ayudará para que estos aparatos reúnan las cualidades suficientes para que sean útiles para la industria, es decir, el perfeccionamiento en su instalación y combustible.

En efecto, no solamente un motor potente y cómodo que se pueda construir o transportar en cualquier lugar, sustituye a los motores ya en uso; sino que además, donde se aplica, produce un rápido crecimiento en las artes, pudiendo incluso crear algunas totalmente nuevas. (Carnot S. , 1824, pág. 36)

Destaca así a los principales creadores de máquinas de fuego, tales como: Savery, Newcomen, Smeathon, Watt, Woolf, Trevetick y algunos otros ingenieros ingleses (Carnot S. , 1824). Sin embargo, con todos los intentos que se daban en la época para mejorar las máquinas, no fue suficiente para desarrollar una teoría general que pudiera explicar su funcionamiento, de tal forma que planteara leyes universales, como si se hacía con *las máquinas que no recibían su movimiento del calor, las que tienen como motor la fuerza de los hombre o de los animales, un salto de agua, una corriente de aire, etc.* (Carnot S. , 1824), las cuales se podían estudiar hasta el más mínimo detalle en su funcionamiento gracias a la teoría mecánica.

Las máquinas de fuego o también llamadas máquinas de vapor, ya que su movimiento proviene de la fuerza motriz del vapor producido por el fuego y llevado hasta un recipiente dotado de un embolo que le permita variar su volumen, suscitaban muchas preguntas alrededor de la potencia motriz de éstas, ya que no se tenía certeza de si ésta es limitada o no, si sus perfeccionamientos tiene una extensión indefinida, o *si no existirían agentes preferibles al vapor de agua para desarrollar la fuerza motriz del fuego* (Carnot S. , 1824, pág. 39). Debido a que no se habían realizado consideraciones *generales* del fenómeno en dichas máquinas, su teoría, principios y leyes eran difíciles de reconocer. Por tanto, *para considerar en todo su generalidad el principio de la producción de movimiento por medio del calor, es necesario concebirlo independientemente de todo mecanismo, de todo agente particular; es necesario establecer razonamientos aplicables, no solo a las máquinas de vapor, sino a cualquier máquina de fuego imaginable* (Carnot S. , 1824, pág. 39), es decir,

de cualquiera que sea la sustancia utilizada para producir el vapor y de la manera como este vapor actúe sobre la máquina.

Uno de esos razonamiento aplicables, de los que habla Carnot, es el **restablecimiento del equilibrio** en el calórico, es decir, su paso de un cuerpo cuya temperatura es más o menos elevada, a otro cuya temperatura es más baja, este aspecto se aclara cuando él hace la primera descripción de una máquina a vapor idealizada de la siguiente manera:

El calórico, desarrollado en el fogón, atraviesa las paredes de la caldera, da lugar a la formación de vapor, al que de alguna manera se incorpora. El vapor, arrastrándolo consigo, lo lleva primero al cilindro, donde cumple una función determinada, y después lo transporta al condensador, donde se licua por el contacto con el agua fría que allí se encuentra. En el último extremo el agua fría del condensador se apodera del calórico desarrollado en la combustión. Se calienta por medio del vapor, como si hubiese estado situada directamente en el fogón (Carnot S. , 1824, pág. 40).

Por tanto, estas operaciones, como las llama Carnot, es donde se puede reconocer **el restablecimiento del equilibrio en el calórico**, ya que pasa de un cuerpo a mayor temperatura (aire recalentado en el fogón) a uno que se encuentra a menor temperatura (agua de condensación), concluyendo que; “*la potencia motriz en la máquina de vapor se debe no aun consumo real de calórico, sino a su transporte de un cuerpo caliente a un cuerpo frío*” (Carnot S. , 1824, pág. 41).

La aclaración del restablecimiento del equilibrio del calórico mediante las operaciones, descritas, y la inclusión de las operaciones inversas dan paso al ciclo de Carnot, que permite que Carnot se pregunte por la potencia motriz máxima del fuego, producido por la máquina de vapor, será, sin duda, el otro gran razonamiento al que llegó este personaje. Carnot las describe de la siguiente manera en su memoria:

En nuestras primeras operaciones había tenido lugar la producción de potencia motriz y el transporte de calórico del cuerpo A al cuerpo B; en

las operaciones inversas, hay simultáneamente consumo de potencia motriz y retorno del calórico del cuerpo B al cuerpo A. pero si en ambos procesos se ha actuado sobre la misma cantidad de calor, y no se ha producido ni perdida ni de potencia motriz ni de calórico, la cantidad de potencia motriz producida en el primer caso será igual a la que se haya gastado en el segundo, y la cantidad de calórico traspasada del cuerpo A al cuerpo B será igual a la cantidad de calórico que vuelve a pasar del cuerpo B al cuerpo A, de modo que se podría hacer un número indefinido de operaciones alternativas de ese tipo sin producir en definitiva potencia motriz, ni traspasar calórico de un cuerpo a otro (Carnot S. , 1824, pág. 45).

En la figura. 2 se muestra esquemáticamente el razonamiento de Carnot, en relación con las primeras operaciones.

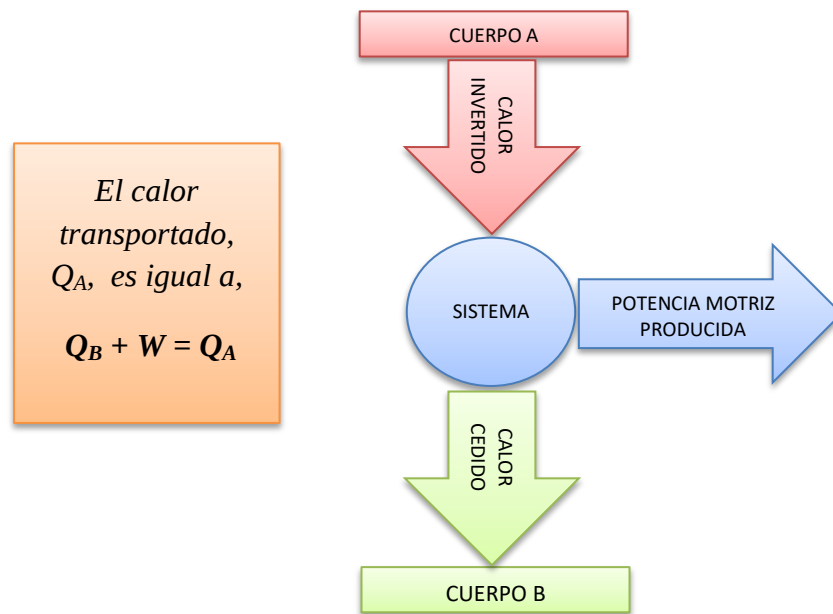


Figura. 2. El cuerpo A que se encuentra a mayor temperatura, la flecha roja representa el paso del calórico del cuerpo A al sistema -recipiente dotado de un embolo; la flecha de color verde que va hasta el cuerpo B a temperatura baja representa el transporte del calórico que no se utilizó para producir fuerza, y la flecha azul representa la potencia motriz que es producida por la máquina.

En la Figura. 3, se muestra esquemáticamente el razonamiento de Carnot, en relación con las segundas operaciones; las inversas.

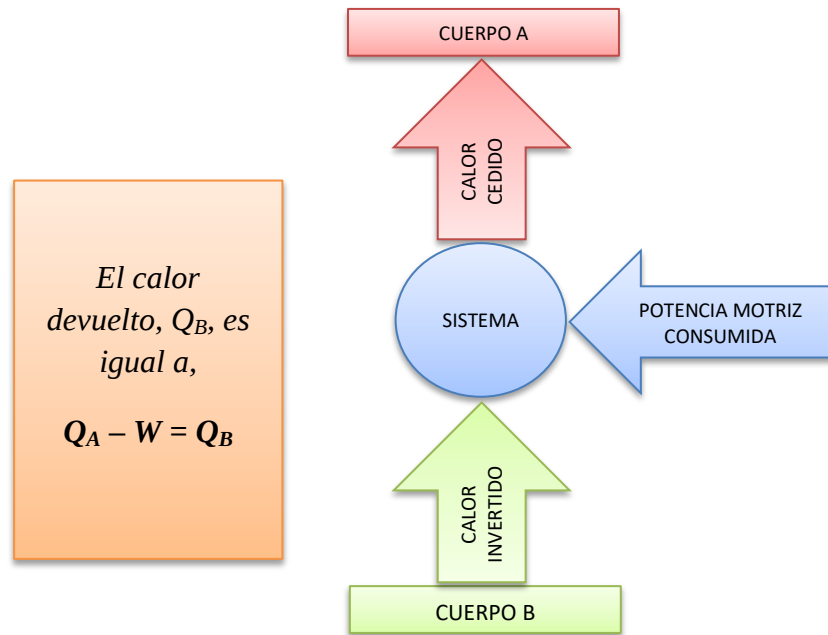


Figura. 3. El cuerpo B que se encuentra a menor temperatura, la flecha verde representa el paso del calórico del cuerpo B al sistema -recipiente dotado de un embolo; la flecha de color rojo que va del sistema hasta el cuerpo A a temperatura mayor representa el transporte del calórico que se introdujo al sistema gracias a un consumo de potencia motriz más el calórico proveniente del cuerpo B a menor temperatura, y la flecha azul representa la potencia motriz que es consumida por la máquina.

Ahora bien, si hacemos las siguientes suposiciones cuantitativas podremos entender a qué se refiere Carnot, si, por ejemplo, en la figura 1, el calor invertido por el cuerpo A fue de 20 unidades y gracias a su transporte se produce una potencia motriz de 10 unidades, entonces, el restante de calor, 10 unidades, se cede al cuerpo B. En el caso contrario, en el esquema 2, el transporte de calor del cuerpo B de 10 unidades más un trabajo consumido de 10 unidades, daría 20 unidades de calor que se transportan hasta el cuerpo A, que era el que poseía inicialmente. Mostrado de otra forma, el calor transportado, Q_A , es igual a $Q_B + W_1$, y el calor devuelto, Q_B , es igual a $Q_A - W_2$. Con lo que podemos concluir que no se produce potencia motriz neta ya que tanto la potencia motriz producida, que llamaremos W_1 , y la potencia motriz consumida, que llamaremos W_2 , son iguales, es decir $W_1 = W_2$, haciendo la suma algebraica de los trabajos tenemos que $W_1 - W_2 = 0$.

En la Figura. 4 se muestra esquemáticamente el razonamiento anterior, en relación con la forma cuantitativa de las operaciones primarias con las inversas.

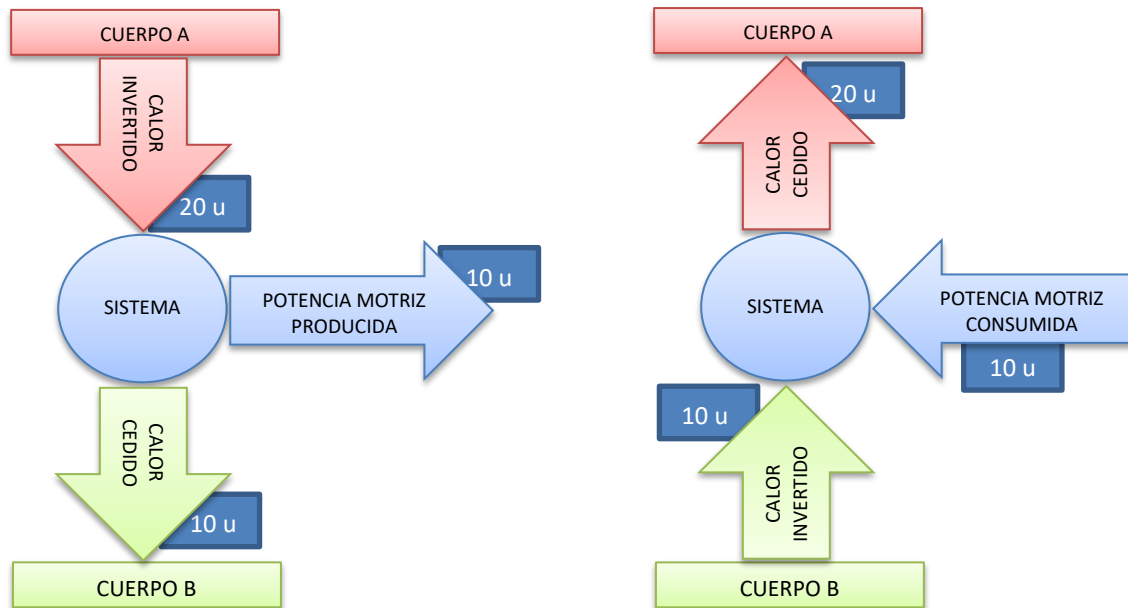


Figura 4. Representación esquemática donde la potencia motriz producida es igual a la potencia motriz consumida. $W_1 = W_2$

Carnot plantea el hecho de poder generar una potencia motriz neta diferente de cero donde esto se destacaría por utilizar de una manera más ventajosa el calor que se transporta... *si existiera algún procedimiento para emplear el calor de un modo más ventajosos que los usados aquí, es decir, si fuera posible, por cualquier otro método, hacer que el calórico produjera una potencia motriz mayor que la obtenida en nuestra primera serie de operaciones, bastaría tomar una parte de esa potencia para hacer volver, por el método que hemos indicado, el calórico del cuerpo B al cuerpo* (Carnot S. , 1824, pág. 45)... entonces, cuantitativamente vamos a suponer que con esas misma 20 unidades de calor se va producir 15 unidades de potencia motriz y de alguna manera se transportan al cuerpo de menor temperatura 10 unidades de ese calórico, en la operaciones inversas para este caso se transportan 10 unidades de calórico hasta el sistema y debido a una potencia motriz

consumida se obtiene otras 10 unidades de calórico para un total de 20 unidades que se transportaran hasta el cuerpo a mayor temperatura.

La figura 5. Representa esquemáticamente el razonamiento del párrafo, llamando la atención en que el la potencia motriz producida es mayor a la potencia motriz consumida.

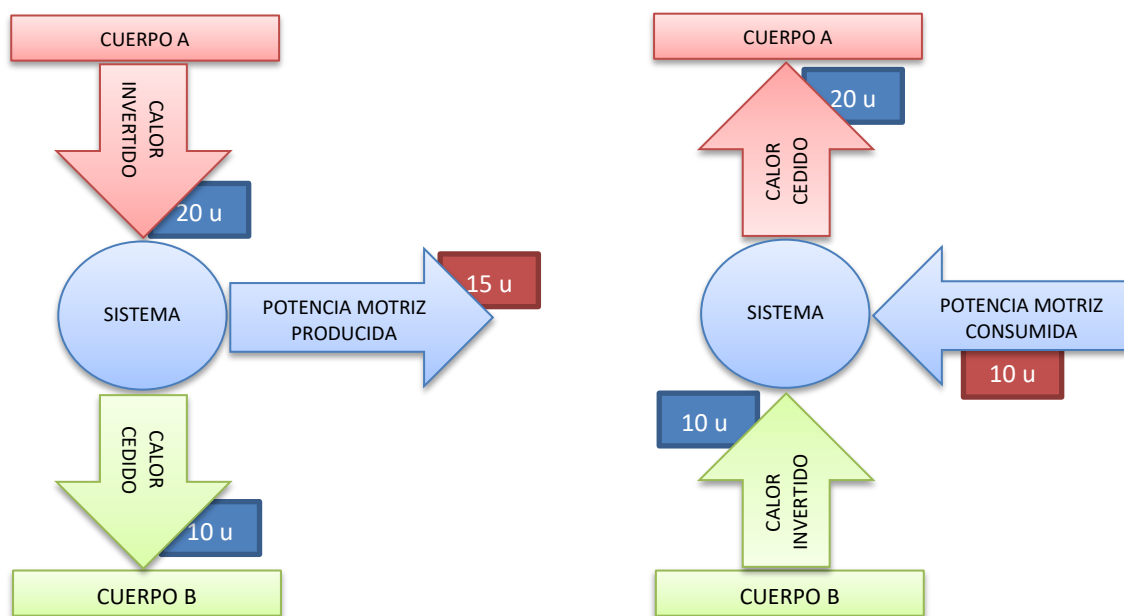


Figura 5. La potencia motriz producida es mayor a la potencia motriz consumida. $W_1 > W_2$

Se hace evidente que al hacer la diferencia entre las potencias motrices ya no daría cero sino cinco, es decir, $W_1 - W_2 = 5$ unidades, lo que quiere decir es que se produjo trabajo de la nada, sin un gasto de calórico u otro agente, lo que para la física es algo imposible ya que se debe seguir unas leyes establecidas por la mecánica en este caso la conservación de energía, a lo que Carnot concluye que *...el máximo de potencia motriz que se obtiene empleando el vapor es también el máximo de potencia motriz realizable por cualquier otro procedimiento* (Carnot S. , 1824, pág. 46)... en la figura 6. Esquemáticamente se representa que el mayor rendimiento que se consigue es cuando, de manera muy hábil se utiliza el transporte del calórico de tal forma que logre mover más el embolo y por tanto producir más fuerza motriz, a continuación presentamos tres casos, con diferencia en la potencia motriz producida.

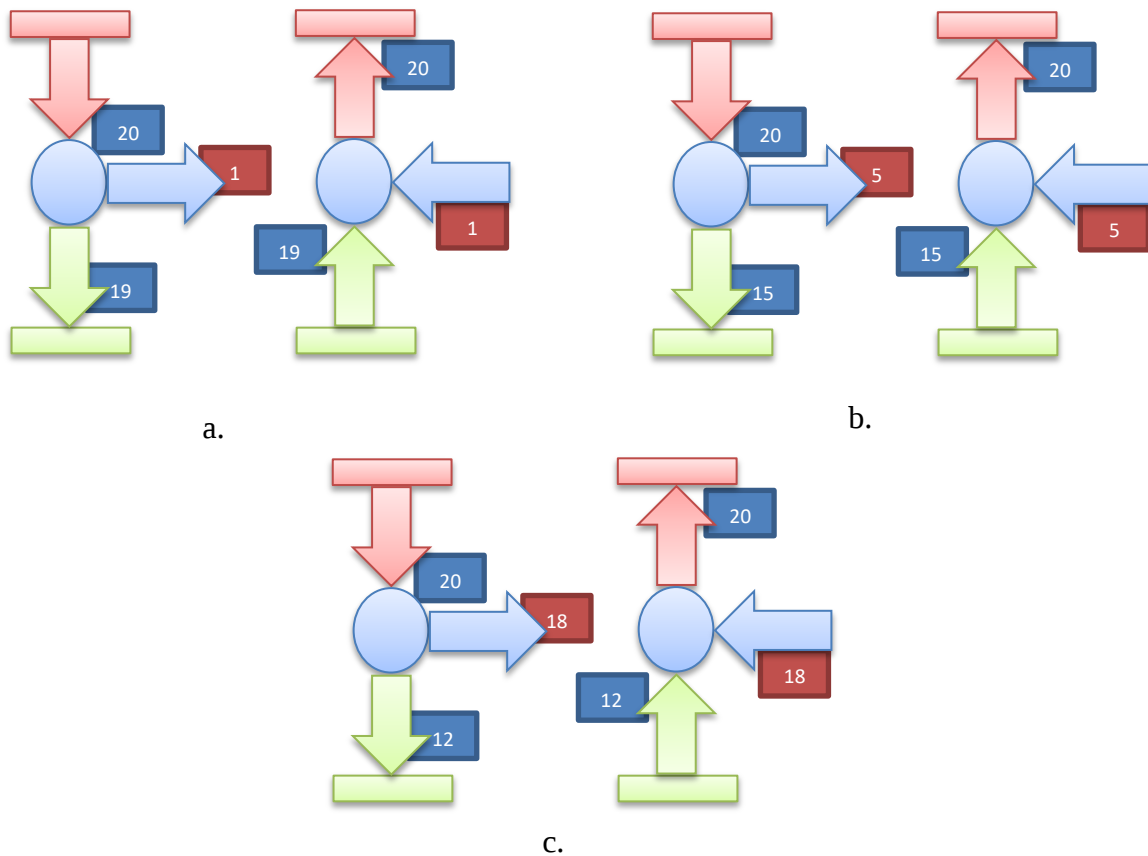


Figura 6. **6. a.** la fuerza motriz producida gracias al transporte de calórico es de 1 unidad. Sin embargo, se puede mejorar la manera en que se transporta el calórico para que este pueda ser mejor utilizado y produzca en el embolo una mayor expansión y que el resultado sea más potencia motriz producida. **6. b.** se utilizó de mejor manera el trasporte de calórico ya que se produjo 5 unidades de fuerza motriz, pero si aún se puede seguir mejorando hasta llegar a producir el máximo de fuerza motriz. **6. c.** La fuerza motriz producida es de 18 unidades gracias a que fue utilizada de manera más ventajosa el transporte del calórico. Por tanto, este último ejemplo es el que consiguió una mayor eficiencia el máximo de potencia motriz.

Por tanto, la condición necesaria para que se dé el máximo es... *que no se realice en los cuerpos empleados para realizar la potencia motriz del calor ningún cambio de temperatura que no se deba a un cambio de volumen* (Carnot S. , 1824, pág. 47)... es decir, solo en el momento de la dilatación o compresión por efecto del vapor a una temperatura, confinado en un recipiente dotado con un embolo, se puede variar su temperatura, por tanto el volumen que ocupa. (Ver anexo 1.)

Otro aspecto importante, pero que no se aborda a profundidad en los trabajos de Clausius, acerca de la equivalencia de las transformaciones, que es el problema del que se ocupa, es

el hecho de que *La potencia motriz del calor es independiente de los agentes que intervienen para realizarla; su cantidad se fija únicamente por la temperatura de los cuerpos entre los que se hace, en definitiva, el transporte de calórico* (Carnot S. , 1824, pág. 55). Éste enunciado es relevante para los trabajos que realiza Thomson acerca de la temperatura absoluta.

En conclusión, Carnot aporta dos principios que llegarán a ser muy importantes en estudios posteriores realizados por Clapeyron, Meyer, Joule y Clausius, por un lado, la diferencia de temperatura entre los cuerpos que dará como resultado el transporte de calórico implantado en el vapor; por el otro lado, el establecimiento de las condiciones para que se dé el máximo de potencia motriz producida, estos son:

- *La producción de potencia motriz en las máquinas de vapor se debe no a un auténtico consumo de calórico, sino a su transporte de un cuerpo caliente a un cuerpo frío* (Carnot S. , 1824, pág. 41).
- El máximo de potencia motriz bajo la condición: *que no se realice en los cuerpos... ningún cambio de temperatura que no se deba a un cambio de volumen* (Carnot S. , 1824, pág. 47).

Estos principios fueron relevantes para las investigaciones posteriores que contribuyeron a establecer el principio de equivalencia de la transformaciones, por Clausius, y de donde emerge el termino de entropía ya que él supone dos variaciones, que las llamará transformaciones, en un proceso cíclico las cuales mantienen una dependencia, es decir que la existencia de la una presume la existencia de la otra, estas dos transformaciones en palabras de Clausius son... *en un simple proceso cíclico dos variaciones con respecto al calor toman lugar, a saber, que una cierta cantidad de calor es convertido en trabajo (o genera trabajo exterior), y otra cantidad de calor pasa desde un cuerpo caliente a otro frío (o viceversa). Se encontró que entre la cantidad de calor transformado en trabajo y la cantidad de calor transferido, debe haber una relación definida, la cual es independiente de la naturaleza del cuerpo variable, y por lo tanto solo puede depender de la temperatura de los dos cuerpos que sirven como fuentes de calor.*” (Clausius, 1879, pág. 91). Por tanto queda en evidencia el aporte de Carnot a esta investigación y la importancia de su trabajo.

Aquí es importante poner de presente, que el análisis de los trabajos de los científicos deja entrever que la historia de las ciencias juega un papel importante para la enseñanza, ya que al profesor le brinda la posibilidad de establecer un dialogo con ésta, de tal manera que pueda conformar claramente criterios y formas de llevar los problemas de conocimiento al aula de clases, a saber también que la historia no son sucesos planos que alrededor de estos se dio paso a cambios de paradigmas necesarios para la construcción de conocimiento.

SOBRE LOS APORTES REALIZADOS POR CLAPEYRON ACERCA DEL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA DE LAS TRANSFORMACIONES

El trabajo de Carnot, no tuvo mayor difusión entre los científicos de la época, ya que no llego a establecer una ley de la naturaleza; fue hasta que *diez años más tarde, Clapeyron puso en claro las nuevas formas de razonamiento de Sadi Carnot, al añadirles una representación gráfica que hacía mucho más fácil su comprensión y aplicación* (Carnot H. , 1987, pág. 117). Lo anterior, hace referencia a lo que hoy en día se conoce como la representación gráfica del ciclo de Carnot en las gráficas que relacionan las siguientes variables de estado: la presión, el volumen y la temperatura (*Ver anexo 2*). Clapeyron analizo los razonamiento de Carnot que se referían al paso a paso de cada una de las operaciones realizadas por su máquina, tanto los que se refieren a la producción de potencia motriz en las operaciones primarias como en las inversas y trazó una gráfica que pudiese dar cuenta del comportamiento del ciclo y la relación entre estas tres variables, que por cierto no podían ser otras ya que Clapeyron no se apartó de los principios establecidos por Carnot.

Uno de los aportes realizados por Clapeyron, y deducidos de sus gráficas, es dejar en claro que tanto las operaciones primarias como las inversas que realiza la máquina de Carnot cumplen con *un ciclo cerrado*, es decir, el hecho de que en todo el proceso no hay perdida de calor ni trabajo y por tanto es posible afectar al sistema, cambiar sus condiciones iniciales pero después de un proceso volver a tales condiciones, además, asocia a cada actividad realizada por la máquina sobre el vapor, una curva en la gráfica teniendo en

cuenta los cambios en las variables de estado de volumen, presión y temperatura. (Ver Anexo.2)

La claridad y relevancia que pone de presente Clapeyron acerca las consideraciones hechas por Carnot, junto con el aporte de Thomson a la discusión, que había por esa época en relación con la naturaleza del calor, en tanto si se comportaba como una sustancia³ contenida en los cuerpos o dependía del movimiento de las partículas de las que están compuestos éstos⁴, permitieron que las consideraciones hechas por Mayer y Joule, relacionadas con las transformaciones de calor en trabajo y de trabajo en calor, tomaran relevancia y aportaran para la constitución del principio de las transformaciones.

A continuación se mostrará de manera sintética cuales fueron los experimentos realizados por Joule y Mayer acerca de *la fricción de fluidos en movimientos* para la producción de calor, que además son un gran aporte al análisis del principio de equivalencia de transformación que es el objeto de estudio del presente trabajo ya que mientras Joule realiza un trabajo a cerca de la transformación de trabajo en calor, Mayer trabaja el proceso inverso la transformación de calor en trabajo, aportando conclusiones tales como si en los procesos no se pierde calor, que fue uno de los principios básicos para que Carnot estableciera su ciclo y cómo esto posibilita establecer una equivalencia entre estos dos tipos de transformaciones, que fue el trabajo de Clausius. De los trabajos anteriores también emergen magnitudes importantes como el equivalente mecánico del calor.

³ Idea de que el calor era el mismo calórico y la que transversalizó todo el trabajo realizado por Carnot

⁴ En una de sus memorias Thomson, da a conocer las deducciones de Humphry Davy a partir de su experimento, que consistía en derretir hielo frotándolos entre ellos, en donde él dice que “Los fenómenos de repulsión (Cuando Devy menciona la palabra repulsión se refiere la expansión o presión expansiva (Thomson, 1899, pág. 111) no dependen de un fluido elástico peculiar para su existencia, o no existe el calórico” (Thomson, 1899, pág. 111) concluyendo que el calor consiste en el movimiento por excitación de las partículas de las que están constituidas los cuerpos y por esto la sensación de calor, es decir, que se abandona la concepción de la naturaleza sustancial de calor para acoger una concepción de que los cuerpos están formados de partículas que pueden ser excitadas para generar un movimiento y como consecuencia dar una sensación de calor. El auge de los estudios en electricidad y mecánica, y de los grandes experimentadores en esta materia de la época, experimentaron sobre varios temas como: la radiación y la polarización, donde se podían extraer otros resultados relevantes para la ciencia y el estudio de la naturaleza del calor, ya que la ferviente creencia de la composición de los cuerpos por partículas, provocaban que esta nueva visión de calor fuese tomando fuerza y contundencia. Thomson muestra que los descubrimientos de Joule y Mayer de la generación de calor mediante la fricción de fluidos en movimiento, y por la excitación electromagnética de corrientes galvánicas, cualquiera de ellos sería suficiente para demostrar la inmaterialidad del calor” (Thomson, 1899, pág. 112)

CICLO DE JOULE: TRANSFORMACIÓN DE TRABAJO EN CALOR

Una de las experiencias que da cuenta de la transformación de trabajo en calor fue la realizada por Joule, la cual consiste en el análisis del funcionamiento de un instrumento que por medio de unas ruedas de paletas, sumergidas en un líquido contenido en un recipiente, conectadas a pesas y poleas agitan dicho líquido adiabáticamente aislado a medida que descienden las pesas (Figura. 7) (Perez Cruz, 2005)

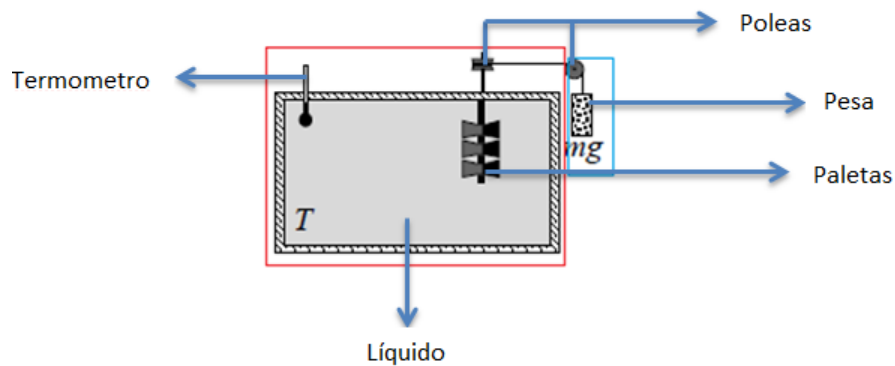


Figura. 7. Instrumento utilizado para análisis de la transformación de trabajo en calor de Joule, la zona encerrada en rojo es el sistema y la zona encerrada en azul es el entorno. (Perez Cruz, 2005)

En la Figura. 8. Se pueden observar dos zonas encerradas de diferente color; la roja hace referencia al sistema y la azul al entorno, originalmente, antes de suspender la pesa el sistema se encuentra a una temperatura inicial T , medida con un termómetro (estado inicial), al suspender la pesa, las paletas se mueven de tal forma que agitan el líquido en cerrado en el recipiente haciendo que la temperatura cambie a $T + \Delta T$, por efecto del movimiento de las paletas a causa de la suspensión de la pesa, es decir, una acción mecánica. Para variar de nuevo el estado del sistema, llevarlo nuevamente a la temperatura T , se pone en contacto al líquido, por medio de las paredes del recipiente, con un cuerpo a una temperatura T hasta que éste vuelva a su estado inicial de temperatura T (Figura. 8).

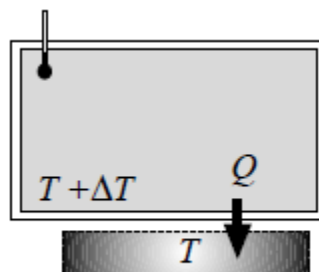


Figura. 8. En cuerpo a temperatura T se encuentra en la parte inferior del sistema con un sombreado más oscuro y se pone en contacto con este. (Perez Cruz, 2005)

Finalmente, se retira el cuerpo a temperatura T , en la siguiente representación (Figura. 9) se muestra como el sistema pasa otra vez a tener la misma temperatura inicial, es decir, vuelve a su estado inicial, sin evidenciar una pérdida de calor.

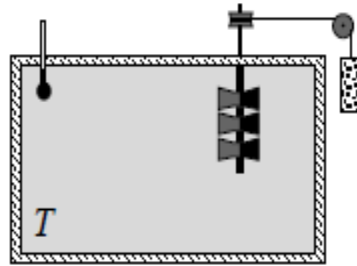


Figura. 9. El sistema vuelve a su temperatura inicial, ya no se evidencia contacto con el cuerpo a temperatura T .
(Perez Cruz, 2005)

Ahora bien si se tiene en cuenta un análisis cuantitativo y de cuanto fue el cambio se puede deducir que la acción mecánica involucrada cuando descienden la pesas y las paletas agitan el agua, y esta aumenta su temperatura es, $W_1 = mg\Delta h$ que a su vez es igual a la acción térmica, por la cual se calienta la sustancia $Q = \eta C_0 \Delta T$, es decir, que

$$mg\Delta h = \eta C_0 \Delta T$$

Ya cuando el cuerpo adquiere una temperatura de $T + \Delta T$, y se pone en contacto con una fuente a temperatura T para que este retome su temperatura inicial, se dice que el sistema cedió calor al entorno, Q_c , este calor como sale del sistema está dado por

$$Q_c = -\eta C_0 \Delta T$$

Y el trabajo está dado por

$$W_2 = -mg\Delta h$$

Entonces, si la energía interna de un sistema es, $\Delta U = \Delta Q_{neto} + \Delta W_{neto}$, se reemplaza por los valores de Q y Q_c más y los trabajos involucrados, quedando de la siguiente manera

$$\eta C_0 \Delta T - \eta C_0 \Delta T + mg\Delta h - mg\Delta h = \Delta U$$

Es decir que, $\eta C_0 \Delta T - \eta C_0 \Delta T = 0$ y $mg\Delta h - mg\Delta h = 0$, por tanto cumple que $\Delta U = 0$.

Con lo que es posible tener dos afirmaciones, la primera, que todo el trabajo se trasformó en calor, y la segunda, que este experimento es un nuevo argumento en relación con la problemática de la época en cuanto a la naturaleza del calor, la rotación de las paletas produjo que el agua se agitara y por tanto aumentara su temperatura, aspecto que muestra la no sustancialidad del calor. Sin embargo, es relevante estudiar qué ocurre cuando se presenta la transformación inversa, ¿es posible que todo el calor se transforme en trabajo, es decir, que no exista una pérdida de calor?

CICLO DE MAYER: TRANSFORMACIÓN DEL CALOR EN TRABAJO

El trabajo experimental de Mayer consiste en un recipiente dotado de un embolo que tiene confinado un gas a una temperatura $T_a = 0^\circ\text{C}$, en la Figura. 10, se representa inicialmente las tres etapas en las que se divide la situación experimental.

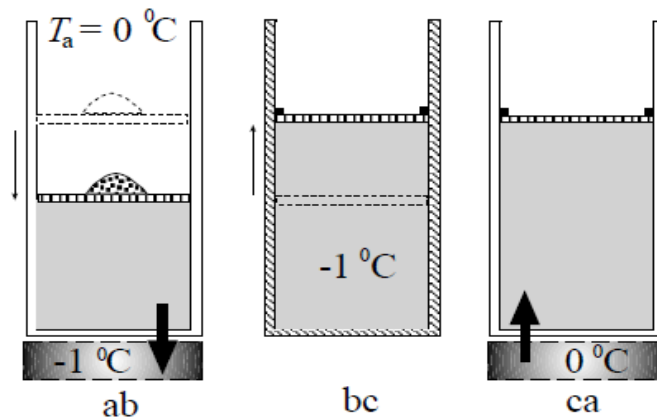


Figura. 10. Etapas del ciclo de Mayer ab (Perez Cruz, 2005)

En la etapa ab, se pone una masa sobre el embolo haciendo que éste descienda, a *presión constante*, a su vez cede calor a un cuerpo a temperatura $T = -1^\circ\text{C}$, haciendo que el cuerpo varíe su temperatura de 0°C a -1°C , luego en la etapa bc, se quita la masa del embolo y el contacto con el cuerpo a temperatura -1°C , por tanto el embolo asciende libremente debido a la diferencia de presión, manteniendo *constante la temperatura* ($T = -1^\circ\text{C}$). Finalmente, en

la etapa ca se pone en contacto un cuerpo a temperatura mayor, $T_a=0^{\circ}\text{C}$, para que éste ceda calor al gas confinado en el recipiente y aumente su temperatura a un *volumen constante*, retomando la que tenía al iniciar. Así... “*su ciclo original le sirvió para demostrar que existe una equivalencia entre el trabajo proporcionado y el calor intercambiado por el gas. Pero el ciclo citado, no produce trabajo sino que **consume trabajo***”. (Perez Cruz, 2005)

En la etapa ab, el sistema cede calor de la fuente a temperatura -1° se puede decir que las acciones térmicas están dadas por

$$\Delta Q_1 = C_p \eta \Delta T$$

Como la temperatura del cuerpo con el que se pone en contacto el sistema está a una temperatura -1° , la ecuación anterior queda como

$$\Delta Q_1 = C_p \eta (-1^{\circ})$$

Y las mecánicas por

$$\Delta W_1 = P_0 \Delta V_1$$

En la etapa bc, ocurre una expansión contra el vacío donde la presión exterior sería cero; y el proceso es adiabático, es decir, que no hay transferencia de calor, las acciones toman los siguientes valores, gracias a sus condiciones.

$$\Delta Q_1 = 0$$

$$\Delta W_1 = 0$$

En la etapa cd, el sistema toma calor del cuerpo con una temperatura de $T=0$, pero no hay trabajo debido a que la expansión ya se dio, entonces solo hay de presente una acción térmica dada por

$$\Delta Q_2 = C_v \eta \Delta T$$

Al decir que no se produce trabajo sino que solo se consume, es porque en el consumo de trabajo se presentó una variación en su temperatura, pero la expansión del gas es una

expansión libre, es decir, que para dicha expansión no hay interacción con el exterior por lo cual la temperatura del sistema se mantiene constante. Sin embargo, Mayer propone un segundo experimento conocido con el nombre de *ciclo modificado de Mayer*, representado en la Figura. 11.

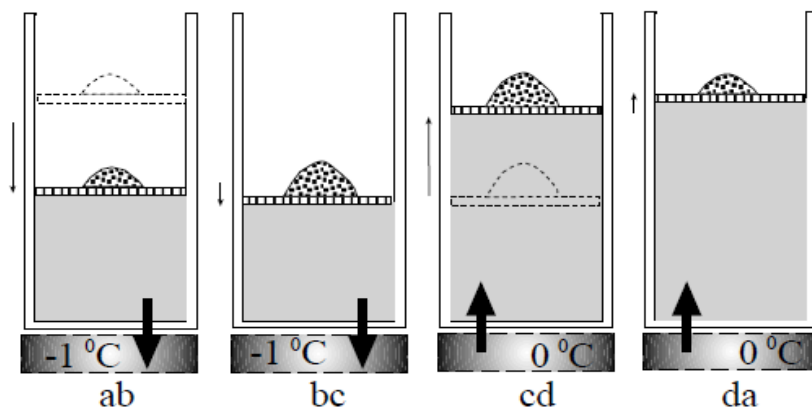


Figura. 11. Representación gráfica de las cuatro etapas del ciclo modificado de Mayer. (Perez Cruz, 2005)

Este ciclo se divide en dos partes, y cada parte en dos etapas, la primera parte comprende las etapas ab y bc, que corresponden a la compresión del gas a presión constante cuando se pone sobre el émbolo una masa y también se pone en contacto un cuerpo a menor temperatura para que el gas ceda calor a éste, la segunda parte comprende las etapas cd y da, que corresponde a la expansión del gas cuando se pone en contacto con un cuerpo a mayor temperatura, lo que indica que el gas absorbe calor del cuerpo, es relevante hacer notar que en la etapa cd ya no se deja que el gas se expanda libremente si no que sea a causa de la absorción de calor del cuerpo a mayor temperatura, cumpliendo así dos condiciones, que el proceso sea cíclico y cerrado, y la intervención de dos cuerpos con diferente temperatura, por tanto, el sistema aquí descrito consume trabajo pero también produce trabajo debido a transferencias de calor y estaría de acuerdo a los principios establecidos por Carnot, con una diferencia, y es que la visión de la naturaleza del calor ya ha cambiado.

En conclusión, *En el ciclo de Joule, se ha transformado en calor tanto trabajo como se ha deseado, es decir, todo el que se ha introducido en el sistema, mientras que en el ciclo modificado de Mayer, productor de trabajo, no todo el calor transferido por el foco caliente se ha transformado en trabajo. Sólo la diferencia entre el calor tomado del foco caliente y el cedido al foco frío se ha transformado en trabajo, de acuerdo con el Principio de Equivalencia entre calor y trabajo. Aunque la equivalencia entre calor y trabajo sea perfecta en ambos casos, hay una clara asimetría transformacional calor-trabajo entre los ciclos de Joule y el ciclo modificado de Mayer.* (Perez Cruz, 2005)

Es importante aclarar que en un proceso cíclico se dan lugar a dos transformaciones, una es la de calor en trabajo y viceversa, la otra es cuando una cantidad de calor se transforma en otra cantidad de calor debido a la diferencia de temperatura entre dos cuerpos, siendo ésta premisa la que utiliza Clausius para hablar del principio de equivalencia de las transformaciones (Clausius, 1879), respecto al párrafo anterior es importante denotar cuando hacen referencia a la diferencia entre los dos ciclos ya que allí radica la relevancia para nuestro problema de estudio *el principio de equivalencia de transformaciones*, en donde en el ciclo transformado de Mayer la transformación se dio gracias a la diferencia de temperaturas entre los focos de calor mientras que en el de Joule no ocurrió esto sino que todo el trabajo fue transformado en calor, es precisamente esta diferencia transformacional entre los ciclos la que abre la discusión de cómo debe ser la equivalencia de las transformaciones para que un proceso cíclico tenga lugar.

SOBRE EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA DE TRANSFORMACIONES DESCRITO POR CLAUSIUS

Clausius, retoma algunos aportes que realiza Carnot, tales como: que en un proceso reversible, las transformaciones deben compensarse, es decir, que el calor transformado en trabajo debe compensarse con el trabajo transformado en calor, si observamos la Figura. 12, la fase del proceso cíclico ab-bc corresponde al calor transformado en trabajo; y la fase del proceso cíclico cd-da corresponde al trabajo transformado en calor, siendo los procesos isotérmicos los que toman mayor relevancia ya que están presentes las acciones térmicas, las cuales fueron transformadas, por lo tanto, se tiene que para la curva ab corresponde un calor Q_1 que se transformó en trabajo y otra curva cd que corresponde al proceso inverso

donde un trabajo se transforma en calor Q_2 , si bien ocurrieron dos procesos inversos que deben ser compensados esto no pasa, si solo se tiene en cuenta las acciones térmicas, ya que $Q_1 > Q_2$, lo que implica que se debe incluir otro aspecto donde se pueda obtener esa compensación.

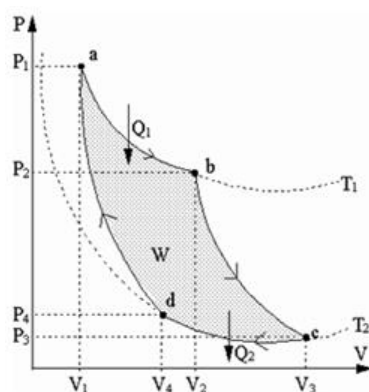


Figura. 12. Gráfica de los procesos térmicos en un ciclo de una máquina térmica, donde las curvas ab y cd corresponden a procesos isotérmicos y las curvas bc y da corresponden a procesos adiabáticos.

Ahora bien, según Clausius “*Por la forma de estas dos variaciones nosotros hemos empleado la palabra “transformación”, en la medida en que dijimos, cuando el trabajo se gastó y el calor de este modo se produjo, o a la inversa cuando el calor se gastó y el trabajo de este modo se produjo, que el uno se había “transformado en el otro”. Se utiliza la palabra “transformación” también a la segunda expresión de variación (la cual consiste en el paso de calor desde un cuerpo a otro, el cual puede estar más frío o caliente que el primero), en la medida en que se puede decir que el calor a una temperatura se “transforma” en si mismo en calor a otra temperatura.*” (Clausius, 1879, pág. 91). Lo que nos permite deducir que el otro aspecto que se puede tener en cuenta son las temperaturas de las fuentes de calor. Se encontró que entre la cantidad de calor transformado en trabajo y la cantidad de calor transferido, debe haber una relación definida, la cual es independiente de la naturaleza del cuerpo variable, y por lo tanto solo puede depender de la temperatura de los dos cuerpos que sirven como fuentes de calor (Clausius, 1879, pág. 91). Es importante resaltar que al no tener relevancia el cuerpo variable en la medida de las transformaciones lo que cobra importancia, y debe ser tenido en cuenta en dicha medida, es el proceso, como las transformaciones de calor en trabajo y viceversa en el ciclo de Carnot

se dan en los procesos isotérmicos la variable que se toma en cuenta para la medida no solamente es el calor o trabajo que se transforma si no las temperaturas a las cuales se dan dichas transformaciones.

En ese sentido, Q_1 se toma de un cuerpo que está a una temperatura T_1 y Q_2 se da a una T_2 , siendo $T_1 > T_2$, por tanto se puede realizar la siguiente igualdad a razón de las acciones y las temperaturas de las fuentes de calor.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Donde,

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$$

Con ésta igualdad se supone la compensación de la transformación de la primera fase con la transformación de la segunda fase para un proceso reversible, que cumple,

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

Sin embargo, en el caso que esta diferencia no diera igual a cero supone que el proceso es irreversible, $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \neq 0$. A lo que se puede concluir que, según lo que en algún momento también dijo Carnot, las acciones son independientes al tipo de sustancia utilizada en la transformación, sino que las acciones dependen de los procesos. Por otro lado, este principio de la equivalencia de las transformaciones a la larga no centra su estudio en cuanto fue el calor transformado en trabajo o cuanto trabajo se transformó en calor sino cuanto fue la transformación total en todo el ciclo, a lo cual Clausius llamo entropía y lo definió como $\frac{Q}{T} = S$, donde S es la letra que corresponde a la entropía que por las características del proceso y lo que mide es una variable de estado.

Las reflexiones aquí mencionadas a lo largo de este capítulo ponen de presente que, por un lado, la transformación es un hecho que ya Carnot lo había estudiado cuidadosamente y naturalmente es posible, por tanto, para el principio de equivalencia de transformaciones lo realmente relevante es la cantidad de transformación neta que se da en las dos transformaciones presentes durante el proceso cíclico. De otro lado, otro los aportes más significativos para el trabajo de Clausius es el hecho de no centrar el estudio de la transformaciones en el cuerpo o tipo de sustancia, o bien como lo dice Clausius el cuerpo variable, sino en el proceso al vincular las temperaturas a las que se produjeron esas transformaciones para así llamar la atención netamente en el proceso.

Todo ese conocimiento aporta criterios para enseñanza de la termodinámica, particularmente el concepto de entropía, que como se ha mencionado es confuso por sus diversas formas de ser abordado; criterios que a partir de una estructura conceptual de la física permite centrar su estudio en las problemáticas que constituyeron un hecho y no en los productos retratados en libros, lo cual permite enriquecer y ampliar tanto el conocimiento por parte del maestro sino las experiencias que llevará al aula, como se mostrará en el siguiente capítulo.

TERCER CAPITULO

SOBRE LA IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE CORTE HISTÓRICOS, LA RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES Y LA PROPUESTA DE AULA

En este capítulo se hablara de la propuesta para aplicar en el aula, pero para esto primero se realiza una breve reseña de la importancia de los estudios históricos y como ellos desembocan en un proceso de recontextualización de saberes científico. A lo largo de este trabajo se ha venido hablando sobre el principio de equivalencia de las transformaciones el cual es el problema de conocimiento a tratar en este escrito y que tuvo lugar a discusión cerca del siglo XIX y como principal precursor el científico Clausius, quien tuvo en cuenta el desarrollo de los hechos anteriores a este, para su estudio, es así como los trabajos de Carnot, Joule, Mayer, Thomson, etc. son relevantes para el posterior análisis de Clausius, sin embargo la historia nos muestra que no todos ellos pensaban y constituían sus trabajos de igual manera ya que había espacio para controversias, por ejemplo, una de éstas es la referente a la naturaleza del calor que fue tratada en el capítulo anterior, y que demuestra como un cambio de visión puede generar variaciones en la constitución de un problema de conocimiento del cual emergen términos o conceptos, estos últimos son los que normalmente se llevan al aula de clase obviando toda la historia, los estudios que lo constituyeron, problemáticas y los contextos en los cuales se enmarcaron, es por eso que carecen de sentido para el estudiante y muchas veces se recita lo escrito en un libro de texto sin comprender a que se refiere, situación diferente es cuando el profesor trabaja las problemáticas integrantes al concepto y las comprende para luego ingeniar la forma de llevarlas al aula confluyendo así en el entendimiento y la comprensión de una situación.

IMPORTANCIA E IMPLICACIONES DE ESTUDIOS DE CORTE HISTÓRICO

Sobre lo anterior se debe rescatar el hecho de que los que construyeron los hechos científicos, problemáticas y conceptos fueron personas inmersas en un momento cultural y social diferente al que vivimos actualmente guiados por intereses diversos y que por esto toman variados matices en sus análisis, es por esto que la ciencia es vista como una

actividad, actividad de la cual hacen parte diferentes intereses políticos económicos y sociales. Pero ahora subyace una pregunta acerca de cuál es el papel de la historia de la ciencias en la enseñanza de la ciencia en palabras de la profesora María Mercedes Ayala...

...se ha visto la historia como una forma de incidir o transformar la imagen que de la ciencia tienen los maestros, teniendo en cuenta el importante papel que ésta desempeña en la orientación de su labor pedagógica. En este sentido, hay quienes han encontrado en los enfoques contextuales de la historia de la ciencia, desarrollados por autores como Stephen Shapin, y los estudios socio-culturales de la ciencia, como los realizados por Bruno Latour, una manera de mostrar la ciencia totalmente diferente. Más que como una colección de productos – conceptos, teorías, procedimientos, etc. – la ciencia es presentada como la actividad misma de construcción de dichos productos, ligada, consecuentemente, a los contextos en los que se realiza y respondiendo a las exigencias e intereses generados en esos contextos específicos; donde los denominados “hechos científicos” a partir de los cuales edificamos nuestra certeza y designamos lo que llamamos realidad tienen una historia de constitución y son ante todo hechos sociales: en algún momento fueron solamente enunciados, la mayoría de las veces polémicos, que logran imponerse a través del despliegue –en términos de Shapin –de toda una tecnología de socialización; difuminándose, así las fronteras entre las ciencias sociales y naturales. (Ayala , Historia de las ciencias y la formación de profesores: un análisis contextual, 2004)

Visto de esta manera la historia de las ciencias afecta directamente a la visión de ciencia del profesor, deja de ver la ciencia como un cúmulo de conceptos y ecuaciones que se deben dictar y que los estudiantes deben recitar, para convertirse en una actividad en la cual estas inmersos personas que pertenecen a un contexto particular de intereses por los cuales están regidas sus actuaciones y sus resultados, por tanto dialogar con la historia de un hecho científico es poder reconstruirlo, transformarlo, verlo desde los ojos del profesor, en otras palabras, es poder escrudiñar la problemática que hay detrás de un concepto y poder

realizar la actividad misma del científico pero con intereses propios dirigidos a plantear criterios de enseñanza para que sus estudiantes en lugar de recitar comprendan los fenómenos.

Si se deja de hacer la separación habitual entre la actividad científica y los productos que se generan con ella y se comienza a ver los productos de la ciencia en íntima conexión con los contextos y actividad de producción y de resignificación, tanto la manera de entender que es la física como la problemática de su enseñanza se transforma significativamente. (Ayala M., 2006, pág. 27)

La ciencia como actividad es pensada como una forma de *comprensión del mundo*, que hace parte de una comunidad que se ha venido *constituyendo históricamente, legitimándose socialmente, generando tradiciones y recomponiéndose de acuerdo a las dinámicas de las condiciones históricas.* (Ayala M., 2006, pág. 27). Por tanto, las dinámicas de trabajo también se transforman y los criterios cambian de acuerdo con las necesidades propias de la comunidad que consecuentemente es donde se valida y se legitiman los conocimientos, entonces el desarrollo de la ciencia dependerá del desarrollo tanto de la actividad científica como de la comunidad misma en la que tenga lugar, en ese sentido *El problema de la enseñanza de la física se convierte, entonces, en un problema fundamentalmente cultural.* (Ayala M., 2006, pág. 28), es decir que se fomenta en el aula de clase la actividad científica en entornos culturales que legitiman estos procesos de construcción de conocimiento según el contexto propio en el que se ven involucrados.

Es importante aclarar que *el conocimiento individual al igual que el conocimiento científico es producto y proceso (actividad); y más fundamentalmente es un proceso: el conocimiento es diferente si el proceso lo es, así los resultados o productos resulten análogos (den la misma respuesta).* (Ayala M., 2006, pág. 28) Es por lo anterior, que *el aprendizaje y manejo de ciertos argumentos*, no solo depende de una buena formación en ciencias por parte del profesor si no de su capacidad de transmitirlos, por cuanto esto incide en los procesos de construcción de conocimiento del estudiante, en palabras de la profesora María Mercedes Ayala; *decir que el estudiante construye el conocimiento significa que elabora y desarrolla estructuras conceptuales que le permiten comprender y actuar sobre la*

realidad, a partir de las estructuras que ya posee (Ayala M., 2006), deje develar una diferencia entre el conocimiento común y el científico pero a su vez una dependencia, lo que hace que el conocimiento sea *comprensible, flexible, reorganizable, compartible* que permita un dialogo entre las colectividades, posibilitando ampliar sus experiencias de manera reflexiva para que sean útiles a sus realidades.

LOS PROCESOS DE RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES: PRIMERA FASE, DISEÑO DE PROPUESTA DE AULA

Estas formas de ver y actuar frente a la ciencia y su enseñanza, en particular la física, provee de condiciones para que las personas *desarrollen procesos de recontextualización de saberes científicos* que permite que se hagan representaciones del mundo natural, social y científico, los cuales son útiles para ampliar, reorganizar su experiencia y establecer *criterios de acción*. (Ayala M., 2006, pág. 27)

La recontextualización de saberes es entonces una actividad constructiva y dialógica en busca de elementos para la elaboración o solución de un problema o la construcción de una imagen de una clase de fenómenos, que depende inevitablemente de los intereses, conocimiento y experiencia de quienes la realizan (Ayala M., 2006, pág. 28).

Por lo anterior, ésta investigación aporta una manera particular de abordar la problemática alrededor del principio de equivalencia de las transformaciones descrito por Clausius, mostrado en el capítulo anterior, y ayuda a establecer una estructura de la termodinámica para la enseñanza de esta problemática, que se mostrará a continuación, a partir del estudio histórico de ésta y los trabajos producido alrededor de este hecho científico, ayudado de un proceso de recontextualización de saberes por parte del profesor.

Propuesta para la enseñanza: La Termodinámica en el aula

En ese sentido se elaboró una propuesta para la clase de física que consta de tres espacios.

Primera sesión

Dentro de los elementos conceptuales, se puede resaltar a la base de las explicaciones de los fenómenos termodinámicos hay tres categorías estructurales, que están presentes,

también, en las explicaciones de otros campos fenomenológicos; estas son, el estado, el proceso y la transformación. El estado se define en relación con una o varias cualidades, que se le puedan asignar al sistema; éste hace referencia a las condiciones en que se encuentra dicho sistema respecto a tales cualidades, es decir, a la manera de estar; por ejemplo, la cualidad térmica, respecto a ésta el sistema puede estar frío o caliente, siendo cada una de estas formas de estar una condición en que se encuentra o se puede encontrar el sistema en relación con lo térmico, de igual manera se puede hablar del movimiento como cualidad, siendo rápido o lento los posibles estados.

Ahora bien, el estado del sistema puede ser caracterizado mediante variables, por ejemplo la temperatura para el caso de lo térmico y la velocidad para el caso del movimiento; éstas se conocen como variables de estado. En segundo lugar tenemos el proceso, esta categoría se refiere a la descripción del cambio de estado, esto es la manera cómo cambia el sistema de un estado a otro; las variables de proceso, para el caso de lo térmico el calor, para el caso de lo mecánico el trabajo y para el caso de lo eléctrico la corriente, dan cuenta de las acciones que se le aplican al sistema y caracteriza la causa de los cambios de estado, la medida de tales acciones están en íntima relación con la variación en las variables de estado y el camino que sigue el sistema para pasar de un estado a otro. En tercer lugar, la categoría de transformación se refiere al efecto de la acción; las variables de transformación son la medida de dicho efecto, dispuestas de la siguiente manera, en lo térmico; la entropía, en lo mecánico; el momento, en lo eléctrico; la carga, las cuales permiten medir cuanto quedo afecto el sistema debido a la acción. (Castillo, 2004).

CATEGORÍAS		
ESTADO	PROCESO-ACCIÓN	TRANSFORMACIÓN
¿Cómo está el sistema? Condiciones iniciales	¿Qué se hizo para cambiar el estado inicial? Proceso	¿Cuál fue el resultado de cambiar el estado inicial? Cambio reversible o

		irreversible; efecto.
--	--	-----------------------



Actividades

VIDEO 1. Paroles en l air (Palabras en el aire)

- Identifique los personajes principales de la historia. Qué le permite afirmar que estos son los personajes principales. Teniendo en cuenta lo que se entiende por sistema y entorno, clasifique estos grupos de personajes de acuerdo a esto, y explique el porqué de esta disposición.
- Narre brevemente lo que ocurre en el video.
- Qué diferencia, anímica, muestran los personajes.
- Qué motiva al personaje principal a realizar la acción mostrada en el video.
- Describa la acción y lo qué ocurre con ella, sólo fue una vez o varias veces, por qué. Tuvo éxito. Cómo cree usted que esta afecto a los personajes secundarios.
- Qué hecho en el video muestra que la acción tuvo o no éxito.

- Teniendo en cuenta el cuadro de la parte superior de la hoja, con qué momentos o situaciones de la historia se puede relacionar; el estado, la acción y la transformación.

VIDEO 2. El Árbol Umdoni

- Identifique en el video, el inicio, el nudo y el desenlace de la historia.
- De qué manera puedo relacionar las categorías; estado, acción y transformación con el inicio, nudo y desenlace.

Segunda sesión

SITUACIONES EXPERIMENTALES

Situación 1.

En un recipiente, deposite un litro de agua, que luego pondrá en una estufa prendida.

Actividad. Qué cambia del agua, antes y después, de ponerla en la estufa, ¿Por qué?, qué permitió el cambio, si lo hubo.

A qué palabra que has escuchado en tu cotidianidad puedes asociar; el estado, la acción y la transformación.

Situación 2.

Caliente un litro de agua hasta 40°C en un recipiente, al mismo tiempo en otro recipiente caliente un litro de agua hasta 60°C. Mida el tiempo que tarda en calentarse cada uno de los recipientes.

Nota: tenga en cuenta cual es la temperatura del agua antes de comenzar a calentarla y que se caliente a fuego lento.

Actividad. Describa lo que observó.

Realice una tabla, para cada caso, en donde se registre el cambio de temperatura respecto al tiempo.

Tiempo (segundos o minutos)	Temperatura (grados centígrados)
0	0
1	
2...	

Trace las gráficas correspondientes.

Situación 3.

Caliente medio litro de agua hasta 40°C en un recipiente, al mismo tiempo en otro recipiente caliente un litro de agua hasta 40°C . Mida el tiempo que tarda en calentarse cada uno de los recipientes

Actividad. Describa lo que observó.

Realice una tabla, para cada caso, en donde se registre el cambio de temperatura respecto al tiempo.

Tiempo (segundos o minutos)	Temperatura (grados centígrados)
0	0
1	
2...	

Trace las gráficas correspondientes.

Situación 4.

Caliente un litro de agua hasta 40°C en un recipiente, al mismo tiempo en otro recipiente caliente medio litro de agua hasta 60°C . Mida el tiempo que tarda en calentarse cada uno de los recipientes

Actividad. Describa lo que observó.

Realice una tabla, para cada caso, en donde se registre el cambio de temperatura respecto al tiempo.

Tiempo (segundos o minutos)	Temperatura (grados centígrados)
0	0
1	
2...	

Trace las gráficas correspondientes.

Situación 5.

Caliente un litro de agua hasta 60°C en un recipiente, al mismo tiempo en otro recipiente caliente medio litro de agua hasta 40°C. Mida el tiempo que tarda en calentarse cada uno de los recipientes

Actividad. Describa lo que observó.

Realice una tabla, para cada caso, en donde se registre el cambio de temperatura respecto al tiempo.

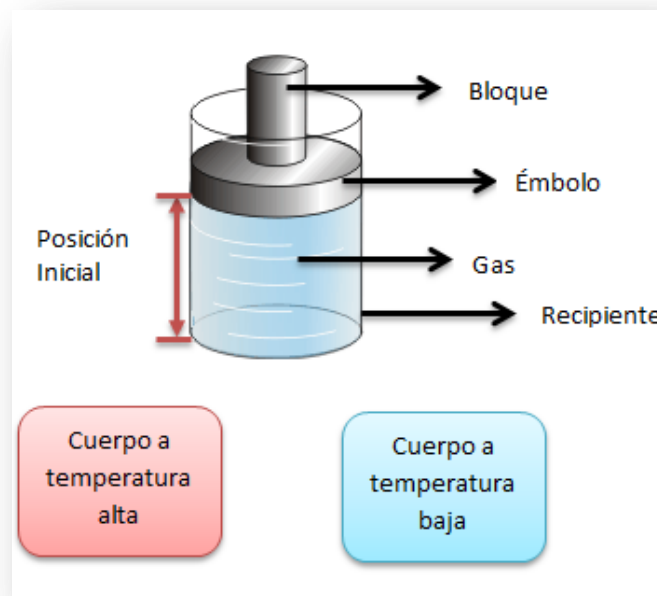
Tiempo (segundos o minutos)	Temperatura (grados centígrados)
0	0
1	
2...	

Trace las gráficas correspondientes.

Actividad. Compare las observaciones y las gráficas obtenidas en las situaciones 2, 3, 4 y 5. Qué ocurre con el estado, la acción y transformación.

Tercera sesión

La intención de esta sesión es, discutir sobre la categoría de transformación térmica que sufrirá un gas encerrado en un recipiente, con la particularidad de que la tapa funcionará como un émbolo, es decir, se moverá verticalmente (subir o bajar la tapa) y tendrá un peso que le permitirá mantener la posición inicial, hasta que no se cambie las condiciones. Adicionalmente, se pondrá en contacto térmico el gas confinado en el recipiente, por medio de sus paredes, con dos cuerpos a diferentes temperaturas (Ver figura).



Para este análisis se tendrán en cuenta tres cualidades del sistema; temperatura, presión y volumen del gas encerrado.

Primera parte

Actividad.

- En esta situación, identifique, mediante las cualidades que determinan el estado, cual es el sistema, y por lo tanto cual es el exterior.
- Caracterice el estado inicial del sistema, según la situación propuesta.

- Con los elementos y las condiciones dadas, qué acción o acciones se podrían realizar sobre el gas encerrado para que el émbolo cambie de posición; se expanda el gas. Realice un dibujo que acompañe la descripción anterior.
- Partiendo del anterior estado del sistema, qué acción o acciones se podrían realizar sobre el gas encerrado para que el émbolo cambie de posición; se comprima el gas. Realice un dibujo que acompañe la descripción anterior.
- Discuta en clase las acciones que usted consideró, escriba las que no consideró y por qué.

Segunda parte

Actividad

Teniendo en cuenta la actividad anterior; qué efectos se producen sobre el gas, cuando aumenta su temperatura por el contacto térmico con la fuente de alta temperatura; y qué efectos se producen sobre el gas, cuando disminuye su temperatura por el contacto térmico con la fuente de baja temperatura

Describa lo que está ocurriendo en esas dos situaciones, entre el gas y los cuerpos a diferentes temperaturas.

Tercera parte

Actividad. (Procesos adiabáticos, donde si hay un cambio de temperatura pero debido a un trabajo que no implica calor, sino variaciones de volumen y presión)

Partiendo de lo descrito en la segunda parte, en la primera situación, cuando el gas aumenta su temperatura gracias a que hay un contacto térmico con la fuente a temperatura alta, éste se dilata haciendo mover el émbolo; ahora, si se retira la fuente a temperatura alta, pero el gas se sigue dilatando haciendo que el émbolo se mueva, tan sólo un poco, ¿Qué ocurre con las cualidades del sistema para que ahora el émbolo se mueva?

En la segunda situación, cuando el gas disminuye su temperatura gracias a que hay un contacto térmico con la fuente a temperatura baja, éste se contrae haciendo mover el

émbolo; ahora, si se retira la fuente a temperatura baja, pero el gas se sigue comprimiendo haciendo que el émbolo se mueva, tan sólo un poco, ¿Qué ocurre con las cualidades del sistema para que ahora el émbolo se mueva?

Cuarta parte

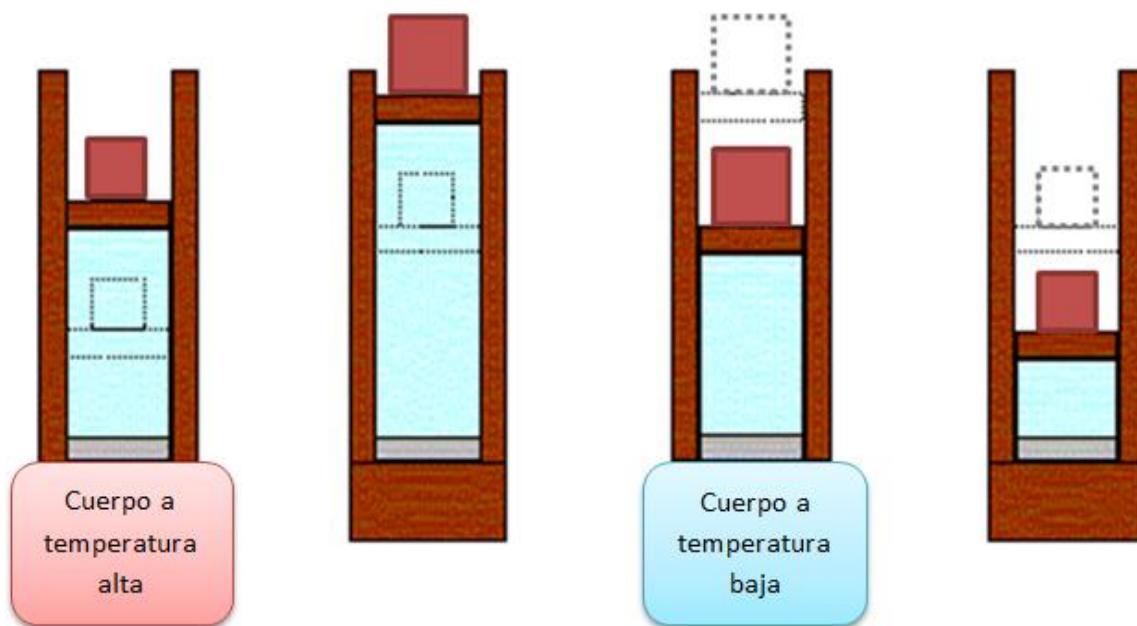
Actividad

Con la segunda y tercera parte se muestra que, expandir o comprimir un gas, hecho que se manifiesta debido al movimiento presentado por el émbolo, se da gracias a dos tipos de acciones; unas térmica y unas mecánicas.

- De acuerdo con la afirmación anterior, y en las situaciones estudiadas, qué es lo que permite determinar si la acción fue térmica o mecánica, ejemplifique.
- Según este caso, en que situación o momento de dio una transformación.
- En un proceso que implique una transformación, qué cualidad o cualidades, del sistema, pueden cambiar.

Quinta parte

La expansión y comprensión del gas, encerrado en un recipiente dotado de un émbolo, puede llegar a ser útil si éstas se presentan continuamente, porque serviría como un motor. Sin embargo, es este el problema, la continuidad del movimiento del émbolo, ¿Cuál sería la manera más sencilla de hacer que este movimiento se dé de manera continua? A continuación presentamos una imagen que ayudará a solucionar el interrogante anterior. Un gas encerrado en un recipiente, que cuenta con una tapa que funciona como émbolo, encima de la tapa se encuentra un objeto, que solo cambia de masa cuando el sistema pasa de estar en contacto con un cuerpo a una temperatura de terminada, a estar aislado térmicamente.



Actividad.

- Enumere las etapas, y caracterice los cambios en cada una de éstas.
- De acuerdo con el estado inicial y final del sistema ¿cómo sería todo el proceso? Y ¿qué garantizará?
- En qué etapas hay transformaciones, y que le permite determinar que se dio una transformación.
- En qué momentos o situaciones de puede medir la transformación, en este caso cuanto sería la transformación total.

Este trabajo mostró que la elaboración de una secuencia de actividades para el aula a partir del análisis histórico, guiado por un proceso de recontextualización, necesita de una lectura muy concienzuda de los trabajos originales de los autores y posibilidad de poder dialogar con estos, es decir, *valorar y caracterizar los aportes del autor; elaborar criterios para orientar los procesos de conocimiento en el área.* (Ayala M., 2006, pág. 30). (Ver Anexo. 3. Sobre los presupuestos epistemológicos del trabajo con los originales). Sin embargo, en un proceso de recontextualización se distinguen dos fases, y asociadas a estos dos momentos; la primera, *aporta elementos valiosos para la configuración de problemáticas en torno a las cuales organizar la actividad en el aula así como para determinar tanto*

formas posibles de abordarlas como estructuras conceptuales que están a la base de las misma y el momento tiene que ver con el diseño de la propuesta didáctica que se llevara al aula; la segunda, proveer condiciones que haga posible que los estudiantes enriquezcan y organicen su experiencia en torno a los fenómenos en cuestión en el sentido o perspectiva propuesta y el momento es asociado a la aplicación de la propuesta didáctica y realización de ajuste permanente de acuerdo a las condiciones del contexto y tienen como finalidad buscar las dificultades y posibilidades frente a la problemática, y también, se busca la forma de abordar las manifestaciones hechas por los estudiantes (Ayala M., 2006).

Ahora bien, en este trabajo se realiza hasta la primera fase, logrando el diseño de una serie de actividades para el aula que deja como conclusión que la tarea no es sencilla, toma tiempo, pero es completamente gratificante ya que le permite al profesor, en medio del proceso, reflexionar sobre la importancia de la historia, que no es solamente una herramienta útil para señalar un orden cronológico de sucesos sino que brinda la posibilidad de asombrarse al dialogar con los escritos (originales) y poder deslumbrar las problemáticas descritas, se permite participar en una labor investigativa y científica pero con la intención de poder enseñar cada proceso de manera que para el estudiante sea más cercano a su propio contexto; de tal manera que le resulte significativo.

CONSIDERACIONES FINALES

Toda investigación se realiza con el fin de obtener algo de esta, estos aportes se dan de acuerdo con el tipo de trabajo que se realice, el objetivo y en el contexto en que se enmarque, en este caso el trabajo se caracteriza por ser una reflexión de corte histórico acerca del principio de equivalencia de las transformaciones, que tiene como fin ampliar el conocimiento que tenga el maestro de este tema y que enmarcado en un ámbito de enseñanza de las ciencias pueda disponer de unos criterios para la elaboración de una propuesta para el aula de clase.

Respecto a la reflexión de corte histórico se puede decir que la manera en cómo se desarrolle un estudio frente a un hecho científico y la forma como acuda a la historia refleja la imagen de ciencia que tiene el maestro, en ese sentido uno de los módulos que hacen parte de la maestría en Docencia de la Ciencias Naturales, de la cátedra de Historia y filosofía II, titulado *Panorama De Las Corrientes Contemporáneas En Historia Y Filosofía De Las Ciencias*, provee de varios escritos sobre esas corrientes que son enunciadas en el título donde,

Los estudios buscan mostrar que tales perspectivas promueven imágenes de conocimiento y modelos particulares de la dinámica científica, a partir de los cuales se definen relaciones entre la actividad científica, la cultura de base y los procesos de socialización y legitimación de los conocimientos; así como, la formulación de propuestas curriculares, modelos de formación de maestros y prácticas pedagógicas. Por tal razón, los análisis sobre los estudios de la ciencia resultan pertinentes para develar las implicaciones que tales imágenes y modelos tienen en las prácticas de enseñanza de las ciencias (Valencia Vargas , 2014).

Por cuanto el trabajo presente acude a la historia no para hacer un enunciado de lo que dijo Carnot, Thomson, Joule, Clausius, etc. sino para poder inspeccionar acerca de las problemáticas que se configuraron alrededor del principio de equivalencia de las

transformaciones de donde emerge un concepto relevante para la termodinámica, la entropía, entendiendo así que el interés aquí en establecer un dialogo con esos escritos originales que permitan *reconstruir el pasado desde el presente*, resinificarlo de acuerdo a las necesidades propias de su labor educativa para ayudar a que su experiencia se enriquezca y establezca criterios para su enseñanza.

En ese orden de ideas, la problemática de estudio presentada, el principio de equivalencia de las transformaciones, aporoto a aclarar la manera confusa, por su diversidad de formas, en que se presenta el concepto de entropía, ya que fija su atención en las transformaciones configuradas en un proceso cíclico calor en trabajo y trabajo en calor, como se mencionó en el capítulo 2, lo importante es la equivalencia presente entre esas dos transformación, es decir, cuánto realmente se transformó, cuánto quedo afectado el entorno y el sistema, lo anterior va de la mano con dos premisas, la primera es respecto al tipo de proceso: reversible o irreversible, y la segunda, la independencia de la sustancia presente en el proceso, por cuanto lo que adquiere relevancia es la diferencia entre las temperaturas de las fuentes de calor.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, se configura una propuesta de aula, que guiada por un proceso de recontextualización de saberes mostrada en el capítulo 3, y ayudado por los estudios de corte cultural orientados en los seminarios de pedagógica de la maestría, en los cuales el interés es *hacer explícitas las diferentes connotaciones que sobre el conocimiento circulan en nuestro medio y las implicaciones que de ellas se derivan para la enseñanza de las ciencias en particular, así como, reflexionar sobre el sentido de la enseñanza de las ciencias para los niveles básicos, en términos de qué es lo que se enseña, cómo se enseña y cuáles son los supuestos que sustentan la concepción de conocimiento como un proceso* (Jiménez Gómez & Pedreros Martínez , 2014). La propuesta expuesta se basa en una estructura conceptual de la física, en particular la termodinámica, que consiste en clasificar las variables en tres grupos, de acuerdo a lo que mida y cómo sea su proceder; estado, proceso-acción y transformación, con la finalidad poder organizar y conocer los elementos fundamentales que constituyen el principio de equivalencia de las transformaciones, en la propuesta no se aborda la categoría conceptual de equivalencia o compensación como lo nombraba Clausius ya que es primordial que el estudiante

comprenda, en primer lugar, la transformación y las variables que intervienen en esta para así construir, comprender e interiorizar una estructura explicativa que luego le permita relacionar el término de equivalencia, donde la entropía es el concepto emergente y que conforma el principio de equivalencia de las transformaciones, por tanto, se evidencia la importancia de los estudios de corte histórico y los procesos de recontextualización, realizadas por el profesor para luego poder plantear actividades que involucren al estudiante de forma significativa en la actividad científica procurando que ellos enriquezcan sus representaciones e interpretaciones del mundo natural.

La estructura de la termodinámica, mencionada en el párrafo anterior, hace parte de las categorías configuradas para la enseñanza del principio de equivalencia de las transformaciones con el fin de aportar al análisis y organización de las variables involucradas en un proceso cíclico de una máquina térmica, así mismo, estas categorías conceptuales posibilitan la organización de los fenómenos dispuesto por el maestro para ser llevados al aula mediante los cuales es posible hacer una conexión entre los conceptos, variables, magnitudes y cualidades presentes en la termodinámica. Otro criterio que aporta a la enseñanza de la física, en tanto permite una comprensión amplia y profunda de la actividad científica y de la manera en que se constituyen los conceptos, teorías, leyes y principios de las ciencias es establecer y comprender las problemáticas que se abordaron en determinado momento para la construcción de dichos productos de la ciencia, pues este hecho permite que el maestro se involucre, de forma reflexiva, en la actividad propia de los científicos atendiendo intereses propios para la enseñanza de las ciencias, como lo es para este trabajo el principio de equivalencia de las transformaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala , M. M. (2004). Historia de las ciencias y la formación de profesores: un análisis contextual. *Física y Cultura*(7), 104.
- Ayala M., M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições, Vol 1*(49), 19-37.
- Ayala, M. M., Malagón , F., & Romero, A. (2004). De la mecánica newtoniana a la actividad de organizar fenómenos mecánicos . *Física y Cultura. Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, 65-78.
- Baracca, A. (2002). El desarrollo de los conceptos energéticos de la mecánica y la termodinamica desde mediados del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX. *ILUIL, Vol. 25*, 285-325.
- Carnot, H. (1987). Carta dirigida al Señor Presidente y a los Miembros de la Academia de Ciencias, por el señor Hippolite Carnot, senador. En J. Ordoñez, *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquina adecuadas para desarrollar esta potencia y otras notas de carácter científico*. (págs. 116-119). Madrid : Alianza Editorial, S.A. .
- Carnot, S. (1824). *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego* (Alianza Editorial, 1987, Madrid ed.). (J. Odon Ordoñez , Trad.) París.
- Clausius, R. (1879). The mechanical theory of heat. En M. A. Translated By Walter R. Browne, *The mechanical theory of heat* (pág. 428). London: MacMillan and CO.
- Giancoli, D. (1994). Física, Principios con Apliación . Pretice-Hall Hispaoamericana S.A.
- Jiménez Gómez, G., & Pedreros Martínez , R. (2014). *Módulo de pedagogica II. El aula como sistemas de relaciones* . Bogotá.
- Khun, T. (1994). *¿Qué son las revoluciones científicas?* Barcelona, España: Atalaya.
- Mijailov, M. I. (2003). *La revolución industrial*. Panamericana Editorial.
- Pedreros Martínez, R. I., & Vargas Nieto, M. L. (2014). La ciencia como actividad cultural. *Modulo de Pedagogía I*. Bogotá, Colombia.: Universidad Pedagógica Nacional. Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales.
- Perez Cruz, J. (2005). *La termodinámica de Galileo a Gibbs*. Canarias: Fundación Canaria Orotava.

Pérez Cruz, J. (2007). La Termodinámica de Carnot a Clausius . *La Ciencia de Europea antes de la Gran Guerra* (pág. 21). La Orotava (Tenerife) y Las Palmas de Gran Canaria, respectivamente.: Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.

Rodríguez, L. D., & Romero, Á. (1999). La construcción de la historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. *Física y Cultura* , 3-16.

Thomson, W. (. (1899). The Dynamical Theory of Heat. En P. W. F. Maguie, *Harper's Scientific Memoirs* (pág. 151). New York and London: W. F. Maguie, Ph.D.

Valencia Vargas , S. (2014). *Modulo de Historia y Filosofía de las Ciencias. Panorama de las corrientes contemporáneas en historia y filosofía de las ciencias*. Bogotá.

ANEXOS

ANEXO 1. ¿POR QUÉ EL CICLO DE CARNOT ES CATALOGADO COMO EL MÁS SENCILLO?

El trabajo de Carnot marco un momento muy importante en el estudio de los fenómenos térmicos, debido a que con éste se puede deducir algunos principios, que se tendrán en cuenta para el desarrollo del concepto de temperatura absoluta y entropía, y todos ellos hacen notar que toman como punto elemental el funcionamiento de la maquia de Carnot o de una máquina que cumpla con el ciclo de Carnot, ya que es el dispositivo más sencillo.

Ahora, la idea es poder describir dos aspectos fundamentales que hacen de este dispositivo el más sencillo, resolviendo así la pregunta del título.

El primer aspecto, tiene que ver con las *fuentes a temperaturas constantes una temperatura baja y otra a temperatura alta*, entre menos fuentes de calor más simple su funcionamiento y su compresión, a continuación se mostraran algunos ejemplos;

Ciclo de Carnot (*Figura 13, a*) y ciclo arbitrario 1 (*Figura 13, b*).

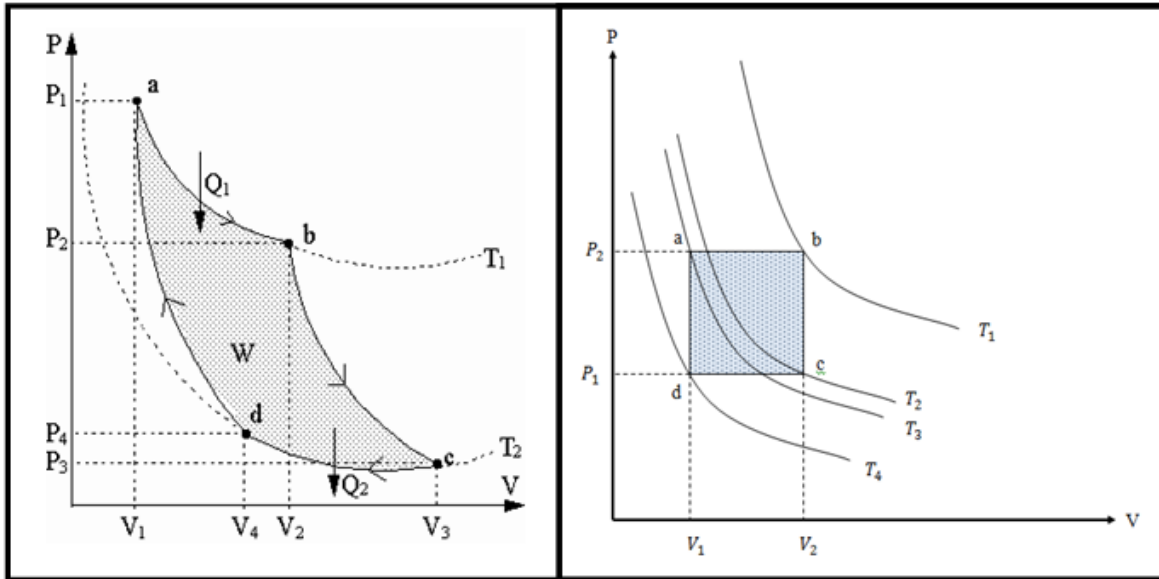


Figura 13, a.

Figura 13, b.

Figura 13. Comparación entre dos ciclos de presión vs volumen. 13 a, ciclo de Carnot. 13 b, ciclo arbitrario

En las Figuras (13, a) y (13, b), tenemos dos ciclos diferentes de dos máquinas térmicas, donde se muestra, que para la máquina de Carnot es necesario dos fuentes, en tanto, para la maquina arbitraria 1 es necesario cuatro fuentes, como lo ilustran las curvas isotérmicas⁵, es decir que la maquina funciona entre las temperaturas T_1 , T_2 , T_3 y T_4 , en tanto que la máquina de Carnot funciona entre T_1 y T_2 .

El segundo aspecto tiene que ver con el hecho, que en el ciclo de Carnot las transferencias de calor se efectúan en los procesos isotérmicos, es decir, en condiciones de equilibrio del sistema con las fuentes a temperaturas constantes, en tanto que en el otro ciclo las transferencias de calor están asociadas con procesos de equilibración térmica y esos procesos son irreversibles. Para ejemplificar lo anterior nos valemos de un ciclo arbitrario 2 (Figura 14), en comparación con el ciclo de Carnot (Figura 13, a).

⁵ Línea isotérmica. Una curva isoterma es una línea que sobre un [diagrama](#) representa los valores sucesivos de las diversas variables de un sistema en un proceso isotermo.

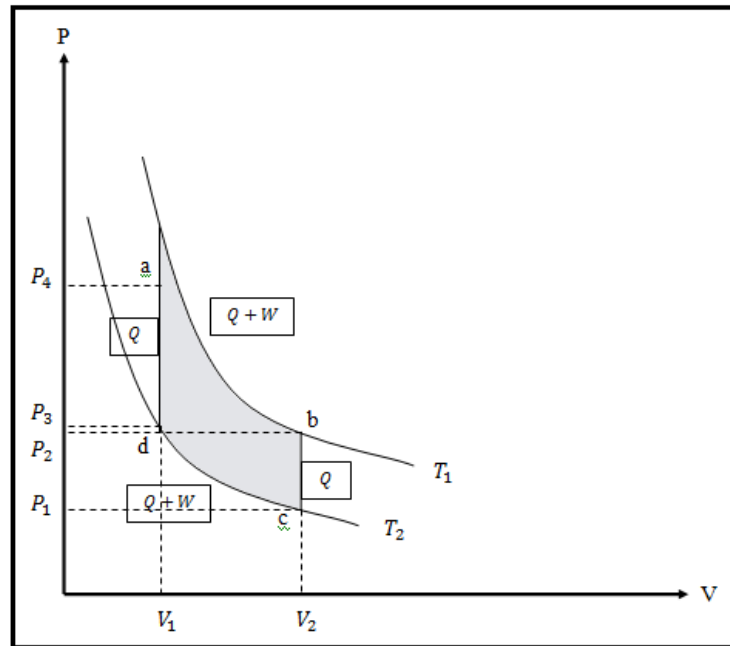


Figura 14. Representación del ciclo arbitrario 2.

Si bien algunos procesos de equilibración térmica son irreversibles, en los cambios de temperatura en la máquina de Carnot se dan en procesos adiabáticos reversibles, ya que no interviene ninguna acción de tipo térmico sino mecánica, y estas acciones llevan a pensar en procesos reversibles. La máquina de Carnot fue un trabajo importante de la época, ya que este fue la base para la construcción de conceptos como *Temperatura Absoluta* y *Entropía*.

ANEXO 2. CICLO DE CARNOT

La máquina de Carnot funciona, desde el desequilibrio térmico⁶, transfiriendo calor de la fuente a temperatura alta a la fuente a temperatura baja, a través del sistema, el cual transforma una parte de este calor en trabajo, esta transferencia de calor y producción de trabajo se da en un proceso cíclico de la siguiente forma:

Expansión isoterma A→B

El gas a temperatura T_1 , se pone en contacto con la fuente caliente a T_1 , permitiendo que se expande lentamente, así se extrae trabajo del sistema⁷, debido a la expansión se provoca un enfriamiento, de tal manera que el sistema mantienen su temperatura T_1 constante. Puesto que la transferencia de calor entre la fuente y el gas se da en condición de equilibrio térmico, a T_1 , este proceso es reversible. En el diagrama pV, los puntos de este paso están sobre una hipérbola dada por la ley de los gases ideales.

$$PV = nRT_1$$

Ecuación 4. Expansión isoterma A→B.

Expansión adiabática B→C

El gas se aísla térmicamente de la fuente y continúa expandiéndose, realizando un trabajo adicional, que no es compensado por la entrada de calor al sistema; debido a ello su temperatura desciende de T_1 a T_2 adiabáticamente. El resultado es un enfriamiento según una curva dada por la ley de Poisson

$$PV^\gamma = cte \rightarrow TV^{\gamma-1} = cte$$

Ecuación 5. Expansión adiabática B→C

⁶ “Allí donde exista una diferencia de temperatura, puede haber producción de potencia motriz”. Sadi Carnot, 1824.

⁷ Se entiende por sistema a un gas contenido en un recipiente cuyo volumen puede variar mediante un embolo.

Compresión isoterma C→D

Una vez que ha alcanzado la temperatura T_2 de la fuente fría, el gas pone en contacto con la fuente a T_2 (que ahora es una entrada de Q_2 a temperatura T_2). Al comprimirlo el gas tiende a calentarse ligeramente por encima de la temperatura T_2 , hay un flujo de calor del gas hacia la fuente lo que permite que la temperatura se mantenga constante manteniendo el equilibrio térmico entre la fuente y el sistema, así el flujo de calor Q_2 se da en condición de equilibrio térmico por lo cual es reversible. Esta paso es de nuevo una hipérbola según la ley de los gases ideales.

$$PV = nRT_2$$

Ecuación 6. Compresión isoterma C→D

Compresión adiabática D→A

El gas se vuelve a aislar térmicamente y se sigue comprimiendo. La temperatura sube hasta T_1 como consecuencia del trabajo realizado sobre el gas, que se emplea en aumentar su energía interna. Los puntos de este camino están unidos por una curva dada por la ley de Poisson.

$$PV^\gamma = cte \rightarrow TV^{\gamma-1} = cte$$

Ecuación 7. Compresión adiabática D→A

En la *figura 15*⁸, se ve representado del ciclo de Carnot:

⁸ En la figura 2 diagrama derecho se muestra $Q=0$, esto hace referencia a los ciclos adiabáticos.

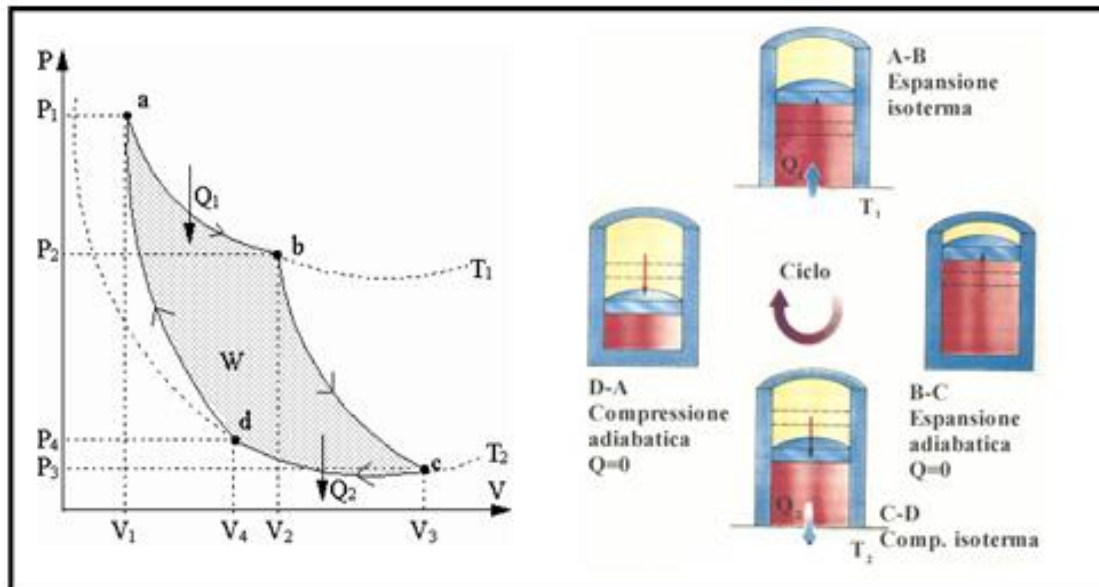


Figura 15. Representación gráfica del ciclo de Carnot

La máquina de Carnot que funciona en un ciclo reversible, ya que las transferencias de calor se dan en condiciones de equilibrio térmico (sin variación de la temperatura) y las variaciones de temperatura se dan en procesos adiabáticos reversibles.

ANEXO 3. SUPUESTOS EPISTEMOLÓGICOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA ABORDAR LOS ORIGINALES

Estos supuestos son tomados del texto: *Los Análisis Histórico-Críticos Y La Recontextualización De Saberes Científicos*, escrito por la profesora María Mercedes Ayala y publicados en la revista *Pro-Posições* en el año 2006.

Esta manera de abordar los originales tiene su base en los siguientes supuestos epistemológicos:

- *El conocimiento es ante todo una actividad y un proceso complejo con un doble carácter individual y social.*
- *Todo conocimiento especializado, incluido el científico, hunde sus raíces en el conocimiento común. La búsqueda de nexos con el conocimiento común se convierte en un propósito prioritario.*
- *Los conceptos son, ante todo, formas de mirar el mundo que, al ser organizadores de la experiencia, determinan aspectos del mundo que son mirados.*
- *Históricamente los fenómenos y el mundo físico en general han sido abordados simultáneamente de múltiples maneras, es decir, desde diferentes esquemas de organización. Estos esquemas de organización se vuelven hegemónicos en algunos casos durante períodos relativamente largos, son abandonados en otros casos y muchas veces son retomados posteriormente, dependiendo de las exigencias y condiciones de los contextos específicos de resignificación.*
- *El individuo común -y por lo tanto el estudiante- en su experiencia cotidiana han elaborado esquemas organizativos de fenómenos abordados en los cursos de física. Este es el caso de los fenómenos mecánicos y térmicos. Los esquemas de organización de estos fenómenos sirven de base para la construcción de otros esquemas y para organización de otros fenómenos.*
- *La construcción de una base fenomenológica es un centro de trabajo para aquellos casos en los cuales el estudiante no tenga mayor experiencia con el tipo de fenómenos estudiados*