

**LA IDEA DE EQUILIBRIO – DESEQUILIBRIO DEL CALÓRICO EN EL CICLO
DE CARNOT: UN ANÁLISIS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS PROCESOS
TÉRMICOS**

Armando Antonio Palacios Hernández

2021184115

Cesar Augusto Laguna Rivera

2021184109

Universidad Pedagógica Nacional de Colombia

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá D.C.

2023

**LA IDEA DE EQUILIBRIO – DESEQUILIBRIO DEL CALÓRICO EN EL CICLO DE
CARNOT: UN ANÁLISIS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS PROCESOS TÉRMICOS**

Armando Antonio Palacios Hernández

Cesar Augusto Laguna Rivera

Trabajo de grado para optar al título de Magister en docencia de las ciencias naturales

Directoras del trabajo:

Marina Garzón Barrios

Liliana Tarazona Vargas

Universidad Pedagógica Nacional de Colombia

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá D.C.

2023

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi padre y a mi madre, ya que me han brindado todo lo que un hijo puede tener y siempre han sido excelentes padres, a ellos les debo todo lo que soy; a mi hermano que me apoyo siempre que lo necesité; a todos mis seres queridos por no poder compartir el suficiente tiempo con ellos, especialmente a mi abuela Elisa (Q.E.P.D.); a mi pareja por su comprensión y escucha durante este tiempo del trabajo; y, por último, agradecerles infinitamente a las profesoras Marina y Liliana por su paciencia, sabiduría y esfuerzo que me brindaron para poder concluir este trabajo.

Armando Antonio Palacios Hernández

En memoria de Anacleta la mofleta, abuela sabionda de historias y risas. Doy gracias a mi familia por estar siempre a mi lado compartiendo y caminando siempre por la vida. Primero, quiero agradecerle a mi señor padre, Don César Laguna Dussan, mi primer docente y promotor de lectura; segundo, a mi amada madre, Martha Liliana Rivera por su enseñanza por la disciplina y el respeto a los demás, quiero agradecer a mis queridos hermanos por su apoyo incondicional, Diego Fernando Laguna, filósofo y gran orador de preguntas atiborradas de discusiones infinitas con conclusiones para nada absolutas y mi hermano mayor, Jorge Armando Laguna, literato, que me encamino a la bella labor de la promoción de lectura y sus conocimientos. Agradecer a mi pareja Lina Rojas por su compañía incondicional. A las profesoras Liliana Tarazona y Marina Garzón por sus conocimientos y constante apoyo.

César Augusto Laguna Rivera

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. CÓMO SE ENTIENDE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.....	2
2.1. Las organizaciones conceptuales de las personas	2
2.2. Organizaciones conceptuales: el caso del equilibrio-desequilibrio	5
2.3. La práctica experimental para el aula	6
2.4. El papel de los estudios históricos	9
2.5. La sistematización para la reflexión de la experiencia docente	10
3. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	10
3.1. La importancia del estudio de la máquina térmica y los problemas de su enseñanza .	10
3.2. Sobre el problema de relacionar los procesos adiabático e isotérmico con la experiencia común.....	14
3.3. Preguntas que orientan la investigación.....	16
3.4. Objetivos	18
4. DISEÑO METODOLÓGICO	19
5. MARCO TEÓRICO	20
5.1. Contexto sobre las ideas del calor como fluido y sus efectos	20
5.2. Comportamiento de los gases	20
5.2.1. Relación del calor y sus efectos	21
5.2.2. Joseph Black.....	21
La capacidad del calor en los cuerpos	21
Calor Latente	23
5.2.3. Antoine Lavoisier	24
5.3. Consideraciones del equilibrio mecánico.....	27
5.4. Análisis del equilibrio –desequilibrio del calor de Carnot	29

5.5. Sobre la forma en la que estudiamos el equilibrio térmico	34
5.6. Del calor como variable de cambio - acción	38
5.7. Los cambios de fase.....	39
5.8. Otras transformaciones térmicas	40
5.9. Caso de estudio: el ciclo de Carnot dentro de la máquina térmica.....	40
5.9.1. Proceso isotérmico y adiabático.....	41
5.9.2. El ciclo de Carnot con cambios de fase	45
5.9.3. Ciclo de Carnot	47
6. CRITERIOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS FENÓMENOS TÉRMICOS.....	48
6.1. Criterios disciplinares	49
6.2. Criterios pedagógicos	50
6.3. Criterios epistemológicos	52
7. DISEÑO DE LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES Y SISTEMATIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA DE AULA	53
7.1. Diseño de las actividades experimentales	54
7.2. Sistematización de la experiencia de aula	57
7.2.1 La temperatura y el equilibrio entre los cambios.....	58
7.2.1.1 Objetivos y actividades.....	59
7.2.1.2 Análisis de las respuestas de los estudiantes respecto al momento: la temperatura y el equilibrio entre los cambios	63
7.2.1.3 Reflexión del primer momento.....	66
7.2.2. Fuentes y los cambios en otras variables térmicas.....	67
7.2.2.1 Objetivos y actividades.....	68
7.2.2.3 Análisis de las respuestas de los estudiantes respecto al momento: fuentes y los cambios en otras variables térmicas	73

7.2.2.4. Reflexiones del segundo momento.....	75
7.2.3. Las máquinas térmicas	76
7.2.3.1 Objetivos y actividades.....	77
7.2.3.2. Análisis de las respuestas de los estudiantes respecto al momento: las máquinas térmicas.	80
7.2.3.3 Reflexiones del tercer momento	83
7.3. Síntesis del proceso de sistematización	84
8. REFLEXIONES FINALES.....	87
9. BIBLIOGRAFÍA.....	91
10. ANEXOS	94
11. EVIDENCIAS	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: El pistón para representar la máquina de calor o máquina térmica,.....	12
Ilustración 2: Una unidad de refrigeración para un sistema de aire acondicionado.	
Tomado de: Fundamentos de termodinámica (Sonntag, Borgnakke, & Van Wylen, 2002, pág. 6).....	13
Ilustración 3: Diagrama esquemático de un ciclo de refrigeración simple. Tomado de Fundamentos de termodinámica (Sonntag, Borgnakke, & Van Wylen, 2002, pág. 6).....	13
Ilustración 4 (Elaboración propia).....	31
Ilustración 5 (Elaboración propia).....	31
Ilustración 6 (Elaboración propia).....	32
Ilustración 7(Elaboración propia).....	33
Ilustración 8: Esquema del pistón para el ciclo de Carnot. Tomado de (Carnot, Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego , 1987, pág. 52)	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Objetivos de sistematización Momento1 - la temperatura y el equilibrio entre los cambios.....	60
Tabla 2 – Clasificación de respuestas momento 1 de sistematización – La temperatura y el equilibrio entre los cambios.....	64
Tabla 3 . Objetivos de sistematización momento 2 – Fuentes y los cambios en otras variables térmicas.....	69
Tabla 4 Clasificación de respuestas momento 2 de sistematización – La temperatura y el equilibrio entre los cambios.....	73
Tabla 5 Segunda clasificación de respuestas momento 2 de sistematización – Fuentes y lo cambios en otras variables térmicas	74
Tabla 6 - Objetivos momento 3 de sistematización - Las máquinas térmicas.....	78
Tabla 7 Clasificación de respuestas momento 3 de sistematización – Las máquinas térmicas	81

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es la memoria investigativa realizada en la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales sobre la enseñanza de los fenómenos térmicos en el ciclo de Carnot, donde ocurren transformaciones e interacciones vinculadas con el equilibrio - desequilibrio del calor y la temperatura. El objetivo es establecer criterios pedagógicos, disciplinares y epistémicos para la enseñanza de los procesos térmicos a través del diseño y la sistematización de una propuesta de enseñanza basada en la idea de equilibrio y desequilibrio térmico de la obra de Carnot. Se parte de la hipótesis que el equilibrio – desequilibrio es un eje estructurante en las organizaciones conceptuales de los fenómenos físicos y que posibilita a los estudiantes establecer distintos tipos de relaciones entre variables y sus cambios, para el análisis de los fenómenos térmicos de contacto a distinta temperatura.

El documento se encuentra organizado de la siguiente manera

1. Se construye la base epistemológica y disciplinar desde donde se aborda los puntos más relevantes que determina el actuar del docente en el aula.
2. Luego se exponen las problemáticas alrededor de la enseñanza de lo térmico y los procesos termodinámicos, así como otras dificultades que giran alrededor de la máquina térmica. Esto configura la pregunta central del trabajo y se desarrollan los objetivos de la investigación.
3. Se plantea el diseño metodológico con el que se abordaron las problemáticas y dificultades en la enseñanza de los procesos térmicos.
4. El marco teórico está organizado por las ideas del calórico anteriores a Carnot donde se expone autores relevantes de la teoría del calórico, se prosigue con el estudio del equilibrio mecánico que generen criterios de análisis del equilibrio - desequilibrio del calórico propuesto por Carnot y, por último, se plantea la propuesta de organización de los fenómenos térmicos desde los efectos del calor.
5. Esto suscita unas reflexiones que conllevan a construir los criterios a partir de la construcción de los fenómenos térmicos de contacto para su enseñanza.

6. Se expone el diseño, la construcción e implementación de las actividades experimentales que contribuyen en las organizaciones conceptuales de los estudiantes, para sistematizar la experiencia del aula permitiendo visibilizar los aportes generados en este trabajo.
7. Por último, se generan reflexiones finales que ha suscitado abordar las problemáticas en este trabajo y que aportan en la enseñanza de la física.

2. CÓMO SE ENTIENDE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Como estudiantes de la maestría en docencia de las ciencias naturales nos encontrábamos interesados en ganar argumentos alrededor de la enseñanza, a su vez nos relacionábamos con docentes que se enfrentaban a problemáticas de estudio donde ya teníamos experiencia, y en otras ocasiones estos roles se intercambiaban. Es así como existía una dualidad de aprendiz – enseñante, que nos ha permitido reflexionar acerca del actuar dentro del aula de clase. Algunas de estas reflexiones son parte del contexto en el que emerge este trabajo y las presentamos a continuación.

2.1. Las organizaciones conceptuales de las personas

La principal reflexión sobre la enseñanza de la física fue reconocer la forma en que las personas piensan. Existe una situación particular que nos ha llamado la atención en cuanto a lo térmico; observamos que cuando diferentes personas son enfrentadas a una misma situación, cada una de ellas aborda esta situación de manera distinta, aun cuando tengan algunas experiencias en común; por ejemplo, ante preguntas como: ¿Qué le sucede a un cuerpo de menor temperatura cuando entra en contacto con uno de mayor temperatura? o ¿Qué entiende por el concepto de calor? En todas las respuestas dadas por nuestros compañeros de maestría a la primera pregunta se estaba de acuerdo en que los cuerpos de mayor temperatura calentaban a los cuerpos de menor temperatura cuando entraban en contacto, sin embargo, en la respuesta a la segunda pregunta se difiere en las concepciones del calor; algunas personas manifestaban una concepción sustancialista del calor como un fluido, mientras otras hablaban en términos de energía y otras en términos de movimiento.

Retomando las distintas concepciones de nuestros colegas, consideramos que se tratan de organizaciones conceptuales, como la temperatura y el calor, que las personas han construido al relacionarse con el mundo. Así, aspectos como las experiencias comunes con objetos a distintas temperaturas, factores como el léxico de las personas con quiénes se comunican, los libros de

textos, la jerga común de las personas alrededor de lo térmico, las experiencias que han tenido por medio de los sentidos, entre otros, influye en las maneras de pensar y de hablar de las personas.

En ninguno de los casos podría decirse que un conocimiento es mejor o peor que otro, mejor aún, diríamos que cada una de las organizaciones conceptuales está delimitada por la experiencia subjetiva de cada persona. Por ejemplo, las personas que no diferencian entre calor y temperatura, es porque para ellos no existe alguna necesidad de hacer tal distinción; no obstante, si para estas personas llega a existir la necesidad de diferenciar estos conceptos, como puede ocurrir con experiencias en las aulas de clase, existirá un cambio en la organización conceptual que ellos tienen. Esto conlleva a pensar que las organizaciones conceptuales se encuentran en constante cambio hasta que tengan sentido para las personas.

A partir de las concepciones iniciales identificadas alrededor del calor que hemos tomado como ejemplo (sustancialista, energía o movimiento), cuando profundizamos estos conceptos con los compañeros de estudio y estudiantes, difícilmente pueden encontrarse enunciados bien delimitados. En este sentido, creemos que estas concepciones frecuentemente son difusas, sin embargo, para cada una de esas personas sus organizaciones se establecen de forma coherente bajo su propia lógica; y es por ello por lo que por medio del lenguaje terminan resaltando las características principales de estos conceptos, dándonos una visión general (pero no completa) de las organizaciones que cada uno de ellos tiene.

A este tipo de organizaciones, Glasersfeld (1997, pág. 32) las denomina esquemas conceptuales; manifestando que el conocimiento se encuentra en un cambio dinámico, eliminando aquellas perturbaciones que no le son posibles de explicar desde su estructura cognitiva actual. Así, para que sucedan estos cambios vemos que son necesarias nuevas experiencias que permitan modificar estas concepciones.

El término concepción resulta ser imperante en este trabajo por lo que es necesario hacer evidente cuál es su connotación. Giordan y de Vecchi expresan que la concepción

Se trata, en un primer nivel, de un conjunto de ideas coordinadas e imágenes coherentes, explicativas, utilizadas por las personas que aprenden para razonar frente a situaciones-problema, y sobre todo evidencia la idea de que este conjunto traduce una estructura mental subyacente responsable de estas manifestaciones contextuales. (1995)

Asimismo, Hanson (1989, pág. 238) expresa que la visión es una acción que lleva consigo una carga teórica, nosotros pensamos que el autor va mucho más allá, ya que las personas actúan de una forma y no de otra, dependiendo de las organizaciones conceptuales que tenga en el momento. Por ejemplo, una persona que tenga experiencia en la cocina servirá una bebida caliente de consumo inmediato en un recipiente cerámico en lugar de uno metálico, debido a que reconoce que al servir bebidas calientes en un recipiente metálico conllevaría a quemaduras en la piel, esto quiere decir que ha establecido una relación de la “facilidad” con la que cambian de temperatura los metales cuando entran en contacto con un cuerpo a temperatura distinta, esta misma relación le permite identificar con qué materiales se puede hacer un mejor uso el acto de cocinar.

Al ampliarse este conocimiento que se ha construido del análisis de la experiencia de la cocina, permite a las personas: hacer predicciones, saber cómo crear o diseñar objetos útiles en la vida cotidiana, establecer una forma de comunicarse y expresarse con otras personas, y condicionan las actividades que realizan; es decir, las organizaciones conceptuales influyen en la forma en que las personas interactúan con el mundo exterior. En este sentido, no bastaría con repetir la información, al decir que el calor es energía en tránsito¹, es necesario colocar en práctica estas organizaciones conceptuales en situaciones concretas y relacionarlas con otra multiplicidad de organizaciones, exigiendo un mínimo de coherencia lógica. Por lo tanto, no se trata solamente de conocer sino *saber hacer* con lo que se conoce. En palabras de Glasersfeld (1997, pág. 30) “lo que denominamos conocimiento es el mapa de los caminos de acción y pensamiento que, en ese momento del curso de nuestra experiencia han resultado viables para nosotros”.

Todo esto conlleva a que las personas con un mayor número de análisis de sus experiencias tienen organizaciones conceptuales de mayor complejidad, debido a que poseerán mayores elementos para tomar decisiones y relacionarse con el mundo.

Esta es una idea general de conocimiento tomada del constructivismo, pero ¿será necesario establecer diferencias entre el conocimiento científico y otros tipos de conocimiento? Lazo Cividanes (2006) ha mostrado que esta delimitación es absurda, debido a que la búsqueda, los métodos, las formas de observar, los procedimientos, las justificaciones y los hechos de la ciencia

¹ Esta es una definición del calor que se encuentra reiteradamente en las fuentes de información, por ejemplo, “El calor y la temperatura son conceptos diferentes. Concebimos la temperatura como una medida de qué tan caliente se encuentra un objeto; mientras que entendemos el calor como un proceso de transferencia de energía térmica. En esos térmicos, decimos que el calor es energía en tránsito.” Tomado de Núñez, H. (2007, pág.88)

han variado a través de la historia, lo cual ha hecho imposible alcanzar tal unificación epistemológica. Por este motivo no tiene sentido reconocer los límites de la ciencia física.

Sin embargo, en este trabajo nos interesa centrar la descripción y organización conceptual del mundo físico, donde es necesario generar análisis de las experiencias sobre lo térmico, por medio de: identificar variables físicas en situaciones térmicas seleccionadas, establecer las relaciones entre las variables y las condiciones en las que estas variables cambian o permanecen y realizar generalizaciones de descripciones físicas concretas.

2.2. Organizaciones conceptuales: el caso del equilibrio-desequilibrio

De todas las posibles organizaciones conceptuales que se pueden identificar, en este trabajo queremos desarrollar la idea de equilibrio – desequilibrio como eje estructurante alrededor de algunos casos térmicos, debido a que esto permite vincular relaciones entre variables como la masa, el volumen, la presión y la temperatura cuando se estudian fenómenos térmicos.

Giordan & De Vecchi (1995) establecen que “... las concepciones estructuran y organizan la realidad. Se ocupan en primer lugar de las situaciones en las que la persona debe resolver ciertos problemas, realizar diferentes actividades y concebir nuevas normas de conducta ...”. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, estos autores también manifiestan que las concepciones se traducen en una estructura mental.

En referencia al equilibrio, autores como Pozo y Gómez reconocen la importancia del equilibrio como uno de los principios de organización en ciencias. Ellos afirman que “aprender física implica un cambio en los supuestos conceptuales que sustentan las teorías de los alumnos que permita una evolución hacia los principios que caracterizan a las teorías científicas [interacción, conservación, equilibrio, relaciones y esquemas de cuantificación]” (2009, pág. 215). Así tiene sentido abordar distintas problemáticas en la enseñanza de la física por medio del concepto de equilibrio.

Existe desde la ciencia otros casos en los que se aborda el equilibrio en fenómenos específicos como: el equilibrio mecánico, donde se establecen equilibrios de tipo estable, inestable o neutro, el equilibrio químico como un tipo de equilibrio dinámico y el equilibrio de temperaturas dentro de los fenómenos térmicos. Esto denota que además de pensarse como un principio de organización conceptual en las ciencias, como lo realiza Pozo y Gómez, también hace parte de la forma que se abordan distintos fenómenos en la ciencia.

De modo que el equilibrio resulta ser un eje estructura importante para la estructuración de las explicaciones en las ciencias. Por este motivo, respecto a los efectos térmicos nos interrogamos: ¿Cuáles son las relaciones entre las variables que se equilibran? ¿Cuáles son los procesos térmicos que permiten el equilibrio? Esto con el fin de construir el marco teórico y poder establecer criterios que han sido importantes para nosotros en la enseñanza de lo térmico, generando una propuesta en el aula, cuya intencionalidad sea que los estudiantes establezcan relaciones entre variables que les permita organizar fenómenos térmicos.

Hasta aquí se ha identificado que las organizaciones conceptuales serán nuestro punto de partida para la enseñanza de la física. En ellas el equilibrio se trata de un eje estructurante que permite, a nuestro juicio, abordar algunos fenómenos térmicos de forma coherente en los procesos del ciclo de Carnot. Sin embargo, es necesario enfatizar ¿cómo el equilibrio hace parte de las organizaciones conceptuales y permea el actuar dentro del aula de clase?

2.3. La práctica experimental para el aula

Las organizaciones a las que hemos hecho referencia frente a las experiencias de las personas llevan consigo una carga conceptual, en la medida que se adquiere determinadas estructuras conceptuales producto de la experiencia, se amplían los caminos de acción para interactuar con el mundo, por consiguiente, se logra ser consciente del fenómeno que se le presenta. En caso contrario, al no ser consciente, debido a la falta de experiencias estos fenómenos no existirán. Ya desde la perspectiva fenomenológica, se nos recuerda que el fenómeno es lo que aparece frente a una conciencia. Como afirma Husserl, la conciencia existe en la medida en que es conciencia de algo, y por lo tanto desde ese punto de vista el fenómeno no es en sí mismo, no existe en sí mismo, ni tampoco la conciencia existe en sí misma, hay una relación de doble vía. (Malagón, Sandoval, & Ayala, 2013, pág. 122)

Al igual que Arca, Guidoni y Mazzoli (1990, pág. 29), consideramos que el conocimiento común se encuentra en la base de cualquier conocimiento especializado, por lo que es importante partir de las experiencias (interacción con el mundo) para la construcción de conocimiento en los estudiantes. En la vida adulta, tenemos múltiples experiencias alrededor de lo térmico que permite organizar el conocimiento, sin embargo, éstas pueden no existir en la vida de un estudiante de educación media, por ejemplo, la elasticidad de los gases por encima de otras fases de la materia, por lo que no tendría mucho sentido si se exponen estos casos frente a ellos. Es necesario vincular

experiencias más comunes, que al ser analizadas posibiliten al estudiante vincularlas dentro de sus organizaciones y así propiciar que adquieran mayor conciencia sobre el fenómeno.

De este modo, dependerá del docente cómo abordar estas experiencias, qué tipos de preguntas realizar para el análisis de las experiencias y determinar cuál es el enfoque que se le dará al análisis partiendo de los objetivos de la organización que desee propiciar. Esto configurará la labor del docente en el desarrollo de este tipo de actividades.

En el trabajo de *Enseñar ciencia* de Arcá, Guidoni y Mazzoli (1990) , la educación científica:

Significa desarrollo de modos de observar la realidad y de modos de relacionarse con la realidad; que esto implica y supone los modos de pensar, los modos de hablar, los modos de hacer, pero sobre todo la capacidad de juntar todos estos aspectos. (pág. 25)

Recordemos que en nuestro caso será importante establecer variables en algunas situaciones térmicas, las condiciones en las que estas variables cambian o permanecen constantes, y las relaciones entre las variables, son los conceptos desarrollados en este trabajo, pues implica traer experiencias nuevas para los estudiantes, en condiciones cada vez más específicas. Esta interacción múltiple con el mundo y el análisis bajo diferentes puntos de vista logran nutrir las organizaciones conceptuales, siendo cada vez más complejas en el sentido de la diversidad de elementos que se utilizan en los conceptos, lo que implica generar experiencias nuevas para los estudiantes, en condiciones cada vez más específicas construyendo la educación científica.

Es necesario que el estudiante se exponga intelectualmente para poder inferir las organizaciones conceptuales que está colocando en juego, por ello, tendrá que ser parte activa de su proceso. Se trata entonces de una relación en doble vía donde el docente y el estudiante encuentran una comunicación constante que les permite aprender mutuamente desde sus roles en el aula de clase.

Quisiéramos señalar que el desarrollo de estas perspectivas ya es una tendencia en la enseñanza de la física, donde el estudiante deja de recibir pasivamente y se convierte en una persona activa de su conocimiento (Arcá, Guidoni, & Mazzoli, 1990, págs. 44-45). Nosotros identificamos que esta acción activa de los estudiantes permite que se realicen análisis más complejos en el desarrollo de las clases, debido a que existe un mayor grupo de personas que aportan elementos para las organizaciones conceptuales. Desde el enfoque constructivista se tiene que la experiencia de las

personas siempre incluye la interacción social con otras (Glaserfeld, 1997, pág. 33) y por lo tanto uno de nuestro objetivo como docentes es potencializar estas interacciones.

Para reforzar este enfoque probamos algunas actividades que pudieran propiciar las organizaciones complejas:

- La producción de nuevos efectos o la selección de efectos ya conocidos por los estudiantes, vinculando nuevas preguntas con el objetivo de identificar similitudes y asignar variables con relación a los casos expuestos.
- La discusiones, debates y exposición de los argumentos de los estudiantes que permiten de manera conjunta aportar elementos para tener en cuenta en la descripción de los fenómenos.
- Las distintas configuraciones de elementos tangibles propuestas por los docentes en la elaboración de los experimentos.
- Establecer nuevos argumentos por medio del debate cuando sea necesario durante las sesiones de clase.
- Vincular nuevos lenguajes matemáticos o lingüísticos que puedan hacer posible la síntesis de explicaciones y así permitir nuevas relaciones más complejas.
- Realizar suposiciones apoyándose en experiencias conocidas o nuevas.
- Realizar idealizaciones para establecer conclusiones.
- Descartar efectos que no se encuentren vinculados a los fenómenos de estudio o presentar nuevos efectos.

Existen otras actividades que influyen en la construcción de conocimiento en el aula, pero se han seleccionado aquellas que consideramos las más relevantes y que se llevaron a cabo en el aula durante este trabajo de investigación.

Se busca que en nuestra labor docente se propicie dichas situaciones de la forma más coherentemente posible con los estudiantes, donde estas actividades se denominan experimentales pues parten de la interacción de la persona con la realidad, para complejizar las organizaciones conceptuales de los estudiantes en los fenómenos de estudio.

Ahora bien, las formas en las que se aborden estas actividades y se guíen por parte de nosotros, serán el punto desde donde se desarrollará el marco teórico de este trabajo. Esta manera de ver el

mundo, describirlo, organizarlo y relacionarlo, será una de las varias actividades que nosotros pensamos que se pueden abordar desde la física para su enseñanza, así, entonces lo que se enseña serán las formas de relacionarse y actuar en el mundo.

2.4. El papel de los estudios históricos

Reconocemos la importancia de Carnot como uno de los investigadores y autores más importantes en la organización de los fenómenos térmicos, debido a que los procesos específicos que él estudia se encuentran íntimamente vinculados por experiencias (configuración de la máquina térmica) y relaciones de distinto tipo (como la relación entre el calor y los cambios de presión, volumen y temperatura de los gases), que le permiten establecer un punto de referencia para dar cuenta de la eficiencia de las máquinas térmicas.

Observamos que las organizaciones conceptuales de Carnot tienen elementos que nos permiten vincularlos a los procesos de enseñanza y ubicarnos en su perspectiva para encontrar cuál es la coherencia que tiene en sus descripciones y explicaciones, ya que esto haría posible comprender los procesos térmicos.

Además, la búsqueda de esta coherencia nos permite generar criterios para organizar las actividades que llevemos al aula, esto lo realizamos cuando tenemos en cuenta los efectos, situaciones, relaciones entre variables, uso del lenguaje, que para Carnot son fundamentales y que difícilmente se nos pueden ocurrir por sí solos. Esto nos lleva a pensar que, al ubicarnos dentro de los argumentos del autor en el aula, aportamos elementos que enriquecen las organizaciones conceptuales de los estudiantes y nos enriquecen a nosotros como docentes.

Este es el valor fundamental del porqué recurrir a los documentos clásicos o también llamados fuentes primarias. Ya que nutren las organizaciones conceptuales que intentamos construir por medio de las actividades experimentales y que esperamos que los estudiantes las involucren en su relación con el mundo.

En palabras de Ayala (2006, pág. 27) tratamos de establecer un diálogo con el autor, con la mirada puesta en la estructuración de los fenómenos, en la búsqueda de establecer nexos con nuestra experiencia y conocimiento común. Es necesario reconocer que a pesar de que la época y contexto en la que nos encontramos son distintos a los del autor, las preguntas que tenemos alrededor de los fenómenos pueden ser compartidas.

2.5. La sistematización para la reflexión de la experiencia docente

La sistematización surge en este trabajo como una actividad de autorreflexión de la práctica docente, por medio de la recolección y análisis de las experiencias de aula se busca contrastar: las posibilidades explicativas del mundo físico por parte de los estudiantes con los fundamentos disciplinares del marco teórico, pedagógicos en la actividad experimental y epistemológicos en las organizaciones conceptuales, puntos que se han desarrollado en este escrito.

Esto nos permite a nosotros como docentes generar autorreflexiones del mismo tipo: disciplinar, en cómo la profundización del conocimiento disciplinar aporta en la organización de los fenómenos térmicos; pedagógico, porque se busca conocer cuál es la articulación de los fenómenos de estudio por medio de las actividades experimentales por parte de los estudiantes; y epistemológico, con el fin de analizar hasta qué punto nuestra construcción en la organización de los fenómenos térmicos propiciaron explicaciones articuladas con la experiencia en descripción del mundo físico por parte de los estudiantes.

En general, se busca *“detectar las dificultades y las posibilidades que surgen de la manera como son expuestas y estructuradas las situaciones problemáticas, así como de las condiciones provistas para abordarlas Es esta una actividad que enriquece la experiencia del profesor y su conocimiento tanto en física como en pedagogía.”* (Ayala, 2006, pág. 31)

3. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.

En esta sección se mostrará la importancia de estudiar las máquinas térmicas, las problemáticas alrededor de su comprensión y enseñanza que se han identificado en el ámbito educativo. Se centrará la atención en los problemas de los procesos isotérmicos y adiabáticos, que hacen parte del ciclo más eficiente teóricamente posible. Luego de manera general se presenta la idea de restablecimiento del equilibrio en el calórico de Carnot, ya que esta idea es fundamental para plantear su ciclo. Todos estos serán elementos que convergen en las preguntas centrales de este trabajo y se plantean en los objetivos y la metodología de la investigación.

3.1. La importancia del estudio de la máquina térmica y los problemas de su enseñanza

Las máquinas térmicas tienen un papel crucial en el desarrollo de la humanidad, debido a que fue la máquina de vapor la que potenció el desarrollo tecnológico en la revolución industrial y

permitió un avance en las teorías de la termodinámica que fueron fundamentales para establecer leyes que aún hoy día perduran. Este avance se da gracias a un conocimiento de las variables térmicas y sus relaciones, así como del estudio de los gases, debido a que en la máquina se desarrollan transformaciones en el gas llamados procesos, involucrando conceptos como calor y trabajo mecánico. Se puede decir que en el estudio de las máquinas térmicas confluyen la mayoría de las relaciones entre las variables térmicas (presión, volumen, temperatura, calor, trabajo mecánico, eficiencia) que en su mayoría son abordados en los contextos escolares y universitarios, y de allí su importancia en la enseñanza de la física.

De la misma forma que confluyen las variables térmicas en la descripción de la máquina térmica también confluyen las problemáticas para su estudio, se han agrupado:

- Las problemáticas de enseñanza por medio de las variables para la descripción en las máquinas térmicas
- Representaciones de las máquinas térmicas
- Los procesos termodinámicos.

Las problemáticas de enseñanza por medio de las variables para la descripción en las máquinas térmicas: En la enseñanza de las máquinas térmicas vemos necesario identificar las variables de estado más relevantes, como lo son: la presión, el volumen y la temperatura de un gas, así como el calor y el trabajo mecánico. Entorno a estas variables, algunos autores han identificado dificultades en su comprensión, por ejemplo:

- Pozo & Gómez (2009, pág. 215) expresan que los estudiantes tienen problemas al diferenciar magnitudes que representan estados de un sistema con aquellas que miden sus cambios.
- Giordan & De Vechhi (1995) hacen referencia a que comúnmente se piense que la presencia de una gran cantidad de calor está acompañada por una gran temperatura.
- Hernández (2018, pág. 2) identifica que los estudiantes consideran al calor y la temperatura como sinónimos, por lo tanto, son palabras que pueden ser intercambiables.

Estas dificultades se suman a otras que hemos identificado desde las prácticas de enseñanza y que se ven reflejadas en problemas como:

- A los estudiantes frecuentemente se les dificulta determinar las relaciones entre las tres variables de estado térmico: presión, volumen y temperatura, debido a que son relaciones complejas.
- El calor, así como cualquier tipo de energía, está determinado en la comprensión de los estudiantes como una sustancia que se transporta entre los cuerpos.

Todas estas problemáticas conllevan a que si no existe la claridad en la distinción de variables no es posible establecer las relaciones y poder describir los procesos en la máquina térmica.

Representaciones de las máquinas térmicas: Las problemáticas anteriormente nombradas se acrecientan si el primer acercamiento de un estudiante alrededor de las máquinas térmicas son libros de texto donde éstas se reducen a un solo pistón, sin tener en cuenta la estructura mínima que hace posible los diferentes procesos, limitando la comprensión de estos, por ejemplo

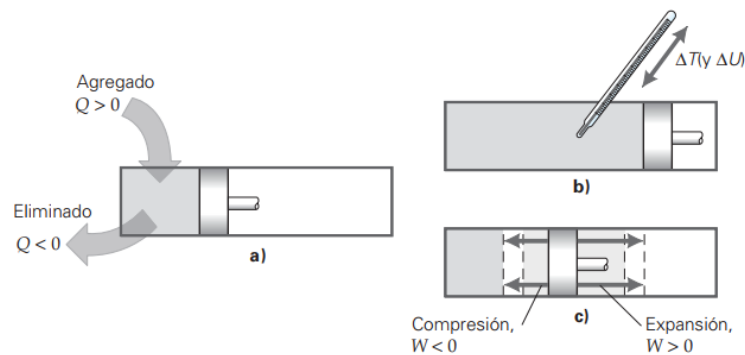


Ilustración 1: El pistón para representar la máquina de calor o máquina térmica,

Tomado de: Wilson, JD (2007, pág. 400). Física.

Igualmente, si se llegase a profundizar en un texto más especializado en termodinámica, la máquina encontrada será más compleja con partes desconocidas que son ajenas a la experiencia cotidiana como lo son: refrigerantes, turbinas, generadores, economizadores, entre otros.

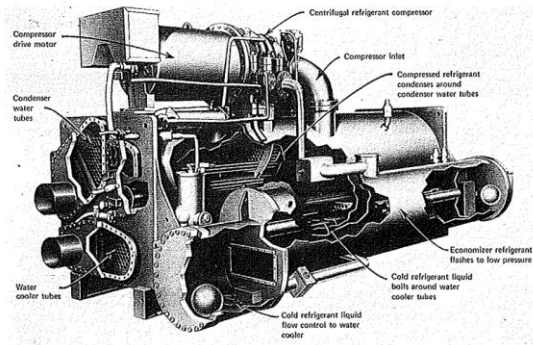


Ilustración 2: Una unidad de refrigeración para un sistema de aire acondicionado. Tomado de: Fundamentos de termodinámica (Sonntag, Borgnakke, & Van Wylen, 2002, pág. 6)

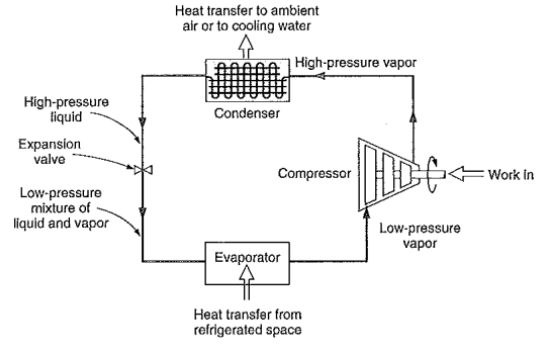


Ilustración 3: Diagrama esquemático de un ciclo de refrigeración simple. Tomado de Fundamentos de termodinámica (Sonntag, Borgnakke, & Van Wylen, 2002, pág. 6)

En términos generales se pasan de máquinas térmicas simples a representaciones complejas o viceversa. También, se encontrarán relaciones matemáticas con ecuaciones diferenciales parciales para el comportamiento de los gases, que solamente sería de su conocimiento a un nivel superior universitario.

Procesos termodinámicos en la máquina térmica: Dentro de los procesos termodinámicos, se encuentran el adiabático e isotérmico, los cuales hacen parte del ciclo de Carnot, ciclo que se afirma como el teórico más eficiente.

En los libros de texto utilizados para la enseñanza se dice que el ciclo de Carnot es el más eficiente, utilizando las variables energía y entropía, se expresa que una máquina térmica que genere más rendimiento que el ciclo de Carnot violaría el principio de la primera ley de la termodinámica ($U = Q + W$), mientras que la entropía no cambia en el ciclo de Carnot. Esto resulta problemático dado que estos conceptos que no son importantes para Carnot porque estas variables fueron construidas posterior y evidentemente no fueron conocidos por él. En estos libros no se explicita cuáles son los argumentos para no llevar el ciclo de Carnot a la práctica y se quede en el campo de la teoría. Esto termina siendo un obstáculo dentro de la comprensión de los procesos térmicos ya que se realizan afirmaciones donde no se exponen ninguna relación con los fenómenos.

A continuación, se plantean las dificultades en la comprensión de estos procesos, pues parecen entrar en contradicción con la experiencia común, por lo que difícilmente se pueden establecer relaciones entre las organizaciones conceptuales de las personas.

3.2. Sobre el problema de relacionar los procesos adiabático e isotérmico con la experiencia común

Queremos destacar dos momentos importantes en el estudio de la máquina térmica para poder abordar los procesos térmicos:

El primero, es el estudio del comportamiento de los gases, que contribuye para la descripción del funcionamiento de la máquina térmica estableciendo unas condiciones específicas, para sacar provecho de su dilatación. Esto es porque los gases tienen la característica de ser más expansibles que otras fases de la materia, además, su comportamiento ya se había establecido por medio de las relaciones entre las variables de estado (Presión, Volumen y Temperatura) como lo determinan la ley de Boyle-Mariotte, la ley de Gay Lussac y la ley de Charles. Todo esto hace posible la producción de una fuerza que se puede aprovechar, inicialmente llamada potencia motriz² y que hoy día llamamos trabajo mecánico.

El segundo momento importante es la obra de Sadi Carnot³ “*Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*”, debido a que concluye la máxima eficiencia de las máquinas térmicas por medio del vínculo calor y trabajo mecánico con las variables presión, volumen y temperatura, configurando el ciclo de Carnot que se configura como el ciclo en el que existe mayor aprovechamiento del calor para producir trabajo mecánico.

En el proceso isotérmico en el ciclo de Carnot, el gas se encuentra cambiando la presión y volumen al mismo tiempo que su temperatura permanece constante, según Carnot, es debido al flujo calórico de la caldera al gas que es producida en la combustión. En relación con el proceso isotérmico, algunos libros de textos académicos hacen la siguiente referencia:

- Tipler & Mosca (2005, pág. 580): ... una expansión isoterma es un proceso a temperatura constante. Mantener constante la temperatura durante la compresión exige que se extraiga calor del gas a lo largo de este proceso.
- Fishbane, Gasiorowicz & Thornton (1993, págs. 520 - 522): ... en una transformación isotérmica, la temperatura permanece fija mientras que tanto la presión y el volumen

² Carnot expresa la potencia motriz como el efecto útil que es capaz de producir un motor y su medición se realiza con el efecto de elevar un peso a una determinada altura (Carnot, 1987, pág. 38), por este motivo en este trabajo se ha utilizado la palabra trabajo mecánico.

³ Sadi Carnot hablaba del calor como una sustancia llamada calórico; se profundizará en el desarrollo de esta teoría en el marco teórico.

cambian ... La energía interna de un gas ideal no cambia en una transformación isotérmica. Así, según la primera ley de la termodinámica ... expresa el flujo de calor hacia el gas durante una transformación isotérmica.

- Resnick, Halliday, Krane (1998, pág. 620): En un proceso isotérmico, la temperatura permanece constante. Si el sistema es un gas ideal, entonces la energía debe, por lo tanto, permanecer constante ..., donde la primera ley resulta $0 = Q + W$

Se hace relevante en este tipo de libros una descripción del comportamiento del gas por medio de las variables presión, volumen y temperatura. Sin embargo, al involucrar el cálculo del trabajo mecánico efectuado por medio de la primera ley, se comunica que existe un flujo o transferencia de calor como causa de los cambios, por lo que se deja abierta la idea de sustancialismo en el calor. Por último, tampoco se muestran las condiciones en las que el calor realiza los cambios en las variables térmicas de un gas sin cambiar de temperatura, lo cual iría en contra de la experiencia como se mostrará a continuación.

Si contrastamos lo que se dice en el proceso isotérmico con la experiencia común, cuando tenemos dos o más cuerpos a la misma temperatura y se encuentran en contacto, estos no cambian, habrá que colocarlos en interacción con cuerpos a distintas temperaturas para que exista una transformación; dichos cambios cesarán cuando los cuerpos igualen sus temperaturas (equilibrio en las temperaturas), por tal razón es importante preguntarse ¿Por qué en el proceso isotérmico se manifiestan transformaciones sobre el gas, si éste y la caldera se encuentran a la misma temperatura? Una respuesta rápida podría basarse en los libros de textos (anteriormente nombrados), porque absorbe calor, entonces ¿Cómo es posible que una sustancia pueda absorber calor en un estado de equilibrio de temperaturas?

Por otra parte, en el proceso adiabático, el gas se encuentra cambiando su presión, volumen y temperatura, aun cuando no se establezca algún flujo calórico. En los libros de textos se hace referencia a este proceso como:

- Tipler & Mosca (2005, pág. 539): Todo proceso en el que no existe flujo de calor ni entrante ni saliente del sistema se denomina proceso adiabático.
- Fishbane, Gasiorowicz & Thornton (1993, pág. 547)... hay una curva particular que seguirá el gas, si efectúa trabajo mecánico mientras esté térmicamente aislado de su ambiente ...

Las transformaciones reversibles de un sistema térmico en donde no hay flujo de calor hacia el sistema se llaman adiabáticas.

- Resnick (1998, pág. 619): En un proceso adiabático, el sistema está bien aislado de modo que no entra ni sale ningún calor ... La primera ley resulta $\Delta U + W = 0 \dots$

Podemos sintetizar estos procesos según los libros, como aquel en el que no se transfiere energía por calor entre el sistema y su entorno, para ello se realiza de forma que el gas se encuentre aislado o que el proceso se realice rápidamente, por lo que no habría tiempo para la interacción con el ambiente; aun así, existen cambios en la presión, volumen y temperatura. Se utiliza la energía interna de la primera ley de la termodinámica para establecer la causa de los cambios en las variables de estado, recurriendo a la energía como un solucionador a las causas.

Sin embargo, la experiencia común nos dice que si, por ejemplo, un cuerpo se encuentra aislado térmicamente del medio éste no varía su estado, de modo que para que existan transformaciones o cambios térmicos en las sustancias debe haber una fuente de calor. No obstante, en el proceso adiabático del ciclo de Carnot, el gas se encuentra cambiando su presión, volumen y temperatura, aun cuando no se establezca algún contacto con un cuerpo a distinta temperatura o sin que haya flujo de calor. Por el contrario, los libros de textos no responden a la pregunta ¿Cómo es posible que en una situación de aislamiento en el proceso adiabático un cuerpo cambie sus variables de estado térmico?

Todo este análisis tiene la intención de evidenciar que los dos procesos que se desarrollan en el ciclo de Carnot no son familiares a nuestras experiencias comunes: en equilibrio de temperaturas se producen cambios de presión y volumen en el gas y en ausencia de una fuente de calor se producen cambios de presión, volumen y temperatura.

3.3. Preguntas que orientan la investigación

En síntesis, se ha mostrado que los procesos isotérmicos y adiabáticos tienen dificultades al contrastarse con la experiencia en el comportamiento de los cambios de temperatura, presión y el volumen, que son variables fundamentales en la descripción del comportamiento de los gases. En la descripción de las causas de los cambios de dichas variables, aparecen el calor y la energía como solucionador a todas las problemáticas estudiadas, lo que reduce el campo explicativo de los estudiantes y propicia que se utilicen palabras que posiblemente no sean comprensibles para ellos.

Esto conlleva a que se coloquen en juego nuevamente las explicaciones que se tienen alrededor del calor y los procesos térmicos, para ello es importante tener como referente el estudio realizado por Carnot sobre las máquinas térmicas en su obra “*Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*” donde se da a conocer el ciclo teórico más eficiente de una máquina térmica, vinculando los procesos isotérmico y adiabático por medio de la idea del restablecimiento del equilibrio del calórico. En este trabajo se enfatizará la importancia en el desarrollo conceptual alrededor de los dos procesos térmicos y que pretende ampliar las relaciones con las variables que describen el comportamiento de un gas.

Este trabajo se propone estudiar con más detalle la obra de Carnot, ya que el análisis puede ser un aporte para superar las dificultades anteriormente mencionadas, y que permitan construir criterios para el diseño de actividades enfocadas a la enseñanza de los fenómenos térmicos. El propósito de estas actividades es que los estudiantes construyan explicaciones generales mediante particularidades que nacen desde las prácticas experimentales por medio de las ideas de equilibrio - desequilibrio.

De esta manera la pregunta de investigación es

¿QUÉ CRITERIOS DISCIPLINARES, PEDAGÓGICOS Y EPISTEMOLÓGICOS SE PUEDEN TENER EN CUENTA PARA DISEÑAR UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA DE LOS PROCESOS TÉRMICOS A PARTIR DEL ANÁLISIS DEL EQUILIBRIO - DESEQUILIBRIO DEL CALÓRICO EN LA OBRA DE CARNOT?

Proponemos las siguientes preguntas que ayudarán al desarrollo del trabajo:

¿Cuál es la propuesta de Carnot en relación con el equilibrio - desequilibrio del calórico con las cuales describe la máquina térmica?

¿Cuáles son las organizaciones conceptuales que establecen los estudiantes cuando realizan análisis de situaciones térmicas desde la idea de equilibrio – desequilibrio?

3.4. Objetivos

Para dar respuesta a las problemáticas planteadas, los objetivos de este trabajo de grado son:

Objetivo general

- Establecer criterios pedagógicos, disciplinares y epistémicos a través del diseño y la sistematización de una propuesta de enseñanza basada en la idea de equilibrio y desequilibrio térmico en la obra de Sadi Carnot.

Objetivos específicos

- Interpretar la idea de equilibrio-desequilibrio del calórico y su influencia en los procesos térmicos dentro de la obra de Carnot.
- Diseñar actividades y experimentos para la enseñanza de los procesos térmicos desde la idea de equilibrio – desequilibrio.
- Sistematizar las organizaciones conceptuales que establecen los estudiantes cuando realizan análisis de situaciones térmicas desde la idea de equilibrio – desequilibrio, haciendo énfasis en la relación entre variables.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

Con el fin de establecer la ruta de trabajo para abordar las problemáticas planteadas se establecieron seis momentos.

En un primer momento, se realiza una documentación general del comportamiento de los gases y de las obras más importantes en la teoría del calórico, con el objetivo de crear un panorama general de las ideas con las que Carnot construyó sus argumentaciones. Esta documentación consolida una estructura disciplinar que se organiza desde la interpretación del equilibrio –desequilibrio del Calórico. Para profundizar en esta idea se realiza un estudio de las características más importantes del equilibrio en la organización de los fenómenos físicos, donde Paolo Guidonni se constituye en el referente central. Con estos elementos, se plantea una organización de los fenómenos térmicos, que nos permita comprender el proceso isotérmico y el proceso adiabático, sin ir en contra de la experiencia común.

En un segundo momento, de la consolidación y construcción del marco teórico se producen criterios para la enseñanza de los fenómenos térmicos de contacto a distinta temperatura que orientan el actuar en el aula.

En un tercer momento se configura una propuesta de enseñanza dirigida a estudiantes de educación media para propiciar organizaciones conceptuales que les permita realizar la descripción del mundo físico. Para ello, se parte de los criterios definidos en el anterior momento y se articulan al diseño de actividades experimentales para el aula.

Para el cuarto momento se lleva al escenario de aula las actividades diseñadas, es necesario analizar las respuestas que cada uno de los estudiantes proporciona y en qué medida los criterios fueron relevantes para que ellos estructuraran un discurso coherente alrededor de los fenómenos planteados; además, que papel juego la experiencia y que tipo de organizaciones se logran establecer, siendo este el quinto momento del trabajo.

El último momento, se realiza unas reflexiones finales que reúnen los aportes del trabajo de investigación y el aporte que brindo a nuestra labor docente.

5. MARCO TEÓRICO

En la construcción entre la experiencia común y los procesos isotérmicos, es necesario partir de los elementos principales que conforman las organizaciones de los fenómenos térmicos que fueron importantes para Carnot para dar cuenta del equilibrio y desequilibrio del calórico. El marco teórico inicia con la descripción de cómo era entendido el calórico y cuáles eran los efectos que se le otorgan al calor. Para realizar el análisis de las características del equilibrio o desequilibrio del calor de la obra de Carnot, es necesario estudiar la balanza mecánica como un caso más familiar al estudio del equilibrio. Todo esto permite la organización de los fenómenos térmicos.

5.1. Contexto sobre las ideas del calor como fluido y sus efectos

Para comprender el equilibrio – desequilibrio del calórico al que Carnot hace referencia, es importante reconocer las características que se le otorgaban a los gases y cómo se encontraba en vínculo con la teoría del calórico.

5.2. Comportamiento de los gases

Los autores que se destacan en el estudio de los gases son: Boyle, Mariotte, Gay Lussac y Dalton; que determinaron las relaciones entre la presión, el volumen y la temperatura o grado de calor. A continuación, se exponen las leyes que son la síntesis de resultados experimentales que dan cuenta del comportamiento de los gases.

El trabajo de Boyle (1682)⁴ independiente al trabajo de Edme Mariotte (1676)⁵ determinaron que las presiones y las expansiones del aire están en proporción recíproca, además que, para esa época ya era conocido que el aire se dilata muy fácil por el calor y se comprime por el frío (Magie, 1969, pág. 88).

El propósito de Gay Lussac (1802) era examinar la expansión de los gases para un aumento fijo de la temperatura, a partir de datos experimentales deduce que todos los gases en general se expanden igualmente para la misma temperatura⁶, siempre que estén bajo las mismas condiciones, por lo que no depende de la naturaleza particular de cada uno de ellos (Magie, 1969, pág. 165).

⁴ A Defense of the Doctrine Touching the Spring and Weight of the Air

⁵ Nature of Air

⁶ En la memoria de Gay Lussac expresa que es para los mismos grados de calor estas eran las palabras utilizadas para referirse a la temperatura.

5.2.1. Relación del calor y sus efectos

Del estudio del calor y sus efectos, dos de los mayores exponentes son Joseph Black y Antoine Lavoisier. Black expone que los cuerpos disponen de distintas capacidades para almacenar el calor según su naturaleza y, que en los cambios de fase existe un calor que no es perceptible para el termómetro definiendo este concepto como calor latente. En concordancia, los aportes de Antoine Lavoisier se basan en explicar la combustión por medio de la teoría del calórico. Como se verá a continuación, ambos autores no se encontraban totalmente convencidos de la naturaleza sustancialista del calor, aun así, utilizan esta teoría para crear una serie de argumentos coherentes entre el calor y sus efectos, organizando los fenómenos térmicos. No obstante, lo más relevante de estos autores, era partir de los hechos para construir un marco teórico, reduciendo al mínimo las problemáticas que conllevaba utilizar el calor como una sustancia.

5.2.2. Joseph Black

En el trabajo de Black sobre el calor (1766 – 1797), se muestra que la opinión en general para su época era tratar el calor de dos formas distintas; la primera, como una materia sutil y activa introducida entre los poros de los cuerpos, y la segunda, tratar al calor como vibraciones entre las partículas (2014, pág. 126).

El trabajo del Dr. Clerghorn, expresa que el calor depende de una materia sutil, fluida y elástica, además que las partículas de la materia tienden a ser atraídas entre sí, mientras que la propiedad del fluido del calor es repelerlas para que no se unieran. (2014, págs. 129-130)

Esta idea le resultaba a Black la más admisible, a pesar de ello, expresa que es necesario tener en cuenta los efectos del calor los que resumen en: **la expansión de los cuerpos, la fluidez de los cuerpos líquidos y gaseosos, la ignición o incandescencia e inflamación o combustión** (2014, págs. 129-130).

A continuación, se mostrará aquellos efectos que Black estudia en las lecturas de los elementos de química publicados en 1803 después de su muerte.

La capacidad del calor en los cuerpos

En el trabajo de Joseph Black se hace referencia a la distribución del calor en los cuerpos, donde el calor viaja de los cuerpos más caliente a los más fríos y se distribuye hasta el punto en el que no

existe más flujo de calor entre ellos, es decir, se interrumpe el flujo de calor cuando ninguno de los cuerpos tiene una mayor o menor demanda del calor, llevando así a un estado de equilibrio. Esta “acción mutua” se registra en que los termómetros que están en contacto con los cuerpos tienen el mismo grado de expansión. Teniendo esto en cuenta, Black establece la siguiente ley “...todos los cuerpos que se comunican libremente entre sí, y que no están expuestos a ninguna desigualdad de acción externa, adquieren la misma temperatura, indicada por un termómetro”. (Magie, 1969, pág. 134)

Black señala que las cantidades de calor que deben recibir los diferentes cuerpos no están en proporción con su masa (y volumen), por ejemplo, el Mercurio, aunque tiene 13 veces la densidad del agua, produce menos efecto sobre el agua de calentamiento o enfriamiento que el que hubiera producido una misma cantidad de agua, es decir, el mercurio no produce el mismo efecto de calentamiento o enfriamiento que una medida igual de agua, son necesarias tres cantidades de mercurio por dos de agua para producir los mismos efectos.

La misma cantidad de materia de calor tiene más efecto en calentar el mercurio que en calentar una medida igual de agua, y, por lo tanto, una cantidad menor es suficiente para aumentar el calor sensible del mercurio en el mismo número de grados ... el mercurio, por lo tanto, tiene menos capacidad para el calor que el agua (si se me permite usar esta expresión); requiere una cantidad menor para elevar su temperatura en el mismo número de grados.(Magie, 1969, pág. 136)

Esto le permitía explicar por qué el mercurio se calentaba más fácil que el agua cuando se encontraba cerca al fuego, debido a que necesita menos cantidad de materia del calor para calentarse en comparación con el agua y así su rapidez de calentamiento será mayor, lo mismo ocurre en la rapidez con la que enfría el mercurio.

La distribución de materia del calor no estaría igualmente dividida para los cuerpos, aun cuando el termómetro marque la misma temperatura, algunos necesitarán mayor cantidad de calor que otros, esto dependerá del tipo de material.

Black concluye que diferentes cuerpos, aunque sean del mismo tamaño, o incluso del mismo peso, cuando se reducen a la misma temperatura, pueden contener cantidades diferentes de la materia. del calor. (Magie, 1969, págs. 138-139)

Calor Latente

Black ha planteado que para que se den los cambios de fase, de sólido a líquido, se necesita que ingresen grandes cantidades de calor en el cuerpo (que el termómetro no registra) en comparación con los cambios de temperatura de la misma sustancia en su fase líquida. De igual forma, para que el cuerpo pase de líquido a sólido, es necesario despojarlo de una gran cantidad de calor para que pierda su fluidez, y cuya pérdida no es registrada por el termómetro. Siendo así la cantidad de calor absorbida o despojada en los cuerpos la que permite que éstos tengan mayor o menor fluides.

Las experiencias que para Black son relevantes y le llevan a realizar la anterior afirmación, resulta de su observación del lento derretimiento de la nieve cuando existen cambios de estación, de no ser así esto conllevaría a grandes inundaciones y fuertes vientos en países fríos, lo que no ocurre repentinamente. También nace de la experiencia al tocar cuerpos congelados y sentir como se “extrae” calor de la calidez en las manos.

... por tanto, una gran cantidad de calor, o de materia de calor, que entra en el hielo que se derrite, no produce otro efecto que darle fluidez, sin aumentar su calor sensible; parece que se absorbe y se oculta dentro del agua, de modo que no se puede descubrir mediante el uso de un termómetro. (Magie, 1969, pág. 142)

Para reconocer la cantidad de calor en el descongelamiento del hielo, Black expone masas iguales de agua y hielo frente a fuentes de calor similares, por lo que descubre que el agua aumentaba su temperatura mientras que el agua de derretimiento del hielo y el hielo no aumentaba. A su vez, también expresa que, al mezclar las mismas cantidades de hielo con agua a temperatura ambiente, el agua disminuye su temperatura hasta alcanzar la del hielo

En conclusión, en el cambio de la fase de líquido a gaseoso se necesita una gran cantidad de calor que se adiciona lentamente para proporcionarle la fluidez al agua, de no ser así, la cantidad de calor que ingresa a un cuerpo líquido conllevaría a que cambiara rápidamente a fase gaseosa lo que se manifestaría en una gran explosión.

... puedo mostrar (dice Black) que esta gran cantidad de calor entra en el vapor gradualmente, mientras se forma, sin que sea perceptiblemente más caliente para el termómetro. El vapor, si se examina con un termómetro, se encuentra exactamente a la misma temperatura que el agua hirviendo de la que surgió. El agua debe elevarse a una

cierta temperatura, porque, sólo a esa temperatura, está dispuesta a absorber calor; y no explota instantáneamente” (Magie, 1969, págs. 144-145)

En estos dos casos, los cambios de fase de sólido – líquido y de líquido – gaseoso, son debidos al calor que proporciona esa fluidez, esta cantidad de calor no se percibe en la dilatación del termómetro, por eso se dice que está oculto o latente, Black le da entonces el nombre de calor latente.

5.2.3. Antoine Lavoisier

En la memoria sobre el calor de Lavoisier y Laplace (1780), expresan que los físicos de la época están divididos sobre la naturaleza del calor, por un lado, algunos ven el calor como un fluido, mientras que otros piensan que el calor es el resultado sensible de las moléculas que componen su materia (Lavoisier & Laplace, 2015, pág. 135). En la publicación de Laplace y Lavoisier no se toma una postura concreta en relación con las dos teorías del calor inicialmente dichas, prefieren los efectos del calor por encima de su naturaleza o los efectos que son comunes para ambas teorías.

Años después de la memoria de la académica de 1777 Lavoisier trata con el nombre de fluido ígneo y de materia del calor y, posteriormente en el tratado de química de 1798 le da un nombre más simple y conciso lo llama calórico, sin embargo, Lavoisier expresa que:

En rigor no es forzoso suponer que el calórico sea una materia real, pues como se verá por la lectura de lo que vamos a exponer, basta que sea una causa repulsiva cualquiera que desvíe las moléculas de la materia y así se pueden examinar sus efectos abstracta y matemáticamente”: (Lavoisier, 1798, pág. 4)

Anteriormente, Black había denominado cuáles eran los efectos del calor que había que estudiar, donde estudió la fluidez, el vapor y su expansión; mientras tanto Lavoisier trata la ignición, inflamación o combustión.

Debido a que el interés de esta sección es contextualizar las ideas del calórico, se mostrará lo más relevante de esta teoría para Lavoisier.

En la época de Lavoisier, existía una teoría dominante en los químicos que vinculaban un fluido llamado flogisto para explicar la acción del fuego, este fluido se utilizaba para dar explicaciones a la calcinación y a la combustión. En la medida que se utilizaba esta sustancia en las explicaciones,

se le otorgaba nuevas características al flogisto según la conveniencia. Esto llevó a Lavoisier a determinarlo como un concepto vago e indefinido. Por ejemplo, en algunas ocasiones el flogisto era capaz de atravesar elementos transparentes o translucidos y en otras no; podía a su vez explicar la causticidad y la no causticidad.

Lavoisier llama la atención a que se parta sobre los hechos y se deje de lado los razonamientos hipotéticos que se tengan. Entre los que se destacan:

“... todos los cuerpos combustibles aumentan de peso cuando se queman y calcinan; esto se observa de un modo sorprendente en los metales, en el azufre, el fósforo, etc. (verificado por Boyle)” (Lavoisier, 2021, pág. 50)

“... cuando se calcinan metales en vasos de vidrio cerrados herméticamente, debiera haber aumento de peso; mientras que el hecho es que, si se pesa el vaso antes y después de la calcinación, sin abrirlo, no se encuentra ninguna diferencia de peso, aún con las balanzas más sensibles.” (Lavoisier, 2021, págs. 51-52)

Lavoisier interesado en explicar estos hechos ve necesario establecer nuevas consideraciones acerca de la naturaleza del calor y los efectos que generalmente produce.

Cuando se calienta un cuerpo éste aumenta su dimensión ocupando un mayor volumen, caso contrario ocurre en su enfriamiento, así, un cuerpo toma la misma dimensión cuando después de calentarse se vuelve a enfriar hasta la misma temperatura. Aquí, Lavoisier deduce que las moléculas no se encuentran en contacto y que existe un fluido hipotético que las separa, donde su acumulación es la causa del calor y su ausencia la de frío. A este fluido lo denomina fluido ígneo, materia de fuego o calórico.

Este fluido también le permite explicar las distintas fases de los cuerpos. Cuando se tiene una menor cantidad de ese fluido la fuerza de atracción entre moléculas es tal que el cuerpo es sólido. Cuando el cuerpo tiene un equilibrio entre las fuerzas de atracción de las moléculas y la expansiva del fluido del calor, el cuerpo es líquido. Por último, el cuerpo será gaseoso cuando la fuerza expansiva del calor sea mucho mayor que la de atracción, este último cambio de fase sería de forma explosiva si no fuera por la fuerza que ejerce la atmósfera sobre el cuerpo.

Al igual que Black, Lavoisier sugiere que la materia del calor no se reparte igualmente en los cuerpos, ni en proporción a sus pesos y volúmenes, para Lavoisier esto depende del tamaño de los

poros que dejan las moléculas en los cuerpos para admitir el fluido del calor, así será propio de la naturaleza de cada material.

Para Lavoisier la diferencia entre calórico y agua es: la gran elasticidad; que el calórico puede combinarse con el cuerpo donde se encuentra, de tal forma que solo es posible liberarlo afectando el cuerpo; otra característica es que el calor libre es aquel donde el fluido no se encuentra combinado con el objeto, pero, si en medio de los poros, esto debido a que el calor no puede encontrarse en estado de libertad. “Según esta definición el calor que desaparece en el momento en que el hielo se convierte en agua, es calor que pasa del estado libre al estado combinado; esta cantidad de calor es constante y determinada” (Lavoisier, 2021, pág. 60)

Explicación similar a las que expone Black, sin embargo, en vez de llamar ese calor latente, lo denomina calor combinado. De forma similar ocurre con el calor sensible de Black, Lavoisier y Crawford lo llamaron calor específico

La cantidad de calor libre necesaria para elevar la temperatura de un cuerpo cualquiera un cierto número de grados: esta cantidad es variable en todos los cuerpos, pero es constante para cada uno de ellos, al menos en el intervalo de un pequeño número de grados, por ejemplo, desde la congelación al agua hirviente.” (Lavoisier, 2021, pág. 61)

Por último, se quiere revisar las consecuencias que tiene este fluido hipotético de Lavoisier respecto al cuerpo en el que se encuentra, debido a que un cuerpo de mayor volumen puede albergar una mayor cantidad de calor, será posible entonces, cambiar el calor específico de los cuerpos, cuando se obliga a que éste ocupe un mayor tamaño.

Las variaciones que experimentan los cuerpos por efecto del calor y del frío son una consecuencia de este fenómeno; no es posible calentarnos, es decir, introducir en ellos una cantidad mayor de materia del calor, sin separar sus partes, para dejar sitio a la materia del calor; recíprocamente, cada vez que se los amplifica, aumentando su volumen de una manera cualquiera los cuerpos adquieren al mismo tiempo mayor capacidad para contener la materia del calor y están dispuestos entonces a recibirla de los cuerpos vecinos. (Lavoisier, 2021, pág. 66)

Con el fin de mostrar el contexto de la teoría del calórico, se ha expuesto el análisis de los efectos del calor realizados por Joseph Black y Antoine Lavoisier, llevando a conclusiones muy similares

cuando de la conceptualización del calor se trata, donde Lavoisier expuso una mayor profundidad sobre cómo se entiende ese fluido hipotético, mientras que Black ha tomado al calor como sustancia y sólo se lee entre líneas el uso de su forma sustancialista.

Teniendo un panorama general alrededor del comportamiento de los gases, los efectos del calor y la teoría del calórico; es necesario exponer algunas características del equilibrio en general, esto con el fin de poder comprender cómo Carnot interpretaba el equilibrio –desequilibrio del calórico.

5.3. Consideraciones del equilibrio mecánico

El caso más familiar a nuestra experiencia común es el equilibrio de una balanza tradicional. Esta consta generalmente de una barra de distribución de masa uniforme que se ubica sobre un apoyo (pivote⁷) que divide a la barra a la mitad en dos brazos; en cada extremo se sujeta un cuerpo como mínimo con el fin de comparar sus masas debido a los efectos que éstas producen en la barra. Cuando los brazos no se mantienen horizontal o se encuentran en movimiento, se dice que las masas son diferentes, lo que se denomina desequilibrio en la balanza. Caso contrario ocurre cuando la barra se mantiene horizontal formando un eje de 90° con el pivote, entonces se afirma que sus masas son iguales, a esto se le conoce como equilibrio mecánico en la balanza. La permanencia en el tiempo es lo primero a lo que se le quiere llamar la atención, debido a que la horizontalidad de la barra permanece sin importar cuánto tiempo pase, es decir, el equilibrio es independiente del tiempo.

La interacción de los dos cuerpos en el equilibrio se mantiene aun cuando no se perciba movimiento en los brazos, debido a que el movimiento es causado por el cuerpo que se apoya y se ve compensado por el efecto del segundo cuerpo que se encuentra en el otro brazo; esto lo sabemos, porque si separamos uno de los cuerpos los brazos comenzarán a moverse. La interacción puede mantenerse si sustituimos la barra por una cuerda, como ocurre en la máquina de Atwood, o si la mitad de la barra hace parte de los cuerpos. La segunda característica es que en el equilibrio existe la interacción de dos o más cuerpos, donde los efectos se encuentran compensados entre sí.

La tercera característica que permite el equilibrio es la ubicación de estos cuerpos en los brazos, sabemos por la experiencia que si se ubican dos cuerpos similares equidistantes al eje de apoyo

⁷ Extremo cilíndrico o puntiagudo de una pieza, donde se apoya o inserta otra, bien con carácter fijo o bien de manera que una de ellas pueda girar u oscilar con facilidad respecto de la otra. Tomado de <https://dle.rae.es/pivote>

estos no se moverán, por el contrario, si se ubican a distancias distintas, la barra comenzará a moverse. Esto lo llamaremos configuración, debido a que la ubicación de uno de los cuerpos determina el efecto sobre el otro cuerpo y viceversa, por lo tanto, la permanencia de la horizontalidad del brazo de la balanza está determinada por la configuración de los cuerpos.

Debido a las múltiples configuraciones que se pueden realizar, no basta con determinar la igualdad entre las masas ($m_1 = m_2$) o entre sus distancias ($r_1 = r_2$). Para el caso en el que se ubica un mayor número de cuerpos en el primer brazo o al cambiar las distancias entre las masas respecto al pivote, la horizontalidad del eje de la balanza no permanece, esto conlleva a que las igualdades anteriormente nombradas no se cumplan. Será necesario determinar las condiciones y por lo tanto las relaciones entre las variables que permita el equilibrio.

Si se llegase a adicionar una masa al primer brazo que tenga el mismo efecto que la masa uno, rompería el equilibrio en la balanza; en la búsqueda de retornar el equilibrio, es suficiente ubicar la masa del otro brazo al doble de la distancia. En otros casos similares se pueden establecer variando la posición de las masas y la cantidad de elementos en los brazos, llevando así a distintas configuraciones en las que el equilibrio es posible. Si sabemos que, al duplicar la masa en uno de los brazos es necesario duplicar la distancia respecto al pivote de la segunda masa, esto conlleva a establecer una proporción e inversas entre masas y distancias (Arcá & Guidoni, 1987, pág. 78) ,

$$\frac{2 \cdot m_1}{m_2} = \frac{2 \cdot r_2}{r_1} \quad \text{o} \quad m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2 \quad (1)$$

Entonces cuando se aumenta la masa o se aumenta la distancia, se multiplica el efecto en el otro a la misma proporción y viceversa, por consiguiente, se comienza a relacionar las variables distancia y masa, estableciendo una igualdad entre los efectos. Lo que permite el equilibrio por medio de la relación entre las variables indicadas (Arcá & Guidoni, 1987, pág. 95).

Por otra parte, si se tiene en cuenta que las masas se encuentran en un campo gravitatorio, se estaría vinculando las relaciones entre fuerzas y distancias. Determinando que existen distintas variables que permiten establecer el equilibrio en la balanza. De este modo a medida que se avanza conceptualmente en términos como la masa, peso, fuerza, las relaciones pueden escribirse de distinta forma, por ejemplo:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2 \quad (2)$$

Si, en la relación anterior se tiene en cuenta la dirección en la que se aplica cada una de las fuerzas la variable a vincular es el torque.

$$\tau_1 = \tau_2 \quad (3)$$

Es importante señalar que se pasa de una igualdad entre el producto de la fuerza y la distancia, a simplificarse como una única variable como el torque. De esta manera, en la búsqueda de determinar el equilibrio se parte de la relación entre variables para el análisis de los fenómenos y se sintetiza en una sola variable para todos los casos posibles.

En lugar de establecer una mirada en la horizontalidad de la barra, ahora se enfoca en precisar las variables y sus relaciones que resultan ser independientes del tiempo.

Por último, cuando se determina la relación

$$F_1 * r_1 = F_2 * r_2 \quad (4)$$

para que exista en la balanza un equilibrio, se descarta a su vez todo el conjunto que no determina el equilibrio, así, todas las configuraciones posibles para el desequilibrio cumplen con

$$F_1 * r_1 \neq F_2 * r_2 \quad (5)$$

En síntesis, durante el análisis de la balanza mecánica se han caracterizado elementos de gran relevancia, como:

- La relación entre las variables determina el equilibrio y es posible realiza su síntesis en una única variable.
- Se habla del equilibrio en la interacción compensada entre dos cuerpos.
- Las variables que determina el equilibrio son independientes del tiempo.

Estas son características que se buscan en el estudio de la obra de Carnot y que serán relevantes en la organización de los fenómenos térmicos como se mostrará a continuación.

5.4. Análisis del equilibrio – desequilibrio del calor de Carnot

Recordando, para la época de Carnot se había establecido el calórico como un fluido invisible e imponderable, que no se podía crear ni destruir y que ingresaba a los cuerpos conllevando un aumento en la temperatura y volumen, por el contrario, si el fluido salía disminuiría estas dos

variables. Dicha hipótesis permitió describir los cambios de temperatura en los cuerpos, la dilatación térmica, la sensación de calidez de un cuerpo a gran distancia como el sol, la combustión y la fluidez.

Dentro de la obra de Carnot se reconoce los efectos que el calor tiene sobre las sustancias, mismas consideraciones que Black y Lavoisier han estudiado con el fin de partir de los hechos para iniciar sus teorías. Los efectos más relevantes para Carnot son:

- La interacción entre dos cuerpos a diferentes temperaturas
“para calentar cualquier sustancia es necesario un cuerpo más caliente que ella; para enfriarla, un cuerpo más frío.” (Carnot, 1987, pág. 42)
- Los cuerpos pueden cambiar su volumen por cambios en la temperatura
“El vapor de agua es un medio para realizar [...] potencia, aunque no es el único: todos los cuerpos de la naturaleza pueden utilizarse para esa función; **todos son susceptibles de cambiar su volumen, de realizar contracciones y dilataciones sucesivas por situaciones alternativas de calor y frío**; todos son capaces de vencer en sus cambios de volumen.” (Carnot, 1987, págs. 41 - 42)
- Es posible cambiar la temperatura de una sustancia gaseosa cuando se comprima o se dilata.
“Es un hecho experimental que la temperatura de los fluidos gaseosos se eleva por compresión y desciende por rarefacción.” (Carnot, 1987, pág. 43)
- Los cambios de fase de la sustancia son debidos al calor
“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” (Carnot, 1987, pág. 43)

El modo de actuar de estos autores coloca en evidencia, que la organización de los fenómenos térmicos parte de los efectos y que de su análisis se construyen las teorías físicas.

Antes de las descripciones de Carnot, es posible evidenciar que otros autores identifican un equilibrio entre el calórico y el cuerpo que lo posee, ya desde nuestro análisis Lavoisier hacía referencia a que el volumen de un cuerpo se daba por el equilibrio entre las fuerzas de atracción debida a las moléculas y la de repulsión por el calórico. En caso de expandir un cuerpo gaseoso admitiría una mayor cantidad de calórico, debido a que aumenta la distancia de las moléculas y existiría mayor espacio en el que se pueda encontrar este fluido, creando un desequilibrio de fuerzas.

Por otra parte, Carnot expresa la ruptura del equilibrio en el calórico:

Es un hecho experimental que la temperatura de los fluidos gaseosos se eleva por compresión y desciende por rarefacción. Aquí tenemos un medio seguro para cambiar la temperatura de los cuerpos y romper el equilibrio del calórico tantas veces como se quiera con la misma sustancia. (Carnot, 1987, pág. 43)

A su vez, existen otras formas de romper el equilibrio del calórico ya sea por acciones mecánicas o químicas, por ejemplo:

Así pues, la producción de la potencia motriz en la máquina de vapor se debe no a un consumo real del calórico, sino a su transporte de un cuerpo caliente a un cuerpo frío, es decir **al restablecimiento de su equilibrio, que supuestamente se había roto por algún medio**, es decir por una acción química, como es el caso de la combustión, o por cualquier otra causa. Pronto veremos que este principio es aplicable a cualquier máquina que sea puesta en movimiento por medio del calor (Carnot, 1987, pág. 41).

Con el fin aclarar estas ideas, se propone usar un esquema que permita identificar entre qué o quiénes se está realizando el equilibrio y cuál es el cuerpo que se ve afectado. En el esquema se ubican en cada extremo los cuerpos en equilibrio, y luego se señala cual cuerpo se ve afectado por las acciones que conllevan al desequilibrio. La primera relación para estudiar es el equilibrio entre el cuerpo y el calórico:

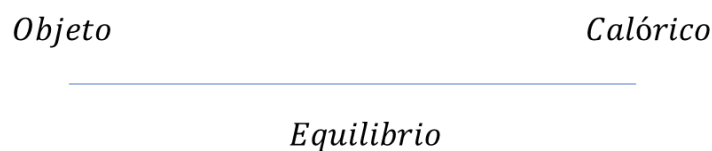


Ilustración 4 (Elaboración propia)

El desequilibrio para este caso está dado por una acción química sobre el cuerpo.

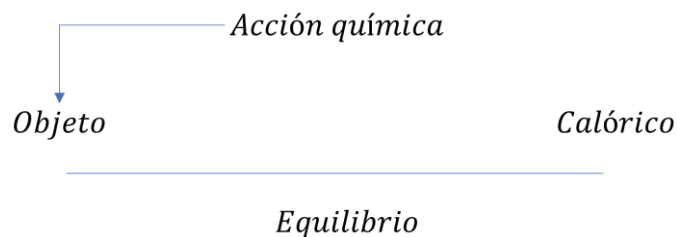


Ilustración 5 (Elaboración propia)

Debido a que los cambios ocurren en el objeto y ningún autor ha considerado cambios en el calórico, entonces, sería suficiente realizar el equilibrio entre el estado del cuerpo y la acción química sin la necesidad del calórico

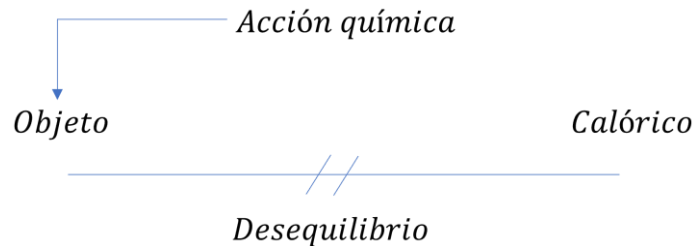


Ilustración 6 (Elaboración propia)

Si en cambio se realiza una acción mecánica sobre el cuerpo para que cambie su volumen, Lavoisier concluía que el cuerpo podía admitir más calórico, debido a que rompe el equilibrio entre las fuerzas de atracción de las moléculas y la fuerza del calórico, creando así un estado de desequilibrio. Sin embargo, nuevamente se está actuando sobre el cuerpo y no sobre el calórico, por lo que sería innecesario su uso en la condición de equilibrio.

Existe otro tipo de equilibrio del que Carnot hace referencia, en su obra el equilibrio – desequilibrio del calórico entre dos cuerpos a distinta temperatura:

La producción de movimiento en las máquinas de vapor siempre se acompaña de una circunstancia en la que debemos fijar nuestra atención. Esta circunstancia 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 (Carnot, 1987, pág. 40)

En concordancia con la idea del calórico de Black y Lavoisier, ambos cuerpos de los que habla Carnot podrían tener distintas cantidades de calor, por ejemplo, el cuerpo caliente podría ser el acero y el cuerpo frío agua, si se tuviera grandes cantidades de agua en comparación con el acero, ésta poseería grandes cantidades de calórico, aun cuando su temperatura sea menor. El desequilibrio entonces no se da entre cuerpos con diferencia de calórico, y tampoco el equilibrio de temperatura depende de una igualdad entre las cantidades de calor.

Determinar el flujo calórico siempre se ha debido, a una relación entre la capacidad que tiene uno de los cuerpos (cuerpo A) de ceder el calórico y la capacidad del segundo cuerpo (B) para

incorporarlo, esta condición se da gracias a que se encuentra a una temperatura distinta, en palabras de Lavoisier diríamos que la fuerza de atracción entre las moléculas de la sustancia tiene menor intensidad en el cuerpo B y, por lo tanto, admite más cantidad de calórico que el cuerpo A.

Si realizamos un esquema como el anterior, en el que se represente los equilibrios entre los cuerpos (A, B) y sus calóricos respectivos, podemos considerar los casos en el que existen cambios y en el que no. Por un lado, se encuentran igualadas las temperaturas de los cuerpos (Caso1) donde pueden existir distintas cantidades de calórico. Para el caso 2, en el que exista una diferencia de temperatura, esto sería lo único que cambiaría.

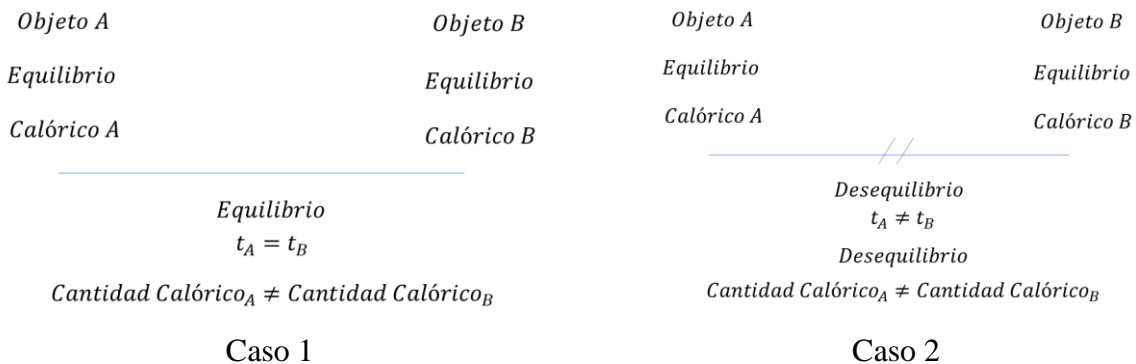


Ilustración 7(Elaboración propia)

Aquí el desequilibrio para Carnot se da por la diferencia de temperatura entre los cuerpos, así analizamos que el calórico sería innecesario, debido a que no aportaría nada, por lo tanto, el estado de los cuerpos es lo que importa en el análisis realizado.

En las descripciones de la generalización de Carnot, se pueden identificar las acciones sobre los cuerpos, ya sea por el contacto con otro a diferente temperatura o por acciones químicas o mecánicas, por ejemplo,

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** (se rompe el equilibrio entre dos cuerpos) que allí se encuentra. En último extremo el **agua fría del condensador se apodera del calórico desarrollado en la combustión** (se rompe

el equilibrio por acción química). **Se calienta por medio del vapor** (equilibrios entre dos cuerpos), como si hubiese estado situada directamente en el fogón (Carnot, 1987, pág. 40)

Así, el contacto con otro cuerpo a diferente temperatura sería una acción térmica sin la necesidad de cualquier sustancia hipotética, aquí nos preguntamos ¿cuál es la profundidad de esta idea de acción? ¿cómo permite organizar los fenómenos térmicos?

5.5. Sobre la forma en la que estudiamos el equilibrio térmico

Carnot ha expresado que las acciones como la química rompen el equilibrio del calórico, debido a que los cambios se notan en el estado de los cuerpos, se dice que las acciones influyen sobre éste y no en el calórico. Estas acciones también podrían cambiar el volumen de estos cuerpos afectando a su vez la temperatura, lo que nos referimos como una acción mecánica, sin embargo, tanto las acciones químicas como las mecánicas se ejercen por parte de otros cuerpos.

Lavoisier y Laplace utilizaban dichas expresiones, por ejemplo,

Si se transporta una masa de hielo, enfriado a un grado cualquiera, hacia un ambiente cuya temperatura está por encima del cero del termómetro, todas sus partes experimentarán la **acción** del calor del ambiente hasta que toda su temperatura haya alcanzado el cero. (Lavoisier & Laplace, 2015, págs. 139-140)

Así, podemos interpretar que existe un equilibrio entre las acciones cuando al calor nos referimos, y que para esto se necesita un desequilibrio en las temperaturas. Esta conclusión permitirá la organización de los fenómenos térmicos a estudiar.

Caso térmico

En la enseñanza de la física una manera de iniciar la organización de los fenómenos térmicos es en relación con la identificación de las variables de estado, es decir, aquellas variables que se pueden identificar cuando no existe interacción y que caracterizan los estados posibles en los que se pueden encontrar los cuerpos. (Pedreros & Castillo, 2007, pág. 10)

Esto permite definir y establecer la condición de equilibrio térmico cuando existe una “ ... *igualdad del valor de una o más de las variables de estado de las partes en cuestión, lo que indica que las partes están en el mismo estado; por ejemplo, la condición de equilibrio térmico entre dos*

o más cuerpos se expresa como igualdad en sus temperaturas ...” (Pedreros & Castillo, 2007, pág. 10)

Así, se puede establecer una igualdad de temperatura entre dos cuerpos con la ecuación:

$$T_1 = T_2 \quad (6)$$

Hay que reconocer que en la naturaleza no existen elementos aislados, por lo tanto, es imposible identificar si se encuentran carentes de interacciones. Sin embargo, si las interacciones ocurran lentamente entre los cuerpos, se podría pensar que en pequeños instantes de tiempo se puedan considerar como cuerpos aislados. De la misma forma, cuando los cuerpos se encuentran en el mismo estado térmico, al no identificarse cambios sería equivalente a una situación de aislamiento. En consecuencia, hablar del aislamiento térmico, se trata de un caso ideal de las experiencias y que resulta ser equivalente a ciertas condiciones específicas.

Sabemos que para que exista un cambio en la temperatura se necesita de la interacción de un segundo cuerpo a distinta temperatura. Desde la experiencia se evidencia que cuando los cuerpos se encuentran en contacto a distintas temperaturas, el cuerpo que tiene mayor temperatura disminuye, mientras que el segundo aumenta su temperatura. Aquí las causas y efectos son conceptos que resultan ser intercambiables (Mach, 1948, pág. 219), ya que no se puede privilegiar un cuerpo por encima del otro. En este sentido, la acción⁸ y el cambio⁹ serían términos intercambiables, por lo que se utilizarán en este documento como términos indiferenciables.

Se relaciona las magnitudes con los cambios de temperatura, para ello dos cuerpos de la misma naturaleza en iguales condiciones a distinta temperatura, sus cambios estarán dados por:

$$T_{i1} - T_{f1} = \Delta T \quad (7)$$

Cambios de temperatura del cuerpo 1

⁸ Según la definición del diccionario de Oxford Languages (2023), la acción es: Palabra que indica que una persona, animal o cosa (material o inmaterial) está haciendo algo, está actuando (de manera voluntaria o involuntaria, de pensamiento, palabra u obra), lo que normalmente implica movimiento o cambio de estado o situación y afecta o influye en una persona, animal o cosa.”. Debido a que la acción hace referencia a una afectación en las cualidades de un objeto, conlleva a establecerse como una causa.

⁹ Según la definición del diccionario de Oxford Languages (2023), cambiar es: Modificar una cosa o a una persona de modo que pase a ser distinta de cómo era antes. Al cambiar de temperatura por una acción térmica se infiere que se trata de un efecto.

$$T_{i2} - T_{f2} = \Delta T \quad (8)$$

Cambios de temperatura del cuerpo 2

La magnitud de los cambios es igual y el cese de éstos se da cuando sus temperaturas se igualan. Debido a que los cambios de un cuerpo dependen del otro y viceversa, existe una interacción recíproca, ya que mientras un cuerpo se calienta el otro se enfría, así la igualdad se puede expresar como un equilibrio de cambios

$$\Delta T_1 = -(-\Delta T_2) \quad (9)$$

O también

$$T_{i1} - T_f = T_f - T_{i2} \quad (10)$$

$$\Delta T_1 = \Delta T_2 \quad (11)$$

Se puede ampliar esta relación para cuerpos a distintas masas, recordando que para los límites entre 0° y 100° son más o menos proporcionales, esto se encuentra determinado experimentalmente y lo expresa Lavoisier en su memoria

...La cantidad de calor libre necesaria para elevar la temperatura de un cuerpo cualquiera un cierto número de grados: esta cantidad es variable en todos los cuerpos, pero es constante para cada uno de ellos, al menos en el intervalo de un pequeño número de grados, por ejemplo, desde la congelación al agua hirviendo. (Lavoisier, 2021, pág. 61)

La relación resultante se puede determinar como

$$\Delta T_1 = \kappa \Delta T_2 \quad (12)$$

Por ejemplo, si el cuerpo1 tiene el doble de la masa que el cuerpo2, su cambio será la mitad respecto al cuerpo 2, así el factor $\kappa = \frac{1}{2}$ para este caso, por lo que se puede escribir como:

$$\Delta T_1 = \frac{\Delta T_2}{2} \quad (13)$$

Mientras que el cuerpo2 al tener la mitad de la masa cambiará el doble respecto al cuerpo1,

$$2\Delta T_1 = \Delta T_2 \quad (14)$$

La ecuación (14) estará dada por:

$$m_1 \Delta T_1 = \Delta T_2 \quad (15)$$

Debido a que se ha tomado arbitrariamente el cuerpo1 como el que tiene mayor masa, se realiza la misma inferencia con el cuerpo2, esto con el fin que la ecuación anterior sea dimensionalmente correcta. Ahora la ecuación (16) será:

$$m_1\Delta T_1 = m_2\Delta T_2 \quad (16)$$

También existen cuerpos que cambian de temperatura más “fácil” que otros, en otras palabras, la relación entre los cambios de un cuerpo de cierto material equivaldría a n masas de otro material distinto. Esta forma de comparar térmicamente las sustancias ya era conocida por Black cuando cita al Dr Boerhaave en los elementos de química¹⁰.

Teniendo la misma masa de ambos materiales, se puede actuar de la misma forma que se realizó con el factor κ , manteniendo la misma masa en ambos cuerpos

$$\kappa_1 = \frac{1}{c_1} \quad (17)$$

Así se realiza el mismo procedimiento anterior en caso de duplicar la masa, pero esta vez con un factor que depende de las sustancias que se llama c_1 , se puede escribir que:

$$c_1\Delta T_1 = c_2\Delta T_2 \quad (18)$$

El factor κ podrá tener unidades de comparación térmica de las sustancias (c) y unidades de masa (m), dependiendo de cuál es el factor por variar, si la masa o la naturaleza de ésta¹¹. La ecuación general entonces quedaría de la forma:

$$m_1c_1\Delta T_1 = m_2c_2\Delta T_2 \quad (19)$$

Este método de experimentar físicamente variando un elemento que dependa de otros, es llamado por Mach como el método de las variaciones (Mach, 1948, pág. 172)

¹⁰ Joseph Black: “Después de relatar el experimento que Fahrenheit hizo a su antojo, mezclando agua fría y caliente, también nos dice que Fahrenheit agitaba Mercurio y agua desigualmente calentada. Según el relato del médico, es bastante evidente que Mercurio, aunque tiene más de 13 veces la densidad del agua, produjo menos efecto sobre el agua de calentamiento o enfriamiento al que se aplicó, que una medida igual de agua habría producido. Dice expresamente que el mercurio, ya sea que se haya aplicado caliente a agua fría o de frío a agua caliente, nunca produjo más efecto sobre el calentamiento o el enfriamiento de una medida igual de agua que el que hubiera producido el agua igualmente caliente o fría con el mercurio, y sólo dos tercios de su volumen. Agrega, que fue necesario tomar tres medidas de Mercurio por dos de agua, para producir la misma temperatura media que se produce al mezclar medidas iguales de agua fría y caliente.” (Magie, 1969, págs. 135-136).

¹¹ Nos referimos a la composición química de los elementos o compuestos, por ejemplo, el helio, el agua, el mercurio.

La búsqueda del equilibrio en los cambios resulta ser conceptualmente la estrategia que permite llegar a la vinculación entre diferentes variables para el caso térmico llamado el caso de las mezclas.

5.6. Del calor como variable de cambio - acción

En las relaciones entre variables que se han deducido anteriormente, pueden existir casos en el que las medidas sean relativamente sencillas, por ejemplo, si colocamos en contacto dos cantidades de masas similares no muy grandes ni muy pequeñas a distinta temperatura, aquí, las mediciones se pueden realizar con instrumentos de uso cotidiano como el termómetro para la temperatura y una balanza para la masa. Cuando existe un cuerpo de gran masa y se coloca en contacto con un cuerpo de pequeña masa y diferente temperatura, la variación del primer cuerpo puede ser leve lo que dificulta determinar en cuanto fue su cambio. No obstante, las acciones entre los cuerpos se siguen manteniendo, el primero sigue actuando sobre el segundo y viceversa, por lo que bastaría realizar la medición y el cálculo del cambio del segundo cuerpo para reconocer el cambio del primero. En síntesis, los cambios térmicos de un cuerpo se pueden reconocer por sus efectos.

Carnot distingue cuerpos similares que varían poco de temperatura de la siguiente manera:

“...imaginemos dos cuerpos A y B mantenidos ambos a una temperatura constante, siendo la de A mayor que la de B: esos dos cuerpos, a los que se puede dar o quitar calor sin hacer variar su temperatura, harán las funciones de dos depósitos indefinidos de calórico. Llamaremos fogón al primero y refrigerador al segundo.” (Carnot, 1987, pág. 44).

La condición en la que deben encontrarse estos cuerpos llamados depósitos de calor será tener una gran cantidad de masa para que existan cambios tan pequeños que se puedan despreciar¹². A estos cuerpos de gran masa que cambian tan levemente de temperatura los denominaremos fuentes de calor, debido a que pueden realizar grandes acciones térmicas sobre otros cuerpos sin la necesidad de sufrir cambios significativos de temperatura. Esto a su vez, puede hacer evidente otros cambios que parecen imperceptibles como la variación de la presión y el volumen. Con el objetivo de centrarse en esos otros cambios, llamaremos Q a esta acción, así, de la ecuación (21) se reescribirá como:

¹² Este será uno de los argumentos utilizados Carnot para proponer el proceso isotérmico como se verá más adelante.

$$Q = m_1 c_1 \Delta t \quad (20)$$

La síntesis del cambio en la variable Q ha nacido como necesidad de no poder percibir los cambios en las fuentes de calor y de determinar otros efectos como se verá a continuación.

5.7. Los cambios de fase

Entre los efectos del calor que se han descrito inicialmente, se encuentran los cambios de fase, Black denominó calor latente, a aquel calor oculto que no se puede determinar por medio del termómetro y que da fluidez a los cuerpos. Manteniendo la idea de las relaciones entre variables y el equilibrio de acciones, se compara los cambios de fase con otros cambios térmicos por medio de la variable Q .

Si al ubicar un cuerpo 1 que cambia de temperatura por la acción de una fuente de calor (Q_A), y otro cuerpo que cambia de fase por la acción de otra fuente de calor (Q_B), es posible igualar estos cambios si al ubicar el cuerpo 1 y 2 en contacto tienen los mismos efectos que con las fuentes de calor. Se llamará (Q_L) a los cambios de fase, con el fin de mantener la misma convención utilizada en la termodinámica

$$Q_A = Q_L \quad (21)$$

Esto permite identificar que el cuerpo 1 que no cambia de fase, se comportará como en el caso de las mezclas; para el cuerpo que se encuentra cambiando de fase si tiene mayor masa, tendrá mayor efecto en el cambio de temperatura del primer cuerpo, por ejemplo, si tiene el doble de masa su cambio de fase será la mitad, mientras que su efecto de cambio de temperatura en el primer cuerpo será el doble, así la relación proporcional es:

$$m_1 \kappa_1 = m_1 c_1 \Delta T = m_2 \kappa \quad (22)$$

El factor κ está determinado por la naturaleza de la sustancia, en la literatura se establece como calor latente, siendo fiel a la escritura convencional

$$m_1 L_1 = m_1 c_1 \Delta T = m_2 \kappa \quad (23)$$

Este valor de L resulta ser constante para la misma naturaleza de los cuerpos, un valor para el agua, otro para el mercurio, etc.

“Según esta definición el calor que desaparece en el momento en que el hielo se convierte en agua, es calor que pasa del estado libre al estado combinado; esta cantidad de calor es constante y determinada” (Lavoisier, 2021, pág. 160)

Se ha utilizado la idea de calor como acción con el fin de simplificar el análisis de los cambios de fase, debido a la transitividad de las acciones. A continuación, se exponen otras relaciones que se producen por la acción térmica del calor.

5.8. Otras transformaciones térmicas

Hasta este momento las relaciones se han establecido por medio de los cambios de la temperatura y la dependencia de variables que se relacionan inversamente proporcional a los cambios, como lo son la masa, la variable c que se denomina calor específico y L como el calor latente. Se ha manifestado que existen otras relaciones que parecen ser imperceptibles para pequeños cambios de temperatura, como la presión y el volumen. A su vez, estas variables resultan ser más perceptibles en los cuerpos gaseosos que en otras fases de la materia.

De esta manera, las regularidades de los trabajos de Gay Lussac y Boyle – Mariotte, resultan relevantes. Aquí se siguen manteniendo la interacción entre los cuerpos, donde la acción Q de uno de los cuerpos a distinta temperatura puede producir cambios de temperatura, presión, y volumen de un cuerpo gaseoso, ya que conocemos algunas regularidades en esta fase de la materia.

$$Q = f(p, v, t) \quad (24)$$

Las posibles combinaciones que se pueden realizar entre estas tres variables son múltiples debido a que estas son dependientes entre sí, esta dependencia impide relacionar la proporcionalidad entre variables y, será necesario determinar los cambios por el cálculo diferencial. Lo que no será impedimento para que Carnot realice un vínculo entre las variables térmicas y la relación calor - trabajo mecánico como se mostrará a continuación.

5.9. Caso de estudio: el ciclo de Carnot dentro de la máquina térmica

En el estudio de la máquina térmica, Carnot expone la relación entre el calor y el trabajo mecánico por medio de las regularidades de los gases, esto es posible cuando identifica las variables que se relacionan con el calor para producir trabajo mecánico. De esta manera expone las condiciones en las que se debe encontrar el gas para hacer posible los procesos isotérmicos y adiabático, logrando configurar el ciclo más eficiente en una máquina térmica.

5.9.1. Proceso isotérmico y adiabático

De todos los efectos del calor los cambios en el volumen son aquellos que se aprovechan en la generación de potencia motriz o trabajo mecánico, por lo que se deben colocar las condiciones dentro de las máquinas térmicas para que el gas cambie de esa manera. Ya se conocía la relación de Boyle - Mariotte, donde las presiones y las expansiones del aire están en proporción recíproca, esto conlleva a que el volumen sea dependiente de la presión, así se debe procurar entonces, que la temperatura en el gas no varíe, lo que se denomina **proceso isotérmico**. Carnot expresaba que esta condición era necesaria

“... todo cambio de temperatura que no se deba a un cambio de volumen en los cuerpos, no puede ser sino un restablecimiento inútil de equilibrio en el calórico, la condición necesaria del máximo es por tanto 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. Recíprocamente, todas las veces que se cumpla esta condición se logrará el máximo”. (Carnot, 1987, págs. 46-47).

Otro de los efectos del calor, donde la temperatura permanece constante, se encuentra en los cambios de fase donde la sustancia varía su volumen. Esto se hace perceptible, por ejemplo, cuando el agua pasa de fase líquida a gaseosa, cambiando su volumen y manteniéndose a la misma presión atmosférica.

Aquí la dificultad radica en que los cambios son siempre dados por diferencia de temperatura entre cuerpos, Carnot así lo reconoce “El calor sólo puede ser causa de movimiento en virtud de los cambios de volumen o de forma que produce en los cuerpos ...” (Carnot, 1987, pág. 42)

¿Entonces cómo es posible realizar variaciones térmicas con cuerpos a iguales temperaturas?

Anteriormente se ha reconocido que los cuerpos de gran masa cambian levemente de temperatura y su cambio se puede despreciar, a estos cuerpos los hemos denominado fuentes de calor. Carnot expresa que si se requiere que dos cuerpos (fuente y el gas) no cambien de temperatura pero que exista dilatación, será necesario que la fuente se encuentre infinitesimalmente a mayor temperatura que el gas con el fin de que la dilatación sea posible y, debido a que los cuerpos se encuentran a una diferencia infinitamente pequeña, se puede considerar que fuente y gas se encuentran a la misma temperatura. Es decir, se permite la posibilidad del cambio Q de la

fuelle sobre el gas, debido a la diferencia de temperatura, pero ésta será tan infinitamente pequeña que se podrían considerar como iguales, de esta manera no se entra en contradicción con la experiencia común de la que se ha expuesto dentro de la problemática de este trabajo.

Carnot de este análisis muestra la dificultad de este proceso:

“Tal vez pueda sorprender aquí que el cuerpo B [en nuestro caso la fuente] se encuentre a la misma temperatura que el vapor y pueda condensarlo [sustancia]; sin duda en rigor eso no es posible; pero la más pequeña diferencia de temperatura determinará la condensación, lo que basta para establecer la exactitud del razonamiento. Lo mismo sucede el cálculo diferencial, donde basta suponer las cantidades despreciadas como infinitamente pequeñas en relación con las cantidades conservadas en las ecuaciones, para adquirir la certidumbre en el resultado” (Carnot, 1987, pág. 44)

Estas consideraciones son las que hacen del proceso isotérmico una idealización, debido a las condiciones de temperatura en la que se deben encontrar la fuente y la sustancia a cambiar de volumen. Este proceso se puede utilizar para realizar dilataciones o compresiones, para la dilatación será necesario que la sustancia se encuentra infinitamente a menor temperatura que la fuente y para la compresión que se encuentre infinitamente mayor. De estas idealizaciones nacen otras consecuencias que se expondrán a continuación.

Los cambios de volumen y presión en la sustancia son realizados por la acción del calor de la fuente, se determina entonces que las acciones del calor se equilibran con acciones mecánicas, y debido a que este proceso resulta de una idealización, la relación calor - trabajo mecánico también lo será.¹³ Otro aspecto para resaltar es la relación inversa que se puede determinar entre las acciones del calor y las acciones mecánicas. Ya se reconocía

“Es un hecho experimental que la temperatura de los fluidos gaseosos se eleva por compresión y desciende por rarefacción.” (Carnot, 1987, pág. 43)

¹³ Se manifiesta como las relaciones entre variables permiten llegar a generalizaciones sin la necesidad de establecer ecuaciones diferenciales, como se planteó en la problemática. Este es el tipo de relaciones que se plantean desarrollar para hacer comprensible los procesos sin tener conocimientos de matemáticas avanzadas.

Se puede suponer el caso donde la temperatura de la fuente tenga exactamente la misma temperatura que una sustancia gaseosa. Si al ubicar estos dos cuerpos en contacto tomamos el hecho experimental que expone Carnot, encontramos que al realizar sobre el gas una leve compresión con el fin que su temperatura se incremente infinitesimalmente por encima de la fuente, ésta ejercerá una acción térmica sobre la fuente; a su vez, debido a que los cambios de temperatura son tan infinitesimalmente pequeños ambos cuerpos se pueden considerar que están a la misma temperatura; en palabras de Carnot diríamos que existirá un flujo de calor del gas a la fuente. Para que exista esta condición el proceso se tendría que realizar tan lentamente como fuera posible para que los cuerpos en su totalidad estén a la misma temperatura.

Cualquier persona que haya experimentado ubicar un objeto al fuego de gran extensión, podrá hacer evidente que la temperatura se eleva más rápido en el lugar de contacto con el fuego que en donde se sostiene, este ejemplo se ilustra para hacer evidente que son necesarias condiciones específicas para determinar que un cuerpo tiene la misma temperatura en su totalidad.

Se ha expuesto el nivel de detalle técnico que hace posible llevar a la práctica los procesos isotérmicos, bien sea para mantener los cuerpos a temperatura constante e infinitamente cercanas o que las compresiones que se realizan al gas sean tan lentas que evite que se caliente más rápido en una de sus partes que otras.

Otra deducción que emerge de los procesos isotérmicos será la relación del trabajo mecánico con la que se realizan las expansiones a distintas temperaturas. Si se supone un ciclo, donde existe expansión de un gas por medio de un proceso isotérmico las variables presión y volumen se pueden identificar como P_1, V_1 y pasa a P_2, V_2 ; luego por el mismo proceso isotérmico se realiza la compresión, el gas que va de P_2, V_2 nuevamente a P_1, V_1 ; la producción de trabajo mecánico por la acción del calor será cero. Aquí hemos supuesto que el gas no se ha transformado debido a que se ha vuelto al estado inicial, esto lo podemos deducir de la ley de Boyle – Mariotte.

Cuando se entra a estudiar las máquinas térmicas en general, Carnot expone que la sustancia termométrica se va a dilatar y posteriormente sale de la máquina al ambiente¹⁴. En general se puede identificar que el primer estado del gas se encuentra a menor temperatura y que posteriormente sale

¹⁴ El ambiente hace la función de cuerpo frío en la máquina térmica y permite que el gas salga del pistón donde se encuentra ubicado. La relación en la que se debe encontrar el gas con el ambiente será estar a mayor temperatura y presión.

de la máquina a una temperatura más alta, en caso de querer utilizar nuevamente la sustancia, después de su dilatación, se coloca en contacto con un cuerpo más frío y pasa de nuevo al contacto con el cuerpo caliente. La potencia motriz o trabajo mecánico por lo tanto será dado por las diferencias de temperatura.¹⁵

El anterior argumento determina el trabajo mecánico neto que realiza un gas cuando se dilata a altas temperatura y se comprime a menor temperatura, donde las expansiones se realizan con mayor potencia motriz o trabajo mecánico cuando se realiza a mayores temperaturas. Esto será importante si se actúan dentro de dos procesos isotérmicos a distinta temperatura, donde la cantidad neta de trabajo mecánico producido será mayor que otros procesos térmicos, lo que resulta útil para que la máquina pueda realizar un trabajo mecánico neto mayor a cero.

Con el objetivo de utilizar el calor de la mejor manera posible se utilizan las condiciones en las que se plantea el proceso isotérmico para que la acción de la fuente actúe sobre el gas, sin embargo, debido a que la caldera (fuente caliente) y el condensador (fuente fría) son cuerpos que se encuentran a distinta temperatura, el gas deberá cambiar de temperatura significativamente, es decir, se actúe dentro de dos procesos isotérmicos de distinta temperatura. Aquí el proceso adiabático toma importancia, se toma de nuevo la experiencia que se tiene, que los gases elevan su temperatura por compresión y la disminuye por expansión. La experiencia de Carnot la hace más explícita:

“Cuando se comprime rápidamente un fluido gaseoso, su temperatura se eleva; por el contrario, disminuye cuando se dilata rápidamente. Este es uno de los hechos mejor comprobados por la experiencia: lo tomaremos como base de nuestra demostración” (Carnot, 1987, pág. 43)

Carnot añade que parte de esta experiencia ya ha sido usada por Lavoisier:

“Los resultados experimentales sobre la velocidad del sonido. El señor de Laplace ha hecho ver que para someter estos resultados a la teoría y al cálculo, era necesario admitir el calentamiento del aire en una compresión súbita” (Carnot, 1987, pág. 43)

¹⁵ Carnot realiza una analogía para determinar la eficiencia con la caída del agua, puede verse en (Carnot, 1987, pág. 49)

El proceso adiabático, será la transformación que sufre el gas al cambiar su temperatura, presión y volumen por acciones mecánicas, debido a que no se encuentra en contacto térmico con ningún otro cuerpo, la interacción con el ambiente debe ser nula. Por este motivo Carnot expresa que Laplace hace compresiones súbitas, debido a que como hemos visto (en la temperatura como variable de estado) el aislamiento resulta de una idealización, que sólo es posible un aislamiento parcial en pequeños instantes de tiempo, este es el motivo por el cual este proceso tiene que realizarse en la práctica extremadamente rápido, para que el gas no interactúe significativamente con el ambiente.

Por esta forma el proceso adiabático conecta dos procesos isotérmicos a distinta temperatura por medio de acciones mecánicas. La condición será entonces que la compresión adiabática cambie la temperatura del gas desde la fuente caliente a la temperatura de la fuente fría. Este proceso resulta ser otra idealización, debido a que el proceso adiabático debe realizarse rápido, sin embargo, el gas se debe encontrar infinitesimalmente cerca a la temperatura de la fuente, resultando ser una idea imposible de llevar a la práctica.

5.9.2. El ciclo de Carnot con cambios de fase

Entre los varios efectos del calor, los cambios de fase se han reconocido como aquellos procesos donde la sustancia no cambia de temperatura, este es el motivo por el que Carnot utiliza esta condición para diseñar su proceso isotérmico, para ello utiliza el nombre de cuerpo A para la fuente caliente o caldera y cuerpo B para la fuente fría o de condensador. Los procesos como lo expresa Carnot, no se encuentran como un ciclo debido a que no se retorna a la sustancia a sus condiciones iniciales, sin embargo, sus deducciones lo llevan a establecerlo como el mejor aprovechamiento del calor para generar potencia motriz.

Si se quiere producir potencia motriz por el transporte de una cierta cantidad de calor del cuerpo A al cuerpo B se podrá proceder de la siguiente manera:

1. Se toma calórico del cuerpo A para formar vapor, es decir se hace que este cuerpo desempeñe las funciones del fogón, o mejor dicho del metal que constituye la caldera de una máquina ordinaria; supondremos que el vapor se origina a la misma temperatura del cuerpo A. (Carnot, 1987, pág. 44)

2. Una vez que se ha recibido el vapor en una capacidad extensible, tal como un cilindro dotado de un émbolo, aumenta el volumen de esa capacidad y por lo tanto el del vapor.

Al enrarecerse descenderá espontáneamente de temperatura, como les ocurre a todos los fluidos elásticos: supongamos que el enrarecimiento se continúa hasta que la temperatura sea precisamente la del cuerpo B. (Carnot, 1987, pág. 44)

3. Se condensa el vapor poniéndolo en contacto con el cuerpo B, y ejerciendo sobre él simultáneamente una presión constante hasta que esté completamente licuado. El cuerpo B juega aquí el papel del agua de inyección en las máquinas ordinarias, con la diferencia de que condensa el vapor sin mezclarse con él y sin cambiar de temperatura.

Apartado textual tomado de Carnot (Carnot, 1987, pág. 44)

El ciclo se completa separando el vapor condensado del cuerpo B y ejerciendo una presión hasta que vuelva a la misma temperatura del cuerpo A, llevando así a la sustancia a la misma condición de presión volumen y temperatura del paso 1. Si estos pasos se realizan sucesivamente se obtendrá el ciclo de Carnot con una sustancia que cambia de fase

5.9.3. Ciclo de Carnot

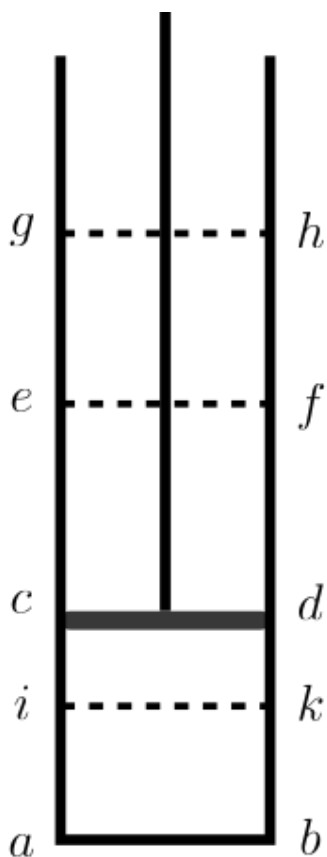


Ilustración 8: Esquema del pistón para el ciclo de Carnot. Tomado de (Carnot, Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego, 1987, pág. 52)

Carnot expone un ciclo completo utilizando el proceso isotérmico para un gas que no sufre cambios de fase.

Imaginamos un fluido elástico, el aire, por ejemplo, encerrado en un vaso cilíndrico $abcd$, provisto de un diafragma móvil o émbolo cd ; supongamos además dos cuerpos A y B que se mantienen a temperatura constante, siendo la de A más elevada que la de B; nos figuramos ahora la serie de operaciones que se van a describir:

Contacto del cuerpo A con el aire encerrado en la capacidad $abcd$, o con la pared de esta capacidad, pared que supondremos que transmite fácilmente el calórico. Por este contacto el aire se encuentra a la misma temperatura del cuerpo A; cd es la posición actual del émbolo.

1. El émbolo se levanta gradualmente, llegando a tomar la posición ef . El cuerpo A y el aire están siempre en contacto, por lo que el segundo se mantiene a temperatura constante durante la rarefacción. El cuerpo A proporciona el calórico necesario para mantener la temperatura constante.
2. Se aleja el cuerpo A, y el aire ya no se encuentra más en contacto con ningún cuerpo capaz de proporcionarle calórico; el émbolo sin embargo continúa moviéndose y pasa de la posición ef a la posición gh . El aire se rarifica sin recibir calórico, y su temperatura desciende. Imaginemos que desciende así hasta llegar a ser igual a la del cuerpo B:

en ese momento el émbolo se detiene y ocupa la posición gh .

3. Se pone el aire en contacto con el cuerpo B; se le comprime por el retroceso del émbolo que, le lleva de la posición gh a la posición cd . Este aire sin embargo permanece a temperatura Constante, a causa de su contactó con el cuerpo B al cual cede su calórico.

4. Separado el cuerpo B, se continúa la compresión del aire, que, al encontrarse entonces aislado, se eleva de temperatura. Se continúa la compresión hasta que el aire haya adquirido la temperatura del cuerpo A. El émbolo pasa durante ese tiempo a la posición i_k .
5. El aire se vuelve a poner en contacto con el cuerpo A; el émbolo vuelve de la posición i_k a la posición e_f ; la temperatura permanece invariable.
6. El período descrito en el mismo 3.9 se repite, después a continuación los períodos 4, 5, 6, 3, 4, 5, 6, 3, 4, 5 y así sucesivamente.

Apartado textual tomado de Carnot (Carnot, 1987, págs. 51-53).

Se puede concluir que en su totalidad el ciclo de Carnot resulta ser el ideal, sin embargo, debido a la precisión en la que se debe encontrar la temperatura de los cuerpos, el ciclo se configura en el ámbito de la teoría.

Se espera que hasta aquí el marco teórico haya dado respuesta a las dificultades identificadas en la problemática de este trabajo en la comprensión de los procesos térmicos del ciclo de Carnot.

6. CRITERIOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS FENÓMENOS TÉRMICOS

Se expuso dentro de la problemática que pueden existir dificultades en la forma en cómo se enuncian los procesos térmicos cuando están desligados de las experiencias cotidianas de los estudiantes, lo cual conlleva a que estos conocimientos resulten siendo ininteligibles. Por esto, se propuso el análisis de la obra de Carnot, donde se ha identificado la idea de equilibrio entre los cambios térmicos como eje estructurante para la comprensión del fenómeno de estudio, reconociendo posibles actividades experimentales que vinculen situaciones cotidianas sobre las cuales los estudiantes organicen sus experiencias, constituyendo nuestra propuesta de enseñanza.

A continuación, presentamos los criterios para la enseñanza de los fenómenos térmicos que se derivan del análisis disciplinar, y también aquellos criterios pedagógicos y epistemológicos que hemos obtenido a lo largo de este proceso investigativo; genero algunas ideas que se podrían tener en cuenta para la enseñanza con el fin que sirva de aporte para los docentes en la toma justificada de decisiones en el aula.

6.1. Criterios disciplinares

Se ha expuesto dentro del marco teórico algunas ideas representativas de Joseph Black y Lavoisier como referentes del uso de la teoría del calórico, mostrando un panorama general de cómo eran entendidos los fenómenos térmicos.

Estos autores y el mismo Carnot a pesar de que colocaron en tela de juicio la idea de que el calor fuera una sustancia, resultaba ser la hipótesis que a juicio de ellos era la más admisible al momento de sus argumentaciones; resaltaron que antes de admitir esta sustancialidad era necesario partir de los hechos o efectos que se le atribuyen al calor. Por consiguiente, se utilizó el calórico mientras se definía la naturaleza del calor.

Ellos parten del estudio de los efectos del calor y las regularidades en el comportamiento de los gases, esto es posible debido a la identificación de variables y cómo se relacionan entre sí para establecer generalizaciones, por ejemplo, las variables presión, volumen y temperatura, se relacionan para determinar las transformaciones de las sustancias, lo que conlleva a la ley del equilibrio térmico o la ley de los gases ideales. Estas generalizaciones han sido útiles para Carnot con el fin de establecer su ciclo más eficiente, lo que se ha tomado hoy día como una generalización aún mayor. Es decir, se parte de casos particulares sobre el estudio de los fenómenos térmicos, donde se establecen regularidades que permiten generalizaciones, y a su vez trabajar sobre estas se construyen en otras más amplias. Siendo este uno de los primeros criterios disciplinares.

Un ejemplo de trabajar sobre estas generalizaciones ocurre cuando Carnot de todos los posibles efectos del calor seleccionó aquellos donde el calórico se aprovechaba para realizar solamente un cambio de volumen, posteriormente vinculó las acciones mecánicas a los cambios de temperatura. Estas generalizaciones configuran el ciclo por el cual debe pasar un gas para que se utilicen de la mejor manera los efectos del calor y así generar potencia motriz, llevando a establecer los procesos isotérmicos y adiabáticos para la máxima eficiencia dentro de las máquinas térmicas.

Entonces, para plantear el ciclo de Carnot, consideramos que es necesario reconocer generalizaciones tales como:

- Por encima de otras fases de la materia, los gases poseen mayor elasticidad y se pueden utilizar para generar grandes cambios de volumen.

- Los cambios ínfimos de temperatura que tienen los cuerpos de gran masa cuando entran en contacto con otros cuerpos de menor masa y a distinta temperatura ocurren porque los primeros cuerpos son las fuentes de calor o frío.
- En el proceso isotérmico existe contacto entre cuerpos a distintas temperaturas con la condición de que esta diferencia de temperatura sea infinitesimal. A su vez, esto muestra la dificultad de tener en la práctica el contacto de cuerpos con diferencias tan pequeñas, por lo que el proceso isotérmico termina siendo una idealización.
- Las acciones mecánicas producen cambios térmicos y estos a su vez permiten establecer cambios en condiciones de aislamiento térmico, como ocurre en el proceso adiabático.
- Las condiciones en las que se deben encontrar las partes generales en una máquina térmica para su funcionamiento óptimo son: la diferencia de temperaturas de la fuente caliente y la fuente fría en relación con la sustancia termométrica; el pistón móvil donde se encontrará ubicada la sustancia termométrica debe permitir el equilibrio térmico en el proceso isotérmico y el aislamiento térmico en el proceso adiabático; así como determinar cuando la compresión o la dilatación es realizada por el gas o por una fuerza externa.
- La potencia motriz o el trabajo mecánico son mayores cuando las expansiones y compresiones en los gases se realizan a mayores temperaturas; esto en relación con los procesos isotérmicos y adiabáticos determinan que la eficiencia de una máquina térmica se encuentra dada por las diferencias de temperatura de las fuentes de calor.

Estas generalizaciones se obtienen de las explicaciones de Carnot sobre el ciclo de la máquina térmica que hacen parte de: la descripción de fenómenos térmicos, de la vinculación de variables térmicas (presión, volumen y temperatura), la relación entre ellas y la configuración del sistema.

Es por este motivo que para la construcción de un marco disciplinar, estos criterios resultan ser fundamentales en la enseñanza de los fenómenos térmicos.

6.2. Criterios pedagógicos

En el desarrollo del marco teórico ha sido indispensable que, para generar los cambios térmicos, es condición necesaria que un cuerpo se encuentre en interacción con otro cuerpo a distinta temperatura, así esta diferencia sea infinitesimal. En el proceso adiabático, Carnot expresa que son posibles los cambios térmicos por medio de acciones mecánicas, lo que hace comprensible que un

cuerpo aislado térmicamente cambie. Esto conlleva a pensar que es viable crear un hilo conductor entre la experiencia común y las generalizaciones que son importantes para Carnot, así los criterios pedagógicos surgen de crear ese vínculo.

Se propone que uno de los objetivos de la labor del docente sea seleccionar aquellas experiencias que se comparten con los estudiantes y generar otras experiencias nuevas, donde se parta de lo particular a lo general. Estas nuevas experiencias son concretas y surgen de condiciones creadas por el maestro, en relación con su comprensión de los fenómenos térmicos, se deben producir efectos para estudiar en el aula de clase ya que difícilmente son posibles de identificar en la vivencia cotidiana. En otras palabras, se determina que existe una acción intencionada del maestro en la que se requiere generar las condiciones experimentales para producir efectos particulares, con el fin de generalizar y construir el fenómeno de estudio en el aula con sus estudiantes, por lo tanto, a nuestro juicio se termina configurando como un criterio pedagógico.

Consideramos que en las nuevas experiencias es necesario tener en cuenta que para los cambios térmicos se requiere de la interacción entre los objetos a diferentes temperaturas. Aquí, la idea de equilibrio resulta ser fundamental, debido a que se parte desde la compensación entre los cambios, lo que permite establecer: primero, una igualdad entre los cambios de temperatura; segundo, identificar la relación con otras variables que mantengan esas igualdades, y tercero, establecer que las causas y los efectos son indistinguibles.

Por último, cuando se utilizan cuerpos de gran masa se muestra la imposibilidad de medir sus cambios de temperatura por medio de un instrumento como el termómetro, y se recurre entonces a medir sus efectos en otros cuerpos. Estos cuerpos de gran masa toman especial relevancia cuando producen cambios de temperatura, presión y el volumen. Lo que conlleva a centrar la atención en el comportamiento de un solo cuerpo, mientras que la acción del calor se sintetiza como una sola variable para la fuente.

En consecuencia, la idea de generalizar las acciones al hacer uso de una variable única como el calor, es el resultado de necesidades específicas en la explicación de los fenómenos térmicos. Se constituye en criterio pedagógico en el sentido del proceder disciplinar en el aula, con el fin de que los estudiantes encuentren sentido a la síntesis del calor como una variable.

6.3. Criterios epistemológicos

En la explicación de los fenómenos estudiados en física, se realizan generalizaciones por medio de casos particulares. En contraste, si uno de los objetivos de nuestra labor docente es nutrir las organizaciones conceptuales de los estudiantes en la explicación del mundo físico, es pertinente construir vínculos entre experiencias compartidas y experiencias nuevas. Sin embargo, esto exige un ejercicio de autorreflexión, donde se busquen esas relaciones que son importantes en nuestras organizaciones conceptuales, y que hagan inteligible esas generalizaciones del mundo físico.

De esta manera, ha sido para nosotros necesario buscar o crear el vínculo entre las experiencias térmicas comunes con los estudiantes y experiencias nuevas que les permitan construir explicaciones frente a un fenómeno de estudio; buscando determinar semejanzas, agrupaciones y relaciones entre efectos por medio de variables.

Por otra parte, dentro de las condiciones específicas en las cuales se tienen que desarrollar experiencias nuevas para su vinculación en las descripciones que se hacen en física, ha sido necesario retomar aquellos autores que han organizado los fenómenos térmicos. Por este motivo se ha estudiado la obra de Carnot para comprender como es posible los procesos isotérmicos y adiabáticos.

Debido a que las experiencias como las de Carnot se basan en sustancias hipotéticas, ha sido necesario volver a ser moldeadas para la actualidad en el contexto de enseñanza, lo que conlleva a que se puedan configurar distintas propuestas de aula bajo diferentes formas de organizar el conocimiento.

En síntesis, durante la búsqueda de relacionar las experiencias cotidianas de los estudiantes, con las explicaciones realizadas en física, consideramos que se construye el conocimiento en el aula, como señala Arcá & Guidonni (1987, págs. 22-23) es precisamente fragmentar el conocimiento especializado y hacer posible su comprensión cuando se crean criterios para la reconstrucción, generando así nuevo conocimiento.

Reconocemos que toda esta labor es larga y difícil, lo que nos ha exigido buscar caminos que apoyen la construcción de nuestro conocimiento, por ejemplo:

- El estudio en detalle de lo que se expone en los libros de textos y circula como explicaciones de la ciencia

- El análisis y estudio de documentos históricos en la organización de los fenómenos térmicos
- La documentación en artículos académicos con el fin de identificar relaciones entre lo disciplinar y lo pedagógico
- Tener en cuenta distintas posturas alrededor de las explicaciones térmicas
- Charlas con pares académicos
- Reflexiones constantes de aquello que se cree saber y la información nueva que se quiere vincular
- Las prácticas de laboratorio que se llevan a cabo constantemente en las aulas de estudio
- El análisis de las formas en la que se comunican los estudiantes etc.

Todos estos elementos se vinculan en la construcción de nuestro conocimiento, por este motivo no se trata de un método a seguir para llegar al conocimiento, mejor aún, ha sido aquello que surge de considerar lo que ha sido importante para nosotros en el estudio del fenómeno, logrando consolidar explicaciones en la descripción del mundo físico.

7. DISEÑO DE LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES Y SISTEMATIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA DE AULA

En este apartado se detallan las características de la propuesta de enseñanza que como investigadores se construyeron a partir de los criterios mencionados en el anterior apartado. Particularmente, se centró en elementos alrededor del equilibrio entre los cambios térmicos, la relación entre variables: presión, volumen y temperatura; y la correlación entre los cambios térmicos y mecánicos en una máquina térmica. El diseño de las actividades experimentales tiene un papel importante para la presente investigación, ya que posibilita la creación de un escenario en el cual los estudiantes puedan construir sus propias organizaciones conceptuales alrededor de los fenómenos térmicos de contacto. Además, el diseño de las actividades es uno de los productos intelectuales que alimentan nuestro accionar en el aula. Después de la implementación de la propuesta de enseñanza, se realiza la sistematización de la experiencia en el aula, y se realiza la reflexión sobre los criterios de enseñanza en contraste con la clasificación realizada por los estudiantes.

7.1. Diseño de las actividades experimentales

Para el diseño de las actividades que se llevaron al aula se tuvo en cuenta la secuencia que se desarrolló en el marco teórico, de tal forma, la propuesta nace de una organización donde se reconoce la temperatura como variable de estado y culmina en la relación entre lo térmico y lo mecánico para la explicación de las máquinas térmicas. A continuación, se mostrará de manera secuencial los apartados considerados en el diseño y las características que deben tener las actividades a construir:

- Temperatura como variable de estado

Para identificar a la temperatura como variable de estado, es necesario proponer experiencias que permitan asociar:

1. Cuerpos en el mismo estado térmico.
2. Condiciones en donde los cambios térmicos cesen.
3. Deducir que en ausencia de interacciones la temperatura permanece constante.

- La interacción entre los cuerpos

Para poder evidenciar la interacción térmica entre cuerpos, se debe tener en cuenta que el estudiante identifique los siguientes elementos:

1. Siempre se necesita de dos cuerpos en diferente estado térmico.
2. Los cambios de un cuerpo producen cambios en otro cuerpo.

- Las variables que determinan la configuración

Un aspecto importante para conocer la temperatura de equilibrio en los objetos es identificar los cambios de estado térmico en proporción directa con la masa y diferentes estados de temperatura, para esto, las experiencias que se llevan a cabo en el aula tienen las siguientes características:

1. Las variables que intervienen son: la masa, la diferencia de temperaturas, el tipo de sustancia y la fase en la que se encuentran los cuerpos.
2. El equilibrio térmico en los cuerpos depende de la configuración entre las masas y las temperaturas.

- **Las fuentes de calor**

Como se ha podido exponer hasta el momento, el equilibrio-desequilibrio térmico se identifica a través de la configuración de las variables térmicas mencionadas. Existe una configuración particular, cuando cuerpos a diferentes temperaturas interactúan y sus diferencias entre las masas son apreciables, se proponen actividades donde el estudiante identifique:

1. Los cuerpos de gran masa cambian levemente de temperatura, cuando están en interacción con cuerpos de menor masa y se determinan como fuentes de calor.
2. Los cambios térmicos son equivalentes a las acciones térmicas.
3. Las fuentes de calor pueden producir grandes cambios térmicos en otros cuerpos, a su vez que se pueden identificar otros cambios en las variables presión y volumen.

- **Propiedades de los gases**

Un elemento importante es el papel que juega la sustancia que cambia en relación con las variables de estado (Temperatura, Presión y Volumen), por tanto, conocer la naturaleza de los gases es un aspecto para resaltar; por ejemplo, Gay Lussac asemeja a los gases con resortes debido a su gran propiedad elástica, que resultará fundamental para evidenciar la relación entre la presión y el volumen como variables térmicas, vinculadas al uso de las máquinas térmicas.

- **La relación calor trabajo**

Los cambios de temperatura en los cuerpos pueden producir cambios de volúmenes y, por lo tanto, las acciones térmicas pueden producir acciones mecánicas y viceversa.

- **Las máquinas térmicas**

El funcionamiento de las máquinas inicia en reconocer sus partes principales y saber en qué momento intervienen para transformar los gases y producir potencia motriz.

Dentro del diseño también se tienen en cuenta los criterios pedagógicos de tal manera que se privilegian las experiencias comunes de los estudiantes y la propuesta de las nuevas experiencias

que nosotros como docentes planteamos, con el fin de que el estudiante construya sus propias organizaciones conceptuales en las explicaciones de los fenómenos térmicos. Posterior a ello, se generan experiencias de laboratorio, para que el estudiante deduzca relaciones entre las variables por medio de preguntas sobre el equilibrio entre dos objetos a distinta temperatura en interacción térmica.

Recordando que las organizaciones conceptuales de los estudiantes son distintas entre sí, debido a que se encuentran delimitadas por las experiencias que tienen, además, si existe alguna experiencia que no vaya acorde con estas organizaciones, ellos comenzaran a organizar sus conceptos hasta que tengan coherencia. A un mayor número de experiencias tendrán una mayor complejidad, debido a que poseerán mayores elementos para las decisiones que toman al relacionarse con el mundo con el que interactúan. Por tal motivo el papel que juega la práctica experimental como escenario de nuevas experiencias, contribuye a nutrir las organizaciones conceptuales. Al respecto es importante resaltar lo dicho por Arca, Guidoni y Mazzoli sobre lo que significan los procesos de educación en ciencias:

“significa desarrollo de modos de observar la realidad y de modos de relacionarse con la realidad; que esto implica y supone los modos de pensar, los modos de hablar, los modos de hacer, pero sobre todo la capacidad de juntar todos estos aspectos” (1990, pág. 25).

Otro elemento considerado en el diseño es la socialización de las respuestas de los estudiantes, esto con el fin de llegar acuerdos frente a las situaciones planteadas, convirtiéndose el aula en un espacio de exposición de argumentos. A su vez esto permite conocer las diferentes apreciaciones de aquello que no se expresó de manera escrita y hacer un balance general de lo que los estudiantes están organizando.

A continuación, se muestra la estructura de las actividades propuestas:

MOMENTO I - LA TEMPERATURA Y EL EQUILIBRIO EN LOS CAMBIOS

Actividad 1 - Sobre la constancia y la temperatura.

Actividad 2 - La relación entre los cambios en la temperatura.

Actividad 3 - El cambio de fase como cambios térmicos.

Sesión de socialización.

MOMENTO II - FUENTES Y LOS CAMBIOS EN OTRAS VARIABLES TÉRMICAS

Actividad 4 - Las fuentes de calor en la cotidianidad.

Actividad 5 – Cambios de variables térmicas.

ACTIVIDAD 6 – Equivalencia entre fenómenos térmicos y mecánicos.

Sesión de socialización.

MOMENTO III – LAS MÁQUINAS TÉRMICA

Actividad 7 – Las máquinas térmicas.

Sesión de socialización.

Por último, la implementación de la propuesta se desarrolló con dos grupos de estudiantes de grado décimo del Liceo la Sabana situado en la ciudad de Bogotá. El enfoque pedagógico de la institución se basa en el desarrollo de habilidades de pensamiento como: la indagación, uso comprensivo del conocimiento científico y *explicación de fenómenos*, esto con el fin de apoyar a los estudiantes en la solución de las Pruebas Saber¹⁶.

A continuación, se hará explícito cada uno de los momentos con su respectivo análisis de los registros tomados en la implementación de aula.

7.2. Sistematización de la experiencia de aula

La sistematización de la experiencia en el aula se entiende como una actividad de autorreflexión de la práctica docente, en donde se busca determinar el impacto de los criterios en la construcción de organizaciones conceptuales de los estudiantes. Esto implica reunir las respuestas de los estudiantes, leerlas y analizarlas con el fin de encontrar similitudes que conlleven a generar clasificaciones, luego un segundo análisis que permita establecer como eran abordadas las situaciones térmicas, qué tipo de variables eran importantes, cómo se relacionaban y sus implicaciones. Se finaliza este proceso con una reflexión final donde se valora todo trabajo construido en el aula.

¹⁶ Las pruebas Saber son evaluaciones externas estandarizadas aplicadas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación -ICFES-, las cuales evalúan el desempeño alcanzado por los estudiantes según las competencias básicas definidas por el Ministerio de Educación Nacional. Tomado de: <https://www.mineducacion.gov.co/>

Esta sección del documento está organizada de la siguiente manera:

Para cada momento (La temperatura y el equilibrio entre los cambios, Fuentes y los cambios en otras variables térmicas, Las máquinas térmicas) se realiza una introducción a las actividades realizadas, una tabla de objetivos, algunos apartados de las actividades construidas, la clasificación, análisis y reflexiones de las respuestas de cada momento; se finaliza con una reflexión sobre el proceso.

7.2.1 La temperatura y el equilibrio entre los cambios

A continuación, se hace el análisis del momento I vinculando las actividades: la temperatura como variable de estado y los cambios térmicos están dados por las diferencias de temperatura en proporción a las masas.

Además, se muestra una tabla donde se expresa la temática a estudiar, preguntas que guían el objetivo de la actividad. Posteriormente se expondrán algunos apartados de las actividades y la agrupación de las respuestas de los estudiantes y su análisis.

7.2.1.1 Objetivos y actividades

MOMENTO I	TEMÁTICA	PREGUNTAS	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE ENSEÑANZA	OBJETIVO DE APRENDIZAJE
Equilibrio térmico	La temperatura y el medio	<p>¿Qué cambia?</p> <p>¿Cuándo cambia?</p> <p>¿Cuándo no cambia?</p>	Identificar las ideas de equilibrio y desequilibrio de los estudiantes en situaciones donde los cambios de temperatura de los objetos son debidos al ambiente para establecer la temperatura como variable de estado.	Proponer situaciones donde los cambios de temperatura de los objetos son provocados por el ambiente a distinta temperatura.	Reconocer el equilibrio térmico mediante la interacción entre los objetos y la temperatura ambiente.
	Comportamiento térmico entre sustancias a diferentes temperaturas	¿Cuánto cambia?	Identificar las ideas de equilibrio y desequilibrio de los estudiantes por medio de situaciones donde se requiere inferir la ausencia del medio para reconocer los cambios de temperatura de dos objetos en	Proponer situaciones donde los cambios de temperatura de los objetos son debidos al ambiente y a un tercer objeto para reconocer cuáles	Inferir los cambios de temperatura que no son debidos al ambiente para conocer la temperatura de equilibrio por medio de gráficas donde se registre la evolución de la temperatura de los objetos en interacción.
		¿Cómo cambio?			

			interacción mediante gráficas que muestren los cambios de temperatura.	son los cambios que no son debidos al ambiente.	
Comportamiento térmico entre sustancias a diferentes temperaturas y masas	¿Cuánto cambia?	Identificar las ideas de equilibrio y desequilibrio de los estudiantes en situaciones donde la masa intervenga en los cambios de temperatura de los objetos.	Proponer situaciones donde la masa intervenga en los cambios de temperatura de los objetos.	Comparar los cambios de temperatura de los objetos a iguales y distintas masas para diferenciar puntos de equilibrio térmico por medio de gráficas que registren la evolución de la temperatura.	
	¿Cómo influye?				
Cambios de fase y el equilibrio	¿Cuánto cambia?	Identificar las ideas de equilibrio y desequilibrio de los estudiantes en situaciones donde exista cambio de fase para evidenciar el calor como una variable de acción.	Proponer situaciones donde existan cambios de temperatura y de fase para evidenciar la idea de equilibrio de la interacción térmica entre los objetos.	Contrastar la variación de temperatura y de cambios fase para establecer una igualdad entre cambios de distintos tipos por medio de la interacción térmica entre los objetos.	
	¿Qué cambio?				

Tabla 1 Objetivos de sistematización Momento1 - la temperatura y el equilibrio entre los cambios

Actividad 1 - Sobre la constancia y el cambio en la temperatura

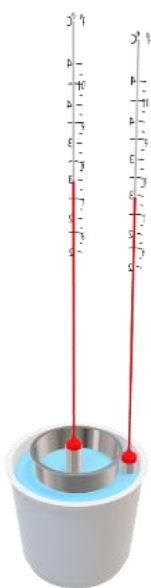
Los estudiantes mediante situaciones cotidianas analizan la temperatura de equilibrio de los objetos y, la interacción que tienen con el ambiente. Además, describen cómo varía la temperatura en cada caso, cuáles son las condiciones que provocan sus cambios y, por último, se realizan preguntas sobre qué pasaría con la temperatura de los objetos si se encuentran totalmente aislados. Por ejemplo:

Situación I

En una mañana fría de Bogotá Juan se encuentra desayunando en la sala de su casa mientras él ve el noticiero, en la sección del clima el presentador afirma que la temperatura ambiente en la ciudad de Bogotá es de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La mamá de Juan en ese momento le lleva agua de panela caliente que se encuentra a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a Juan se le olvida tomársela. (Para más detalle de la actividad puede remitirse a los anexos [pág. 101](#)).

Actividad 2 – Los cambios en la temperatura de cuerpos de igual masa en interacción

En esta actividad los estudiantes experimentan sobre la igualdad entre los cambios de temperaturas de ambas sustancias, por medio de relaciones entre las variables. Asimismo, el estudiante describe los cambios térmicos de dos cuerpos a distintas temperaturas con iguales y diferentes masas, que se ponen en interacción sin que se mezclen. Por ejemplo:



En un recipiente metálico agregar una cantidad de Masa A de agua a una Temperatura A y en otro recipiente de icopor (poliestireno) se tiene otra cantidad de Masa B de agua a una Temperatura B. Cada recipiente cuenta con un termómetro para medir la temperatura de las masas. Cada grupo se encuentra encargado de realizar las mediciones con una temperatura específica de las masas como se muestra en la siguiente tabla.

Grupos	Masa A [g]	Temperatura inicial de A [°C]	Masa B [g]	Temperatura inicial de B [°C]
1	200	90	200	20
2	200	90	200	0
3	200	20	200	0
4	200	20	200	0
5	200	90	200	0
Profesores	200	20	200	20

(Para más detalle de la actividad puede remitirse a los anexos [págs. 102-103](#)).

Actividad 3 - El cambio de fase como cambio térmico

La situación experimental es similar a la actividad anterior, con la diferencia que una de la sustancia se encontraba congelada, mientras que la otra en fase líquida. La actividad pretendía que los estudiantes establecieran el cambio de fase de la sustancia como un cambio térmico, debido a las variaciones de temperatura de otra sustancia, como, por ejemplo:

En un recipiente metálico agregar una cantidad de Masa A de agua a una Temperatura A y en otro recipiente de icopor (poliestireno) se tiene otra cantidad de Masa B de agua a una Temperatura B. Cada recipiente cuenta con un termómetro para medir la temperatura de las masas. Cada grupo se encuentra encargado de realizar las mediciones con una temperatura específica de las masas como se muestra en la tabla de la actividad 2, *sino que cambia los valores de las masas y la diferencia de temperaturas*. Por grupos de estudiantes debe identificar lo mismo de la actividad 2.

(Para más detalle de la actividad puede remitirse a los anexos [págs. 103-105](#)).

Actividad – Socialización

En este escenario se buscaba que los estudiantes compartieran el conjunto de explicaciones que para ellos tuvieran sentido, alrededor de los cambios térmicos de los objetos y sus relaciones con la masa.

- ¿En las actividades planteadas cuándo se hablaría de equilibrio térmico? ¿Cuándo se hablaría de desequilibrio térmico? Justifique su respuesta.
- ¿Cuáles son las condiciones para hablar de equilibrio térmico? ¿Cuáles son las condiciones para hablar de desequilibrio térmico?
- ¿Cuáles son las variables que caracterizan el equilibrio? ¿Cuáles son las variables que caracterizan el desequilibrio térmico? Y ¿Cómo se relacionan estas variables?

(Para más detalle de la actividad puede remitirse a los anexos [pág. 105](#)).

7.2.1.2 Análisis de las respuestas de los estudiantes respecto al momento: la temperatura y el equilibrio entre los cambios

A continuación, se organizan los registros de las respuestas de los estudiantes, con el fin de identificar qué elementos tienen en cuenta para explicar los cambios térmicos y su relación con el equilibrio y desequilibrio térmico.

CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS	DESCRIPCIÓN DE LAS RESPUESTAS
La temperatura como variable para identificar el desequilibrio y equilibrio térmico.	Un grupo de estudiantes reconoce que el equilibrio está dado por una igualdad de las temperaturas, donde no existen cambios térmicos en los cuerpos. Mientras que el desequilibrio está dado por la diferencia de temperatura y si se producen cambios térmicos.
La temperatura como variable para identificar el desequilibrio y equilibrio térmico, donde la masa y la temperatura cambian el punto equilibrio.	Otro grupo de estudiantes mantienen la relación entre la temperatura y el equilibrio - desequilibrio térmico, donde la masa determina la temperatura final de equilibrio.

La temperatura como variable para identificar el desequilibrio y equilibrio térmico, y el tiempo para describir este proceso.	Otro grupo de estudiantes mantienen la relación entre la temperatura y el desequilibrio y equilibrio térmico, donde el tiempo es la variable para alcanzar el estado de equilibrio.
La temperatura como variable para identificar el desequilibrio y equilibrio térmico, y el calor como una variable de interacción.	Otros estudiantes mantienen la relación entre la temperatura y el desequilibrio y equilibrio térmico, y utilizan el calor en relación con la interacción entre los cuerpos a diferentes temperaturas

Tabla 2 – Clasificación de respuestas momento 1 de sistematización – La temperatura y el equilibrio entre los cambios

Se realiza el análisis de las respuestas de los estudiantes alrededor del tipo de respuestas agrupadas. Se citan expresiones textuales de los estudiantes que permiten tener presente los elementos que toman en cuenta para construir las organizaciones conceptuales.

La temperatura para identificar el desequilibrio y equilibrio térmico.

Los estudiantes reconocen que los cambios de temperatura inician cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos en contacto, y esto lo denominan desequilibrio. Posteriormente, cuando los cuerpos igualan sus temperaturas, los estudiantes lo reconoce como equilibrio, por ejemplo, un estudiante afirma que:

“Se hace referencia a un desequilibrio cuando hay una diferencia de temperatura entre las dos masas un ejemplo seria poner el café caliente en un lugar frío hay [ahí] tendríamos un desequilibrio gracias a que el café está a una temperatura y el ambiente está a una totalmente diferente y equilibrio a momento en donde las dos masas tienen la misma temperatura en el caso del café caliente en el espacio frío va a ver un momento en el que el café se comience a enfriar hasta llegar a la temperatura del ambiente” **Respuesta de un estudiantes durante la actividad 1.**

Se puede identificar que los estudiantes transforman las situaciones específicas a generalizaciones en la descripción de situaciones térmicas para sus explicaciones, lo que permite inferir que las organizaciones se están nutriendo desde la experiencia por medio de su análisis.

La temperatura para identificar el desequilibrio y equilibrio térmico, donde la masa y la temperatura cambian el punto equilibrio.

Otra agrupación de las respuestas es cuando la interacción entre cuerpos a diferentes temperaturas y masas intervienen para definir el equilibrio térmico, donde los cambios de temperatura de cada uno de los objetos no son iguales.

“...dos cuerpos se encuentran a la misma temperatura ocurre una igualdad que se puede llamar como equilibrio térmico, también se puede decir que una masa depende de la otra para concretar un equilibrio térmico y a partir del desequilibrio se puede ajustar la masa o la temperatura para llegar a una igualdad determinada...” **Respuesta de un estudiante durante la actividad 2.**

Los estudiantes siguen reconociendo el equilibrio como una igualdad de temperaturas, sin embargo, encuentra que la masa cambia el punto de equilibrio. Aunque dicha relación no es clara, en términos de relación matemática, el estudiante al afirmar que la masa o la temperatura se “ajusta” para cambiar la igualdad en el equilibrio. Porque tiene en cuenta que los cambios térmicos son dependientes de la diferencia de temperatura o de la masa.

La temperatura para identificar el desequilibrio y equilibrio térmico y el tiempo para describir este proceso.

Otro tipo de respuesta hace referencia al tiempo como una variable que interviene en el equilibrio térmico, debido a que se reconoce una evolución temporal en el proceso del cambio de temperatura de cada uno de los objetos. Esto lo podemos evidenciar mediante la siguiente respuesta:

“Las variables que se deben tener en cuenta para obtener un equilibrio o desequilibrio térmico son el tiempo y la masa. Sabemos que a medida que transcurre el tiempo las temperaturas comenzarán a cambiar ya sea aumentando o disminuyendo, pero sin embargo están intentando encontrar un punto de equilibrio, entre más tiempo pase va a ser más fácil encontrar el punto de equilibrio...” **Respuesta de un estudiante durante la actividad 2.**

En las discusiones grupales de la socialización de las actividades con los estudiantes, ellos expresaban que el tiempo transcurría igual siempre y que se iba a llegar al mismo valor de temperatura. Si bien en las magnitudes térmicas no se vincula el tiempo, este hace parte de la

descripción cotidiana de las personas, porque los cambios térmicos en general llevan un proceso y no son eventos que se perciban de forma instantánea.

La temperatura para identificar el desequilibrio y equilibrio térmico, y el calor como una variable de interacción.

En la última agrupación de respuestas, los estudiantes definen el equilibrio térmico por medio de la igualdad de temperaturas entre cuerpos, ampliando en su explicación que no existe transferencia de calor, mientras que el desequilibrio es cuando los cuerpos se encuentran a distintas temperaturas y existe transferencia de calor entre estos.

“Se habla de equilibrio térmico cuando dos sustancias tienen la misma temperatura y se deja de transferir calor. Se habla de desequilibrio térmico cuando en dos sustancias una de ellas proporciona más calor a la otra y viceversa, de tal modo que hay una transferencia de calor entre ellas hasta que se iguale la temperatura del sistema” **Respuesta de un estudiante actividad 4.**

Este tipo de respuestas se deriva de las explicaciones que se encuentran en las fuentes de consulta, por ejemplo,

“El equilibrio térmico se alcanza cuando ambas emiten, y reciben la misma cantidad de calor, lo que iguala su temperatura” Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Equilibrio_t%C3%A9rmico

Esto no permite evidenciar el impacto de las actividades experimentales que se desarrollaron en el aula porque su labor consiste en repetir la información sin realizar un análisis sobre la situación expuesta.

7.2.1.3 Reflexión del primer momento

La mayoría de los estudiantes relacionan que cuando las temperaturas de los cuerpos son diferentes y existe un cambio en éstas al ponerlos en interacción, es un caso de desequilibrio térmico. Y cuando los cuerpos inician un cambio en sus temperaturas, al transcurrir el tiempo llegarán a igualar sus temperaturas, esto se denomina equilibrio térmico.

Dentro de las particularidades encontramos que existen casos donde se construyen generalidades por medio de las variables (temperatura, masa, tiempo). Estas variables se relacionan cuando los estudiantes proponen las condiciones para producir cambios de temperatura, donde la masa y

temperatura determinan el punto de equilibrio térmico. Además, evidencian que para producir cambios es necesario de la interacción entre dos cuerpos a distinta temperatura, y esto les permite denominar el equilibrio y desequilibrio de los cuerpos. Relaciones que esperábamos que se vincularan en la descripción de los fenómenos térmicos.

Este tipo de actividades permiten identificar cuándo las explicaciones de los estudiantes son tomadas de fuentes de consulta habituales, esto se identificó cuando la respuesta caracterizaba el calor con características de transferencia, relaciones que no se expusieron durante las socializaciones. Lo que impide identificar cuáles son las explicaciones de los estudiantes y qué elementos son importante para ellos dentro de sus organizaciones conceptuales.

7.2.2. Fuentes y los cambios en otras variables térmicas

En este segundo momento, se busca identificar que los cuerpos de gran masa sufren pequeñas variaciones de temperatura cuando están en interacción con un cuerpo de poca masa, mientras que éste puede sufrir mayores variaciones. Se espera que los estudiantes determinen que:

- El equilibrio entre los cambios de temperatura se encuentra en proporción con las masas y el tipo de sustancias
- El cambio de fase de una sustancia se encuentra compensada por los cambios de temperatura de otra sustancia, lo que conlleva a que las acciones y efectos térmicos sean iguales, y debido a que los cambios y efectos son iguales, se establece el equilibrio entre sí.
- Los cambios en las variables presión, volumen y temperatura de un cuerpo también compensan los cambios de temperatura de un segundo cuerpo.

7.2.2.1 Objetivos y actividades

MÓDULO	TEMÁTICA	PREGUNTAS	PREGUNTAS ORIENTADORAS	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	OBJETIVO DE ENSEÑANZA	OBJETIVO DEL TRABAJO DE GRADO
Variables en el desequilibrio térmico	Fuentes	¿Cuál cambia más? ¿Cuál cambia menos? ¿Para qué lo Utilizamos?	¿Cuál objeto cambia más y menos de temperatura y en cuál se centraría el análisis?	Comparar los cambios de temperatura de los objetos para reconocer cuál de estos cambia más y menos, en la interacción entre ellos cuando tienen masas y temperaturas diferentes	Identificar que los cuerpos de mayor masa y temperatura no tienden al cambio térmico para establecerlos como fuentes de cambio en otros objetos	Identificar los cambios leves de temperatura en los cuerpos de mayor masa para establecerlos como fuentes de calor.
				Categorizar los objetos según sus masas y temperaturas para establecer fuentes que producen cambios térmicos en otros objetos.		

	Cambios de otras variables	¿Qué otras variables influyen?	¿Qué otras variables influyen en los cambios térmicos de los objetos?	Inferir que existen otras variables relacionadas con la temperatura para evidenciar nuevos cambios térmicos en los objetos	Relacionar las variables presión, volumen y temperatura mediante una idea de equilibrio entre estas variables	Relacionar las variables presión, volumen y temperatura mediante una idea de equilibrio entre estas variables
		¿Cómo se relacionan?	¿Cómo se relacionan estas variables?	Relacionar las variables presión, volumen y temperatura para reconocer un equilibrio entre estas variables		

Tabla 3 . Objetivos de sistematización momento 2 – Fuentes y los cambios en otras variables térmicas

Actividad 4 - Las fuentes de calor en la cotidianidad

Mediante situaciones cotidianas de objetos a distintas temperaturas, donde uno de ellos se caracterizaba por tener mayor masa en relación con el otro objeto, se busca que los estudiantes identifiquen que los cuerpos de mayor masa cambian poco su temperatura, y visualicen otros cambios como la presión y el volumen.

SITUACIÓN I

Una piscina olímpica se encuentra a una temperatura de 20°C y se sumerge una esfera de 1g a 200°C . La misma esfera se sumerge ahora en una pecera de 1l de agua a 20°C . Compare las dos situaciones y describa los cambios de temperatura del agua y de la esfera en cada caso. Justifique su respuesta.

(Para más detalle de la actividad puede remitirse a los anexos [págs. 106-107](#)).

Sesión de socialización

En este espacio se busca llegar a consensos alrededor de las actividades experimentales realizadas, esto con el fin de establecer la temperatura como variable de estado y el calor como acción de cambio en las variables térmicas. En el siguiente cuadro se presentan las siguientes preguntas de socialización.

Preguntas para todas las situaciones

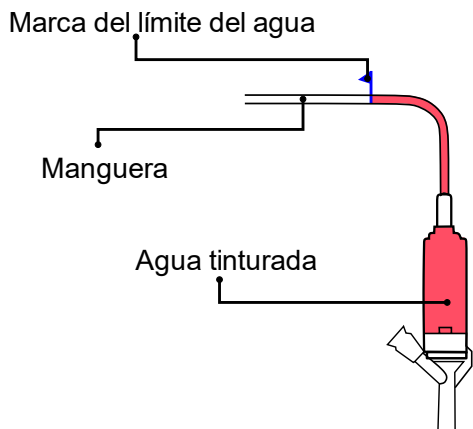
- A. ¿Cómo son los cambios de temperatura de los objetos que tiene mayor masa en comparación con los cambios de temperatura de los objetos de menor masa?
- B. De qué variables físicas dependen los cambios de temperatura en las situaciones anteriores y por qué
- C. Qué condiciones deben tener los objetos en relación con la masa para variar sus temperaturas cuando se ponen en interacción. Describa diferentes situaciones para ejemplificar.
- D. ¿Qué variables físicas ha utilizado en el análisis de las situaciones ejemplificadas? ¿Por qué?
- E. Si tuviera que analizar nuevas situaciones térmicas ¿qué variables utilizaría? ¿Por qué?

Actividad 5 – Cambios de variables térmicas

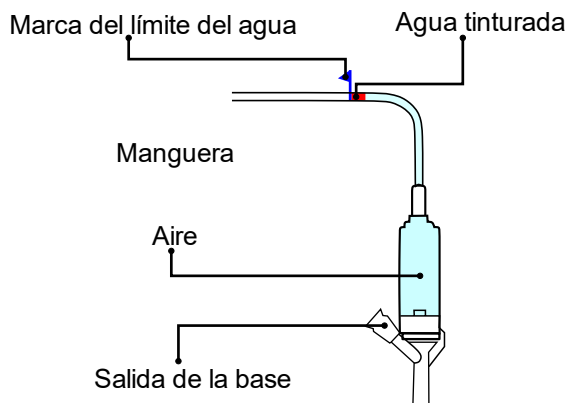
Mediante actividades experimentales se analizan la relación entre los cambios de temperatura en otras variables como la presión y el volumen. En el siguiente cuadro se presenta una parte de la actividad.

A continuación, encontrará dos montajes experimentales en los cuales se utiliza un equipo médico de infusión como se muestra en la siguiente figura

Montaje 1: Llene el dispositivo con agua coloreada como se muestra en la siguiente figura. Marque el volumen que alcanza el agua en la manguera.



Montaje 2: Introduzca en la manguera una gota de agua coloreada como se muestra en la siguiente figura. Esta gota indica el límite al que se encuentra el aire encerrado representado en color azul celeste en la figura. Marque el volumen que alcanza el aire en la manguera.

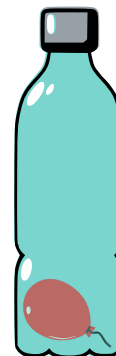


Si el aire y el agua se encuentran a temperatura ambiente y sumergimos los recipientes en agua con hielo analice:

- ¿Qué cambios usted observa en el agua del montaje 1? ¿Qué cambios usted observa en el aire del montaje 2? Describa en detalle lo que está ocurriendo.
- ¿Qué variables utilizaría para describir los cambios observados?

- C. Responda las preguntas anteriores cuando sumerja los recipientes en agua caliente.
- D. Si usted fuera un mecánico que va a sustituir el sistema de pedal de una máquina de coser antigua por un pistón ¿Cuál de las dos sustancias del montaje 1 y 2 utilizaría para hacer mover el pistón? ¿Por qué? Explique

<p>Montaje 3: Ubique en el interior de una botella de plástico un pequeño globo inflado, y posteriormente cierra la botella, como se muestra en la siguiente figura.</p>	<p>Montaje 4: Ubique en el interior de una botella de vidrio un pequeño globo inflado y cierre la botella, al igual que en la siguiente figura.</p>
---	--



Si el aire se encuentra a temperatura ambiente y sumergimos los recipientes en agua con hielo analice:

- A. ¿Qué le está sucediendo al aire debido a la disminución de temperatura en los montajes 3 y 4?
- B. Si se disminuye la temperatura del aire de la botella en el montaje 3 ¿cuáles son los CAMBIOS QUE SE PUEDEN APRECIAR? ¿cuáles son las causas de estos cambios?
- C. Si la botella de vidrio no se deforma ¿Cambia el volumen del globo cuando disminuye la temperatura? Justifique su respuesta ¿Qué otras causas pueden estar generando cambios en el aire y el globo?
- D. ¿Qué ocurre con la presión en los montajes 3 y 4?
- E. Responda las preguntas anteriores cuando sumerja los recipientes en agua caliente

(Para más detalle de la actividad puede remitirse a los anexos [págs. 107-110](#)).

Sesión de socialización

En este espacio se buscaba llegar a consensos alrededor de las actividades experimentales realizadas con el fin de establecer la relación entre el calor con los cambios de temperatura, presión y volumen y, el calor con el trabajo mecánico.

(Para más detalle de la actividad puede remitirse a los anexos [págs. 112-113](#)).

7.2.2.3 Análisis de las respuestas de los estudiantes respecto al momento: fuentes y los cambios en otras variables térmicas

A continuación, se organizan los registros de las respuestas de los estudiantes en dos clasificaciones no comparables, la primera se encuentra en relación con los cuerpos de mayor masa que cambian poco de temperatura y producen grandes cambios de temperatura en cuerpos de menor masa; y la segunda es donde se identifica qué elementos se tienen en cuenta para explicar los cambios térmicos.

CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS	DESCRIPCIÓN DE LAS RESPUESTAS
La masa como variable que determina la cantidad de cambio de temperatura en cuerpos distinta temperatura.	Este grupo de estudiantes reconocen que los cuerpos que poseen mayor masa y temperatura al estar en interacción con cuerpos de menor no cambian térmicamente.

Tabla 4 Clasificación de respuestas momento 2 de sistematización – La temperatura y el equilibrio entre los cambios

Se realiza el análisis de la única posible clasificación de las respuestas de los estudiantes que se pudo realizar. Se citan nuevamente expresiones textuales de los estudiantes que permite tener presente los elementos que toman en cuenta para construir las organizaciones conceptuales.

Los cuerpos de mayor masa y temperatura no tienden al cambio térmico para establecerlos como fuentes de cambio en otros objetos.

En esta agrupación los estudiantes comparan la relación entre dos masas a distinta temperatura para determinar que el cuerpo de mayor masa cambia menos de temperatura que el de menor masa. Además, los cambios de temperatura se pueden tomar como nulos o insignificantes para el cuerpo de mayor masa. Por ejemplo, un estudiante afirma que:

“En los objetos de mayor masa y temperatura a ponerlo con un cuerpo frío o caliente, pero con una masa menor, siempre ganara la grande dando como efecto un cambio mínimo que no se nota. Para dar su cambio tendría que ser un cuerpo mayor con un líquido mucho más grande.”

Respuesta de un estudiante durante la actividad 5.

“Su cambio es casi nulo pues el ser de mayor tamaño y entra contacto con una temperatura menor en un tamaño mucho más reducido no producirá un cambio significativo en el de mayor.”

Respuesta de un estudiante durante la actividad 5.

Los estudiantes expresan que los cuerpos de mayor masa cambian poco de temperatura en contacto con cuerpo de menor masa y diferente temperatura, y que estos cambios, aunque mínimos son perceptibles.

Otro componente importante en este momento es la relación entre los cambios de temperatura en una sustancia que producen cambios en la presión y volumen en otro cuerpo.

CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS	DESCRIPCIÓN DE LAS RESPUESTAS
Existe relación entre los cambios de las variables presión, volumen y temperatura.	Este grupo de estudiantes relaciona que cuando se producen un cambio de temperatura en la sustancia, a su vez se pueden producir cambios en la presión y en el volumen.

Tabla 5 Segunda clasificación de respuestas momento 2 de sistematización – Fuentes y lo cambios en otras variables térmicas

Relacionar las variables presión, volumen y temperatura mediante una idea de equilibrio entre estas variables.

En esta agrupación se evidencia que los estudiantes reconocen que los cambios de temperatura de dos cuerpos en interacción producen nuevos cambios en otras variables (presión y volumen). Por ejemplo, un estudiante afirma que:

“En la manguera se observa una pequeña cantidad de agua en reposo; cuando se inserta el equipo en agua hirviendo la presión actúa contra el haciendo que la gota de agua se desplaza al lado contrario de la punta que toco el agua” **Respuesta de un estudiante durante la actividad 6.**

“Utilizaría la sustancia (gas = aire) del montaje 2, por que el volumen y la presión de este aumentaría, por lo cual la rueda giraría más rápido crea más movimiento y esto es provocado por los cambios de temperatura.” **Respuesta de un estudiante durante la actividad 6.**

Los estudiantes son conscientes de los efectos que están observando en la práctica y utilizan la relación entre los cambios de las variables, presión, volumen y temperatura, configurando el fenómeno y realizando explicaciones sobre éste, como:

- Vinculan el movimiento con los cambios térmicos cuando realizan expresiones como *“cuando se inserta el equipo en agua hirviendo la presión actúa contra el haciendo que la gota de agua se desplaza al lado contrario de la punta que toco el agua”*, este es el tipo de relaciones que vinculan a los fenómenos térmicos con los mecánicos.
- La selección de fase gaseosa de los cuerpos por encima de su fase líquida para producir cambios de volumen debido a los cambios de temperatura, esta precisión se realiza debido a que reconocen la gran elasticidad de los gases.

7.2.2.4. Reflexiones del segundo momento.

En general, los estudiantes determinan que, si la diferencia entre la masa de dos cuerpos que se encuentran en contacto a diferentes temperaturas es muy grande, el cuerpo de mayor masa afecta significativamente al de menor masa. En la socialización de la actividad 4, los estudiantes expresaban que los cuerpos de mayor masa se identificaban como fuentes frías o calientes, pero la discusión giraba alrededor de determinar si al colocarse en contacto con un cuerpo a diferente temperatura, la fuente cambiaba de temperatura, por ejemplo, realizaban expresiones como *“la fuente si tiene cambios de temperatura pero puede ser de 0,00000001 de temperatura”*; mientras que otros estudiantes afirmaban *“que estos cambios al no notarse no existen, y la fuente tenía siempre la misma temperatura”*.

En esta discusión se mediaba de la siguiente manera: los cuerpos de gran masa sí cambian de temperatura, pero estos cambios son extremadamente pequeños, así se puede considerar que la temperatura es constante. Esta postura se tiene en cuenta gracias a los argumentos de Carnot cuando define su idea de cambio infinitesimal en el proceso isotérmico.

Por otra parte, los estudiantes reconocen que los cambios de temperatura entre dos sustancias producen cambios en las variables presión y volumen. Donde los gases debido a su gran elasticidad se pueden aprovechar para producir movimiento.

7.2.3. Las máquinas térmicas

Se busca que los estudiantes vinculen la descripción del funcionamiento de las máquinas térmicas con las actividades anteriores por medio de la relación entre variables. Se espera que los estudiantes relacionen los cambios térmicos con los mecánicos.

7.2.3.1 Objetivos y actividades

MÓDULO	TEMÁTICA	PREGUNTAS	PREGUNTAS ORIENTADORAS	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	OBJETIVO DE ENSEÑANZA	OBJETIVO DENTRO DEL TRABAJO DE GRADO
Equilibrio entre calor y trabajo	Trabajo y calor	¿Cómo cambiar?	¿Qué produce los cambios térmicos? ¿Cómo se relacionan los cambios?	Identificar las fuerzas que producen un movimiento para cambiar las variables térmicas	Establecer una relación entre los efectos mecánicos y térmicos como una primera organización para el estudio de las máquinas térmicas	Establecer el equilibrio entre calor y trabajo mecánico como una primera organización en el estudio de las máquinas térmicas
				Identificar los cambios de temperatura que producen movimiento para encontrar una relación con los efectos mecánicos		

	Máquinas térmicas	¿Cómo se relacionan el calor y el trabajo?	¿Cómo aprovechar el calor para producir trabajo?	Encontrar relaciones entre las variables térmicas para el funcionamiento de las máquinas térmicas.	Organizar las experiencias de los fenómenos térmicos y mecánicos para el estudio de las máquinas térmicas
			¿Cómo explicaría el equilibrio y desequilibrio en una máquina térmica?	Proponer una explicación de una máquina térmica por medio de la idea de equilibrio y desequilibrio	Analizar la idea de equilibrio y desequilibrio propuesta por los estudiantes para explicar las máquinas térmicas.

Tabla 6 - Objetivos momento 3 de sistematización - Las máquinas térmicas

Actividad 7 – Las máquinas térmicas

La actividad de cierre consistía en realizar una lectura diseñada alrededor de las máquinas térmicas y su funcionamiento, donde se encontraban preguntas en relación con las actividades realizadas y si se encontraba alguna idea de equilibrio.

El siguiente cuadro muestra un apartado de la introducción de la actividad propuesta:

En las actividades realizadas en las últimas clases se han estudiado algunos fenómenos térmicos y mecánicos, en la formalización ha sido necesario utilizar distintas variables y sus relaciones para conocer los cambios, y así describir el comportamiento de las sustancias. Para la humanidad estos fenómenos han sido de real importancia, ya que han permitido un avance a nivel tecnológico para la construcción de las máquinas térmicas con el fin de hacer más fácil las tareas del hombre.

A continuación, se han reunido breves apartados acerca de la historia de las máquinas térmicas, donde se identifican algunos elementos desarrollados durante las actividades anteriores y que podrá hacerlo explícito por medio de respuestas a preguntas específicas ubicadas en el texto.

LECTURA - MÁQUINAS TÉRMICAS

Si se pone al fuego una olla tapada que contenga agua, se verá algo muy interesante. Al poco tiempo, la tapa empieza a temblar. Al principio se mueve muy poco, pero algo más tarde baila más rápido sobre la olla.

Este simple y cotidiano experimento es, sin embargo, el origen de unos dispositivos que han transformado el mundo: las máquinas térmicas. ¿Qué es lo que está pasando en la olla? Debido a que el fuego se encuentra a mayor temperatura que el agua, este aumentará la temperatura y la presión del agua a tal punto que comience a evaporarse. Ya que el gas aumenta su presión porque se encuentra encerrado en la olla, llegará el momento donde el peso de la tapa no pueda contener esta presión. Así el gas levantará levemente la tapa de la olla, haciéndola mover y dejando escapar parte del agua en forma de vapor, disminuyendo así la presión y haciendo que la tapa deje de moverse. Debido a que la olla aún se encuentra al fuego, el agua volverá a aumentar de presión, repitiendo el movimiento de la tapa.

(Para más detalle de la actividad puede remitirse a los anexos [págs. 107-110](#)).

Sesión de socialización

Esta sesión, tiene la intención de por medio de una pregunta iniciar la discusión entre los estudiantes en la descripción del funcionamiento de la máquina térmicas.

¿Cómo aprovecharía los cambios en las variables térmicas para generar movimiento mecánico?
Puede identificar en el texto anterior alguna idea de equilibrio y desequilibrio. Explique.

7.2.3.2. Análisis de las respuestas de los estudiantes respecto al momento: las máquinas térmicas.

A continuación, se organizan los registros de las respuestas de los estudiantes, donde se clasifican según los elementos que utilizan en la descripción del funcionamiento de la máquina térmica.

CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS	DESCRIPCIÓN DE LAS RESPUESTAS
La máquina térmica se encuentra internamente en desequilibrio térmico.	Este grupo de estudiantes reconoce el condensador y el calentador como elementos constituyentes de una máquina térmica, por este motivo determinan que existe desequilibrio.
Cambios en las variables térmicas causados por cuerpos a distinta temperatura en la máquina térmica	Este grupo de estudiantes relaciona que cuando hay cambio de temperatura en la sustancia, causado por un cuerpo caliente o frío, se produce un cambio en la presión y el volumen.
Relación entre calor, trabajo mecánico y movimiento.	Este grupo de estudiantes relacionan que, para el funcionamiento de la máquina térmica, el calor produce cambios de temperatura y estos producen cambios de volumen y así se produce trabajo mecánico.
El calor como idea de cambio en las variables térmicas	El estudiante establece el calor como una medida de los cambios en las variables, presión, volumen y temperatura. Además, expone que el cambio tiene una direccionalidad y que los cuerpos de mayor masa afectan en mayor medida a los cuerpos de menor masa. Los cambios en las variables térmicas

	(Calor) son iguales al movimiento mecánico y por eso existe una relación entre sí.
--	--

Tabla 7 Clasificación de respuestas momento 3 de sistematización – Las máquinas térmicas

Se realiza el análisis de las respuestas de los estudiantes alrededor del tipo de respuestas agrupadas. Se citan expresiones textuales de los estudiantes que permite tener presente los elementos que toman en cuenta para construir las organizaciones conceptuales.

La máquina térmica se encuentra internamente en desequilibrio térmico.

De la lectura propuesta un grupo de estudiantes identifica un cuerpo caliente y uno frío dentro de la máquina térmica, por este motivo los estudiantes consideran que la máquina en su funcionamiento permanece en desequilibrio térmico:

“En una máquina térmica siempre se necesita un flujo de calor y dos partes de esta que estén a diferentes temperaturas (el condensador y el calentador) **en este caso no se puede hablar de un equilibrio térmico, siempre se va a presentar un desequilibrio**, va a ver una parte caliente y otra fría.” **Respuesta de un estudiante durante la actividad 7.**

El equilibrio y desequilibrio térmico debido a la distinta temperatura del condensador y del calentador le permiten al estudiante identificar el desequilibrio térmico, esto coloca de presente que para comprender las máquinas térmicas es necesario identificar las partes de ésta y establecer en qué condiciones térmicas se encuentran, aquí se vinculan generalizaciones que construye el estudiante para la comprensión del funcionamiento máquina térmica.

Cambios en las variables térmicas causados por cuerpos a distinta temperatura en la máquina térmica

Los estudiantes hacen referencia al condensador y la caldera como cuerpos de distinta temperatura que afectan térmicamente la sustancia, sus descripciones se relacionan por medio de los cambios entre las variables temperatura, presión y volumen:

“El papel de la caldera en la máquina es de calentar el gas para que se dilate y así aumentar la presión para que el pistón se mueva, en el caso del condensador este sirve para enfriar el gas y así comprimirlo, esto para disminuir la presión y que el pistón baje. Se puede asociar con la actividad del tubo de infusión ya que el este cuando la temperatura aumenta el volumen del gas aumenta moviendo hacia arriba el líquido, y cuando se enfría el líquido baja, también se asocia con el de la

botella y el globo ya que en este la presión es un factor esencial.” **Respuesta de un estudiante durante la actividad 7.**

Los estudiantes utilizan las experiencias que han tenido durante las actividades anteriores (práctica experimental momento 2) y las vincula como parte de su argumentación en el funcionamiento de la caldera y del condensador de una máquina térmica. También, los estudiantes reconocen la caldera, el condensador como partes de la máquina térmica encargadas de dilatar y comprimir el gas para que el pistón suba o baje, de aquí se analiza que:

- Para comprender las máquinas térmicas es necesario identificar las partes de ésta, su función y las condiciones térmicas en las que se deben encontrar.
- El comportamiento del gas se describe por medio de las relaciones entre las variables presión, volumen y temperatura.

Relación entre Calor y trabajo mecánico

Los estudiantes relacionan que el calor genera cambios de temperatura y estos a su vez producen cambios de volumen para producir trabajo mecánico. Esto lo podemos evidenciar:

“En estos casos se establecen las variables trabajo y calor debido a que para que funcione un mecanismo debe haber un calor que haga aumentar la temperatura de un gas y este se dilate y produzca trabajo y haga mover pistones, es decir sin calor no habría un movimiento de los pistones.” **Respuesta de un estudiante durante la actividad 7.**

Se identifican las relaciones entre el calor y los cambios de temperatura, con los cambios de volumen, esta es la relación que produce movimiento y que los estudiantes asocian con la producción de trabajo mecánico por medio de fenómenos térmicos. De igual modo, si no hay presencia de calor no existirán efectos en la sustancia y no se produce trabajo mecánico. Así el estudiante relaciona variables de estado (presión, volumen y temperatura) con variables de acción (calor y trabajo mecánico). Estas son generalizaciones construidas por los estudiantes similares a la realizadas por Carnot.

El calor como idea de cambio de las variables térmicas y encargado de la direccionalidad.

El estudiante en este caso expresa que el calor es equivalente al cambio de presión, volumen y temperatura, que generan los cuerpos de gran masa a los de menor masa. Como el calor es igual a

los cambios, entonces la direccionalidad está determinada por la cantidad de masa que tiene un cuerpo. Por último, el calor produce cambios en las variables térmicas y esto produce movimiento, en consecuencia, el calor es igual al trabajo mecánico.

“Pues bueno, el calor siempre va a ser definido como la medida de los CAMBIOS que posee una sustancia con relación a las variables temperatura, presión y volumen. Es decir, cada vez que hablemos de la variable calor (Q) necesitamos tener en mente que $Q = \text{CAMBIO}$; y como dato extra, este solamente se dirige en una misma dirección y el de mayor masa afecta al de menor... En palabras más simples, el calor genera cambios de temperatura, presión y volumen, esto es igual a movimiento por lo cual es trabajo mecánico; está es la forma en que se conectan” **Respuesta de un estudiante durante la actividad 7.**

La expresión *calor como cambio*, está influida por las socializaciones del primer y segundo momento, fue necesario exponer como docentes qué se entendía por calor, debido a que se exigió por parte de los estudiantes explicitar el calor y sus transformaciones, con el fin de cumplir con el plan de estudio. Esta explicitación conllevó a recuperar todas las experiencias y explicaciones que han tenido los estudiantes en las actividades anteriores, con el motivo de construir el concepto de calor por medio de lo que exponían los estudiantes.

El estudiante determina la dirección de los cambios por medio de los cuerpos de grandes masas, vinculando la actividad de las fuentes de calor para establecer cambios en otros cuerpos. Recordando que se ha planteado desde el marco teórico que los cambios son equivalentes a los efectos, por lo que no existe preferencia en una dirección, esto nos genera la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los argumentos para determina la direccionalidad del calor?

El estudiante identifica las variables térmicas con variables de cambio, pero no se explicita la dependencia entre las mismas, sin embargo, no es posible identificar cuáles son los casos específicos que lo llevan a esta generalización, lo que no hace posible profundizar en el análisis de la respuesta.

7.2.3.3 Reflexiones del tercer momento

En las organizaciones que los estudiantes han realizado para la explicación de la máquina térmica ven necesario, la identificación de variables, la relación entre ellas y la condición para producir cambios en la sustancia:

- Las partes principales para el funcionamiento de la máquina térmica: caldera, condensador, pistón y gas
- La función que desarrolla cada una de las partes de la máquina térmica (calentar, enfriar, dilatación, compresión)
- Las condiciones térmicas en las que se deben encontrar (presión, volumen y temperatura).
- Estas son las posibilidades que han permitido la actividad experimental, donde por medio de situaciones escogidas han surgido explicaciones desde experiencias específicas.
- Del análisis de las respuestas se han podido inferir argumentos similares a los expuestos por Carnot, por ejemplo:
- Los estudiantes vinculan los cambios de temperatura con los cambios de volumen, y estos efectos son los que producen movimiento
- Se identifica que las máquinas funcionan entre dos temperaturas distintas, dadas por la caldera y el condensador.
- Por último, se ha evidenciado que las explicaciones de los estudiantes se enriquecen por las actividades desarrolladas en el primer y segundo momento, debido a que traen elementos para explicar el funcionamiento de la máquina térmica.

7.3. Síntesis del proceso de sistematización

El análisis realizado sobre las elaboraciones de los estudiantes en cada uno de los momentos de la propuesta de enseñanza nos permite reconocer las organizaciones conceptuales de los estudiantes, cuando construyen explicaciones de las experiencias específicas diseñadas para describir situaciones térmicas haciendo énfasis en la relación entre variables. A continuación, se realiza una síntesis de las organizaciones conceptuales de los estudiantes:

- La temperatura como variable para identificar el equilibrio térmico
- La diferencia de temperatura como condición para que existan cambios en la presión, volumen y temperatura de los cuerpos.
- El comportamiento de los gases (como la dilatación, compresión, aumento y disminución de temperatura y cambios en la presión) por medio de las variables masa, presión, volumen y temperatura.
- La relación entre las variables y sus consecuencias, por ejemplo, cuando identifican que los cuerpos cambian de volumen al cambiar de temperatura les permite a los estudiantes

identificar que es posible generar movimiento y hace parte de la descripción del funcionamiento de la máquina térmica.

- La interacción entre cuerpos a diferente temperatura como la caldera y el condensador, que conlleva al gas a un proceso de transformación física.
- Las partes más relevantes de la máquina, la función que cumplen y las condiciones en las que se deben encontrar.

Esto ha sido posible por medio de las actividades experimentales, las cuales tuvieron diferentes propósitos en la propuesta. El análisis inicial de experiencias cotidianas como primer puente entre las experiencias conocidas y la comprensión del funcionamiento de la máquina térmica por medio de procesos en la transformación del gas, es decir, iniciar con experiencias conocidas permitió identificar la temperatura como variable que condiciona la interacción entre cuerpos, y esto permitió ir construyendo explicaciones en los estudiantes acerca de los fenómenos térmicos. Este camino se sigue construyendo a través de experiencias nuevas en situaciones específicas mediante preguntas puntuales que se socializan en el aula, la creación de espacios de discusión para generar consensos que se ven reflejados en el tipo de respuesta de los estudiantes, hacer perceptibles efectos que no son comunes en la experiencia cotidiana, preguntas que propicia la organización de las nuevas experiencias cuando se busca explicaciones de situaciones concretas para realizar generalizaciones.

Por otra parte, en la medida que se avanza en la propuesta de aula y se siguen abordando más experiencias desde lo térmico, el tiempo como variable desaparece en la descripción del proceso por el cual se alcanza el equilibrio de temperaturas en los fenómenos térmicos a estudiar, y se enfoca la mirada en el comportamiento de las variables presión, volumen y temperatura para describir el comportamiento térmico de los cuerpos.

Esto conlleva a que, en la explicación de la máquina térmica, que realizan los estudiantes, el equilibrio y desequilibrio no haga parte transversal de su descripción, simplemente resulta ser un principio que está presente debido a que existen diferentes temperaturas en algunas partes de la máquina térmica.

Por último, este tipo de actividades permiten identificar cuándo no existe interés por parte de los estudiantes, cuándo se limitan a resolver las preguntas planteadas desde la información que encuentra en las fuentes de consulta sin realizar un análisis, de igual forma no es posible identificar

que existe consciencia en la construcción del fenómeno y conlleva a no poder inferir las organizaciones conceptuales que ellos tienen.

8. REFLEXIONES FINALES

En este trabajo se propuso establecer criterios disciplinares, pedagógicos y epistemológicos por medio del diseño, construcción y sistematización de una propuesta de enseñanza basada en la idea de equilibrio y desequilibrio del calórico propuesta por Sadi Carnot. Para esto, se profundizó en la explicación de los fenómenos térmicos de contacto a distinta temperatura y la relación entre las acciones térmicas y las mecánicas. Estos aspectos fueron importantes frente a cómo se abordó las preguntas de investigación: ¿cuál es la propuesta de Carnot en relación con el equilibrio -desequilibrio del calórico con las cuales describe la máquina térmica? y ¿cuáles son las organizaciones conceptuales que establecen los estudiantes cuando realizan análisis de situaciones térmicas desde la idea de equilibrio – desequilibrio?

En el análisis de la obra de Carnot, fue importante los efectos del calor para identificar la interacción entre cuerpos a distinta temperatura, donde la diferencia de temperatura es la condición para producir los cambios en las variables térmicas (presión, volumen y temperatura). De este modo se inició la relación entre variables donde el equilibrio y desequilibrio de los cambios cruza la organización de todo nuestro fenómeno de estudio, y a su vez permitió consolidar variables de acción o cambio como el calor y el trabajo mecánico. Esta organización dio paso a explicar los procesos isotérmicos y adiabáticos del ciclo de Carnot, además, del funcionamiento general de la máquina térmica. Todo esto permitió construir los criterios disciplinares, entre los que se destacan:

- La temperatura como variable para identificar el equilibrio térmico
- La diferencia de temperatura como condición para que existan cambios en la presión, volumen y temperatura.
- Los cambios ínfimos de temperatura que tienen los cuerpos de gran masa cuando entran en contacto con otros cuerpos de menor masa y a distinta temperatura ocurren porque los primeros cuerpos son las fuentes de calor o frío.
- En el proceso isotérmico existe contacto entre cuerpos a distintas temperaturas con la condición de que esta diferencia sea infinitesimal. A su vez, esto muestra la dificultad de llevar a la práctica el contacto de cuerpos con diferencias tan pequeñas, por lo que el proceso isotérmico termina siendo una idealización.
- Las acciones mecánicas producen cambios térmicos en condición de aislamiento térmico, como ocurre en el proceso adiabático.

- Las condiciones en las que se deben encontrar las partes generales en una máquina térmica para su funcionamiento óptimo son: la diferencia de temperaturas de la fuente caliente y fría en relación con la sustancia termométrica; el pistón móvil donde se encontrará ubicada la sustancia termométrica debe permitir el equilibrio térmico en el proceso isotérmico y el aislamiento térmico en el proceso adiabático; así como determinar cuando la compresión o la dilatación es realizada por el gas o por una fuerza externa.
- La potencia motriz o el trabajo mecánico son mayores cuando las expansiones y compresiones en los gases se realizan a mayores temperaturas; esto en relación con los procesos isotérmicos y adiabáticos determinan la eficiencia de una máquina térmica dada por las diferencias de temperatura de las fuentes.

Por otra parte, la construcción de la propuesta de enseñanza se generó a partir de nuestra organización del fenómeno térmico de estudio, donde las actividades buscaron propiciar en los estudiantes relaciones entre variables, esto es posible siempre y cuando se lleven condiciones específicas para crear experiencias nuevas, lo que determina un proceder disciplinar en el aula, constituyéndose en el criterio pedagógico.

Esta forma organizar el fenómeno y la búsqueda de crear el vínculo entre experiencias cotidianas y las experiencias nuevas para los estudiantes, son las que conllevan a la construcción de nuestro conocimiento; este modo de proceder propicia distintas alternativas de acción en el aula, y ha permitido abrir la visión de nuestra labor docente debido a que posibilita configurar distintas propuestas a desarrollar dentro del aula, lo que conlleva a generar aportes específicos en la enseñanza de la física.

Además, la construcción de conocimiento se encuentra mediada por distintos ámbitos como lo son: las discusiones llevadas en las asesorías del trabajo de grado, las lecturas realizadas de los estudios históricos, la construcción de actividades experimentales, entre otros. Lo que nos permitió identificar elementos para organizar los tipos de relaciones entre variables sin recurrir a una guía que nos ilustrara de un paso a paso a seguir, creando un hilo conductor entre la experiencia común y nuevas experiencias

Las actividades se llevaron a la práctica con el fin de reconocer el impacto de los criterios en las organizaciones conceptuales de los estudiantes. Fruto de la sistematización de las experiencias, se

han expuesto las relaciones que son importantes para ellos en la explicación del mundo físico. Esto posibilita identificar otras reflexiones en el desarrollo de este trabajo como lo son:

La propuesta de aula permitió en los estudiantes la identificación de variables y sus relaciones para describir el fenómeno, así como determinar las consecuencias que esto lleva; por ejemplo, la relación entre los cambios de temperatura para producir cambios de volumen, como principio de funcionamiento de una máquina térmica. Descripciones semejantes a las realizadas por Carnot para la máquina térmica. Esto es relevante debido a que expresa formas similares de ver, relacionar y explicar el mundo por medio de variables y relaciones entre ellas en situaciones térmicas concretas. como dice Arcá & Guidonni (1987, pág. 25) de esto se trata la educación científica, de encontrar criterios con que proceder y poder establecer “modos de relacionarse con la realidad, que supone modos de pensar, modos de hablar, modos de hacer, pero sobre todo la capacidad de juntar todos estos aspectos”.

Generar un espacio en el que se relacionen las experiencias ya vividas con experiencias nuevas, por medio de preguntas que propicien su organización. El espacio se enriquece cuando se entrelazan las explicaciones de los estudiantes en el aula, donde se compartieron las relaciones que ellos tenían en cuenta para explicar o argumentar los efectos térmicos percibidos, llevando a consensos que se ven reflejados en la agrupación de respuestas; reflejando que la propuesta permite que el estudiante sea consciente del fenómeno debido a que realiza descripciones sobre éste vinculando su experiencia. A su vez permite visualizar que la intención no es encontrar una respuesta verdadera, sino de llegar a consensos sobre las distintas formas que los estudiantes organizan su conocimiento; por ejemplo, al identificar si existe o no cambio de temperatura en un cuerpo de gran masa cuando entra en contacto con un cuerpo de menor masa y distinta temperatura, ambas explicaciones se tienen en cuenta, similar a la forma en la que Carnot plantea las diferencias de temperaturas infinitesimales para determinar las condiciones en las que se debe colocar un gas en un proceso isotérmico. Esto es importante, debido a que la profundización disciplinar permite tomar decisiones en la construcción de explicaciones de los estudiantes.

Así, el trabajo experimental crea las condiciones en las cuales se propician y enriquecen las organizaciones conceptuales propias de los estudiantes en la descripción del mundo físico, sin la necesidad de repetir la información de los libros de texto; ya que los estudiantes toman elementos

de las nuevas experiencias y terminan proponiendo generalizaciones que les permiten explicar u argumentar los fenómenos expuestos.

En el análisis realizado en la sistematización, los estudiantes hacen referencia al equilibrio como la igualdad de temperatura de los cuerpos, que en una diferencia de temperatura existe el desequilibrio debido a que evidencian cambios que pueden dar cuenta a medida que transcurre el tiempo, además, los cuerpos en aislamiento térmico permanecen a la misma temperatura. Mientras que, para nosotros como docentes, además de este equilibrio de temperaturas, identificamos un nuevo equilibrio en la igualdad de los cambios térmicos; lo que nos permitió estructurar la construcción del marco teórico y poder así construir criterios para una propuesta de aula.

9. BIBLIOGRAFÍA

Arcá, M., & Guidoni, P. (1987). Guardare per sistemi, guardare per variabili: un approccio alla fisica e alla biologia per la scuola dell'obbligo. [Observar sistemas observar variables: una aproximación a la física y la biología para la escolarización obligatoria]. Roma: Emme Edizioni.

Arcá, M., Guidoni, P., & Mazzoli, P. (1990). Enseña ciencia: Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base. Paidós educador.

Ayala, M. (2006). Análisis histórico crítico y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. Pro-Posições, Campinas, SP, v. 17, n. 1.

Black, J. (2014). Del calor en general [Traducción de Ayala, M. & Romero, A.]. Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias, 125-130.

Camelo Bustos, F. J., & Rodriguez Sotelo, S. J. (2008). Una revisión histórica del concepto de calor: algunas implicaciones para su aprendizaje. v.23. TECNÉ, EPISTEME Y DIDAXIS.

Carnot, S. (1987). Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego [Traducción Javier Ordoñez]. Madrid: Alianza.

Cividanes, J. (2006). CIENCIA E IDEOLOGÍA: APUNTES PARA UN DEBATE EPISTEMOLÓGICO. Revista Argentina de Sociología, 32 - 49.

Fishbane, P., Gasiorowicz, S., & Thornton, S. (1993). FÍSICA PARA CIENCIAS E INGENIERIA. Nueva Jersey: Prentice Hall.

Giordan, A., & de Vecchi, G. (1995). Los orígenes del saber: de las concepciones personales a los conceptos científicos. Sevilla: Día editora.

Glaserfeld, E. v. (1997). Aspectos del constructivismo radical. En M. Pakman, CONSTRUCCIONES DE LA EXPERIENCIA HUMANA. Gedisa.

Hanson, N. (1989). OBSERVACIÓN. En L. Olivé, & A. Rnsanz, Filosofía de la ciencia: teoría y observación. Siglo XXI.

Hernández, J. (2018). Propuesta de enseñanza orientada en la diferenciación de calor y temperatura [Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Física]. Bogotá DC: Universidad Pedagógica Nacional.

Lavoisier, A. (1798). Tratado Elemental de Química. Tomo I. Madrid.

Lavoisier, A. (2021). Memoria sobre el flogisto. En A. Lavoisier, Fenomenología de la transformación de las sustancias [Elaborado: Sandoval, S. & Aldana, J.] (págs. 49-68). Bogotá DC: Universidad Pedagógica Nacional.

Lavoisier, A., & Laplace, S. (2015). Memoria sobre el calor [Traducción: Garzón, M.]. Física y cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias. No.9, 133-130.

Lazo Cividanes, J. (2006). Ciencia e ideología: apunte para un debate epistemológico. Revista Argentina de Sociología, 32-49.

Mach, E. (1948). Conocimiento y error [Traducción de Cortés Pla]. Argentina: Espasa - Calpe.

Magie, W. (1969). Black: Life. Specific Heat. Latent Heat. Of vapour and vaporisation . En W. Magie, A source book in physics (págs. 134-146). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Magie, W. (1969). Gay - Lussac: Life. The Expansion of Gases by Heat. En W. Magie, A source book in physics (págs. 165-172). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Magie, W. (1969). Mariotte: Life. Relations of Pressure and Volume of Air. En W. Magie, A source book in physics (págs. 88-92). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Malagón Sánchez, J. F., Ayala Manrique, M. M., & Sandoval Osorio, S. (2011). El experimento en el aula. Bogotá D.C.: Universidad Pedagógica Nacional.

Malagón, F., Sandoval, S., & Ayala, M. (2013). La actividad experimental: Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Praxis Filosófica, 119-138.

Núñez, H. (2007). Física II. Un Enfoque Constructivista. México: Pearson Educación.

Pedreros, R., & Castillo, J. (2007). La organización de los fenómenos térmicos. [Módulo de trabajo]. Bogotá DC: Universidad Pedagógica Nacional.

Pozo, I., & Gómez, M. (2009). Aprender y enseñar ciencia Del conocimiento cotidiano al científico. En I. Pozo, & G. Miguel, Aprendizaje de la física (págs. 205 - 235). Madrid: Edicioens Morata.

Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (1998). FÍSICA 1. Compañía Editorial Continental.

Sonntag, R., Borgnakke, C., & Van Wylen, G. (2002). Fundamentos de termodinámica.
WILEY.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2005). FÍSICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Vol.
1. Reverte ediciones.

10. ANEXOS

PROPUESTA DE AULA

MOMENTO I - LA TEMPERATURA Y EL EQUILIBRIO EN LOS CAMBIOS

ACTIVIDAD 1 - SOBRE LA CONSTANCIA Y LA TEMPERATURA.

OBJETIVO

- Describir los cambios de temperatura de los objetos para reconocer el equilibrio térmico mediante la interacción de los objetos con el medio.

PREGUNTAS ORIENTADORAS: ¿Qué cambia en los objetos cuando existe interacción térmica entre los objetos y el medio? ¿Cuál es la condición necesaria para que los objetos cambien térmicamente en su interacción con el medio?

A continuación, encontrará dos situaciones cotidianas donde se analizarán el comportamiento térmico de los cuerpos.

Situación I

En una mañana fría de Bogotá Juan se encuentra desayunando en la sala de su casa mientras él ve el noticiero, en la sección del clima el presentador afirma que la temperatura ambiente en la ciudad de Bogotá es de 5 °C. La mamá de Juan en ese momento le lleva agua de panela caliente que se encuentra a 50 °C y a Juan se le olvida tomársela.

Situación II

Al medio día de un domingo Laura quiere salir al parque, antes de salir revisa el celular y observa que Bogotá se encuentra a una temperatura 23 °C. Si Laura, al llegar al parque compra un helado que se encuentra a 0°C, pero éste cae al suelo.

Responda las siguientes preguntas para ambas situaciones:

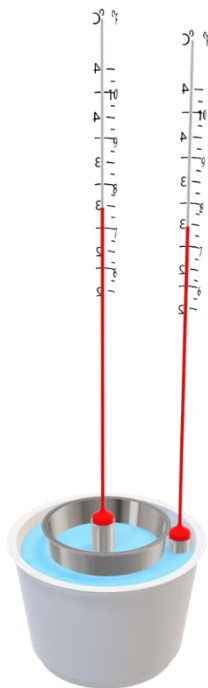
- Describa que le ocurre a la temperatura de estos alimentos hasta llegar al valor mínimo o máximo según el caso.

- ¿Cuáles son las **causas** que provocan los cambios de temperatura de los dos alimentos (agua de panela y helado)? En otras palabras, por qué cambia la temperatura de los alimentos.
- ¿Por qué los alimentos dejan de cambiar su temperatura?
- ¿Cuál sería la temperatura máxima y mínima del agua de panela y del helado? ¿Por qué?
- ¿Qué pasaría con la temperatura de los alimentos si ambos se encuentran totalmente aislados de cualquier ambiente y objeto? Justifique su respuesta.

ACTIVIDAD 2 - LA RELACIÓN ENTRE LOS CAMBIOS EN LA TEMPERATURA.

OBJETIVO

Inferir los cambios de temperatura que no son debidos al ambiente para conocer la temperatura de equilibrio por medio de gráficas donde se registre la evolución térmica de los objetos en interacción.



Creación propia. Imagen usada para el montaje experimental actividad 2 y 3

PREGUNTAS ORIENTADORAS:

¿Cuánto es el cambio de temperatura de los objetos en la interacción térmica con otros objetos a diferentes temperaturas? ¿Cómo es el cambio de temperatura entre dos objetos a diferentes temperaturas cuándo el medio influye en la interacción

En un recipiente metálico agregar una cantidad de Masa A de agua a una Temperatura A y en otro recipiente de icopor (poliestireno) se tiene otra cantidad de Masa B de agua a una Temperatura B (Ver figura). Cada recipiente cuenta con un termómetro para medir la temperatura de las masas. Cada grupo se encuentra encargado de realizar las mediciones con una temperatura específica de las masas como se muestra en la siguiente tabla.

Grupos	Masa A [g]	Temperatura inicial de A [°C]	Masa B [g]	Temperatura inicial de B [°C]
1	200	90	200	20
2	200	90	200	0
3	200	20	200	0
4	200	20	200	0
5	200	90	200	0
Profesores	200	20	200	20

- Registre en una nueva tabla los valores de la temperatura de cada masa haciendo uso de un termómetro, cada 30 segundos durante 10 minutos. Registre en una misma gráfica los valores de temperatura en función del tiempo para cada una de las masas.
- ¿Cuál sería la temperatura final de las masas si estuvieran aisladas del ambiente? ¿Cuánto sería el cambio de la temperatura de A y la temperatura de B para cada caso?
- ¿Los cambios de la masa A son diferentes o iguales a los de la masa B? Explique su respuesta

ACTIVIDAD 3 - EL CAMBIO DE FASE COMO CAMBIOS TÉRMICOS.

OBJETIVOS

- Comparar los cambios de temperatura de los objetos a iguales y distintas masas para diferenciar puntos de equilibrio térmico por medio de gráficas que registren la evolución de la temperatura

PREGUNTAS ORIENTADORAS: ¿Cuánto es el cambio de temperatura de los objetos en la interacción térmica con otro objeto a diferentes temperaturas? ¿Cómo influye la masa de los objetos en el equilibrio térmico entre objetos a diferentes temperaturas?

En un recipiente metálico agregar una cantidad de Masa A de agua a una Temperatura A y en otro recipiente de icorpor (poliestireno) se tiene otra cantidad de Masa B de agua a una Temperatura B. Cada recipiente cuenta con un termómetro para medir la temperatura de las masas. Cada grupo se encuentra encargado de realizar las mediciones con una temperatura especifica de las masas como se muestra en la siguiente tabla. La disposición de los elementos es similar al de la actividad 2.

Grupos	Masa A (g)	Temperatura inicial de A (°C)	Masa B (g)	Temperatura inicial de B (°C)
1	200	0	150	20
2	200	0	130	20
3	200	0	110	20
4	200	0	90	20
5	200	0	70	20
Profesores	200	20	20	20

- Registre en una nueva tabla los valores de la temperatura de cada masa haciendo uso de un termómetro, cada 30 segundos durante 10 minutos. Registre en una misma gráfica los valores de temperatura en función del tiempo para cada una de las masas.
- ¿Cuál sería la temperatura final de las masas si estuvieran aisladas del ambiente? ¿Cuánto sería el cambio de la temperatura de A y la temperatura de B para cada caso?
- ¿Los cambios de la masa A son diferentes o iguales a los de la masa B? Explique su respuesta
- ¿Qué pasa con los cambios de temperatura si las masas en interacción son iguales? ¿Qué pasa con los cambios de temperatura si las masas en interacción son diferentes? ¿Cómo afecta la masa en los cambios de temperatura de objetos a diferentes temperaturas?

CAMBIOS DE FASE Y EL EQUILIBRIO

OBJETIVOS

- Contrastar la variación de temperatura y de cambios de fase para establecer una igualdad entre cambios de distintos tipos.

PREGUNTAS ORIENTADORAS: ¿Cuánto es el cambio de temperatura de los objetos en la interacción térmica con otro objeto a diferentes temperaturas? ¿Qué otros cambios producen la interacción térmica de los objetos a distintas temperaturas?

En un recipiente metálico se tienen 30 g hielo (Masa A) que se encuentra a 0°C y en otro recipiente de icopor (poliestireno) se tiene agua (Masa B) a temperatura ambiente. Cada recipiente cuenta con un termómetro para medir la temperatura de las masas. Cada grupo se encuentra encargado de realizar las mediciones con una temperatura específica de las masas como se muestra en la siguiente tabla. (la disposición de los elementos es similar al de la actividad 2). Tome la temperatura final de la masa B cuando el hielo se haya derretido por completo. En caso tal de que no se haya derretido el hielo y la temperatura de la masa A y B sean iguales detenga la medición y tome los valores correspondientes.

Grupo	Masa A (Hielo) [g]	Temperatura inicial de A [°C]	Masa B [g]	Temperatura inicial de B [°C]	Temperatura final de A [°C]	Temperatura final de B [°C]	Masa de hielo sin descongelar [g]
1	50	0	25	20			
2	50	0	50	20			
3	50	0	100	20			
4	50	0	150	20			
5	50	0	200	20			

- ¿Cuál es el cambio de la masa A? ¿Cuál es el cambio de la masa B?
- ¿Cómo relacionan los cambios de A y B? Explíquelo.

SESIÓN DE SOCIALIZACIÓN

Compare las actividades 2 y 3 responda las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las diferencias y semejanzas de estos resultados?

- ¿Cuáles son las variables que influyen en los cambios de temperatura de las sustancias? Justifique su respuesta.
- ¿Cuáles son las condiciones para que se presenten los cambios de temperatura de los cuerpos? ¿Por qué?
- Establezca una relación entre la masa y los cambios de temperatura que sufren A y B. Explique esta relación.

PREGUNTAS FINALES PARA LA SOCIALIZACIÓN DEL MÓDULO.

- A. ¿En las actividades planteadas cuándo se hablaría de equilibrio térmico? ¿Cuándo se hablaría de desequilibrio térmico? Justifique su respuesta.
- B. ¿Cuáles son las condiciones para hablar de equilibrio térmico? ¿Cuáles son las condiciones para hablar de desequilibrio térmico?
- C. ¿Cuáles son las variables que caracterizan el equilibrio? ¿Cuáles son las variables que caracterizan el desequilibrio térmico? Y ¿Cómo se relacionan estas variables?

MOMENTO 2 - FRENTE AL EQUILIBRIO DEL CALOR.

ACTIVIDAD 4 - LAS FUENTES DE CALOR EN LA COTIDIANIDAD.

OBJETIVO

- Identificar que los cuerpos de mayor masa y temperatura no tienden al cambio térmico para establecerlos como fuentes de calor para el cambio en otros objetos

SITUACIÓN I

Una piscina olímpica se encuentra a una temperatura de 20°C y se sumerge una esfera de 1g a 200°C . La misma esfera se sumerge ahora en una pecera de 1l de agua a 20°C . Compare las dos situaciones y describa los cambios de temperatura del agua y de la esfera en cada caso. Justifique su respuesta.

SITUACIÓN II

La ducha de Pedro no funciona. Debido a ello él calienta 3 l (litro) de agua hasta los 60°C, para enfriarla recurre a mezclar agua a 10°C. Si Pedro solamente mezcla 1 ml (mililitro) de agua a 10 °C. ¿Cree usted que el cambio de temperatura en los 3 l y el 1ml de agua son significativos? Explique.

SITUACIÓN III

Lina hace un asado en su casa y utiliza carbón para cocinar los alimentos por medio de una parrilla. Lina sabe que la temperatura que alcanza la parrilla cuando el carbón se encuentra quemándose (en combustión) es de 350°C ¿Cree usted que la temperatura de la parrilla cambia cuando se colocan los alimentos sobre ésta? ¿Cree usted que la temperatura de la comida cambia cuando se colocan los alimentos sobre la parrilla? Explique sus respuestas.

Preguntas para todas las situaciones

- A. ¿Cómo son los cambios de temperatura de los objetos que tiene mayor masa en comparación con los cambios de temperatura de los objetos de menor masa?
- B. De qué variables físicas dependen los cambios de temperatura en las situaciones anteriores y por qué
- C. Qué condiciones deben tener los objetos en relación con la masa para variar sus temperaturas cuando se ponen en interacción. Describa diferentes situaciones para ejemplificar.
- D. ¿Qué variables físicas ha utilizado en el análisis de las situaciones ejemplificadas? ¿Por qué?
- E. Si tuviera que analizar nuevas situaciones térmicas ¿qué variables utilizaría? ¿Por qué?

PREGUNTAS FINALES PARA LA SOCIALIZACIÓN DE ESTA ACTIVIDAD

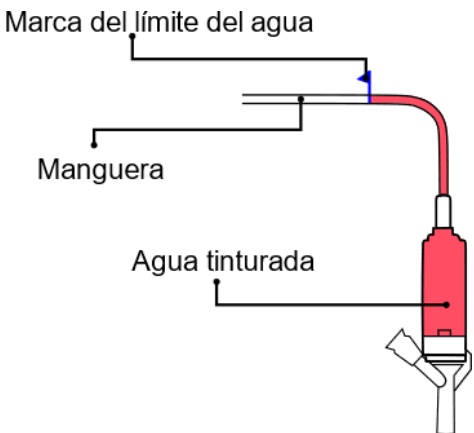
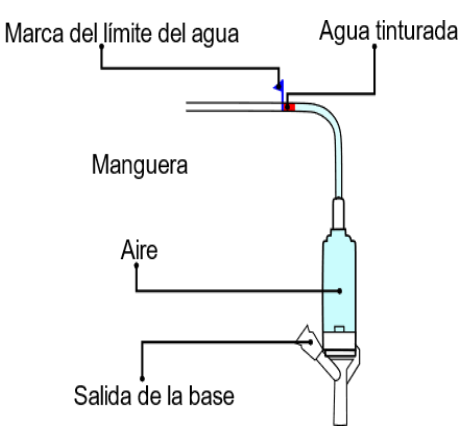
- A. ¿Cuáles objetos cambian más y menos de temperatura? ¿Qué los caracteriza?
- B. ¿En las situaciones I, II y III, cómo se mantiene el equilibrio en la interacción? Justifique su respuesta

ACTIVIDAD 5 – CAMBIOS DE VARIABLES TÉRMICAS

OBJETIVO

Relacionar las variables presión, volumen y temperatura mediante una idea de equilibrio entre estas variables

A continuación, encontrará dos montajes experimentales en los cuales se utiliza un equipo médico de infusión como se muestra en la siguiente figura

<p>Montaje 1: Llene el dispositivo con agua coloreada como se muestra en la siguiente figura. Marque el volumen que alcanza el agua en la manguera.</p>	<p>Montaje 2: Introduzca en la manguera una gota de agua coloreada como se muestra en la siguiente figura. Esta gota indica el límite al que se encuentra el aire encerrado representado en color azul celeste en la figura. Marque el volumen que alcanza el aire en la manguera.</p>
	

Si el aire y el agua se encuentran a temperatura ambiente y sumergimos los recipientes en agua con hielo analice:

- A. ¿Qué cambios usted observa en el agua del montaje 1? ¿Qué cambios usted observa en el aire del montaje 2? Describa en detalle lo que está ocurriendo.
- B. ¿Qué variables utilizaría para describir los cambios observados?
- C. Responda las preguntas anteriores cuando sumerja los recipientes en agua caliente.
- D. Si usted fuera un mecánico que va a sustituir el sistema de pedal de una máquina de coser antigua por un pistón ¿Cuál de las dos sustancias del montaje 1 y 2 utilizaría para hacer mover el pistón? ¿Por qué? Explique

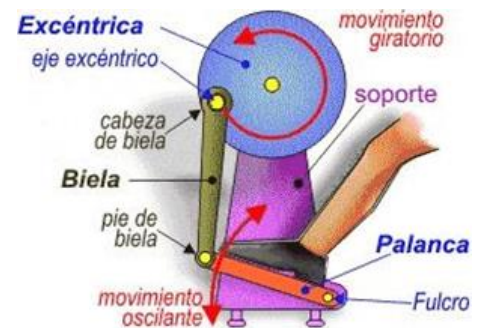
Máquina de coser de pedal



Tomado de:

<http://184.105.177.41/s/?q=bestof%3Asewing+machine+antique+global+brand+subtitle+singer>

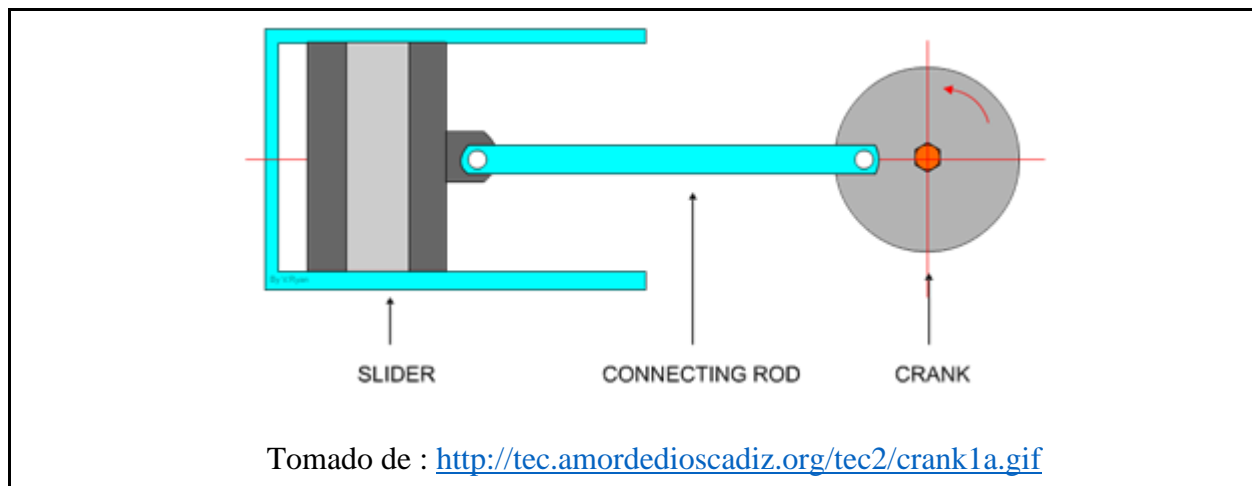
Sistema de Biela de una máquina de coser



Tomado de:

<https://www.pinterest.es/pin/335236765988532905/>

Sistema de Biela movida por un pistón



<p>Montaje 3: Ubique en el interior de una botella de plástico un pequeño globo inflado, y posteriormente cierra la botella, como se muestra en la siguiente figura.</p>	<p>Montaje 4: Ubique en el interior de una botella de vidrio un pequeño globo inflado y cierre la botella, al igual que en la siguiente figura.</p>
---	--



Si el aire se encuentra a temperatura ambiente y sumergimos los recipientes en agua con hielo analice:

- ¿Qué le está sucediendo al aire debido a la disminución de temperatura en los montajes 3 y 4?
- Si se disminuye la temperatura del aire de la botella en el montaje 3 ¿cuáles son los CAMBIOS QUE SE PUEDEN APRECIAR? ¿cuáles son las causas de estos cambios?
- Si la botella de vidrio no se deforma ¿Cambia el volumen del globo cuando disminuye la temperatura? Justifique su respuesta ¿Qué otras causas pueden estar generando cambios en el aire y el globo?
- ¿Qué ocurre con la presión en los montajes 3 y 4?
- Responda las preguntas anteriores cuando sumerja los recipientes en agua caliente.

ACTIVIDAD 6 – EQUIVALENCIA ENTRE FENÓMENOS TÉRMICOS Y MECÁNICOS

OBJETIVOS

- Identificar las fuerzas que producen un movimiento para cambiar las variables térmicas.
- Identificar los cambios de temperatura que producen movimiento para encontrar una relación con los efectos mecánicos

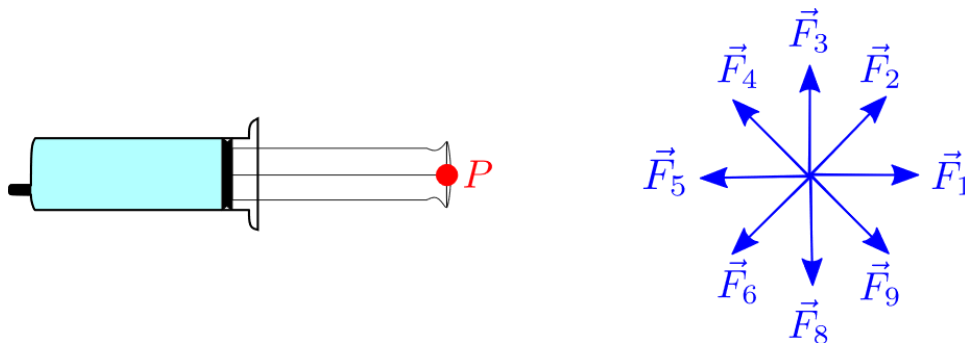
PREGUNTA ORIENTADORA: ¿Qué produce los cambios térmicos en las sustancias y cómo se relacionan?

ACTIVIDAD 1:

A continuación, encontrarán dos situaciones en las que el aire al interior de una jeringa es sometido a dos condiciones distintas y estudiaremos su comportamiento.

Situación I

En una jeringa llena de aire que se encuentra sellada se le ejerce una fuerza al pistón, como se muestra en la siguiente imagen



- En qué dirección se puede ejercer una fuerza sobre el punto P del pistón de la jeringa. ¿Cuáles fuerzas permite desplazar el pistón? ¿Cuál de estas fuerzas desplaza más el pistón y cuál la desplaza menos? Puede tomar de ejemplo las fuerzas representadas en la imagen de la derecha.

- ¿Cómo está cambiando el aire al interior de la jeringa cuando se le aplica una fuerza?
¿Qué variables están involucradas cuando cambia el aire? ¿Cómo relaciona la fuerza que desplaza el pistón con las variables involucradas?

Situación II

Si tomamos la jeringa de la situación anterior, y luego se sumerge en agua caliente y posteriormente en agua fría.

- ¿Cómo está cambiando el aire al interior de la jeringa cuándo ha disminuido su temperatura? ¿Cómo cambia el aire al interior de la jeringa si la sumergimos en agua fría y luego en agua caliente? Explique.
- ¿Qué variables ha utilizado para describir el comportamiento de la jeringa? ¿Cómo se relacionan estas variables?
- ¿Cómo relaciona las situaciones 1 y 2 y que variables tiene en cuenta? Justifique su respuesta

PREGUNTAS FINALES PARA LA SOCIALIZACIÓN LA ACTIVIDAD

- ¿Cómo se relacionan los fenómenos térmicos con los mecánicos? **NOTA: Tenga en cuenta las variables que están involucradas**

SESIÓN DE SOCIALIZACIÓN

Socialización de las preguntas en las actividades y las preguntas orientadoras de manera grupal.

- ¿Qué otras variables influyen en los cambios térmicos de los objetos? ¿Cómo se relacionan estas variables? Explique y represente estas relaciones.

Utilizaremos la siguiente convención para relacionar los cambios de las fuentes de calor con las variables de las sustancias: **Z** hace referencia a una acción positiva si se encuentra a menor temperatura que la sustancia debido a que será el objeto a calentarse (Fuente \uparrow), y negativa si se encuentra a una menor temperatura (Fuente \downarrow). Para la sustancia, si la temperatura de la sustancia aumenta será ($T\uparrow$) y si disminuye será ($T\downarrow$), la misma convención se tendrá para el volumen y presión.

Por ejemplo, en el montaje 2 de la actividad 2, el aire encerrado en el recipiente se sumerge en agua con hielo. En este caso el cuerpo más grande se encuentra a una menor temperatura, por lo que recibirá la pequeña acción del aire (Fuente \uparrow), mientras el aire se encuentra disminuyendo su temperatura (T \downarrow), la presión se mantiene (P=) y el volumen disminuye (V \downarrow).

Montaje	FUENTE	TEMPERATURA	PRESIÓN	VOLUMEN
1				
2	\uparrow	\downarrow	=	\downarrow
3				
4				

- Describa situaciones de equilibrio en los cambios que sufren las sustancias al estar en contacto con otros objetos que se encuentra a distinta temperatura.

MOMENTO 3 - MÁQUINAS TÉRMICAS

ACTIVIDAD 7 – LAS MÁQUINAS TÉRMICAS

OBJETIVOS

- Encontrar relaciones entre las variables térmicas para el funcionamiento de las máquinas térmicas.
- Relacionar las actividades realizadas para identificar elementos fundamentales en las máquinas térmicas

En las actividades realizadas en las últimas clases se han estudiado algunos fenómenos térmicos y mecánicos, en la formalización ha sido necesario utilizar distintas variables y sus relaciones para conocer los cambios, y así describir el comportamiento de las sustancias. Para la humanidad estos fenómenos han sido de real importancia, ya que han permitido un avance a nivel tecnológico para la construcción de las máquinas térmicas con el fin de hacer más fácil las tareas del hombre.

A continuación, se han reunido breves apartados acerca de la historia de las máquinas térmicas, donde se identifican algunos elementos desarrollados durante las actividades anteriores y que podrá hacerlo explícito por medio de respuestas a preguntas específicas ubicadas en el texto.

LECTURA - MÁQUINAS TÉRMICAS¹⁷

Si se pone al fuego una olla tapada que contenga agua, se verá algo muy interesante. Al poco tiempo, la tapa empieza a temblar. Al principio se mueve muy poco, pero algo más tarde baila más rápido sobre la olla.

Este simple y cotidiano experimento es, sin embargo, el origen de unos dispositivos que han transformado el mundo: **las máquinas térmicas**. ¿Qué es lo que está pasando en la olla? Debido a que el fuego se encuentra a mayor temperatura que el agua, este aumentará la temperatura y la presión del agua a tal punto que comience a evaporarse¹⁸. Ya que el gas aumenta su presión porque se encuentra encerrado en la olla, llegará el momento donde el peso de la tapa no pueda contener esta presión. Así el gas levantará levemente la tapa de la olla, haciéndola mover y dejando escapar parte del agua en forma de vapor, disminuyendo así la presión y haciendo que la tapa deje de moverse. Debido a que la olla aún se encuentra al fuego, el agua volverá a aumentar de presión, repitiendo el movimiento de la tapa.

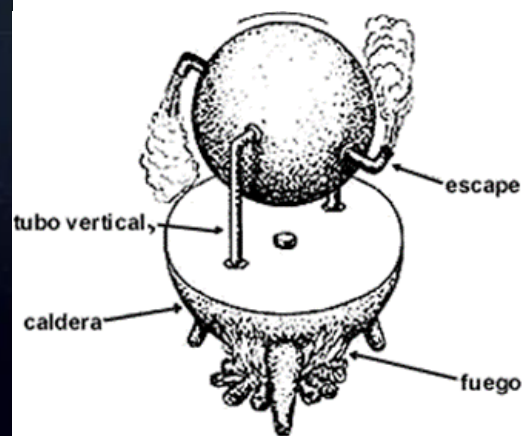
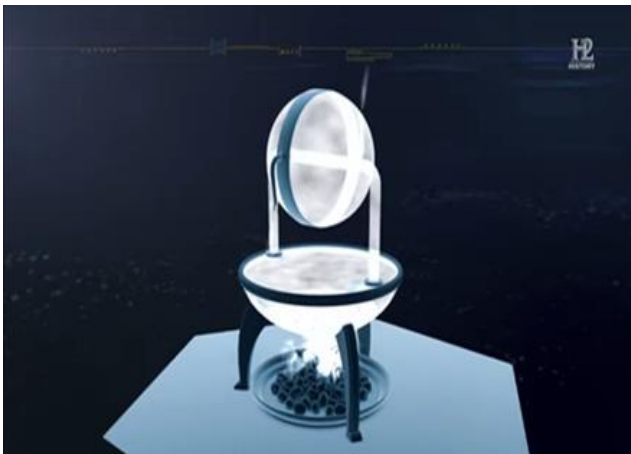
A. ¿Cuáles actividades vistas en clase usted puede asociar con lo que le sucede al agua dentro de la olla? Explique por qué se asocian.

¹⁷El presente texto contiene apartados textuales de las referencias adjuntas al final de este documento. La intención es aportar al estudiante un texto el cual fuera fácil de leer y que se encontrará con las temáticas desarrolladas en los módulos de este trabajo.

¹⁸ Tomado de: [Máquinas térmicas \(escolares.com.ar\)](http://Máquinas térmicas (escolares.com.ar)) y modificado por Armando Palacios y César Laguna.

Lo mismo ocurre, pero en mayor medida, con el vapor que sale por el caño de una tetera o una olla a presión, que puede hacer mover una hoja de papel. Es decir, se podría estar aprovechando la acción del calor en trabajo mecánico.

Aprovechar los cambios térmicos es útil desde la antigüedad y ha sido en gran preocupación para los hombres. Parece ser que la primera máquina térmica es la que construyó, en el siglo II a.C. Herón de Alejandría llamada la Eolípila. Se trataba de una turbina de vapor que consiste en un globo hueco soportado por un pivote de manera que pueda girar alrededor de un par de muñones, uno de ellos hueco. Por dicho muñón se puede inyectar vapor de agua al globo hueco, que escapa de éste hacia el exterior por dos tubos doblados y orientados tangencialmente en direcciones opuestas y colocados en los extremos del diámetro perpendicular al eje del globo. Al ser expelido el vapor, el globo reacciona a esta fuerza y gira alrededor de su eje¹⁹.



¹⁹ Tomado de: [Las asombrosas máquinas de Herón - GENIOS ANCESTRALES - YouTube](#) y modificado por Armando Palacios y César Laguna.

Ilustración 1: Representación de la Eolípila.

Ilustración tomada de

<https://www.youtube.com/watch?v=FOtjo946j>

FO

Ilustración 2: Representación de las partes de la Eolípila.

Ilustración tomada de

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/0/htm/sec_5.html)

[a/volumen1/ciencia2/0/htm/sec_5.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/0/htm/sec_5.html)

Estas son los primeros avances de las máquinas de vapor, que se aplicaron posteriormente a la industria, a los barcos y al ferrocarril.

A finales del siglo XVII Thomas Savery patentó una máquina para extraer agua de minas que continuamente se inundaba, esta consistía en una caldera con un depósito de agua que comenzaba a ebullición a una presión superior a la de la atmósfera. Cuando se abrían las válvulas A y B, y se cerraban las C y D, entonces la presión de vapor podía bombear el agua hasta la altura h_2 . Cuando el cilindro estaba lleno de vapor, se cerraban las válvulas A y B y se abría la válvula D. Cuando se le rociaba agua fría al cilindro, entonces el vapor se condensaba, disminuyendo la presión del vapor. El vacío resultante hacía que el agua subiera hasta la altura h_1 desde el pozo de la mina.

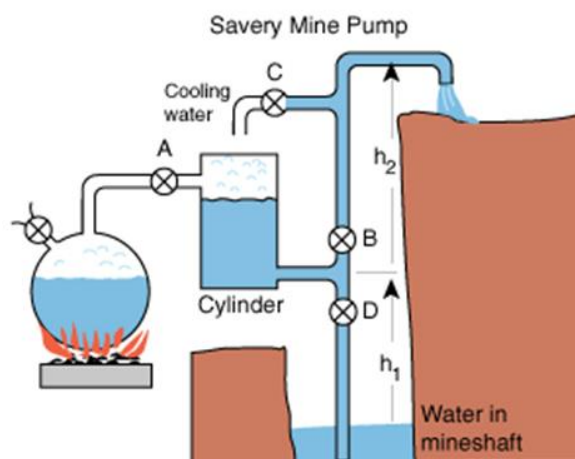


Ilustración 3: Representación de la máquina de Thomas Savery.

Ilustración tomada de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/psav.html>

B. Construya una representación donde se identifiquen las variables involucradas en cada una de las secciones de la máquina Savery

En 1690 Denis Papin había sugerido que la condensación de vapor se debería usar para producir un vacío debajo de un pistón que previamente se había elevado por la acción del vapor. Ésta fue la primera versión de una máquina de vapor usando un cilindro y un pistón. En 1705 Thomas Newcomen y John Cawley, su asistente, mejoraron la operación del pistón al forzar su caída por acción de la presión atmosférica. Al hacerlo producía trabajo mecánico sobre una bomba que introducía el agua por bombear. Después de varios ajustes técnicos estas máquinas fueron producidas en gran tamaño y en serie por John Smeaton hasta que en 1770 fueron superadas por las innovaciones debidas a James Watt.

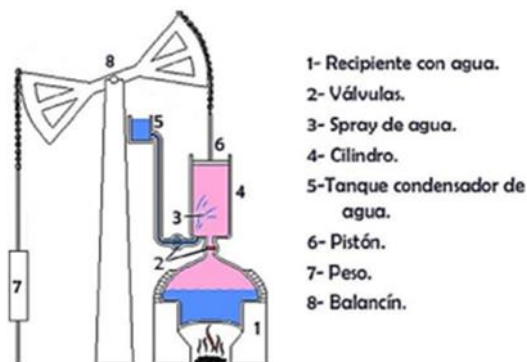


Ilustración 4: Representación de la máquina de Thomas Newcomen y John Cawley.

Tomada de https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Máquina-de-Newcomen-con-sus-partes-senaladas_fig2_327402843

En 1763 Watt, al reparar una de las máquinas de Newcomen se sorprendió de ver el enorme desperdicio de vapor que ocurría durante el proceso de calentamiento y enfriamiento del cilindro, dentro del cual operaba el pistón. El remedio, en sus propias palabras, consistiría en mantener al cilindro tan caliente como el vapor de entrada. Su solución fue mantener el pistón caliente y transportar el vapor a una cámara más fría, donde la cámara caliente era comúnmente llamada caldera y el más frío condensador.

C. ¿Cuál es el papel de la caldera y el condensador en la máquina térmica? ¿Con cuáles actividades asociaría la caldera y el condensador? ¿por qué?

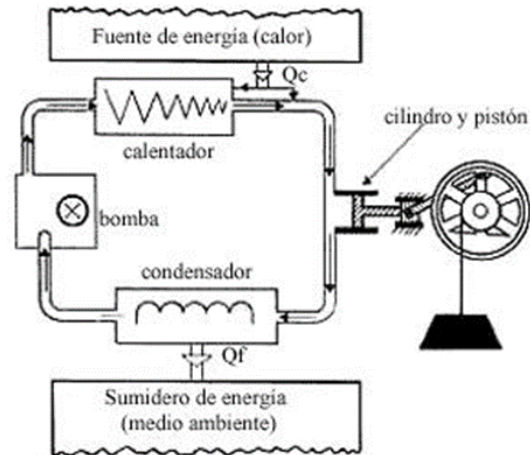


Ilustración 5: Representación general de las partes de una máquina de vapor.

Ilustración tomada de

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/05/htm/sec_5.html

Así, la fabricación de las máquinas de vapor mejoraba con la experiencia, siempre en la búsqueda de que fueran cada vez más eficiente, es decir, se pretendía que las máquinas realizaran su tarea con la menor cantidad de carbón disponible, así las labores de los ingenieros y artesanos se centraban en modificar las máquinas desde la experiencia. Fue en el estudio de las máquinas térmicas donde se estableció que la finalidad será la producción de trabajo mecánico, por medio del calor. Dicho trabajo mecánico es generado mediante la interacción entre una sustancia y el contacto con cuerpos a diferentes temperaturas. Así, la relación es:

D. Se establece las variables Trabajo y Calor para expresar el rendimiento de una máquina térmica. Explique por qué se utilizan estas variables y no velocidad y temperatura.

Pregunta de cierre

¿Cómo aprovecharía los cambios en las variables térmicas para generar movimiento mecánico? Puede identificar en el texto anterior alguna idea de equilibrio y desequilibrio. Explique.

Referencias

Imagen Eolípila tomada de <https://www.youtube.com/watch?v=FQtjo946jF0>

Texto de Eolípila, Newcome y Watt tomado y adaptado de:

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/05/htm/sec_5.html

Introducción tomado y adaptado de: <https://www.escolares.com.ar/contenidos/ciencias-naturales/fisica/2454-maquinas-termicas>

Texto de Savery tomado y adaptado de: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/psav.html>

Imagen de la máquina de Savery tomada de: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Maquina-de-Newcomen-con-sus-partes-senaladas_fig2_327402843

Watt y fuentes tomado y adaptado de: Carnot, S. (1987). Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esta potencia y otras notas de carácter científico. Madrid: Alianza Editorial.

^[1] El presente texto contiene apartados textuales de las referencias adjuntas al final de este documento. La intención es aportar al estudiante un texto el cual fuera fácil de leer y que se encontrará con las temáticas desarrolladas en los módulos de este trabajo.

^[2] Tomado de: [Máquinas térmicas \(escolares.com.ar\)](https://www.escolares.com.ar) y modificado por Armando Palacios y César Laguna.

^[3] Tomado de: [Las asombrosas máquinas de Herón - GENIOS ANCESTRALES - YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...) y modificado por Armando Palacios y César Laguna.

11. EVIDENCIAS



Ilustración 9 – Actividad experimental



Ilustración 10 Actividad experimental

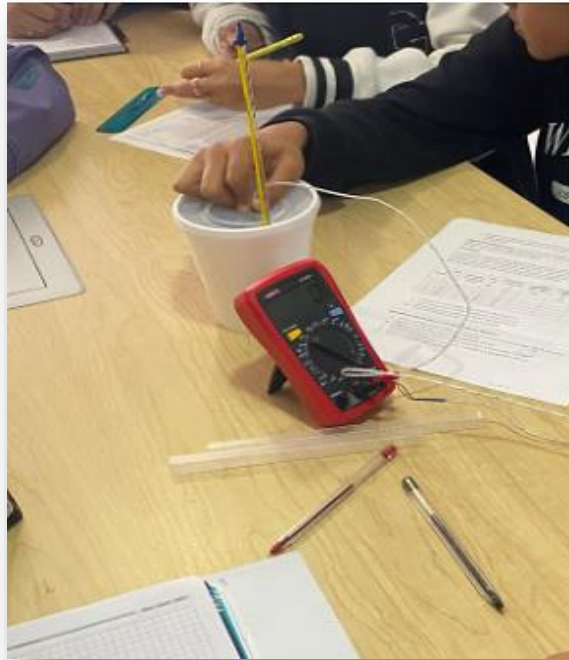


Ilustración 11 - Actividad experimental

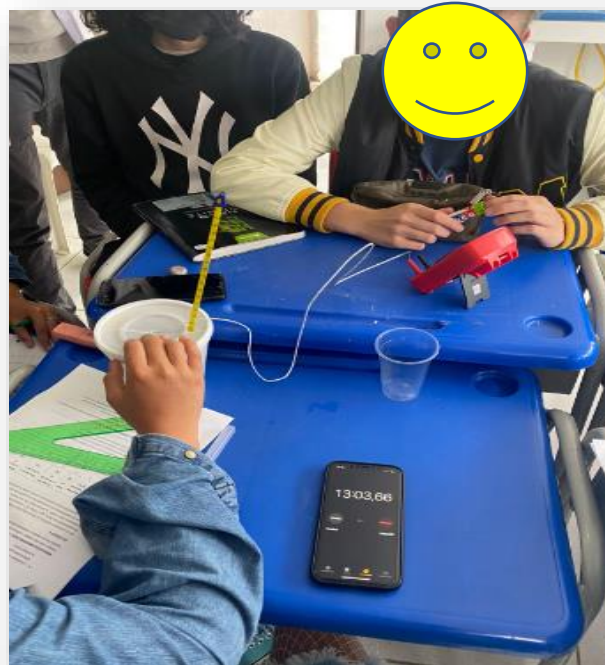


Ilustración 12 Actividad experimental



Ilustración 13 Actividad experimental

Paula Hernández

TEMA / MATERIA

DÍA MES AÑO

Preguntas Laboratorio.

1. ¿Cuáles son las diferencias y semejanzas de estos resultados?

La semejanza es que los dos experimentos buscan el equilibrio térmico, que las dos masas lleguen a la misma temperatura. La diferencia es que el tiempo para que lleguen al equilibrio térmico en el de masas iguales es más fácil y se da más rápido el equilibrio y el de masas diferentes para llegar al equilibrio toma más tiempo.

2. ¿Cuáles son las variables que influyen en los cambios de temperatura de las sustancias? Justifique su respuesta.

Las variables que influyen al cambio de temperatura son las mismas sustancias ya que están aisladas del ambiente debido al icopor que hace que se aisle la temperatura. Lo que hace que cambie la temperatura es la diferencia de temperaturas del ambiente.

3. ¿Cuáles son las condiciones para que se presenten los cambios de temperatura de los cuerpos? ¿Por qué?

Las condiciones que deben tener las sustancias es que inicialmente tengan temperaturas diferentes para que de esta manera pueda ocurrir un cambio de temperatura y finalmente conseguir un equilibrio térmico.

4. Establezca una relación entre la masa y los cambios de temperatura que sufren A y B. Explique esta relación.

La relación entre estos dos es directamente proporcional

- Entre menor diferencia de masa menor tiempo llevará llegar al equilibrio de temperaturas
- Entre mayor diferencia de masa mayor tiempo tomará llegar al equilibrio de temperaturas

Actividad laboratorio.

Scribe

	0s	30s	60s	90s	120s	150s	180s	210s	240s	270s	300s	330s	360s	390s
110g Masa A	0	10	11	10	11	12	12	12	11	11	11	11	11	11
200g Masa B	15	16	15	14	13	13	12	12	12	12	11	11	11	11
Masa A	420s	450s	480s	510s	540s	570s	600s	630s	660s	690s	720s	750s	780s	
Masa B	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	

Pregunta.

1. ¿Cuánto sería el cambio de la temperatura de A y la temperatura de B?

La temperatura de A aumenta hasta 12°C y la temperatura de B disminuye 7°C de su temperatura inicial (18°C), buscando estas dos temperaturas un equilibrio entre ellas y se logran equilibrio en 11°C después de 690s

2. ¿Los cambios de la masa A son diferentes o iguales a los de la masa B?

Los cambios de las masas son diferentes, ya que la Masa A de 110g parte de una temperatura inicial de 0°C siendo menor a la temperatura inicial de la masa B de 200g que es 18°C . Al estar en un mismo ambiente buscan un equilibrio entre ellas, así la temperatura de la masa A aumenta y la de la masa B disminuye.

3. ¿Qué pasa con los cambios de temperatura si las masas en interacción son iguales?

Si las masas son iguales el equilibrio de temperatura va a ser más fácil por lo cual se dará más rápido el equilibrio.

¿Qué pasa con los cambios de temperatura si las masas en interacción son diferentes?

Si las masas son diferentes el equilibrio de temperatura va a ser más difícil por lo cual el equilibrio se dará más lento.

¿Cómo afecta la masa en los cambios de temperatura de objetos a diferentes temperaturas?

Valentina Rios 10A.

Preguntas Laboratorio

- Las diferencias principalmente mostradas por las diferencias de temperatura (caliente y frío). Y la similitud que es mostrada ya que ambas buscan un equilibrio.
- Los principales cambios que actúan en los Cambios de temperatura: Tiempo, Masa, Material.
- Las condiciones son la temperatura y el tiempo. Ya que a medida que pasa el tiempo la temperatura de las dos masas va variando hasta llegar a un punto equilibrio.
- Si tenemos cuerpos con masa diferentes, el cuerpo que tenga mayor masa va a bajar su temperatura y el cuerpo con menor masa va a subir de su temperatura inicial. Con Factores como el tiempo

Alexandro Manteco 10A (7/2)

Actividad 3

• Diferencias y semejanzas en los resultados

Diferencias: - La temperatura de los cuerpos en el laboratorio 1 tuvieron un acercamiento mutuo con respecto al tiempo

- En el laboratorio 1 Hubo mayor fluctuación en los valores de temperatura que en el laboratorio 2

- La temperatura de los cuerpos en el laboratorio 2 Presentó una tendencia de acercamiento a la temperatura del cuerpo con mayor masa

- Hubo equilibrio térmico desde 21° en el laboratorio 2, mismo que no pasó en el lab. 1 donde no hubo equilibrio (siquiera en 60°), por lo que pudo ser un error en la calibración de los instrumentos

Semejanzas: - Los cuerpos presentaron cambios térmicos en distintos intervalos de tiempo

- Hubo puntos de equilibrio térmico

- La temperatura inicial no fue la misma que la temperatura final en ninguno de los 4 casos

- El gráfico del patrón de cambio corresponde al de una logarítmica y exponencial ($F(\log x)$ | $F(x^t)$)

• Qué variables interfieren?

- La diferencia térmica en $^{\circ}$: De no haber diferencia, habría equilibrio; imposibilitando cambios térmicos

- Tiempo: No es variable pero se tomaron las fluctuaciones con respecto al tiempo, por lo cual influye en el estudio

Actividad 3

- Qué condiciones se presentan para el cambio térmico?
 - Temperatura: Un cambio térmico sin temperatura es imposible y es del cuerpo
 - Cuerpo: Junto con sus propiedades tales como masa, Volumen, conductividad térmica, retención de calor y temperatura, porque son inherentes del cuerpo
 - Ambiente, en este caso compuesto por el agua y el vaso de aluminio
 - Paso del tiempo: Permite estudiar y organizar las fluctuaciones, en estos dos casos en intervalos de 30 segundos. Cada tiempo cuenta con 30 segundos de diferencia del otro

• Establezca relación entre la masa y fluctuaciones térmicas

• Para el laboratorio 1: (Suponiendo un equilibrio luego de 600")

- Como $m_1 = m_2$ entonces $t_1 \cdot t_2 = t_2 \cdot t_1 \rightarrow t_1 \approx t_2$
 - Se contraponen mutuamente, la temperatura 1 ser si (se acerca a) a la temperatura 2 como la temperatura 2 es a la temperatura 1
 - Masas iguales con el mismo tipo de cuerpo (Por tanto misma Volumen) Permite un Acercamiento mutuo de ambas temperaturas

• Para el laboratorio 2:

- Como $m_1 > m_2$ entonces $t_2 \rightarrow t_1$ (Para cuerpos de misma densidad)
 - El Volumen 1 "envuelve" el Volumen 2, Por tanto, la temperatura 1 "sofoca" la temperatura 2, Haciendo que la temperatura 2 se acerque con mayor intensidad a la temperatura 1
 - Como t_1 y t_2 tienen misma densidad, sus volúmenes y masas son proporcionales. Por eso al hablar de masa o Volumen se cumple la relación

- El laboratorio 2 comprueba la relación:
 - La temperatura se equilibra en un punto cercano a $72^\circ C$ ($17^\circ C$)

$m_{RE} : 200gr > 90gr / 18^\circ C \rightarrow 72^\circ C$

- Temperatura de los cuerpos en tiempo cero, se acerca 18° a 72° con respecto al tiempo (comprobar en la tabla de valores)

- La masa se relaciona con la temperatura (MRE) porque (:) la masa 1 es mayor que la masa 2 ($200gr > 90gr$) por tanto (i) la temperatura inicial 2 se acercara con el paso del tiempo a la inicial 1 ($18^\circ \rightarrow 72^\circ$)

Equilibrio: mismo tiempo, misma temperatura

Desequilibrio: mismo tiempo, distinta temperatura

• Ambas relaciones fueron establecidas desde mi experiencia

UPLENTINA MURDO?

ACTIVIDAD 2

- A) **Montaje 2** = En El montaje observe que al poner el liquido. En agua caliente este subida debido a la presion en el aire, En cambio en el agua fria la presion disminuye lo que quiere decir que el liquido baja, cuando sube el volumen aumenta y cuando baja el volumen disminuye
- B) **variables** = Presion, Temperatura, volumen.
- P) **Montaje 1** = observe que con el agua es diferente ya que cuando la manguera se sumerge en agua caliente y fria no se expande ni se comprime tanto.
- B) **variables** = Presion, Temperatura volumen
- D) yo utilizaria el montaje pos (El aire) debido a que este genera mas presion, lo que permitira que la maquina funcione mejor. Ademas este produce mas expansion y se comprime mejor