



ANÁLISIS HISTÓRICO DEL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA,
ALGUNAS PAUTAS EN LA ENSEÑANZA DE UNA LEY.

JHON DALVIS BOLAÑOS REALPE

UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SANTIAGO DE CALI

2017

ANÁLISIS HISTÓRICO DEL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA,
ALGUNAS PAUTAS EN LA ENSEÑANZA DE UNA LEY.

JHON DALVIS BOLAÑOS REALPE

Tesis presentada como requisito

Para optar por el título de Licenciado en Matemáticas y Física.

Director de tesis:

CARLOS JULIO URIBE GARTNER. Dr.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SANTIAGO DE CALI

2017



INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y
PEDAGOGÍA
Subdirección Académica

ACTA DE EVALUACIÓN DE TRABAJO
DE GRADO

Programa Académico Lic. Matemáticas y Física.

Fecha

Código del programa: 3487

Resolución del programa

Día	Mes	Año
<u>27</u>	<u>09</u>	<u>17</u>

Título del Trabajo o Proyecto de Grado

Análisis histórico del principio de conservación de la energía, algunas
pautas en la enseñanza de Se trata de: una ley.

Proyecto ☐

Informe Final ☒

Director

Carlos Julio Uribe Gortner.

Nombre del Primer Evaluador

Álvaro Pérez

Nombre del Segundo Evaluador

Estudiantes

Nombres y Apellidos	Código	Plan	E-mail	Teléfonos de contacto
<u>Jhon Dávis Bolaños</u>	<u>0833573/3487</u>		<u>djdavis@hotmail.com</u>	<u>3783206629</u>

Evaluación

Aprobado ☒

Meritorio ☐

Laureado ☐

Aprobado con recomendaciones ☐

No Aprobado ☐

Incompleto ☐

En el caso de ser **Aprobado con recomendaciones** (diligenciar la página siguiente), éstas deben presentarse en un plazo máximo de _____ (máximo un mes) ante:

Director del Trabajo o Proyecto de Grado ☐

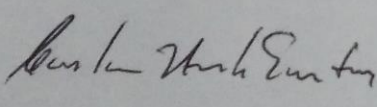
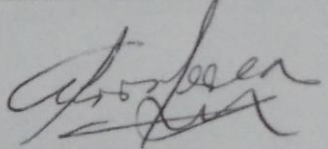
Primer Evaluador ☐

Segundo Evaluador ☐

En el caso de que el Informe Final se considere **Incompleto** (diligenciar la página siguiente), se da un plazo máximo de _____ semestre (s) para realizar una nueva reunión de Evaluación el _____

En el caso que no se pueda emitir una evaluación por falta de conciliación de argumentos entre Director, Evaluadores y Estudiantes, expresar la **razón del desacuerdo** y las **alternativas** de solución que proponen (diligenciar la página siguiente)

Firmas

		
Director del Trabajo o Proyecto de Grado	Primer Evaluador	Segundo Evaluador

Índice

Introducción.....	1
Justificación.....	3
Planteamiento del problema.	5
Objetivos.....	9
Antecedentes.....	10
Marco metodológico.....	12
Marco teórico.....	12
Resumen histórico del principio de conservación de la energía.....	17
El principio de conservación en la física antigua.	17
El principio de conservación en la física clásica.	25
El calor.	53
Pautas para analizar el problema en la enseñanza de un principio físico, el	
Principio sobre flotación.....	69
Bibliografía.....	84

Análisis histórico del principio de conservación de la energía, algunas pautas en la enseñanza de una ley.

Resumen.

Este proyecto plantea un análisis del principio de conservación de la energía caracterizado por un enfoque histórico que muestra la relevancia de esta ley Física en cada ciclo de su formulación. El trabajo también considera algunas pautas como propuesta en la enseñanza de una ley, opiniones que son abordadas desde la sospecha de ciertas dificultades que los estudiantes tienen en la comprensión de un principio, en particular se ejemplificarán con el principio de Arquímedes. Las dificultades que se adjudican de acuerdo al aprendizaje de esta ley, así como las pautas para abordarlas se concluyen de las investigaciones que en los antecedentes bibliográficos se consideran. Así, la situación problema, los objetivos, el marco teórico y el metodológico se detallan a fin de argumentar tal propósito.

Introducción.

Desde que la humanidad posee razón para discernir respecto a su entorno circundante, preguntas como: ¿a fin de qué?, ¿por qué?, ¿para qué? y otras que hacen referencia al funcionamiento del universo, han hecho de sus explicaciones méritos de creatividad, imaginación y desarrollo. Sin embargo, la historia es testigo que a medida que se responde una pregunta, aparecerán más. Pero es este también el motor que impulsa la curiosidad de los hombres y alimenta el afán por seguir aprendiendo.

Con los griegos, por ejemplo, se tiene evidencia de teorías que explican los hechos naturales a partir del entorno adyacente y de un lenguaje desplegado por el pensamiento de los hombres, el lenguaje matemático. Aportes de grandes pensadores han hecho del mundo etéreo un marco mejor comprendido, desarrollando y estructurando saberes que les consolidan hoy día como una ciencia teórico-experimental. Este proyecto se presenta con el fin de exponer parte de ese relato histórico, resumen basado en el desarrollo del principio de conservación de la energía.

Entender el principio de conservación de la energía, hace referencia a comprender una idea que postula la existencia de una cantidad física que en el contexto de la naturaleza permanece indiferente a cualquier perturbación del cosmos. Pero, ¿qué significa que tal cantidad se conserve?, y ¿por qué es importante comprender que la energía se transforma?, son interrogantes, que, al no abordarlas apropiadamente producen que los estudiantes construyan una idea sesgada de esta ley incurriendo en el riesgo de perder en su generalidad. Es por esto, que se concibe la necesidad de un dominio epistemológico sobre el principio

para lograr formar conexiones que relacionen la teoría con los contextos donde la ley se hace perceptible. Para ese objetivo, se realizó un análisis histórico que muestra el desarrollo del concepto desde una idea previa, hasta el planteamiento de un patrón medible.

Adicionalmente, se adjunta una descripción sobre unas posibles dificultades que se infieren del aprendizaje de una ley física, explicando algunas pautas que pueden ser útiles en la enseñanza de un principio físico. Como ejemplo se usó el principio de Arquímedes. Es decir, se pretenden ciertas conclusiones desde la didáctica e historia, para esbozar una idea como propuesta en la enseñanza de una ley física.

Justificación.

Esta monografía desarrolla un resumen de algo que llegó a convertirse en una de las leyes más relevantes de la Física, exponiendo la importancia de un enfoque histórico. Lo anterior, según el texto Historia de la Energía, es corroborado cuando el autor expresa que: “entender el concepto de energía con el que trabajan las ciencias modernas, es comprender el principio de su conservación, y para ello se requiere conocer su desarrollo histórico: desde las primeras ideas griegas sobre la conservación de algo hasta la ley de leyes, la ley más general que hoy conocemos” (Alinovi, 2007).

En la carrera de Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad del Valle, se trabaja una formación en el área de Física basándose en los tres primeros cursos de Física fundamental y sus concernientes laboratorios, además de pasar por tres cursos de formación profesional. En ellos se hace una descripción del principio de conservación de la energía desde: Mecánica, Electromagnetismo, Termodinámica, y sistemas ondulatorios, además de variados experimentos cuyo objetivo se orienta en evidenciar la consistencia de este principio con los resultados de medición. Este análisis histórico se piensa adicionalmente como un apoyo para los primeros cursos de Física. En él se explora una idea que describe gradualmente la evolución del principio desde la noción de la conservación de “algo”, hasta su consolidación como ley Física. Se espera también con lo anterior, que el estudiante de iniciación en Física, en primera instancia sea capaz de identificar y analizar en los campos básicos el fenómeno de la conservación y el carácter de una ley Física.

El proyecto también considera unas pautas para la enseñanza del principio de Arquímedes, estas ideas se orientan al contexto educativo. según Neumann (2012) las

categorías de aprendizaje que se suponen deben desarrollarse, se alinean al grado o nivel de comprensión que un estudiante posee sobre un principio Físico. Estos niveles se presentan con una guía didáctica para el principio de Arquímedes, propuesta en tres etapas.

Planteamiento del problema.

Un objetivo de las ciencias es proporcionar a quienes la estudien la posibilidad de interactuar con los modelos y las técnicas experimentales que describen los fenómenos naturales, de modo que ellos puedan interpretar y reproducir el lenguaje en que se cuentan estas ideas. Lo anterior implica un conocimiento de elementos previos por parte de los docentes de ciencias tales como: dominio de las matemáticas, manejo en técnicas e instrumentos de medición, modelos didácticos acordes al campo de estudio, entre otros, que permitan estructurar las conexiones entre diferentes variables de algún fenómeno y la teoría.

En la enseñanza de la Física se debe considerar que para estructurar un desarrollo en el aprendizaje del concepto o modelo teórico a tratar “la enseñanza de un elemento del conocimiento científico debe ser un proceso que va evolucionando de acuerdo al grado de comprensión, profundizando en el estudio y contextualización del fenómeno” (Neumann, 2012). Además, la actividad científica se fundamenta en la ejecución del método científico, que de acuerdo al Oxford English Dictionary es: “un método o procedimiento que ha caracterizado a la ciencia natural desde el siglo XVII, que consiste en la observación sistemática, medición, experimentación, la formulación, análisis y modificación de las hipótesis”, por lo cual, el aprendizaje en este campo científico debe entrañar una metodología de enseñanza que en principio vincule la práctica en el proceso experimental y el estudio teórico a manera de obtener un desarrollo por niveles de aprendizaje.

En Amor a la Física de Walter Lewin, se muestra que uno de los objetivos de la enseñanza de la Física es no olvidar el carácter de verdad en la comprensión de fenómenos,

tal como lo expresa “ayudo a mis estudiantes a ver la belleza, semblanza y la mística de lo no revelado entendiendo que la física permea nuestras vidas” (Lewin, p. 10, 2012). Lewin describe también la pasión y admiración por el mundo de la Física y enseña un camino para acceder a ésta. En sus palabras dice que el secreto del entusiasmo que despliega y hace que contagie a su estudiantado consiste en:

“Le muestro a la gente su propio mundo —dice—, el mundo en el que viven y que conocen, pero que no miran como físicos... aún. Si hablo de ondas en el agua, les pido que hagan experimentos en sus bañeras; eso saben lo que es. Como también saben qué son los arcos iris. Es algo que me encanta de la física: puedes llegar a explicar cualquier cosa. ¡Consigo que les encante la física! A veces, cuando mis alumnos se implican de verdad, las clases casi parecen todo un acontecimiento” (p. 4).

En el presente se escucha discutir sobre: crisis energética, tipos de energía, transformación de la energía, calidad de la energía, y otras expresiones que muestran en definitiva el grado de familiaridad que poseemos con la idea de energía, pero, aunque tal vez algo precipitada la aserción, también es evidencia que pese al hecho de abordar este concepto en un marco cotidiano aún no son claras las implicaciones de este principio.

De acuerdo a los Lineamientos Curriculares en Ciencias Naturales y Medio Ambiente del Ministerio de Educación (1998), que definen: “la Física es la ciencia natural que estudia las relaciones entre espacio, tiempo, materia y energía. Un sistema caracterizado completamente por estos elementos se denomina un sistema físico” (p. 69), se interpreta que la energía por tanto es un objeto de estudio fundamental para la comprensión del conocimiento científico, de modo que se tenga en cuenta en el campo escolar el papel estructural que tiene el concepto de energía en el edificio teórico de la física.

El artículo *Towards a Learning Progression of Energy*, menciona que la forma de abordar un tema científico debe ser gradual, en el caso del concepto de energía explica que la comprensión de los estudiantes debe estar jerarquizada por niveles de conceptualización, donde las categorías de aprendizaje que deben desarrollarse, se alinean al grado o nivel de discernimiento que un estudiante posee sobre el principio físico. Los siguientes son las etapas que propone:

- i. Percibir a la energía como la capacidad de un sistema físico para realizar trabajo.
- ii. Identificación de las diferentes fuentes y formas de energía en la naturaleza.
- iii. Reconocer los procesos de transformación de la energía.
- iv. El reconocimiento de la degradación de la energía.
- v. Estructurar el principio de conservación de la energía.

Afirmando que una manera de evaluar el progreso en el aprendizaje de un concepto científico se puede hacer observando el grado de complejidad que se maneje del tema, en este caso, de la etapa en la que se encuentre.

De este modo, de acuerdo a Matías Alinovi (2007), la energía es un concepto que ha evolucionado y para entenderla, el proceso de aprendizaje debe relacionarse con el hecho de conocer el desarrollo histórico del mismo, argumentando: “por eso a la pregunta ¿qué es la energía? Podemos responder sin ironía: una cantidad que de acuerdo a un famoso principio se conserva”. Y si bien esta eventual respuesta deja más inquietud, se comprende por ende el interés de realizar un análisis histórico.

De acuerdo a lo anterior se plantea la siguiente pregunta problema:

¿Cuál puede ser una posible propuesta que de acuerdo al principio de conservación de la energía articule un estudio histórico y unas pautas para la enseñanza de una Ley Física?

Objetivos.**Objetivo general.**

Articular un estudio histórico sobre el principio de conservación de la energía y una propuesta que presenta algunas pautas para la enseñanza de una ley física.

Objetivos específicos.

Exhibir algunas conexiones históricas del principio de conservación de la energía con ciertos campos de la Física.

Ajustar algunas pautas, como propuesta para la enseñanza de una ley física, diseñando una guía didáctica sobre el principio de Arquímedes.

Antecedentes.

A continuación, se muestran algunos trabajos que están relacionados con los propósitos de esta monografía. La intención es describir respecto al tema de interés, ¿qué se ha estudiado hasta el momento como proyecto de grado en la Universidad del Valle para tener un precedente de partida según lo que se desea hacer? Estos son los antecedentes que se utilizarán como referencia:

Título:	El concepto de energía en la educación media
Autor(es):	Carabalí Ibarguen, César Augusto (Autor)
Publicación:	Colombia: Universidad del Valle, 2010

Descripción: Este trabajo presenta una investigación sobre el grado de comprensión que poseen algunos estudiantes de la ciudad de Santiago de Cali sobre la energía, en ese sentido, se usará tal prueba diagnóstica como punto de partida para formular una posible propuesta como secuencia histórica del principio de conservación de la energía.

Título:	Cómo presentan los textos escolares el tema de trabajo y Energía
Autor(es):	González, Claudia Cecilia (Autor)
Publicación:	Colombia, MAR 1994

Descripción: Este trabajo ofrece la posibilidad de revisar cual es la propuesta que ofrecen algunos de los textos escolares que se implementan en ciertos colegios de la ciudad de Cali y que, por ende, evidencian su popularidad entre los profesores y estudiantes en ciencias de secundaria. De acuerdo a esto, se pretende contrastar las implicaciones que se piensan claves en la descripción histórica sobre el principio de conservación de la energía con el análisis de textos de esta investigación. En ese orden de ideas, los capítulos de interés de este trabajo son el capítulo dos, llamado: La energía en la literatura didáctica, y el capítulo tres que se denomina preconceptos y conceptos acerca del calor, el trabajo y la energía.

Título:	Teorema fundamental de trabajo y energía
Autor(es):	Bocanegra, Liliana (Autor)
Publicación:	Colombia, 1993

Descripción: Este trabajo ofrece la oportunidad de revisar cual es el nivel de asimilación de los estudiantes de grado diez y once de algunos colegios de la ciudad de Cali, sobre el teorema fundamental de trabajo y energía, examinando que entiende un estudiante de estos grados sobre el concepto de energía. Con ello, se analizará el grado en que los estudiantes razonan y determinan la influencia del desarrollo histórico en ese proceso.

Marco metodológico.

Este proyecto ofrece una propuesta como introducción de un estudio histórico encaminado a la comprensión del principio de la conservación de energía, donde se identifican algunos de los momentos más relevantes en su instauración como ley física. La pretensión es que este análisis pueda implementarse como una posible herramienta en la enseñanza de esta ley física apoyando al proceso en el aprendizaje y mostrando cual es la característica de esta ley que se proyecta entender.

En este orden de ideas la presente monografía, se divide en dos fases, la primera muestra en forma progresiva las características cualitativas que desarrollan el principio de la conservación de energía, atribuciones que toman como referente el legado científico y filosófico de la Grecia clásica. Además, expresa cómo sus participantes en diversas situaciones del ámbito de la Física influyeron mostrando el carácter de la ley física en cuanto al principio de conservación se refiere. En la segunda parte, se consideran algunas pautas como propuesta para la enseñanza de una ley, abordando ciertos pasos que los estudiantes pueden seguir en la implementación de una guía didáctica del principio de Arquímedes.

En resumen, se plantea una metodología de trabajo dividida en dos capítulos. El primero, hace un resumen histórico sobre el principio de conservación de la energía, postulando una descripción teórica del concepto y buscando expresar las características de esta ley. El segundo, plantea algunas pautas como propuesta de enseñanza de un principio con relación a la didáctica en Física, específicamente, en lo que respecta a los fundamentos del principio de Arquímedes.

Marco teórico.

Al considerar que “entender cabalmente el concepto de energía con que operan las ciencias modernas es conocer el desarrollo histórico del principio de su conservación, en otros términos, la conservación es anterior a la energía” (Alinovi, 2007). Estas y otras fuentes que servirán como referente para la construcción de este trabajo, denotan la influencia de un enfoque histórico a la didáctica de la ciencia, pues tal como lo afirma María Ayala M., “la actividad científica que practica una sociedad reside en la forma como sea apropiada la ciencia por la cultura de base, puesto que nada puede ser transferido a una cultura sin que sea transformado por ella” (Ayala, p. 6, 1992) esto indica que para favorecer la comprensión del principio de conservación de la energía, es prudente conocer parte del contexto histórico en el cual se desarrolló.

Para alcanzar los objetivos, se aborda una bibliografía que detalla las herramientas implementadas para su desarrollo. Específicamente se clasifican tres enfoques, el primero concerniente a los textos que permitirán realizar la descripción histórica del principio de conservación de la energía, en el cual se puntualizan: Historia de la Energía y Evolución de los conceptos físicos. En el segundo enfoque, lo respectivo a la modelación matemática del principio de conservación en términos de la primera Ley de la termodinámica y el teorema fundamental de la Energía, recurriendo a varios libros de Física Universitaria, en especial, Física: fundamentos y aplicaciones (referencia bibliográfica). El tercer énfasis abordará lo correspondiente a la didáctica de la Física respectivamente a la energía, este análisis se soportará en el texto: Prevalencia de preconceptos y conceptos acerca del calor, el trabajo y la energía.

El carácter de la Ley Física.

Richard Feynman, (1986).

Este es un texto que recoge las conferencias del Físico y profesor Richard Feynman dadas en la Universidad de Cornell University, Estados Unidos en 1964. Siendo esta la primera edición en español de la novena que publicó el M.I.T. Press, específicamente se tendrá en cuenta los capítulos referentes a: los grandes principios de conservación y Simetría y Ley Física.

Towards a Learning Progression of Energy

Knut Neumann, Tobias Viering, William J. Boone, and Hans E. Fischer, (2012).

Este artículo, presenta una propuesta para el diseño de materiales didácticos como una secuencia o guía didáctica pensada para el proceso de aprendizaje de los estudiantes en el principio de conservación de la energía. Específicamente se tendrá en cuenta de este material los niveles de conceptualización que se requiere para un proceso progresivo en el aprendizaje de esta Ley.

Prevalencia de preconceptos y conceptos acerca del calor, el trabajo y la energía.

Álvaro Perea, Universidad del Valle (1995)

Para realizar la comparación entre la descripción histórica del principio de conservación de la energía y algunos recursos en la enseñanza de este Ley, se resalta el interés por lo descrito en los capítulos tres, cinco y seis. En este trabajo se describen: la

primera ley de la termodinámica, donde plantea “que hay una cierta cantidad que llamaremos energía, que no cambia en los múltiples cambios que ocurren en la naturaleza” (Perea, 1995). Convenientemente se resaltará de esta sección el principio de conservación de la energía. El capítulo dos hace una descripción del estado del arte referente a calor, trabajo y energía, creando un recorrido sobre la literatura en didáctica de la Física de este tema. El capítulo tres enfatiza la investigación realizada con algunos estudiantes de educación media de la ciudad de Cali para conocer el grado de asimilación relativo a estos términos de acuerdo a la encuesta o guía diseñada con este fin. El capítulo 5 presenta el modelo constructivista para el desarrollo del currículo de la profesora R. Driver. Y una propuesta de metodología en la enseñanza de la Física, finalmente el capítulo 6 presenta las conclusiones de este trabajo investigativo.

Historia de la energía.

Matías Alinovi, (2007).

En esta obra se hace una descripción histórica en el desarrollo del principio de conservación de la energía, desde las ideas de los griegos hasta la primera ley de la termodinámica. Específicamente este texto guiará el recorrido que de forma general se pretende presentar en los diferentes escenarios de tiempo.

Historia de la Energía, es un libro que describe desde un principio, que entender el concepto de energía, tal como Feynman lo expresó, dependerá de cuanto se comprenda el principio de su conservación. Por ello, el texto que se divide en tres partes, hace una descripción histórica del principio de conservación desde la idea que tenían los griegos sobre algo que se conserva, hasta como Albert Einstein vincula la energía y la masa de un

cuerpo en una ecuación. Narra así, cómo fue abriéndose camino a través de la historia el principio de conservación en los diferentes campos de la Física y describe las distintas formas de energía o mecanismos de transferir energía.

En esencia, este será el camino histórico que se pretende seguir según los diferentes momentos representativos que el texto explicita fueron de mayor importancia en el desarrollo de este principio. En específico se analizará el papel del principio de conservación de la energía en periodos como: la idea de la conservación en los griegos, la edad media, la conservación en Descartes y en Huygens, Leibniz su “fuerza viva” y Newton, los aportes en termodinámica y la equivalencia entre calor y trabajo. De este modo se recorre por un camino que conduce hasta lo que el autor denomina la ley de leyes, la ley de la conservación de la energía.

El maravilloso mundo de la Energía.

Lancelot Hogben (1972).

En el texto, Hogben describe cómo ha sido la evolución de la energía en lo que respecta a los procesos de experimentación y aplicación práctica. Pasando por diferentes periodos de la historia, habla sobre la fuerza muscular, el descubrimiento de la gravedad, la utilización de la energía térmica, eléctrica y atómica.

Resumen histórico del principio de conservación de la energía.

El principio de conservación en la física antigua.

Este capítulo, inicia con uno de los muchos misterios que inspiraron a hombres y precisan interrogantes que nos han permitido desarrollar nuestro conocimiento del mundo, en particular se discutirá el principio de conservación. Se comienza aproximadamente en el siglo VI a.C. con un estudio sobre el cosmos desarrollado simultáneamente en las escuelas Milesia y Jónica. Tal análisis instauró una filosofía que postula algunas respuestas a la pregunta: ¿cuál de los elementos agua, tierra, fuego, o aire, constituye el universo? Forma de pensar que se conoció como la filosofía de la naturaleza. Tales de Mileto, quien fue precedente en algunas de estas ideas, introduce unos lineamientos que determinarían los principios que antecederon a los filósofos naturalistas de la época. Entre las nociones fundamentales que él suponía debían constituir la filosofía de la naturaleza se tienen:

- i. La existencia de un orden de leyes naturales inmutables que descarte la intervención de entes divinos.
- ii. Explicar la presencia de una forma primitiva de la naturaleza que es origen de los demás elementos perceptibles para los sentidos.
- iii. Aceptar que existe una cantidad constante del elemento primitivo.

La consigna de Tales de Mileto fue: “Todo es agua”. Basado en sus postulados, él explicaba algunas ideas de la siguiente forma:

- Si los dioses existen, entonces ellos también tendrían un límite en sus audacias de voluntad. La existencia de un orden en el universo, así lo demandaría.

- Los otros elementos primordiales son transformaciones del elemento primitivo agua.
- Lo perceptible por los sentidos es una realidad que obedece a leyes naturales que el hombre trata de comprender mediante la razón.

La transformación del elemento primitivo conlleva a un ciclo infinito de ida y vuelta, proceso del cual se concluye que tal característica exige la existencia de una cantidad constante de este elemento. Para ejemplificar este proceso, Tales aboga a una metáfora que al parecer ya había sido conocida en Egipto y Babilonia, mencionando el hecho de: “si las plantas y los animales, por ejemplo, se nutren del agua, los cuales, a su vez, son alimento para otros animales, que los restos de los animales sirven de abono a las plantas, donde, tanto la planta como el animal que mueren vuelven a la tierra, tierra la cual solo es una pequeña isla en el vasto océano que es el universo” (Alinovi, 2007, p.18), entonces este proceso valida el postulado de un ciclo perpetuo. Posterior a Tales, aparecen otros filósofos, algunos, discípulos de él, quienes, en su intento de describir el universo, les dieron supremacía a los demás elementos primordiales. Anaxímenes y Diógenes de Apolonia, por ejemplo, apoderaban al aire como materia primordial, Heráclito de Éfeso al fuego, la tierra por su parte estuvo representada por Jenófane. Otros filósofos de la época, como Empédocles y Anaximandro, pensaban que la sustancia primitiva no era ninguno de los elementos primordiales, en su caso, argumentaban que tal confrontación por mostrar alguno de los elementos como el generador, prueba el hecho de que cierta jerarquía no existe y por tanto la sustancia primordial debe ser una materia independiente, que, por algunos procesos, generaban los elementos de la naturaleza. Estas sustancias fueron:

- En el caso de Empédocles el elemento primitivo no era uno, para él los cuatro elementos primordiales poseían la misma jerarquía, y todos existían en sí mismos como materia.
- Anaximandro por otra parte, no aceptaba a ninguno de los cuatro elementos primordiales como el primitivo. Él concebía como el fundamento a un elemento indefinido y absoluto, el apeiron. Una sustancia de la cual se diferencian los opuestos primordiales, como, por ejemplo: caliente y frío, húmedo y seco, que se caracterizan porque su devenir está animado por la unilateralidad de cada parte, de igual manera, es en el apeiron, donde está el principio de todas las cosas como individuales. Ahora bien, allí mismo donde hay generación para las cosas, allí se produce también la degradación de unilateralidad, proceso que es infinito.

En todo caso, parece que independiente de la sustancia generadora, los filósofos que se apoyaron en los elementos naturales para explicar el universo, respetaron las tres consignas de Tales, tal como lo afirma Alinovi (2007), al decir que en la antigüedad en cuanto al principio de conservación respecta: “se perfeccionó la concepción de una ilimitada transformación de las sustancias unas en otras” (pag.20)

En Elea, sin embargo, algunos filósofos como Parménides y Milissus de Samos, no muy conformes con las ideas de la sustancia primordial y el cambio perpetuo, postularon que la realidad en sí, es una mera fachada, que el universo es algo que ha existido y de esa forma continuará, sin alteración ni transformaciones, algo infinito en existencia. Un universo en el que simplemente no se puede descifrar el componente, pues la razón, no lo permite, y toda percepción captada por los sentidos es solo una ilusión, un aparente espejismo del hecho de “ser”. Por otra parte, los atomistas como: Leucipo de Mileto y

Demócrito de Abdera, quienes de una forma menos escéptica que los eléatas, tampoco adoptaban la idea de la sustancia primitiva, concluían que el universo está conformado por átomos y vacío, que los átomos son partículas que suponían eran el límite de la división más allá del límite de percepción, y que el vacío, “la nada”, existía debido al continuo movimiento de los átomos, pues de no ser así, sería imposible dividir, por ejemplo, con la hoja de un herramienta cortante algún tipo de material. Para argumentar los distintos tipos de materia, concluyeron que, de esa misma forma, existían diferentes tipos de átomos y que la transformación de la materia correspondía únicamente a una reorganización de tales partículas, idea que se traduce en una cantidad fija de átomos.

Aristóteles un Estagirita, que en relativa medida consideraba algunas ideas de los Jónicos, no concebía posible la teoría de los atomistas. Él pensaba contradictorio el hecho que si un átomo tuviera materia y dimensión entonces no pueda ser dividido, bajo el principio de negación y contradicción, juzgó la existencia del vacío de Leucipo, dado que no asentía la presencia de la nada, y asumía la teoría atómica como un argumento abstracto que no se adecuaba al contexto real, una explicación de carácter más geométrico. Se preguntaba además a modo de crítica, por el hecho de: si los átomos se reordenan, ¿quién y cómo genera ese movimiento? En su opinión, existía una quinta esencia entre los elementos primordiales, una que era incomparable con las demás por el hecho de no ser corruptible, esencia de estrellas y astros, una materia animada. Por ejemplo, creía que la causa del movimiento era la misma materia, las cosas cambian simplemente por el hecho de estar vivas. Esta concepción tuvo en su posterioridad mayor aceptación, aprobación que también era suscitada por factores políticos y religiosos, prolongando su doctrina hasta el periodo que se conoce como la edad media.

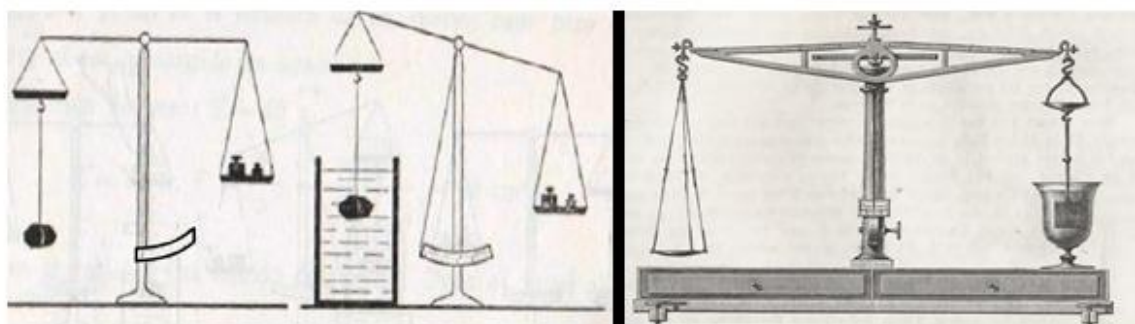


Gráfica que representa la idea del elemento primario. “Arjé significa principio u origen es un concepto fundamental en la filosofía de la antigua Grecia que significaba el comienzo del universo o el primer elemento de todas las cosas. El filósofo griego Aristóteles destacó el significado de Arjé como aquello que no necesita de ninguna otra cosa para existir, solo de sí mismo, es decir, como el elemento o principio de una cosa que, a pesar de ser indemostrable e intangible en sí misma, ofrece las condiciones de posibilidad de esa cosa” tomado de:
<https://es.pinterest.com/pin/563090759638260726/>

Aproximadamente en el siglo III a.C., Arquímedes, en su estudio sobre el esfuerzo establece la siguiente ley, dos masas, A y B, se equilibran cuando el peso de A multiplicado por su distancia a un punto de apoyo (fulcro) es igual al producto del peso de B por su respectiva distancia. Según Hogben (1972), para el caso del aparato mencionado, se puede plantear una semejanza entre trabajo y la ley de la palanca usando como medida del trabajo el producto del peso por la altura, en sus palabras dice: “Con este concepto de trabajo descubrimos un nuevo significado del principio de la palanca de Arquímedes; la palanca está en equilibrio cuando el brazo humano desarrolla en uno de los extremos de la misma, una cantidad de trabajo equivalente al que realiza la carga en el otro extremo” (Hogben, 1972, p. 9). Pero: ¿qué demandaba tal esfuerzo? Para ello se debe detallar qué entendía Arquímedes por peso.

De acuerdo a los experimentos del principio de Arquímedes, él observó que los objetos con diferentes pesos, se hunden en el agua con distinta velocidad y que en algunos

casos estos flotaban. Tal hecho, lo llevó a concluir que un objeto sumergido en agua experimentaría una disminución de su peso, y que la causa de la disminución se debía a un empuje que era generado por el fluido, además encontró que tal disminución, era equivalente al peso del agua que el cuerpo desalojaba, a la nueva medida del peso le reconoce como el peso aparente del objeto sumergido en agua.

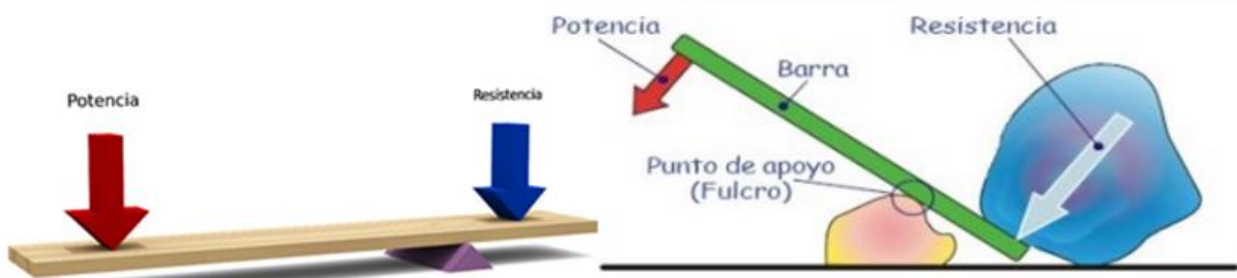


Grafica 1. Imagen de la izquierda: Al sumergir en agua una de las dos masas según la balanza, ésta se desequilibra. Imagen de la Derecha: En esta grafica se muestra la balanza de Arquímedes. Foto/Scan - digitalmente renovado: (W.Griem, 2014); De: Friedrich Schoedler (1863) tomado de: <http://www.geovirtual2.cl/geoliteratur/Schoedler/Schoedler-1-094-balanza-arquimedes-1863.htm>

Así, afirma Hogben (1972) que Arquímedes concluyó que: “el peso de una masa cuya densidad es cinco veces mayor que la del agua, disminuye en un quinto; el de otra de densidad tres veces mayor, disminuye en un tercio, y, finalmente la esfera cuya densidad coincide con la del agua pierde la totalidad de su peso (pág. 16)” Con esto, se entiende que, si bien Arquímedes concibe a la densidad como la cantidad de materia por unidad de volumen, la masa no es entonces, la que experimenta cambios al sumergir los objetos en agua, y por ende, masa y peso son dos cantidades de diferente significado. Siendo el peso una cantidad medible, eso sí, relacionada al valor de la masa.

Ahora, usando la definición de potencia, una relación entre el trabajo necesario para vencer un respectivo peso y elevarlo una altura, y el tiempo en que la masa se mueve, se puede decir para la ley de la palanca de Arquímedes, que: el sistema de palanca se

encuentra en equilibrio rotacional, si la potencia por un brazo de la palanca es igual a la resistencia por el otro, tal como muestra la gráfica 2. Por lo tanto, se cuenta con un principio de conservación, una ley que además dará fundamentos a la consideración de la conservación del movimiento.



Gráfica 2.

Gráfica 1. El esquema de la izquierda muestra una palanca en equilibrio rotacional. A la derecha de la imagen, se muestra una palanca en la cual el torque causado por la resistencia es mayor. Tomado de:

<https://www.google.com.co/search?biw=1093&bih=530&tbm=isch&q=ley+de+la+palanca+de+arquimedes&sa=X&ved=0ahUKewiR55Kq5ODRAhVEHJAKHezUChcQhyYIGQ#imgrc=DMjkoKvnVTkXtM%3A>

Matemáticamente si la potencia P y la resistencia R están relacionadas, entonces tal relación posee el siguiente modelo:

$$P/R = K \quad 1$$

Ahora, se puede probar que tal relación es directamente proporcional para el caso del equilibrio, en cuanto se conserven las variables del medio. Por lo tanto, la ecuación 1, nos muestra la relación que postula la ley de la palanca, en términos de una cantidad K que es constante en estas condiciones.

En ese lapso de tiempo, hasta el siglo XV D.C. aproximadamente, gran parte del quehacer filosófico y científico se dejó en manos de los alquimistas, quienes, adoptando la

idea de la materia viva, suponían el hecho de la evolución y buscaban de este modo, la posibilidad de acelerar tal proceso en los metales, experimentando para poder llevarlos a su estado más perfecto, el oro, causa que de forma natural demoraría demasiado. En ese progreso, desarrollaron técnicas de ensayo y error, y registraron sus resultados con avances en el ámbito: textil, metalúrgico, fabricación de cerámicas, entre otros. Esto era aceptado entre los alquimistas, porque, de acuerdo a las concepciones de los filósofos de la materia animada, todo proceso de transformación de la materia suponía la conservación de algo.

Al final de este periodo, algunas vertientes de la filosofía nuevamente tienden a adoptar el pensamiento de los filósofos naturales. Con la aceptación de los átomos se hace cada vez menor el prestigio de los alquimistas, hecho que reitera de igual manera, la fundamentación en la idea griega de la conservación.

El principio de conservación en la física clásica.

Mecánica.

Hasta el siglo XVI d.C., durante la edad media, el hombre occidental había perfeccionado técnicas en el uso de fuentes naturales como: los ríos, los vientos, combustibles naturales, el calor del sol, el campo magnético, etc., todo esto sin que se explotara ninguno de ellos totalmente. Con la construcción de mejores herramientas se optimizaron las formas de realizar trabajo, por ejemplo: con la implementación de la rueda hidráulica en sistemas de riego y de molinos móviles, la magnetización de hierro dulce para el uso de la brújula, engranajes, palancas, el trineo, el plano inclinado, el arco, las poleas, el cabrestante, la catapulta, entre otros, herramientas que además eran construidas de metales cada vez más finos eran, por lo tanto, muestra del conocimiento empírico desarrollado a causa de la necesidad de realizar esfuerzos más y más grandes. Algunas de estas herramientas son evidencia también que el medio para subsistir que predominó fue la fuerza muscular, y en donde el desarrollo de cada una de éstas se direccionaba hacia el objetivo de mejorar lo que actualmente se define como potencia, idea que buscaba optimizar el proceso de realizar un trabajo a partir de la posición o ubicación de un cuerpo respecto al sistema, en la unidad de tiempo. Se puede inferir, que parte de este refinamiento de artefactos es consecuencia también de los sucesos de este periodo, por ejemplo: espectáculos como el de los gladiadores desaparecieron, la esclavitud entró en declive, surgieron algunas epidemias, eventos que condicionaron que la mano de obra del esclavo ya no fuera barata y, por tanto, el hombre buscó hacer mejor uso de lo que le brindaba su hábitat. Estas máquinas usaron principalmente el principio de la palanca.

Las ciencias de esta época abordaban teorías de pensadores tales como: Copérnico, Johannes Kepler, Giordano Bruno, Galileo Galilei, René Descartes, entre otros, quienes fueron epígonos o refutadores del legado griego. La búsqueda del conocimiento muestra que una de las estrategias para plantear algunos de los saberes, consistió en visualizar patrones en los fenómenos de estudio, sucesos que permanecían constantes o se repetían en el continuo cambio. Un ejemplo de esto es la victoria ante los tabúes que acarreaban la aparición de los cometas. Newton, por ejemplo, fue uno de los que ayudaron a separar los mitos del movimiento de los astros, fenómenos atados a la llegada de enfermedades y calamidades. En el Año de 1634 llegó el cometa Halley precedido de una plaga que azotó a Europa y del gran incendio de Londres, hechos que le reiteraban el apelativo al cometa de estrella maligna, que, en su raíz del griego antiguo, traduce: desastre. Para esta época, la influencia del trabajo de Newton, la investigación de algunos patrones en el movimiento de los astros y las observación y registros en tablas astronómicas de Nicéforo Grégoras, llevaron a Edmond Halley a describir el movimiento de los cometas y a predecir la aparición cada 76 años del cometa de 1634 llamado en su honor, cometa Halley. Esta forma o tendencia de validar el conocimiento y construir ciencia vislumbraba la aparición del método científico, un esquema de procedimientos para observar la extensión de un modelo científico, que, aunque asediada por la inquisición de la época, conquistó el miedo y les dio a los hombres un mecanismo que permitía explorar tales apreciaciones de manera científica, usando: la teoría, el rigor y la técnica de la experimentación.

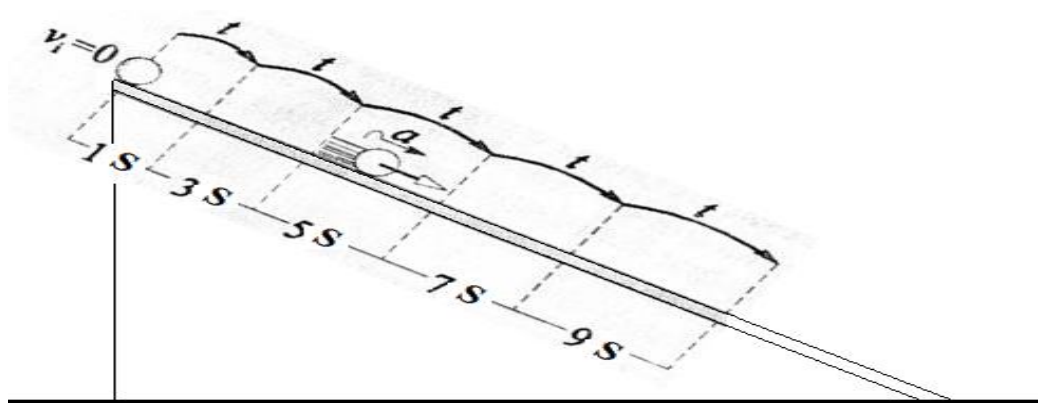
Es Galileo Galilei (Pisa 15 de febrero de 1564 -Arcetri, 8 de enero de 1642), a quien se le adjudica un aporte significativo en el desarrollo de la Física. Entre algunos de estos, se puede resaltar el uso del método científico, el estudio del movimiento de los cuerpos con velocidad constante y acelerado, el estudio del péndulo, el mejoramiento del telescopio, el descubrimiento de cuatro satélites de Júpiter, de las montañas de la luna, de las manchas solares, entre otros. Descubrimientos y estudios que llevaron a Galileo Galilei a ser un reconocido científico del siglo XVII. Galileo defendió el sistema del universo Copernicano, hecho que sumado según se cuenta, a su egocentrismo y sed de conocimiento, le llevaron a tener problemas políticos. Pasó sus últimos ocho años de vida bajo arresto domiciliario, tiempo en el que se dedica a escribir varias de sus ideas y estudios que había trabajado sobre el movimiento. En particular, en el libro: “Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias”, Galileo deja de manifiesto que había leído a Arquímedes, y que entendía varios principios, por ejemplo, él sospechaba que el aire poseía peso, pues al tener peso ejerce un empuje hacia arriba y por lo tanto esto explicaría porque una piedra y una pluma no caerían al mismo tiempo, -un año después de la muerte de Galileo, Torricelli (Faenza, Italia, 15 de octubre 1608 - Florencia, Italia, 25 de octubre 1647) probó que el aire pesa-. Construyó un modelo para calcular el ritmo de cambio en la velocidad que un cuerpo gana al caer, cantidad a la que se llama: aceleración “a”. Variable que sería utilizada más adelante para calcular el peso “w” de un cuerpo, una medida que es igual al producto de dos factores: la magnitud que mide una balanza llamada masa “m” y la aceleración. Por lo tanto:

$$w = m * a$$

También entendía que era el peso la causa por la que los cuerpos caían a la tierra y no como lo planteaban por aquel entonces los Aristotélicos.

Para probar esto usó su modelo del movimiento acelerado aplicado a la caída de los cuerpos e implementó los planos inclinados, un instrumento que le permitía demorar más los movimientos para tomar registro de estos.

Galileo, con el estudio de los planos inclinados logró encontrar las características de los movimientos con aceleración uniforme, y es que, se podría decir que sin el uso del cálculo que se formuló una generación más tarde, es muy complejo el lograr encontrar tales características; y sin embargo, Galileo al igual que Nicole Oresme (Fleury-sur-Orne 1323 - 11 de julio de 1382) establecieron las ecuaciones matemáticas del movimiento uniforme acelerado. Galileo, encontró experimentalmente que cuando los cuerpos se aceleran de forma constante cumplen la sucesión de los números impares, relación que se obtiene entre el desplazamiento “s” realizado por cada unidad de tiempo “t”, tal como muestra la gráfica 3:



gráfica 3. Modelo del plano inclinado de Galileo, con la relación de espacio y tiempo para un movimiento uniformemente acelerado.

Así, en una unidad de tiempo un móvil bajo aceleración uniforme recorre una unidad de distancia, para la siguiente unidad de tiempo el móvil recorrería tres unidades de distancia, y se repite sucesivamente para cada instante de tiempo, recorriendo en unidades de distancia un número de la sucesión:

$$1, 3, 5, 7, 9, \dots, (2n-1), \dots$$

Además, comprendió que tal desplazamiento también se puede obtener sumando las unidades de tiempo, es decir, para una unidad de tiempo se tiene una unidad de distancia, para dos unidades de tiempo se tienen cuatro unidades de distancia, y así respectivamente, notando que el desplazamiento “s” en un movimiento acelerado uniforme es directamente proporcional al cuadrado del tiempo “t”, de modo que se puede establecer la siguiente expresión:

$$S(t) = c * t^2 \quad 3$$

Donde “c” corresponde a la constante de proporcionalidad y numéricamente quiere decir que es la distancia que recorrería el cuerpo durante un segundo. Con respecto a la caída de los cuerpos, Galileo encontró que la aceleración “a” sería igual a “2c”, llamemos a esta cantidad g, por tanto, $g = 2c$. De este modo, las expresiones para el desplazamiento $S(t)$, la aceleración $a(t)$ y la velocidad $v(t)$, con el lenguaje matemático actual, quedarían:

$$S(t) = \frac{g}{2} * t^2 \quad 4$$

$$V(t) = g * t \quad 5$$

$$a(t) = g \quad 6$$

$$v^2 = 2gs \quad 7$$

Galileo al igual que Oresme, llegaron a estos resultados utilizando similares elementos matemáticos, con razones y proporciones entre cantidades y figuras geométricas -Ellos expresaron estos modelos en un Álgebra sincopada, pues era el simbolismo usado en la época para el lenguaje matemático, una mezcla de un lenguaje en parte geométrico, en parte cuantitativo y también de una parte del lenguaje natural-.

Los experimentos también le condujeron a una aguda idea, suponga la figura 4. En cada caso hay dos planos inclinados, a derecha e izquierda respectivamente. Él comprendió que el movimiento que adquiriría la esfera para el caso A, B, C o D de la figura, era a causa de la altura en la que soltaba la esfera, además, si unimos otro plano inclinado en la base tal como muestran los literales A, B y C de la gráfica, sin importar el recorrido ideal -Lo que se podría observar cuando se pulen las superficies más y más, y en la situación límite, de unas superficies sin fricción. Hecho que demanda la visualización de una situación ideal, un experimento mental- la esfera alcanzaría un punto en el actual plano que coincide con la altura desde donde fue soltada.

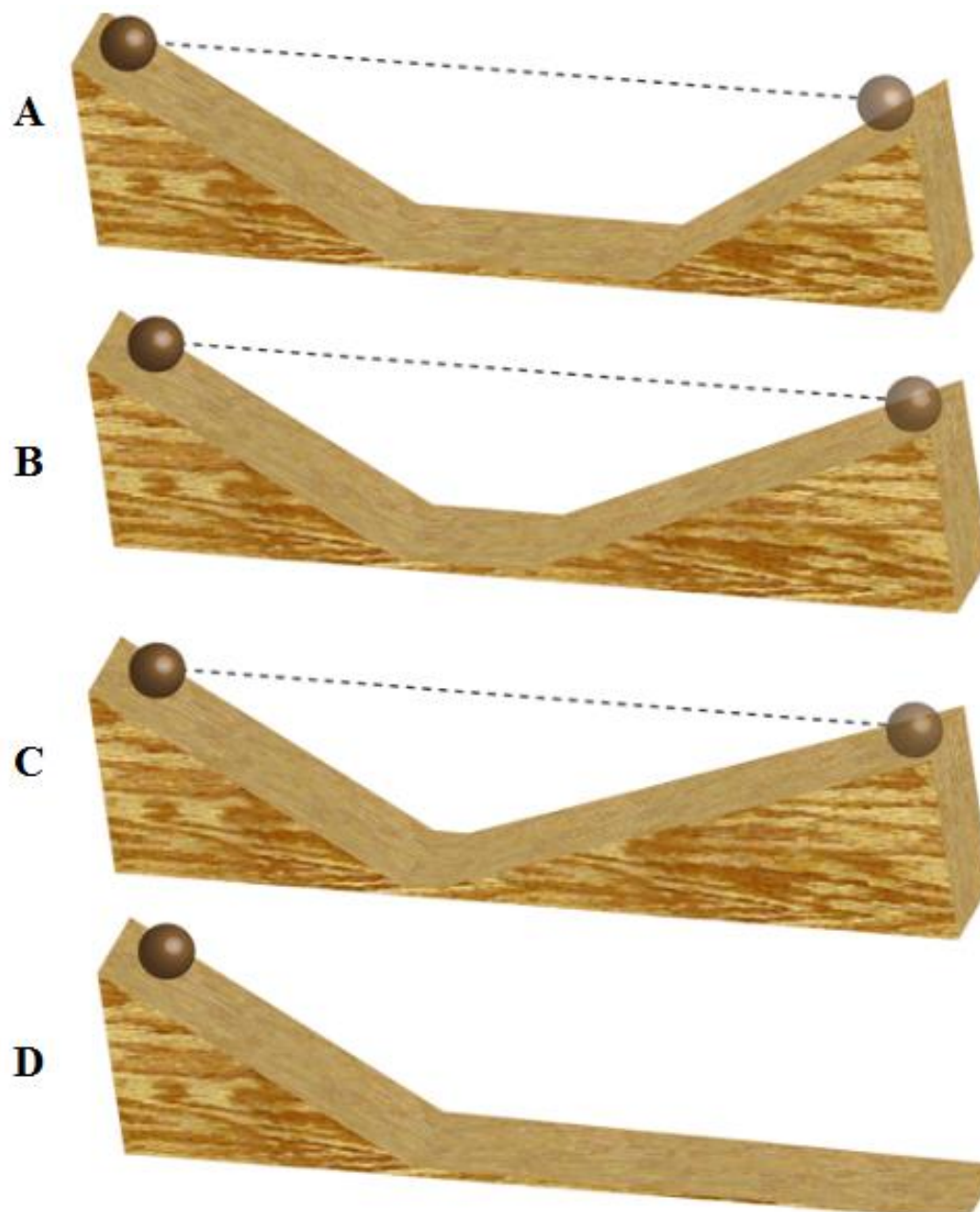


figura 4.

Grafica 4. En ésta, se representa cuatro modelos, tres de ellos: A, B y C, poseen dos planos unidos en la base respectivamente. En cada caso, varía el ángulo de inclinación de cada plano. En el modelo D, solo aparece un plano. Tomado de: http://impresionesmiguel.blogspot.com.co/2011_07_01_archive.html

Haciendo una comparación con el principio de palanca, podríamos pensar que cada plano funciona como un brazo de la palanca, y que la capacidad de moverse que adquiere la esfera a partir de su altura se traduce en la potencia que esta puede desarrollar en el descenso, y que la resistencia corresponde entonces, a la potencia que se necesitaría para hacer subir la bola en el plano opuesto en contra de su peso, equiparando ese trabajo realizado. Tal vez, Galileo usó este principio para confiar en los resultados de sus experimentos, pues hay que recordar que tal experiencia solo podría darse si las condiciones de la prueba son ideales, experimentos que omiten toda clase de intervención externa, como por ejemplo el rozamiento. Tal seguridad también pudo deberse al uso que hizo de las matemáticas, en todo caso, concluyó que, si la esfera pudiera rodar idealmente sin tener que equilibrar el potencial que le permitía moverse, tal como se muestra en el literal D de la figura 4, entonces, ésta seguiría hacia el infinito, siempre con la misma velocidad, sin perturbaciones de rozamiento la esfera entonces se movería perennemente alrededor de la tierra, es decir, describiendo trayectorias circulares. A esto lo definió como un principio del movimiento. Y es una ley, que se traduce en un principio de conservación, y aunque Galileo Galilei no lo expuso, contribuyó significativamente al surgimiento de nuevos fundamentos.

Galileo Galilei se opuso a muchos principios Aristotélicos, su ley de la inercia - aunque él no le llamase así- es un ejemplo de ello. Al final, la iglesia católica, reconoció que no manejó adecuadamente el caso de Galileo, el papa Juan Pablo Segundo, repaso las palabras que Galileo escribió algún día en una de sus cartas, y dijo: que las sagradas escrituras no se equivocaban, que la cuestión dependía de sus intérpretes y que la ciencia y la religión no debieran de entrar en conflicto. Cuentan las anécdotas, que Galileo cuando

fue llevado a su confinamiento domiciliario, dijo: “y sin embargo se mueve”. Actualmente su cuerpo yace en la catedral de Santa Cruz de Florencia.

En el siglo XVII, el filósofo René Descartes (Turena, 31 de marzo de 1596- Estocolmo, 11 de febrero de 1650), escribe el material sobre algunas leyes del movimiento. René Descartes, fue un hombre apasionado por las matemáticas, la metafísica, la filosofía, el arte, por los viajes y la guerra, pero en estas últimas, su interés al parecer se centraba más por la idea de conocer las sociedades. Así mismo como viajó, paso largos tiempos en solitario, tiempo en el que plasma su pensamiento creciendo entre los Jesuitas. Basado en la idea de su geometría analítica, no cree en la teoría del átomo y el vacío, pues para Descartes, la causa del movimiento era Dios, y si el átomo fuera una partícula indivisible, entonces sería además un elemento que retaría el accionar divino. Entre las ecuaciones para el movimiento de Rene Descartes se tienen siete principios, los cuales en palabras de Alinovi (2007) se enumeran así:

- El origen del movimiento lo otorga a Dios, él es la esencia de todo. Según Descartes, este hecho no discrimina al movimiento.
- Las ecuaciones del movimiento, son las reglas que Dios creó para dar un orden al caos que fue el inicio de la creación.
- Las matemáticas son el lenguaje que pueden descifrar el problema del movimiento -Descartes, conocía sobre curvas y algebra, y logró en sus obras unificar estas ramas con el ideal de asociar un único número a un punto del espacio- porque estaba convencido que era este lenguaje el que usó Dios para crear el universo.

- La ley del movimiento constante es otro de sus principios, en este afinaba el postulado de Galileo sobre la idea de inercia, en cuanto a que, para Descartes, esta ley se desarrolla en línea recta, en Galileo, sin embargo, era un movimiento que seguía una trayectoria circular.

Los otros principios que postuló para el movimiento se enfocan en la pregunta ¿qué y cómo se puede sacar a un objeto de su estado de reposo? Para Descartes, fue coherente el argumento de Galileo que dice que un cuerpo mantendría su velocidad constante a menos de que algo le alterase, y tal situación solo era posible al interactuar con otros cuerpos, por lo tanto, estudiar las variaciones en la velocidad eran cuestión de observar las colisiones de los cuerpos. Entre los principios que describen este tipo de fenómeno, están:

- Una masa de menor valor, no podrá mover en lo absoluto otro cuerpo masivo al momento de chocar. Esta ley, muestra que Descartes perpetraba los experimentos en su mente y que no realizó los suficientes ensayos al respecto, pues este principio no considera masas con un grado muy pequeño de diferencia, a esta escala no sería acertado el enunciado.
- Asume los choques como un tipo de disputa, donde existe el vencedor quien es el que impone su carácter.
- Para Descartes, el reposo y la velocidad son dos estados diferentes de movimiento.

Estos tres, son los postulados que fueron considerados erróneos y serían replanteados por conocedores de las teorías de Descartes años después. La cantidad de movimiento fue uno de sus grandes aciertos, concepto que entendió dependía de la masa y

de la velocidad del sistema, y por tanto lo define como el producto de estas dos. Así, sean:
la cantidad de movimiento P , la masa M y la velocidad V respectivamente, se tiene:

$$P = M * V \quad 8$$

Este principio es de gran interés, pues de acuerdo a Descartes, al ser Dios quien les dio movimiento a los cuerpos, esta cantidad debería de poseer un valor fijo en el universo y, por lo tanto, sumar la cantidad de movimiento de todos los cuerpos llevará a un resultado invariante. En términos de Rene Descartes se diría: Dios conserva el movimiento del universo.

Christiaan Huygens (La Haya, 14 de abril de 1629-ibídem, 8 de julio de 1695) realizó estudios en Física, Astronomía y Matemáticas, construyó telescopios que superaron en alcance y nitidez a la mayoría de los de su época, con estos, descubrió a Titán, luna de Saturno y las formas de los anillos de Saturno. Su interés por las ciencias le llevó a viajar reiteradamente a Londres y París. En aquellos viajes, conoció los trabajos de Leibniz y Newton, del cálculo de probabilidades de Fermat y Pascal, y de la mecánica de Descartes, y estaba en general familiarizado con los avances científicos de la época en su área de interés. En 1663 fue elegido miembro de la Royal Society. Su estudio sobre el movimiento lo desarrolló principalmente en colisiones, teoría que presenta en 1669 a la Real Sociedad que por ese entonces buscaba comprender las características de los choques.

Con siete leyes al igual que Descartes, Huygens modeló sus principios del movimiento. El comprendió, que para ciertos casos de la mecánica Cartesiana existían discordias en algunos de ellos con respecto a los experimentos, cuestión en la que trabajó.

Para hablar sobre las colisiones, se fundamentó en la cantidad de movimiento. Entendió que tal como lo plantea Descartes en cuanto al valor del producto de velocidad por masa, este módulo, es un resultado que no siempre se conserva si no se tiene en cuenta la dirección de la velocidad, es decir, asumiendo a la velocidad como una cantidad que más adelante se llamaría: cantidad vectorial. También notó que al hacerlo de esta forma se complicarían los cálculos cuando se trata de un número mayor a dos colisiones. Buscando tal vez un modo de optimizar tal proceso sin omitir el fundamento de la conservación, descubrió que teóricamente el producto de la masa por el módulo de la velocidad al cuadrado en un choque, no varía en cantidad. De esta manera, precisó el principio de conservación de la cantidad de movimiento con una expresión que, aunque para él no tuviera significado físico resolvía el problema de las direcciones y sentido en los choques. “Huygens encontró que: La suma de los productos entre la masa y el cuadrado de la velocidad de cada cuerpo era la misma antes y después del choque” (Alinovi, 2007, p.46). Esto es, si dados dos cuerpos 1 y 2, estos interactúan en una colisión, entonces:

$$(m_A * v_A^2)_1 + (m_A * v_A^2)_2 = (m_D * v_D^2)_1 + (m_D * v_D^2)_2 \quad 9$$

Dónde: M_A y V_A son la masa y la velocidad antes del choque y, M_D y V_D los datos después del choque respectivamente. En este modelo, solo interesa la magnitud de la velocidad. Sus últimos estudios los dedicó a la óptica. Murió en Holanda.

Gottfried Wilhelm *Leibniz*, (Leipzig, 1 de julio de 1646-Hannover, 14 de noviembre de 1716) fue uno de los grandes pensadores de su época. Algunos estudiosos de Leibniz lo describen como el último genio Universal y dicen sobre él que fue un hombre de mucha lectura, estudio y escritura, una persona dedicada a la matemática, física, geología,

lógica, religión, jurisprudencia e historia. Son vastos los trabajos de Leibniz, pero el enfoque que desarrolló sobre el producto sin significado físico que introdujo Huygens, es en el que nos centraremos. En relación a la Física, Leibniz, ahonda en el estudio de la mecánica -teniendo en cuenta que fue un crítico y analista de la teoría Cartesiana- abordándole, con la admiración que poseía por Rene Descartes. Se fundamenta en los principios cartesianos para las colisiones, y a partir de ello, comparte la idea de Huygens. Con este referente, Leibniz construye la teoría sobre la vis viva.

Al revisar los supuestos cartesianos sobre la cantidad de movimiento y su principio de conservación, él está de acuerdo en que tal fundamento de conservación es válido en tanto se asuma una causa diferente para el movimiento. Esto muestra que Leibniz no creía que el concurso ordinario divino de Descartes fuera la fuente de conservar en el movimiento, y sospechaba que tal conservación debía de estar ligada a algo más generalizado que la cantidad de movimiento, él pensaba que se debía de escudriñar en lo que fuera la causa de esta cantidad. Ya en tiempos anteriores se había analizado el concepto de fuerza -como por ejemplo lo habían hecho Arquímedes o Galileo para casos particulares- y aunque si bien, se le había abordado únicamente en términos estáticos, no era un concepto que comprendiera cualquier ámbito mecánico, noción que decidió precisar introduciendo la fuerza viva y la fuerza muerta.

De acuerdo a la concepción de Leibniz, la vis viva o fuerza viva -derivado de la raíz del latín: violencia - era la causa del cambio de movimiento de un cuerpo, ya sea para el caso de un objeto a velocidad constante o de un objeto que se encontrase en reposo. Las ideas mecánicas de Leibniz se fundamentan en un movimiento relativo, y al refutar el

movimiento absoluto que postulaba Descartes, el análisis revela que, para él, el movimiento en sus características de reposo o velocidad no podrían ser una manifestación diferente del fenómeno. Según Leibniz, debía de existir algo que indujera los movimientos, una fuerza inseparable al movimiento perpetuo, pero a la vez inalterable desde cualquier interacción física, a esta fuerza incitadora de movimiento, la llamó la fuerza viva.

Pero al buscar medir la fuerza, comprendió por ejemplo con respecto a la cantidad de movimiento de Descartes, que: para el fenómeno de caída libre, si se soltaran dos objetos con diferentes masas desde una misma altura, uno haría más daño al alcanzar el suelo, este era entonces un caso que posibilitaba medir la fuerza -esto era lo que había encontrado ya Galileo en su interpretación del peso- También entendió de los resultados de Galileo, que el ímpetu que adquiere un cuerpo desde una altura, debe ser el mismo que se necesita para elevarlo a tal posición, por tanto, sostuvo que en este tipo de fenómenos una medida de la fuerza era la altura, así, es perfectamente evidente, decía Leibniz, que el impacto depende de dos cosas: de cuánto pesa el objeto y desde qué altura “h” cae. Si llamamos “U” a la vis viva de Leibniz, entonces:

$$U \text{ proporcional } (m * h) \quad 10$$

Pero en un objeto que rueda horizontalmente, como una pelota ¿dónde entra la altura en tales medidas? por lo que, Leibniz se dio cuenta de que no era la altura lo realmente importante, sino la velocidad. Él sabía - de la ecuación 7- la relación entre velocidad y altura para el movimiento de aceleración constante, así:

$$U \text{ proporcional } (m * v^2) \quad 11$$

Finalmente, la relación de esta fuerza se manifestaba entonces en el producto que había descubierto Huygens en sus análisis, por tanto, la fuerza viva dependía de la masa y del cuadrado de la velocidad. Tal vez Leibniz supuso que Huygens no encontró el significado físico de esta medida de colisiones porque ciertamente esta expresión es consecuencia de un principio de carácter metafísico, una ley que era la responsable del movimiento, y precisó que era la fuerza viva la que permanece inalterable en el universo. Alinovi (2007) afirma que para Leibniz: “reposo y velocidad no pueden ser sino diferentes fenómenos relativistas, y que la fuerza es la que permite el pasaje de la metafísica a la naturaleza” (pág.52). En el caso de los objetos que no poseen movimiento, decía Leibniz, esto se debe a efectos de la fuerza muerta, la fuerza muerta viene siendo entonces, la acción que se da para perdurar un sistema en un estado de reposo relativo. Al final de su carrera, el suceso tal vez más importante en matemáticas durante siglos, hizo que Von Leibniz e Isaac Newton sacrificarán la dicha de su descubrimiento en una amarga discusión sobre quien fue su primer inventor.

Isaac Newton (Woolsthorpe, 25 de diciembre de 1642-Kensington, Londres; 31 de marzo de 1727) Algunos científicos de la época y de la actualidad, consideran a Newton como el físico más grande de la historia y es que además de ser un gran Físico, fue también, filósofo, teólogo, inventor, alquimista y matemático. Newton, al igual que Leibniz, introducen una poderosa herramienta matemática para el análisis en el cambio de las cosas. Usando un lenguaje de precisión y elegancia, él logra describir el comportamiento y las causas del universo mecánico, un lenguaje que ya era necesario por aquel entonces, pues desde Copérnico, el mundo Aristotélico se había perturbado, y los

fenómenos físicos demandaban argumentos más sólidos. Newton, había encontrado la forma de calcular el ritmo de cambio instantáneo en una función, y así fue, como logró estudiar problemas referentes a las rectas tangentes, la velocidad, la aceleración, la cantidad de movimiento, entre otras.

Para ese entonces ya se habían entendido las características del movimiento de la caída de los cuerpos y de los proyectiles, ideas sobre el reposo y movimiento habían surgido a partir del principio que tiempo después se llamó inercia, se habían presentado leyes sobre los movimientos planetarios, pero no había ninguna teoría unificadora, hasta que aparece el libro: *Philosophiæ naturalis principia mathematica* de Isaac Newton, con un conjunto de ideas que restablecieron el orden entre el cielo y la tierra. Newton era conocedor de los adelantos que en física y astronomía se habían realizado, y sus ideas, perfeccionaban en su esencia, los principios de inercia y de fuerza.

El principio de inercia, al cual Newton llamó axioma o ley uno, recogía las ideas de Galileo y Descartes, pero él, no distinguió entre reposo y velocidad como dos estados de movimiento diferentes, al reposo lo consideró como el estado de movimiento con velocidad igual a cero, y con esto, dijo que todo cuerpo mantendría su movimiento a velocidad constante y en la misma dirección, a menos que sobre el actuara una fuerza. Para aclarar la idea de fuerza, él postula su segunda ley, donde se describe que la fuerza es una interacción que se puede medir teniendo en cuenta que es directamente proporcional a la masa y a la aceleración de un cuerpo. Por último, agrega el principio de acción y reacción, pero lo define a partir de su medida de fuerza. Realizando algunas consideraciones sobre estos principios, se puede intuir que Newton entendía que:

- La segunda ley, asumía ser función vectorial, pues tanto la fuerza “F” como la aceleración, debían de tener la misma dirección.
- La aceleración es la derivada de una derivada, es decir, es la rapidez, con que varía la rapidez de cambio del desplazamiento.
- La fuerza es el ritmo de cambio de la cantidad de movimiento.

Haciendo una pausa en este punto, el argumento se refiere como lo decía Newton en su primera ley, que el cambio en la cantidad de movimiento -que la velocidad se modifique en modulo y/o dirección- era una consecuencia de una interacción, y ya por Descartes y Huygens se entendía que tal fenómeno era posible en los choques, por tanto:

$$\mathbf{F} = \frac{d}{dt} \mathbf{P} \quad 12$$

De la anterior expresión y de la ecuación 8, si la masa es constante se tiene:

$$\mathbf{F} = m * \mathbf{a} \quad 13$$

- El principio de acción reacción es consecuencia del principio de conservación del momento, pues tal como lo decía Descartes, el movimiento que gana un cuerpo en una colisión, es causa de la perdida en la cantidad de movimiento de otro, y viceversa. Así, la tercera ley de Newton establece que, siempre que un objeto interactúe con otro, el cambio en la cantidad de movimiento que éste experimente, es de igual magnitud y dirección, pero en sentido opuesto, al cambio en la cantidad de movimiento del otro cuerpo, o en términos de fuerza, un objeto que ejerce una acción sobre un segundo

objeto, experimenta una fuerza de igual magnitud y dirección, pero en sentido opuesto.

- Es posible conocer las características en el movimiento de los astros con el uso de sus principios y de su ley de la gravitación universal. Él afirmó que, entre los planetas y estrellas, gobierna una fuerza invisible y a distancia, una fuerza que los sujeta a su perpetuo movimiento en trayectorias elípticas, es decir, que dos objetos masivos, por el hecho de tener masa, experimentan cada uno, una fuerza atractiva. Sin embargo, hay que decir, que Kepler había dedicado su trabajo a este asunto, y el estudio en el comportamiento de los astros con sus tres leyes, fueron fundamentos en la construcción de la teoría para la ley de gravitación universal, al igual que las observaciones y registros astronómicos tomados por Tycho Bhahe. Lo que Newton verifica, es que, a partir de su ley de gravitación, se llega a los resultados que había descubierto Kepler.
- Es posible llegar al espacio. Con su teoría de la gravitación universal y sus principios del movimiento, logró encajar en sus modelos, el comportamiento mecánico de los objetos en la tierra y en el cielo, el notó que todo respeta unos principios fundamentales, y que no existe discriminantes entre espacio y tierra -en sus palabras dice: “porque de esas fuerzas, deduje el comportamiento de los planetas, de los cometas, de la luna, y del mar”- de este modo, él asoció, una ley de movimiento con una ley de atracción.
- Entendió que la causa de una interacción atractiva entre cuerpos, era consecuencia de la masa, pero no entendió el ¿por qué? de esa relación -así,

continuó tal interrogante, por lo menos hasta unos trescientos años más- lo que él si comprendió, fue que tal principio si funciona.

Es seguro, que, con estas conclusiones, Newton podría haber dejado un trabajo exitoso para el resto de su vida, pero no paró en continuar, y entre otros descubrimientos científicos destacan los trabajos sobre la naturaleza de la luz, en matemáticas por ejemplo, también desarrolló el teorema del binomio y las fórmulas de Newton-Cotes, reveló una ley de convección térmica, fue un pionero en el estudio de los fluidos donde analizó la velocidad de propagación del sonido en el aire, propuso una teoría sobre el origen de las estrellas, y otras cosas más.

Al final, en cuanto al principio de conservación, se sabe que Descartes no alcanzó a conocer los argumentos de Leibniz sobre la fuerza viva, pero los predecesores que defendían la teoría cartesiana entrando en un tipo de confrontación con quienes defendían los principios de la fuerza viva, buscaron definir cuál era la cantidad que realmente se conservaba en mecánica, si la cantidad de movimiento o la fuerza viva. Y la disputa sobre la querella de las fuerzas vivas, que se había dado entre los seguidores de Leibniz y Descartes, pasó después, a una discusión entre los seguidores de Leibniz y Newton.

Newton, también desestimaba la conservación de la fuerza viva, porque tal cantidad de conservación fallaba a la hora de considerar choques inelásticos y otros fenómenos con carácter de disipación. Por ejemplo, suponga, que deja caer libremente una esfera de goma desde una altura h , si tal cantidad de fuerza viva se conserva, entonces es, porque la pelota

nuevamente debería retornar a la altura inicial. Sin embargo, para los defensores de la teoría de la fuerza viva, este hecho lo suponían como consecuencia de la deformación de los cuerpos en las colisiones, así, la fuerza viva que desaparece en este tipo de interacciones, era empleada por los cuerpos en sí, al momento de su deformación, tal como lo afirmó Johan Bernoulli. Es en el siglo XVIII, que, Jean le Rond D'Alembert, muestra que las dos afirmaciones, la conservación de la cantidad de movimiento y la fuerza viva, en realidad son válidas ambas -le dio el factor de 1/2 a la ecuación 11, y también expuso la expresión para el trabajo como la integral curvilínea de la fuerza a lo largo de la curva que une dos puntos- al relacionar estas dos magnitudes, como: el teorema de trabajo-fuerza viva. Más adelante, Tomas Young nombra a la fuerza viva como energía, y finalmente, Gaspard Gustave Coriolis es quien define el trabajo y la energía cinética, tal cual hoy le conocemos.

A continuación, se muestran algunos resultados importantes bajo la definición de trabajo. Hasta ahora se ha interpretado a la energía cinética como la capacidad que tiene una partícula de producir trabajo en virtud de su movimiento. Para ello es necesario entonces introducir una definición más general de trabajo, sea el trabajo W , se define como trabajo a la integral de línea del producto escalar entre el vector fuerza y el vector desplazamiento.

$$W = \int_C \mathbf{f} \cdot d\mathbf{s} = \int_C f \cos \theta ds \quad 14$$

Esta integral, no puede evaluarse hasta que no se pueda decir como varía la fuerza f y el ángulo θ de punto a punto a lo largo de la trayectoria, dado que las dos variables son funciones de las coordenadas de posición de la partícula.

Si la capacidad de una partícula de producir trabajo no ha cambiado en un recorrido de ida y vuelta, se dice que la capacidad se conserva, en este caso, la fuerza neta involucrada se conoce como fuerza conservativa, esto es que el trabajo neto efectuado en un viaje de ida y retorno es cero, en otras palabras, una fuerza es conservativa si el trabajo efectuado por ella sobre una partícula que se mueve, depende únicamente del punto inicial y final de la trayectoria.

Un ejemplo de este tipo de fuerzas conservativas corresponde a la interacción entre cuerpos por el hecho de éstos poseer masa. Newton llamó a esta fuerza atractiva, fuerza gravitacional y a su expresión la definió como ley de gravitación universal. Si consideramos la figura 5:

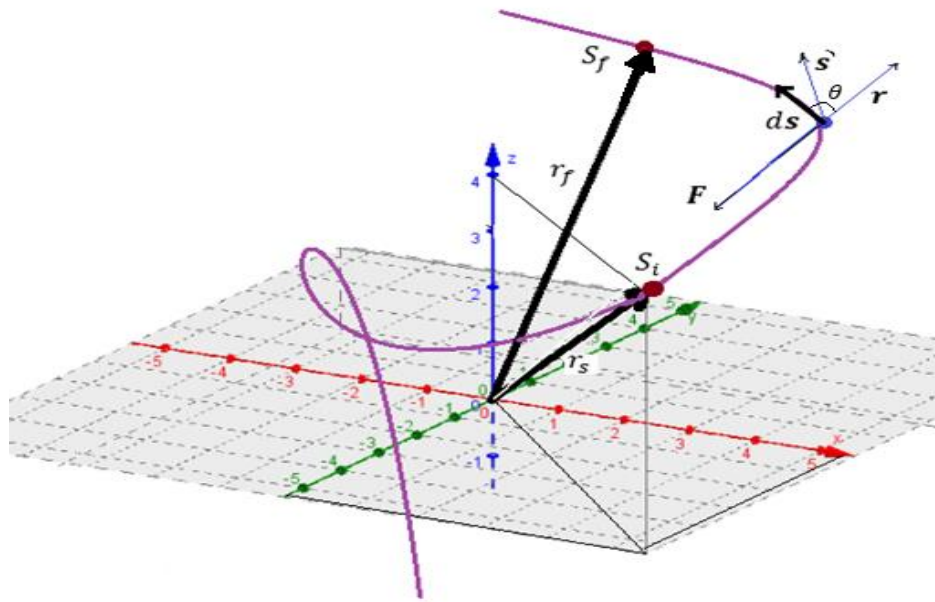


Figura 5. Modelo de una trayectoria, donde un punto se mueve de s_i hasta s_f .

Donde se examina una partícula de masa “m” que describe un recorrido por la curva C, el cual pasa por los puntos s_i y s_f , si los efectos de ese desplazamiento, lo atribuimos a la fuerza gravitacional que existe entre la partícula de masa m y otra de masa “M” ubicado en el origen del sistema de referencia, entonces, se pueden considerar pequeños aportes de esta fuerza a través de pequeños intervalos de la curva, y los cálculos que se obtienen de esa suma puedan aproximar el efecto de la fuerza por la curva “c” desde el punto s_i hasta s_f , esto es, calcular el trabajo realizado sobre la partícula al moverse a lo largo de la curva C. El trabajo realizado al moverse la partícula de un punto inicial a uno final, para tales cálculos es:

$$\begin{aligned}
 W &= \int_C \mathbf{f} \cdot d\mathbf{s} = \int_{s_i}^{s_f} \frac{-GmM}{\|\mathbf{r}\|^2} \frac{\mathbf{r}}{\|\mathbf{r}\|} \cdot d\mathbf{s} = -GmM \int_{r_i}^{r_f} \frac{dr}{\|\mathbf{r}\|^2} \\
 &= GmM \left(\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right)
 \end{aligned} \tag{15}$$

Note que: $\mathbf{f} = \frac{-GmM}{\|\mathbf{r}\|^2} \frac{\mathbf{r}}{\|\mathbf{r}\|}$, con: $\mathbf{r} = (x, y, z)$ y $\|\mathbf{r}\| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, además: $\frac{\mathbf{r}}{\|\mathbf{r}\|} \cdot d\mathbf{s} = d\cos\theta = dr$

En este caso, la expresión:

$$U(x_1, y_1, z_1) - U(x_2, y_2, z_2) = GmM \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_f} \right) \tag{16}$$

Corresponde, por lo tanto, a una cantidad llamada potencial de Newton –una suma almacenada en el sistema de dos masas, por el efecto de realizar un fuerza que desplazó una de las masas desde el punto inicial, hasta el final- En el caso de una partícula ubicada por ejemplo en la superficie de la tierra y que experimenta un desplazamiento en dirección

radial, éste desarrolla un cambio en la cantidad U , y para calcular esta diferencia, suponemos convenientemente que la cantidad inicial que posee U , es cero de acuerdo a la posición de referencia en la superficie –puesto que los trayectos desarrollados por estos cuerpos en la superficie comparados con el radio de la tierra, son relativamente pequeños- por lo tanto, tal almacenamiento de esa cantidad depende de r . Para comprobar ese hecho, supongamos que el campo de fuerza gravitacional es constante -afirmación correcta para la mayoría de fenómenos que se han usado, pues en cada uno de ellos la comparación entre las distancias de los recorridos y el radio de la tierra, es pequeña- de este modo, apoyándose en la segunda ley de Newton se tiene:

$$W = \int_{s_i}^{s_f} (0, 0, -mg) \cdot d\mathbf{s} = -mg \int_0^{z_f} dz = -mg(z_f) \quad 17$$

Note que: $\mathbf{f} = -mg \hat{\mathbf{k}}$, con: $d\mathbf{s} = (dx, dy, dz)$ y g como la magnitud de la aceleración causada por la fuerza de gravedad.

Este resultado, es el que se presentó en la expresión 10, cuando se introdujo la vis viva de Leibniz. Con ayuda de las herramientas del cálculo, se prueba que, la discrepancia entre una y otra teoría de conservación realmente no existe, dado que, para el caso de las interacciones a causa de un campo gravitacional, se tiene:

$$\frac{d}{dt} P(x, y, z) = -\nabla \left(GmM \frac{1}{r(t)} \right) \quad 18$$

Al obtener el gradiente de U , vemos que el resultado será, la ley de gravitación, análogamente, si se calcula el gradiente de la expresión 17, se llega a la segunda ley de Newton.

De manera general, en un movimiento la relación entre la fuerza neta conservativa y esta capacidad de que una partícula desarrolle un desplazamiento debido a su posición, será:

$$\frac{d}{dt}P(x, y, z) = -\nabla(U(x, y, z)) \quad 19$$

En donde la función $U(x, y, z)$ llamada energía potencial, se define como una función de la posición tal que el negativo de su derivada direccional es igual a la fuerza.

La expresión 19, también se puede ver como:

$$\Delta U = -W = - \int_{r_i}^{r_f} \mathbf{f}(r) \cdot d\mathbf{r} \quad 20$$

Es de notar que se ha escrito en la expresión 18, $U(x, y, z)$, aunque lo que realmente se está calculando son los cambios de U , es decir ΔU . Por lo tanto, esto significa que la elección de un punto de referencia para la energía potencial no tiene mucha importancia según la expresión 18, porque siempre se trabajará con las diferencias de energía potencial. Otra conclusión importante de esta expresión, es que la energía potencial solo se podrá calcular cuando la fuerza neta dependa únicamente de la posición de la partícula, es decir para fuerzas conservativas.

Pero, ¿esto qué significa? por ejemplo, como se podría explicar: ¿de qué forma, iniciaron tales objetos su movimiento? Y es que una vez que están en marcha estos objetos, ¿por qué es que se detienen? Se miró, que una idea que puede sustentarlo es la conservación. Si se piensa en el peso, se conocía que el esfuerzo necesario para levantar una masa, dependía del peso y de la altura, es decir, que, si un objeto experimenta una fuerza conservativa “ f ”, como el peso -aproximación válida en el caso de evaluarse a una altura relativamente pequeña comparada con el radio de la tierra- durante un desplazamiento, el trabajo sería igual al producto de la fuerza por la distancia recorrida. De este modo, si levantamos una masa a una altura “ h ” sobre el suelo, de la expresión (17), el trabajo W será:

$$W = f * h \quad 21$$

En este caso, la fuerza se utiliza para vencer la gravedad al levantar el peso a una cierta altura. En este sentido, el trabajo funciona como un mecanismo que transfiere esfuerzo del músculo al objeto que se ha levantado. A este tipo de trabajo aplicado sobre un objeto debido a su posición, se le llamó potencial, porque a una altura determinada, está lista para entrar en acción, para transformarse en movimiento. Así, si el trabajo transfiere ese potencial, entonces, al llamar “ ΔU ” a la variación del potencial vemos de la expresión (20) en el campo gravitacional considerado, que ΔU es:

$$W = -mg(z_f - z_0) = -\Delta U \quad 22$$

Esto indica, que para hacer que el sistema gane potencial de magnitud mgh , sobre él se debe realizar un trabajo -por un agente externo al sistema-, supuesto que también es equivalente al conjeturar, que si el sistema realizar trabajo, el en sí mismo, pierde potencial. Entonces, si hablamos del potencial newtoniano, este nos indica una medida de la capacidad de un sistema mecánico para realizar trabajo. Además, se notó que para una masa “m”, en un campo de fuerza conservativo, tal expresión depende únicamente de la altura sobre la superficie. Por lo tanto, esta cantidad varía de acuerdo a su posición. El potencial entonces por sí mismo, no se conserva. Pero y entonces ¿qué es lo que realmente se conserva? Ya Galileo lo había pensado, en sus experimentos mentales, había imaginado un cuerpo moverse por un plano y volver a la misma altura por otro, como si este recordara su posición, esto lo llevó a entender que la velocidad era la pista, él creía que si se dejan deslizar objetos -sin fricción- desde la misma altura por planos inclinados, sin importar su ángulo, cuando el objeto llega al punto más bajo, lo hace siempre con la misma velocidad, es decir, en términos del potencial, que, tal cantidad, a causa de la altura, se transformará en velocidad. Ahora, si el sistema efectúa un trabajo, esto es, que el objeto se desplaza por una trayectoria C a causa de una fuerza neta, y suponiendo que la trayectoria está descrita por la función: $s(t)$, de modo que el único cambio que se produce sobre el sistema se evidencia en su rapidez, el trabajo realizado por la fuerza neta será igual a:

$$\begin{aligned}
W &= \int_c \mathbf{f} \cdot d\mathbf{s} = \int_{s(t_0)}^{s(t_f)} \mathbf{f}(\mathbf{s}(t)) \cdot \mathbf{s}'(t) dt = \int_{s(t_0)}^{s(t_f)} m\mathbf{s}''(t) \cdot \mathbf{s}'(t) dt \\
&= m \int_{\alpha(t_0)}^{\alpha(t_f)} \frac{d}{dt}(\mathbf{s}'(t)) \cdot \mathbf{s}'(t) dt \\
&= \frac{1}{2}m \left(v(t_f)^2 - v(t_i)^2 \right)
\end{aligned} \tag{23}$$

Con: $\mathbf{f} = m\mathbf{s}''(t)$, $\mathbf{s}''(t)$: como la aceleración instantánea de la partícula, $\mathbf{s}'(t)$: la velocidad instantánea de la partícula. Note:

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt}(\mathbf{s}'(t)) \cdot \mathbf{s}'(t) &= \frac{d}{dt}(v(t) \cdot v(t)) = 2v(t) \frac{d}{dt}(v(t)) \\
\frac{1}{2} \frac{d}{dt}(v(t)^2) &= v(t) \frac{d}{dt}(v(t))
\end{aligned}$$

Este es un nuevo tipo de potencial, un potencial transformado en velocidad, a este término se le llamó energía cinética -del griego “energeia” que significa capacidad de acción- y se denota con “K”, así la diferencia de la energía cinética de un punto a otro será:

$$W = K(x_1, y_1, z_1) - K(x_2, y_2, z_2) = \frac{1}{2}m \left(v(t_f)^2 - v(t_i)^2 \right) \tag{24}$$

La expresión 24, se conoce como el teorema de la variación de la energía cinética de una partícula. Por lo tanto, se dice que al efectuar un trabajo un cuerpo tiene energía almacenada en él a causa de su movimiento y vemos que el trabajo hecho por la fuerza resultante que actúa sobre la partícula es igual a la diferencia de la energía cinética de esta.

Es importante resaltar que, hasta este punto, se ha definido el trabajo, la energía cinética y la energía potencial, y que, en las relaciones planteadas, se partió de la segunda ley de Newton. Vemos que simultáneamente tanto la energía potencial como la energía cinética están cambiando, debe ser que, si en los fenómenos mecánicos, el trabajo transforma la energía potencial en cinética y viceversa, y en concordancia al principio que de fondo soporta estos resultados, entonces, existe una cantidad llamada energía mecánica E , de tal forma que E se conserve, así:

$$V(x_1, y_1, z_1) - V(x_2, y_2, z_2) = K(x_1, y_1, z_1) - K(x_2, y_2, z_2)$$

$$V(x_1, y_1, z_1) - K(x_1, y_1, z_1) = V(x_2, y_2, z_2) - K(x_2, y_2, z_2)$$

$$E = \Delta V + \Delta K \quad 22$$

Ese valor, se conserva en el universo mecánico.

Para lo anterior, se reitera entonces que el modelo matemático empleado implica las siguientes condiciones:

- El campo de fuerza debe ser un campo gradiente de una cierta función potencial U .
- La integral de línea sobre el campo de fuerza debe ser independiente de la curva.
- El trabajo alrededor de todo camino cerrado, debe ser igual a cero.

Estas condiciones son equivalentes entre sí, y basta probar una para garantizar la validez de las demás. Cuando un campo de fuerza cumple estas condiciones, se dice que es un campo conservativo.

Pero aún hay algo que no encaja, por ejemplo, al soltar un objeto desde una altura h , éste gradualmente pierde su energía potencial, y después de caer, su velocidad es cero, por ende, pierde también su energía cinética, y entonces, si el principio de conservación mecánico es válido, ¿a dónde se ha ido esta cantidad de energía? Por ahora, para validar el modelo, llevaremos este principio al mundo idealizado, a fenómenos que dejan a un lado el rozamiento, y que, con un poco de imaginación, en ellos el movimiento será eterno.

El calor.

La conservación de algo había tomado sentido con el fenómeno del movimiento, es en este acontecimiento donde la fuerza viva pudo tomar significado para de ahora en adelante, hablar de la conservación de la energía mecánica. Sin embargo, era tiempo de retroceder a la idea intrínseca de la conservación, y con la teoría matemática desarrollada en mecánica, mirar hacia otros fenómenos, fenómenos que permitieran desplegar en un marco más general este principio.

Ya para ese entonces, era más claro el estudio del movimiento, sin embargo, aún quedaba en la teoría del movimiento el bache de que ocurría con la energía al final del proceso de transferencia, es decir, si un cuerpo adquiere un potencial para poderse mover, por ejemplo, ubicándolo a cierta altura del suelo, éste, transforma esa capacidad en velocidad hasta que llega a la superficie. Tal velocidad es proporcional al potencial que se le cediese. Pero al estar en el suelo, no hay ni una cantidad de movimiento distinta de cero,

ni un potencial capaz de activar al cuerpo para que se mueva, entonces ¿qué pasó, con la capacidad de conservar la energía?

Se continuará el relato con Augustin Fresnel, un Físico e ingeniero francés. Él consideraba la teoría de la vis viva, y creía en un supuesto que ya por aquel entonces hacia parte según algunos científicos de esta estructura teórica. Aquella hipótesis sostenía que, debido a una propiedad de los cuerpos, una sustancia interna que era la responsable de los fenómenos térmicos, era también quien almacenaba la energía del movimiento, es decir, se pensaba, que el movimiento en el choque, era transferido al cuerpo en forma de esta sustancia, sustancia que se conocería como calor, de modo que, la energía mecánica que aparece en ciertos fenómenos, se convierte en calor. Así, este modelo completaba el principio de conservación para los fenómenos mecánicos, había pues que probarlo.

Era entonces el turno del calor, se debía precisar, por lo tanto, una estructura que facilitara modelar los fenómenos referentes a los cambios de temperatura y transferencia de calor. Es pues éste el siguiente tema en esta historia.

Ya en la época del siglo XVIII, Newton, había probado la posibilidad de enviar un artefacto al espacio, hecho que era muestra de la ventaja que tenía el adelanto teórico en relación a la práctica. Bombas hidráulicas y relojes más perfectos eran los adelantos más destacados en términos prácticos. En aquella época se utilizaba solo dos fuentes de energía a modo industrial: el agua y el viento. Los adelantos, con referencia a la presión del aire, evidenciaban una forma de utilizar la energía calorífica.

Newcomen, en 1712 patentó una de las primeras máquinas de vapor, la cual tenía: una caldera, un pistón, una manivela de bombeo y algunos instrumentos adicionales que

permitían el rendimiento cíclico de la máquina. Esta era implementada para extraer el agua de las minas ante posibles inundaciones. El sistema empleaba un mecanismo de riego de agua en el pistón, de modo tal que el aire “caliente” que allí se encontraba debido a la caldera, era condensado creando un vacío parcial en el sistema, por lo tanto, el pistón debía de bajar. Al calentarse nuevamente el agua esta hervía y el pistón subía, y el ciclo volvía a repetirse. En 1763, cincuenta años más tarde, James Watt, quien era por entonces constructor de instrumentos matemáticos en la universidad de Glasgow, recibió el encargo de reparar una de las máquinas de bombeo de Newcomen. Este, al entender el mecanismo, observo que el rendimiento de la maquina debido al riego cíclico de agua generaba demasiado despilfarro del combustible, y optimizo la bomba añadiendo una cámara adicional para la condensación del vapor. Esto hizo que se ahorrara combustible y que la maquina fuese más eficiente al disminuir el tiempo entre dos carreras del émbolo.

En 1782, Watt, rediseña la máquina cambiando el sistema que impulsaba el pistón para no tener que depender de reservas generosas de agua, y el movimiento del pistón quedo dependiendo de la expansión del gas al aumentar su presión. Haciendo algunos cambios, como, por ejemplo, con la introducción de válvulas con cámaras que liberaban la presión en el pistón en el momento adecuado para que este no fuese a explotar, logró obtener un proceso cíclico de mayor rendimiento a su anterior máquina.



Máquina de vapor de Watt, procedente de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, expuesta en el vestíbulo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/James_Watt#/media/File:Maquina_vapor_Watt_ETSIIIM.jpg

Con el ajuste de manivelas, y ruedas, esta máquina fue adaptada a varios intereses industriales de la época. En 1802 Richard Trevithick patentó en Inglaterra la primera locomotora, en América cinco años después, funcionó el primer barco a vapor y el 15 de septiembre de 1830, el primer tren de pasajeros hizo el trayecto Liverpool Manchester. El transporte mecánico fue fundamental, pues éste llevaba el carbón desde las minas hasta los centros industriales que ya para ese entonces, utilizaban máquinas de vapor.

Cuando Boulton y Watt cambian las antiguas bombas de vapor por sus diseños, éstos, decidieron cobrar sus máquinas con un intercambio, las personas que adquirían estas máquinas debían de pagar a Watt el ahorro que esta le generaba durante un tiempo específico, luego de ello las máquinas pasaban a propiedad de cada persona que las usaba. Tal hecho demandaba medir el ahorro, se definió entonces el caballo de vapor (HP) como la

fuerza capaz de elevar 33000 libras a una altura de un pie en un minuto. La unidad de potencia que ahora llamamos vatio (watt) en memoria del científico, equivale a 1/746 HP.

Sin embargo, esta medida basada en el combustible no era muy exacta, pues la calidad del combustible era muy variante, por lo que se necesitó de mejores técnicas para medir con más exactitud el calor. Se requirió de progresos en el termómetro y de una escala práctica para tal propósito, y se entendió, que la potencia calorífica depende: de la temperatura, de la masa, y de la naturaleza química de la sustancia considerada. Así, se definió la unidad de calor, o caloría, que representa la centésima parte de la potencia calorífica perdida por un gramo de agua al pasar de 212 °F a 32°F, es decir, 1 caloría por gramo de agua y por grado.

Pero aún quedaban varias cuestiones sin refinamiento, por ejemplo, en lo que respecta a la teoría del calor, se puede decir, que no había una postura unánime ante un modelo que explicara claramente estos fenómenos de calorimetría. Adicional a ello, los avances en este campo se estaban generando y era un área joven que buscaba medir la eficiencia de las máquinas, la propagación del calor y en principio, definir que es calor.

Benjamín Thompson, fue un militar, físico e inventor estadounidense, nació en Woburn, Massachusetts en 1753, y falleció en París, Francia, en 1814. Sus experimentos y su cuestionamiento en la termodinámica, contribuyeron en los modelos diseñados para esta área.

Debido a su afín con los instrumentos usados para la guerra en la época de la revolución norteamericana, en Inglaterra Rumford, experimentó con los arsenales militares.

Entre sus experiencias, se resalta la concebida en Baviera mientras se encontraba en su fábrica de cañones.

Los cañones que se construían en ese momento, se hacían perforando un bloque cilíndrico de bronce, a estos bloques macizos se los llamaba cañones sin alma. El proceso consistía en un sistema de engranajes y cabrestantes tirados por caballos, de modo tal, que hacían girar el bloque aproximadamente a 30 revoluciones por minuto, estos cilindros de cobre se ponían en contacto con una broca puntiaguda, de modo que, a causa del esfuerzo realizado por los animales el broce cedía ante la broca. En este proceso, se debía de usar un riego continuo de agua donde hacían contacto la broca y el bloque, pues la temperatura que alcanzaba el sistema, hacía muy difícil el poder manipularlos en el proceso. Los científicos de la época, como por ejemplo Lavoisier, consideraban que los objetos se calentaban debido a un fluido que ellos contenían, así por ejemplo, para el caso de los cañones sin alma, el efecto de la broca era hacer una hendidura de tal modo que el calórico fluía del cañón a la broca y al exterior, tal cual, como sucede cuando se tiene un recipiente roto -para la época, ya se había avanzado en teorías que modelaban el comportamiento de los fluidos, por tanto era de esperarse que se tratara de adaptar tal modelo al fenómeno del calor- El conde, para verificar la explicación de Lavoisier, uso una broca desgastada, el resultado fue que efectivamente el cilindro no era perforado, sin embargo, el calor seguía surgiendo, y para sorpresa, parecía hacerlo con mayor intensidad. Rumford comprendió que, contrario a las afirmaciones de Lavoisier y sus colaboradores, el calor no se comportaba como un fluido, pues este no dependía de la hendidura que se hiciera en el metal. Además, consideró que si el bronce al principio se encontraba frío, porque del interior de éste surgía tanto calor

mientras los caballos lo mantenían en movimiento como si hubiera calórico ilimitado, lo que lo llevo a pensar que el calor no debía de provenir del metal.

Rumford, en un artículo publicado en la revista científica *Philosophical transactions* de la Royal Society en 1798, argumentaba que el calor no era un fluido sino una forma de movimiento. De acuerdo a sus experimentos, comprendió que el proceso de calentar el agua en el sistema de la broca y el cañón, era indiferente de si la broca agrietara o no el metal. Que lo importante en ese aspecto correspondía al contacto que estos tuvieran, pues de esa manera, la fricción entre la broca y el bloque debida al movimiento que le imprimían los caballos, hacía que tal movimiento se transfiriera a las partículas del metal, así, ellas eran excitadas y, por lo tanto, adquirirían un impulso que les generaba movimiento, el cual se propagaba comunicando tal perturbación unas a otras. En sus palabras Rumford, concluye:

“Es innecesario agregar que cualquier cosa que un cuerpo aislado, o un sistema de cuerpos pueda entregar continuamente sin límite, sea una sustancia material; y me parece extremadamente difícil, si no imposible, formarme una idea clara de cosa alguna que pueda ser excitada y comunicada de modo en que fue excitado y comunicado el calor en mis experimentos, excepto el movimiento” citado por (Alinovi M, 2007, pag.72).

Después de la muerte de Lavoisier, Rumford, se casó con Marie-Anne, quien era la viuda Lavoisier y una mujer de interés por la ciencia. Al cuarto año de casados, se divorcian. El trabajo de Rumford fue ignorado por cincuenta años, dado que el calórico tenía una fuerte aceptación por una reconocida comunidad científica, pues usaba ideas intuitivas sobre el comportamiento de la materia, que, si bien eran comprendidas, caso

contrario ocurría con la teoría del calor como movimiento, por ejemplo, ¿cómo se podría medir el movimiento de cada partícula excitada?

Julius Robert Von Mayer. (Heilbronn; 25 de noviembre de 1814 - ídem; 20 de marzo de 1878) Mayer, realizó estudios de medicina en Tubinga, embarcó en un navío como médico hacia las Indias Orientales. En el trayecto, se inquietó poco a poco por el mundo de la física. Con ello, escribió algunos artículos sobre Fuerza, en el primero de ellos, no hizo gran eco, pues por así decirlo, después de Newton el hablar sobre fuerzas era ya una cuestión de contextualización, o por lo menos, eso era lo que para la época se pensaba. En su segundo Artículo, el cual es publicado en una revista alemana, llamado: “Observaciones sobre las fuerzas inorgánicas de la naturaleza” (1842), Mayer, aborda algunas preguntas concernientes a las modificaciones del metabolismo humano bajo la acción de elevar temperaturas. Pero en lo que respecta a la energía, el texto, analiza la siguiente pregunta: ¿qué ocurre cuando el movimiento no da lugar a movimiento? Mayer, argumenta sus ideas basándose en el principio de causa y efecto. Él, pensaba que en lo que concierne al movimiento, todo es consecuencia de causas, causas que siempre estarán presente en el universo, pues, estas no se crean ni se destruyen, a lo sumo se están manifestando en diferentes formas, por ende, el hecho de que se conserven implica que las causas solo se transforman de un tipo de manifestación a otro. Para él, el movimiento es un tipo de manifestación de estas causas, es decir, que la fuerza es una causa. Ahora bien, es prudente decir, que, para su época, el uso de la terminología en los fenómenos, no era algo que manejara una cierta rigurosidad como en la actualidad, por lo tanto, la concepción de fuerza que él usó, en el sentido en que Newton le define, no describen exactamente los

mismos fenómenos. A pesar de que Meyer hable de fuerza, en la terminología moderna, se puede traducir más precisamente a trabajo. En palabras de Meyer, esto fue:

“Yo Julius Meyer, afirma que la otra forma que puede asumir la fuerza es el calor, y que, sin el reconocimiento de una conexión causal entre movimiento y calor, es tan difícil explicar la producción de calor como dar cuenta del movimiento que desaparece. Llegué a mi convicción en alta mar durante una travesía a las indias holandesas, Mientras el mar se agitaba en torno y se debatían angustiosamente nuestros tres mástiles, se me ocurrió que aquellas aguas agitadas debían ser más cálidas que las calmas. Reconozco que en el momento aquella no era más que una impresión pasajera, y acaso equivocada. Lo cierto es que en cuanto las aguas se calmaron, reproduje la situación. Llené la mitad de una botella de agua y comencé a sacudirla violentamente. Al cabo de unos minutos comprobé que había elevado la temperatura del agua en un grado, de doce a trece grados centígrados. Comprobé también que el agua agitada ocupa un volumen mayor. Pero, ¿de dónde proviene ese calor que mediante la agitación podía ser llamado a la existencia en cuanto uno quisiera? Dudé que: de la vibración misma”.

Aún más, Mayer encontró un factor de conversión entre la unidad de trabajo y la unidad de calor, con sus experimentos, el propuso que una caloría equivale a 3,6 unidades de trabajo.

En 1845 presenta la "relación de Mayer", proceso por el cual había obtenido sus resultados, consistente en la medida de la diferencia de las capacidades caloríficas molares de los gases. En 1846, presenta otra memoria dedicada a los fenómenos eléctricos y biológicos, "El movimiento orgánico", en la que enseña su factor de conversión.

Para la época, ya el estudio del calor venía haciéndose popular por los diferentes avances en la industria con metales y sus transformaciones. Uno de sus estudiosos fue Joule, contemporánea a Mayer y quien igual a éste, también encontró un factor de equivalencia entre trabajo y calor, además, tampoco era físico, pero llegó de manera independiente a la teoría del equivalente mecánico del calor. Y se puede decir, que con sus experiencias lo hizo de tal forma, que no hubo necesidad más de hacerlo, este hecho, sumando al andamiaje político de la época, llevó finalmente a definirse como el Joule (J) a la unidad de energía.

James Prescott Joule (Salford, 24 de diciembre de 1818-ib., 11 de octubre de 1889) fue un industrial inglés, conocido sobre todo por sus investigaciones en electricidad y termodinámica -realizando aportes en la experimentación física-.

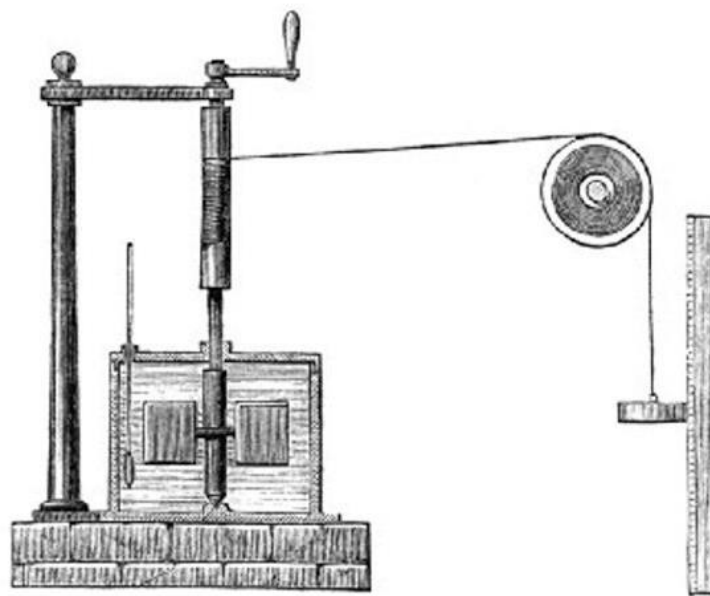
A los veintitrés años, ya era un empresario que se desenvolvía en la industria de la cervecería. Es en este escenario, donde se interesó por fenómenos característicos de la electricidad y la termodinámica. Su intriga por las máquinas empleadas en la fábrica cervecera, le inquietaban en el tratamiento de la corriente y observando su comportamiento percibe dos relaciones fundamentales, la primera, indicaba una relación entre la cantidad de calor que surgía de los hilos por donde transitaba la corriente y los productos químicos que las máquinas consumían, y lo segundo, observó que la corriente eléctrica difundía menos calor a través de los hilos conductores si la máquina se encontraba realizando trabajo mecánico.

A partir de estas ideas, Joule comprendió que existía una relación entre estos fenómenos, y saliendo de la conjetura intuitiva, se enfrascó en la búsqueda metódica de esta relación. A partir de los instrumentos que le facilitaron llegar a tales conclusiones,

reconocía que su metodología era más bien compleja para tratar por ejemplo al calor y el trabajo de forma individuales, descartando cualquier otra alteración.

En este sentido, debió buscar la manera más simple de obtener evidencias de tal relación, y entendió que este camino llevaba al fenómeno del rozamiento, así pues, como cuando frotando las manos se percibe un aumento en la temperatura, Joule buscó reproducir en la forma más simple posible este hecho.

Joule conectó una serie de paletas en un contenedor de agua a una polea y una cuerda de la que colgaba un peso. Cuando el peso baja según muestra la gráfica 1, la cuerda hace girar el eje de las paletas que rota en el agua, y este hecho mostraba en el termómetro un aumento en la temperatura del agua. Es decir, al descender una masa m , una distancia h , la variación en el movimiento de la masa, tal cual se calculó en la ecuación 17, poseía un potencial de magnitud mgh , que a través de las poleas se convertía en energía rotacional (cinética) de la paleta, que calentaba el agua.



Gráfica 1. Rueda de paletas de Joule.

Lo que hace que el experimento fuese tan brillante, es que Joule consiguió calcular con buena precisión el equivalente numérico de la cantidad de energía mecánica exacta que estaba transfiriendo al agua en forma de calor. Como el peso bajaba lentamente -debía a que el agua impedía que las paletas girasen con libertad- por lo tanto, la masa llegaba al suelo con poca velocidad -en un tiempo mucho mayor al comparado con el de una caída libre- por lo que gran parte de la energía potencial gravitatoria disponible se transfería al agua. La idea era pues, diseñar un sistema que en lo posible fuese lo más aislado.

Joule encontró el valor de tal equivalencia al calcular la cantidad de calor absorbido por el agua para aumentar la temperatura en un grado, y deja estimado que:

“La cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit equivalía al gasto de una fuerza mecánica que representa la caída de 722 libras de una altura de un pie”

Más adelante, a esa unidad de medida de energía que permite calcular la variación de energía cuando se transforma el trabajo en calor o viceversa se llamó Joule (J). ¿Cuánto es un Joule entonces? En unidades un poco más familiares, si se deja caer un objeto de un kilogramo 10 centímetros, la energía cinética de ese objeto ha aumentado en mgh , que es aproximadamente un julio. Encontrando que una caloría es 4,1 J.

En 1847 Joule, presentó sus ideas ante la asociación británica para el avance de las ciencias en Oxford. En tal presentación estaba Lord Kelvin, un reconocido Físico y

matemático de la época, con gran influencia ante la comunidad científica. En principio, las ideas de Joule fueron asimiladas podría decirse que, con escepticismo, incluyendo a Lord kelvin. Pero con el tiempo, Kelvin se convenció de estos resultados experimentales y decidió colaborar con Joule. Tal colaboración se dio más o menos durante cuatro años, dos años después de la presentación que había realizado Joule en Oxford, en donde Joule llevaba a cabo los experimentos y Kelvin analizaba los resultados enfocándose en lo teórico.

La publicación de estos descubrimientos se hizo un año después que la hecha por Mayer en 1842, sin embargo, después de una disputa aventajada hacia el lado de Joule por los científicos de la época que le respaldaban incluyendo a Kelvin y sus influencias, Thomson sugirió a Joule que admitiera la prioridad para el alemán sobre la idea del equivalente mecánico, pero que reclamara la anterioridad sobre el método experimental usado para calcularle. En 1849, Mayer intenta suicidarse y su trabajo científico prácticamente termina en ese año.

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (31 de agosto de 1821 - 8 de septiembre de 1894) fue un médico y físico alemán, que realizó contribuciones significativas en numerosas áreas de la ciencia. En física, es conocido por sus teorías sobre la conservación de la energía.

Helmholtz, conocía la física de la época, los trabajos de: Sadi Carnot, Clapeyron, Joule, Kelvin, Rumford, Newton, Bernoulli, Young, y había estudiado por su cuenta las

matemáticas. En su artículo: “sobre la conservación de la fuerza” (1847), el describe que todo sistema mecánico debe estar sometido a la conservación de la fuerza. Y es que, resaltando los trabajos en el equivalente mecánico del calor, destaca una pregunta, además del calor, ¿existirá alguna otra equivalencia al trabajo”. Al referirse a fuerza, Helmholtz, concibe dos tipos: la fuerza viva de Leibniz, la cual era la causa del cambio de movimiento de un cuerpo, ya sea para el caso de un objeto a velocidad constante o de un objeto que se encontrase en reposo, por ejemplo, debido a un choque o un impulso, y el otro tipo, una fuerza potencial, una fuerza que se debía netamente a la variación en las distancias del sistema, como, por ejemplo: la fuerza de gravedad, la fuerza eléctrica y fuerzas elásticas. Él concibe el hecho de que todos los fenómenos de la naturaleza están sometidos a la ley de conservación, y por lo tanto, todos estos fenómenos pueden ser manifestaciones de alguno de estos dos tipos de fuerzas -la idea de tipificar las fuerzas, es cuestión de describir un conjunto con todas las fuerzas conocidas- El artículo de Helmholtz pretende argumentar entonces esta idea de conservación universal, en donde va considerando diversos fenómenos como: el calor, la electricidad, el magnetismo, las reacciones químicas, lo que suponía describirlos a todos en argumentos mecánicos, reconociendo las fuerzas de la naturaleza como equivalentes. La ley se llamó: Ley de conservación de la energía -Es Young, quien decide atribuir el nombre de energía al fenómeno que actualmente se conoce como energía cinética, nombre que ya había sido usado por Aristóteles como: *energeia*, una palabra que explica el accionar de algo en relación a la función intrínseca del sistema en actividad-.

“La ley en cuestión establece por lo tanto que, la cantidad de energía que puede ponerse en acción en la naturaleza es inalterable, es decir, no puede ni aumentarse ni disminuirse, y todo cambio en la naturaleza se resume en que: podrá la energía cambiar su forma, cambiar su ubicación, pero su cantidad no cambiará. El universo así, posee de una vez y para siempre, una reserva de energía que no podrá ser alterada por ningún fenómeno” (Alinovi M, 2007, pag.92).

Entre 1850 y 1851, Clausius y Thomson (Lord Kelvin) escriben los primeros enunciados formales de lo que se conoce actualmente como la primera ley de la termodinámica, en donde se deja estimado que los únicos mecanismos de transferir energía conocidos, son: el trabajo y el calor. En los cuales decimos que el calor, es un mecanismo de transferencia de energía basado en la diferencia de temperaturas entre dos o más sistemas, y el trabajo, refiere a la transferencia de energía en virtud de un potencial mecánico del sistema, de manera que no se tiene en cuenta la diferencia de temperatura. De este modo, el principio de conservación de la energía se convierte en una parte de esta primera ley termodinámica, la cual se define como:

$$\Delta E = Q + W$$

Dónde: ΔE es la variación de energía del sistema, Q es el calor intercambiado por el sistema, y W es el trabajo intercambiado por el sistema a sus alrededores.

Por lo tanto, decimos que este principio muestra que existe una cantidad llamada energía, la cual posee un valor definido en el universo distribuido uniformemente, y que tal cantidad solo puede transformarse ya sea a través de calor o trabajo para manifestarse en algún tipo de fenómeno.

Pautas para analizar el problema en la enseñanza de un principio físico, el principio sobre flotación.

Un objetivo de las ciencias es proporcionar a quienes la estudien, la posibilidad de interactuar con los modelos y las técnicas experimentales que refieren a los fenómenos naturales, de modo que, se pueda interpretar y reproducir el lenguaje en que se cuentan estas ideas, apropiándose de un adecuado proceso de enseñanza.

En la enseñanza de la Física, se debe considerar que: para estructurar un desarrollo en el aprendizaje del concepto o modelo a tratar, la enseñanza de un elemento del conocimiento científico debe ser un proceso que va evolucionando de acuerdo al grado de comprensión, profundizando en el estudio y contextualización del fenómeno, “donde una manera de evaluar el progreso en el aprendizaje de un concepto científico se puede hacer observando el grado de complejidad que se maneje del tema, en este caso, de la etapa en la que se encuentre.” (Neumann K., et al., 2012). Además, el proceso de enseñanza debe entrañar una metodología que desde un principio vincule la práctica y el estudio teórico para tal propósito.

Otro de los objetivos en la enseñanza de la Física a considerar, es el carácter de verdad en la comprensión de fenómenos. Lewin (2012), describe, por ejemplo: que el amor hacia la Física nace en la búsqueda por comprender su belleza, semblanza y la mística de lo no revelado. Enseña que este es un camino para acceder al mundo de la Física.

A estos elementos que permiten estructurar un proceso de enseñanza para los fenómenos de ésta ciencia, se debería adicionar también el hecho de entender desde un enfoque filosófico, ¿qué es naturaleza?, y es que según Werner (1976), la imagen de naturaleza radica en la interpretación que el hombre según algunos factores temporales construya de ésta, algo que lleva a discutir sobre el carácter de realidad. Todo esto deja ver un contrafuerte en el desarrollo de la actividad de educar, y muestra la necesidad del vínculo entre la didáctica y la naturaleza pura de la física, un punto de vista con el que se describiría la evolución de las ciencias desde un contexto adecuado a un estándar cultural.

Ahora, a la pregunta ¿Cómo iniciar el proceso de enseñanza de las leyes de la Física? Se puede pensar que: para favorecer la comprensión de los principios de la Física, es prudente conocer que los procesos de transposición para la enseñanza de estos conceptos, deben partir del contexto cultural en el que se realiza, y posteriormente pasar al contenido histórico en el cual se desarrolló. tal como lo afirma Ayala (1992) “la actividad científica que practica una sociedad reside en la forma como sea apropiada la ciencia por la cultura de base, puesto que nada puede ser transferido a una cultura sin que sea transformado por ella”.

En este momento, por los desarrollos en ciencia y tecnología, se está habituado a escuchar un léxico como: calor, gravedad, temperatura, crisis energética, movimiento, ondas, partículas, electricidad, tipos de energía, conservación de la energía, fuerza, trabajo, potencia, relatividad y otras palabras que muestran en definitiva el grado de familiaridad que se posee con estos objetos de estudio para dar razón a fenómenos comunes a nuestro contexto. Y aunque puede que algo precipitada, la aserción también es certeza que, a pesar de abordar estas palabras en un marco cotidiano, aún no son claras las implicaciones de los

principios que los rigen, algo que se puede evidenciar al corroborar que varios de los términos mencionados en ocasiones se consideran sinónimos. De acuerdo a los Lineamientos Curriculares en Ciencias Naturales y Medio Ambiente, Ministerio de Educación (1998), que definen: “la Física es la ciencia natural que estudia las relaciones entre espacio, tiempo, materia y energía. Un sistema caracterizado completamente por estos elementos se denomina un sistema físico”, se interpreta que es necesario luego, caracterizar estos conceptos para la comprensión del conocimiento científico. Es desde aquí, de donde se propone entonces una posible puesta en escena en la primera parte de ese proceso, es decir, comenzando la enseñanza desde los pre-conceptos, detallando las certezas y/o la invalidez de los mismos, de modo que se pueda partir con propuestas que permitan detectar y posteriormente atender los obstáculos en cuanto a la intuición apresurada. Esta es en esencia, una alternativa con tendencias constructivistas, que, usando las condiciones de algunos modelos de esta vertiente, pueda que en perspectiva materialice una de estas funciones.

Considerar modelos como propuesta en la enseñanza de la física que abordan ciertas dificultades que los estudiantes tienen en la comprensión de principios o situaciones problema, permite en apertura, hacerse de un panorama en el cual se evidencian los elementos de interés en la didáctica de la Física de un contexto particular. Las dificultades que se adjudican de acuerdo al aprendizaje de estas leyes, así como las posibles pautas para atenderlas, se pueden buscar entonces, en anomalías que surgen durante ese desarrollo, esto por ejemplo, con la implementación de guías didácticas; guías, que de acuerdo a estas conclusiones, son entonces proyectos diseñados con el objetivo de brindar a los docentes una herramienta que apoye el proceso de aprendizaje, desarrollando y detectando los

fundamentos de los conceptos trabajados en un tiempo: antes, durante y posterior a su ejecución.

Una de las dificultades a las que se enfrentan las diferentes propuestas para la enseñanza de algún fenómeno, radica en el hecho de que posiblemente cada una es válida en sí misma, pues puede haberse construido pensando en unas condiciones propias, características que no necesariamente pertenezcan a otras poblaciones, es por esto, que estas pautas deberían ser propicias al entorno real. En la carrera de Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad del Valle, por ejemplo, se trabaja una formación en el área de Física basándose en los tres primeros cursos de Física fundamental y sus concernientes laboratorios, además de pasar por tres cursos de formación profesional: Física Fundamental IV, su pertinente laboratorio y Métodos Matemáticos para la Física. En ellos, se hace una descripción en el desarrollo de algunas leyes desde: Mecánica, Electromagnetismo, Termodinámica y sistemas ondulatorios, además de variados experimentos cuyo objetivo se orienta en evidenciar la consistencia de estos principios con los resultados de medición. Es pues este un espacio que muestra un potencial para el análisis, diseño y ejecución de tales guías de trabajo, orientada a la formación de docentes de Física, que también puede referirse después, a un ámbito académico de secundaria.

Desde la experiencia y la recopilación en la información, se infiere que el diseño de estas guías no es un proceso rápido, puesto que es un mecanismo que vincula la abstracción y aproximación matemática a la realidad. En este puente, entra en juego la tecnología. En la actualidad, con el uso de herramientas como los programas de animación virtual -algunos gratuitos en la web-, se permite concebir el mundo fenomenológico desde un entorno manipulable e ideal, permitiendo detectar de manera más acotada las dificultades y

obstáculos que los estudiantes comúnmente enfrentan a la hora de aprender los conceptos de la Física.

Desde el trabajo en la didáctica de la Física se logra comprender que, para una clase de Física, un proceso educativo ligado al método científico en primera medida se podría abordar desde la construcción del saber basado en la actividad del ensayo-error incluyendo la manipulación de los simuladores virtuales, lo que se conoce como software educativo. En esa idea, se destaca lo siguiente: la implementación de estos modelos de secuencias que incorporan simuladores, debería evidenciar en su uso una comprensión más cercana al modelo teórico, pues su puesta en práctica se basa desde un comienzo en el análisis de un fenómeno de perfecta precisión, es decir, un hecho que no presenta ningún margen de error -a expensas de las limitaciones de la máquina-. haciendo del lenguaje matemático, un lenguaje más familiar al momento de tratarlo. El software educativo “rodea al estudiante en la formación con métodos de exploración, prueba y ejercitación, siendo esta una de sus características, la de ofrecer la oportunidad de examinar su informática”. (Gros, 1997). Una ventaja de trabajar un fenómeno ideal, es que en primera instancia pareciera ser más fácil para el estudiante comprender el concepto que modela el fenómeno si sobre éste todo se ajusta, concibiendo posibles inferencias en el patrón de las medidas, en todo caso, reconociendo las limitaciones de la máquina. Ahora bien, no se puede olvidar que el quehacer de la Física va de la mano con la aceptación del error, un error que se aprueba según la tolerancia en las medidas que se desean obtener. Por lo tanto, un diseño completo de estas guías que desee implementar los simuladores, debe integrar el experimento en un marco virtual y real, en donde la experiencia y su análisis se tienen que desarrollar en el laboratorio virtual y en el real. Se dice que Galileo Galilei pasaba su tiempo pensando en

sus experimentos mentales llevados al límite, a un mundo ideal, un mundo que en esencia con el uso de la tecnología actualmente se puede dar a conocer.

El siguiente trabajo presenta el diseño de una ficha o guía de laboratorio de Física. En especial, se describe la ficha del principio de Arquímedes, la cual se pensó con el objeto de movilizar un aprendizaje constructivo dando muestra de cómo el concepto físico a medida que se desarrollan las preguntas, aumenta en su grado de profundización. El diseño se trabajó desde tres enfoques: el primero, se realizó con la instrumentación descrita en las figuras I y II, de la guía de laboratorio, esto se hizo como un proyecto para el curso de Laboratorio de Física fundamental II en el periodo agosto diciembre de 2012, con la asesoría del profesor Carlos Uribe, la idea, construir una guía de laboratorio para algunos instrumentos que en ese entonces adquirió el laboratorio de Física de la Universidad del Valle; haciéndolo para el caso de la instrumentación llamada “juego de Arquímedes”. El segundo, se efectuó como proyecto de los respectivos seminarios de práctica, en el periodo agosto-diciembre de 2015, se presentó un modelo virtual que permitiera llevar la experiencia del fenómeno a un campo diferente del laboratorio de Física tradicional, desarrollando lo que llamamos: el laboratorio virtual en el aula convencional, en éste, se adaptó una animación simulada de la web a una estructura secuencial de preguntas del principio natural. El tercero, exhibe una reflexión sobre algunas pautas para la enseñanza del principio de Arquímedes, basadas en las discusiones hechas en los cursos de: Didáctica de la Física, Problemas en la enseñanza de la Física y el curso Educación en Física, de la Universidad del Valle.

PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Jhon Dalvis Bolaños Realpe

Instituto de Educación y Pedagogía - Universidad del Valle

Guía para el docente.

Resumen.

La experiencia se conforma de tres partes, el laboratorio virtual, el sistema experimental I y el sistema experimental II. En el laboratorio virtual se discutirán magnitudes como peso, masa, volumen y con estos valores se podrá analizar de forma directa e indirecta el principio de Arquímedes y una de sus aplicaciones, usando los montajes para el sistema experimental I y II.

Introducción.

Se observó experimentalmente que un fluido de volumen V a una cierta temperatura T , y presión atmosférica P_a constante, al interactuar con cualquier cuerpo ejerce sobre éste una fuerza en la misma línea de acción, pero en sentido opuesto al peso de la muestra. La fuerza que ejerce el fluido puede ser calculada midiendo el peso del fluido desplazado por el cuerpo.

Objetivo general.

Comprender y aplicar el principio de Arquímedes, con la implementación de las actividades que se plantean en la guía.

Objetivos específicos.

Conocer el principio de Arquímedes con la implementación de experimento virtual.

Probar el Principio de Arquímedes utilizando el sistema experimental I.

Aplicar el principio de Arquímedes encontrando la densidad de diferentes masas y comparar estos resultados con los del sistema internacional de medidas para clasificar el tipo de material empleado.

Pregunta Problema.

¿Era o no de oro macizo la corona del rey Hierón?

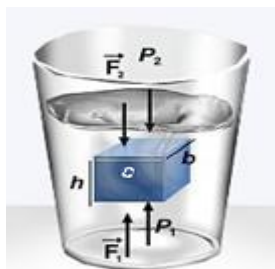
Propuesta didáctica.

Esta guía exhibe una secuencia didáctica para el docente del principio de Arquímedes. En él, se considera que el experimentador conoce los conceptos fundamentales de mecánica y comprende macroscópicamente que es presión y densidad para un fluido estacionario. El profesor conformará grupos de estudiantes para que de forma colectiva estos vayan desarrollando la guía. Además, él debe hacer una introducción del tema, explicar el método de trabajo y mostrarles en que consiste la práctica.

Teoría.

La flotación es un fenómeno presente en los fluidos, al sumergir un cuerpo en agua se percibe la sensación de tener un peso menor respecto al peso en el aire para cualquier masa m . Lo anterior se explica a través del **principio de Arquímedes**, el cual establece que: “Si un cuerpo esta parcial o totalmente sumergido en un fluido, éste ejerce una fuerza hacia arriba sobre el cuerpo igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo.” “La línea de acción de La fuerza de flotación pasa por el centro de gravedad del fluido desplazado (que no necesariamente coincide con el centro de gravedad del cuerpo).” (SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, FREDMAN; 2004; pág. 523).

La siguiente grafica (figura A) muestra un diagrama de fuerzas que actúan sobre un cuerpo que se encuentra sumergido en un fluido.



1. (figura A) Las fuerzas externas sobre un cuerpo C sumergido en un fluido. Su peso (W_c), donde $W_c = m_c g = F_2$ y la fuerza de flotación $F_e = F_1$, para condiciones de equilibrio $W_c = F_e$

Sean: W_c el peso del cuerpo C en el aire, W_c' el peso del cuerpo C en el agua, V_c el volumen del cuerpo y V_L el volumen del agua desalojada por el objeto, m_c la masa del cuerpo C y m_L la masa del líquido (agua) desalojado, g la constante de gravedad de la tierra, ρ_L la densidad del agua (donde $\rho_L = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$) y ρ_c la densidad del cuerpo C. Ahora, dado que los diferentes objetos y la caja plástica (pertenecientes al sistema experimental II) tienen aproximadamente iguales dimensiones tenemos:

$$V_c \text{ para los cuerpos} = \text{cte} \quad (1)$$

$$\Delta V = (V_F - V_0) \quad (2)$$

(Recuerde que el cambio de volumen al modificar un sistema se puede medir por: el volumen final menos el inicial).

Por lo tanto, la **fuerza de flotación** F_e será:

$$W_c = m_c g \quad (3)$$

$$W_c' = W_c - F_e \quad (4)$$

$$F_e = W_c - W_c' = m_L g = \rho_L g V_L \quad (5)$$

“Una Propiedad importante de cualquier material es su **densidad**, la cual es definida como su masa por unidad de volumen” (SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, FREDMAN; 2004; pág. 517). De lo cual tenemos que para los cuerpos C la densidad es:

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} \quad (6)$$

$$V_L = V_c = \frac{m_c}{\rho_c} \quad (7)$$

$$W_c - W_c' = \frac{\rho_L g m_c}{\rho_c} \quad (8)$$

$$\rho_c = \frac{\rho_L W_c}{W_c - W_c'} \quad (9)$$

Para calcular el peso en agua W_{c1}' de una masa de un cuerpo C1 que flota parcialmente sumergido en el fluido (por ejemplo, madera) puede seguir el siguiente procedimiento: Sujete una masa de un cuerpo C2 mucho más densa al objeto que no se hunde totalmente en el líquido y considere ahora las fuerzas externas que actúan sobre los cuerpos sumergidos en el fluido.

$$W_{c1}' + W_{c2}' = W_{c1} + W_{c2} - (F_{e1} + F_{e2}) \quad (10)$$

$$W_{c1}' = W_{c1} + W_{c2} - (F_{e1} + F_{e2}) - W_{c2}' \quad (11)$$

El peso neto correspondiente a los dos objetos sumergidos en el agua es $W_{c1}' + W_{c2}'$. El peso que se calcula en el aire para este sistema de masas en conjunto es $W_{c1} + W_{c2}$ y $F_{e1} + F_{e2}$ son las fuerzas de empuje hechas por el fluido hacia arriba sobre el conjunto de pesas. El volumen del cuerpo que se sumerge parcialmente también se puede calcular análogamente, sumerja con él un cuerpo de densidad mucho mayor que la del agua del cual conozca su volumen, luego al cambio de volumen ΔV réstele el valor del volumen del cuerpo que añadió.

ANÁLISIS DEL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES.

Este análisis, se enfoca en la sección del laboratorio consiste de tres partes:

Parte I.

1. Al realizar el laboratorio se observa que el volumen de la “copa” es rellenado en su totalidad por el volumen del agua que desaloja el cilindro, y dado que, el “cilindro” encaja perfectamente en la “copa” entonces, el volumen del cilindro V_c es igual al volumen del agua desalojada V_a . Esto muestra de manera práctica que un objeto desplaza su mismo volumen al ser introducido en un fluido. Experimentalmente al ir ejecutando el procedimiento planteado para el sistema experimental I, esto se hace evidente. Por tanto, el agua que desaloja el “cilindro” siempre llenará completamente la “copa” del “Juego para el principio de Arquímedes”.

2. El peso inicial (en aire) del “Juego para el principio de Arquímedes” colocando el cilindro en la parte inferior de la “copa”, tal como muestra la figura 1, es: 0.76 N. El peso de este mismo ensamblaje, pero con el cilindro sumergido en el agua es: 0,635 N, note que el peso del “Juego para el principio de Arquímedes” en aire se reduce al introducir el cilindro al agua. Si bien el “Juego para el principio de Arquímedes” reduce su peso al introducir el cilindro en el agua, tiene que suceder que el agua hace una fuerza opuesta al peso medido de éste en el aire. Decimos entonces que el fluido (agua) hace una fuerza opuesta al peso, que se define como empuje, la cual explica el porqué del fenómeno.

3. Considerando el procedimiento planteado en la pregunta, el peso final al llenar la copa con el agua es de 0,76N. Si hacemos una comparación de este con el peso del “Juego para el principio de Arquímedes” en el aire, son idénticamente los mismos. Por lo tanto, se dice que el peso del agua desalojada por el cilindro es igual a la fuerza de empuje que hace el agua. Si introducimos en la sumatoria de fuerzas el peso del agua desalojada con respecto al eje de acción vertical “Y”, esta se “anula” con la fuerza de empuje que hace el líquido y por lo tanto el resultado final será de nuevo el peso que tenía el sistema desde un principio en el aire.

Parte II

1. Usando la ecuación (2) calculamos: (tabla de volúmenes para las diferentes masas)

Muestra	Volumen $\pm 0,1$ (ml)
m.1	8,0
m.2	8,0
m.3	8,5
m.4	8,5
m.5	9,0
Promedio	8.4

2. De acuerdo a la ecuación (5) calculamos: (tabla de la fuerza de empuje en forma implícita)

Muestra $\pm 0,01$ (m)	El peso en aire W_c (N)	El peso en agua W_c' (N)	$W_c - W_c'$ (N)
m.1	0.78	0.69	0.09
m.2	0.74	0.65	0.09
m.3	0.25	0.17	0.08
m.4	0.69	0.60	0.09

m.5	0.07	0.02	0.08
-----	------	------	------

3. Utilizando la ecuación número (6) y (3) determinamos que el peso del agua W_a que colocamos en la caja plástica es $W_a = 0.085$ (N). el promedio en la columna $W_c - W_c'$ es: 0.087 (N). Note que estos dos resultados son aproximadamente los mismos, esto implica entonces que el valor de $W_c - W_c'$ (que es la fuerza de flotación de acuerdo a la ecuación (5)) es igual al peso del agua cuando esta tiene un mismo volumen que la masa, En otras palabras, es igual al peso del volumen de agua que desalojaría la masa (Principio de Arquímedes).
4. El signo negativo nos dice que esa es la cantidad que necesita la masa para igualar la fuerza de empuje que hace el fluido sobre ésta. Dicho de otra forma, es el resultado de sumar respecto a la acción en la componente vertical "Y", la fuerzas de: el peso de la masa y la fuerza de empuje.

Parte III.

Tabla para determinar el material que componen las masas (usando ecuación (6) y (9)).

Muestra (m)	ρ_c (9)	ρ_c (6)	Media $\rho_c \pm 0,1$	Valor teórico ρ_c	Material.
m.1	9176.47	9357.14	9.1×10^3	8.89×10^3	Bronce
m.2	8705.88	8916.67	8.8×10^3	8.9×10^3	Cobre
m.3	2941.17	3047.61	2.9×10^3	2.7×10^3	Aluminio
m.4	8117.65	8357.14	8.1×10^3	7.8×10^3	Hierro, acero
m.5	823.520	928.570	876.04	600-900	Madera

Estos resultados, muestran una aproximación aceptable. Esto puede ocurrir por los sistemas de medición implementados, como, por ejemplo: la probeta, que presenta un gran margen de error al momento de calcular los

volúmenes y demás herramientas del experimento que requieren de una gran precisión visual a la hora de fijar un dato. Otra consideración, así como lo hizo Arquímedes con la corona, puede ser relacionada a la pureza del material, es decir, que tal vez los objetos no son del todo puros y uniformes en su densidad. De forma general, sin embargo, esta aproximación es lo suficientemente buena para caracterizar las muestras.

Conclusión.

En esta práctica, se ilustra y se evidenció la fuerza de empuje que hace un fluido. Se comprendió que, si un volumen V_a ocupado en principio por un fluido estacionario, es remplazado por una masa con una densidad diferente, la muestra experimentará una fuerza de empuje que hace el fluido sobre la masa en la línea de acción del peso, pero en dirección opuesta. Para los análisis se considera, que, los instrumentos y las técnicas de medición en virtud del principio ocasionan un margen de error considerable. En general, los sistemas experimentales permiten dar un vistazo y familiarizarse con la validez del principio de Arquímedes, alcanzando el objetivo de comprender el fenómeno.

PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Jhon Dalvis Bolaños Realpe

Instituto de Educación y Pedagogía - Universidad del Valle

Guía para el estudiante.

Resumen.

La experiencia se conforma de tres partes, el laboratorio virtual, el sistema experimental I y el sistema experimental II. En el laboratorio virtual se discutirán magnitudes como peso, masa, volumen y con estos valores se podrá analizar de forma directa e indirecta el principio de Arquímedes y una de sus aplicaciones, usando los montajes para el sistema experimental I y II.

Integrantes:

Fecha:

Para el desarrollo de esta guía deben conformar grupos de estudiantes para que de forma colectiva puedan abordar las siguientes preguntas. Además, Se debe tener en cuenta las indicaciones previas del docente, donde explicará la metodología que se debe seguir en este trabajo.

Te has preguntado ¿por qué un barco puede suspenderse en la superficie del mar?, o ¿por qué un globo meteorológico o un avión puede hacerlo entre las nubes? Estos son los tipos de fenómenos que esta guía trabajará, para ello se abordará el siguiente caso. Cuenta la historia que:

En el siglo III a.C., el rey Hierón II gobernaba Siracusa. Siendo un rey ostentoso, pidió a un orfebre que le crease una hermosa corona de oro, para lo que le dio un lingote de oro puro. Una vez el orfebre hubo terminado, le entregó al rey su deseada corona.

Entonces las dudas comenzaron a asaltarle. La corona pesaba lo mismo que un lingote de oro, pero ¿y si el orfebre había sustituido parte del oro de la corona por plata para engañarle? Ante la duda, el rey Hierón hizo llamar a Arquímedes, que vivía en aquel entonces en Siracusa. Arquímedes era uno de los más famosos sabios y matemáticos de la época, así que Herón creyó que sería la persona adecuada para abordar su problema. (recursos de pandora, 2011).

Pregunta Problema.

¿Era o no de oro macizo la corona del rey Hierón?

Experimento ideal.

- I. Responda las siguientes preguntas de acuerdo a los pasos que se indican para la exploración del enlace:
<http://www.iesaguilarycano.com/dpto/fyq/eureka.swf> en la ejecución del laboratorio virtual del principio de Arquímedes.

I.1. A continuación, describa: ¿qué entiende usted por flotación? Adicionalmente, mencione si para usted tiene alguna conexión el caso de la corona del rey Hierón con el del globo o el barco.

I,2. ¿Qué técnica podría emplearse para medir el volumen de cualquier cuerpo?

Siguiendo las indicaciones que se describen en el experimento virtual que aparece en el enlace:

http://www.iesaguilarycano.com/dpto/fyq/eur_eka.swf, responda las preguntas 3, 4, 5 y 6, mostradas a continuación:

I,3. Para realizar este análisis, debe familiarizarse con el concepto de Fuerza de empuje, para ello, abordemos las indicaciones que se dan en la opción “empuje” y postule sus propias hipótesis. ¿Cuáles deben ser las variables que afectan el empuje?

I,4. A continuación, verificaremos que sucede con el peso inicial (en aire) que tiene un objeto que cuelga del dinamómetro si este objeto se sumerge en diferentes líquidos. En la opción de “experiencias” deberá explorar esta condición. Al término de las seis experiencias responda a la siguiente pregunta: ¿Cambia el peso del objeto al exponerlo a diferentes medios como por ejemplo aceite o agua?

I,5. En la opción de “experiencias” deberá explorar que variables afectan la fuerza de empuje. Al término de la sexta experiencia responda a la siguiente pregunta: ¿El agua desalojada que comienza a llenar el recipiente B *posee relación con el volumen del cuerpo sumergido*?

I,6. Según las indicaciones de la opción “principio de Arquímedes”, construya una expresión matemática para calcular la fuerza de empuje en términos de la masa del cuerpo sumergido y su densidad.

Verificación experimental del principio de Arquímedes con el uso del Sistema experimental I.

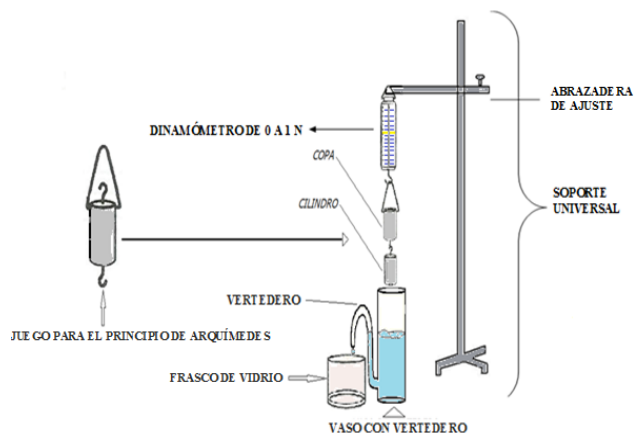
- II. A continuación, deberá verificar en el laboratorio, las conclusiones que resultaron en las anteriores preguntas. Esto lo haremos con el uso del sistema experimental I.

II,1. Materiales requeridos:

- Abrazadera de ajuste
- Soporte Universal
- Vaso con vertedero
- Juego para el principio de Arquímedes (Copa y Cilindro)
- Frasco de vidrio
- Dinamómetro de 0 a 1 N

II,2. Montaje experimental:

El sistema experimental I se muestra en el siguiente esquema (figura 1).



2. (figura 1) Esquema ilustrativo del montaje experimental I y sus principales elementos

Haga el ensamblaje de: el soporte universal, la abrazadera de ajuste y el dinamómetro. Ubique adecuadamente los elementos respectivos y realice las siguientes indicaciones.

II,3. Análisis.

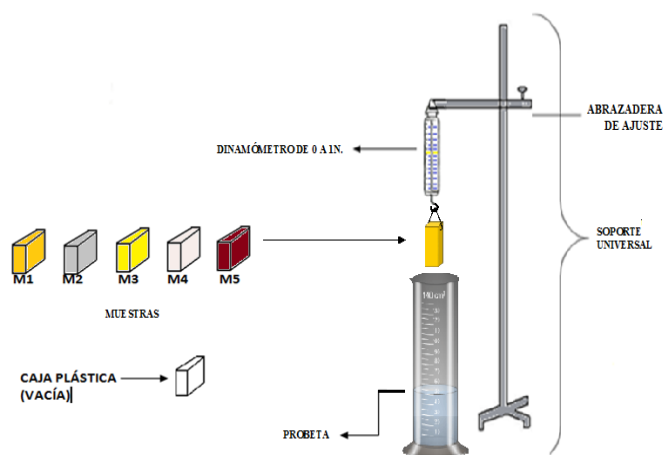
Con el dinamómetro, determine el peso de: el “Juego para el principio de Arquímedes”, de la “copa” cilíndrica vacía y del cilindro que se encuentra dentro de esta “copa”, cada uno de forma independientemente. Llene el “vaso con vertedero” de agua y gradúela hasta que deje de gotear el “vertedero”. Ubique el “frasco de vidrio” en el lugar debajo del “vertedero” para que pueda recoger posteriormente el agua que saldrá por esta abertura. Cuelgue el “Juego para el principio de Arquímedes” del dinamómetro, tal como se ve en la figura 1 (colocando el “cilindro” debajo de la “copa”). Con cuidado baje el sistema hasta que el cilindro quede totalmente sumergido en el agua, espere hasta el momento que deje de salir agua por el “vertedero”. Dejando sumergido el cilindro, vierta el agua que recogió con el frasco de vidrio en el interior de la “copa”. Mida el peso que tiene ahora el “Juego para el principio de Arquímedes” sumergido el cilindro en el agua y la copa con el líquido.

II,4. Responda las siguientes preguntas de acuerdo a la información y pasos que se indican en el análisis II,3:

II, 5. Mida el peso que tiene el “Juego para el principio de Arquímedes” en el aire.

II, 6. Mida el peso que tiene el “Juego para el principio de Arquímedes” colocando el “cilindro” debajo de la “copa” y haciendo que el cilindro quede totalmente sumergido en agua.

II, 7. Mida el peso que tiene ahora el “Juego para el principio de Arquímedes” sumergido el cilindro en el agua y la copa con el líquido.



3. (figura 2) Esquema ilustrativo del montaje experimental II y sus principales elementos.

Aplicación para el principio de Arquímedes con el uso del Sistema experimental II.

III. A continuación, deberá aplicar en el laboratorio real y virtual, las conclusiones de los apartados I y II. Esto se hará con el uso del sistema experimental II, el enlace para el laboratorio virtual del principio de Arquímedes y con el software OriginPro.

III,1. Materiales requeridos:

- Abrazadera de ajuste
- Soporte Universal
- Probeta
- Cinco objetos (muestras) en forma de paralelepípedos rectangulares.
- Dinamómetro de 0 a 1N.
- Caja plástica (vacía) en la que se ajustan los objetos.

III,2. Montaje experimental:

El sistema experimental II se muestra en el siguiente esquema (figura 2).

III,3. Análisis.

Haga el ensamblaje del soporte universal, la abrazadera de ajuste y el dinamómetro. Con el dinamómetro determine el peso de cada objeto y con este dato encuentre la masa de los cuerpos. Llene una parte considerable de la probeta con agua y colóquela justo debajo del dinamómetro. Cuelgue cada una de las masas en el dinamómetro tal como muestra la figura 2. Con cuidado, baje la abrazadera de ajuste y mida ahora el peso de las muestras sumergiéndolas en el agua y señale el cambio de volumen del agua. La caja plástica posee aproximadamente el mismo volumen interno de las cinco muestras. Calcule con ella la fuerza de empuje.

II,4. Responda las siguientes preguntas de acuerdo a la información y pasos que se indican en el análisis III,3:

III,5. Con ayuda de la expresión del literal I,6, diga: ¿De qué material está hecha cada una de las muestras?

III, 6. En el caso de la animación presentada en el laboratorio virtual, para la corona del rey Herón. Determine los valores observados de la corona, el peso en el aire, el peso en el agua, el peso en el aire de la masa menos el peso de ésta en el agua. ¡Verifica si la corona es Real!

III,7. Analiza que sucede con las masas que se hunden parcialmente en un fluido. En el caso de la animación presentada en el laboratorio virtual, calcule los dos valores restantes de la actividad, para la tabla que flota parcialmente y para el iceberg que se encuentra sumergido un 90%. Para ello recuerde tener en cuenta el estado de equilibrio de ambos sistemas.

BIBLIOGRAFÍA.

Conclusiones.

- IV. Finalmente, ¿Qué puede concluir de la prueba del principio de Arquímedes según el laboratorio virtual y el sistema experimental I y II? Adicionalmente, ¿cuál es el margen de error absoluto y relativo que manejaron estos experimentos?

- Guías de laboratorio 2 y 3, Universidad del Valle, Departamento de Física.

--

Bibliografía.

- Alinovi. (2007). Historia de la energía. Argentina: Capital intelectual.
- Bocanegra. (1993). Teorema fundamental de trabajo y energía. Colombia.
- Carabalí, y César. (2010). El concepto de energía en la educación media. Colombia: Universidad del Valle.
- Feynman. (1986). El carácter de la ley física. Ediciones Orbis.
- Gros. (1997). Diseños y programas educativos. pautas pedagógicas para la elaboración de software. Barcelona: Ariel educación.
- Hogben. (1972). El maravilloso mundo de la energía. España: Aguilar SA. de ediciones.
- Lewin. (2012). Por amor a la física: del final del arco iris a la frontera del tiempo. un viaje a través de las maravillas de la física.
- Ministerio de educación nacional. (1998). lineamientos curriculares ciencias naturales y educación ambiental.
- Neumann k. Viering t. Boone. and Fischer. (2012). Towards a Learning Progression of Energy, Wiley periodicals, inc.
- Perea. (1995). Prevalencia de preconceptos y conceptos acerca del calor, el trabajo y la energía. Colombia: Universidad del Valle.
- Robert. Eisberg and Lawrence. (1984) Física: fundamentos y aplicaciones. México: Mcgraw-hill de México.
- Sierra. (2012). Orígenes, evolución y consolidación del principio de conservación de la energía. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.