

**Equilibrio y Equivalencia: Nociones Fundamentales para Construir y Comprender el
concepto de Energía**

Daniel Santiago González Pulido

Cristian Felipe Lesmes Perilla

Freddy Leonardo Salamanca Acosta

Línea de Profundización:

La Actividad Experimental para la Enseñanza de la Física

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad De Ciencia y Tecnología
Departamento De Física
Bogotá D.C.
2019**

**Equilibrio y Equivalencia: Nociones Fundamentales para Construir y Comprender el
concepto de Energía**

Daniel Santiago González Pulido

Cristian Felipe Lesmes Perilla

Freddy Leonardo Salamanca Acosta

Trabajo de Grado para optar al título de Licenciados en Física

Asesores:

Profesora, Marina Garzón Barrios

Profesor, José Francisco Malagón Sánchez


Universidad Pedagógica Nacional

Facultad De Ciencia y Tecnología

Departamento De Física


Bogotá D.C.

2019

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 7	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado.
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central.
Título del documento	Equilibrio y Equivalencia: Nociones Fundamentales para Construir y Comprender el concepto de Energía.
Autor(es)	González Pulido, Daniel Santiago; Lesmes Perilla, Cristian Felipe; Salamanca Acosta, Freddy Leonardo.
Director	Garzón Barrios, Marina; Malagón Sánchez, José Francisco.
Publicación	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2019. 97p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional.
Palabras Claves	EQUILIBRIO; EQUIVALENCIA; HISTORIA DE LA FÍSICA; CONSERVACIÓN; TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA; CONVERTIBILIDAD DE FENÓMENOS; ACTIVIDAD EXPERIMENTAL; ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.

2. Descripción
<p>El presente trabajo aborda las nociones de equilibrio y equivalencia como nociones fundamentales. Históricamente fueron conceptos que llevaron a caracterizar lo que hoy se conoce como energía y también fueron base para el análisis en torno a la cantidad de movimiento y las relaciones entre magnitudes. Durante los siglos XVII y XVIII sirvieron de base para llegar al concepto de energía a partir de la idea de convertibilidad de fenómenos desarrollada en el siglo XVIII que nos permite hablar de las diferentes transformaciones que se presentan en los sistemas.</p> <p>Con base en las comprensiones que enriquece la aproximación histórica, diseñamos y proponemos una serie de actividades experimentales que van encaminadas a la construcción del concepto de energía por parte de los estudiantes, teniendo en cuenta el desarrollo histórico que se establece en el marco teórico.</p> <p>Preguntas de investigación</p> <p>Teniendo en cuenta nuestro contexto de aula planteamos las siguientes preguntas: <i>¿Cómo la actividad experimental puede aportar de manera significativa en la enseñanza del concepto de energía? ¿Mediante qué actividades es posible propiciar su comprensión como medida del cambio, y se entiende su naturaleza de transformación?</i></p> <p>Objetivos</p> <p>Objetivo general</p> <p>Caracterizar los aportes de la actividad experimental en la construcción y comprensión del concepto de energía y su naturaleza de transformación.</p>


 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 7	

Objetivos específicos

- Indagar en el desarrollo histórico del concepto de energía a partir de la lectura de fuentes primarias y secundarias, teniendo en cuenta los conceptos previos que han sido base para el desarrollo de dicho concepto
- Diseñar actividades experimentales que nos permitan construir el concepto de energía y sus transformaciones: mecánicas, eléctricas y térmicas.
- Implementar una unidad didáctica que de muestra de la construcción del concepto de energía a partir de los principios de equilibrio y equivalencia.
- Realizar un análisis en torno a las descripciones y discusiones que realicen los estudiantes de lo observado en las actividades experimentales que se llevarán al aula.
- Indicar qué características de la actividad experimental permite la construcción y comprensión de concepto de energía y su naturaleza de transformación.

3. Fuentes


- Agudelo Restrepo, C. C. (2015). *Orígenes de las leyes de conservación como un principio unificador de las Ciencias Naturales. El caso de la invarianza de la energía en la física*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Ayala, M., Guerrero, G., & Malagón, F. (1998). *Elementos para introducir el concepto de energía mecánica sin recurrir al concepto de trabajo*. Bogotá D.C: Universidad Pedagógica Nacional.
- Ayala, M., Malagón, F., Garzón, I., Castillo, J., & Garzón, M. (2001). *Introducción a la problemática de la estática: El principio de las velocidades virtuales*. Bogotá, D.C.
- Bravo, M. (2014). *La Concepción Galileana Del Equilibrio Mecánico: Diálogos Con La Filosofía Natural Medieval*. Santiago de Chile.
- Clausius, R. (1879). Mathematical Introduction. En R. Clausius, *The Mechanical Theory of Heat* (págs. 1-19). London: Macmillan and co.
- Forero, M. (2013). *El equivalente mecánico del calor*. Bogotá D.C.
- Franklin, A., & Perovic, S. (1998). *El Experimento en Física*. California: The Stanford Encyclopedia of Philosophy .
- Galilei, G. (1638). Jornada II. En G. Galilei, *consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Venecia.
- Giancolli, D. (S.f). *Física principios con aplicaciones sexta edición vol. 1*.
- Hierrezuelo, M., & Molina, G. (1990). *Una propuesta para introducir el concepto de energía en el bachillerato*.
- Holton, G., & Stephen, B. (1987). Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas. En G. Holton, & B. Stephen, *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas* (pág. 123). Barcelona : Editorial Reverté, S.A.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de líderes</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 7	

- Kuhn, T. (1997). *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lequeux, J. (2008). Francois Arago, un científico generoso - Física y Astronomía en el siglo XIX. En J. Lequeux, *Francois Arago, un científico generoso - Física y Astronomía en el siglo XIX*. Paris: EDP Sciences - Observatorio de París.
- Lindsay, B. (1975). Energy: Historical Development of the Concept. En B. Lindsay, *Energy: Historical Development of the Concept* (págs. 160-161). Stroudburg: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.
- Mach, E. (1911). On the history of the theorem of the conservation of work. En E. Mach, *History and root of the principle of the conservation of energy* (págs. 21-22). Chicago: Library of the Johns Hopkins University.
- Magie, W. (1935). *A source book in physics*.
- Planck, M. (1998). Reversibilidad e Irreversibilidad. *Reversibilidad e Irreversibilidad* (págs. 1-19). Columbia: Dover publications INC; Toronto.
- Tippens, P. (S.f). *Física I conceptos y aplicaciones*. MC. Graw Hill.
- Vélez Uribe, F. (2002). El principio de Conservación del Impulso y las Leyes de la Comunicación del Movimiento en el Siglo XVII. En F. Vélez Uribe, *El principio de Conservación del Impulso y las Leyes de la Comunicación del Movimiento en el Siglo XVII* (págs. 183-203). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Vélez Uribe, F. (2002). El Principio de la Conservación del Impulso y las Leyes de la Comunicación del Movimiento en el Siglo XVII. En F. Vélez Uribe, *El Principio de la Conservación del Impulso y las Leyes de la Comunicación del Movimiento en el Siglo XVII* (págs. 205 -206). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Velez, F. (2002). Christiaan Huygens. En F. Velez, *El principio de la conservacion del impulso y las leyes de la comunicacion del movimiento en el siglo XVII*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Wesi, R., Smit, J., & Thomson, N. (2004). Conceptual difficulties associated with the energy concept as experienced by science teachers in north west province of South Africa . En D. Grayson, *What Physics Should We Teach?* (págs. 264-271). Durban: South African institute of physics.

4. Contenidos

Capítulo 1: Abordamos los conceptos de equilibrio y equivalencia como los principios organizadores del concepto de energía. Introducimos la idea de movimiento perpetuo que se tenía en el siglo XVI, que corresponde a la conservación de la acción del peso de los cuerpos. Este concepto fue discutido por autores como Simón Stevin y Galileo Galilei, que parten de los conceptos de equilibrio y equivalencia para refutar

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de líderes</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 7	

las ideas aristotélicas del movimiento perpetuo y la idea de que un cuerpo más masivo era la causa del movimiento de un cuerpo menos masivo.

Capítulo 2: Retomamos el concepto de equivalencia para hacer un análisis a diferentes trabajos respecto a las relaciones entre magnitudes: alturas y velocidades, momento lineal, para finalizar con el principio general de la mecánica formulado por Joseph-Louis Lagrange. Estos trabajos dieron paso a la proposición de un principio que unificara diferentes fenómenos de la mecánica. Durante el siglo XVII se presentaron varias discusiones sobre los choques y el efecto de la caída en torno al comportamiento de los fenómenos mencionados anteriormente y cómo sistemas con diferentes configuraciones lograban los mismos efectos, por ejemplo, en la caída de los cuerpos, donde se relacionan las magnitudes de altura, masa y velocidad, para lograr el mismo impacto sobre una superficie.

Capítulo 3: Presentamos cómo a lo largo del siglo XVIII y parte del siglo XIX se logra caracterizar el principio de conservación de la energía, relacionando diferentes tipos de fenómenos que hacen parte del estudio de la física: Mecánicos, eléctricos y térmicos los cuales se creía que eran independientes entre sí. También destacamos el trabajo de James Prescott Joule y Rudolf Clausius que lograron cuantificar y establecer una equivalencia entre dos tipos de fenómenos: el movimiento y el calor.

Para concluir nuestra investigación teórica presentaremos el estudio y diseño de un prototipo que nos permite establecer una evidencia de la transformación de fenómenos mecánicos en térmicos y a eléctricos. Las actividades desarrolladas alrededor de este prototipo fueron llevadas al aula en la implementación.

Capítulo 4: En este capítulo presentamos nuestra propuesta de aula, que consta de seis actividades que son producto de nuestra investigación teórica. Además de esto presentamos el desarrollo de cada actividad en el aula de clase y su respectiva sistematización.

5. Metodología


Para el desarrollo conceptual de nuestro trabajo de grado, realizamos una indagación histórica sobre el concepto de la energía tomando como referencia fuentes primarias: Galileo, Planck, Lagrange, Clausius, partiendo de conceptos como el equilibrio mecánico y la equivalencia de magnitudes, los cuales nos permitieron organizar las ideas de conservación y transformación para posteriormente llevarlas a nuestra propuesta de enseñanza.

Metodología de investigación en el aula.

En el marco de la implementación trabajamos con dos cursos de grado decimo: 1002 y 1003 del Instituto Pedagógico Nacional, con un total de 60 estudiantes. Para esto desarrollamos seis actividades durante ocho sesiones, con un total de cuatro para cada curso. El proceso de investigación en el aula consta de dos etapas: recolección y sistematización de los datos obtenidos en el aula de clase. Estas etapas las desarrollamos con el fin de guiar y conocer el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Recolección de datos.

Las actividades que realizamos en el aula las llevamos a cabo juntos con el fin de realizar un mejor trabajo a la hora de enseñar los conceptos que abordamos. De cada sesión obtuvimos datos los cuales recolectamos de dos maneras.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Excelencia en la Educación</small>	FORMATO
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 5 de 7

- Documentos escritos: Los estudiantes realizaron un escrito en cada una de las sesiones de trabajo, por lo que al finalizar la implementación obtuvimos cuatro escritos por estudiante que corresponden a las cuatro sesiones. En dichos escritos los estudiantes presentaron lo que ellos consideran que aprendieron en cada sesión y nosotros hicimos un análisis de estos con respecto a la rúbrica que presentamos más adelante.
- Notas de clase: En cada una de las sesiones uno de nosotros estuvo a cargo de tomar nota del desarrollo de la clase, es decir que hicimos una bitácora de cada sesión con las preguntas y discusiones que se llevaron a cabo. Cabe resaltar que la persona que estuvo a cargo de las notas de clase no participó de las actividades que se realizaron.

Sistematización.


Una vez obtuvimos los datos iniciamos la etapa de sistematización la cual se hicimos de dos maneras: la primera consta de organizar los documentos escritos de los estudiantes por medio de una rúbrica y la segunda consta de la sistematización de las notas de clase, cabe aclarar que ambas partes van muy ligadas y las hicimos de manera paralela.

6. Conclusiones

La actividad experimental llevada al ámbito educativo, pilar sobre el cual se basó nuestra propuesta de aula, nos aportó herramientas en cuanto al afianzamiento del conocimiento adquirido a lo largo de nuestro paso por el departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Nos permitió llevar al aula una propuesta distinta a la que se ejecuta tradicionalmente en cuanto al tema de nuestro trabajo de grado (energía), con la cual mostramos que es posible llevar contenidos que demandan un nivel de abstracción significativo para los estudiantes. La propuesta se orientó de tal manera que pudiera ser llamativa, y en la cual, los estudiantes interactúen directamente con las prácticas científicas, y que pudiera también aumentar el interés por el conocimiento científico y lograr, en términos de los resultados obtenidos, una mejor comprensión de los contenidos a medida que las sesiones fueron avanzando.

En torno a los objetivos propuestos inicialmente, y a la pregunta bajo la cual se sustenta este trabajo de grado, podemos concluir que la construcción de conocimiento con base en actividades experimentales, y en conjunto con los estudiantes que asumen un rol de investigadores dentro de su proceso de aprendizaje, resulta ser significativa. Evidenciamos que varios aspectos: la comprensión, conceptualización y comunicación de sus análisis a través de la escritura, fue en aumento a medida que avanzaban las sesiones, la capacidad de realizar hipótesis, proponer diferentes configuraciones a los sistemas presentados para lograr el objetivo que guiaba cada sesión, argumentar de manera más sólida sus posturas en cuanto a la conceptualización de los temas tratados.

Con base en los resultados obtenidos, podemos afirmar, que la respuesta de los estudiantes a nuestra implementación fue aceptada de buena manera. Esto se evidencia en las tablas estadísticas mostradas, pues gran parte de los estudiantes fue mejorando conforme avanzaban las actividades. El 60.99% de los estudiantes mostró un nivel de argumentación bajo en la primera actividad, y en las siguientes actividades este porcentaje fue disminuyendo, ya que para la última actividad solamente el 18% seguía mostrando un nivel de argumentación bajo, y el 42,99% de estudiantes mejoró de tal manera que algunos alcanzaron un nivel de argumentación básico y otros alcanzaron un nivel de argumentación alto, de acuerdo con la rúbrica

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de Docentes</small>	FORMATO
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 6 de 7

de trabajo. Para muestra de esto, una estudiante se destacó al realizar una interpretación matemática general de uno de los fenómenos que estaba estudiando en una actividad, esto demuestra que se obtuvo un nivel de entendimiento más alto frente a la actividad para poder organizar cada uno de los factores implicados en el experimento en una relación matemática de proporciones, como se muestra en la sistematización.

Por lo anterior, podemos decir que la actividad experimental aportó de manera significativa en el proceso de aprendizaje, siendo esto una razón para afirmar que la actividad experimental les proporcionó herramientas a los estudiantes para construir y adquirir un nuevo conocimiento, y también para mejorar el nivel de argumentación frente a los fenómenos que se presentaban en cada actividad.

El trabajo en grupo realizado por los estudiantes aportó a una mejor comprensión de los fenómenos que se estudiaban en cada sesión. Pudimos evidenciar que los estudiantes que tenían dificultades para entender los fenómenos presentados se apoyaban de sus compañeros de grupo para poder comprender lo que se estaba haciendo en la clase. También observamos que el trabajo en grupo aporta en el mejoramiento de la argumentación, pues a medida que los estudiantes discutían lo que observaban tienen más herramientas para argumentar o refutar hipótesis que los mismos estudiantes planteaban.


Es importante resaltar que el método de recolección de la información no fue el mejor, pues muchas veces en el aula de clase los estudiantes presentaban argumentos y discusiones orales, que para nosotros eran acordes con los objetivos que planteamos en cada actividad, y lastimosamente, no todos estos argumentos y discusiones quedaron plasmados en lo que ellos escribían al final de cada clase. Fue difícil recolectar toda esa información en las notas de clase, pero los datos que se recogen en estas notas eran las discusiones y argumentos que tuvieron más relevancia en el desarrollo de cada actividad. Durante el avance de actividades tuvimos que realizar una serie de correcciones a las indicaciones mostradas, para que los estudiantes lograrán presentar un mejor escrito con respecto a nuestras especificaciones.

También cabe aclarar que cuando nos referimos a los estudiantes que presentaron un desempeño bajo, no queremos decir que no adquirieron ningún conocimiento en estas actividades o que su proceso de aprendizaje no mejoró, sino que el nivel de argumentación escrito no fue bueno en relación a los objetivos planteados en las actividades, pues estos estudiantes también presentaban buenas ideas al momento de discutir lo que ocurría en cada uno de los fenómenos, sin embargo, no lograron desarrollarlas muy a fondo en los escritos, por lo que casi siempre se quedaban en ideas sin mucho sentido.

Finalmente, las nociones de equilibrio y equivalencia permiten la comprensión del concepto de energía, porque en los fenómenos que se desarrollaron en las actividades se veían efectos que no eran iguales a las causas que los producían, pero eran proporcionales a dichas causas. Por lo que los estudiantes aprendieron que hay fenómenos que no permanecen iguales, pero se conservan en otro tipo de fenómenos.

Destacamos la búsqueda y lectura de fuentes, tanto primarias como secundarias, que se realizó a lo largo del desarrollo del marco teórico, tales como los trabajos realizados por Mach y Lindsay entorno al desarrollo histórico y conceptos que precedieron y aportaron en gran medida a la universalización de la energía como magnitud que relaciona y unifica campos de estudio de la física que se consideraban independientes. Aspectos disciplinares y teóricos que logramos llevar al diseño de actividades experimentales para que fuesen coherentes con los objetivos planteados.

El estudio histórico del desarrollo del concepto de energía nos permitió entender que es posible abordar este concepto a partir de las nociones de equilibrio y equivalencia.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de calidad</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 7 de 7	

Gracias a la investigación realizada en el marco teórico como base disciplinar, nosotros logramos acercar a los estudiantes a la conceptualización de energía sin la necesidad de tener que abordar en primera medida conceptos como fuerza y trabajo. Estas actividades experimentales nutren nuestro trabajo en la medida en que los estudiantes fueran capaces de realizar un proceso de abstracción del concepto, ya que como se sabe, la energía no es tangible ni visible para ninguna persona, pero allí entra a jugar la propuesta didáctica, donde los mismos estudiantes actúan sobre el fenómeno y producen conocimiento en relación con sus acciones.

Para nosotros, es importante que los profesores logren llevar este tipo de actividades al aula, es decir, que puedan desarrollar otras alternativas que aporten de manera significativa al proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto del mismo profesor como de los alumnos, pues así ellos están más inmersos en las actividades, y son partícipes en la construcción de nuevos conocimientos, ya que los estudiantes adquieren un rol de investigadores, lo que ayuda a potenciar habilidades científicas que son la base de motivación que lleva a los jóvenes a estudiar carreras que tengan que ver con investigación científica.

Elaborado por:	Daniel Santiago González Pulido, Cristian Felipe Lesmes Perilla, Freddy Leonardo Salamanca Acosta.
Revisado por:	Marina Garzón Barrios, José Francisco Malagón Sánchez.

Fecha de elaboración del Resumen:	13	11	2019
--	----	----	------

Contenido

INTRODUCCIÓN	I
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	III
OBJETIVOS.....	III
<i>Objetivo general</i>	III
<i>Objetivos específicos</i>	III
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EN EL AULA	IV
<i>Recolección de datos</i>	IV
<i>Sistematización</i>	IV
EL LUGAR DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN NUESTRA PROPUESTA	V
1 EL EQUILIBRIO MECÁNICO EN EL ESTABLECIMIENTO DE EQUIVALENCIA ENTRE MAGNITUDES	1
1.1 MACH, UNA MIRADA A LA IMPOSIBILIDAD DEL MOVIMIENTO PERPETUO, A PARTIR DEL TRABAJO DESARROLLADO POR SIMÓN STEVIN.....	2
1.2 EL EQUILIBRIO MECÁNICO Y SU RELACIÓN CON LA PALANCA SEGÚN GALILEO: UN ANÁLISIS A LA EQUIVALENCIA DE MAGNITUDES.....	7
1.3 ASPECTOS PARA TENER EN CUENTA.....	9
2 RELACIONES DE MAGNITUDES QUE SE CONSERVAN EN LOS FENÓMENOS MECÁNICOS.....	10
2.1 RELACIÓN DE MAGNITUDES PARA CUERPOS EN MOVIMIENTO.....	10
2.2 DISCUSIONES EN TORNO A LA CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO (p).....	13
2.3 PRINCIPIO DE LAS VELOCIDADES VIRTUALES	15
2.4 RELACIÓN ENTRE EL TRABAJO Y LA VIS VIVA.....	20
2.5 ASPECTOS PARA TENER EN CUENTA.....	22
3 LA CUANTIFICACIÓN DE LA CONVERSIÓN DE LOS FENÓMENOS	23
3.1 ENERGÍA: CONSERVACIÓN Y TRANSFORMACIÓN.....	23
3.2 MOTOR STIRLING.....	27
4 PROPUESTA DE AULA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CONCEPTO DE ENERGÍA A PARTIR DE LA EQUIVALENCIA DE MAGNITUDES Y EL PRINCIPIO DE EQUILIBRIO MECÁNICO.....	34
4.1 OBJETIVO GENERAL	34
4.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO EN EL AULA	34
4.2.1 <i>Rúbrica: Guía para le evaluación y la sistematización</i>	35
4.2.2 <i>El equilibrio Mecánico en las máquinas simples: Plano inclinado y Balanza</i>	37
4.2.2.1 Actividad 1: Identificando la acción del peso sobre un plano inclinado, ¿Se reduce o aumenta la acción del peso en un plano inclinado?.....	37
4.2.2.2 Actividad 2: Ampliando la idea de la acción del peso en las máquinas simples: La balanza y la relación entre el peso y la longitud.	39
4.2.3 <i>La equivalencia de magnitudes cuando los cuerpos están en movimiento: Péndulo y caída libre</i> 43	
4.2.3.1 Actividad 3: El péndulo de Galileo, ¿Hay equivalencias entre magnitudes cuando un cuerpo se está moviendo?.....	44

4.2.3.2	Actividad 4: Analizando la relación entre alturas de caída y masa en el efecto de la caída de los cuerpos.	45
4.2.4	<i>Energía, Transformación y Convertibilidad de fenómenos.</i>	50
4.2.4.1	Actividad 5: ¿Es posible establecer una forma de caracterizar los fenómenos mecánicos a partir de la equivalencia de magnitudes?	50
4.2.4.2	Actividad 6: Un acercamiento al principio de conservación de la energía a través de un motor térmico: Conservación, transformación y conversión de fenómenos.	51
	<i>¿Es posible establecer una forma de caracterizar los fenómenos mecánicos a partir de la equivalencia de magnitudes?</i>	52
4.2.5	<i>Un acercamiento al principio de conservación de la energía a través de un motor térmico: Conservación, transformación y conversión de fenómenos</i>	54
4.3	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	55
5	CONCLUSIONES	60
6	REFERENCIAS	63
7	ANEXOS	65
7.1	A.1. DESARROLLO PROPUESTO POR LEIBNIZ PARA CARACTERIZAR LA “VIS VIVA”	65
7.2	A.2. REGISTROS GRÁFICOS	66
7.2.1	<i>Actividad 1: Identificando la acción del peso sobre un plano inclinado, ¿Se reduce o aumenta la acción del peso en un plano inclinado?</i>	66
7.2.2	<i>Actividad 2: Ampliando la idea de la acción del peso en las máquinas simples: La balanza y la relación entre el peso y la longitud.</i>	67
7.2.3	<i>Actividad 3: El péndulo de Galileo, ¿Hay equivalencias entre magnitudes cuando un cuerpo se está moviendo?</i>	69
7.2.4	<i>Actividad 4: Analizando la relación entre alturas de caída y masa en el efecto de la caída de los cuerpos.</i>	70
7.2.5	<i>Actividad 5: ¿Es posible establecer una forma de caracterizar los fenómenos mecánicos a partir de la equivalencia de magnitudes?</i>	71
7.2.6	<i>Actividad 6: Un acercamiento al principio de conservación de la energía a través de un motor térmico: Conservación, transformación y conversión de fenómenos.</i>	73
7.3	A.3. PLANOS PROTOTIPO MOTOR STIRLING	76
7.3.1	<i>Planos de las piezas del motor Stirling a escala 1:1</i>	76
7.3.2	<i>Base, Soporte, Dinamo y Mechero.</i>	77
7.4	A.4 DOCUMENTO DE AUTORIZACIÓN DE USO DE ESCRITOS	78

Tabla de Figuras

FIGURA 1:	PLANO INCLINADO DE STEVIN.	3
FIGURA 2:	SECCIÓN SUPERIOR DEL SISTEMA DE STEVIN, TRIANGULO ABC.....	3
FIGURA 3:	SECCIÓN INFERIOR (D), SISTEMA DE STEVIN.....	3
FIGURA 4:	ANÁLISIS DE LA SECCIÓN D.	4
FIGURA 5:	ANÁLISIS DEL SISTEMA.	4
FIGURA 6:	SISTEMA DE POLEA CON MASAS DESIGUALES.	4
FIGURA 7:	SISTEMA PLANO INCLINADO CON POLEA.	5
FIGURA 8:	FUERZAS SOBRE LA MASA 1.	5
FIGURA 9:	FUERZAS SOBRE LA MASA 2.	5
FIGURA 10:	PALANCA.....	7

FIGURA 11: ISOCRONÍA 1	10
FIGURA 12: ISOCRONÍA 2	11
FIGURA 13: PLANO INCLINADO	11
FIGURA 14: PLANO INCLINADO 2.....	11
FIGURA 15: PÉNDULO DE GALILEO.....	12
FIGURA 16: CHOQUE ELÁSTICO	14
FIGURA 17: MÉTODO DEL PARALELOGRAMO.	16
FIGURA 18: POLEA SIMPLE.....	16
FIGURA 19: POLEA COMPUESTA.	17
FIGURA 20: POLIPASTO.	17
FIGURA 21: MÁQUINA DE JOULE.....	26
FIGURA 22: MODELO DEL MOTOR STIRLING.....	28
FIGURA 23: FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR STIRLING.	28
FIGURA 24: CICLO STIRLING.	29
FIGURA 25: PROTOTIPO DEL MOTOR STIRLING.	31
FIGURA 26: SITUACIÓN 1	37
FIGURA 27: SITUACIÓN 2	38
FIGURA 28: SITUACIÓN 3.	39
FIGURA 29: REPRESENTACIÓN 1 DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA POR LOS ESTUDIANTES A LA SITUACIÓN 1.	40
FIGURA 30: REPRESENTACIÓN 2 DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA POR LOS ESTUDIANTES A LA SITUACIÓN 1.	40
FIGURA 31: CONFIGURACIÓN PROPUESTA POR UN GRUPO DE ESTUDIANTES.....	40
FIGURA 32: BALANZA DE BRAZOS IGUALES.	42
FIGURA 33: CONFIGURACIÓN 2 PROPUESTA POR UN ESTUDIANTE.....	42
FIGURA 34: PÉNDULO DE LA ACTIVIDAD 3.	46
FIGURA 35: SITUACIÓN 1 DE LA ACTIVIDAD 4.	47
FIGURA 36: SITUACIÓN 2 DE LA ACTIVIDAD 4.	48
FIGURA 37: PISTA DE PATINAJE.	50
FIGURA 38: ENERGÍA EN LA PISTA DE PATINAJE.	52
FIGURA 39: GRAFICO DE ENERGÍAS.	52
FIGURA 40: PISTA 3, SIMULADOR PHET.....	53
FIGURA 41: GRAFICO 2 DE ENERGÍAS.	53
FIGURA 42: GRÁFICO CIRCULAR DEL DESEMPEÑO DEL CURSO 1003	56
FIGURA 43: GRÁFICO CIRCULAR DEL DESEMPEÑO DEL CURSO 10-02.....	56
FIGURA 44: PLANO INCLINADO, REGISTRO 1.	66
FIGURA 45: PLANO INCLINADO, REGISTRO 2.	67
FIGURA 46: BALANZAS, REGISTRO 3.	67
FIGURA 47: DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD 2.	68
FIGURA 48: PÉNDULO, REGISTRO 3.	69
FIGURA 49: ANÁLISIS PÉNDULO.....	69
FIGURA 50: PÉNDULO, REGISTRO 4.	70
FIGURA 51: EFECTO DE LA CAÍDA, REGISTRO 5. FIGURA 52: ANÁLISIS MATEMÁTICO.	70
FIGURA 53: DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD 4.	71
FIGURA 54: ANÁLISIS SIMULADOR PHET.....	71
FIGURA 55: DESCRIPCIÓN SIMULADOR PHET.....	72
FIGURA 56: DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES 1.....	73
FIGURA 57: DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES 2.....	73

FIGURA 58: ESQUEMA DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS CURSO 1003.....	74
FIGURA 59: RELACIONES ENTRE MAGNITUDES.....	74
FIGURA 60: ACTIVIDADES REALIZADAS CON EL CURSO 1002.....	75
FIGURA 61: PLANOS REALIZADOS EN AUTOCAD 2012.....	76
FIGURA 62: SECCIÓN AMPLIADA FUENTE FRÍA.....	FIGURA 63: SEGURO DEL PISTÓN.....
FIGURA 64: SECCIÓN AMPLIADA FUENTE CALIENTE.....	76
FIGURA 65: PLANOS REALIZADOS E IMÁGENES EXPORTADAS DE AUTOCAD 2012.....	77

Introducción

El presente trabajo aborda las nociones de equilibrio y equivalencia como nociones fundamentales, porque durante los siglos XVII y XVIII sirvieron de base para llegar al concepto de energía a partir de la idea de convertibilidad de fenómenos desarrollada en la segunda mitad del siglo XVIII que habla de las diferentes transformaciones que se presentan en los sistemas.

Diseñamos y proponemos una serie de actividades experimentales que van encaminadas a la construcción del concepto de energía por parte de los estudiantes, teniendo en cuenta el desarrollo histórico que se establece en el marco teórico.

A partir de nuestras experiencias escolares, y lo observado en nuestro espacio de práctica, que se realizó en el Instituto Pedagógico Nacional (IPN), hemos encontrado que en la comprensión del concepto de energía los estudiantes tienden a relacionar la palabra energía con fuerza y en la mayoría de los casos la relacionan únicamente con el movimiento:

“Los estudiantes suelen hablar de una fuerza que se transmite y de una fuerza de movimiento, cosa que el maestro ve como un error y no como una forma diferente a la newtoniana de abordar el movimiento de un sistema” (Ayala, Guerrero, & Malagón, 1998)

Estas relaciones son abordadas por otros autores como confusiones por parte de los estudiantes, estas confusiones fueron estudiadas por José Hierrezuelo y Eduardo Molina en *“Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato. Enseñanza de las ciencias”* una investigación desarrollada en España que señala:

“Las ideas previas de los alumnos juegan un papel fundamental. Las ideas previas sobre la energía descrita en Duit (1983) indican que los estudiantes asocian energía con fuerza, combustible, o con ciertos fenómenos como luz, sonido, etc. Watts (1983) señala algunas de las características de estas ideas de los alumnos: la energía se centra en el hombre, la confusión de la energía con los fenómenos mismos, considerar sólo la energía relacionada con el movimiento, etc.” (Hierrezuelo & Molina, 1990)

En el contexto de la enseñanza, muchas veces la “energía” se presenta a los estudiantes con la famosa frase *“la energía no se crea, ni se destruye, solo se transforma”*, que corresponde al Principio de Conservación de la Energía, sin que los estudiantes logren entender en qué consisten las transformaciones de la energía o qué condiciones son necesarias para que se dé la conservación.

Pensamos que esto es debido a que algunos textos carecen de extensión en la parte histórica del desarrollo del concepto y muchas veces no da cuenta de las transformaciones de la energía:

“La energía puede considerarse algo que es posible convertir en trabajo. Cuando decimos que un objeto tiene energía, significa que es capaz de ejercer una fuerza sobre otro objeto para realizar un trabajo sobre él.” (Tippens, S.f)

Podemos decir que esta definición se queda corta al hablar del concepto de energía, no da cuenta de las formas de transformaciones, porque, solamente describe la energía a través del trabajo, este concepto entendido como la relación directa entre fuerza y distancia.

Por otra parte, algunos textos establecen una relación directa entre energía mecánica y movimiento:

“Lo importante de la energía y la cantidad de movimiento es que se conservan. Esto es, en circunstancias bastante generales, permanecen constantes. El hecho de que existan cantidades que se conservan no solo nos brinda una comprensión más profunda de la naturaleza del mundo, sino que también nos ofrece otra forma de plantear la resolución de problemas prácticos.” (Giancolli, S.f)

Llevando a la idea de que solamente se produce energía a partir de movimiento, sin embargo, sabemos que se puede producir energía a partir del calor, electricidad o la transformación de unos fenómenos en otros; se podría pensar que se habla de la energía como una magnitud constante que perdura en el tiempo y no da cuenta de la transformación.

Reconocemos que esta relación es importante, sin embargo, nos parece necesario profundizar en otras transformaciones, con la finalidad que los estudiantes comprendan de manera más amplia el principio de conservación de la energía asociándolo con diferentes tipos de energía, no solo lo que se refiere al movimiento.

Adicionalmente, otras investigaciones como la de RP Wesi, JJA Smit y N Thomson: *“Conceptual Difficulties Associated With The Energy Concept As Experienced By Science Teachers In North West Province Of South Africa”* muestran que muchos profesores de ciencias experimentan dificultades con algunos conceptos científicos, en particular, el concepto de energía y los conceptos relacionados, según los autores *“The teachers did not seem to master what they are supposed to teach.”* (Wesi, Smit, & Thomson, 2004) *“Los maestros no parecían dominar lo que se suponía que debían enseñar”*¹

Todas estas observaciones nos llevan a pensar que sigue siendo importante abordar el concepto de energía como problema de investigación en enseñanza de las ciencias, porque este concepto continúa siendo muy ambiguo, la palabra *“energía”*, está presente en varios

¹ Traducción libre del texto *What Physics Should We Teach?* Pág. 267.

contextos sociales, tomando diferentes sentidos por fuera de la física, y el significado que comúnmente se da en los textos no está presente en el lenguaje de la cotidianidad.

Nosotros proponemos desarrollar una secuencia de enseñanza que tenga en cuenta una perspectiva epistemológica y experimental, que nos permita poner en contexto a los estudiantes, mostrar los planteamientos que se han hecho a lo largo de la historia de la física, y de esta manera, plantear actividades de carácter experimental que aporten al proceso enseñanza-aprendizaje del concepto de energía.

Preguntas de investigación

A partir de los antecedentes anteriores y enfocándonos en nuestro contexto de aula planteamos las siguientes preguntas: ***¿Cómo la actividad experimental puede aportar de manera significativa en la enseñanza del concepto de energía? ¿Mediante qué actividades es posible propiciar su comprensión como medida del cambio, y se entienda su naturaleza de transformación?***

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar los aportes de la actividad experimental en la construcción y comprensión del concepto de *energía* y su naturaleza de transformación.

Objetivos específicos

- Indagar en el desarrollo histórico del concepto de energía a partir de la lectura de fuentes primarias y secundarias, teniendo en cuenta los conceptos previos que han sido base para el desarrollo del concepto de energía.
- Diseñar actividades experimentales que nos permitan construir el concepto de energía y sus transformaciones: mecánicas, eléctricas y térmicas.
- Implementar una unidad didáctica que de muestra de la construcción del concepto de energía a partir de los principios de equilibrio y equivalencia.
- Realizar un análisis en torno a las descripciones y discusiones que realicen los estudiantes de lo observado en las actividades experimentales que se llevaran al aula,
- Indicar qué características de la actividad experimental permite la construcción y comprensión de concepto de energía y su naturaleza de transformación.

Para el desarrollo conceptual de nuestro trabajo de grado, realizamos una indagación histórica sobre el concepto de la energía tomando como referencia fuentes originales en gran medida, partiendo de conceptos como el equilibrio mecánico y la equivalencia de magnitudes, los cuales nos permitieron organizar las ideas de conservación y transformación para posteriormente llevarlas a nuestra propuesta de enseñanza.

Metodología de investigación en el aula

En el marco de la implementación trabajamos con dos cursos de grado decimo: 1002 y 1003 del Instituto Pedagógico Nacional, con un total de 60 estudiantes. Para esto desarrollamos seis actividades durante ocho sesiones, con un total de cuatro para cada curso. El proceso de investigación en el aula consta de dos etapas: recolección y sistematización de los datos obtenidos en el aula de clase. Estas etapas las desarrollamos con el fin de guiar y conocer el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Recolección de datos

Las actividades que realizamos en el aula las llevamos a cabo juntos con el fin de realizar un mejor trabajo a la hora de enseñar los conceptos que abordamos. De cada sesión obtuvimos datos los cuales recolectamos de dos maneras.

- Documentos escritos: Los estudiantes realizaron un escrito en cada una de las sesiones de trabajo, por lo que al finalizar la implementación obtuvimos cuatro escritos por estudiante que corresponden a las cuatro sesiones. En dichos escritos los estudiantes presentaron lo que ellos consideran que aprendieron en cada sesión y nosotros hicimos un análisis de estos con respecto a la rúbrica que presentamos más adelante (*Ver Anexo 2*).
- Notas de clase: En cada una de las sesiones uno de nosotros estuvo a cargo de tomar nota del desarrollo de la clase, es decir que hicimos una bitácora de cada sesión con las preguntas y discusiones que se llevaron a cabo. Cabe resaltar que la persona que estuvo a cargo de las notas de clase no participó de las actividades que se realizaron.

Sistematización

La etapa de sistematización la hicimos en dos fases: la primera consta de organizar los documentos escritos de los estudiantes por medio de una rúbrica² y la segunda consta de la sistematización de las notas de clase, cabe aclarar que ambas partes van muy ligadas y las hicimos de manera paralela.

² Rúbrica: Método de evaluación de carácter cualitativo que contiene los alcances a los que llegaron los estudiantes a medida que ellos avanzaron en el proceso de enseñanza- aprendizaje.

Los documentos escritos por parte de los estudiantes que están presentes en este trabajo cuentan con su respectiva autorización, bajo el formato de un consentimiento informado (*Ver Anexo 4*).

El lugar de la actividad experimental en nuestra propuesta

Dentro del quehacer docente, además del enfoque disciplinar, para el maestro de física, el experimento se debe fundamentar y se debe dirigir al acercamiento por parte de los estudiantes a la actividad científica, teniendo en cuenta que esta no es prioritaria dentro del sistema educativo colombiano. Esto con la finalidad que a los jóvenes se les presente la oportunidad de interactuar de manera directa con las prácticas científicas experimentales. A largo de la historia de las ciencias, estas han sido fundamentales para el análisis de diferentes fenómenos sin desconocer la formalización matemática que termina validando la veracidad de los análisis experimentales realizados.

Según Allan Franklin y Slobodan Perovic:

“...el experimento es lo que proporciona la evidencia que fundamenta el conocimiento. El experimento juega muchos papeles en la ciencia. Una de sus funciones importantes es poner a prueba las teorías y proporcionar la base para el conocimiento científico. También puede requerir una nueva teoría, ya sea mostrando que una teoría aceptada es incorrecta o exhibiendo un nuevo fenómeno que necesita explicación. El experimento puede proporcionar pistas sobre la estructura o la forma matemática de una teoría y puede proporcionar evidencia de la existencia de las entidades involucradas en nuestras teorías.” (Franklin & Perovic, 1998)³

En relación con lo anterior, diseñamos y propusimos una serie de actividades experimentales encaminadas a la construcción del concepto de energía por parte de los estudiantes a partir de los conceptos de equilibrio y equivalencia de magnitudes como nociones fundamentales. Históricamente estos conceptos llevaron a caracterizar lo que hoy se conoce como energía y también fueron base para el análisis en torno a la cantidad de movimiento y las relaciones entre magnitudes.

El documento consta de cuatro capítulos. Los tres primeros constituyen el marco teórico, son el resultado de la indagación por el desarrollo histórico del concepto de energía. El cuarto corresponde a la propuesta de aula que desarrollamos en correspondencia con nuestra

³ Traducido por Garzón Barrios, Marina. (2019).

organización del concepto y a la sistematización del proceso de implementación que realizamos con nuestros estudiantes.

- **Capítulo 1:** Abordamos los conceptos de equilibrio y equivalencia como los principios organizadores del concepto de energía. Introducimos la idea de movimiento perpetuo que se tenía en el siglo XVI, que corresponde a la conservación de la acción del peso de los cuerpos. Este concepto fue discutido por autores como Simón Stevin y Galileo Galilei, que parten de los conceptos de equilibrio y equivalencia para refutar las ideas aristotélicas del movimiento perpetuo y la idea de que un cuerpo más masivo era la causa del movimiento de un cuerpo menos masivo.
- **Capítulo 2:** Retomamos el concepto de equivalencia para hacer un análisis a diferentes trabajos respecto a las relaciones entre magnitudes: alturas y velocidades, momento lineal, para finalizar con el principio general de la mecánica formulado por Joseph-Louis Lagrange. Estos trabajos dieron paso a la proposición de un principio que unificara diferentes fenómenos de la mecánica. Durante el siglo XVII se presentaron varias discusiones sobre los choques y el efecto de la caída en torno al comportamiento de los fenómenos mencionados anteriormente y cómo sistemas con diferentes configuraciones lograban los mismos efectos, por ejemplo, en la caída de los cuerpos, donde se relacionan las magnitudes de altura, masa y velocidad, para lograr el mismo impacto sobre una superficie.
- **Capítulo 3:** Presentamos cómo a lo largo del siglo XVIII y parte del siglo XIX se logra caracterizar el principio de conservación de la energía, relacionando diferentes tipos de fenómenos que hacen parte del estudio de la física: Mecánicos, eléctricos y térmicos los cuales se creía que eran independientes entre sí. También destacamos el trabajo de James Prescott Joule y Rudolf Clausius que lograron cuantificar y establecer una equivalencia entre dos tipos de fenómenos: el movimiento y el calor. Para concluir nuestra investigación teórica presentaremos el estudio y diseño de un prototipo que nos permite establecer una evidencia de la transformación de fenómenos mecánicos en térmicos y a eléctricos. Las actividades desarrolladas alrededor de este prototipo fueron llevadas al aula en la implementación.
- **Capítulo 4:** En este capítulo presentamos nuestra propuesta de aula, que consta de seis actividades que son producto de nuestra indagación teórica. Además de esto presentamos el desarrollo de cada actividad en el aula de clase y su respectiva sistematización.

Capítulo 1

1 El equilibrio mecánico en el establecimiento de equivalencia entre magnitudes

El equilibrio mecánico ha sido objeto de estudio a lo largo de la historia de la física, científicos como Simón Stevin (1548-1620) y Galileo Galilei (1564-1642) realizaron trabajos al respecto, tras encontrar diferencias con los planteamientos que proponía la física medieval que eran los más aceptados hasta ese momento, Stevin y Galileo desarrollaron experimentos tanto físicos y mentales donde se cuestionaban esos planteamientos que se consideraban validos (Movimiento perpetuo y planteamiento aristotélico) los cuales desarrollamos en este capítulo. A partir de estos análisis proponen una nueva forma de estudiar ciertos fenómenos físicos dentro de la mecánica, que se conoce como el equilibrio mecánico, factor importante para los estudios de la mecánica clásica.

A partir de los estudios realizados por Stevin y Galileo proponemos hacer uso del concepto de equilibrio mecánico para introducir lo que llamamos: equivalencia de magnitudes, ya que el pensamiento de Stevin y Galileo acerca del equilibrio, permite hacer una representación de relaciones o compensaciones entre dos magnitudes diferentes, ¿qué tanto de cierta cantidad puede compensar otra cantidad para lograr el equilibrio?, este planteamiento nos lleva a pensar que podemos establecer una o más *equivalencias* entre magnitudes diferentes.

Para abordar el principio de equilibrio mecánico, nos basamos en 3 máquinas simples: el plano inclinado, la palanca y la polea, partiendo de que en estas máquinas se puede obtener una ventaja mecánica que consiste en cambiar la acción de peso de los cuerpos⁴, ya sea en magnitud o en dirección.

- *Plano Inclinado*: El plano inclinado permite disminuir la acción del peso de un cuerpo, dando la posibilidad de desplazar un cuerpo a una altura cualquiera sin necesidad de hacer la fuerza equivalente al peso total de dicho cuerpo.
- *Palanca*: La palanca es una barra rígida con un punto de apoyo, llamado fulcro. Permite equilibrar dos cuerpos de diferentes pesos gracias a la distancia de la cual estén separados del fulcro, es decir que el cuerpo más pesado deberá estar más cerca del fulcro y el cuerpo menos pesado deberá estar más alejado del fulcro, dichas distancias deben ser proporcionales al peso de ambos cuerpos.
- *Polea*: La polea es un dispositivo mecánico de tracción constituido por una rueda por donde pasa una cuerda, la cual permite dos cosas: la primera es cambiar la dirección de la fuerza, es decir que si a un extremo de la cuerda se le aplica una fuerza el otro extremo sufrirá el mismo efecto de dicha fuerza, pero en sentido contrario. La

⁴ Acción del peso: Es la cantidad total o parcial del peso que está actuando en un sistema.

segunda es disminuir la fuerza necesaria para desplazar un cuerpo hacia arriba por medio de un arreglo de poleas. Un análisis de estos aspectos se desarrolla en el Capítulo 2.

Por ahora, nos centraremos en cómo la acción del peso en ciertos sistemas llevó a la idea de que el movimiento se podría mantener indefinidamente.

1.1 Mach, una mirada a la imposibilidad del movimiento perpetuo, a partir del trabajo desarrollado por Simón Stevin.

En primer lugar, Mach, propone que para entender de mejor manera la ley de la conservación de la energía, es pertinente referirse a esta en términos de la ley de la conservación del trabajo, ya que el teorema de la conservación del trabajo se ha expresado generalmente como: “*It is impossible to create work out of nothing, or to construct a perpetuum mobile*” (Mach, 1911, pág. 22) “Es imposible crear trabajo de la nada o construir un movimiento perpetuo”⁵

Desde la antigua Grecia, los filósofos naturales pensaron en un artefacto que tuviera la capacidad de moverse perpetuamente, según ellos, esto se podía hacer, de dos maneras: utilizando la acción del peso como fuente del movimiento y eliminando toda clase de resistencia posible al movimiento con el fin de que nunca se detuviese.

A pesar de los distintos artefactos diseñados, nunca se logró dicho objetivo, dando inicio al análisis de un fenómeno que era desconocido en la época, que iba a repercutir a lo largo de la historia y fue objeto de estudio para muchos científicos.

El planteamiento de lo que se consideraba como movimiento perpetuo nos lleva a pensar que para realizar tal movimiento es necesario generar trabajo en todo momento, puesto que no se puede eliminar por completo toda clase de fricción, sería necesario generar cada vez más trabajo para mantener un móvil en movimiento perpetuo siendo este el principio de conservación del trabajo que propuesto por Mach “Es imposible crear trabajo de la nada o construir un movimiento perpetuo” (Mach, 1911, pág. 22).

A partir de esta forma de expresar el teorema de la conservación del trabajo. Mach, acude al trabajo realizado por Simón Stevin con el que se analiza el equilibrio de los cuerpos en los planos inclinados.

Stevin propone una organización espacial que consiste en un plano inclinado con 14 esferas que tienen la misma masa, unidas por una cuerda que pasa por su centro geométrico y separado a la misma distancia, como se muestra en la (*Fig. 1*).

⁵ Traducción libre del texto On the history of the theorem of the conservation of work. En E. Mach, *History and root of the principle of the conservation of energy*, Pag. 22.

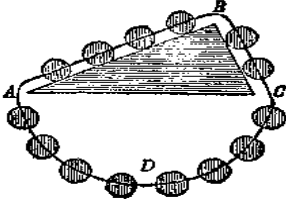


Figura 1: Plano inclinado de Stevin.

Este montaje es preciso porque Stevin logra mostrar la imposibilidad del movimiento perpetuo. Según Stevin, en lo único que se puede pensar para lograr el movimiento perpetuo es en el efecto producido por la caída de los cuerpos, la acción del peso, como se nombraba en esa época, era lo único que no necesitaba de una ayuda humana para mover los cuerpos.

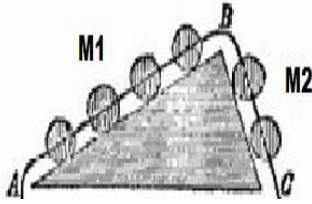


Figura 2: Sección superior del sistema de Stevin, triángulo ABC.

Fuente: Propia.

Inicialmente Stevin analiza las 4 esferas que están sobre el segmento \overline{AB} y las 2 esferas que están sobre el segmento \overline{BC} , como se muestra en la (Fig. 2), esta primera condición asegura el equilibrio del sistema en la parte superior del montaje, pese a que en el segmento \overline{AB} hay más esferas que en el segmento \overline{BC} el sistema puede permanecer en equilibrio porque se establece una relación directa entre cantidad de esferas y longitudes de los catetos del triángulo, la relación que se propone es la siguiente:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\overline{AB}}{\overline{BC}} = \frac{2}{1} \quad (1)$$

La ecuación 1 muestra la relación que existe entre las cuatro esferas que están en el segmento \overline{AB} con las dos esferas que están en el segmento \overline{BC} y las longitudes de cada segmento, Stevin afirma que las cuatro esferas, pesan exactamente dos veces más que las otras dos esferas, tales permanecen en equilibrio, ya que los ángulos de inclinación de los segmentos sobre los cuales reposan cada una de las esferas, se encuentran en una relación que permite igualar las acciones de los pesos sobre cada uno de los segmentos.

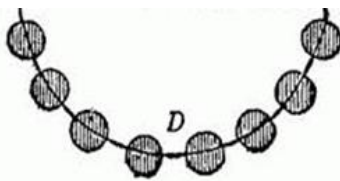


Figura 3: Sección inferior (D), sistema de Stevin.

Fuente: Propia.

Luego analiza el sistema de 14 esferas de la (Fig. 1) a partir del pensamiento del movimiento perpetuo y concluye que la acción del peso de las esferas que se encuentran en el segmento D produce que el sistema salga del estado de equilibrio, haciendo que las esferas se desplacen continuamente en la misma dirección. Esto nos llevaría a pensar que la acción del peso de las esferas que están en la sección D (Fig. 3) rompe el estado de equilibrio en el que estaban inicialmente las esferas en el segmento \overline{AB} y \overline{BC} de la (Fig. 2).

Ahora Stevin da lugar a las 8 esferas que se encuentran en la sección denominada D. Si pensamos que las esferas de la sección D están unidas a una superficie como se muestra en la (Fig. 4), las esferas de la sección D1 deberían estar en equilibrio con las esferas de la sección D2.

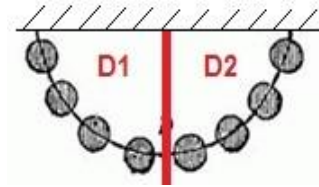


Figura 4: Análisis de la sección D.

Fuente: Propia.

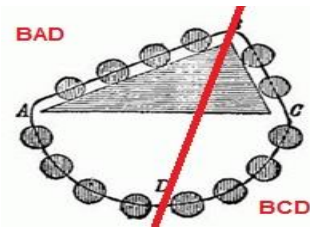


Figura 5: Análisis del sistema.

Fuente: Propia.

Ya sabemos que las esferas del segmento \overline{AB} están en equilibrio con las esferas del segmento \overline{BC} , y que las esferas del segmento \overline{AD} están en equilibrio con las masas del segmento \overline{DC} , por lo que las esferas del segmento \overline{BAD} se encuentran en equilibrio con las esferas del segmento \overline{BCD} como se muestra en la (Fig.5). Esto lleva a Stevin a hablar de un equilibrio las acciones del peso, la acción del peso de las ocho esferas de la izquierda es igual a la acción del peso de las seis esferas ubicadas a la derecha.

La relación pesos – ángulos de inclinación, llevó a Stevin a demostrar la imposibilidad del movimiento perpetuo, ya que se dio cuenta que el sistema siempre tiende a estar en equilibrio debido a la compensación de la acción de los pesos con los ángulos de inclinación. Esto lo hizo gracias a descomponer el sistema en solo dos masas, pero ahora con masas desiguales unidas por una cuerda, como se muestra en la (Fig. 6).

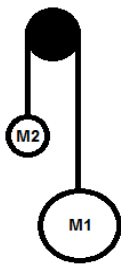


Figura 6: Sistema de polea con masas desiguales.

Fuente: Propia.

En este sistema tenemos que $M_1 > M_2$, debido a esto sabemos que M_1 se moverá hacia abajo y M_2 se moverá hacia arriba, ya que la acción del peso de M_1 es mayor que la acción del peso de M_2 , Stevin propone que para lograr el estado de equilibrio en el sistema es necesario poner un plano inclinado bajo la M_1 , como se indica en la (Fig. 7). El estado de equilibrio estará determinado por cuan inclinado este el plano, por lo que se puede compensar la acción del peso de un cuerpo con el ángulo de inclinación de un plano.

Con base en el pensamiento de Stevin, proponemos un análisis de las fuerzas que intervienen en este sistema (Fig. 7), el siguiente desarrollo establece el trabajo de Stevin frente a este problema, este desarrollo se expresa en un lenguaje matemático actual, bajo una descomposición vectorial.

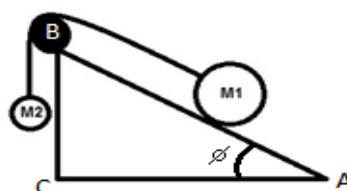


Figura 7: Sistema plano inclinado con polea.

Fuente: Propia.

Para el segmento \overline{AB} la fuerza F_1 que actúa sobre m_1 , se determina como el producto de su peso por el seno del ángulo de inclinación del plano con la horizontal (ϕ).

$$F_1 = (m_1) * \sin(\phi) \quad (2)$$

Ahora analizaremos la fuerza F_2 que ejerce el peso de m_2 , la cual se determina por el producto de su peso con el seno del ángulo, sabemos que $\phi = 90^\circ$ y $\sin 90^\circ = 1$, entonces tendríamos $F_2 = (m_2g)$.

Para lograr que el sistema se encuentre en equilibrio debemos asegurar que $F_1 = F_2$ como lo mostraremos a continuación realizando el análisis vectorial de las fuerzas que actúan en el sistema:

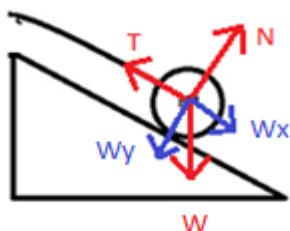


Figura 8: Fuerzas sobre la masa 1.

Fuente: Propia.

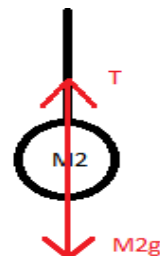


Figura 9: Fuerzas sobre la masa 2.

Fuente: Propia.

Para m_1 de peso $W_1 = m_1g$, de acuerdo con el marco de referencia indicado se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\sum F_x = 0 \quad (3)$$

$$W_x - T = 0 \quad (4)$$

$$m_1g\sin(\phi) - T = 0 \quad (5)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (6)$$

$$N - W_y = 0 \quad (7)$$

$$N - m_1 g \cos(\phi) = 0 \quad (8)$$

N , corresponde a la fuerza normal ejercida por el plano inclinado sobre la masa m_1 y T , corresponde a la tensión de la cuerda.

Para m_2 de peso $W_2 = m_2 g$, se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\sum F_y = 0 \quad (9)$$

$$W_2 - T = 0 \quad (10)$$

$$m_2 g - T = 0 \quad (11)$$

Debido a la configuración del sistema, la tensión de la cuerda es la misma para las dos masas, por lo que podemos despejar T de la ecuación 3 y reemplazar en la ecuación 9:

$$T = m_1 g \sin(\phi) \quad (12)$$

Ahora reemplazamos la ecuación 10 en la ecuación 9:

$$m_2 g - m_1 g \sin(\phi) = 0 \quad (13)$$

$$m_2 g = m_1 g \sin(\phi) \quad (14)$$

De esta manera encontramos una relación entre el planteamiento de Stevin y el análisis vectorial de las fuerzas que actúan en el sistema, muestra que se puede compensar el peso de dos masas diferentes con el ángulo de inclinación de un plano. En el estado de equilibrio de este sistema Stevin tuvo que proponer ciertas condiciones lograr el equilibrio. Estas condiciones fueron dadas por las relaciones y las compensaciones entre los ángulos y las acciones del peso de las masas.

Estas consideraciones nos ayudan a pensar que, no necesariamente se tienen que presentar unas condiciones en las cuales dos magnitudes iguales se tengan que relacionar directamente para lograr el equilibrio en un sistema. En otras palabras, es posible establecer proporciones entre magnitudes de diferente clase, en este primer caso, el equilibrio es posible: por el aumento o disminución del peso a causa de la variación del ángulo en los planos en que el peso se sostiene.

1.2 El equilibrio mecánico y su relación con la palanca según Galileo: un análisis a la equivalencia de magnitudes.

Ahora analizaremos el planteamiento de Galileo sobre el equilibrio mecánico, a través del análisis que hace de la palanca, (Fig.10).

Bajo el pensamiento aristotélico se consideraba que una masa mayor al interactuar con una menor podría proporcionarle más movimiento, se propone: “El sentido común orienta a la necesidad de tener una fuerza mayor que un determinado cuerpo cuando el objetivo es trasladarlo o tan solo levantarlo” (Bravo, 2014), esto quiere decir que un cuerpo más masivo es la causa del movimiento de un cuerpo menos masivo.

Al estudiar el comportamiento que tienen dos cuerpos distintos en una palanca (Fig. 10a) se observó que un cuerpo menor puede ser la causa del movimiento de un cuerpo mayor, como se observa en la (Fig. 10b), ya que al alterar el equilibrio del sistema la masa menor describe una circunferencia mayor en el mismo tiempo en el que la masa mayor describe una circunferencia menor, aspecto que se vuelve objeto de estudio para Galileo en sus trabajos respecto al equilibrio mecánico.

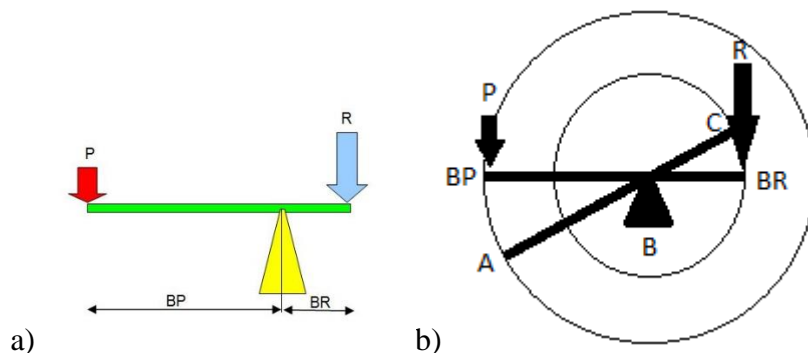


Figura 10: Palanca.

Fuentes: a) <http://www.iesdmjac.educa.aragon.es/>

b) *La Concepción Galileana del Equilibrio Mecánico: Diálogos con la Filosofía Natural Medieval*, Pag. 381.

Galileo hace uso de la geometría circular que plantearon los aristotélicos (Ver Fig. 10b) para dar una explicación más profunda a la cinemática del sistema, al analizar la palanca, centró su atención en los arcos descritos por las masas al salir del estado de equilibrio, observando que el arco que describe la masa menor: $BP-A$ es mayor al arco que describe la masa mayor: $BR-C$, Galileo afirma que el movimiento no depende directamente de la masa, sino que depende de la disposición que poseen entre sí los diferentes cuerpos graves, por tanto Bravo desglosa el pensamiento de Galileo:

“Galileo muestra los aspectos importantes en los cuales la materialidad o la tendencia definida de los cuerpos graves es la causa no solo del movimiento

particular descendente de todos los cuerpos graves, además, junto con la configuración espacial o disposición en la cual se encuentre el cuerpo en el sistema respecto a un punto de apoyo o centro del sistema, es posible comprender bajo su perspectiva el comportamiento de la palanca” (Bravo, 2014, pág. 383)

A partir del pensamiento de Galileo acerca de la disposición o configuración espacial de los cuerpos un sistema, es posible hablar de equivalencias entre dichas configuraciones, es decir que con una configuración se puede obtener el mismo efecto de otra configuración. En el caso de la palanca hay dos configuraciones espaciales a cada lado y ambas producen el mismo efecto por lo que todo el sistema se encuentra en equilibrio, es posible realizar el siguiente análisis:

En la (*Fig. 10b*) se muestran las situaciones propuestas anteriormente, tomando el punto *B* como centro de rotación, analizaremos la situación donde el sistema se encuentra en equilibrio; las masas *P* y *R* ($P < R$) se encuentran a una distancia *BP* y *BR* respectivamente, del centro de rotación *B* ($BP > BR$). Para garantizar el estado de equilibrio del sistema, sabemos que la relación entre masas y distancias debe ser inversamente proporcional, ya que decimos que al cuerpo de masa mayor le corresponde una distancia menor y al cuerpo de masa menor le corresponde una distancia mayor:

$$\frac{P}{B} = \frac{BR}{BP} \quad (15)$$

Con base en la *ecuación 12* sabemos que esta igualdad se cumple solamente cuando el sistema se encuentra en equilibrio, por lo que es posible establecer una relación directa entre el peso de dos cuerpos y la distancia respecto al centro *B*:

$$R * BR = P * BP \quad (16)$$

De esta manera podemos hablar del mismo efecto que tienen dos configuraciones distintas de dos cuerpos dentro de un sistema, no solo para el caso de la palanca como lo señala Galileo, sino que también es aplicable a otros sistemas con distintas configuraciones, por ejemplo, en el plano inclinado que trabajó Stevin también es posible dicha afirmación, ya que se pueden equilibrar distintos pesos en relación con el ángulo de inclinación de los planos sobre los cuales reposan y aun así se puede mantener el equilibrio mecánico.

Nótese como la equivalencia no sólo se refiere a cuánto es proporcional una magnitud con respecto a otra en el establecimiento del equilibrio: sean acción del peso – ángulo; acción del peso distancia; como se muestra en los casos estudiados. La equivalencia indica aquí una relación de igualación de efectos físicos.

1.3 Aspectos para tener en cuenta

Los autores mencionados en este capítulo abordan el equilibrio como una herramienta para refutar teorías que predominaban en su época, la primera es la de Stevin refutando la posibilidad del movimiento perpetuo, y afirmando la postura de Ernst Mach “*es imposible crear trabajo a partir de la nada*”, y la segunda, es Galileo con su planteamiento a cerca de la configuración espacial en un sistema.

En ambos trabajos es posible abordar el concepto de conservación ya que en los dos se cumple la afirmación de Mach, no se puede crear trabajo de la nada, una acción se realiza a expensas de otra, para mantener el equilibrio mecánico el incremento en una de las magnitudes que intervienen [acción del peso - distancia] se ve reflejado en la disminución de la otra magnitud, estas afirmaciones nos dan base para presentar lo siguiente:

Teniendo en cuenta que se suele hablar de equilibrio mecánico cuando uno o más cuerpos están en reposo, idea que es válida, para nuestro análisis es también inconclusa; ya que nosotros abordamos el equilibrio como el efecto de la compensación entre magnitudes en un sistema, pues vemos que la condición de equilibrio no se debe a la cantidad de cuerpos que estén presentes en un sistema, sino a la configuración de este sistema.

Con lo cual podemos afirmar que en estos sistemas hay causas que producen efectos, la causa está dada por la configuración del sistema y el efecto que resulta es el equilibrio, por lo que para mantener un efecto que perdure en el tiempo debemos garantizar que las causas se conserven, es decir que a varias causas les corresponde un efecto de la misma proporción.

Para nosotros la premisa anterior es muy importante ya que es la base para empezar a abordar el concepto de conservación que desarrollaremos de manera más profunda en el segundo y tercer capítulo.

Capítulo 2

2 Relaciones de magnitudes que se conservan en los fenómenos mecánicos

A partir del concepto de equilibrio que presentamos en el primer capítulo y con el propósito de ampliar la idea de equivalencia, que es la noción fundamental para organizar del concepto de conservación como se mencionó anteriormente, este capítulo está enfocado en mostrar que también es posible hablar de equivalencia cuando nos referimos a cuerpos en movimiento.

Para esto presentamos un análisis de las relaciones de magnitudes (masas, alturas y velocidades) para cuerpos en estado de movimiento, un análisis alrededor de la cantidad de movimiento, y un análisis en torno al principio de las velocidades virtuales.

Con el fin de puntualizar el concepto de equilibrio en los cuerpos en movimiento y mejorar la idea de conservación, desarrollamos los trabajos de Galileo en torno a la relación que tienen magnitudes como el tiempo, distancia y velocidad; también estudiamos la idea de equivalencia a partir de las discusiones en torno a la cantidad de movimiento que desarrollaron Christiaan Huygens (1629-1695) y Gottfried Leibniz(1646-1716) y por último analizamos el principio de las velocidades virtuales propuesto por Joseph- Louis LaGrange (1736-1813).

2.1 Relación de magnitudes para cuerpos en movimiento

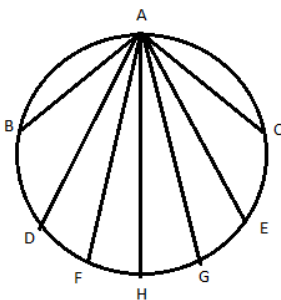


Figura 11: Isocronía 1.

Fuente: *Consideraciones y Demostraciones Matemáticas Sobre dos Nuevas Ciencias*

En la época de Galileo se tenía pensado que objetos que recorren espacios iguales tardarán en su recorrido tiempos iguales y dicho tiempo es proporcional a la distancia que recorre, a mayor distancia habrá un mayor tiempo de recorrido.

Para refutar este planteamiento Galileo desarrolla la idea de la isocronía, que significa dividir el tiempo en partes iguales. Propone un experimento en el cual cuerpos que recorren distintas distancias y adquieren distintas velocidades pueden llegar en el mismo tiempo al final de su recorrido (Ver *Fig. 11*). Este experimento consiste en dejar rodar una esfera por cada uno de los planos que poseen un origen en el punto A y cada plano tiene un ángulo y una distancia distintos. Aquí Galileo

halla una relación entre magnitudes diferentes: Distancias, velocidades y tiempos (Galilei, 1638).

En este experimento (Ver Fig. 11) Galileo encuentra que al dejar rodar una esfera desde el punto A por cada uno de los planos, llegarán al final del segmento al mismo tiempo, independiente de su trayecto e inclinación, sea B, C, D, E, F, G o H.

En la (Fig. 12) se muestra que la longitud de los segmentos \overline{AB} y \overline{AD} es distinta debido a la variación del ángulo respecto a la vertical, es decir que el ángulo del segmento \overline{AB} es mayor al ángulo del segmento \overline{AD} , por lo tanto, la longitud del segmento \overline{AB} es menor a la longitud del segmento \overline{AD} .

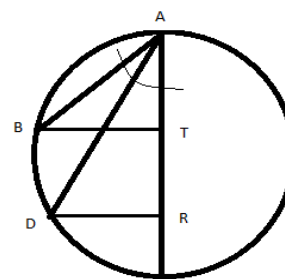


Figura 12: Isocronía 2.

Fuente: Consideraciones y Demostraciones Matemáticas sobre dos Nuevas Ciencias

Galileo establece la relación entre las velocidades, las distancias y los ángulos de inclinación en los planos: cuando el ángulo del plano es más grande respecto a la vertical, la distancia que recorre el cuerpo cada vez se va haciendo menor, y asimismo, la velocidad también será menor.

Galileo encuentra que la llegada de cada esfera al extremo de los segmentos se da en el mismo tiempo, pero con diferentes configuraciones el sistema, es decir: a diferentes distancias los cuerpos adquieren diferentes velocidades, pero tardan el mismo tiempo en recorrer estas distancias, a esto lo nombró isocronía.

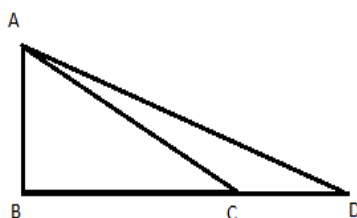


Figura 13: Plano inclinado

Fuente: Consideraciones y Demostraciones Matemáticas sobre dos Nuevas Ciencias.

Con el fin de ampliar la idea de la isocronía, Galileo propone una nueva configuración, ahora trabaja con planos inclinados (Ver Fig. 13), estos planos tienen la misma altura: segmento \overline{AB} . Galileo, menciona que se pueden encontrar otro tipo de relaciones en esta configuración, estas relaciones ahora se encuentran entre alturas y velocidades, siendo relaciones distintas a las anteriores entre ángulos y tiempos de caída.

Se da cuenta que, al dejar rodar la esfera por los planos inclinados, sin importar los ángulos en cuales se esté variando la inclinación, la esfera llegará con la misma velocidad justo antes de tocar el suelo, siempre que los planos tengan la misma altura AB .

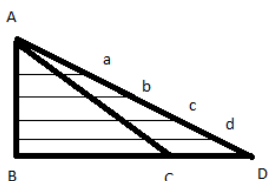


Figura 14: Plano inclinado 2.

Fuente: Consideraciones y Demostraciones Matemáticas sobre dos Nuevas Ciencias

Para poder entender el experimento anterior, Galileo analizó una esfera que cae desde el punto A que recorre las trayectorias propuestas como AB , AC y AD , donde encuentra que al llegar a la línea horizontal trazada como BD las velocidades serán iguales en cada punto (B , C y D) (Ver Fig. 14). Encuentra también que la velocidad de la esfera será la misma cuando esté a las mismas alturas (a , b , c y d), es decir que la esfera tendrá la misma velocidad a una altura a en los tres trayectos AB , AC y AD . Ahora las cantidades que

varían son: la distancia que recorre la esfera en los tres trayectos y el tiempo que tarda en hacerlo, y la relación entre la altura y la velocidad permanece sin cambio.

Este experimento de los planos inclinados ayuda a comprender mejor el experimento de la isocronía, ya que las relaciones entre magnitudes que presenta Galileo en los planos inclinados también se cumplen en la isocronía, por lo que empieza a ser importante la relación entre la altura y la velocidad.

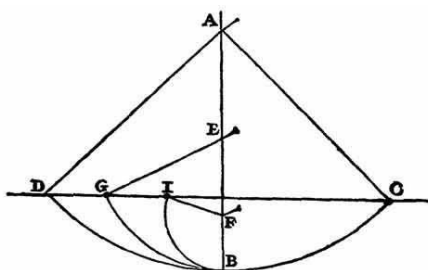


Figura 15: Péndulo de Galileo.

Fuente: *Consideraciones y Demostraciones Matemáticas sobre dos Nuevas Ciencias*

Para justificar el planteamiento sobre la relación entre la altura y la velocidad, Galileo realiza el siguiente experimento en relación con el péndulo (Ver *Fig. 15*). Propone colgar una bala de plomo de una o dos onzas a lo largo de los puntos AB y trazar una línea horizontal que en este caso es DC . Se deja caer la bala desde el punto C , esta adquiere un impulso⁶ durante los puntos CB que ayudará a la bala de plomo a recorrer el segmento \overline{BD} sin llegar completamente a D , ya que, en las condiciones reales, el experimento se encuentra expuesto a la resistencia del aire, pero en condiciones ideales esta bala de plomo llegara al punto D como lo planteó por Galileo.

Ahora propone colocar dos clavos, uno en el punto E y otro en el punto F , cuando se deja caer la bala de plomo desde el punto C , la trayectoria que la bala describe es diferente con respecto a la trayectoria anterior, pues inicialmente va desde C hasta B , pero la otra parte cambiará debido al punto en el que el clavo se encuentre: E o F . Sí el clavo está en el punto E la trayectoria que tendrá la bala será BG y llegará a la misma línea horizontal DC , o sea a la misma altura suponiendo que no hay ningún tipo de rozamiento, si escogemos el clavo F la trayectoria de la bala será BI y llegará a la línea horizontal DC , igual que ocurrió en la configuración anterior.

Lo que concluye Galileo es que sí la bala se deja caer siempre desde el mismo punto, no importan los obstáculos (clavos) que se interpongan en la trayectoria, esta finalizará a la misma altura desde la cual se dejó caer.

Galileo menciona que cuando los cuerpos caen desde la misma altura alcanzarán velocidades iguales a lo largo de su recorrido, a alturas iguales habrá velocidades iguales sin importar los obstáculos anteriormente mencionados.

Podemos evidenciar que Galileo, más allá de encontrar relaciones entre alturas y velocidades, da cuenta de una equivalencia entre sistemas con diferentes configuraciones de movimiento.

⁶ Galileo llama “momentum” al impulso y lo describe con la ecuación ($\mathbf{m} * \mathbf{v}$). Ver más en: *Consideraciones y Demostraciones Matemáticas sobre dos Nuevas Ciencias*.

Nuevamente observamos que se establece equivalencia en los efectos que se producen, y que estos efectos son proporcionales a las causas que los desarrollan. Es la razón que hace que los sistemas sean equivalentes y establece que es posible caracterizar un sistema con ciertas condiciones y dicho sistema puede ser proporcional a otro sistema que no necesariamente posee las mismas condiciones, pero se pueden establecer las mismas relaciones entre magnitudes, para poder obtener efectos similares en ambos sistemas.

2.2 Discusiones en torno a la cuantificación de la cantidad de movimiento (\vec{p})

En su trabajo alrededor del péndulo, Galileo propone que es posible medir el impulso o “momentum” de un cuerpo a partir de la expresión mv , que corresponde a la multiplicación de la masa de un cuerpo por la velocidad que este adquiere a media que se mueve por una trayectoria cualquiera, dicha magnitud fue usada para medir la cantidad de movimiento de los cuerpos.

En el siglo XVII uno de los grandes problemas de la física fue determinar si realmente el valor de mv se podría establecer como una ley general del movimiento, “*Si queremos reducir la multiplicidad de los casos de un mismo fenómeno a una ley general, debemos encontrar alguna magnitud que permanezca invariable en el tiempo*” (Vélez Uribe, 2002, pág. 185), científicos como Huygens y Leibniz realizaron trabajos con el fin de dar una explicación al problema del movimiento, trabajos que resaltaremos y analizaremos en esta sección.

Huygens en su texto “*Motu corporum ex percussione*”, publicado en la revista científica *Journal de Savants* de 1669 plantea que: “*En un sistema, el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad a la que se mueven los cuerpos que interactúan, permanece constante antes y después del choque en una colisión perfectamente elástica*” (Agudelo Restrepo, 2015, pág. 33) propone, a diferencia de Galileo que la magnitud que permanece invariable es mv^2 . En las *Règles du mouvement dans la recontre des corps*, publicadas en marzo de 1699, Huygens establece una serie de proposiciones referentes a la conservación de

“Entre las proposiciones establecidas, sin la correspondiente demostración, se encontraban algunas proposiciones notables, como las que se referían a la conservación de la velocidad relativa, a la conservación de la velocidad del centro común de gravedad y a la conservación de la suma de los productos de las masas por los cuadrados de las respectivas velocidades, antes y después del choque” (Vélez Uribe, 2002, pág. 186)

Así la conservación de una magnitud que relaciona masas y velocidades para el caso de los choques de carácter elástico, se desarrolla de la siguiente manera:

Como se ve en la *Fig. 16*, dos cuerpos, uno de masa m_1 y otro de masa m_2 , y de velocidades v_{1i} y v_{2i} respectivamente, antes del choque, se determina que un instante de tiempo después

de que los cuerpos impactaron, las masas m_1 y m_2 , se encuentran en relación directa a la relación de sus velocidades; es decir que la masa m_1 es a la masa m_2 como v_{1f} es a v_{2f} :

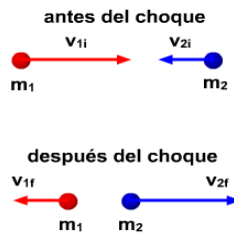


Figura 16: Choque elástico

Fuente: <https://sites.google.com/site/fisicaiemmm/momento-lineal-y-colisiones>

Y tendría para la (Fig. 16), la siguiente expresión matemática:

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2 \quad (17)$$

En la ecuación 17, se debe tener la consideración que las velocidades que intervienen en este análisis son antes y después de la colisión, no durante el choque.

A lo largo del siglo XVII Leibniz retoma los trabajos de Huygens en busca de esa magnitud que se conservara en los fenómenos mecánicos, inicialmente piensa en el efecto que produce la caída de los cuerpos, para esto recurre a las ideas de Galileo sobre caída de los cuerpos y la relación entre las alturas y velocidades de un objeto en caída. Leibniz comienza a pensar sobre el efecto que producen los cuerpos al caer, qué tanto impacta el suelo. Esto es importante para él porque reconoce que dos cuerpos que caen al mismo tiempo no producen el mismo efecto, y eso lo quiere demostrar, como también quiere resaltar que la altura a la cual se deja caer un objeto influye en el efecto final producido.

Leibniz propone como ejemplo el efecto que producirían dos situaciones: Un ladrillo que es soltado desde una altura de 4 unidades producirá el mismo efecto que 4 ladrillos soltados desde una altura de 1 unidad, pero lo que encuentra Leibniz es que según la ecuación planteada por Galileo sobre la cantidad de movimiento no era posible encontrar una igualdad en estas dos situaciones, pues Galileo no consideró la altura como una variable que influye en la cantidad de movimiento, entonces la relación mv no estaba completa (Ver Anexo I).

Para solucionar este problema Leibniz plantea una relación entre la velocidad que tiene el cuerpo justo antes de chocar contra el suelo y la altura a la cual se dejan caer los cuerpos, tomando que: $(vf^2 - vi^2) = 2gh$ entonces $(vf^2) = 2gh$ (teniendo en cuenta que el cuerpo se deja caer y por ende su velocidad inicial es cero). Hay una relación entre la velocidad y la altura desde la cual caen los cuerpos, como lo describió Galileo, pero Leibniz encontró que la relación correcta es entre velocidades al cuadrado y alturas de caída.

Retomando el ejemplo de los ladrillos Leibniz dice para medir el efecto de la caída de ambos ladrillos se debe tener en cuenta la relación planteada anteriormente y propone que la

cantidad que mide el efecto de los cuerpos es mv^2 , de esta manera es posible dar cuenta que el efecto en la caída de las situaciones de los ladrillos sea igual. A la ecuación de mv^2 la nombró *vis viva* y le atribuyó la cualidad de poder medir el efecto del movimiento de los cuerpos, y para describir eso propone:

$$m_A v_A^2 = m_B v_B^2 \quad (18)$$

A lo que llamaremos conservación de la cantidad de movimiento.

Ahora, Leibniz propone hacer una relación entre el peso de los cuerpos y la altura de la que de dejan caer. Leibniz hace referencia a aquellas fuerzas que son incapaces de hacer movimiento, por ejemplo: si cuando un cuerpo sobre una mesa, la mesa no estuviera, el cuerpo estaría dirigido hacia abajo con cierta velocidad, pero la mesa está, el cuerpo entonces se encuentra en estado de reposo porque la mesa le impide el movimiento. A esto lo nombra *vis mortua* y Leibniz plantea la relación entre los pesos y las alturas, descrita como $(P * h)$ y su conservación:

$$P_A h_A = P_B h_b \quad (19)$$

Leibniz propone que el objeto está produciendo fuerza cada instante de tiempo y esta misma fuerza se está destruyendo al instante, no se prolonga, este nacimiento y destrucción de fuerza hace que él la llame *vis mortua* o una fuerza muerta, lo contrario a generar movimiento que se le dio el nombre de *vis viva*.

Posteriormente, en el siglo XVII, Lagrange recoge todas estas ideas sobre la *vis viva* y la *vis mortua*, con el fin de unificarlas en una sola forma de entender los fenómenos de la mecánica. Retomando los trabajos acerca de las relaciones de magnitudes que abordamos anteriormente para plantear su principio de las velocidades virtuales, en el cual se ven estas relaciones entre pesos, alturas y velocidades.

2.3 *Principio de las Velocidades Virtuales*

Lagrange logra establecer el concepto de equilibrio, que habitualmente se piensa como el estado de reposo y que él considera también en el movimiento, como el eje de un principio general de la Mecánica, para ello utiliza el principio de las velocidades virtuales. En esta sección, tomaremos como base la idea de equilibrio y equivalencia de magnitudes para desarrollar el principio propuesto por Lagrange en el texto: *Sobre los diferentes principios de la estática J. L. Lagrange*.

En los trabajos que Lagrange realiza acerca de la estática, habla del principio de la composición de fuerzas, a través de este desarrolla el principio de las velocidades virtuales, porque muestra la importancia de la composición de las fuerzas en los sistemas en equilibrio.

Primero, explica en qué consiste el principio de la composición de las fuerzas, y lo expresa así:

“Sí dos fuerzas se ejercen a la vez sobre un cuerpo siguiendo diferentes direcciones, estas fuerzas equivalen entonces a una fuerza única, capaz de imprimir al cuerpo el mismo movimiento que le darían las dos fuerzas actuando separadamente” (Ayala, Malagón, Garzón, Castillo, Garzón, 2001)

Con esta afirmación se hace referencia a lo que actualmente se conoce como el método del paralelogramo en la suma de vectores:

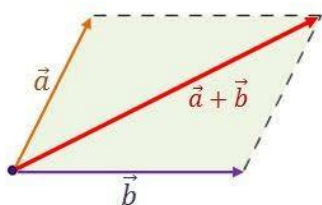


Figura 17: Método del paralelogramo.

Fuente:

<https://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/metodo-paralelogramo/>

A partir de este método para sumar pares de fuerzas en un sistema, Lagrange muestra que este principio es suficiente para establecer el equilibrio en un sistema, ya que al sumar pares de fuerzas que actúan en un sistema, es decir, hacer la composición de fuerzas, se llegará a una composición nula, teniendo en cuenta que se está hablando de un sistema en equilibrio.

A continuación, realizaremos una descripción más clara de este principio: composición de fuerzas, y al igual que Lagrange, nos basaremos en una de las máquinas simples: la polea.

Tenemos una polea simple (Fig. 18) que se encuentra en equilibrio y que está compuesta por dos masas iguales. Inicialmente podemos inferir que la acción del peso de las dos masas es hacia abajo. Sabemos que las dos masas están unidas por una cuerda y en cualquiera de los dos lados de la polea la tensión de la cuerda será la misma.

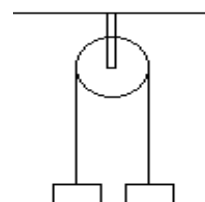


Figura 18: Polea simple.

Fuente:

Introducción a la problemática de la estática: El principio de las velocidades virtuales

Al hacer un análisis de las fuerzas que están presentes en este sistema deducimos, que gracias a la acción de la tensión de la cuerda el sistema estará en equilibrio, pues en ambos lados de la polea la fuerza de la tensión será opuesta a la acción del peso; también sabemos, que la magnitud de la tensión de la cuerda en cada lado de la polea es la misma que la acción del peso de las masas, por lo que la composición de las fuerzas será nula.

Para el caso de una polea compuesta (Fig. 19) que se encuentra en equilibrio, tenemos dos poleas de masas despreciables al igual que las cuerdas, hay tres masas: una de peso P y las otras dos de peso $P/2$. La composición de fuerzas nos indica que hay que sumar pares de fuerzas, por lo tanto, sabemos que las masas de peso $P/2$ están en equilibrio entre ellas, como mostramos en la situación anterior. Ahora Lagrange muestra que el principio de composición de fuerzas permite afirmar que la acción del peso

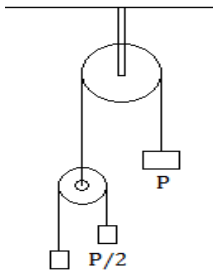


Figura 19: Polea compuesta.

Fuente: *Introducción a la problemática de la estática: El principio de las velocidades*

de las masas $P/2$ se puede definir como una sola fuerza, la cual es la suma de las dos acciones del peso y dicha fuerza está en el centro de la polea pequeña y va hacia abajo, por lo que ahora se puede afirmar que todo el sistema estará en equilibrio.

Lagrange hace un análisis más riguroso en torno a la composición de fuerzas en un sistema de poleas un más complejo, a dicho sistema se le conoce como un polipasto, que es la unión de varias poleas fijas con poleas móviles (Ver Fig. 20).

En este sistema hay una masa de peso P sobre la polea 4, y una masa de peso $P/8$ en la polea 1, dicho sistema se encuentra en equilibrio gracias a la disposición las cuerdas que pasan por las poleas móviles, cómo se observa en la Fig. 20 la polea 4 es una polea móvil que sostiene el peso P , dicha polea tiene una cuerda que está unida por un lado a las superficie fija y por el otro a la polea móvil 3, al hacer un análisis de la cuerda que pasa por la polea 4, podemos inferir que cada extremo ejerce una fuerza igual a la mitad del peso P , es decir $P/2$, por lo que el peso que sostiene la polea 3 es $P/2$, ahora hacemos este mismo análisis a la cuerda que pasa por la polea 3 y podemos decir que la polea 2 sostiene un peso equivalente a $P/4$. La cuerda que pasa por la polea 1 y 2 está sujeta a la superficie en uno de sus extremos, ese tramo de la cuerda soporta la mitad del peso que soporta la polea 2, por lo que la otra parte de la cuerda tendrá que soportar la otra mitad, es decir $P/8$, así podemos concluir que el peso necesario para tener este sistema en equilibrio es $P/8$.

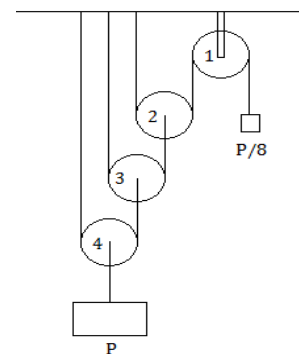


Figura 20: polipasto.

Fuente: *Introducción a la problemática de la estática: El principio de las velocidades virtuales*

Gracias al principio de composición de las fuerzas es que se puede determinar el equilibrio de este sistema, pero ahora Lagrange analiza lo que ocurre al desplazar la masa de peso $P/8$. Sabemos que para una polea simple (Fig. 18), el desplazamiento de una de las masas será el mismo para la otra masa, pero en el sentido contrario del movimiento, es decir, que si una se desplaza una distancia h hacia abajo la otra se desplaza una distancia h hacia arriba.

En el polipasto no ocurre esto, al desplazar el peso $P/8$ una distancia h hacia abajo, el peso P se desplaza una distancia $h/8$. Esta explicación es similar a la composición de fuerzas y al igual que ésta, está relacionada con la disposición de las cuerdas del sistema, las poleas móviles siempre recorren la mitad del desplazamiento que se le realice a un extremo de la

cuerda, por lo que si el peso $P/8$ se desplaza a una distancia h hacia abajo la polea 2 recorre la mitad, es decir $h/2$, y se mueve hacia arriba, por lo tanto la polea 3 se moverá la mitad de lo que se mueve la polea 2, es decir $h/4$, dicha polea también se mueve hacia arriba, ahora ya sabemos que la polea 4 y el peso P se mueven una distancia equivalente a $h/8$ y también se mueve hacia arriba.

Al hacer este análisis, Lagrange determina que sobre las poleas existen fuerzas que actúan sobre un punto de ellas, y cada una recorrerá una distancia diferente al mover un solo cuerpo en el sistema. Sabemos que cuando un cuerpo se mueve adquiere una velocidad, por lo que Lagrange determina que dichos cuerpos del sistema (*Fig. 20*) adquieren velocidades al desplazar un solo cuerpo, es así como él logra establecer el principio de las velocidades virtuales afirmando que:

*“Se debe entender por **velocidades virtuales**, aquellas que un cuerpo está dispuesto a recibir, en el caso que el equilibrio sea roto, es decir la velocidad que este cuerpo recibe en el primer instante de su movimiento; y el principio que está en juego consiste en que hay equilibrio si las fuerzas están en razón inversa a sus velocidades virtuales, estimadas siguiendo las direcciones de estas fuerzas”* (Ayala, Malagón, Garzón, Castillo, & Garzón, 2001)

En la cita anterior se plantea que para que el sistema permanezca en equilibrio las fuerzas deben ser inversamente proporcionales a sus velocidades virtuales, por lo que es posible establecer lo siguiente:

Para el sistema del polipasto (*Fig. 20*) podemos afirmar que el peso P recorrerá una distancia $h/8$ de la distancia h que recorrerá $P/8$ debido a que los cuerpos que componen el sistema (*Fig. 20*) recorren diferentes distancias bajo el mismo efecto, sabemos que cuando un cuerpo del sistema se desplaza, los demás cuerpos también lo harán, pero todos los cuerpos del sistema tardan el mismo tiempo en realizar dichos desplazamientos. Conocemos que la velocidad de un cuerpo se puede determinar a partir de la distancia que recorre en relación con el tiempo que tarda en recorrer dicha distancia, teniendo en cuenta esta afirmación y aplicándola al ejemplo del polipasto, es posible afirmar que la velocidad del cuerpo $P/8$ es mayor a la del cuerpo P , debido a que $P/8$ recorre una distancia h en el mismo tiempo que P recorre una distancia h , por lo tanto se puede concluir que: $v = \frac{h}{t}$.

Para un tiempo t igual para P y $P/8$, se tiene:

Para P :

$$v_1 = \frac{h}{8t} \tag{20}$$

Para $P/8$:

$$v_2 = \frac{h}{t} \quad (21)$$

Recordemos que este análisis se está desarrollando para cuerpos que están en el mismo sistema, unidos por medio de la configuración de la (Fig. 20), de las ecuaciones anteriores podemos inferir la siguiente relación: La velocidad de $P/8$ será ocho veces la velocidad de P , como el tiempo de desplazamiento es el mismo, decimos que:

$$\frac{h}{8v_1} = \frac{h}{v_2} \quad (22)$$

Simplificando h

$$8v_1 = v_2 \quad (23)$$

Podemos concluir que a $P/8$ le corresponde una velocidad v y a P le corresponde una velocidad $v/8$, se establece una relación inversa entre fuerzas y velocidades en un mismo sistema, en otras palabras, a mayor fuerza menor velocidad y a menor fuerza mayor velocidad.

A partir de estos análisis, es posible hablar de la idea de velocidades virtuales como un principio más general:

Según Lagrange si a un sistema de tantos cuerpos como se quiera, el cual se encuentra en equilibrio, se le aplica un pequeño movimiento, cada cuerpo recorrerá un espacio infinitamente pequeño lo cual determina su velocidad virtual. Él expresa el equilibrio a partir de la suma de las fuerzas aplicada en la dirección que recorre el cuerpo, y para garantizar el equilibrio en el sistema dicha sumatoria deberá ser igual a cero. Este planteamiento se puede expresar de la siguiente forma:

$$\sum F_i dx_i = 0 \quad (24)$$

Donde F_i representa las fuerzas que actúan sobre el sistema y dx_i representa los desplazamientos de los cuerpos en el sentido de las fuerzas aplicadas.

En el caso del sistema del polipasto (Fig. 20) sabemos que, si el peso $P/8$ se desplaza una distancia h , P se desplaza una distancia $h/8$ en el sentido contrario al de $P/8$. Aplicaremos la ecuación 24 para este sistema:

$$F_1 dx_1 + F_2 dx_2 = 0 \quad (25)$$

las fuerzas representan los pesos P y $P/8$, y los desplazamientos dx_i representan los desplazamientos h y $h/8$, hay que tener en cuenta que uno de los dos cuerpos se mueve hacia arriba y el otro se mueve hacia arriba, por lo que $h/8$ debe ser negativo.

$$(P) \left(-\frac{h}{8} \right) + \left(\frac{P}{8} \right) (h) = 0 \quad (26)$$

$$\frac{P * h}{8} - \frac{P * h}{8} = 0 \quad (27)$$

A la *Ecuación 24* se le conoce como la sumatoria de los *trabajos* en un sistema, que como lo decía Lagrange, siempre iba a ser cero.

Posteriormente a mediados del siglo XVIII varios científicos: Daniel Bernoulli (1700-1782), Samuel Koenig (1872-1955) y Rudolf Clausius (1822-1888) plantearon una relación entre el trabajo mecánico descrito por Lagrange y la vis viva propuesta por Leibniz.

2.4 *Relación entre el trabajo y la vis viva*

Leibniz a raíz de sus trabajos alrededor del momento lineal y de la caracterización de la magnitud que mide el efecto de la caída de los cuerpos, hace un análisis de la relación existente entre la altura, la masa y la velocidad, determina una magnitud que permanece constante y que denominó como la “vis viva” estableciendo una cuantificación para dicha magnitud: ***Vis viva = mv²***

En esta ecuación, como lo expusimos anteriormente respecto a la relación entre altura, masa y velocidad, se establece que la “vis viva” es proporcional a la masa de los cuerpos multiplicado por el cuadrado de su velocidad.

Esta magnitud “*Vis Viva*” fue la solución más aceptada a la búsqueda de esa magnitud que unificara varios fenómenos de la mecánica durante el siglo XVIII. La comunidad científica determinó que esta magnitud era la que se conservaba en los diferentes fenómenos mecánicos. A raíz de esta nueva magnitud surgen nuevas controversias en torno a su validez para la unificación de todos los fenómenos mecánicos. Autores como Bernoulli, Koenig y Clausius realizaron trabajos en torno a la conservación de la “*Vis Viva*” haciendo uso de esta magnitud para sus desarrollos matemáticos, encontraron que la relación que se conservaba era la mitad de la “*Vis viva*”, en términos actuales dicho desarrollo matemático se puede expresar de la siguiente manera:

Bernoulli, Koenig y Clausius parten de la idea del trabajo mecánico en relación con las ecuaciones de cinemática, con el fin de unificar los fenómenos mecánicos en un solo estudio:

$$Vf^2 - Vo^2 = 2a\Delta x \quad (28)$$

En esta ecuación de la cinemática, es evidente la relación existente entre la diferencia de cuadrados de la velocidad final del cuerpo y su velocidad inicial, con la aceleración y el desplazamiento.

$$W = F\Delta x \quad (29)$$

En esta ecuación se puede decir que el trabajo es proporcional a una fuerza realizada que actúa a lo largo de un desplazamiento lo cual menciona Lagrange en el principio de las velocidades virtuales.

$$W = ma\Delta x \quad (30)$$

Hallando directamente una equivalencia entre el trabajo, las aceleraciones, la masa y el desplazamiento de los cuerpos, lo cual es un punto de partida para poder analizar la relación entre la “*vis viva*” propuesta por Leibniz y el trabajo, entonces:

$$a = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2\Delta x} \quad (31)$$

$$W = m \left(\frac{v_f^2 - v_o^2}{2\Delta x} \right) \Delta x \quad (32)$$

$$W = m \left(\frac{v_f^2 - v_o^2}{2} \right) \quad (33)$$

$$W = \frac{m}{2} v_f^2 - \frac{m}{2} v_o^2 \quad (34)$$

Bernoulli propone la ley de la conservación de la vis viva diciendo que:

“The total vis viva depends only on the final and initial separations and not on the path” (Lindsay, 1975, pág. 148), “El total de vis viva depende solo de las separaciones finales e iniciales y no del camino”⁷

Haciendo una relación directa entre una característica del trabajo y su ley de conservación de la vis viva y finalmente, Clausius propone que:

“The Work done during any time by the forces acting upon a system is equal to the increase of the Vis Viva of the system during the same time” (Clausius, 1879, pág. 18), “El trabajo realizado en cualquier momento por las fuerzas que actúan sobre un sistema es igual al aumento de la Vis Viva del sistema durante el mismo tiempo.”⁸

Las dos citas anteriores nos permiten ver como dichos autores, después de hacer un desarrollo matemático llegan a dicha idea de relacionar el trabajo directamente con la vis viva y se pueden expresar de la siguiente manera:

$$W = \Delta vis\ viva \quad (35)$$

⁷ Traducción libre del texto *Energy: Historical Development of the Concept*. En B. Lindsay, *Energy: Historical Development of the Concept*, Pag. 148.

⁸ Traducción libre del texto *Mathematical Introduction*. En R. Clausius, *The Mechanical Theory of Heat*, Pag. 18.

Se demuestra matemáticamente que la *vis viva* es proporcional a un medio de la masa de los cuerpos multiplicado por el cuadrado de su velocidad como se ve en la *ecuación (33)*:

$$Vi\ viva = \frac{1}{2}mv^2 \quad (36)$$

Clausius resume estas dos últimas ecuaciones como el principio de equivalencia entre el trabajo y la *vis viva*, y a partir de este principio continua con la búsqueda de una magnitud que logre unificar diferentes fenómenos de la naturaleza, ya que, como se observó anteriormente la teoría de Leibniz estaba inconclusa para establecer una magnitud que resolviera la problemática de esa época la cual era la unificación de los fenómenos.

2.5 Aspectos para tener en cuenta

En este capítulo presentamos varios trabajos en los cuales había una problemática: unificar los fenómenos de la mecánica bajo un mismo análisis. Todos estos trabajos nos permiten empezar a describir el concepto de conservación con más claridad, pues a lo largo del capítulo vimos que en varios fenómenos había efectos que se conservan en sus causas. Al hablar de efectos y causas también podemos empezar a abordar el concepto de transformación, porque en los trabajos que analizamos, veíamos que no siempre los efectos son iguales a la causa, por ejemplo, como se vio en la problemática de Leibniz con la caída libre, veíamos que dos cuerpos de diferentes masas que se dejan caer a diferentes alturas, generan el mismo efecto; por ende, un mismo efecto es proporcional a dos causas diferentes.

Podemos apreciar cómo las nociones de equilibrio y equivalencia que se desarrollan a lo largo de estos capítulos nos ayudan a establecer, en gran medida, el paso por el cual tuvo que transcurrir el desarrollo de la idea de conservación para llegar al concepto de energía.

La discusión acerca de la cantidad de movimiento, sobre si la relación válida para medir esta magnitud es $m \cdot v$ o $m \cdot v^2$, nos aporta a visualizar que en el proceso de teorización de la mecánica, y que se extiende a otros campos de la física, hay un objetivo claro: buscar unas relaciones que, por una parte, expliquen satisfactoriamente los fenómenos de estudio, y que por otra parte, se conserven en el desarrollo de los sistemas. Las dos magnitudes *vis viva* y trabajo no sólo son válidas, sino que se complementan entre sí, y serán el eje sobre el cual se constituye el principio de conservación de la energía.

Capítulo 3

3 La cuantificación de la conversión de los fenómenos

Las nociones de equilibrio y equivalencia estudiados para ciertos fenómenos mecánicos, sobre las cuales se establecen los principios de conservación, han estado presentes en las discusiones de gran parte de la comunidad científica, a lo largo historia. En este capítulo resaltaremos la búsqueda por una magnitud que cuantifique la relación entre diferentes clases de fenómenos, ésta búsqueda se desarrolla durante los siglos XVIII y XIX, y allí destacan los científicos Mayer, Helmholtz, Joule, Clausius, Carnot, Planck, y Stirling.

Realizaremos el análisis físico de un motor de Stirling, que nos permite describir la conversión de fenómenos y el proceso de transformación de calor en movimiento y del movimiento a electricidad.

3.1 *Energía: conservación y transformación*

A comienzos del siglo XIX varios científicos realizaron trabajos con el fin de encontrar una magnitud que permitiera relacionar y describir todos los fenómenos que ocurrían en el universo, inicialmente muchos describían el mundo de los fenómenos como la manifestación de una sola “fuerza” que aparecía en formas eléctricas, térmicas, dinámicas y muchas otras, fuerza que no se podía crear ni destruir, esta sería la idea inicial para lo que hoy conocemos como el principio de conservación de la energía. (Kuhn, 1997, pág. 98)

A comienzos del siglo XIX Volta pensaba crear una máquina de movimiento perpetuo, pero a diferencia de las otras máquinas esta no funcionaría por medio de fenómenos mecánicos, sino que planteó la posibilidad de una máquina de movimiento perpetuo que funcionara por medio de electricidad. Volta propuso que por medio de la unión entre dos metales se podía generar una corriente que se moviera infinitamente entre los dos metales, pero se dio cuenta que no era suficiente la unión entre los dos metales por lo que fue necesario poner algo en medio de los metales, lo cual por medio de una reacción química genere corriente eléctrica, a lo cual denomino electrolito.

Luego de varios estudios en búsqueda de su móvil perpetuo se dio cuenta que la corriente eléctrica disminuía en el tiempo cuando pasaba entre los metales, esto debido a varias causas: la pila se calentaba cuando pasaba la corriente y por ende tendría que cambiar el electrolito y los metales, también observó que estos perdían sus propiedades a medida que la pila funcionaba.

A partir de este trabajo se empieza a hablar de la conversión de fenómenos, puesto que la corriente es capaz de producir calor y las propiedades químicas de los materiales cambian

por el paso de la corriente. En 1820 Oersted demostró los efectos magnéticos de la corriente eléctrica, observando que el magnetismo producía movimiento y que también se podía producir electricidad por medio de fricción, por lo cual dedujo que se puede convertir movimiento en electricidad y viceversa. (Kuhn, 1997, pág. 98)

En 1830, todos estos fenómenos observados en laboratorios se empiezan a denominar procesos de conversión, es decir que un fenómeno se podía convertir en otro fenómeno de diferente naturaleza, afirmando así la teoría de una “fuerza” que se manifiesta de diferentes formas en la naturaleza.

En el siglo XIX con base al análisis de los fenómenos observados se sigue trabajando en la teoría de la conservación de la vis viva, planteada a mediados del siglo XVIII, la cual se creía que podía unificar los diferentes fenómenos estudiados hasta esa época y a inicios del siglo XIX, dicha teoría buscaba cuantificar los procesos de conversión. En esta misma época Thomas Young realiza un trabajo para caracterizar la relación que existía entre el trabajo y la vis viva introduciendo por primera vez el termino *Energía* como la magnitud que determinaba esa relación y siempre se conservaba:

“The tern energy may be applied, with great propriety, to the product of the mass or weight of a body, into the square of the number expressing its velocity. Thus, if a weight of one ounce moves with the velocity of the foot in a second, we may call its energy 1; if a second body of two ounces have a velocity of three feet in a second, its energy will be twice the square of three, or 18. This product has been denominated the living or ascending force, (the vis viva), since the height of the body’s vertical ascent is in proportion to it; and some considered it as the true measure of the quantity of motion; but although this opinion has been very universally rejected, yet the force thus estimated well deserves a distinct denomination” (Lindsay, 1975, págs. 160-161)

“La energía interna puede ser aplicada, con gran propiedad, al producto de la masa o el peso de un cuerpo, en el cuadrado del número que expresa su velocidad. Así, si un peso de una onza se mueve con la velocidad de un pie en un segundo, podemos llamar su energía 1; Si un segundo cuerpo de dos onzas tiene una velocidad de tres pies en un segundo, su energía será el doble del cuadrado de tres, o 18. El producto se ha denominado la fuerza viva o ascendente, (vis viva), ya que la altura del ascenso vertical del cuerpo es proporcional a la misma; Y algunos lo han considerado como la verdadera medida de la cantidad de movimiento; Pero aunque esta opinión ha sido universalmente rechazada, la fuerza así estimada bien merece una denominación distinta.”⁹

⁹ Traducción libre del texto Energy: Historical Development of the Concept. En B. Lindsay, *Energy: Historical Development of the Concept*, Pag. 160-161.

La *vis viva* podía caracterizar cualquier fenómeno mecánico porque se conservaba durante el movimiento, en todos estos fenómenos, como lo había demostrado Bernoulli. Sin embargo, Clausius se da cuenta que la *vis viva* talvez no siempre se conservaba pues en algunos casos el cuerpo obtenía movimiento por sí solo, por ejemplo, en la caída libre, un cuerpo que se encuentra en reposo no posee *vis viva*, pero cuando empieza a moverse la adquiere, la pregunta es ¿De dónde se adquiere la *vis viva*?

Hoy se conoce que la adquiere desde la energía potencial. El primero en denominarla fue Rankine a mediados del siglo XIX, y Clausius llama a esta magnitud como *ergal*, ya que el nombre de energía potencial le parecía muy extenso. A dicha magnitud la define como una cantidad que depende de la configuración del sistema, donde se debe tener en cuenta ciertas condiciones del sistema: el peso que posee un objeto, la altura a la que se encuentra un objeto respecto al campo gravitacional en el que el cuerpo se encuentra (Clausius, 1879, págs. 11-12)

Clausius relaciona la *vis viva* y el *ergal* como las magnitudes que definen la *Energía* de un sistema:

$$U = T + J \quad (37)$$

U es a lo que Young definió como *energía*, y a lo que hoy se conoce como la energía Mecánica, T es la *vis viva* y lo que hoy se conoce como energía cinética y J es el *ergal* o energía potencial.

Finalmente, con estos resultados, se logra caracterizar aquella magnitud que se buscó por siglos y que se conservaba en los fenómenos mecánicos. Ahora ésta iba a ser fundamental para relacionar campos de la ciencia que estudiaban diferentes fenómenos y se consideraban independientes.

Nosotros procederemos a estudiar la relación que existe entre la energía mecánica, caracterizada anteriormente, con otros campos de fenómenos: térmicos y eléctricos. Como ya lo hemos mencionado, a mediados del siglo XIX se presentaron discusiones alrededor de la conversión de fenómenos, y con el establecimiento de la energía como una magnitud que permite describir los fenómenos mecánicos, varios científicos realizaron trabajos con el fin de encontrar la relación entre los fenómenos mecánicos, térmicos y eléctricos.

Autores como Helmholtz, Mayer y Joule plantean la teoría de conservación de la energía al retomar los trabajos en torno a la conversión y la conservación de la *vis viva*:

“La conservación de la energía es nada menos que la contraparte teórica de los procesos de conversión de laboratorio, descubiertos durante las primeras cuatro décadas del siglo XIX”. (Kuhn, 1997, pág. 100)¹⁰

¹⁰ Traducido por Helier, Roberto (1982).

Mayer planteó teóricamente que existía una equivalencia entre el trabajo mecánico y el calor, él decía que se podía producir calor por medio de movimiento y que ambos debían ser proporcionales en esa transformación, pues señalaba que al retomar la tercera ley de Newton todos los efectos deben ser iguales a la causa que los produce. Según Mayer hay una fuerza que es indestructible y convertible (Magie, 1935) y su trabajo fue un gran aporte para el planteamiento del principio de conservación de la energía, como lo mencionó Kuhn.

Posteriormente Joule comprueba experimentalmente esta teoría mediante un experimento, logra mostrar que siempre cierta cantidad de calor puede ser producida con la misma cantidad de movimiento, identificando el calor como una forma de energía. Así se corrobora lo que había expuesto Mayer teóricamente y se llega a cuantificar la relación que tiene la energía mecánica con el calor.

Durante varios años Joule utilizó un montaje experimental para determinar el equivalente mecánico del calor, ya que como se mencionaba anteriormente, él quería comprobar que el calor era una forma de energía:

“Si el calor no es una sustancia sino una vibración, más exactamente, una forma de energía mecánica, entonces la agitación mecánica del agua se debe manifestar en un aumento de temperatura. Para comprobar una vez más la hipótesis que dirigió su actividad científica durante más de 40 años”. (Forero, 2013, pág. 557)

La (Fig. 21) hace referencia al modelo experimental “Pioneer” desarrollado por Joule, para la realización de su experimento.

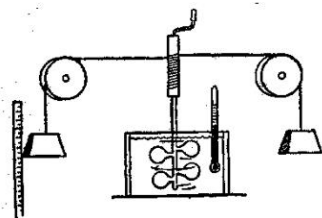


Figura 21: Máquina de Joule

Fuente: Barrios Patricio, tomado de la página (43)

La caída de dos masas que poseen energía potencial y gracias a un mecanismo de poleas que generan movimiento en las turbinas ubicadas dentro de un calorímetro con 1 kg de agua en su interior, se produce rozamiento entre las turbinas y el agua, y así el rozamiento aumenta la temperatura del agua. Joule considera los resultados obtenidos por el mecanismo como válidos y estos posteriormente fueron aceptados por la mayoría de la comunidad científica, se determina así el valor de la magnitud que relaciona directamente el calor con el trabajo mecánico, al que se le llamó el equivalente mecánico del calor:

$$4,18 J = 4,18 kg \frac{m^2}{s^2} = 1 cal \quad (38)$$

Este valor corresponde a la energía necesaria para aumentar la temperatura del agua en 1° Fahrenheit; es considerado un resultado válido y sigue siendo útil para el análisis de fenómenos termodinámicos.

Clausius, por su parte, plantea que a partir de la ecuación de la energía $U = T + J$ se puede hacer una relación entre el trabajo mecánico y el calor como lo había señalado Joule. Dice que la energía de un cuerpo está definida por la vis viva del movimiento molecular y este movimiento molecular equivale al calor, dicho calor es solo una parte de la energía del cuerpo y la otra parte corresponde al calor consumido por el trabajo interno en el cuerpo (Clausius, 1879, pág. 20).

Por lo que Clausius concluye que la energía de un cuerpo se puede expresar de la siguiente manera:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W \quad (39)$$

Siendo ΔU lo que posteriormente Clausius nombra la energía interna de un sistema, ΔQ , el calor producido por el sistema y ΔW , el trabajo realizado por el sistema.

Gracias a todo este desarrollo se logra determinar la energía interna de los sistemas, magnitud que describe lo que hoy se conoce como la primera ley de la termodinámica: que relaciona el principio de conservación de la energía propuesto para fenómenos mecánicos con fenómenos térmicos.

La *Ecuación 39* indica que la magnitud que se conserva es la energía y está presente en los fenómenos mecánicos y térmicos, y permitió describir el funcionamiento de las máquinas térmicas.

3.2 Motor Stirling

En el primer tercio del siglo XIX, cuando se estaban desarrollando diferentes prototipos que tenían como fin el desarrollo industrial y económico de los países europeos, se retomaron algunos modelos de máquinas de vapor inventadas a lo largo de la historia, pero a las cuales no se les había realizado un estudio científico, como lo menciona François Arago:

“Es justo reconocerlo, ha sido un error considerar la máquina de vapor como un objeto sencillo, cuyo inventor se necesitaba encontrar definitivamente. En la máquina de vapor existen muchas ideas capitales que pueden no ser concepción de un mismo cerebro. Clasificarlas por orden de importancia, dar a cada inventor lo que le pertenece, referir exactamente las fechas de las diversas publicaciones, tal debe ser el objeto del historiador.” (Lequeux, 2008)

Para el análisis de este tipo de máquinas, se consideró indispensable describir su funcionamiento. El análisis se centró en la producción de movimiento a partir de la expansión de vapor de agua, lo que actualmente se conoce como la conversión de calor en trabajo mecánico, proceso que es uno de los puntos importantes de nuestro siguiente análisis.

Siguiendo con la idea del desarrollo de nuevos prototipos que compitieran con la máquina de vapor, considerada la máquina de mayor eficiencia hasta el momento, en Escocia, el clérigo Robert Stirling (1790-1878) diseñó, junto a su hermano menor, una máquina térmica con la idea que esta obtuviera un mayor rendimiento que el motor de vapor.

El funcionamiento del motor Stirling se basa teóricamente en el siguiente comportamiento: un gas encerrado puede expandirse y comprimirse bajo la acción de una fuente caliente y una fuente fría que se alternan para actuar sobre el gas (Ver Fig. 22).

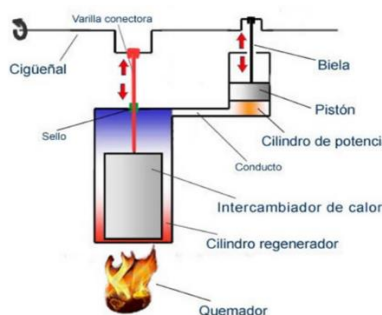


Figura 22: Modelo del Motor Stirling

Fuente: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/49/html/index.html>

Así una fuente externa proporciona calor sobre el motor térmico, dicha fuente se conoce como foco caliente. Una vez que el motor ha ganado calor inicia su funcionamiento y luego de haber aumentado el calor éste realiza trabajo mecánico, a la vez que cede calor a otra fuente externa que se encuentra a una temperatura menor, y se llama foco frío. Este proceso es cíclico debido a la expansión y compresión del gas al pasar por cada foco, los cuales están a diferente temperatura.

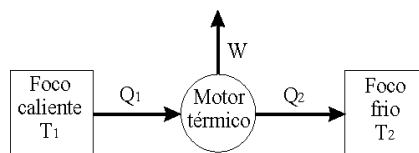


Figura 23: Funcionamiento del motor Stirling.

Fuente: <http://www2.ubu.es/ingelec/maqmot/StirlingWeb/máquinass/máquinasstermicas.htm>

Teóricamente este motor funciona en un ciclo que se compone de dos procesos; uno de carácter isotérmico en el cual no hay flujo de calor, es decir la temperatura del gas permanece invariante; luego en la fuente caliente al iniciarse la combustión externa, el motor

experimenta un proceso isocórico de absorción de calor con el fin de calentar las partículas del gas para que este comience un proceso de expansión isotérmica y lleve el pistón hasta la fuente fría, en un pequeño intervalo de tiempo el gas permanece a volumen constante hasta que esté comienza a comprimirse llevando de nuevo el pistón hasta la fuente caliente generando así un ciclo conocido como el ciclo de Stirling, y supone un proceso reversible, como se muestra en el siguiente grafico PV:

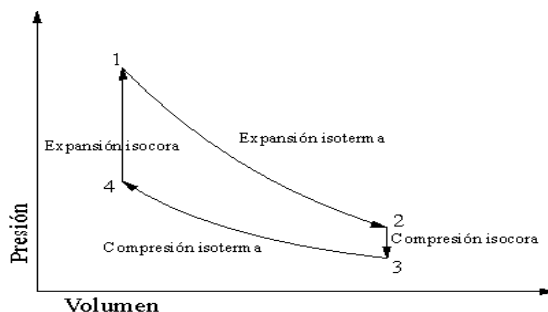


Figura 24: Ciclo Stirling.

Fuente: <http://www2.ubu.es/ingelec/maqmot/StirlingWeb/máquinass/máquinasstermicas.htm>

Como se observa en la (Fig. 24), del punto (1) al punto (2) se puede apreciar una expansión isotérmica del gas, lo que quiere decir que el gas se expande debido a la disminución en la presión.

Siguiendo con el análisis, del punto (2) al punto (3), hablamos de un proceso isocórico, lo que se traduce como una disminución de la temperatura del gas manteniendo su volumen constante.

Del punto (3) al punto (4), la máquina pasa nuevamente por un proceso isotérmico, pero en este caso de compresión, es decir que su volumen comprime debido a un aumento de la presión, pero la temperatura a la que se encuentra el gas se mantiene constante.

Finalmente, del punto (4) al punto (1), pasa por un proceso isocórico o dicho en otras palabras un calentamiento del gas manteniendo su volumen constante.

Se puede decir que en los procesos cuando se mantiene el volumen constante, el trabajo realizado es cero, ya que este se define como:

$$\Delta W = P\Delta V \tag{40}$$

Donde P es la presión y V el volumen, al no haber cambio en esta magnitud, entonces, $\Delta V = 0$, quedando la ecuación 1 como:

$$\Delta W = 0 \tag{41}$$

Para los dos procesos isotérmicos, el trabajo (W) que se realiza tanto en la expansión como en la compresión a temperatura constante, se puede expresar de la siguiente manera.

Partiendo de la definición de trabajo mecánico

$$dW = F * dr \quad (42)$$

Se puede expresar la fuerza (F) en términos de la presión que se ejerce sobre el gas al interior del motor y (dr) en el aumento o reducción del volumen del gas, quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$dW = \pm P * dV \quad (43)$$

Entonces para conocer el trabajo (W) realizado por el gas, se tendría que integrar la ecuación 43, limitándola por los valores de volumen (V_i) y (V_f) que se obtendrán de la expansión y la compresión, quedando:

$$\int_{V_i}^{V_f} dW = \int_{V_i}^{V_f} P dV \quad (44)$$

Centrándonos en la parte izquierda de la ecuación, es necesario reemplazar la presión (P) en términos de la variable, en este caso el volumen, es posible acudiendo a la ecuación de los gases ideales $PV = nRT$, despejando (P), obtendríamos:

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (45)$$

Reemplazando P en la ecuación 44, quedaría:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV \quad (46)$$

Como estamos analizando un proceso a temperatura (T) constante y los valores de (n) y (R) también son constantes, la ecuación resultante sería:

$$W = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} \quad (47)$$

Al desarrollar la integral e igualando nuevamente con el trabajo (W), obtendríamos, para el proceso de expansión, que el gas realiza un trabajo igual a:

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad (48)$$

Y para el proceso de compresión, el gas realiza un trabajo (W), igual a:

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_i}{V_f}\right) \quad (49)$$

Donde:

n es la cantidad de sustancia, R es la constante de los gases ideales, T es la temperatura, V_i es el volumen inicial, V_f es el volumen final.

En la (Fig. 24) se observa nuestra variante al motor de Stirling, motor que hemos ensamblado y diseñado (Ver Anexo 3.), con el fin de ejemplificar la transformación de energía en dos procesos, conversión de calor (fuente primaria de energía) a trabajo mecánico (movimiento) y posteriormente conversión del movimiento producido en electricidad.

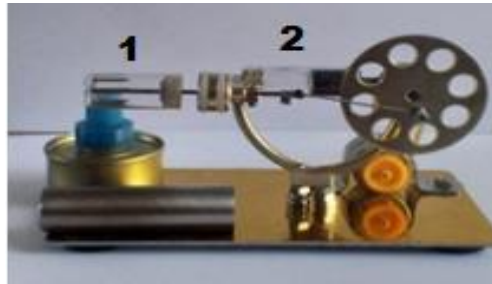


Figura 25: Prototipo del motor Stirling.

Fuente: Propia.

A partir de una fuente que suministra calor conocida como foco caliente, el aire que se encuentra a volumen constante dentro del cilindro (1), comienza a calentarse debido al aumento en su temperatura hasta expandirse, moviendo un primer pistón, a lo largo del cilindro (1) (Ver Fig. 25). Por medio de un conducto cerrado el aire que viaja caliente pasa al cilindro (2), el cual se encuentra a temperatura ambiente, que en este caso hace las veces de foco frío; el aire que llega con una temperatura mayor al que se encuentra en el cilindro (2) genera movimiento de un segundo pistón que se encuentra en este cilindro; seguidamente el aire caliente comienza a equilibrarse térmicamente con el aire que se encuentra a temperatura ambiente, por ende, este se va enfriando, lo que genera una compresión del gas para dirigirse nuevamente al cilindro (1) y manteniendo así el movimiento en los dos pistones. Este es el proceso que ocurre en esta variante de motor Stirling que no cuenta con un foco propiamente frío.

A partir del ciclo que se genera por la expansión y compresión de aire y por medio de un cigüeñal que une el pistón a un volante que en este caso llamaremos mecanismo inercial, este comenzará a girar, evidenciando así la transformación de calor en trabajo mecánico; por medio de una banda elástica el volante se une a un pequeño generador eléctrico¹¹ que está conectado a un bombillo led, que debe encenderse si las transformaciones de energía que se

¹¹ Generador eléctrico o dinamo: dispositivo que transforma energía mecánica en movimiento a través de una corriente inducida a un embobinado por medio de un imán.

han venido dando (calor – movimiento – electricidad) son suficientes para generar el voltaje necesario para encender el led.

Este prototipo de motor térmico nos sirve de ayuda para poder determinar y evidenciar la energía como esa magnitud que nos permite dar explicación a esas relaciones que, aunque en varios casos son imperceptibles, se dan en fenómenos de diferente naturaleza como lo dice Max Planck:

“Porque la idea de energía es la única que además de la de espacio y tiempo es común a todos los distintos dominios de la física” (Planck, 1998, pág. 6)

Este ejercicio, nos permitió ampliar reconocer el campo de estudio de la física a lo largo de la historia, además, de permitir la cuantificación de estas relaciones y determinar las equivalencias existentes entre los diferentes fenómenos, para dar un ejemplo de esto, retomaremos parte del trabajo realizado por Joule, quien a partir de la relación existente entre el calor y el trabajo mecánico logra establecer la siguiente relación entre fenómenos diferentes: $4,18 J = 1 Cal$

Como se puede observar en la ecuación anterior, Joule plantea una relación directa entre los fenómenos térmicos y los fenómenos mecánicos, con lo cual se determina que una cantidad de trabajo mecánico se puede convertir en una cantidad proporcional de calor y viceversa. el “*equivalente mecánico del calor*” se convierte en la base para el desarrollo de la termodinámica y la cuantificación de las relaciones entre diferentes fenómenos.

Pero, ¿estas relaciones que se dan van una sola dirección? o ¿cualquier proceso natural puede tener su equivalente en otro totalmente diferente y generar los mismos efectos?, para resolver estas preguntas es necesario abordar el concepto de reversibilidad en los fenómenos naturales:

“...el trabajo mecánico puede transformarse muy fácil en calor, como por fricción, mientras que de otra parte el calor solo puede ser transformado con dificultad en trabajo, se ha hecho así el intento de caracterizar la segunda ley, que en la naturaleza la transformación de trabajo en calor tiene lugar completamente, mientras que, de otro lado, la de calor en trabajo solo incompletamente...” (Planck, 1998, pág. 8)

para ello tenemos que tener en cuenta la dirección en la que se dirigen los procesos naturales; sabemos que estos procesos se rigen a través de transformaciones, pero para que sean efectivas estas transformaciones se tienen que tener ciertas condiciones, en sistemas cerrados y dinámicos estas condiciones no siguen una linealidad, lo cual quiere decir que las transformaciones no se dan en una dirección determinada, por ejemplo, el proceso en el cual un cuerpo más caliente le cede calor a un cuerpo menos caliente, haciendo en el proceso mismo una transformación de calor en trabajo mecánico, a la vez que el cuerpo caliente está cediendo calor y el cuerpo frío lo está absorbiendo, no toda la cantidad de calor está siendo transferida puesto que como se dijo anteriormente una parte se transforma en trabajo,

podemos decir así que la cantidad de trabajo que se generó a partir de la conducción de calor, se puede determinar bien sea del proceso en el que se cede calor, como en el proceso en el que se absorbe calor, por lo tanto, en este caso estamos hablando de un proceso reversible, ya que la magnitud que nos está determinando el cambio, se puede obtener de cualquiera de las dos fases del proceso.

Con esto, se puede decir que en el proceso anterior se puede ir tanto del estado del cuerpo frío al estado del cuerpo caliente y del estado del cuerpo caliente al cuerpo frío, por ende, se puede decir que los procesos de la naturaleza son reversibles, como lo afirma Planck: *“La naturaleza posee una preferencia igual por los estados final e inicial y el paso entre ellos tiene lugar bien en una dirección o en la otra”* (Planck, 1998, pág. 11)

Por último, y gracias al proceder de la naturaleza, el principio de conservación de la energía se puede establecer de manera general, ya que la magnitud física que nos sirve de medida para cualquier proceso que se da en la naturaleza, es la *energía*, a parte que también es una magnitud que interactúa con muchas de las otras propiedades que caracterizan los sistemas.

Capítulo 4

4 Propuesta de aula para la construcción del concepto de energía a partir de la equivalencia de magnitudes y el principio de equilibrio mecánico.

En el marco del desarrollo de este trabajo, preparamos una serie de actividades secuenciales, con las cuales pretendemos orientar a los estudiantes en la construcción del concepto de energía, estas actividades se desarrollaron con dos cursos del grado decimo del Instituto Pedagógico Nacional (IPN), bajo el acompañamiento del profesor titular Santiago Moreno.

Las actividades se secuenciaron en tres fases:

- En la primera fase trabajaremos alrededor de las máquinas simples y abordaremos el concepto equilibrio mecánico como principio organizador de la idea de conservación.
- En la segunda fase abordaremos las relaciones de magnitudes presentes en cuerpos que están en movimiento, con el fin de mostrar a los estudiantes que hay una magnitud variando debido a otra y así mismo empezar a introducir el concepto de energía.
- En la tercera fase trabajaremos alrededor de la energía como la relación entre magnitudes que están variando.

4.1 *Objetivo General*

Establecer las relaciones entre magnitudes: pesos, distancias, alturas y velocidades, presentes en los diferentes fenómenos para organizar la idea de conservación como una relación que permanece invariable y conforme a esto entender el principio de conservación de la energía.

4.2 *Metodología de trabajo en el aula*

Para el desarrollo de nuestra implementación hemos diseñado un total de 6 actividades las cuales se organizan en tres:

- Fase 1 – El equilibrio Mecánico en las máquinas simples: Plano inclinado y balanza.
- Fase 2 – La equivalencia de magnitudes cuando los cuerpos están en movimiento: Péndulo y caída libre.
- Fase 3 – Energía, transformación y convertibilidad de fenómenos.

En cada una de las actividades los estudiantes desarrollaron la actividad en grupos, con nuestra ayuda, para cada actividad preparamos una secuencia de trabajo en el aula y unas preguntas orientadoras, al final de cada sesión los estudiantes entregaron un escrito, a manera

de reflexión, en el cual muestran lo que aprendieron en cada sesión; cabe resaltar que dicho escrito no se limitó a la solución de las preguntas orientadoras.

Además de esta información propicia para la sistematización, en cada una de las sesiones, uno de nosotros, se dedicó a redactar lo que se iba desarrollando durante la sesión, preguntas, discusiones, análisis verbales que realizaron los estudiantes, etc. Con el fin de complementar la recolección de información, nutrir la rúbrica que proponemos como guía de sistematización y evaluación de nuestra propuesta de aula.

4.2.1 Rúbrica: Guía para la evaluación y la sistematización

Al igual que las actividades la rúbrica consta de tres partes, las cuales corresponden a las tres fases de las actividades, ya que es muy difícil englobar todos los aspectos de todas las actividades en una sola rúbrica, creemos que de ser así se nos perderían algunos aspectos abordados en el aula de clase. A continuación, daremos a conocer la rúbrica que guiará el proceso de sistematización:

Rúbrica de Evaluación de la Implementación				
Criterios Niveles	Bajo	Básico	Alto	Superior
Fase 1 – Máquinas simples y Equilibrio mecánico				
Equivalencia	No establece relaciones de equivalencia entre las magnitudes que caracterizan el sistema.	Reconoce la existencia de relaciones en el sistema.	Reconoce y establece relaciones de equivalencia entre algunas de las magnitudes del sistema.	Reconoce y establece relaciones de equivalencia entre las magnitudes físicas que caracterizan el sistema.
Magnitudes Físicas	No distingue entre las magnitudes que están presentes en el sistema.	Reconoce las magnitudes físicas que están presentes en el sistema.	Determina las magnitudes físicas que están presentes en el sistema.	Determina y describe cada una de las magnitudes físicas presentes en el sistema.
Equilibrio estático	No comprende el concepto de equilibrio estático.	Entiende el concepto de equilibrio estático y establece hipótesis acerca de las causas que perturban este estado en el sistema.	Comprende que la acción del peso es la causa por la cual el sistema sale del estado de equilibrio y propone configuraciones para que el sistema vuelva al estado inicial.	Comprende, verbaliza y explica con argumentos propios de la física lo que ocurre en la actividad propuesta.

Fase 2 – Sistemas en movimiento				
Equivalencia	No establece relaciones de equivalencia entre las magnitudes que caracterizan el sistema.	Reconoce la existencia de relaciones en el sistema.	Reconoce y establece relaciones de equivalencia entre algunas de las magnitudes del sistema.	Reconoce y establece relaciones de equivalencia entre las magnitudes físicas que caracterizan el sistema.

Magnitudes Físicas	No distingue entre las magnitudes que están presentes en el sistema.	Reconoce las magnitudes físicas que están presentes en el sistema.	Determina las magnitudes físicas que están presentes en el sistema.	Determina y describe cada una de las magnitudes físicas presentes en el sistema.
Equilibrio de cuerpos en movimiento	No establece relaciones entre magnitudes diferentes, esto como principio del equilibrio de cuerpos en movimiento.	Distingue las relaciones que se pueden establecer entre magnitudes diferentes.	Determina relaciones entre magnitudes diferentes, entendiendo que una magnitud varía en relación directa con otra magnitud.	Establece relaciones entre magnitudes diferentes, siendo coherente con el sistema que se está analizando y propone relaciones de carácter general para cualquier sistema.

Fase 3 – Energía, Transformación y Convertibilidad

Conservación	No comprende la relación existente entre dos magnitudes de diferente naturaleza y como se conserva.	Reconoce la idea de conservación de una cantidad, pero no posee la habilidad de describirla.	Reconoce la idea de conservación de las cantidades presentes solo en un sistema.	Entiende y reconoce que las magnitudes presentes se conservan dependiendo los sistemas.
Relaciones de fenómenos	No reconoce los conceptos de calor, energía mecánica y energía eléctrica.	Reconoce los conceptos de calor, energía mecánica y energía eléctrica, pero no posee la habilidad de relacionarlos.	Reconoce los conceptos de calor, energía mecánica, energía eléctrica y los relaciona en los sistemas.	Comprende y explica relaciones entre los sistemas, donde logra observar transferencia de magnitudes.
Transformación	No reconoce el concepto de transformación en los sistemas.	Distingue los tipos de energía por separado, pero no logra llegar al concepto de transformación en la magnitud presente.	Establece relaciones entre los tipos de energía y como pueden pasar de un sistema a otro sin alterar su magnitud.	Logra describir y predecir lo que sucede en sistemas donde se ve involucrada la idea de energía y su transformación.

Todos los datos que se tomen a lo largo de la implementación se organizarán por sesión, tanto documentos como notas, teniendo como resultado lo siguiente:

- Sesión 1: 60 documentos y 2 notas
- Sesión 2: 60 documentos y 2 notas
- Sesión 3: 60 documentos y 2 notas
- Sesión 4: 60 documentos y 2 notas

El análisis de los datos los haremos teniendo en cuenta los dos aspectos, es decir que no le daremos más valor a los documentos o a las notas.

4.2.2 El equilibrio Mecánico en las máquinas simples: Plano inclinado y Balanza

El objetivo de esta fase es identificar y establecer relaciones de equivalencia entre magnitudes con el fin de lograr el equilibrio mecánico en cada uno de los sistemas presentes, para esto trabajaremos alrededor de tres máquinas simples las cuales son: la polea, el plano inclinado y la palanca.

4.2.2.1 Actividad 1: Identificando la acción del peso sobre un plano inclinado, ¿Se reduce o aumenta la acción del peso en un plano inclinado?

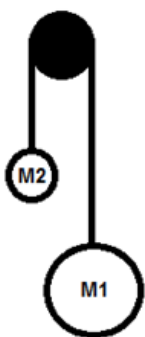


Figura 26: Situación 1

Fuente: Propia.

En esta actividad los estudiantes deben establecer la equivalencia entre dos magnitudes del mismo orden las cuales son la acción del peso de los cuerpos de masa distinta, por lo cual es necesario el uso de las máquinas simples, como lo es el plano inclinado y la polea, para ello hemos preparado la siguiente secuencia y las siguientes preguntas orientadoras:

Inicialmente mostraremos a los estudiantes un sistema de 2 masas unidas por una cuerda, como se muestra en la situación 1, en ese momento solicitaremos a los que describan y determinen las magnitudes físicas que están presentes en la situación 1. Una vez se reconozcan las magnitudes físicas presentes en el sistema le presentaremos a los estudiantes la situación problema, que consiste en la imposibilidad de mantener en equilibrio dos masas diferentes como se muestra en la configuración de la situación 1, una vez se haya establecido la situación problema haremos la siguiente pregunta ¿Por qué el sistema ya no está en equilibrio? Esta pregunta puede parecer innecesaria, pero queremos asegurar que los estudiantes entiendan que la acción del peso de una masa es mayor al de la otra. Como las actividades se desarrollan en torno a las máquinas simples es necesario contra preguntar de la siguiente manera ¿Que máquinas simple me permite establecer nuevamente el equilibrio en el sistema?

La situación 2 corresponde a la solución para lograr el estado de equilibrio que se imposibilita en la configuración de la situación 1, cabe resaltar que la secuencia está guiada para que los estudiantes lleguen a esta respuesta; Una vez se llegue a la situación 2 haremos otra pregunta la cual es; ¿Cuál masa pondría sobre el plano inclinado? Sabemos que para muchos la respuesta es sencilla, el cuerpo de mayor masa debe ir en el plano inclinado, pero queremos que los estudiantes comprendan la finalidad de usar el plano inclinado, la cual es reducir la acción del peso del cuerpo con mayor masa. Con el fin de analizar lo entendido por ellos hasta el momento haremos las dos últimas preguntas: ¿Por qué se logra el equilibrio al poner el plano inclinado sobre la masa mayor y no sobre la menor? y ¿Cuál es la relación de la masa mayor y el ángulo de inclinación respecto a la masa menor? ¿Es inversa o directa? Queremos que los estudiantes hagan un análisis más profundo de la situación teniendo

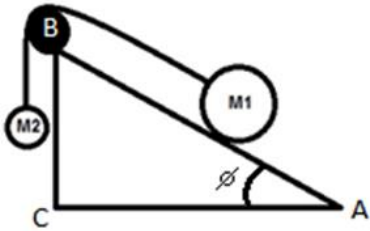


Figura 27: Situación 2

Fuente: Propia.

como base la explicación previa realizada por nosotros, para poder establecer una relación de equivalencia entre dos magnitudes.

4.2.2.2 Actividad 2: Ampliando la idea de la acción del peso en las máquinas simples: La balanza y la relación entre el peso y la longitud.

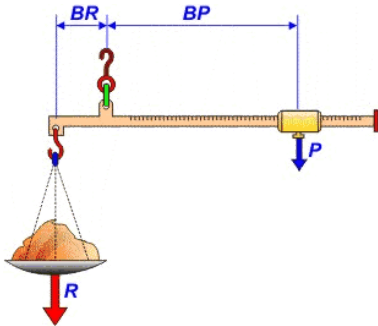


Figura 28: Situación 3.

Fuente:
<http://grupo821cyb.blogspot.com/p/palancas.html>

En esta actividad queremos que los estudiantes establezcan la relación entre la acción del peso de los cuerpos y la longitud con respecto a un punto de apoyo, por lo que basaremos esta actividad en la palanca, para esto hemos preparado la siguiente secuencia y las siguientes preguntas orientadoras:

En esta actividad presentaremos un sistema llamado “La balanza romana” la cual consiste en dos masas separadas a ciertas distancias del fulcro o punto de equilibrio como se muestra en la situación 3, al igual que en la actividad 1, inicialmente pediremos a los estudiantes que describan y determinen las magnitudes físicas que están presentes en la situación. Una vez se determinen las magnitudes presentes en este sistema mostraremos a los estudiantes en que consiste una balanza de brazos iguales, es decir que las masas que se ponen en la balanza están separadas a la misma distancia del centro de equilibrio. En este momento pediremos a los estudiantes que respondan la pregunta ¿Esta balanza permite equilibrar masas diferentes?

Una vez respondan los estudiantes esta pregunta mostraremos la imposibilidad de equilibrar dos masas diferentes en una balanza de brazos iguales por lo que realizaremos la siguiente pregunta ¿Qué magnitudes físicas hay que variar para lograr el equilibrio? La respuesta a esta pregunta es la distancia, pues se puede compensar la acción del peso de un cuerpo de masa menor alejándolo del centro de equilibrio, seguido a esto realizaremos dos preguntas más ¿En qué relación hay que variar esta magnitud? Y ¿Cuál de las dos masas se debe desplazar con respecto al centro de equilibrio? Una vez establezcan la relación para la situación 3, pediremos a los estudiantes que establezca una relación de carácter general para esta situación.

Al finalizar esta actividad queremos que los estudiantes puedan establecer relaciones de carácter general para situaciones similares, en caso de que se presenten dificultades en este aspecto, enseñaremos a los estudiantes a establecer relaciones de carácter general en distintos sistemas físicos.

Tabla 1: Actividades de la fase 1.

Fuente: Propia.

Identificando la acción del peso sobre un plano inclinado, ¿Se reduce la acción del peso en un plano inclinado?

La clase inicio con una explicación acerca de las máquinas simples la cual está en el primer capítulo del marco teórico, para darles a los estudiantes herramientas para resolver los

problemas que les íbamos a plantear. También realizamos una explicación de lo que conocemos como magnitudes: que son aquellas propiedades de los cuerpos o sistemas que son medibles, como por ejemplo la masa, el volumen, la temperatura, la presión, etc.

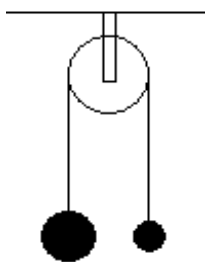


Figura 29: Representación 1 de la solución propuesta por los estudiantes a la situación 1.

Fuente: propia.

Al intentar resolver el problema de la situación 1, los estudiantes plantearon diferentes soluciones sin recurrir al plano inclinado, por ejemplo, el 19,23% de los estudiantes pensó que la solución estaba relacionada con la configuración del sistema, y lo que hacían, era poner las masas a las mismas alturas (Fig. 29), creyendo que si se ponían a la misma altura lograrían el equilibrio, otros recurrieron a usar otra polea fija y pensaron en varias configuraciones (Fig. 30), pero ninguna fue eficaz.

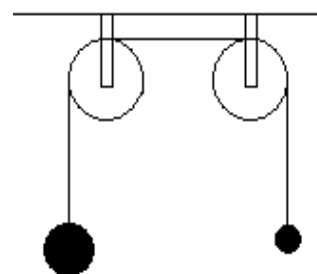


Figura 30: Representación 2 de la solución propuesta por los estudiantes a la situación 1.

Fuente: propia.

En ese momento fue necesario volver a explicar la utilidad de cada máquina simple más detalladamente en cada uno de los grupos y ahí los estudiantes comprendieron que la solución para lograr el equilibrio era el plano inclinado. Notamos que en un grupo hubo dificultades para entender la explicación de las máquinas simples, pues colocaron la masa más pequeña sobre el plano inclinado (Fig. 31) y pensamos que tal vez para ellos no era claro

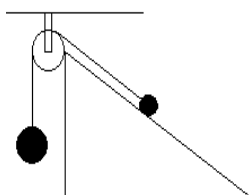


Figura 31: configuración propuesta por un grupo de estudiantes.

Fuente: propia.

que el peso más grande era la causa del movimiento del más pequeño por lo que pensaron que poniendo cualquiera de las dos masas en el plano inclinado se iban a equilibrar las masas, lo que hicimos fue hacer una explicación con ejemplos de la vida cotidiana, por ejemplo: los puentes, las rampas, etc. Todos los grupos hicieron la configuración que se ve en la situación 2 (Fig.) y nosotros les preguntamos a los estudiantes por qué con esta configuración si se lograba el equilibrio.

Un estudiante dijo, *El*: “no se pueden igualar los dos pesos, pero se pueden hacer equivalentes y para eso se usa el plano inclinado”, esta explicación nos parece importante porque el estudiante logra describir

el fenómeno como una equivalencia entre dos magnitudes diferentes. El 34,60% de los estudiantes determinaron que hay una relación entre la inclinación del plano y la acción del peso de los objetos, de esta manera se puede lograr un mismo efecto, pero de diferente manera.

Les pedimos a los estudiantes que hicieran varias configuraciones colocando diferentes masas, con el fin de que establecieran una relación entre el ángulo de inclinación y el peso de los cuerpos. Algunos estudiantes explicaban que hay un punto medio en la inclinación, es decir que no se puede inclinar muy poco porque la masa mayor se moverá hacia abajo, pero tampoco mucho porque la masa más pequeña se movería hacia abajo, **E2**: “*la inclinación del plano es proporcional a la disminución en el peso, por eso las dos masas quedan en equilibrio*”.

También le preguntamos a los estudiantes cuáles eran las magnitudes que intervenían en el sistema y que explicaran como intervenían, el **19,23%** de los estudiantes mencionó las magnitudes que intervenían en el sistema: masa, peso, gravedad, fricción o rozamiento, distancia y velocidad, pero el **11,53%** explicaron como intervenían, **E1**: “*Al poner en una polea dos masas, la masa más grande tenía un mayor efecto de fuerza hacia abajo que la masa pequeña*”. Por otro lado, el **65,38%** mencionaron otras magnitudes que no intervenían como: presión, volumen, temperatura, etc. Les explicamos porque estas magnitudes no intervenían en el sistema y porque las otras que mencionaron si intervenían haciendo una diferencia entre las que intervienen y las que no, con esto nos dimos cuenta de que hay estudiantes que no tienen claro que es una magnitud y que tampoco saben describir dichas magnitudes, por lo que fue necesario explicarle esto a los grupos que tenían falencias en este concepto.

Alcances	Descripciones de los estudiantes
<ul style="list-style-type: none"> • Los estudiantes entendieron que existe una relación entre el peso y la inclinación de un plano. • El 11,53% logró establecer y explicar la relación que hay entre el peso y la inclinación del plano. • El 19,23% de los estudiantes lograron establecer las magnitudes que intervenían en el sistema. • La actividad experimental sirvió para que los estudiantes lograran entender mejor, tanto el funcionamiento de las máquinas simples, como el comportamiento de las diferentes magnitudes que intervenían el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>"Llegamos a la conclusión de que era el plano inclinado, ya que este permitía que los dos pesos fueran equivalentes, mientras que la polea sólo cambiaba la dirección de la fuerza"</i> • <i>"Dependiendo del ángulo, la masa mayor y la masa menos se podrán equilibrar"</i>

Ampliando la idea de la acción del peso en las máquinas simples: La balanza y la relación entre el peso y la longitud

Esta clase inicio con la explicación acerca del funcionamiento de la balanza, la mayoría de los estudiantes sabían cuál era la funcionalidad de la balanza por lo que no fue necesario

extendernos tanto en esta explicación, también hicimos una explicación sobre el concepto de magnitud, a cada grupo se le dio una balanza y varias masas: una de 100 gramos, una de 50 gramos y varias de 25 gramos.

Cuando les pedimos a los estudiantes que equilibraran objetos con la condición de brazos iguales (las masas van separadas a la misma distancia del fulcro), (Fig. 32), ponían una masa grande a un lado y varias masas más pequeñas al otro lado para lograr el equilibrio, por ejemplo: en un brazo colocaban una masa de 100 g y en el otro brazo colocaban 4 de 25 g o una de 50 g y dos de 25, etc. Esto con el fin de que se familiarizaran con el tipo de balanzas que tenían y entendieran que la masa y el peso son magnitudes que tienen propiedad aditiva, es decir que varias masas pequeñas se pueden sumar para hacer el mismo efecto de una masa más grande.

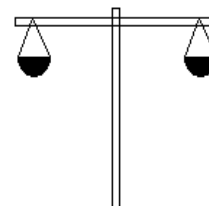


Figura 32: Balanza de brazos iguales.

Fuente: propia.

Luego le pedimos a los estudiantes que equilibraran masas con la condición de que sólo se podía colocar un objeto en cada brazo y que debían ser diferentes, aún con la condición de brazos iguales. Ningún grupo logró cumplir esto, porque los objetos que les entregamos eran diferentes y por lo tanto tenían diferente masa y peso, le preguntamos a los estudiantes por qué ocurría eso y el 56,66% de los estudiantes mencionó que el peso del objeto más grande era responsable de que eso ocurriera, pero hubo algunos que pensaron que era porque las masas estaban colgando, así que sacaron una de las masas y la colocaron sobre el brazo (Fig. 33) para que no colgara y así lograr el equilibrio, obviamente esta propuesta no funcionó e inmediatamente otro estudiante mencionó que no tiene nada que ver que la masa esté colgando o no y lo que realmente importa es la distancia a la que están separadas las masas con respecto al fulcro o punto de equilibrio.

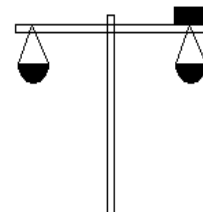


Figura 33: Configuración 2 propuesta por un estudiante.

Fuente: propia

Una vez finalizada esta discusión los estudiantes llegaron a que la solución era aumentar la distancia de alguno de los brazos, en ese momento hubo opiniones divididas pues algunos pensaban que había que aumentar la distancia de la masa menor y otros decían que había que aumentar la distancia de la masa mayor, al llevar esto a cabo todos se dieron cuenta que había que al aumentar la distancia de separación de la masa menor para llegar al equilibrio. El 13,33% de los estudiantes decía que: la distancia compensa el peso, el peso más pequeño debe estar a una mayor distancia y el mayor debe estar a una distancia menor. En ese momento le preguntamos a los estudiantes qué tanta distancia tenía que alejarse la masa menor en relación con la masa mayor y les pedimos que intentaran medir la masa a de un objeto, por ejemplo, un borrador.

El 43,33% entendía que la relación entre las masas era similar a la relación entre las distancias, una estudiante propuso, **E3:** “si hay más masa en un lado que en el otro, esa masa

se pone más cerca al eje y la masa menor más lejos”. Otra estudiante planteó una regla de tres, pero ella decía que no era posible el resultado que obtenía pues ese objeto estaba más alejado del centro que el otro, pero la masa le daba mayor, y para ella no era posible. Este razonamiento fue muy bueno porque ella comprendió como era la relación entre el peso y la distancia, pero no podía establecerla matemáticamente, lo que para nosotros era lo de menor importancia. Les explicamos a los estudiantes que existen dos tipos de relaciones, directas e inversas y su significado, también dijimos que en este caso la relación entre las magnitudes era inversa y por lo tanto no se podía hacer una regla de tres simple.

También le preguntamos a los estudiantes cuáles eran las magnitudes que intervenían en el sistema y que explicaran como intervenían, el 43,33% de los estudiantes menciono las magnitudes que intervenían en el sistema: masa, peso, gravedad y distancia, pero el 11,33% explicaba como intervenían, **E4:** *“en la balanza tiene que existir una relación entre estas 4 magnitudes: peso, masa, distancia y gravedad; y estas magnitudes tienen que ejercer una fuerza igual en ambos lados de la balanza, variando las distancias de las masas respecto al centro”*. Al igual que en el otro curso, nos dimos cuenta de que hay estudiantes que no tienen claro que es una magnitud y que tampoco saben describir dichas magnitudes y les explicamos con más detalle a aquellos que tenían falencias.

Alcances	Descripciones de los estudiantes
<ul style="list-style-type: none"> • El 43,33% de los estudiantes entendió que existe una relación entre el peso y la distancia de separación del centro de equilibrio. • El 13,33% logró establecer y explicar la relación que hay entre el peso y la distancia de separación del centro de equilibrio. • La actividad experimental sirvió para que los estudiantes logaran entender mejor, tanto el funcionamiento de la balanza, cómo del comportamiento de las diferentes magnitudes que intervenían el sistema. • Algunos intentaron describir matemáticamente la relación entre las magnitudes ya mencionadas, pero no sabían que era una relación directa e indirecta. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>“Si la balanza fuera infinita siempre no podría equilibra teniendo en cuenta la relación de masa y distancia”</i> • <i>“Para equilibrar la balanza cuando tiene diferentes pesos a cada lado, hay que mover el objeto mas pesado hacia el centro para generar congruencia entre las 4 magnitudes”</i>

4.2.3 La equivalencia de magnitudes cuando los cuerpos están en movimiento: Péndulo y caída libre

El objetivo de esta fase es identificar y establecer relaciones de equivalencia entre magnitudes: Alturas de caída, velocidades y masa, que están presentes en sistemas como el péndulo y la caída libre, los cuales son sistemas con cuerpos en movimiento.

La idea es que los estudiantes observen que magnitudes varían en los sistemas y encontrar como se relacionan, para llegar a que estas relaciones permanecen constantes y así empezar a organizar la idea de conservación. Para esto trabajamos alrededor dos fenómenos de la física los cuales son: la caída de los cuerpos y el péndulo simple.

4.2.3.1 Actividad 3: El péndulo de Galileo, ¿Hay equivalencias entre magnitudes cuando un cuerpo se está moviendo?

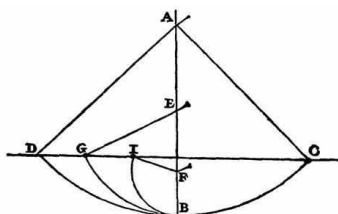


Figura 15.

En esta actividad presentamos las relaciones de equivalencia entre magnitudes: Alturas y velocidades, presentes en el péndulo simple. En esta actividad está directamente relacionada con la actividad anterior, pero esta vez queremos que los estudiantes evidencien la relación entre la variación entre la velocidad que adquiere un cuerpo en un péndulo con la variación en la altura que este adquiere, para esto preparamos la siguiente secuencia.

Nosotros queremos mostrar a los estudiantes las interpretaciones propuestas por Galileo alrededor del péndulo, inicialmente describan y determinen las magnitudes físicas que están presentes en la situación, una vez descritas empezaremos por soltar el péndulo a una altura cualquiera y analizar que sucede al otro lado de la oscilación, aquí es donde haremos la siguiente pregunta, ¿A qué altura llegará el cuerpo cuando complete media oscilación?, Según Galileo cuando los cuerpos llegan a media oscilación alcanza la misma altura desde la que fueron lanzados.

Ahora pediremos a los estudiantes que incrusten un lápiz en una de las ranuras del péndulo, y deberán lanzar el cuerpo desde la misma altura que la vez anterior, y ahora haremos la pregunta: ¿El cuerpo alcanzara la misma altura a la que fue lanzado?, Galileo propone que al igual que la situación anterior el cuerpo llegara a la misma altura, y si se cambia el lápiz de la ranura seguirá pasando lo mismo. Es momento de hablar de la velocidad, queremos que los estudiantes analicen que pasa con la velocidad en todo el recorrido, y les preguntaremos: ¿Cómo es la velocidad en dos puntos semejantes del recorrido? Esta pregunta aplica para el péndulo simple y para el péndulo con los arreglos que propone Galileo, aquí es donde estableceremos la relación entre la altura y la velocidad, pues a alturas iguales se dan velocidades iguales en cualquiera de los casos. Para finalizar queremos que los estudiantes logren establecer una relación de carácter general entre la altura de los cuerpos con las velocidades que estos adquieren, esta parte es fundamental pues es en este punto que empezaremos a establecer relaciones de equivalencia entre magnitudes para empezar a abordar el concepto de energía.

<p>4.2.3.2 Actividad 4: Analizando la relación entre alturas de caída y masa en el efecto de la caída de los cuerpos.</p>	<p>En esta actividad mostraremos la relación de equivalencia entre magnitudes: Alturas de caída, masa y velocidades de caída, presentes en la caída de los cuerpos. Esta actividad se dividirá en dos partes: la primera se trata de analizar la caída de los cuerpos e identificar las magnitudes que están variando en dicho sistema y establecer una relación entre ellas; La segunda parte se centrará en el análisis de lo que sucede en el instante que el cuerpo choca con una superficie durante su caída, es decir el efecto que produce, para esto preparamos la siguiente secuencia y las siguientes preguntas orientadoras.</p> <p>Para esta actividad haremos caer canicas, desde una determinada altura, hasta una cubeta llena de arena, lo primero que haremos es pedir a los estudiantes que describan y determinen las magnitudes físicas que están presentes en la situación, una vez los estudiantes determinen las magnitudes presentes en el sistema pediremos a los estudiantes que observen y analicen el fenómeno de caída libre, hecho el análisis haremos las preguntas: ¿Que magnitudes están variando a medida que el cuerpo cae? Y ¿Cómo se pueden relacionar estas magnitudes?, queremos que los estudiantes determinen que en la caída libre varía la altura del objeto con relación a la variación de la velocidad y que a su vez establezcan una relación de carácter general para esta situación.</p> <p>En la segunda parte de la actividad los estudiantes deberán analizar que sucede cuando las canicas caen sobre la arena, por lo que haremos una pregunta: ¿Qué relevancia tiene la masa en esta situación?, cabe resaltar que ellos ya han visto previamente el concepto de caída libre y saben que la caída de los cuerpos no depende de la masa, pero ahora vamos a analizar que sucede en la arena si se varían las alturas y las masas. Primero los estudiantes dejarán caer la misma canica desde diferentes alturas y definir: ¿El hueco de la arena es el mismo cuando se aumenta la altura? Una vez se cuestionen esto, pediremos que dejen caer la canica a una altura y luego dejen caer otro cuerpo de diferente masa a la misma altura, una vez se denoten las diferencias entre la caída de las dos masas, complementaremos lo que ellos ya sabían con lo siguiente: La caída de los cuerpos no depende de la masa, pero el impacto si depende de la masa de los cuerpos. Al finalizar esta explicación realizaremos las siguientes preguntas: ¿Cómo se puede lograr el impacto de la masa menor sea igual al impacto de una la masa mayor? Y ¿Qué relación tiene la masa para este problema?, finalmente haremos una explicación de la importancia de la masa para este caso y daremos una introducción a la energía sin dejar de lado todas las relaciones de equivalencia entre magnitudes que hemos visto hasta el momento.</p>
--	---

Tabla 2: Actividades fase 2.

Fuente: Propia.

El péndulo de Galileo, ¿Hay equivalencias entre magnitudes cuando un cuerpo se está moviendo?

Al inicio de estas sesiones en la que desarrollamos la actividad 3, le recordamos a los estudiantes lo que vimos la clase anterior y retomamos el concepto de equivalencia como el que más relevancia iba a tener en cada una de las sesiones.

Seguido de eso procedimos a explicar en qué consistía el péndulo simple¹² (Fig. 34) y les pedimos a los estudiantes dos cosas: la primera era que observaran si la masa del péndulo llegaba a la misma altura a la que se lanzó y la segunda era que determinaran las magnitudes que estaban presentes en el sistema. Al observar el movimiento del péndulo hubo varias discusiones en los grupos de trabajo respecto a si la masa llegaba a la misma altura, pues unos decían que no llegaba por muy poco y otros decían que si llegaba; para determinar esto los estudiantes recurrieron a diferentes métodos, por ejemplo, un grupo grabó un video, otros ponían objetos como referencia y se llegó a la conclusión general de que el objeto no llega a la misma altura.

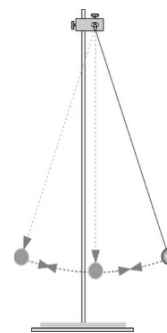


Figura 34: Péndulo de la actividad 3.

Fuente:

<http://labovirtual.blogspot.com/2009/07/el-pendolo-simple.html>

Cuando los estudiantes interactuaban con el péndulo los identificaron las magnitudes que intervenían en el sistema, las magnitudes mencionadas fueron: velocidad, altura, fricción, amplitud y la longitud de la cuerda. El 54,61% de los estudiantes lograron explicar cómo intervenían las magnitudes en el sistema, determinaron como varían la altura y la velocidad en el recorrido del péndulo, mencionaron que la fricción era responsable de que el péndulo no llegue a la misma altura y que si no hubiese ningún tipo de fricción el péndulo siempre llegará a la misma altura; también explicaron como varían la longitud y la amplitud cuando se colocaban los obstáculos en el péndulo, **E5:** “Cuando se pone un obstáculo en la trayectoria del péndulo, pudimos observar que el péndulo no iba a tener la misma amplitud de un lado que del otro”.

Luego de esto, le pedimos a los estudiantes que establecieran una relación entre la altura y la velocidad, los estudiantes determinaron que la velocidad en los extremos del péndulo es cero, y que en el punto de equilibrio es máxima, por lo que empezaron a ver como cambiaba la velocidad cuando se encontraban a diferentes alturas. (imagen de la representación de los estudiantes)

Algunos estudiantes dijeron que la relación entre la altura y la velocidad es directa, pues según ellos a mayor altura el cuerpo tendrá mayor velocidad. Otros dijeron que la relación era inversa pues el cuerpo aumentaba su velocidad a menores alturas y disminuía su

¹² Péndulo simple: Sistema físico que consiste en representar un movimiento oscilatorio por medio una masa unida a un punto fijo por medio de una cuerda inflexible y de masa despreciable.

velocidad a mayores alturas, un estudiante mencionó que en ambos lados del péndulo hay equivalencia y que por lo tanto cuando el cuerpo este a la misma altura sin importar su posición tendrá la misma velocidad, **E1**: “*Si la altura se mantiene simétricamente en cada lado la velocidad se mantendrá igual*” y que si no existiera la fricción, **E6**: “*el péndulo es como un espejo, lo que sucede a un lado también sucede igual en el otro lado*”, esto nos pareció acertado ya que habían estudiantes que podían decir con sus palabras que hay relaciones de equivalencia entre la altura y la velocidad en este fenómeno y también veíamos que algunos describían mejor los fenómenos con respecto a las actividades anteriores.

Alcances	Descripciones de los estudiantes
<ul style="list-style-type: none"> • El 87,92% de los estudiantes entendió que existe una relación entre la altura y la velocidad, y que dicha relación es inversa. • El 40,25% aprendió que es una relación inversa. • El 27,68% explicó que la relación entre la altura y la velocidad es igual en todas las partes del péndulo, es decir que a ciertas alturas le corresponden ciertas velocidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • "A mismas alturas, mismas velocidades" • "Entre mayor sea la altura menor es la velocidad y viceversa" • "Sí ubicamos dos puntos (a, b) a la misma altura podemos ver que su velocidad es igual entre ambos"

Analizando la relación entre alturas de caída y más en el efecto de la caída de los cuerpos

Antes de empezar la actividad hicimos una breve explicación sobre la caída libre, la mayoría de los estudiantes ya sabían algo del tema, puesto que los estudiantes ya lo habían visto anteriormente, recordamos que Galileo había mencionado que la caída no depende de la masa de los objetos y que por lo tanto todos los cuerpos caerán con la misma aceleración. Partiendo de esto les dijimos a los estudiantes que en esta sesión íbamos a ver como influía la masa en la caída libre, y a partir de la explicación anterior empezamos la actividad.

Figura 35:
Situación 1 de la actividad 4.

Fuente: propia.

Para desarrollar esta actividad teníamos un recipiente lleno de sal, dos objetos de diferentes masas, una balanza y una regla de un metro. Primero le pedimos a los estudiantes que dejaran caer los dos objetos desde la misma altura (*Fig. 35*) y que observaran el agujero (que posteriormente denominamos efecto de la caída) que los cuerpos dejaban en la sal, al hacer el 54,60% de los estudiantes dijo que los agujeros eran diferentes ya la masa mayor producía más efecto que la masa menor, **E1**: “*las magnitudes que intervienen en esta situación son la*

masa, la altura y la velocidad”, algunos dijeron que la masa menor produce más efecto ya que según ellos se hunde más fácil, pero luego de varios intentos evidenciaron que en realidad la masa mayor producía un mayor efecto. Una vez todos los estudiantes observaron esto les preguntamos cual era la razón por la que el efecto era diferente, la mayoría decían que había una relación directa entre la masa y el impacto en la caída, otros tomaban ejemplos de la vida cotidiana para dar explicación a esto, un grupo dijo que esta actividad podía ser una emulación a la caída de los meteoritos.

Luego de estas discusiones, que para nosotros fueron muy interesantes, les preguntamos a los estudiantes que habría que hacer para que los efectos en la caída de los dos objetos sean iguales, la mayoría dijo que habría que dejar caer más alto el de menor masa para hacer esto posible (*Fig. 36*), así que los estudiantes empezaron a variar las alturas a las cuales dejaban caer los objetos y tomaban medida de estas alturas.

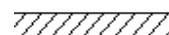


Figura 36:
Situación 2 de la actividad 4.

Fuente: *Propia.*

A medida que los estudiantes intentaban realizar el mismo efecto en la caída, nosotros les preguntábamos qué observaban con el efecto a medida que variaban las alturas, muchos dijeron que a mayor altura mayor efecto pero que el problema era encontrar la altura con la que se lograran igualar los efectos, un estudiante mencionó, **E7:** “*se invierte proporcionalmente la altura y la masa. De esta forma el objeto más pequeño que es el que se lanza de mayor altura, iguala el peso del otro, gracias a la velocidad*” y que, **E6:** “*hay que compensar el gramaje de una masa grande en relación de la altura de la masa más pequeña*”, esto nos pareció importante porque los estudiantes encontraron que existe una relación entre la masa y las alturas y que la masa siempre influye en el efecto de la caída.

Después de muchos intentos los estudiantes lograron hacer que las masas causaran un efecto muy parecido, como los estudiantes median la altura a la que dejaban caer las masas, les pedimos que midieran la masa de estas y que una vez que tuviesen estos datos establecieran cual era la relación entre la altura y la masa. El 14,35% de los estudiantes dijo que la relación entre estas dos magnitudes era inversa y además era lineal; Un estudiante planteó el siguiente ejemplo, **E5:** “*Si tengo una masa que es tres veces mayor que la otra, lo que tengo que hacer es lanzar la más pequeña tres veces más alto que la grande*”, bajo esta misma idea explicaron muchos estudiantes, pero una estudiante nos planteó la siguiente expresión:

$$\frac{P_1}{P_2} h_1 = h_2$$

Donde P_1 es la masa grande, P_2 es la masa pequeña, h_1 la altura a la que se lanza la masa grande y h_2 es la altura a la que se lanza la masa pequeña. Esta estudiante nos decía que con esta ecuación describe la relación que hay entre la masa y la altura en este fenómeno, esto es importante, porque además de ella, algunos estudiantes ya podían escribir matemáticamente la relación entre estas magnitudes; cabe aclarar que este no es el fin de la actividad, pero para nosotros es bueno que los estudiantes logren hacer una matematización de lo que se vio en clase.

El 54,60% de los estudiantes estableció una relación de carácter general entre la altura y la masa, además una estudiante menciona que la velocidad también se ve afectada, pues varía solamente cuando varía la altura, es decir que cuando el cuerpo se lance a mayor altura alcanzara una mayor velocidad en la caída.

A diferencia de estos estudiantes, hubo un grupo que no logró el objetivo de la sesión, nos dimos cuenta de que para ellos no era muy claro que había una relación entre la altura y la masa el impacto que genera una masa, y lo que hicimos fue explicarles con mayor claridad cuál era la relación que había entre estas magnitudes: Para lograr el mismo efecto en la caída la masa pequeña se debe dejar caer a mayor altura, por el contrario la masa mayor requiere una menor altura; hay que calcular el número de veces que la masa menor cabe en la masa mayor (multiplicación) y este número se le multiplica por la altura de la masa menor; y así se logra el mismo efecto.

A lo largo de toda la actividad nos dimos cuenta de que los estudiantes reconocían las magnitudes que estaban presentes en esta actividad: masa, altura y velocidad; y podían explicar cómo afectaban en el fenómeno que se estaba presentando, para nosotros fue un aspecto muy importante porque a diferencia de las actividades anteriores los estudiantes eran capaces de determinar cómo afecta cada una de las magnitudes que están presentes en los diferentes fenómenos.

Alcances	Descripciones de los estudiantes
<ul style="list-style-type: none"> • Los estudiantes establecieron cual es la relación entre la masa y la altura. • Los estudiantes pudieron determinar cuáles en las magnitudes que están presentes en el sistema y como afectan estos en el fenómeno. • El 7,69% de los estudiantes logró establecer una relación de carácter matemático entre la masa y la altura. 	<ul style="list-style-type: none"> • "llegamos a la conclusión que el peso de las masas va a ser equivalente a las alturas inversamente proporcional" • "finalmente encontramos que hay una relación inversamente proporcional entre las masas y su altura; lo que nos dará la misma cantidad"

4.2.4 Energía, Transformación y Convertibilidad de fenómenos.

Para la tercera y última fase de nuestra implementación trabajamos alrededor del concepto de energía con el objetivo de dar una explicación a *¿Por qué siempre se cumplen las mismas relaciones en el péndulo?* Para esta explicación mostramos a los estudiantes que la energía es la que permite la invariabilidad de las relaciones en dichos sistemas, y además trabajaremos el principio de conservación de la energía bajo esa condición de invariabilidad, y a partir de dicho principio, abordaremos las transformaciones entre la energía.

4.2.4.1 Actividad 5: *¿Es posible establecer una forma de caracterizar los fenómenos mecánicos a partir de la equivalencia de magnitudes?*



Figura 37: Pista de patinaje.

Fuente:

https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_es.html

En esta actividad se hizo uso del trabajo realizado en las sesiones anteriores, teniendo en cuenta esto, planteamos la siguiente pregunta: *¿Por qué siempre se cumplen las mismas relaciones en el péndulo?* Es decir, porque en ambos fenómenos se puede afirmar que existe una relación entre la altura y la velocidad y *¿porque esta relación permanece invariante?*, para resolver esta pregunta, es necesario hablar de la energía. Propusimos trabajar con una plataforma web (PHET) que presenta de manera interactiva varios fenómenos físicos, en este caso trabajaremos el juego en el que se relaciona la energía cinética, la energía potencial y la energía térmica, esto con el fin de trabajar con los estudiantes alrededor de la invariabilidad de la relación altura y velocidad, en términos de la energía mecánica de los sistemas y finalmente abordar el tema de transformación, en este caso de energía mecánica en energía térmica a partir de la fricción entre dos superficies.

4.2.4.2 Actividad 6: Un acercamiento al principio de conservación de la energía a través de un motor térmico: Conservación, transformación y conversión de fenómenos.

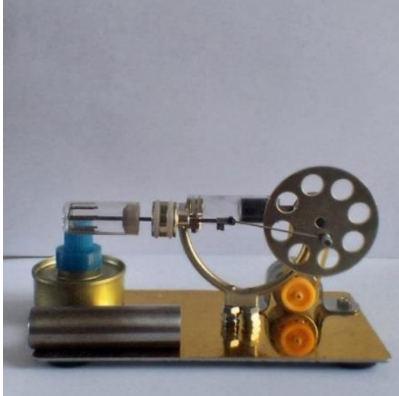


Figura 25

Para finalizar nuestra implementación haremos uso de todo lo visto en las actividades y también nos apoyaremos en las máquinas de transformación de la energía, inicialmente haremos una explicación donde se ve este fenómeno de transformación, por ejemplo, al frotar las manos cuando hace frío, cuando se plancha la ropa, cuando montamos en un carro, etc. Cabe resaltar que esta actividad estará centrada más a una explicación por parte de nosotros sobre el fenómeno de transformación sin dejar de lado la participación de los estudiantes, que es lo más importante en nuestra implementación.

Como actividad final y con el propósito de dar cierre al trabajo de aula realizado, presentaremos una máquina donde se evidencie la transformación de energía, la cual ha sido ensamblada por nosotros, se trata de un Motor Stirling.

Para el cierre de esta sesión, se realizará una charla en conjunto con los estudiantes alrededor del funcionamiento de la máquina y de los conceptos físicos que allí se pueden evidenciar, relacionaremos toda la temática vista a lo largo de las sesiones anteriores al igual que haremos uso de todos los conceptos que se trataron con la finalidad de que los estudiantes estén en la capacidad de reconocer que magnitudes intervienen allí, y describir el funcionamiento de la máquina a partir de los conceptos físicos enseñados previamente.

Tabla 3: Actividades fase 3.

Fuente: Propia.

¿Es posible establecer una forma de caracterizar los fenómenos mecánicos a partir de la equivalencia de magnitudes?

En esta clase empezamos hablando de las actividades anteriores, recordando los sistemas que trabajamos en el laboratorio y también todas las relaciones entre magnitudes que vimos a lo largo de las actividades. Les dijimos a los estudiantes que estas actividades tenían algo en común, ya que en las tres lo que hacíamos era lograr el mismo efecto, pero con diferentes configuraciones, por ejemplo, en el plano inclinado y la balanza se logra el equilibrio haciendo equivalentes dos configuraciones distintas, en el péndulo la relación entre la altura y la velocidad permanecía constante sin importar si se ponía un obstáculo, y en la caída libre se buscaba hacer el mismo efecto pero de diferente manera.

Luego de esta explicación fue necesario hacer una contextualización histórica (la cual está en nuestro marco teórico) mencionando que varios científicos realizaron muchos trabajos en búsqueda de una magnitud que describiera lo que sucedía en todos los fenómenos, y esta magnitud es la energía. Para explicar este concepto recurrimos al simulador *PHET*, lo primero que hicimos fue poner una situación parecida a la del péndulo (Fig. 38), pero esta vez no había ningún tipo de fricción. Los estudiantes observaron y establecieron que si no hay ningún tipo de fricción la relación entre la altura y la velocidad siempre iba a ser constante por lo que el cuerpo no se iba a detener, entonces determinamos que la magnitud que da cuenta a este fenómeno es la energía y en este caso se manifestaba de dos maneras distintas, una es la energía cinética y la otra es la energía potencial, y establecimos que estas dos magnitudes relacionan las magnitudes vistas en las actividades anteriores (altura, masa y velocidad), la energía cinética se relaciona con la velocidad y la energía potencial se relaciona con la altura. También explicamos que estas relaciones siempre permanecían constantes ya que la suma de estas dos energías iba a ser igual a la energía total del sistema y que esta nunca cambiaba (Fig. 39).



Figura 38: Energía en la pista de patinaje.

Fuente:

https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_es.html

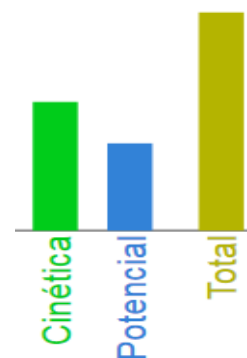


Figura 39: Grafico de energías.

Fuente:

https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_es.html

De esta manera los estudiantes empezaron a mirar la relación entre la energía cinética y la energía potencial, pues el simulador daba la posibilidad de crear varias pistas (Fig.40). Los

estudiantes establecieron que la relación entre las dos energías era inversa pues a medida que una aumentaba la otra disminuía, **E8**: “*un patinador descenderá por una rampa y convertirá energía potencial en energía cinética*”, pero la energía total siempre permanecía igual. Tras ver que los estudiantes establecieron que la energía total no cambiaba les presentamos el principio de conservación de la energía: “*La energía no se crea ni se destruye solo se transforma*” mostrando que la energía se convierte de cinética a potencial y viceversa a lo largo del recorrido, por lo que hay una transformación constante de energía, el 38,70% de los estudiantes decían que ambas energías son la misma cosa, pero expresadas de diferente manera.



Figura 40: Pista 3, simulador PHET.

Fuente: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_es.html

Cuando los estudiantes entendieron en qué consistía la relación entre energía cinética y potencial, les recordamos la situación del péndulo cuando no llegaba a la misma altura de la que fue lanzado, y les preguntamos qué sucedía con la energía cinética y potencial en ese caso, pues era evidente que no se conservaban, entonces ¿El principio de conservación era falso?, los estudiantes dijeron que era por la fricción que la masa del péndulo no llegaba a la misma altura pero les fue difícil explicar que pasaba con la energía, así que les pedimos a todos que se frotaran las manos y que dijeran que suceda, todos dijeron que las manos se calentaban, el rozamiento que hay al mover las manos produce calor y que lo que hacían era transformar movimiento en calor. Volvimos a preguntar que sucedía en el caso del péndulo y algunos decían que la energía se estaba transformando en calor, o en otra cosa.

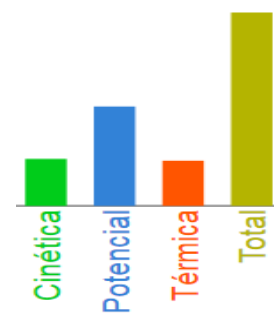


Figura 41: Grafico 2 de energías.

Fuente: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_es.html

En el simulador se puede poner el caso en el que hay fricción entre las superficies, allí los estudiantes observaron lo mismo que pasaba en el péndulo y además observaron que evidentemente la energía cinética y potencial se estaba transformando en otro tipo de energía, **E8**: “*Mientras la velocidad, energía cinética disminuye, la fricción y la energía calórica aumentan*” la cual denominamos calor o energía térmica (Fig. 41). Fue así como logramos dar un mayor sustento al principio de conservación pues los estudiantes mencionaron que la energía total siempre iba a ser la misma, pero se iba a estar transformando.

Alcances	Descripciones de los estudiantes
<ul style="list-style-type: none"> • Se logró acercar a los estudiantes al concepto de energía y al principio de conservación. • El 69,13% de los estudiantes lograron relacionar la energía con las actividades vistas en clases anteriores. • Los estudiantes lograron comprender que la energía total de un sistema es la suma de la energía cinética, potencial y térmica. • El 38,70% de los estudiantes caracterizaron las magnitudes de las cuales dependen cada tipo de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • "A medida que va bajando por la rampa va perdiendo energía potencial, pero va ganando energía cinética, pero siempre ambas energías se complementan para igualar la energía total ya que esta no es cambiante, también se complementan con la calórica cuando hay fricción" • "La energía potencial y la cinética irán transformándose entre sí, así que siempre contará con la misma energía"

4.2.5 Un acercamiento al principio de conservación de la energía a través de un motor térmico: Conservación, transformación y conversión de fenómenos

Esta sesión inició con una charla a cerca de todas las actividades vistas anteriormente y su relación, hablamos de las magnitudes vistas anteriormente, sus relaciones de equivalencia y como estas caracterizan los diferentes tipos de energía.

Una vez se abordaron estos temas procedimos a mostrar el prototipo del motor Stirling y analizar en conjunto con los estudiantes el funcionamiento y las transformaciones de energía que se presentan en la máquina. Inicialmente empezamos explicando la primera transformación que se presenta en la máquina, la cual es de calor a movimiento, en este punto los estudiantes relacionaron esta transformación con la actividad del simulador y mencionaron que era la misma transformación, pero inversa. Nosotros les explicamos que estos procesos de transformación no son unidireccionales los cuales se denominan procesos reversibles y que es posible pasar de un tipo de energía a otro y viceversa. Le preguntamos a los estudiantes que tipo de energía era la que se evidenciaba en el movimiento del rotor, la mayoría menciona que era energía cinética y otros no lograron mencionar que tipo de energía era, les explicamos a los estudiantes que esta energía era cinética, pero en este caso era rotacional y se caracteriza de manera distinta a la energía cinética traslacional.

Luego procedimos a analizar la transformación de energía cinética rotacional a energía eléctrica, para esto teníamos un globo y mostramos cómo es posible crear electricidad a través de movimiento por medio de fricción, obviamente el proceso de transformación en la máquina es más complejo, pero con ayuda del globo fue más fácil que los estudiantes entendieran como se puede pasar de energía cinética a electricidad.

Les preguntamos a los estudiantes como relacionaban la máquina con las otras actividades mencionaron que en cada una de las partes de la máquina se hace lo mismo, pero de diferente forma, explicando que en los tres casos hay energía, pero manifestada de diferente manera. Un estudiante relacionaba esto con el caso de la caída libre diciendo que en la caída buscábamos hacer el mismo efecto, pero con diferente configuración en el sistema y que lo que sucedía en la máquina era lo mismo.

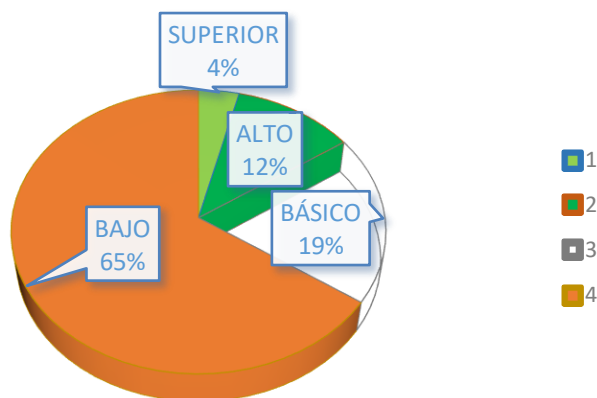
Finalmente les explicamos que hubo varios científicos que plantearon una equivalencia entre estas energías, no lo explicamos desde una perspectiva matemática, pero lo hicimos mediante la equivalencia de magnitudes siendo así más sencillo de entender para los estudiantes.

Alcances	Descripciones de los estudiantes
<ul style="list-style-type: none"> • Los estudiantes lograron relacionar los tres tipos de energía presentados en el motor: Mecánica, térmica y eléctrica. • Logramos hacer una profundización sobre el principio de conservación visto la clase anterior. • Los estudiantes entendieron que hay una relación de equivalencia entre los tres tipos de energía presentados. • La actividad experimental sirvió para que los estudiantes evidenciaran el principio de conservación, logrando que fuese más claro este concepto para ellos. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>“El modelo de Stirling se relaciona con las otras situaciones porque en todas se buscaba el equilibrio, cada una a su manera, así mismo en este modelo el efecto del calor en las partículas de aire era el mismo en el movimiento y la energía de los leds logrando establecer una igualdad”</i> • <i>“La máquina de Stirling en la cual nos muestra el cambio de las energías y vemos que la energía se transforma en diferentes tipos de energía como podría ser: energía térmica, energía cinética, etc.”</i>

4.3 Estadística Descriptiva

Considerando que el tipo de metodología bajo el cual desarrollamos la implementación, que es de carácter mixto, proponemos finalizar la sistematización de los datos obtenidos presentando una estadística. Nos permitirá analizar de manera objetiva los resultados de nuestra intervención en el aula, y de esta manera, presentar de manera concreta el impacto que tuvo la propuesta realizada en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

1RA SESIÓN 10-03



4TA SESIÓN 10-03

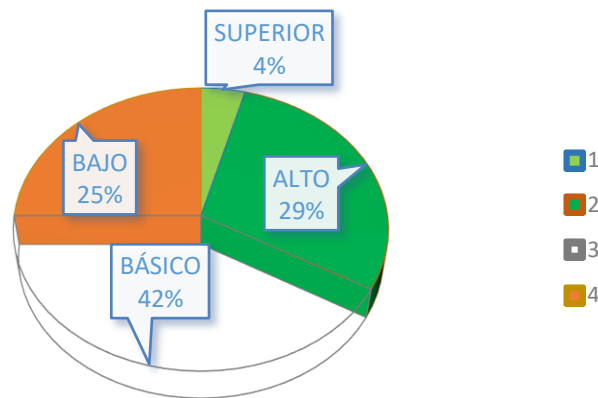
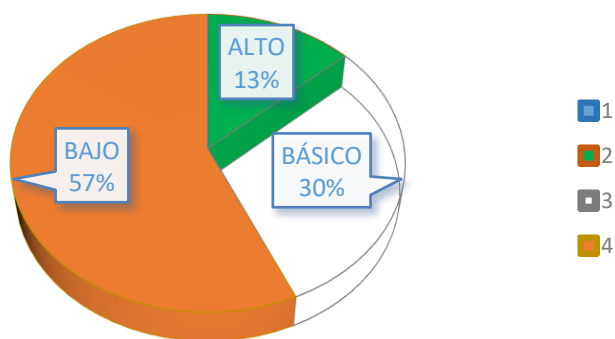


Figura 42: Gráfico circular del desempeño del curso 1003

En las gráficas anteriores mostramos en paralelo la evaluación a la argumentación y comprensión que desarrollaron los estudiantes del grado 1003 en forma de reflexión escrita, en la 1ra y 4ta sesión, respectivamente, se puede apreciar una mejora sustancial en lo que respecta a la sesión inicial y a la sesión final, disminuyendo en cerca de un **40%** las falencias que presentaron los estudiantes respecto a la 1ra sesión en cuanto a argumentación, escritura, redacción y comprensión de los conceptos presentados.

1RA SESIÓN 10-02



4TA SESIÓN 10-02

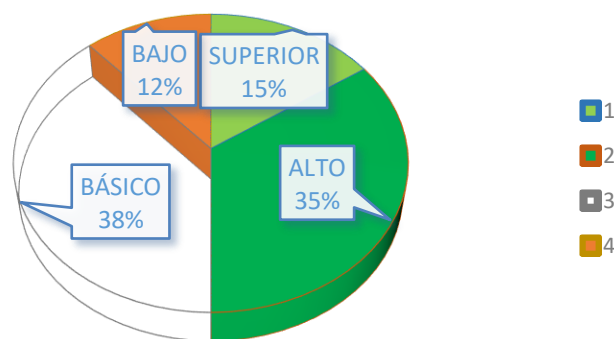


Figura 43: Gráfico circular del desempeño del curso 10-02

En las gráficas anteriores mostramos en paralelo la evaluación a la argumentación y comprensión que desarrollaron los estudiantes del grado 1002 en forma de reflexión escrita, en la 1ra y 4ta sesión, respectivamente, vemos que el avance es significativo, pues en la 4ta sesión el **15%** del curso alcanza el nivel “*superior*”, lo cual quiere decir que alcanzaron la mayoría o totalidad de los objetivos propuesto en la rúbrica de evaluación, además que las falencias disminuyeron en un **45%** en el total de los estudiantes.

En primera instancia vamos a presentar el análisis estadístico que realizamos a los resultados en el curso 10-03, a partir de los escritos que entregaron los estudiantes:

Valoración	Número de estudiantes curso 10-03			
	1	2	3	4
SUPERIOR	1	2	0	1
ALTO	3	7	7	7
BÁSICO	5	11	8	10
BAJO	17	6	8	6

Valoraciones obtenidas por cada estudiante.

1 (1ra sesión) (%)	2 (2da sesión) (%)	3 (3ra sesión) (%)	4 (4ta sesión) (%)
3,84	7,69	0	4,17
11,54	26,92	30,43	29,17
19,23	42,30	34,78	41,67
65,38	23,08	34,78	25

Porcentaje de estudiantes correspondiente a su desempeño.

SUPERIOR
ALTO
BÁSICO
BAJO

Convenciones

Estudiantes que asistieron	26	26	23	24
Estudiantes que no asistieron	3	3	6	5
Total estudiantes 10-03	29	29	29	29

Estudiantes que participaron y faltaron por sesión

89,66	89,66	79,31	82,76	% Estudiantes que asistieron por sesión
10,34	10,34	20,69	17,24	% Estudiantes que faltaron por sesión
100	100	100	100	% Total

Porcentaje de estudiantes que participaron por sesión

En las tablas anteriores mostramos el rendimiento que tuvo el curso a medida que se avanzó en el proceso de implementación, se puede observar una mejora por parte de los estudiantes a medida que avanzaron las sesiones, en la tabla 1, se presenta un análisis en el cual se relaciona la valoración obtenida por los estudiantes en cada sesión, de esta tabla se puede inferir que los estudiantes en la sesión 1 correspondiente a la actividad del plano inclinado y la sesión 3 correspondiente a la actividad del simulador PhET presentan los resultados más bajos. En la tabla 2 se pueden observar los porcentajes de rendimiento en cada una de las sesiones resaltamos la primera sesión donde el 65,38% de los estudiantes tienen un rendimiento bajo, razón por la cual se puede decir que los estudiantes presentan bastantes dificultades para reconocer las magnitudes físicas que intervienen en el sistema, proponer una solución al problema que se planteó y finalmente realizar una descripción en torno a la actividad realizada. Por último, en las tablas 4 y 5, presentamos un análisis alrededor de los estudiantes que asistieron a cada una de las sesiones y participaron activamente del proceso de implementación, en la tabla 4 se observa la cantidad de estudiantes y en la tabla 5 el porcentaje correspondiente con relación al total de estudiantes del curso 10-03.

A partir del análisis anterior y a manera de conclusión del proceso de implementación en el curso 10-03, podemos decir que las actividades experimentales desarrolladas aportaron en la medida que los estudiantes mejoraron de forma exponencial la comprensión de los temas tratados en las diferentes sesiones, cabe recordar que estas sesiones son de carácter secuencial, por lo cual el crecimiento en cuanto a comprensión de los fenómenos que presentaron los estudiantes fue coherente con la planeación de las actividades y la ejecución de la propuesta, adicionalmente se evidenció un crecimiento en los escritos que realizaban sesión a sesión los estudiantes, pues a medida que se iba avanzando en las actividades, los escritos fueron mucho más profundos, explicativos, lograban establecer relaciones de las diferentes magnitudes que intervenían en los sistemas, caracterizarlos a partir de su configuración y a partir de esto establecer condiciones para lograr el equilibrio, lo que se constituyó como un objetivo principal en cada una de las sesiones, en las actividades de la fase 3, lograron definir los diferentes tipos de energía (potencial y cinética) a partir de las magnitudes con las que se relaciona cada una de estas: hablar de energía potencial en términos de la altura y de la energía cinética en términos de la velocidad, argumentar alrededor del principio de conservación de la energía en términos de las compensaciones y relaciones que se presentan en los sistemas a partir de los diferentes tipos de energía que estén interactuando.

En esta sección vamos a presentar el análisis estadístico que se realizó a los resultados obtenidos con el curso 10-02, tomando como base los escritos que entregaron los estudiantes al final de cada sesión:

Valoración	Número de estudiantes curso 10-02			
	1 (1ra sesión)	2 (2da sesión)	3 (3ra sesión)	4 (4ta sesión)
SUPERIOR	0	2	0	4
ALTO	4	4	12	9
BÁSICO	9	12	15	10
BAJO	17	12	4	3

Valoraciones obtenidas por cada estudiante.

1 (1ra sesión) (%)	2 (2da sesión) (%)	3 (3ra sesión) (%)	4 (4ta sesión) (%)
0	6,67	0	15,38
13,33	13,33	38,71	34,62
30	40	48,39	38,46
56,67	40	12,90	11,54

Porcentaje de estudiantes correspondiente a su desempeño.

SUPERIOR
ALTO
BÁSICO
BAJO

Convenciones

Estudiantes que asistieron	30	30	31	26
Estudiantes que no asistieron	2	2	1	6
Total estudiantes 10-03	32	32	32	32

Estudiantes que participaron y faltaron por sesión

93,75	93,75	96,875	81,25	% Estudiantes que asistieron por sesión
6,25	6,25	3,125	18,75	% Estudiantes que faltaron por sesión
100	100	100	100	% Total

Porcentaje de estudiantes que participaron por sesión

5 Conclusiones

La actividad experimental llevada al ámbito educativo, pilar sobre el cual se basó nuestra propuesta de aula, nos aportó herramientas en cuanto al afianzamiento del conocimiento adquirido a lo largo de nuestro paso por el departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Nos permitió llevar al aula una propuesta distinta a la que se ejecuta tradicionalmente en cuanto al tema de nuestro trabajo de grado (energía), con la cual mostramos que es posible llevar contenidos que demandan un nivel de abstracción significativo para los estudiantes. La propuesta se orientó de tal manera que pudiera ser llamativa, y en la cual, los estudiantes interactúen directamente con las prácticas científicas, y que pudiera también aumentar el interés por el conocimiento científico y lograr, en términos de los resultados obtenidos, una mejor comprensión de los contenidos a medida que las sesiones fueron avanzando.

En torno a los objetivos propuestos inicialmente, y a la pregunta bajo la cual se sustenta este trabajo de grado, podemos concluir que la construcción de conocimiento con base en actividades experimentales, y en conjunto con los estudiantes que asumen un rol de investigadores dentro de su proceso de aprendizaje, resulta ser significativa. Evidenciamos que varios aspectos: la comprensión, conceptualización y comunicación de sus análisis a través de la escritura, fue en aumento a medida que avanzaban las sesiones, la capacidad de realizar hipótesis, proponer diferentes configuraciones a los sistemas presentados para lograr el objetivo que guiaba cada sesión, argumentar de manera más sólida sus posturas en cuanto a la conceptualización de los temas tratados.

Con base en los resultados obtenidos, podemos afirmar, que la respuesta de los estudiantes a nuestra implementación fue aceptada de buena manera. Esto se evidencia en las tablas estadísticas mostradas, pues gran parte de los estudiantes fue mejorando conforme avanzaban las actividades. El 60.99% de los estudiantes mostró un nivel de argumentación bajo en la primera actividad, y en las siguientes actividades este porcentaje fue disminuyendo, ya que para la última actividad solamente el 18% seguía mostrando un nivel de argumentación bajo, y el 42,99% de estudiantes mejoró de tal manera que algunos alcanzaron un nivel de argumentación básico y otros alcanzaron un nivel de argumentación alto, de acuerdo con la rúbrica de trabajo. Para muestra de esto, una estudiante se destacó al realizar una interpretación matemática general de uno de los fenómenos que estaba estudiando en una actividad, esto demuestra que se obtuvo un nivel de entendimiento más alto frente a la actividad para poder organizar cada uno de los factores implicados en el experimento en una relación matemática de proporciones, como se muestra en la sistematización.

Por lo anterior, podemos decir que la actividad experimental aportó de manera significativa en el proceso de aprendizaje, siendo esto una razón para afirmar que la actividad experimental les proporcionó herramientas a los estudiantes para construir y adquirir un nuevo conocimiento, y también para mejorar el nivel de argumentación frente a los fenómenos que se presentaban en cada actividad.

El trabajo en grupo realizado por los estudiantes aportó a una mejor comprensión de los fenómenos que se estudiaban en cada sesión. Pudimos evidenciar que los estudiantes que tenían dificultades para entender los fenómenos presentados se apoyaban de sus compañeros de grupo para poder comprender lo que se estaba haciendo en la clase. También observamos que el trabajo en grupo aporta en el mejoramiento de la argumentación, pues a medida que los estudiantes discutían lo que observaban tienen más herramientas para argumentar o refutar hipótesis que los mismos estudiantes planteaban.

Es importante resaltar que el método de recolección de la información no fue el mejor, pues muchas veces en el aula de clase los estudiantes presentaban argumentos y discusiones orales, que para nosotros eran acordes con los objetivos que planteamos en cada actividad, y lastimosamente, no todos estos argumentos y discusiones quedaron plasmados en lo que ellos escribían al final de cada clase. Fue difícil recolectar toda esa información en las notas de clase, pero los datos que se recogen en estas notas eran las discusiones y argumentos que tuvieron más relevancia en el desarrollo de cada actividad. Durante el avance de actividades tuvimos que realizar una serie de correcciones a las indicaciones mostradas, para que los estudiantes lograrán presentar un mejor escrito con respecto a nuestras especificaciones.

También cabe aclarar que cuando nos referimos a los estudiantes que presentaron un desempeño bajo, no queremos decir que no adquirieron ningún conocimiento en estas actividades o que su proceso de aprendizaje no mejoró, sino que el nivel de argumentación escrito no fue bueno en relación a los objetivos planteados en las actividades, pues estos estudiantes también presentaban buenas ideas al momento de discutir lo que ocurría en cada uno de los fenómenos, sin embargo, no lograron desarrollarlas muy a fondo en los escritos, por lo que casi siempre se quedaban en ideas sin mucho sentido.

Finalmente, las nociones de equilibrio y equivalencia permiten la comprensión del concepto de energía, porque en los fenómenos que se desarrollaron en las actividades se veían efectos que no eran iguales a las causas que los producían, pero eran proporcionales a dichas causas. Por lo que los estudiantes aprendieron que hay fenómenos que no permanecen iguales, pero se conservan en otro tipo de fenómenos.

Destacamos la búsqueda y lectura de fuentes, tanto primarias como secundarias, que se realizó a lo largo del desarrollo del marco teórico, tales como los trabajos realizados por Mach y Lindsay entorno al desarrollo histórico y conceptos que precedieron y aportaron en gran medida a la universalización de la energía como magnitud que relaciona y unifica campos de estudio de la física que se consideraban independientes. Aspectos disciplinares y teóricos que logramos llevar al diseño de actividades experimentales para que fuesen coherentes con los objetivos planteados.

El estudio histórico del desarrollo del concepto de energía nos permitió entender que es posible abordar este concepto a partir de las nociones de equilibrio y equivalencia. Gracias a la investigación realizada en el marco teórico como base disciplinar, nosotros logramos acercar a los estudiantes a la conceptualización de energía sin la necesidad de tener que abordar en primera medida conceptos como fuerza y trabajo. Estas actividades experimentales nutren nuestro trabajo en la medida en que los estudiantes fueran capaces de

realizar un proceso de abstracción del concepto, ya que como se sabe, la energía no es tangible ni visible para ninguna persona, pero allí entra a jugar la propuesta didáctica, donde los mismos estudiantes actúan sobre el fenómeno y producen conocimiento en relación con sus acciones.

Para nosotros, es importante que los profesores logren llevar este tipo de actividades al aula, es decir, que puedan desarrollar otras alternativas que aporten de manera significativa al proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto del mismo profesor como de los alumnos, pues así ellos están más inmersos en las actividades, y son partícipes en la construcción de nuevos conocimientos, ya que los estudiantes adquieren un rol de investigadores, lo que ayuda a potenciar habilidades científicas que son la base de motivación que lleva a los jóvenes a estudiar carreras que tengan que ver con investigación científica.

6 Referencias

- Agudelo Restrepo, C. C. (2015). *Orígenes de las leyes de conservación como un principio unificador de las Ciencias Naturales. El caso de la invarianza de la energía en la física*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Ayala, M., Guerrero, G., & Malagón, F. (1998). *Elementos para introducir el concepto de energía mecánica sin recurrir al concepto de trabajo*. Bogotá D.C: Universidad Pedagógica Nacional.
- Ayala, M., Malagón, F., Garzón, I., Castillo, J., & Garzón, M. (2001). *Introducción a la problemática de la estática: El principio de las velocidades virtuales*. Bogotá, D.C.
- Bravo, M. (2014). *La Concepción Galileana Del Equilibrio Mecánico: Diálogos Con La Filosofía Natural Medieval*. Santiago de Chile.
- Clausius, R. (1879). Mathematical Introduction. En R. Clausius, *The Mechanical Theory of Heat* (págs. 1-19). London: Macmillan and co.
- Forero, M. (2013). *El equivalente mecánico del calor*. Bogotá D.C.
- Franklin, A., & Perovic, S. (1998). *El Experimento en Física*. California: The Stanford Encyclopedia of Philosophy .
- Galilei, G. (1638). Jornada II. En G. Galilei, *consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Venecia.
- Giancolli, D. (S.f). *Física principios con aplicaciones sexta edición vol. 1*.
- Hierrezuelo, M., & Molina, G. (1990). *Una propuesta para introducir el concepto de energía en el bachillerato*.
- Holton, G., & Stephen, B. (1987). Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas. En G. Holton, & B. Stephen, *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas* (pág. 123). Barcelona : Editorial Reverté, S.A.
- Kuhn, T. (1997). *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lequeux, J. (2008). Francois Arago, un científico generoso - Física y Astronomía en el siglo XIX. En J. Lequeux, *Francois Arago, un científico generoso - Física y Astronomía en el siglo XIX*. Paris: EDP Sciences - Observatorio de París.
- Lindsay, B. (1975). Energy: Historical Development of the Concept. En B. Lindsay, *Energy: Historical Development of the Concept* (págs. 160-161). Stroudburg: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.

- Mach, E. (1911). On the history of the theorem of the conservation of work. En E. Mach, *History and root of the principle of the conservation of energy* (págs. 21-22). Chicago: Library of the Johns Hopkins University.
- Magie, W. (1935). *A source book in physics*.
- Planck, M. (1998). Reversibilidad e Irreversibilidad. *Reversibilidad e Irreversibilidad* (págs. 1-19). Columbia: Dover publications INC; Toronto.
- Tippens, P. (S.f). *Física I conceptos y aplicaciones*. MC. Graw Hill.
- Vélez Uribe, F. (2002). El principio de Conservación del Impulso y las Leyes de la Comunicación del Movimiento en el Siglo XVII. En F. Vélez Uribe, *El principio de Conservación del Impulso y las Leyes de la Comunicación del Movimiento en el Siglo XVII* (págs. 183-203). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Vélez Uribe, F. (2002). El Principio de la Conservación del Impulso y las Leyes de la Comunicación del Movimiento en el Siglo XVII. En F. Vélez Uribe, *El Principio de la Conservación del Impulso y las Leyes de la Comunicación del Movimiento en el Siglo XVII* (págs. 205 -206). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Velez, F. (2002). Christiaan Huygens. En F. Velez, *El principio de la conservacion del impulso y las leyes de la comunicacion del movimiento en el siglo XVII*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Wesi, R., Smit, J., & Thomson, N. (2004). Conceptual difficulties associated with the energy concept as experienced by science teachers in north west province of South Africa . En D. Grayson, *What Physics Should We Teach?* (págs. 264-271). Durban: South African institute of physics.

7 Anexos

7.1 A.1. Desarrollo propuesto por Leibniz para caracterizar la “vis viva”

En el capítulo 2: *Relaciones de magnitudes que se conservan en los fenómenos mecánicos* mostramos el trabajo que realizó Leibniz para caracterizar la magnitud que mide el efecto en la caída de los cuerpos, retomando el trabajo de Galileo acerca de mv como relación que mide el efecto en la caída de los cuerpos. Retomando el ejemplo de los ladrillos (*Fig. 36*) Leibniz hace un análisis mediante el planteamiento de Galileo.

Para un ladrillo se tiene:

$$(m * v_{f1}) \tag{50}$$

Para cuatro ladrillos se tiene:

$$(m * v_{f2}) \tag{51}$$

La velocidad final (v_f) en la caída de los cuerpos está determinada por:

$$v_f = \sqrt{2gh} \tag{52}$$

Entonces:

Para un ladrillo se tendrá:

$$m\sqrt{(2g(4h))} \tag{53}$$

$$m\sqrt{(8gh)} \tag{54}$$

Y para cuatro ladrillos se tendrá:

$$4m\sqrt{(2gh)} \tag{55}$$

Sabemos que $\sqrt{16} = 4$ por lo que podemos reescribir la ecuación de la siguiente manera:

$$m\sqrt{32gh} \tag{56}$$

Leibniz decía que el efecto de la caída en estos dos casos era el mismo, pero demostró que mediante la ecuación de Galileo no era posible encontrar una igualdad, porque:

$$m\sqrt{8gh} \neq m\sqrt{32gh} \tag{57}$$

Por lo que Leibniz propone medir el efecto de la caída de los cuerpos a través de la ecuación ($m * v^2$), y lo hace de la siguiente manera:

Para un ladrillo:

$$(m * v_{f1}^2) \quad (58)$$

Para cuatro ladrillos:

$$(4m * v_{f2}^2) \quad (59)$$

Reemplazando la ecuación (52) en (58) y (59), tendremos que:

Para un ladrillo:

$$m2g(4h) \quad (60)$$

Para cuatro ladrillos:

$$4m2gh \quad (61)$$

Por lo que para ambos casos se tendrá que el efecto en la caída de los ladrillos es:

$$8mgh \quad (62)$$

De esta manera Leibniz dice que es posible medir los efectos del movimiento de los cuerpos, y a esta relación: $(m * v^2)$ la nombra "vis viva".

7.2 A.2. Registros Gráficos

7.2.1 Actividad 1: Identificando la acción del peso sobre un plano inclinado, ¿Se reduce o aumenta la acción del peso en un plano inclinado?

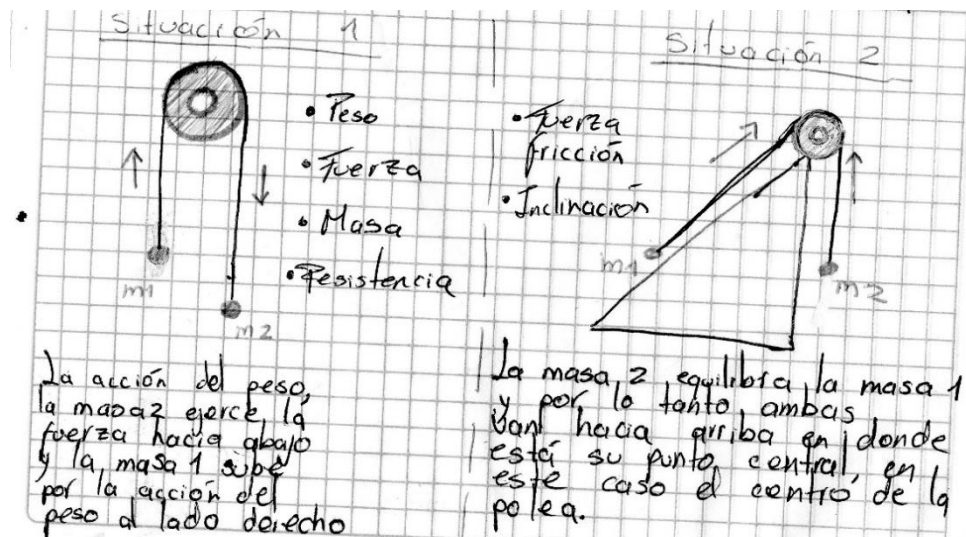


Figura 44: Plano Inclinado, Registro 1.

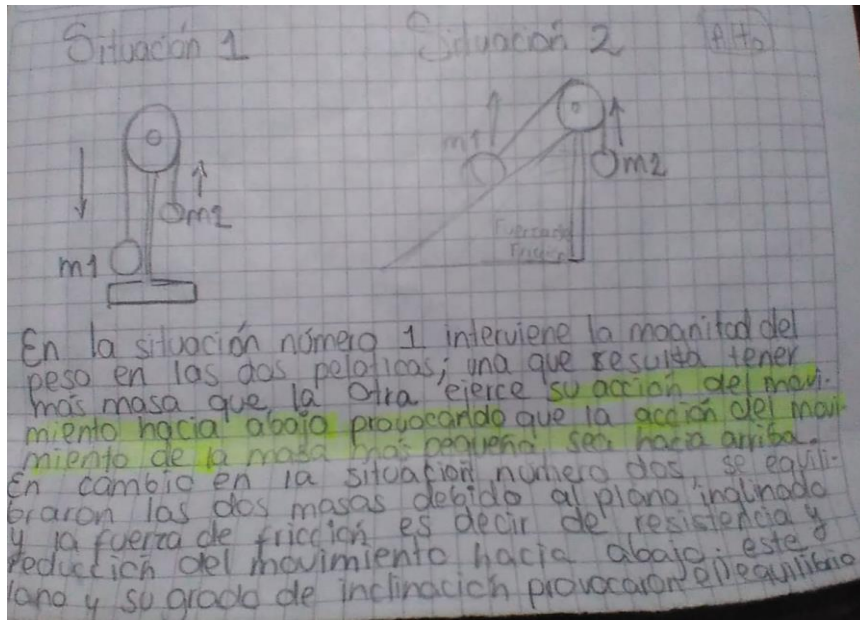


Figura 45: Plano Inclinado, Registro 2.

7.2.2 Actividad 2: Ampliando la idea de la acción del peso en las máquinas simples: La balanza y la relación entre el peso y la longitud.



Figura 46: Balanzas, Registro 3.

Actividad balanza

Explicación:

En la balanza tiene que existir una relación entre estas 4 magnitudes: Peso, Masa, distancia y gravedad; y estas magnitudes tienen que ejercer una fuerza igual o ser congruentes en ambos lados de la balanza. Los dos objetos a pesar deben estar a la misma distancia del centro (en el primer experimento) y con igual masa en ambos lados para estar en equilibrio. En el segundo experimento los vasos de plástico podían estar a diferentes distancias del centro para equilibrarse; en este caso las masas en cada vaso eran distintas una de la otra; el vaso más pesado se movía a una distancia menor del centro para poder equilibrar el peso en ambos lados. La gravedad ejerce una fuerza igual en ambos lados de la balanza en los dos experimentos.

Figura 47: Descripción Actividad 2.

7.2.3 Actividad 3: El péndulo de Galileo, ¿Hay equivalencias entre magnitudes cuando un cuerpo se está moviendo?

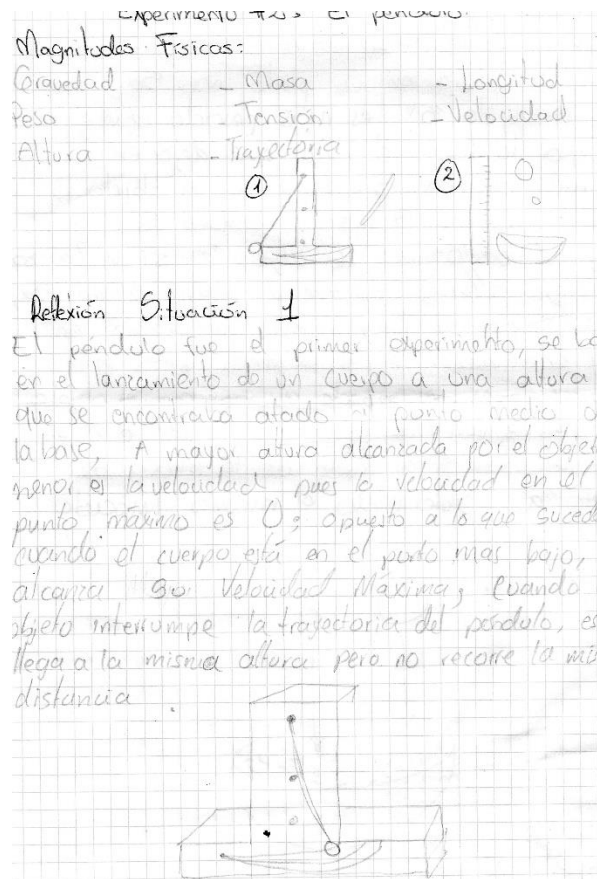


Figura 48: Péndulo, Registro 3.

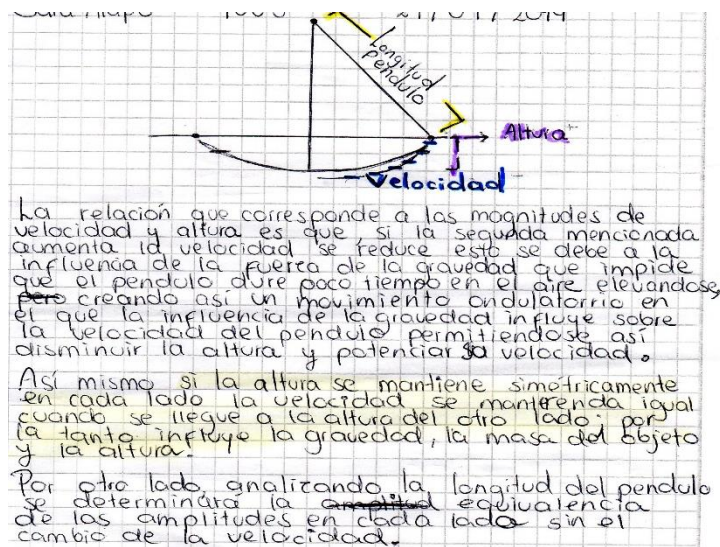
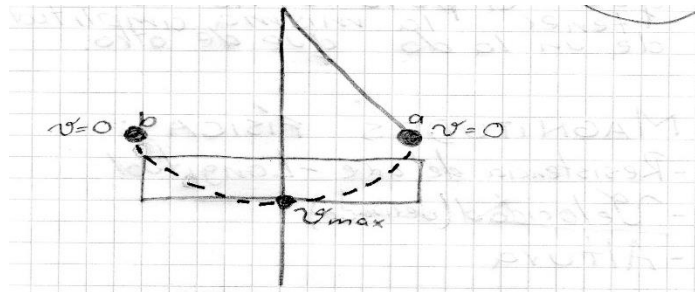


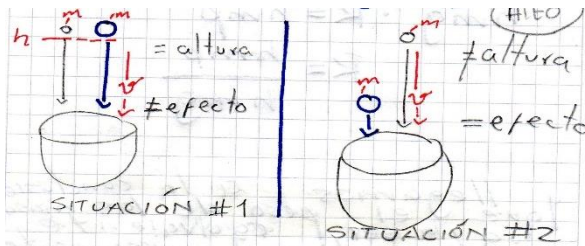
Figura 49: Análisis Péndulo.



En el dibujo se puede observar que en la parte más alta del péndulo la $v=0$, mientras que cuando está en la parte más baja, esta será considerada la v_{max} . Si ubicamos dos puntos (a, b) a la misma altura, podemos ver que su v es igual en ambos. Todo lo anterior nos da cuenta de un sistema en el que a $-h$ hay tr .

Figura 50: Péndulo, Registro 4.

7.2.4 Actividad 4: Analizando la relación entre alturas de caída y masa en el efecto de la caída de los cuerpos.



Al inicio lanzábamos las 2 masas desde la misma altura, pero veíamos que aunque duraban el mismo tiempo, no daba el mismo efecto sobre la sal; la masa grande dejaba una marca más visible que la masa pequeña. Concluimos que para que hubiera el mismo efecto, la masa pequeña tenía que lanzarse más alto, pero no sabíamos cuánto más alto, así que hicimos la siguiente fórmula:

$$\frac{mg}{mp} = R$$

Luego le pusimos la altura

$$hmg \cdot R = hmp$$

$$R = \frac{hmp}{hmg}$$

y llegamos a la conclusión que el peso de las masa va a ser equivalente a las alturas inversamente proporcional:

$$\frac{mg}{mp} = \frac{hmp}{hmg}$$

Figura 51: Efecto de la caída, Registro 5.

Figura 52: Análisis matemático.

Situación 2
 Para este experimento, se dejaron caer 2
 Objetos de distinta masa y cuerpo a la
 misma altura en un plano con Sal, obsr
 que el Objeto "a" es más pesado que el d
 "b" por lo tanto el hueco que deja en la s
 es más grande. Sin embargo, el objeto b
 puede obtener la misma profundidad y
 longitud como el hueco del objeto "a" si se lan
 a mayor altura, porque a mayor altura n
 impacto porque hay mayor velocidad en
 una correlación entre la masa, peso y
 altura pues se puede afirmar que el objeto
 "a" es 3 veces el objeto "b", pues el objeto
 "b" se lanzó al triple de la altura del
 objeto "a", obteniendo el mismo impacto

Figura 53: Descripción Actividad 4.

7.2.5 **Actividad 5:** ¿Es posible establecer una forma de caracterizar los fenómenos mecánicos a partir de la equivalencia de magnitudes?

① Cuando el skate llega al extremo de la
 rampa, aumenta la energía potencial, ya que
 es el máximo el cual puede llegar, en cambio
 la e. cinética aumenta cuando va hacia
 abajo ya que la velocidad aumenta.

② Cuando hay Fricción el objeto al hacer
 su recorrido no llega al mismo tope lo
 cual entra la e. térmica, la cual es la
 que genera que la velocidad disminuya
 y frene al objeto

Nota: Sin Fricción $t_m = K + U$
 Con μ , $t_m = K + U + T$
 $T = \text{energía térmica}$

Figura 54: Análisis simulador PhET.

Taller PhET

(11/10)

Introducción: En esta parte el patinador se suelta desde una altura h y al realizar el recorrido, este llega a la misma altura h de la cual empezó. Esto se debe a que en esta "modalidad" no existe la fricción lo cual hace que el patinador no desacelere.

Fricción: En esta parte el patinador experimenta fricción, al empezar desde la altura h y realizar el recorrido en la pista, este no llega a la misma altura inicial (h) y entre más avance el patinador realizando el recorrido, su altura va a disminuir progresivamente.

Energía Térmica: Esta energía se genera debido a la fricción en el momento en el que la superficie de los ruedas de la patineta entra en contacto con la superficie o la pista de patinaje. Esta energía aumenta cuando el patinador pierde velocidad o sea, cuando la energía potencial es menor que la energía cinética.

La suma de energías cinética, potencial y térmica dan como resultado la energía total.

Figura 55: Descripción simulador PhET.

7.2.6 Actividad 6: Un acercamiento al principio de conservación de la energía a través de un motor térmico: Conservación, transformación y conversión de fenómenos.

En todos los experimentos realizados se busca que ambos objetos fueran equivalentes dependiendo de las fuerzas de magnitud que se usara, en algunos casos el objeto tenía que estar en una posición para equivaler al otro, sin embargo siempre se llegaba al mismo punto pero de diferentes formas.

La energía no se crea ni se destruye, se transforma generando otras energías, en todos los experimentos, la cinética y potencial estuvieron presentes, la cinética como el movimiento, la potencial como la altura en la generación, además de esta la fuerza de fricción puede generar energía térmica y esta equivale al movimiento al cual puede generar energía eléctrica o mecánica (en los experimentos que hemos hecho).

1. En este primer experimento ambas masas con diferente pesos tenían que estar equilibradas a partir de un plano inclinado, al cual disminuía la fuerza que realizaba el objeto de mayor masa generando un equilibrio.
2. En este ejercicio usamos un péndulo para ver las velocidades de objeto, la línea central representa la energía potencial, y el objeto que daba las oscilaciones la energía cinética, el punto central de la energía potencial era el punto **MAXIMO** de velocidad/cinética.
3. En este caso el objeto de menor masa tenía que ser lanzado un poco más arriba que el de mayor para equilibrar la profundidad del impacto, e igual se evidencia que al estar más alto (energía potencial) equivale al mismo peso y velocidad (energía cinética) en la que la masa grande cae.
4. Consistió en analizar si la fricción y el peso de la masa influía en la energía cinética, las ruedas generaba fricción al entrar en contacto con la pista y esto equivalía a la fuerza térmica/calor que producía la energía para que tuviera impulso.
5. La llama del fuego hacía que las partículas se expandieran y pasara a ser energía térmica que producía la energía de movimiento (cinética) y pasa en contacto al motor genera energía eléctrica y de esta forma el bombardeo se encendió y pero a medida que el frío enfriaba las moléculas el movimiento se hacía más lento hasta terminar quieto.

Figura 56: Descripción Actividades 1.

3. En este caso el objeto de menor masa tenía que ser lanzado un poco más arriba que el de mayor para equilibrar la profundidad del impacto, e igual se evidencia que al estar más alto (energía potencial) equivale al mismo peso y velocidad (energía cinética) en la que la masa grande cae.
4. Consistió en analizar si la fricción y el peso de la masa influía en la energía cinética, las ruedas generaba fricción al entrar en contacto con la pista y esto equivalía a la fuerza térmica/calor que producía la energía para que tuviera impulso.
5. La llama del fuego hacía que las partículas se expandieran y pasara a ser energía térmica que producía la energía de movimiento (cinética) y pasa en contacto al motor genera energía eléctrica y de esta forma el bombardeo se encendió y pero a medida que el frío enfriaba las moléculas el movimiento se hacía más lento hasta terminar quieto.

Figura 57: Descripción Actividades 2.

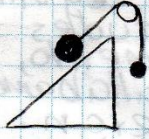




				
PLANO INCLINADO	PÉNDULO	CAÍDA LIBRE	ENERGÍA	MÁQUINA DE STILING
Se encontró el equilibrio entre las dos masas diferentes.	Se observó un cambio de velocidad y por lo tanto una transformación de E. potencial a E. cinética	Se observó el impacto de cada una transformación de E.P. a E.C.	Se nos explicaron y se entendieron las diferentes energías	Se observó en todo su esplendor la transformación de la energía.

Figura 58: Esquema de las actividades desarrolladas curso 1003.

LA ENERGÍA Y LAS MAGNITUDES

A lo largo del corte hicimos varios experimentos; plano inclinado, péndulo, caída libre y energía, en los cuales lo que intentábamos era encontrar un equilibrio entre todas las magnitudes correspondientes a cada experimento, sin embargo las que más hallábamos en todos los experimentos eran: altura, masa o velocidad. Sin embargo, no había una relación tan directa entre todas los experimentos.

En el último experimento sacamos conclusiones acerca de como los tipos de energía se podían relacionar con las magnitudes halladas en los anteriores experimentos, y ahí hallamos la relación con todos los experimentos. La energía potencial se da dependiendo de la altura del objeto; la energía cinética está relacionada con la velocidad y el movimiento; y entre más grande sea la masa, más energía se necesita para mover el objeto.

Figura 59: Relaciones entre magnitudes.

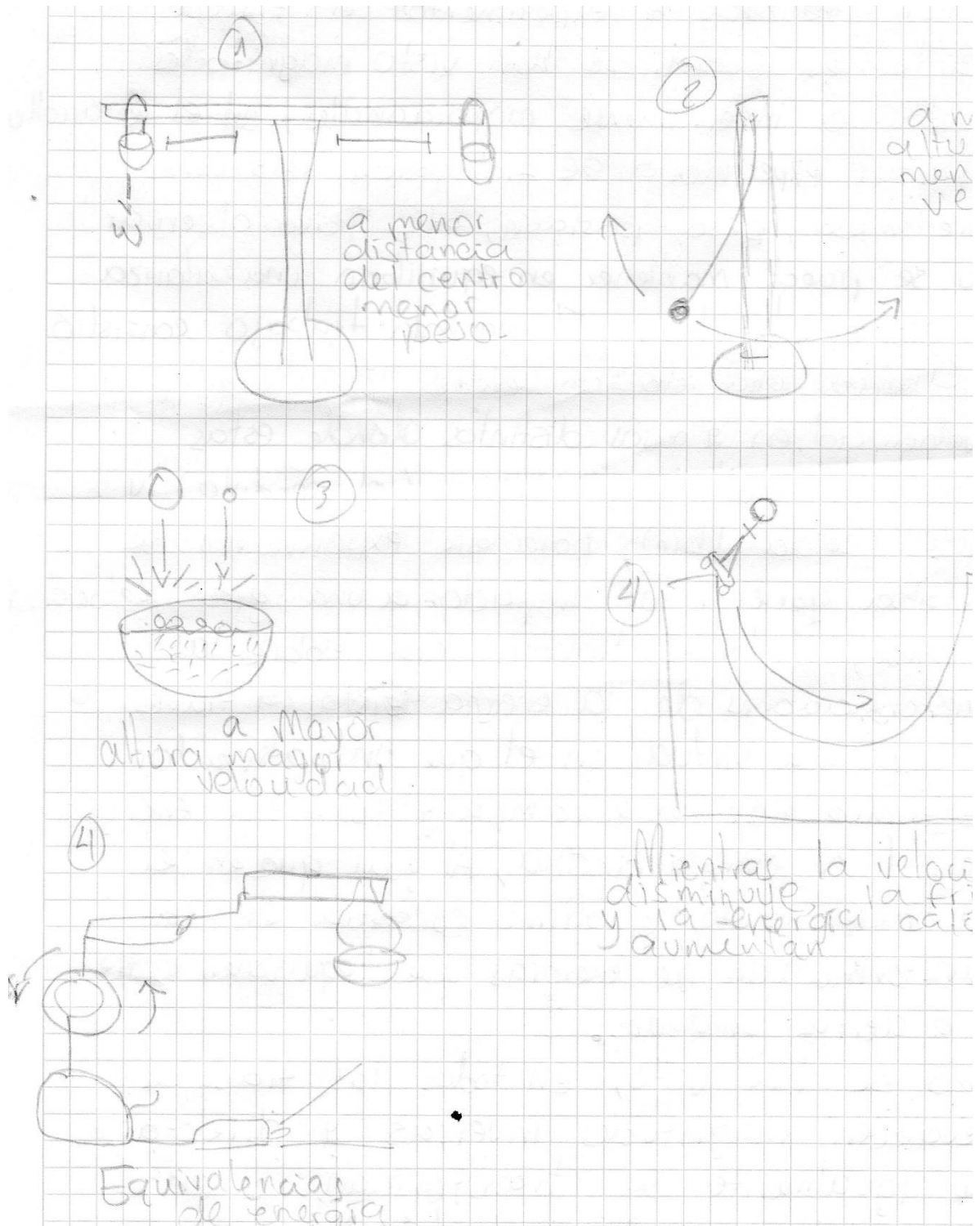


Figura 60: Actividades realizadas con el curso 1002

7.3 A.3. Planos Prototipo Motor Stirling

7.3.1 Planos de las piezas del motor Stirling a escala 1:1

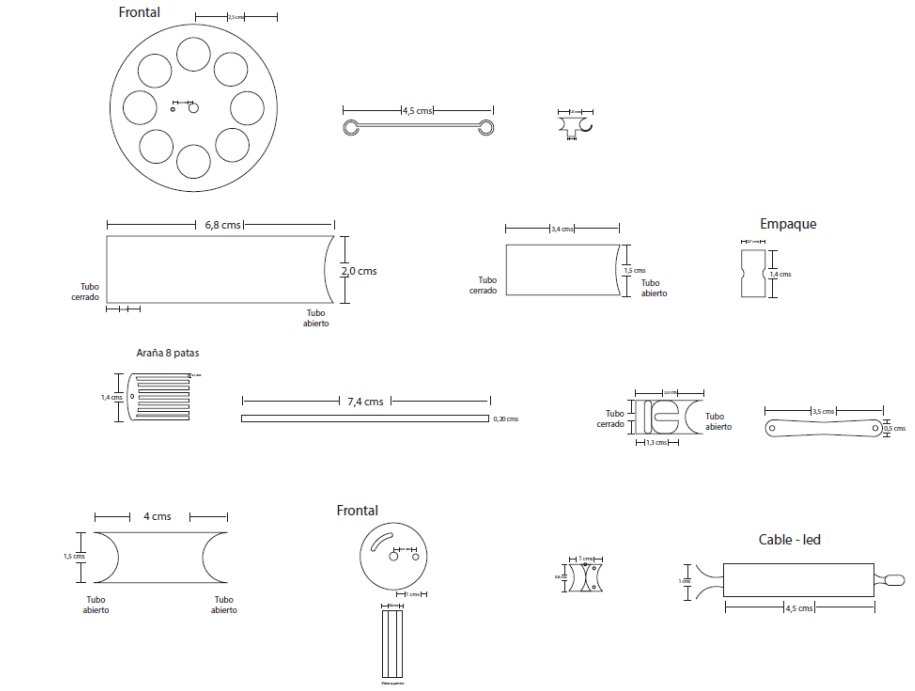


Figura 61: Planos realizados en AutoCAD 2012

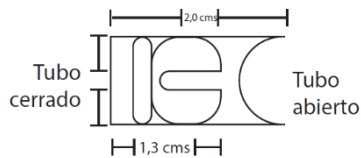


Figura 62: Sección Ampliada Fuente Fría.

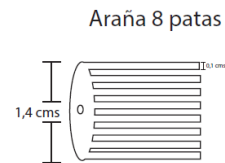


Figura 63: Seguro del Pistón.

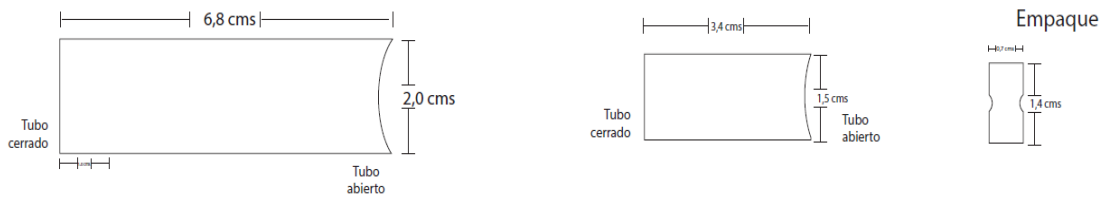


Figura 64: Sección Ampliada Fuente Caliente.

7.3.2 Base, Soporte, Dinamo y Mechero.

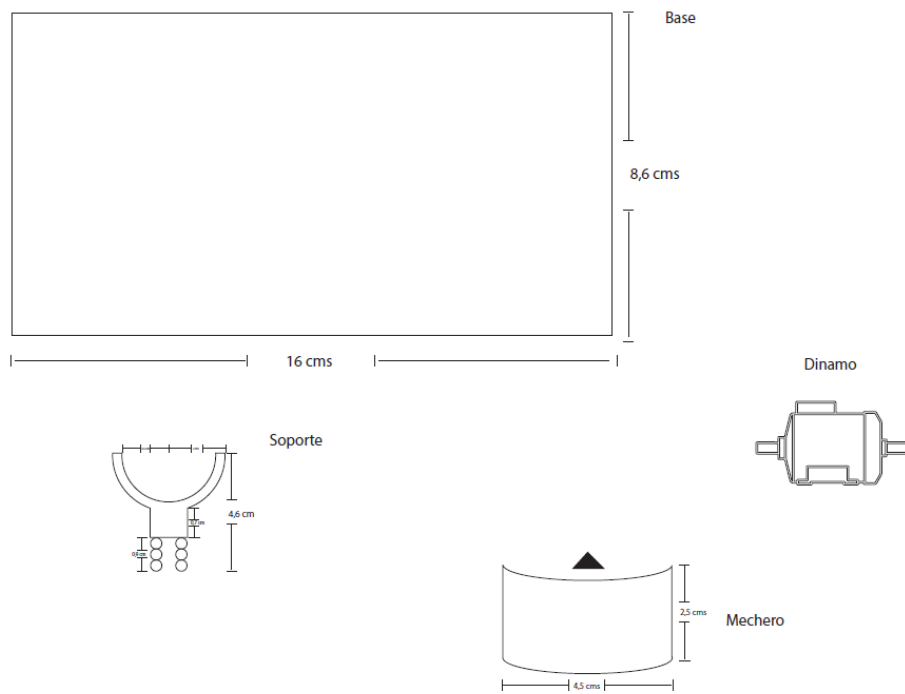


Figura 65: Planos realizados e imágenes exportadas de AutoCAD 2012.

7.4 A.4 DOCUMENTO DE AUTORIZACIÓN DE USO DE ESCRITOS

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Autorizo el uso de todas las imágenes o planteamientos escritos, desarrollados por el estudiante _____, con código _____, para hacer parte del trabajo de investigación **Equivalencia y Equilibrio: Nociones Fundamentales para construir y comprender el concepto de Energía**, realizado por Daniel Santiago González, Cristian Felipe Lesmes y Freddy Leonardo Salamanca, estudiantes pertenecientes al Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

Así mismo los escritos, imágenes y reflexiones serán objeto de evaluación por parte del docente Santiago Moreno, profesor titular de Física del Instituto Pedagógico Nacional.

Sus fines son netamente pedagógicos, sin lucro y en ningún momento será utilizado para objetivos distintos.

Autorizo,

Nombre del Padre de Familia – Cédula de Ciudadanía.

Nombre Estudiante – Tarjeta de Identidad.

Fecha: __ / __ / ____