

**UNA MANERA DE ADORDAR LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA: UNA  
MIRADA AL CASO DE LA ESTÁTICA.**

**JORGE JONATHAN MANCIPE PEÑA**

**Asesor**

**JUAN CARLOS CASTILLO AYALA**

**Trabajo de grado para optar por el título de Licenciado en Física**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2018**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**Departamento de Física.**



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*

**Tesis monográfica:**

**UNA MANERA DE ADORAR LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA: UNA  
MIRADA AL CASO DE LA ESTÁTICA.**

**Autor**

**Jorge Jonathan Mancipe Peña**

**Asesor**

**Juan Carlos Castillo Ayala**

**Bogotá, 2018**

## **DEDICATORIAS**


Dedico este trabajo a mis padres Edgar Eduardo Mancipe Peña y Gladys Peña Sánchez, a mi hermano Guillermo Alexander Mancipe Peña, por el apoyo que tuvieron en el transcurrir de estos años, y a todas aquellas personas que contribuyeron y aportaron de manera significativa a la elaboración de este trabajo.

Jonathan Mancipe Peña

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco este trabajo en especial a mi asesor Juan Carlos Castillo, por el apoyo constante en el transcurrir de estos años para concluir con este proyecto, a la universidad por brindarme esta oportunidad, a todos mis amig@s que me acompañaron en este camino, y a todas aquellas personas especiales que nos acompañaron en este proceso de construcción profesional.

Jonathan Mancipe Peña

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>UNIVERSITY OF PEDAGOGY</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 6	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	Una manera de abordar la enseñanza de la mecánica: Una mirada al caso de la estática.
<b>Autor(es)</b>	Mancipe Peña, Jorge Jonathan
<b>Director</b>	Castillo Ayala, Juan Carlos
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2018. 50 p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	ESTÁTICA, EQUILIBRIO MECÁNICO, VELOCIDAD VIRTUAL, LIGADURAS, MOMENTO DE UNA FUERZA.

<b>2. Descripción</b>
<p>El privilegio que se le da a la mecánica newtoniana en la enseñanza de los fenómenos mecánicos impide que otros aspectos importantes sean tratados en la organización de la mecánica. Este es el caso de la estática. Por tal motivo, si bien los conceptos de la estática son aspectos que son tratados en el ámbito de la mecánica, en algunos libros de texto, se suele plantear a la estática como un caso particular de la dinámica, Tal reducción de la estática le resta importancia, al igual la riqueza que involucra abordar y acoger un problema propio en mecánica.</p> <p>El trabajo que presenta Romero y otros (1998), intentan abordar la problemática de la enseñanza de los fenómenos mecánicos, desde otros análisis que no requieran la perspectiva newtoniana, generando rutas a la hora de abordar un fenómeno en cuestión. La estática se basa, a partir, del</p>

*“principio general del equilibrio”*, claro está que para hablar de esto tenemos que primero entender que es un *“principio”* y también que es el *“equilibrio”*, estos planteamientos se pondrán en discusión más adelante. Ahora, tomando los buenos resultados que ha tenido la estática al explicar el momento de una fuerza o problemas relacionados a la hidrostática. Surgen una pregunta *¿de dónde nace el problema en la enseñanza de la estática?* (Gonzalo, 2002) sugiere que a pesar de que la gran mayoría de universidad cuentan con buenos laboratorios, muchas veces las escuelas del tercer mundo carecen de este tipo de escenarios o de materiales para la experimentación en la física.

De lo anterior, en el marco de la enseñanza de la física en Colombia, no se quiere generalizar al decir que en los colegios no cuentan con laboratorios, pero muchas veces la falta de experiencia en los laboratorios y en ocasiones la falta de curiosidad ha generado una única perspectivas a la hora de enseñar la mecánica, desde las experiencias en la prácticas 1 y 2 durante la formación académica, no se tuvo el *“privilegio”* de ver la perspectiva de la mecánica que no fuera detrás de las leyes de Newton. Ahora bien, la intención no es el debate con relación a la formalización en relación a la mecánica, sino poner en debate la posibilidad de enseñar los problemas relacionados en la mecánica desde otros análisis como la estática.

### 3. Fuentes

Ayala, M. M., Romero, Á., Rodríguez, L. D., & Romero, A., (1998). Elementos para la enseñanza de la estática desde una perspectiva constructivista. . Bogotá, Colombia: Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Ayala, M. M., Romero, Á., Malagón, J. F., Rodríguez, O., Aguilar, Y., & Garzón, M. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá, Colombia. Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Garzón, M, Ayala, M. M, Malagón, J. F., Castillo, J. C. & Garzón, I. (2014). *La estática y el concepto de momento de fuerza según Lagrange*. Bogotá, Colombia. Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Torres, B. & Ayala, M, M. (1996). *La mecánica analítica de Lagrange*. Bogotá, Colombia. Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Hertz, H. (1996). Los principios de la mecánica. Presentado en el marco del seminario sobre tópicos de mecánica clásica de la maestría en la docencia de la física de la Universidad Pedagógica Nacional.

Vaccaro, D. (2008). *La tensión entre estática y dinámica desde la antigüedad hasta el renacimiento*, Sao Paulo, Brasil: Editorial Scientla studia.

Romero, A. & Rodríguez, L, D. (1999). *Desarrollos Galileanos en el campo de la estática: Una posible contribución a la enseñanza*, Bogotá, Colombia: Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Ayala, M, M. & Malagón, F. & Garzón, I. & Castillo, J, C. & Romero, A. y Rodríguez L, D. (2001). *El equilibrio según Stevin la acción como poder del peso*. Antioquia, Colombia. Editorial: Universidad Pedagógica Nacional

Gómez, B, S (2012). *Metodología de la investigación*. Viveros de la loma. México. Editorial: Red tercer milenio S.C.

#### 4. Contenidos

Capítulo 1: Se establece el punto de partida en la representación de la mecánica, donde se establece las condiciones para el surgimiento de lo que se entiende por “*principios*”, donde el papel de la experiencia con es crucial para la construcción de los fenómenos en cuestión. Así mismo, se establece el punto de partida en la construcción de la estática y su posible papel en la enseñanza de la mecánica

Capítulo 2: Como lo plantean los diferentes pensadores de la mecánica en el transcurso de la historia; el concepto de fuerza se encuentra a la base de este elemento de organización conceptual. Permitiendo establecer los casos en que los cuerpos se encuentran en equilibrio, ya sea vista como una cancelación de sus fuerzas. A partir de esto, la propuesta que se presenta en los “*elementos para la enseñanza de la estática desde una perspectiva constructivista*”, es tratar de dar cuenta de tres proposiciones a los que se puede reducir el estudio sobre los fenómenos estáticos: el de palancas, el de la composición de fuerzas y el de las velocidades virtuales; se considera que estas proposiciones no son complementarios sino más bien son particulares en la forma de organizar los fenómenos de la estática. De hecho, el “*principio de velocidad virtual*” que define así Lagrange, es el que se eleva a la categoría general de la estática.

Capítulo 3: cabe señalar algunas implicaciones referentes a la enseñanza de la mecánica, por tal motivo, los aportes en relación a los procesos de formalización implica de ciertas actividades de gran importancia en la construcción del individuo en el abordaje de los fenómenos mecánicos y su análisis conceptual en el estudio del equilibrio mecánico, guiada por una intencionalidad pedagógica.

## 5. Metodología

Debido a la importancia y necesidad del científico por indagar, descubrir y averiguar sobre lo que ocurre en su entorno, la “*metodología de la investigación*”, constituye una gran fuente de conocimientos; ya que al investigar, le permite reflexionar y cuestionar sobre un fenómeno en cuestión, y es así como enriquece su pensamiento de la realidad, se puede decir que la metodología de la investigación es “*la disciplina que se encarga del estudio crítico de los procedimientos, y medios aplicados por los seres humanos, que permiten alcanzar y crear el conocimiento en el campo de la investigación científica*” (Gómez, S. 2012,1). De esta manera, se adelantará en el campo de la estática con la intención de realizar un proceso de re-contextualización de saberes, es decir, un análisis de los fenómenos que posibiliten rutas alternas para su respectiva enseñanza, de forma más significativa para los estudiantes y posibiliten un mejor proceso en el análisis y comprensión.

Dentro de esta actividad del científico, los fundamentos teóricos están estrechamente relacionados con la experiencia, donde, el sujeto es el centro de su propio aprendizaje, por tal

motivo, la metodología propuesta para el desarrollo del análisis de los fenómenos del equilibrio mecánico tiene como fundamentos:

- I. Cada tema debe desarrollarse partiendo de los elementos intuitivos, con base en ello, se iniciara un proceso de representación de la mecánica y sus implicaciones en la enseñanza de la física.
- II. Es necesario que el sujeto maneje adecuadamente las diferentes nociones y conceptos que se puedan tener en la física, por tal motivo, la interacción de manera directa con los objetos, le permitirá formular preguntas en torno a las diferentes representaciones del mundo generando mecanismos para comparar, interpretar, observar, clasificar y sintetizar relaciones existentes a su alrededor.
- III. Es importante dar libertad al sujeto para desarrollar su pensamiento físico, esto lo conduce a la construcción de diferentes nociones en la física permitiendo las operaciones mediante su acción personal.

Con esta metodología no se requiere determinar un rol específico del individuo, solo se requiere determinar al individuo como agente central de su proceso de aprendizaje y al maestro como un agente investigador, teniendo en cuenta que la participación activa de estos es el eje principal. Desde esta perspectiva, la forma de representar la estática y sus posibles implicaciones en la enseñanza de la mecánica, aportando a la actividad del científico diferentes experiencias.

## 6. Conclusiones

La experiencia que se tiene a la hora de abordar un problema en la mecánica, permite establecer modelos que favorezcan su posible enseñanza, es importante hacer un abordaje histórico del fenómeno en cuestión, Permitiendo establecer rutas para ser formalizado. De igual modo, en la mecánica se puede decir que no existe una única manera de organizar la experiencia alrededor de un fenómeno, sino que ante todo, implica de una investigación más profunda. En otras palabras, depende ante todo de la forma y estructura que le demos. Al mismo tiempo, esta forma de entender la mecánica establece las bases para el desarrollo de la mecánica en su totalidad, donde, solamente los análisis que hace Newton no permiten el desarrollo de la mecánica.

Esto se ve en el caso del equilibrio, usualmente se hace sin tener en cuenta su contexto histórico, para tal representación de la mecánica es importante tener en cuenta que cada modelo que se tenga de la mecánica conlleva implícita en sí mismo un proceso de formalización. A su vez, el análisis que hace Lagrange nos permite hacer una reconstrucción del abordaje del problema del equilibrio

mecánico, generando nuevas herramientas para el análisis y la comprensión de la estática. El concepto de “*velocidad virtual*”, permite entender los problemas que posee un sistema físico, para ellos los análisis que hace Galileo en la caída de los cuerpos genera la posibilidad para la construcción del principio general del equilibrio permitiendo entender el concepto de momento de una fuerza.

A su vez, la intención es establecer algunas reflexiones, permitan dar la posibilidad de un razonamiento del sujeto acerca de las diferentes formas de representación de la mecánica, estableciendo prioridades para su posible enseñanza, Por tanto nuestra forma de abordar no solo trata únicamente de dar una fórmula, sino que es importante establecer una organización de la experiencia, donde, acceda a las posibles formas de enseñar de la mecánica.

Una vez se reconoce la variedad de formas de poder organizar la experiencia, se requiere invitar al individuo a pensar sobre el fenómeno en cuestión, llevándolo a explorar el mundo y que así construya una visión de este, para que sea capaz de describirlo, de poder expresarlo y en últimas poder armar un discurso.

<b>Elaborado por:</b>	Mancipe Peña, Jorge Jonathan
<b>Revisado por:</b>	Castillo Ayala, Juan Carlos

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	06	11	2018
--	----	----	------

# Contenido

Planteamiento del Problema .....	13
Pregunta problema .....	14
Objetivos del trabajo.....	14
Objetivo general .....	14
Objetivo específico .....	15
Metodología.....	15
Justificación .....	17
Antecedentes.....	18
1. La enseñanza de la mecánica: El caso de la estática. ....	21
1.1 La representación de la mecánica. ....	21
1.2 El desarrollo en la mecánica y el caso de la estática.....	23
1.3 La importancia de la estática en la mecánica y su posible enseñanza. ....	25
1.4 Algunas dificultades al abordar los fenómenos estáticos.....	27
1.5 Aportes en relación a la enseñanza de la estática.....	28
1.6 Consideraciones asociadas a la enseñanza de la mecánica. ....	29
2. El principio general del equilibrio.....	30
2.1 Los principios de la estática. ....	31
2.2 El principio de las palancas.....	33
2.2.1 Galileo y el equilibrio en la palanca. ....	36
2.3 El principio de descomposición de fuerzas.....	38
2.3.1 El equilibrio y las ligaduras de un sistema. ....	38
2.3.2 El equilibrio según Stevin; los planos inclinados. ....	40

2.4	El principio de las velocidades virtuales.....	43
2.5	El momento de fuerza desde el principio de las velocidades virtuales.....	45
2.6	Implicaciones alrededor del análisis de los fenómenos estáticos. ....	47
3.	Aportes al estudio documental; Acerca de la enseñanza de los fenómenos estáticos. ..	48
3.1	Formalización de los fenómenos mecánicos.....	49
3.2	Aplicación de las matemáticas en la enseñanza de la física. ....	49
3.3	Los fenómenos mecánicos en la física. ....	51
	Conclusiones.....	53
	Referentes Bibliográficos .....	55

## Planteamiento del Problema

El trabajo que presenta Romero y otros (1998), intentan abordar la problemática de la enseñanza de los fenómenos mecánicos, desde otros análisis que no requieran la perspectiva newtoniana, generando rutas alternas a la hora de abordar un fenómeno en cuestión. La estática se basa, a partir, del “*principio general del equilibrio*”, claro está que para hablar de esto tenemos que primero entender que es un “*principio*” y también que es el “*equilibrio*”,

planteamientos que se pondrán en discusión más adelante. Ahora, tomando los buenos resultados que ha tenido la estática al explicar el momento de una fuerza o problemas relacionados a la hidrostática. Surgen una pregunta *¿de dónde nace el problema en la enseñanza de la estática?* (Gonzalo, 2002) sugiere que a pesar de que la gran mayoría de universidades cuentan con buenos laboratorios, muchas veces las escuelas del tercer mundo carecen de este tipo de escenarios o de materiales para la experimentación en la física.

De lo anterior, en el marco de la enseñanza de la física en Colombia, no se quiere generalizar al decir que en los colegios no cuentan con laboratorios, pero muchas veces la falta de experiencia en los laboratorios y en ocasiones la falta de curiosidad ha generado una única perspectiva a la hora de enseñar la mecánica, desde las experiencias en las prácticas 1 y 2 durante la formación académica, no se tuvo el “privilegio” de ver la perspectiva de la mecánica que no fuera detrás de las leyes de Newton. Ahora bien, la intención no es el debate con relación a la formalización en relación a la mecánica, sino poner en debate la posibilidad de enseñar los problemas relacionados en la mecánica desde otros análisis como la estática.

### **Pregunta problema**

Es posible organizar la experiencia alrededor del equilibrio mecánico relacionado a la mecánica, desde un análisis que no implique la perspectiva newtoniana.

## **Objetivos del trabajo**

### **Objetivo general**

Establecer diversas formas de organizar las experiencias alrededor del equilibrio mecánico, generando reflexiones en torno a la enseñanza de la mecánica.

## **Objetivo específico**

Realizar un análisis documental acerca de lo que se considera como principios en la mecánica.

Construir explicaciones alrededor de la estática estableciendo elementos para su posible enseñanza.

Identificar las diferentes maneras de abordar el equilibrio mecánico.

## **Metodología**

Debido a la importancia y necesidad del científico por indagar, descubrir y averiguar sobre lo que ocurre en su entorno, la “*metodología de la investigación*”, constituye una gran fuente de conocimientos; ya que al investigar, le permite reflexionar y cuestionar sobre un fenómeno en cuestión, y es así como es posible enriquecer su pensamiento de la realidad, se puede decir que la metodología de la investigación es “*la disciplina que se encarga del estudio crítico de los procedimientos, y medios aplicados por los seres humanos, que permiten alcanzar y crear*

*el conocimiento en el campo de la investigación científica” (Gómez, S. 2012,1).* De esta manera, se adelantará en el campo de la estática con la intención de realizar un proceso de re-contextualización de saberes, es decir, un análisis de los fenómenos que posibiliten rutas alternas para su respectiva enseñanza, de forma más significativa para los estudiantes y posibiliten un mejor proceso en el análisis y comprensión.

Dentro de esta actividad del científico, los fundamentos teóricos están estrechamente relacionados con la experiencia, donde, el sujeto es el centro de su propio aprendizaje, por tal motivo, la metodología propuesta para el desarrollo del análisis de los fenómenos del equilibrio mecánico tiene como fundamentos:

- IV. Cada tema debe desarrollarse partiendo de los elementos intuitivos, con base en ello, se iniciara un proceso de representación de la mecánica y sus implicaciones en la enseñanza de la física.
- V. Es necesario que el sujeto maneje adecuadamente las diferentes nociones y conceptos que se puedan tener en la física, por tal motivo, la interacción de manera directa con los objetos, le permitirá formular preguntas en torno a las diferentes representaciones del mundo generando mecanismos para comparar, interpretar, observar, clasificar y sintetizar relaciones existentes a su alrededor.
- VI. Es importante dar libertad al sujeto para desarrollar su pensamiento físico, esto lo conduce a la construcción de diferentes nociones en la física permitiendo las operaciones mediante su acción personal.

Con esta metodología no se requiere determinar un rol específico del individuo, solo se requiere determinar al individuo como agente central de su proceso de aprendizaje y al maestro como un agente investigador, teniendo en cuenta que la participación activa de estos es el eje principal. Desde esta perspectiva, la forma de representar la estática y sus posibles

implicaciones en la enseñanza de la mecánica, aportan a la actividad del científico diferentes experiencias con el mundo.

## Justificación

El concepto de la estática tiene un papel fundamental en el aprendizaje de los conceptos y/o teorías en física y en la resolución de problemas en la mecánica y, en las situaciones que involucran el equilibrio mecánico. Por tal motivo, la revisión bibliográfica realizada, pone de manifiesto la importancia de la estática en término del proceso enseñanza/aprendizaje. Algunas aportaciones señalan que, la capacidad para comprender un discurso científico está condicionada al uso de términos con significados acorde con los científicos, es decir el lenguaje es esencial, tanto en la comunicación oral o en su mismo proceso de formalización

(citado por Leita & Ameida 2001), esta perspectiva ordenada se considera idónea para la comprensión de un posible currículo de física que incluya la enseñanza de la estática.

Estos diferentes enfoques en los procesos de la enseñanza de la mecánica, aporta ventajas para comprender conceptos relacionados a la estática, donde el concepto de equilibrio son pertinentes y esenciales para abordar los fenómenos, por consiguiente, es importante priorizar los procesos que llevan a una adecuada concepción de esos términos (Michinel, 1993. Pág. 20), por otro lado, los procesos de modelización exigen definir adecuadamente los sistemas físicos a estudiar, de manera que se construye un modelo apropiado para representar cada sistema desde un marco científico determinado

En lo que respecta a la estática, no solo es fundamental en el aprendizaje de la mecánica, si no que a través de un análisis se pretende rescatar las ideas fundamentales para el estudio de la estática que propone Galileo y otros, con el ánimo de buscar rutas alternativas para su respectiva enseñanza, guiada firmemente por la convicción de que el recurrir histórico abre caminos de reflexión para abordar temáticas de la física que, como esta, son presentadas tradicionalmente en los currículos de una manera árida y desarticulada, reflejando un sin sentido en el objeto de estudio y forma de construir de esta disciplina. Se analiza como el principio general del equilibrio considerado la fuente de la estática establece todas las acciones mecánicas y un papel fundamental en la enseñanza de la física.

## Antecedentes

### **Los principios de la mecánica (Artículo) H. HERTZ (1984)<sup>1</sup>.**

El presente trabajo nos permite observar la representación usual que se le da a la mecánica, Por tal motivo, la construcción que se tenga de la imagen es la clave para la estructura del

---

<sup>1</sup> La traducción de las citas se realizó a partir del original en inglés por parte de María Cecilia Gramajo, Clara Inés Chaparro y Juan Carlos Orozco en el marco del seminario sobre tópicos de mecánica clásica de la maestría en la docencia de la física de la Universidad Pedagógica Nacional.

fenómeno en cuestión. A parte de esto, se hace una reconstrucción de lo que se entiende por “*principios*” y plantea una serie de elementos que denotan la importancia de los fenómenos mecánicos.

**Elementos para la enseñanza de la estática desde una perspectiva constructivista (Artículo) M. M. AYALA, L. D. RODRIGUEZ y A. ROMERO (1991)**

Eventualmente en la enseñanza de la mecánica se suele hacer bajo los desarrollos de la dinámica, sin embargo, este artículo permite construir el abordaje del equilibrio mecánico desde “*el principio general del equilibrio*”, generando rutas alternas para la representación de la estática. Así mismo, en contraste con el concepto newtoniano se establece la estática con fines pedagógicos para su respectiva enseñanza.

**Desarrollos galileanos en el campo de la estática; una posible contribución a la enseñanza (libro) L. D. RODRIGUEZ, A. ROMERO (1999)<sup>2</sup>.**

El presente trabajo nos muestra el desarrollo que hace Galileo en el campo de la estática, mostrando otra faceta diferente a la que nos muestra en los libros de texto sobre la enseñanza de la física, estableciendo caminos para la reflexión en torno a la comprensión del equilibrio mecánico.

**El equilibrio según Stevin; La acción como poder del peso (Artículo) M. M. AYALA, F. MALAGÓN, I. GARZÓN Y J. C. CASTILLO (2001)<sup>3</sup>.**

El presente artículo muestra, a través del análisis que hace Stevin, que al dar cuenta de los efectos del desequilibrio se comienza a configurar una magnitud que es extensiva y, en

---

<sup>2</sup> Física y cultura cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias N° 5

<sup>3</sup> Revista colombiana de física, vol 33, N°, 2.

general escalar y se define generalmente con el término de *acción*; magnitud a partir de la cual se da cuenta de las condiciones del equilibrio mecánico.

### **La mecánica analítica de Lagrange (Artículo) M. M. AYALA, B. TORRES (1995)**

Los orígenes de lo que se entiende por estática, se hace a partir de los tratados de Lagrange, donde se incorpora un nuevo análisis entorno al desarrollo de la mecánica, la estática se construye, a partir, del principio de las “*velocidades virtuales*”, Estableciendo el predominio de la estática en el desarrollo de la mecánica.

### **Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos (Libro) M. M. AYALA, A. E. ROMERO, J. F. MALAGON, L. D. RODRIGUEZ, Y. AGUILAR, M. GARZON (2004).**

En este proyecto de investigación cooperativo, se procuró avanzar en las relaciones entre la física y la matemática y sus procesos de formalización involucrados en la organización de los fenómenos mecánicos, la investigación se centra, por una parte, en realizar una indagación conceptual respecto a los procesos involucrados en la configuración y cuantificación de las magnitudes involucradas en los fenómenos mecánicos.

# *Capítulo 1*

*La naturaleza nos sorprende cada instante con multitud de fenómenos que despiertan nuestra curiosidad, nos incita a mirar a nuestro alrededor y descubrir fenómenos cotidianos que tienen explicaciones a la luz de la ciencia.*

## ***1. La enseñanza de la mecánica: El caso de la estática.***

La idea más común que se tiene en la enseñanza de la física y en particular en el estudio de la mecánica, se suele plantear bajo los análisis que hace *Newton (1643-1727)* en su trabajo que se titula *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, a causa de esto, se establece una forma habitual de abordar los fenómenos mecánicos, donde usualmente las situaciones de equilibrio de los cuerpos se suelen hacer bajo este caso particular<sup>4</sup>. Al mismo tiempo, la forma de entender estos fenómenos se hace sin tener en cuenta la historia y su contexto cultural, donde en ocasiones hasta los mismos procesos de formalización son fundamental en el desarrollo de lo que se entiende por mecánica.

Así, en primer lugar, Se establece el punto de partida en la representación de la estática y la importancia que se debe tener a la hora de abordar algún problema en la mecánica. Donde, no existe una única manera de abordar un problema en la mecánica, sino que ante todo depende de la forma y estructura que le demos. De modo que, el papel de la experiencia que se tiene con el mundo es crucial para la construcción de un fenómeno. Con respecto a esto, el presente trabajo intenta establecer de corte conceptual, una posible forma de representar el equilibrio mecánico desde la estática y su papel en la enseñanza.

### **1.1 La representación de la mecánica.**

En el desarrollo del siglo *XVIII* se consideraba a la mecánica como un tema que se analizaba desde el campo de las matemáticas. En este sentido, comúnmente se suele afirmar que los orígenes de lo que hoy se conoce como mecánica corresponde a una serie de aportes

---

<sup>4</sup> Normalmente en la enseñanza de los fenómenos mecánicos se suele establecer que la suma de sus fuerzas y momentos sea igual a cero:  $\sum F = 0 \wedge \sum M = 0$ .

generadas por un grupo de “geómetras” y “algebristas” quienes tenían la sola intención de expresar las teorías y/o conceptos que rigen la mecánica<sup>5</sup>. Afín a este proyecto de formalización de la mecánica, surgieron también ciertas preocupaciones expresadas en cómo se organiza la experiencia, llevando a la mecánica a un eje característico del pensamiento físico-matemático. Pero, desde el marco de la física que se puede entender por mecánica. *Hertz (1857-1894)*, presenta en su tratado los principios de la mecánica:

*“Estrictamente hablando, lo que originalmente se definió en mecánica como un principio era una afirmación tal que no podía hacer referencia a otras proposiciones en la mecánica, sino que era mirada como un resultado directo obtenido de otras fuentes de conocimiento<sup>6</sup>”*(Hertz. Pág. 3).

Se debe agregar que, en ese mismo siglo se reiteraron frecuentemente algunos términos, como: “*El principio del centro de gravedad*” o “*el principio de las áreas*”. Pero, según Hertz; estas son consideraciones solamente del mundo en general y por tanto no pueden ser llamadas como principios, sino, que las propuestas en la mecánica que bajo un tiempo y especiales circunstancias fueran denotadas como principios retienen incorrectamente este nombre. Es así, que se puede decir que no pueden sostener ese nombre sino deben descender al rango de proposiciones o colorarías<sup>7</sup>. Conforme a esto, se puede establecer que las representaciones que se tengan del mundo “externo” deben estar acordes a las fuentes de conocimiento que dan origen a lo que se considera como *mecánica*<sup>8</sup>, donde el término “*principio*” no ha sido definida con claridad, admitiendo mantener para tales representaciones el término proposiciones.

---

<sup>5</sup> Se considera que la tendencia general de la mecánica era hacer de ella una ciencia tan racional como la geometría, de modo que, cuyos enunciados se puedan deducir lógicamente de un reducido número de proposiciones asumidas como axiomas.

<sup>6</sup> Tomado del texto; En la versión español. Pág. 3

<sup>7</sup> Véase Hertz, H pág. 4.

<sup>8</sup> Las observaciones se obtienen por experimentos previamente arreglados en un laboratorio.

Pero hay que dejar claro, que el termino proposiciones no son lo que mantendremos en mente cuando se hable en general de la mecánica, por tal motivo, es necesario denotar algunas cosas de entre ellos que satisfacen el requerimiento de que toda la mecánica también puede ser desarrollada mediante puros razonamientos deductivos. No obstante, no se puede decir con certeza si esta intensión de racionalizar la mecánica jugo un papel fundamental en el surgimiento de lo que hoy se conoce como estática.

Pero, podemos argumentar con claridad que el quehacer del científico está en relación con la experiencia que el adquiere con su entorno, sin embargo, *“algunas investigaciones históricas han mostrado que la actividad de quienes participaron en este proceso no pueden considerarse como limitada a hacer de la mecánica una teoría lógica –deductiva”* (Hankins, T., 1970; Paty, M., 2001 y 2004; Gaukroger, S., 1982; Harman, P. M., 1993; Firode, A., 2001). En opinión este es el punto que se debe tener en cuenta al estimar el valor de algunas teorías y/o conceptos físicos y el valor de sus posibles representaciones, este es el punto de partida en la construcción de lo que es entendido en la mecánica.

## **1.2 El desarrollo en la mecánica y el caso de la estática.**

En este panorama, el desarrollo de la mecánica se opera en medio de tres problemáticas, la concepción del espacio y del tiempo, las fuerzas motrices y la constitución de la materia, Por ejemplo, algunas nociones fundamentales en la mecánica como son espacio, tiempo, materia y fuerza, Plantean el origen de nuevos términos para la construcción de un fenómeno, donde la fuerza es introducida como la causa del movimiento de los cuerpos, que existe antes del mismo movimiento. La cinemática la ciencia del movimiento puro se confina así mismo a conectar las ideas de espacio y tiempo, por tal motivo, las ideas de la inercia establecen una conexión más profunda entre espacio, tiempo y masa, no es sino hasta las leyes del movimiento que desarrolla Newton que las cuatro ideas fundamentales se conectan unas con otras.

Estas leyes contienen el sentido de futuros desarrollos en la mecánica; pero no establece una expresión general para las influencias de las conexiones espaciales rígidas<sup>9</sup>. Aquí el trabajo de Lagrange (1736-1813), extiende los resultados generales al caso del movimiento de los cuerpos, donde, el espacio y la fuerza aparecen primero por sí mismos y sus relaciones son tratadas en la estática. Donde, su objetivo a conseguir es desarrollado en su tratado en la *Mecanique Analytique*:

*“Reducir la teoría de la mecánica y el arte de solucionar problemas asociados, a una formula general, cuyo desarrollo simple proporcione todas las ecuaciones necesarias para la solución de cada problema [...]. Y reunir y presentar desde un punto de vista, los diferentes principios que hasta ahora han sido encontrados para ayudar en la solución de problemas en mecánica; mostrar su relación y dependencia mutua y hacer juicio de validez y alcance posible”. (Lagrange, 1965. Prefacio a la primera edición, pág. I)*

Ernst mach en la *Historia de la mecánica (1919)*, intenta argumentar los esfuerzos que se venían desarrollando por varios pensadores de la física del siglo, para construir una mecánica lo más racional posible, esto con el fin, de dar cuenta de algunos problemas que se venían desarrollando en este campo<sup>10</sup>. A su vez, poder deducir diversos principios de la mecánica configurados hasta el momento a partir de uno solo *El principio general del equilibrio*. Que según Lagrange:

---

<sup>9</sup> Cuando nos referimos a espaciales rígidas, son susceptibles de cambiar de posición con respecto a una referencia espacial preestablecida cuando varía un parámetro también previamente definido: el tiempo, son estos fenómenos de movimiento.

<sup>10</sup> Problemas relativos al movimiento de cuerpos rígidos, al movimiento sujeto a ligaduras, a las condiciones de equilibrio y de movimientos de distribución continua de masas, entre otros ponía de manifiesto la insuficiencia de las leyes de newtonianas y exigían la consideración de nuevos principios para ser resueltos.

*“Este principio no es solamente en sí mismo muy simple y muy general, tiene además la ventaja preciosa y única de poderse traducir en una fórmula que abarque todos los problemas que uno puede proponerse sobre el equilibrio de los cuerpos” (Lagrange, J. L., 1965,1)*

Así mismo, se desarrolla un modo general basado en la aplicación de este principio con el fin, de resolver todos los problemas y acontecimientos que se venían tratando en la mecánica. Intentando argumentar la validez de su tratado, en una parte, en la conformidad que se tenía en los resultados de las proposiciones conocidas hasta el momento en la estática, y por otra parte, en la posibilidad de deducir a partir de éste las fórmulas generales que definen la posible solución de cualquier problema en mecánica.

### **1.3 La importancia de la estática en la mecánica y su posible enseñanza.**

En la enseñanza de los fenómenos mecánicos, la experiencia que se adquiere de lo que se considera mundo “externo” permite generar herramientas para su respectiva enseñanza, donde, la actividad del científico, depende de las posibles representaciones que se tenga de él. Esto, se establece con el fin de poder generar espacios de reflexión, que permitan identificar las posibles situaciones de enseñanza. Así mismo, la explicación de esta forma de concebir los fenómenos físicos, permite la posibilidad de introducir el análisis desde una postura diferente a la tradicional (*de corte Newtoniano*).

Estas observaciones, establecen una serie de exigencias al maestro a la hora de abordar y concebir los fenómenos mecánicos, conlleva a la necesidad de rechazar la idea usual de que hay una única mecánica para ser enseñada; entre otras cosas, permite construir un panorama acerca de las forma de concebir el conocimiento científico, estableciendo rutas posibles de desarrollo, y seleccionar entre ellas la más apropiada para su propósitos; elaborando, así, criterios que le permitan fundamentar su enseñanza.

Este es el caso del equilibrio mecánico, los conceptos del equilibrio o la definición de las condiciones de equilibrio son aspectos que si bien son tratados en el ámbito de la dinámica, también pueden ser abordados en el caso de otros campos de análisis. Tal reducción de las condiciones de equilibrio, le resta importancia al estudio de la estática, obstruyendo un espacio para el desarrollo de diversas actividades de experiencias del sujeto con su entorno. Afirma Ayala: *“El análisis y organización de la experiencia son importantes para avanzar en la conformación de otros tipos de fenomenologías<sup>11</sup>”* (Ayala, 2003). Igualmente, tal organización, obedece a una serie de propuestas históricas que permitan hacer posible plantear un cuadro de contribuciones puramente científicas, y, a la vez accedan sobre la validez y certeza con nuestro conocimiento.

Por tal motivo, se presenta los aportes a la mecánica adelantados en el marco de la estática, desde esta perspectiva es necesario determinar las diversas formas de representar las condiciones de equilibrio mecánicos, donde tales condiciones generan las posibles implicaciones a la hora de abordar los fenómenos estáticos, donde, se reconoce la importancia de establecer los problemas en la enseñanza de la mecánica desde otro aspecto, aportando a la actividad del científico nuevas experiencias.

Al mismo tiempo, los fenómenos que se presentan en la estática, Según Lagrange pueden ser analizados de dos maneras: *“Aquellos que se pueden considerar como manifestación del equilibrio donde existe una compensación de fuerzas”*, y, *“aquellas que presentan un desequilibrio donde se rompe esa compensación de fuerzas y se genera un movimiento”<sup>12</sup>*, lo interesante es que se toma el caso del desequilibrio como un caso particular del equilibrio, dejando de lado esa incompatible relación entre equilibrio-desequilibrio.

En conclusión, dada la posible factibilidad de la enseñanza de la estática, se permite abordar el concepto de equilibrio desde otra perspectiva, generando una mirada distinta a los análisis

---

11

<sup>12</sup> El cambio ya sea de lugar, en el caso del principio de las palancas, o de movimiento, en el caso del principio de descomposición de fuerzas, es negación del equilibrio.

de los fenómenos mecánicos y generando espacios de reflexión acerca de la enseñanza de la mecánica.

#### **1.4 Algunas dificultades al abordar los fenómenos estáticos.**

Usualmente al abordar los fenómenos mecánicos, pueden surgir algunas dificultades, esto puede provenir de diferentes lugares; uno puede ser el proceso de formalización de un fenómeno mecánico o simplemente la misma representación que se tenga del objeto. Pero no es de extrañar que en ocasiones el mal uso de las matemáticas en la enseñanza de los fenómenos mecánicos, ha llevado usualmente a confundir la física con una aplicación solamente de fórmulas y ecuaciones matemáticas a los conceptos y/o teorías en la física, En este sentido, *“se suele considerar que mientras más abstracta sean las fórmulas y los algoritmos utilizados más formal es la teoría física en consideración”*. (Ayala, M. & Romero, A. & Malagón, J. & Rodríguez, O. & Aguilar, Y., Garzón, M., 2008).

Por tal motivo, no es de extrañar que las propuestas de investigación en la enseñanza de los fenómenos mecánicos, centren su campo de interés en el diseño de diversas estrategias metodológicas cuyo último objetivo, es familiarizar al estudiante con un conjunto de análisis de los fenómenos en cuestión. No obstante, no se puede decir con certeza *“hasta qué punto se puede considerar que los procesos de formalización en el análisis y comprensión de los fenómenos físicos se reducen a una mera aplicación de fórmulas en los conceptos y/o teorías en físicas”* Pero estos análisis, ponen de manifiesto los posibles nexos que existe entre la formalización en el estudio de los fenómenos mecánicos, estableciendo las diferentes maneras de concebir la naturaleza del conocimiento físico y sus dinámicas con el conocimiento matemático.

Una vez se reconoce la variedad de problemas que surgen en poder organizar la experiencia con los fenómenos mecánicos, se requiere invitar al individuo a pensar sobre las posibles formas de representar un fenómeno, A su vez, se establece algunas reflexiones, de tal forma que se dé la posibilidad de un estudio del sujeto acerca de las diferentes formas de representar la mecánica. Por tanto la forma de abordar un problema en mecánica no va a tratar

únicamente de dar una fórmula, sino que ante todo es importante establecer un contexto histórico donde se establecen las proposiciones con las que se rige la mecánica y así mismo se genera una perspectiva de enseñanza. De tal modo, se pueda luego generar un proceso de formalización, llevando al científico a explorar el mundo y que así construya una visión de este, para que sea capaz de describirlo, de poder expresarlo y en última instancia poder armar un discurso.

### **1.5 Aportes en relación a la enseñanza de la estática.**

El aporte de las ideas constructivistas, genera nuevas herramientas para la enseñanza de los fenómenos mecánicos. A su vez, establece una serie de exigencias al maestro a la hora del manejo de diversas estrategias. Por tal motivo, Novack (1998) afirma que: *“el constructivismo intenta explicar cómo el ser humano es capaz de construir conceptos y cómo sus estructuras conceptuales le llevan a convertirse en las gafas perceptivas que guían su aprendizaje”* Por lo cual, se asume al sujeto un ente capaz de construir conocimientos por sí mismo, es decir, que cada individuo construye significado de los objetos a medida que va aprendiendo.

La intervención del sujeto en la construcción de su propio conocimiento es relevante en esta propuesta de investigación en relación a la mecánica, por tal motivo, se debe establecer las metas a alcanzar para que pueda intervenir activamente del proceso, con el fin, de hacer un seguimiento de su proceso de representación del mundo y por tanto aprovechar mejor su intervención, generando preguntas que son necesarias para su proceso de mejora. Las nociones que se construyen de las experiencias, serán tenidas en cuenta para el proceso y ejecución de los problemas que surgen en el estudio de los fenómenos estáticos. A partir, de los resultados de la interacción que se tiene del sujeto con las diferentes situaciones del equilibrio mecánico, que permite al individuo tener una relación directa o indirecta con el conocimiento.

De acuerdo a lo anterior, es importante resaltar el quehacer del científico, y su posible discusión en torno a la enseñanza, creando espacios de reflexión para adoptar diferentes modelos que le permitan construir su experiencia, Según Chaparro: *“las prácticas experimentales pueden favorecer la comprensión de los estudiantes al enfrentarse a un determinado modelo en física”*. (Chaparro, 1997). En definitiva, el objetivo de que el sujeto tenga capacidad de construir experiencias está a la base de la reestructuración de su conocimiento. Es así, que le permite al sujeto aprender y dirigir su capacidad a ciertos modelos e ir construyendo en ellos el significado de esos contenidos. Así mismo, se sabe que existen varias metas a lograr en la educación científica, dentro de las cuales se encuentran el abordar los conceptos y/o teorías físicas en el desarrollo de estrategias y habilidades en la resolución de los problemas que aparecen.

Es por esto, que es necesario generar espacios de reflexión relacionados al equilibrio mecánico, de esta manera se despliegue habilidades de análisis y lógica que permita lograr una comprensión del tema con ayuda del maestro, sus compañeros y la experiencia obtenida a partir de la interacción. Además, se considera que la base fundamental para un aprendizaje constructivista es exponer los conocimientos previos. Y, establecer relaciones entre los conocimientos para la construcción de guías conceptuales para una organización de sus experiencias.

## **1.6 Consideraciones asociadas a la enseñanza de la mecánica.**

La perspectiva que se tiene a la hora de abordar algún fenómeno mecánico permite el desarrollo de la estática, representando una mirada distinta a las condiciones del equilibrio mecánico, y, a partir de ello, poder plantear de una manera alterna los problemas relacionados en la mecánica. Con la intención de generar rutas conceptuales, para la comprensión y análisis de las diferentes situaciones que se pueden generar en el estudio de algún fenómeno mecánico.

Fundamentadas en esta perspectiva se presentan a continuación algunas consideraciones y elementos que permiten personificar la importancia de la estática en la enseñanza de la mecánica.

# *Capítulo 2*

*“Este principio no es solamente en sí mismo muy simple y muy general, tiene además la ventaja preciosa y única de poderse traducir en una fórmula que abarque todos los problemas que uno puede proponerse sobre el equilibrio de los cuerpos”*  
*(Lagrange, J, L., 1965,1)*

## ***2. El principio general del equilibrio.***

Dado el privilegio que se le otorga a la mecánica newtoniana en la enseñanza de los fenómenos mecánicos generalmente las situaciones de equilibrio de los cuerpos establecen un concepto básico organizador de un fenómeno. Pero un primer acercamiento en torno a los fenómenos estáticos permite evidenciar, que es posible dar cuenta de estos fenómenos desde otra perspectiva que es puramente espacial, donde la configuración del sistema permite establecer las condiciones de equilibrio.

Así mismo, como lo plantean diferentes pensadores de la mecánica en el transcurso de la historia; el concepto de fuerza se encuentra a la base de este elemento de organización conceptual. Permitiendo establecer los casos en que los cuerpos se encuentran en equilibrio, ya sea vista como una cancelación de sus fuerzas. A partir de esto, la propuesta que se presenta en los “*elementos para la enseñanza de la estática desde una perspectiva constructivista*<sup>13</sup>”, es tratar de dar cuenta de tres proposiciones a los que se puede reducir el estudio sobre los fenómenos estáticos: el de palancas, el de la composición de fuerzas y el de las velocidades virtuales; se considera que estas proposiciones no son complementarios sino más bien son particulares en la forma de organizar los fenómenos de la estática. De hecho, el “*principio de velocidad virtual*” que define así Lagrange, es el que se eleva a la categoría general de la estática.

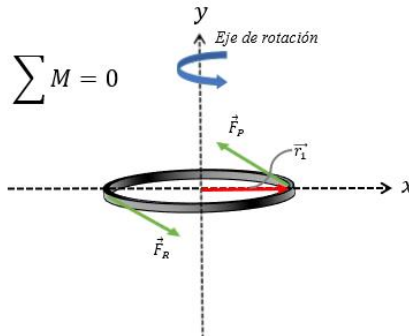
## **2.1 Los principios de la estática.**

Usualmente en la enseñanza de los fenómenos mecánicos las situaciones de equilibrio de los cuerpos son analizados como un caso particular de la dinámica, donde las fuerzas y/o torques que actúan sobre un cuerpo se anulan entre sí, estableciendo la condición de que todas las aceleraciones sobre un sistema sean constantes e iguales a cero, la figura 1 muestra dos fuerzas que actúan entre sí, generando que su momento de fuerza sea igual a cero. Esto hace que se tenga una única perspectiva a la hora de abordar un problema propio en los fenómenos

---

<sup>13</sup> Trabajo presentado en el XIV Congreso Nacional de Física, Barranquilla, 1991

mecánicos, originando que la enseñanza de la estática pierda interés conceptual, al igual la riqueza que involucra poder abordar un problema de la mecánica.



**Figura 1:** Descripción del equilibrio entre dos fuerzas por momentos de fuerza (Torques). donde la suma de sus momentos se cancelan entre sí

Pero, el origen de la física llamada estática, parte de entender otras cuestiones; el análisis de las posibles acciones que puedan ejercer los cuerpos debido a su peso<sup>14</sup> y las posibles configuraciones que produce el sistema. Forjando que el peso sea parte importante en el desarrollo del equilibrio, pero no la única fuente de acción de una fuerza, quedando ubicada como parte de su propia naturaleza y se caracteriza como una propiedad inherente al cuerpo mismo.

Esta perspectiva que se tiene al abordar un fenómeno estático se puede expresar en el sistema formal que presenta Lagrange, en este trabajo se construyen algunos principios generales que conectar e implicar diversas proposiciones, a causa, de buscar y organizar una variedad de problemas que surgen en la mecánica<sup>15</sup>. Por tal motivo, el equilibrio de los cuerpos se puede analizar como la ausencia del movimiento y por ende es la oposición a un desplazamiento (*velocidad virtual*). Pero es claro que para poder pensar la mecánica desde esta perspectiva es necesario una transformación en el concepto del equilibrio.

<sup>14</sup> En términos de Galileo, resistencia, fuerza o potencia.

<sup>15</sup> Problemas relativos al movimiento de cuerpos rígidos, al movimiento sujeto a ligaduras, a las condiciones de equilibrio y de movimientos de distribución continua de masas, entre otros ponía de manifiesto la insuficiencia de las leyes de newtonianas y exigían la consideración de nuevos principios para ser resueltos.

A continuación, se presenta tres proposiciones a los que se puede ubicar el estudio sobre los fenómenos estáticos: el de palancas desarrollado por Arquímedes y Galileo, el de la composición de fuerzas y el de las velocidades virtuales; considera que estos son más bien representaciones en la forma de organizar los fenómenos estáticos. Así mismo, se desarrolla un modo general basado en la aplicación de estas proposiciones con el fin, de resolver todos los problemas y acontecimientos que se venían tratando en la mecánica. Lagrange intenta argumentar la validez de su tratado, en una parte, en la conformidad que se tenía de los resultados de las proposiciones conocidas hasta el momento en la estática y por otra parte, la posibilidad de deducir a partir de éste las fórmulas generales que define la posible solución a cualquier problema que se presente en la mecánica.

## **2.2 El principio de las palancas.**

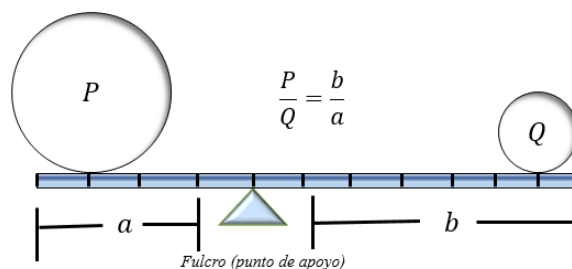
En esta sección, nos ocuparemos acerca de las situaciones de equilibrio mecánico en el estudio de las palancas, Arquímedes elimina la consideración dinámica del movimiento para centrarse en el caso del equilibrio estático. Se puede evidenciar que un cuerpo que cae libremente tiene un movimiento que es natural de caída que es la fuente de las posibles acciones que produce un sistema. Por tal motivo, se puede argumentar, que todos los cuerpos son idénticos cuando caen verticalmente y se puede establecer distinciones entre ellos según su peso cuando se les impide su movimiento natural de caída<sup>16</sup>.

Según esto, la acción del peso fuera de ser vertical no es del todo relevante ante el análisis del equilibrio de los cuerpos, Como resultado, la acción del peso queda ubicada como una posible acción de fuerza. Y, se establece más que las condiciones de equilibrio en las palancas depende más de la situación en la que se establece la configuración geométrica del sistema, en la figura 2 se observa que el equilibrio solo es evidente para distribuciones espaciales de peso con cierta simetría. La demostración de la ley de palancas de Arquímedes (287-211 a.C.), plantea, cualquier cuerpo situado en posición simétrica respecto al eje de simetría que

---

<sup>16</sup> Para Galileo, la acción, es el *ímpetus* o tendencia que se manifiesta cuando se impide total o parcialmente que el cuerpo o parte del sistema caiga. Véase (Ayala, M. & Romero, A. & Malagón, J. & Rodríguez, O. & Aguilar, Y., Garzón, M. pág. 23. 2008).

pasa por el punto medio ubicado entre los dos cuerpos centrales, se establece por intuición y simetría geométrica, en el cual, se presenta en el postulados *Sobre el equilibrio de los planos*<sup>17</sup>. (Cohen & Drabkin, 1958, p. 186-8)

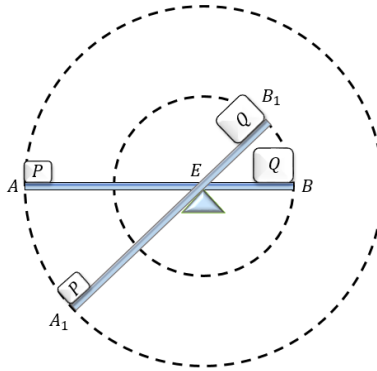


**Figura 2:** El equilibrio en las palancas: según Arquímedes, alteración de la disposición de los pesos sin afectar el equilibrio.

Para Arquímedes, es claro que el punto de simetría juega un papel crucial en la construcción del equilibrio ya que es donde se produce, y, en tanto, las magnitudes sean desiguales y estén ubicados a distancias proporcional a dichos magnitudes<sup>18</sup>, se dice que el sistema se encuentra en equilibrio, y por otro lado, si los pesos son iguales y se encuentran a distancias desiguales el sistema no se encuentra en equilibrio sino que se inclina (la palanca) hacia el peso que está a mayor distancia, se sobre entiende que las distancias se miden desde el fulcro o punto de apoyo de la palanca, es también el punto donde se puede considerar concentrado todo el peso.

<sup>17</sup> Para Arquímedes la simetría se entiende como magnitudes de pesos iguales a distancias iguales del punto de equilibrio (*fulcro*).

<sup>18</sup> Es fundamental para la deducción de la ley de la palanca. Cuando Arquímedes dice “magnitudes iguales a otras magnitudes”, quiere decir “magnitudes del mismo peso”. Y cuando dice “magnitudes a ciertas distancias” quiere decir “los centros de gravedad de las magnitudes están a la misma distancia del fulcro” (Assis, 2008, p. 179)

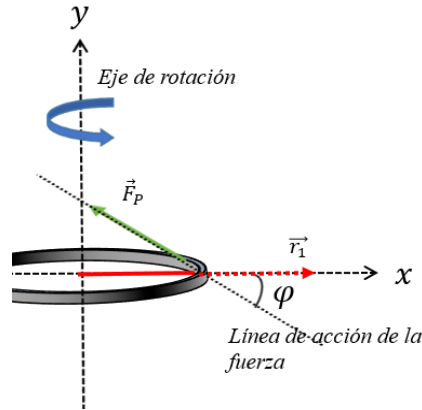


**Figura 3:** Si la palanca se pone en movimiento, las velocidades de los pesos serian inversamente proporcionales a las magnitudes de dichos pesos.

Una vez determinado el centro de gravedad del sistema de pesos (fulcro), se establece la conocida ley del equilibrio en las palancas: Si en una palanca recta se colocan dos pesos cualquiera, la razón entre el peso movido  $P$  al peso que causa el movimiento a  $Q$ , es igual a la razón inversa de las distancias desde el centro de gravedad<sup>19</sup>. En la figura 3 se observa que cuando la fuerza  $P$  se desplaza desde  $A$  hasta  $A_1$  describe un arco de circunferencia  $AA_1$  mayor que el desplazamiento del peso  $Q$  según el arco  $BB_1$ . De esta manera, una acción provoca mayor movimiento al actuar a una distancia mayor al fulcro (cf. Winter, 2007; Aristóteles, 1936)

Esta última idea refleja la demostración hecha por Arquímedes, que nos permite por una parte, reafirmar la idea de centros de gravedad relativos, en el caso de las acciones  $P$  y  $Q$ , y, permite desarrollar la idea de que reducir cualquier disposición al caso simétrico de distribuciones homogéneas de peso a lo largo de la balanza, permite fácilmente determinar el punto de apoyo de la configuración.

<sup>19</sup> En su proceso de formalización se expresa:  $\frac{d_1}{d_2} = \frac{P}{Q}$  ;  $d_1P = d_2Q$



**Figura 4:** Descripción geométrica para el brazo de fuerza en términos de  $\vec{r}_1$ .

Para concluir, en la figura 4 se puede considerar que la acción del peso no se manifiesta únicamente verticalmente sino, también, en diferentes direcciones: teniendo en cuenta que el equilibrio es la acción que es perpendicular al brazo de la palanca<sup>20</sup>, según Mach; Arquímedes y todos sus sucesores, introdujeron la hipótesis de que el equilibrio de un peso P a una distancia D está medido por el producto  $P \times D$ , el llamado momento estático (Mach, 1949, p. 24). Estos planteamientos aportan elementos para la línea de descomposición de fuerzas<sup>21</sup>.

### 2.2.1 Galileo y el equilibrio en la palanca.

En las consideraciones referidas a la estática, Galileo (1564-1642), tomo como principio las demostraciones hechas por Arquímedes, aquel que sirve para evidenciar las propiedades esenciales de una palanca. Dicho principio lo presenta Galileo según en palabras de Lagrange<sup>22</sup> de un modo más simple, lo cierto es que ambos autores mantienen como principio la demostración que pesos iguales colocados a la misma distancia del punto de apoyo se equilibran, nos referiremos a la demostración galileana del principio de la palanca: *“Pesos desiguales permanecen en equilibrio si los brazos de la balanza tienen una longitud*

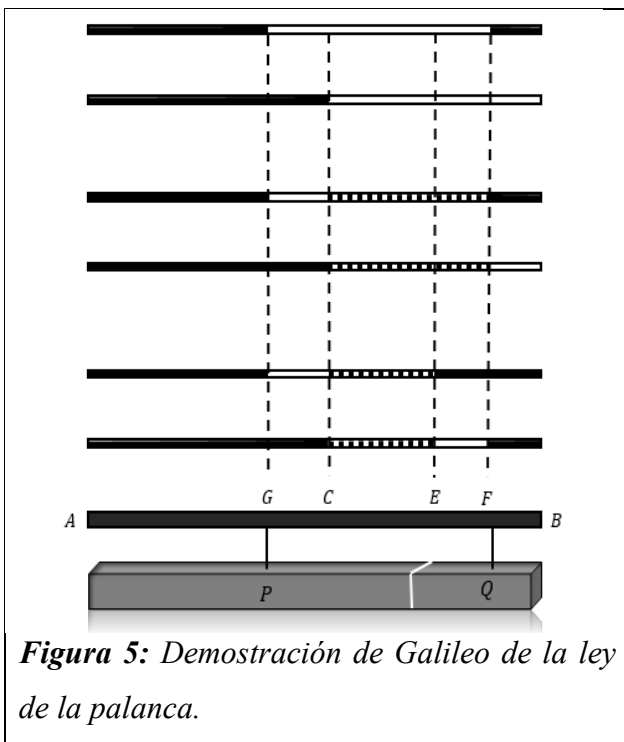
<sup>20</sup> El brazo de la palanca es considerado como una línea inmaterial y las posibles acciones se aplican a puntos geométricos (cf. Lindberg, 2002). Usualmente en la enseñanza de la mecánica se expresa como:  $M = \vec{F} \cdot \vec{d}$

<sup>21</sup> Estos análisis desembocan en el planteamiento del concepto de momento de fuerza. Esta regla es aplicable a poleas, planos inclinados, la rueda y, en general a todas las máquinas simples.

<sup>22</sup> Véase (A. Romero & L.D. Rodríguez. Pág. 26).

*inversamente proporcional a los pesos colgados de tales brazos”. (Citado por L. Rodríguez & A. Romero., 1999, p. 27)*

Las demostraciones hechas por Galileo, se puede observar por medio de un cuerpo homogéneo que se encuentra suspendido, cada extremo se halla suspendido por una cuerda, por tal motivo, el sistema se encuentra en equilibrio, Ahora, si ubicamos una cuerda C es el punto medio del cuerpo, de modo que ese punto estará igualmente en equilibrio porque hay igual peso a un lado que al otro. De esta manera la función de las cuerdas pueda ser reemplazada por la cuerda C estableciendo su centro de gravedad relativo.



En la figura 5 se ilustra dos cuerpos  $P$  y  $Q$ , que cuelgan de los extremos  $G$  y  $F$  de la balanza, en la que el equilibrio tiene lugar en el punto  $C$ , de modo que el segmento  $CG$ , es la distancia que va desde el punto  $C$  al punto de suspensión del cuerpo  $P$  mientras que el otro segmento,  $CF$  es la distancia a la que pende el otro cuerpo  $Q$ ”

El siguiente paso radica en mostrar que  $GC:CF :: P:Q$ , es decir que la razón entre las distancias es inversa a la razón entre

los pesos. Por tal motivo se observa que  $AE$  y  $EB$ , conforman la balanza total, entonces sus respectivas mitades ( $GE$  y  $EF$ ) equivalen a la mitad de  $AB:CB$ . De modo que, se puede comparar  $GF$  y  $CI:CF$  en su parte común, se tiene que  $GC = FB$ , si ahora se recupera  $CE$  en ambos casos, por ser las mitades de  $EB$ , con lo cual Galileo pudo establecer la relación:



$$\frac{GE}{EF} = \frac{CF}{CG}$$

$$\frac{AE}{EB} = \frac{P}{Q}$$

En donde el segmento  $CG$  reemplaza al segmento  $FB$  por una igualdad ya planteada, Como el doble de  $GE$  es  $AE$  y el de  $EF$  es  $EB$ , la razón entre  $AE$  y  $EB$  es la misma que las anteriormente establecidas; además dicha proposición puede extenderse a los mismos cuerpos  $P$  y  $Q$ <sup>23</sup>; De lo cual galileo establece la ley del equilibrio: “*si una palanca recta está cargada de dos pesos cualquiera colocados de un parte y otra del punto de apoyo a distancias de este punto inversamente proporcional a los pesos, esta palanca estará en equilibrio*”. (Citado por L. Rodríguez & A. Romero., 1999, p. 27).

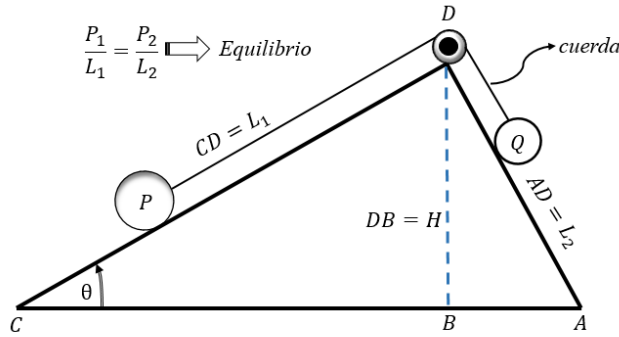
## 2.3 El principio de descomposición de fuerzas.

### 2.3.1 El equilibrio y las ligaduras de un sistema.

Como se afirmó arriba, en el estudio que se hace sobre el equilibrio de los cuerpos, establece que la posible acción se puede producir en distintas formas, De aquí surge la pregunta *¿Qué ocurre cuando dos cuerpos están unión por medio de una cuerda?* Para dar respuesta a esta pregunta, como lo hizo Huygens, se comienza por construir un plano inclinado en el cual se posee dos cuerpos con pesos totalmente distintos, por tal motivo, su movimiento de caída tiende a ser de distinta forma, en la figura 6 se ilustra, dos cuerpos que sus movimientos de caída se ven restringidos por medio de una cuerda. Es claro, que la tendencia a caer de los cuerpos depende de la configuración del sistema, dado que, el movimiento de los cuerpos es diferente, siendo mayor cuando cae directamente hacia el centro de la tierra.

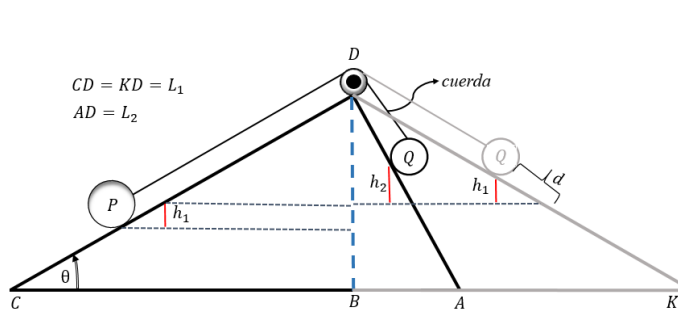
---

<sup>23</sup> Que se diferencian solo por su longitud, ya que hacen parte de la totalidad de un mismo sólido homogéneo  $AB$ , tienen la misma altura  $AE$  e igual ancho.



**Figura 6:** Plano inclinado, dos cuerpos que tienen tendencia a caer diferente y son obligados a moverse juntos por medio de una cuerda.

El plano inclinado permite evidenciar las posibles direcciones en las cuales el peso puede ejercer su acción, en el estudio que se tiene de los planos inclinados se propone encontrar la fracción de peso por la cual un cuerpo sobre un plano inclinado tiende hacia abajo. Por tal motivo, se basa en una primera instancia, en considerar el equilibrio de los cuerpos sobre triángulos de diferente forma, si la disposición de los pesos en los lados del triángulo mantienen las condiciones de equilibrio, se puede establecer, que el equilibrio sobre un sistema solo se puede generar si los pesos están en la misma proporción que las longitudes de los lados del triángulo sobre los cuales reposa. Mediante un arreglo homogéneo como lo indica la figura 7 se establece un triángulo ubicado en un plano vertical y cuya base coincide con la horizontal de modo que la razón entre los pesos que descansan sobre los lados del triángulo esté siempre en la misma razón que las longitudes de estos<sup>24</sup>.



<sup>24</sup> El equilibrio entre las fuerzas aplicadas y los movimientos engendrados solo se pueden dar en direcciones contrarias, por tal motivo, el equilibrio entre los movimientos se destruyen por medio de las ligaduras que conforman el sistema. (J. castillo y otro. Pág. 37)

**Figura 7:** Demostración del equilibrio de los cuerpos por medio del plano inclinado.

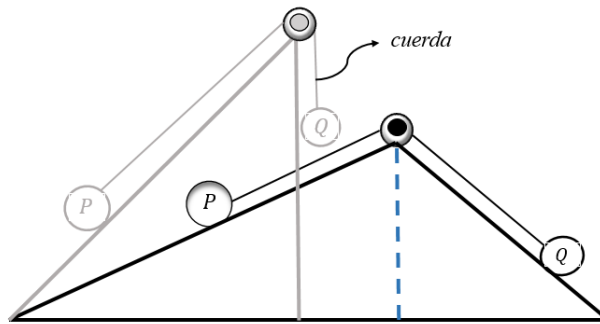
Así, teniendo la simetría de la distribución de pesos, se demuestra que dos cuerpos ubicados en planos inclinados de diferente inclinación tienen la misma “*fuerza de descenso*”, si se verifica entre ellos que la proporción entre los pesos es igual a la proporción entre las longitudes de los planos, estableciendo que el equilibrio de los pesos deben estar en la misma proporción que las longitudes de los lados del triángulo sobre los cuales reposan. Como se expresa en la siguiente ecuación:

$$\frac{h_1}{d} = \frac{H}{DK} ; \frac{h_2}{d} = \frac{H}{DA} \quad \Rightarrow \quad \frac{h_1}{h_2} = \frac{DK}{DA} = \frac{L_1}{L_2}$$

Se puede apreciar también que las porciones entre  $h_1$  y  $d$  es la misma que entre  $DB$  y  $DK$  ya que  $DB = H$ , análogamente se puede ver que la proporción entre  $h_2$  y  $d$  es la misma que entre  $H$  y  $DA$ . De estas dos últimas relaciones, se concluye que  $h_2 : h_1 :: L_1 : L_2$ . Además, la acción del peso, el cual tiende a descender a lo largo de un plano inclinado corresponde a la tensión de la cuerda, si uno de los planos es vertical, tal valor será equivalente al peso del cuerpo en ese plano, una cuerda normal a tal plano producirá una acción “elevadora” que sustituye la función de apoyo que ofrece el plano, de esta forma, representa el peso del cuerpo sobre un plano inclinado como compensado por dos fuerzas, una perpendicular y otra paralela al plano.

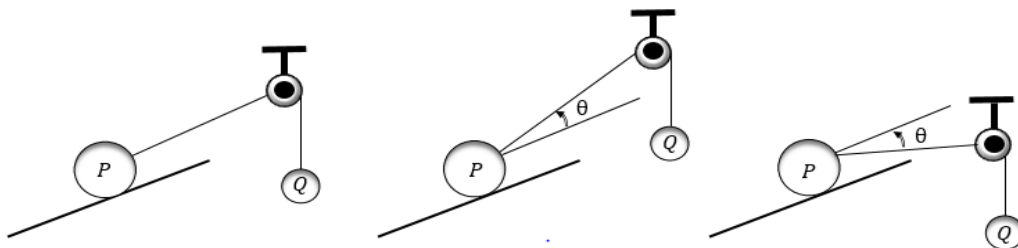
### 2.3.2 El equilibrio según Stevin; los planos inclinados.

Ahora, ya establecida la condición de equilibrio para sistemas con cierta ligadura ¿es posible deformar el triángulo y mantener dicha igualdad entre los pesos, es decir, mantener la condición de equilibrio? Es importante aclarar que en la figura 8 si bien los pesos como tal pueden variar, cabe resaltar, que los resultados son compatibles, con los determinados desde la perspectiva que plantea Newton a partir de la descomposición de fuerzas, pero mientras que desde esta se requiere una demostración, desde los análisis que presenta Stevin resultan de una forma distinta y peculiar.



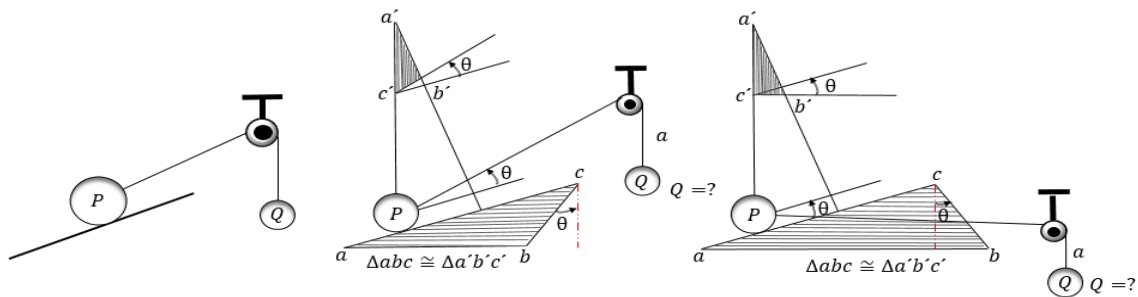
**Figura 8:** Es posible deformar el triángulo y mantener la igualdad de poderes entre  $P$  y  $Q$

Por tal motivo, Stevin comienza considerando dos cuerpos unidos por medio de una cuerda uno de los cuales descansa sobre un plano inclinado y el otro pende mediante una cuerda que puede tomar diferentes orientaciones respecto al plano inclinado, Ahora, establece tres casos en los que se puede reducir el estudio del equilibrio de los cuerpos sobre planos inclinados. En la figura 9, se ilustra: 1) el ángulo formado entre el plano y la cuerda de donde pende  $Q$  es cero (la cuerda es paralela al plano); 2) el ángulo formado es mayor a cero y menor al ángulo formado entre el plano inclinado y la vertical y 3) La dirección de la cuerda es horizontal y el ángulo se toma en sentido opuesto respecto al plano. A partir de dichos criterios planteados por Stevin en el teorema XI proposición-XIX es posible comparar los poderes de un peso arbitrario a  $P$  ubicados sobre planos de diferentes inclinaciones con el poder de un peso  $Q$  en un plano de inclinación fija y por lo tanto comparar estos poderes entre sí siempre y cuando se considere la actividad del poder del peso, y una serie de supuestos que llevan a la idea de que el poder del peso solo depende de la inclinación.



**Figura 9:** Problema planteado por Stevin; para los casos a)  $\theta=0$ , b)  $\theta>0$  y c)  $\theta<0$ .

Haciendo uso del método desarrollado hasta el momento, Stevin muestra que la solución del problema es equivalente a la determinación de las condiciones de equilibrio de dos pesos cualesquiera  $P$  y  $Q$  unidos mediante una cuerda y ubicados respectivamente sobre los planos inclinados que conforman los triángulos  $abc$ , el triángulo  $abc$  es semejante al triángulo  $a'b'c'$  que se construye como se ilustra en la figura 10 y es de la siguiente manera: el segmento  $a'b'$  tiene la dirección vertical, el segmento  $b'c'$  es paralelo a la cuerda y el segmento  $a'c'$  es perpendicular al plano. Construye luego un triángulo semejante a  $a'b'c'$  que se orienta de tal modo que el lado correspondiente a  $a'b'$  coincide con la horizontal; de esta manera, la configuración que equivale a la inicial es tal que  $P$  actúa a lo largo de  $ac$  y  $Q$  a lo largo de  $bc$ . Basado en dicha equivalencia, para Stevin el peso  $Q$  que equilibra a  $P$  debe satisfacer la siguiente proposición  $P:Q :: l_1:l_2$



**Figura 10:** Construcción de las configuraciones equilibradas según Stevin para los casos donde: a)  $\theta=0$ , b)  $\theta>0$  y c)  $\theta<0$ .

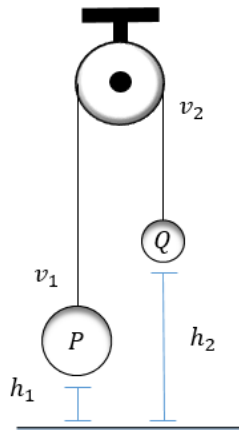
Lo anterior pone de manifiesto que esta idea presentada como obvia desde la perspectiva newtoniana, está lejos de serlo, ya que desde este enfoque, no se entendería porque la cuerda está más tensa en un caso que en el otro<sup>25</sup>, si el poder de  $P$  es igual en ambos casos; esto implicaría introducir nuevas fuentes de acción. Así, esta exploración del trabajo donde el poder del peso se define según la conformación del sistema; en tal situación el poder del peso estaría dado por la tensión de la cuerda. Considerando lo anterior, se puede señalar que el movimiento de un cuerpo se expresa en el primer instante que se rompe el equilibrio, lo que permite definir su dirección, además, le permite considerar que un sistema mecánico se

<sup>25</sup> Véase (M. M. Ayala, & F. Malagón, & I. Garzón. & J. C. Castillo. \$ A. Romero y L.D. Rodríguez).

encuentra en equilibrio cuando las fuerzas aplicadas se dan en una dirección y los movimientos que engendra se dan en direcciones opuestas.

## 2.4 El principio de las velocidades virtuales.

El problema del equilibrio desde la perspectiva que presenta Lagrange en el estudio de los fenómenos estáticos, se fundamenta en el principio de las velocidades virtuales, por tal motivo, es necesario pensar en la acción que hace un cuerpo en mover a otro. Así mismo, es importante pensar en un cuerpo como activo, y el otro como resistente, el cuerpo activo se define como el que desciende, y el resistente el que se supone que es elevado. Se entiende por velocidad virtual según Lagrange: *“Aquella que un cuerpo en equilibrio está dispuesto a recibir, en el caso de que el equilibrio sea roto, es decir la velocidad que el cuerpo obtendría realmente en el primer instante de su movimiento”*. (Lagrange, J. L., 1965,1).



**Figura 11:** El equilibrio en la balanza desde la perspectiva de los desplazamientos virtuales.

Para levantar un cuerpo se considera que es necesario la medida de la acción del peso que permite pensar en que el movimiento producido debe estar determinada por tal dirección. Sin embargo, la acción solo se puede determinar por el movimiento que el sistema físico sea capaz de producir en el primer instante que su equilibrio se rompe. En la figura 11 se observa el desplazamiento generado en el instante en que se rompe su equilibrio, la dirección donde

se produce la acción es proporcional a la velocidad virtual adquirida en aquella dirección. Tomando en consideración la configuración del sistema, puede entenderse que levantar un cuerpo de peso  $P$  una altura  $h_1$  debe ser equivalente a levantar un peso  $Q$  una altura  $h_2$ <sup>26</sup>.

Es necesario examinar cómo es posible que esta idea pueda explicar las diferentes situaciones de equilibrio en un sistema mecánico, el principio general del equilibrio se expresa en un sistema sobre el cual dos fuerzas  $P$  y  $Q$ , estarán en equilibrio cuando ellas estén en razón inversa a sus velocidades virtuales, estimadas según las direcciones de esas fuerzas. Es así, que a partir del principio de velocidad virtual se construye el principio general del equilibrio:

*“Si un sistema cualquiera de tantos cuerpos o de puntos como se quiera, actuados cada uno por fuerzas cualquiera, está en equilibrio, y si se le hace a ese sistema un pequeño movimiento cualquiera, en virtud del cual cada punto recorrerá un espacio infinitamente pequeño que expresara su velocidad virtual, la suma de las fuerzas multiplicadas cada una por el espacio desde el punto donde ella es aplicada y que recorrerá la dirección de esta misma fuerza, será siempre igual a cero; mirados como positivos los pequeños espacios recorridos en el sentido de las fuerzas, y como negativos los espacios recorridos en el sentido opuesto” (Lagrange, 1965, p,20).*

Es así, como este método es seguido por aquellos que han aplicado el principio de velocidades virtuales a la solución de problemas de la estática. Pero, esta manera de aplicar el principio exige hacer uso de construcciones y consideraciones geométricas. En este sentido el momento de una fuerza se convierte en la lógica y operativa a través de la cual se analiza y se explica el estado de equilibrio ya sea estático o dinámico de un sistema a partir del principio de velocidades virtuales existente en su época. Según Lagrange citado por J. castillo y otro (2014), la define como el equilibrio es entendido desde el desequilibrio intencional del sistema que pone en evidencia las acciones recíprocas que se cancelan, las tendencias al movimiento; configurándole un carácter dinámico.

---

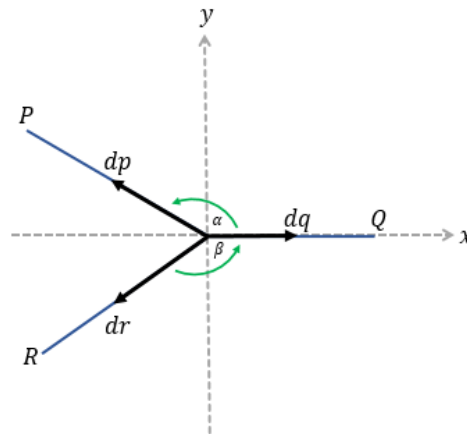
<sup>26</sup> Véase H. Manchola y M.M, Ayala, óp. Cit.

## 2.5 El momento de fuerza desde el principio de las velocidades virtuales.

La cantidad de movimiento relevante para expresar el equilibrio de los cuerpos se expresa en el momento de una fuerza, según Lagrange se define: “*como el producto de la velocidad virtual y la fuerza actuando en la misma dirección del movimiento*” (J. castillo y otro. Pág. 37). Esta es la tendencia al movimiento debido a las acciones aplicadas. A su vez, en la condición de equilibrio la sumatoria de los momentos de las fuerzas aplicadas sobre el sistema debe ser igual a cero, siguiendo la notación de Lagrange.

$$Pdp + Qdq + Rdr \dots = 0$$

En la figura 12 se observa, a  $P$ ,  $Q$  y  $R$  que representan las fuerzas que se consideran actuando sobre el sistema,  $p$ ,  $q$  y  $r$  representan las distancias entre los puntos de aplicación de las fuerzas y los puntos a los que estas fuerzas se dirigen,  $dp$ ,  $dq$  y  $dr$ , representan los desplazamientos efectuados en las direcciones de las fuerzas en el primer instante cuando el equilibrio del sistema es roto el equilibrio, que son proporcionales a las velocidades virtuales; y los productos  $Pdp$ ,  $Qdq$ ,  $Rdr$ , representa los momentos de las fuerza  $P$ ,  $Q$  y  $R$ ,



**Figura 12:** Esquema que muestra tres fuerzas coplanares  $P$ ,  $Q$  y  $R$  y sus respectivos desplazamientos virtuales.

El problema central, es entonces, establecer las leyes mediante las cuales la aniquilación de los momentos se opera, o en otras palabras, las leyes según las cuales el equilibrio total se descompone en equilibrios parciales. Es al descomponer las velocidades virtuales, y mediante la transformación que permite la equivalencia de sistema de fuerzas,

Así aplicando la estrategia propuesta para el caso de tres fuerzas en equilibrio.  $P$ ,  $Q$  y  $R$ , tales que dirección de las fuerzas  $Q$  y  $P$  forman un ángulo  $\alpha$  y las de  $Q$  y  $R$  forman un ángulo  $\beta$ , en la figura 13 se observa que sus velocidades virtuales  $dp$ ,  $dq$  y  $dr$  se pueden expresar de la siguiente manera<sup>27</sup>. Teniendo en cuenta el principio general del equilibrio:

$$[P - Q \cos \alpha - R \cos(\alpha + \beta)]\dot{dp} + [R - Q \cos \beta - R \cos(\alpha + \beta)]\dot{dr} = 0$$

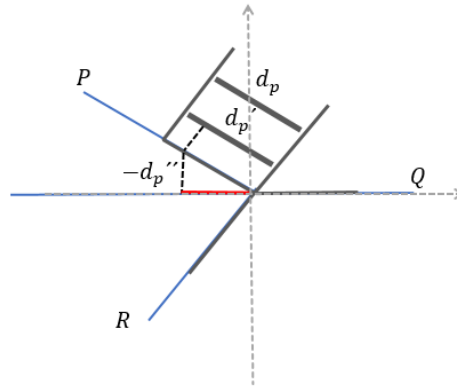
Como  $dp$  y  $dr$  son indeterminados, las ecuaciones que rigen el estado de equilibrio del sistema de fuerzas son:

$$P - Q \cos \alpha - R \cos(\alpha + \beta) = 0 ; P - Q \cos \beta - R \cos(\alpha + \beta) = 0 \quad [3]$$

Se plantea una descomposición de sus momentos a partir de las velocidades virtuales involucradas donde  $dp$  y  $dr$  se consideran las velocidades virtuales, y, quedan completamente indeterminadas. Por tal motivo, la ecuación [3] representa los equilibrios parciales en los cuales las velocidades virtuales tienen relaciones determinadas.

---

<sup>27</sup> Véase. B. Torres & M.M, Ayala, pág. 34



**Figura 13:** Esquema que muestra la proyección de  $d_r'$  en  $d_p$ ; la proyección de  $d_r'$  en  $d_q$ .

Reducir este proceso a operaciones es el objeto de los desarrollos de la estática, poder expresar de formas más generales los valores de las distancias  $p$ ,  $q$  y  $r$ , orientadas según las direcciones de las fuerzas, a partir de ellas se obtiene por simple diferenciación las velocidades virtuales  $d_p$ ,  $d_q$  y  $d_r$ . Cuando el equilibrio es visto como cancelación de acciones, el esquema equilibrio/desequilibrio se encuentra a la base de esta perspectiva de análisis, siendo la acción la causa y medida del desequilibrio. La elaboración de criterios que permitan y orienten la comparación de acciones es un centro crucial del trabajo en torno a la estática.

## 2.6 Implicaciones alrededor del análisis de los fenómenos estáticos.

Vemos que estas proposiciones que si bien el equilibrio se sigue concibiendo como una ausencia del movimiento. Para el análisis se considera una velocidad virtual, es decir, el posible movimiento que pudieran tener los cuerpos independientemente en el mismo tiempo. Si bien hoy en día la idea más difundida de lo que se entiende por momento: es el producto de una fuerza por su brazo correspondiente (distancia perpendicular de su dirección a un punto, a una línea o un plano), hemos visto la riqueza que exhibe los desarrollos de galileo en estática y por ello adquiere sentido la afirmación de Lagrange “... *La noción de momento dada por galileo y por Wallis es más natural y más general, y no veo porque se le abandona*

*y sustituye por otra que expresa solamente el valor del momento en ciertos casos en la palanca, etc.”*

De esta forma, Lagrange recupera el valor del trabajo de Galileo hasta el punto en que podemos identificar una plena correspondencia entre su propio significado acerca del equilibrio y el que subyace a la obra galileana: para Galileo el equilibrio deja de ser un simple estado de reposo para considerarse y analizarse desde un punto de vista estático, es decir, teniéndose en cuenta la relación entre los cuerpos y el posible movimiento que estos pudieran tener independientemente en el mismo tiempo; Lagrange, por su parte, suspendido en el concepto del equilibrio mecánico, retoma aquella tendencia galileana al movimiento<sup>28</sup>.

# *Capítulo 3*

*“Nuestra experiencia todavía nos justifica esa creencia de que la Naturaleza es la realización de las ideas matemáticas imaginables más simples. Estoy convencido que podemos descubrir por medio de construcciones puramente mecánicas los conceptos y leyes que conectan lo uno con lo otro, que proporcionan la llave a la comprensión de los fenómenos naturales.” (Kragh, H., 1990,286).*

## ***3. Aportes al estudio documental; Acerca de la enseñanza de los fenómenos estáticos.***

---

<sup>28</sup> Véase Romero, A. & Rodríguez, L. D. (1999. Pág. 12).

cabe señalar algunas implicaciones referentes a la enseñanza de la mecánica, por tal motivo, los aportes en relación a los procesos de formalización implica de ciertas actividades de gran importancia en la construcción del individuo en el abordaje de los fenómenos estáticos y su análisis conceptual en el estudio del equilibrio mecánico, guiada por una intencionalidad pedagógica.

### **3.1 Formalización de los fenómenos mecánicos.**

En la enseñanza de los fenómenos mecánicos se puede evidenciar un tipo de formalización que según María Mercedes Ayala y otros; se puede definir como *axiomatización de las teorías físicas y unificación de los campos fenoménicos*. Este tipo de formalización se puede presenciar en algunos trabajos como el de la *Mecanique Analytique* de Lagrange, en este trabajo se construyen algunos principios generales que conectar e implicar diversas proposiciones, a causa, de buscar y organizar una variedad de campos en la mecánica<sup>29</sup>, y al mismo tiempo definir características de utilidad en sus formas de organizar la experiencia.

En relación con lo dicho, esto es lo que se puede considerar como formalización o matematización de los conceptos y/o teorías físicas, es importante aclarar desde un principio que se refiere específicamente a la actividad de organizar la experiencia e axiomatizar<sup>30</sup>, donde, el quehacer del científico depende de la relación entre la construcción de la fenomenología y su proceso mismo de formalización.

### **3.2 Aplicación de las matemáticas en la enseñanza de la física.**

Normalmente en la enseñanza de los fenómenos físicos, la existencia de diferentes enfoques en los cuales las ideas de formalización de los fenómeno físico matematización de una

---

<sup>29</sup> En esta ocasión es importante resaltar la actividad experimental vinculada a la construcción de magnitudes y de formas de medida para la conformación de proposiciones en la mecánica.

<sup>30</sup> Reconocida como la manera de organizar tautológicamente las proposiciones que configuran una determinada teoría, es decir, de organizar bajo una estructura lógica formal que permite examinar sus grados de validez al jerarquizarlas. Véase M, M. Ayala. A, E. Romero. J, F. Malagón. O, L. Rodríguez. Y. Aguilar y M. Garzón).

magnitud física, implican la presencia de la construcción de un referente exterior a esa representación<sup>31</sup>, Sin embargo, En ocasiones surgen algunas interrogantes como *¿hasta qué punto el objeto es conformado por el mismo proceso de formalización?*, para poder responder esas preguntas es necesario los procesos de aprendizaje obtenidas del mundo “externo”.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede considerar la dinámica del conocimiento como lo hace Paolo Guidoni: como un proceso dieléctrico entre la experiencia, lenguaje y conocimiento: *“se adquiere experiencia, se habla de ella y se usa un conocimiento que ya existe y sobre el que es preciso trabajar; y haciéndolo se generan nuevas experiencias, lenguajes y conocimientos”* (Arc, M. et al, 1990, cap. 1), esta perspectiva pone de manifiesto que es necesario pensar que las formalizaciones que nos hacemos de los objetos a la vez que modelan y representan con el lenguaje también representan algunos rasgo de nuestras formas de razonar<sup>32</sup>.

Por tal motivo, formalizar, desde este enfoque más que la utilización de expresiones matemáticas en los concepto o teoría física, Es ante todo, un proceso cognoscitivo a través del cual se da formas a los propios modos “internos” de reconocer y elaborar el mundo “externo” y a los aspectos según los cuales el acontecer del mundo puede ser reconocido. Pero desde el marco de la enseñanza de los fenómenos mecánicos, *¿qué se entiende por formalización en la física?*, según Guidoni (1987):

*“Formalizar quiere decir dar una forma definida y esquematizada a alguna cosa: significa ver alguna cosa, operar sobre alguna cosa, según las propiedades y las reglas de entrecruce de formas que ya se conocen en cuanto tales, que se precisan y se organizan ulteriormente en el acto mismo de formalizar”.*

---

<sup>31</sup>Considerada como la representación, en el sentido planteado por Wittgenstein elimina la separación entre objeto representado, dispositivo de representación y representación (Granés, J. y Caicedo, L. M., 1999).

De manera que, los objetos adquieren una forma que corresponde a la forma que le damos y se puede considerar sobrepuesta a una forma que no se conoce con claridad, adquiriendo propiedades precisas de estructura y de significado<sup>33</sup>. Es así, que se da forma a los objetos y tal representación concibe con los estados del objeto para poderla reconocer, modificar y por último generar su proceso mismo de formalización. Así por ejemplo:

*“la aritmética y la geometría pueden ser consideradas como sistemas primarios y relaciones entre formas “abstraídas” de lo concreto, que han sido adaptadas para dar forma a nuestra percepciones y conocimientos sobre aspectos fundamentales espaciales y físicos de la realidad” (Arcá, M.y Guidoni, P. 1987, 138).*

Por tanto, de las cosas que “descubrimos” pueden variar sus formas de abordarlo. Así mismo, Los procesos de formalización son una parte esencial en el proceso de reconstrucción de los fenómenos físicos y en el desarrollo de lo que se entiende por conocimiento. Esto con el fin, de extender la elaboración y uso de estrategias según los cuales los *“diversos modos de mirar u organizar la experiencia”* sean adaptados continuamente a aspectos de la realidad que es a su vez organizan los diferentes modos de reconocer los fenómenos físicos.

### **3.3 Los fenómenos mecánicos en la física.**

Al abordar el estudio de un fenómeno mecánico, y las posibles representaciones que se tenga de él. Comencemos por, discutir en primera instancia del fenómeno, que al hablar del fenómeno en cuestión implica construir una misma representación *“lo que se muestra en sí mismo”*. Según Chaparro y otros (1997): *“El fenómeno en cuestión involucra evidenciar lo que se muestra en sí mismo y la fenomenología como aquello de lo que se habla acerca del fenómeno que se muestra por sí mismo, para que esto se cumpla, debe de existir cierta conformidad cuyas características son:*

---

<sup>33</sup> El término semántica se refiere a los aspectos del significado, sentido o interpretación de signos lingüísticos como símbolos, palabras, expresiones o representaciones formales.

- I. Se genere un discurso en la disposición en que se establezca el fenómeno y muestre una cierta aceptación con la experiencia.
- II. Generar en la medida que todo en cuanto se dice del fenómeno este legitimado por el discurrir de la realidad.

A causa de esto, hay dos formas de abordar el estudio de los fenómenos mecánicos: la primera se expresa como el conjunto de fenómenos (teorías y/o conceptos en físicas) de las cuales se elaboran modelos y de estos modelos se dan explicaciones con base a la experiencia. Y, segundo se habla del fenómeno en término de explicar un fenómeno generado por su proceso mismo de formalización.

De lo anterior, cabe resaltar que la actividad del sujeto está en relación con dos tipos de conocimiento: el “*conocimiento común*” y “*conocimiento científico*”. Afirma Heidegger: hay una coincidencia clara entre ambos saberes pero la manera de acceder a la realidad es totalmente distinta de la actividad ingenua y en la científica esto quiere decir que el discurso o la lógica científica son diverso del vulgar y cotidiano, aunque coincidan en lo que se entiende por fenómeno. (*Citado de chaparro y otros. 1997*). En la manera, que hay que establecer una diferencia a la hora de construir un fenómeno físico. A su vez, es necesario mostrar la forma de abordar la problemática del fenómeno, teniendo en cuenta, que el conocimiento científico consiste en mostrar el fenómeno, para formar sus propias imágenes y después proceder lentamente a las descripciones de este para llegar a una formalización más elaborada a partir de la experiencia.

En relación a la construcción del conocimiento del sujeto-aprendizaje, permite establecer una relación de carácter significativo, permitiendo de una manera u otra superar la ruptura que hay entre el sujeto y sus procesos de representación del objeto. Afirma chaparro, “*esta necesidad de conocimiento se une con la intención de dar cuenta de las cosas que aparecen*

*en nuestra conciencia” (Heidegger, citado de chaparro, 1997).* Por tanto, esta necesidad se fundamenta en el acto de describir las cosas mismas en cuanto se nos permita.

Igualmente, la intención de realizar una construcción fenomenológica de los orígenes de los fenómenos mecánicos, permite familiarizar al sujeto con lo que ocurre con el fenómeno y a partir de su explicación poder construir formalismos basadas desde la experiencia.

## Conclusiones

La experiencia que se tiene a la hora de abordar un problema en la mecánica, permite establecer modelos que favorezcan su posible enseñanza, es importante hacer un abordaje histórico del fenómeno en cuestión, Permitiendo establecer rutas para ser formalizado. De igual modo, en la mecánica se puede decir que no existe una única manera de organizar la experiencia alrededor de un fenómeno, sino que ante todo, implica de una investigación más profunda. En otras palabras, depende ante todo de la forma y estructura que le demos. Al mismo tiempo, esta forma de entender la mecánica establece las bases para el desarrollo de la mecánica en su totalidad, donde, solamente los análisis que hace Newton no permiten el desarrollo de la mecánica.

Esto se ve en el caso del equilibrio, usualmente se hace sin tener en cuenta su contexto histórico, para tal representación de la mecánica es importante tener en cuenta que cada modelo que se tenga de la mecánica conlleva implícita en sí mismo un proceso de formalización. A su vez, el análisis que hace Lagrange nos permite hacer una reconstrucción del abordaje del problema del equilibrio mecánico, generando nuevas herramientas para el

análisis y la comprensión de la estática. El concepto de “*velocidad virtual*”, permite entender los problemas que posee un sistema físico, para ellos los análisis que hace Galileo en la caída de los cuerpos genera la posibilidad para la construcción del principio general del equilibrio permitiendo entender el concepto de momento de una fuerza.

A su vez, la intención es establecer algunas reflexiones, que permitan dar la posibilidad de un razonamiento del sujeto acerca de las diferentes formas de representación de la mecánica, estableciendo prioridades para su posible enseñanza, Por tanto nuestra forma de abordar no solo trata únicamente de dar una formula, sino que es importante establecer un organización de la experiencia, donde, acceda a las posibles formas de enseñar de la mecánica.

Una vez se reconoce la variedad de formas de poder organizar la experiencia, se requiere invitar al individuo a pensar sobre el fenómeno en cuestión, llevándolo a explorar el mundo y que así construya una visión de este, para que sea capaz de describirlo, de poder expresarlo y en últimas poder armas un discurso.

## Referentes Bibliográficos

Ayala, M. M., Romero, Á., Rodríguez, L. D., & Romero, A., (1998). Elementos para la enseñanza de la estática desde una perspectiva constructivista. . Bogotá, Colombia: Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Ayala, M. M., Romero, Á., Malagón, J. F., Rodríguez, O., Aguilar, Y., & Garzón, M. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá, Colombia. Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Garzón, M, Ayala, M. M, Malagón, J. F., Castillo, J. C. & Garzón, I. (2014). *La estática y el concepto de momento de fuerza según Lagrange*. Bogotá, Colombia. Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Torres, B. & Ayala, M, M. (1996). *La mecánica analítica de Lagrange*. Bogotá, Colombia. Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Hertz, H. (1996). *Los principios de la mecánica*. Presentado en el marco del seminario sobre tópicos de mecánica clásica de la maestría en la docencia de la física de la Universidad Pedagógica Nacional.

Vaccaro, D. (2008). *La tensión entre estática y dinámica desde la antigüedad hasta el renacimiento*, Sao Paulo, Brasil: Editorial Scientla studia.

Romero, A. & Rodríguez, L, D. (1999). *Desarrollos Galileanos en el campo de la estática: Una posible contribución a la enseñanza*, Bogotá, Colombia: Editorial: Universidad Pedagógica Nacional.

Ayala, M, M. & Malagón, F. & Garzón, I. & Castillo, J, C. & Romero, A. y Rodríguez L, D. (2001). *El equilibrio según Stevin la acción como poder del peso*. Antioquia, Colombia. Editorial: Universidad Pedagógica Nacional

Gómez, B, S (2012). *Metodología de la investigación*. Viveros de la loma. México. Editorial: Red tercer milenio S.C.

Schwartz, S., & Pollishuke, M. (1998). *Aprendizaje Activo. Una organización de la clase centrada en el alumnado*. Madrid, España: Editorial NARCEA S.A.