

**RELACIÓN ARTE Y CIENCIA A PARTIR DEL ESTUDIO DEL EQUILIBRIO
ESTÁTICO EN LOS MOVILES Y ESTABLES DE ALEXANDER CALDER**

Felipe Alberto Paredes Correa

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Línea de investigación
La Enseñanza de las Ciencias desde una Perspectiva Cultural.
Bogotá
2016-II**

**RELACIÓN ARTE Y CIENCIA A PARTIR DEL ESTUDIO DEL EQUILIBRIO
ESTÁTICO EN LOS MOVILES Y ESTABLES DE ALEXANDER CALDER**

Felipe Alberto Paredes Correa

**Trabajo de grado para obtener el título de
Licenciado en Física**

**Asesor:
Juan Carlos Castillo Ayala**

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Línea de investigación
La Enseñanza de las Ciencias desde una Perspectiva Cultural.
Bogotá
2016-II**

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN -RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Relación Arte y Ciencia a partir del estudio del equilibrio estático en los móviles y estables de Alexander Calder
Autor(es)	Paredes Correa, Felipe Alberto
Director	Castillo Ayala Juan Carlos
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 50 P.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	CIENCIA, ARTE, EQUILIBRIO ESTÁTICO, RELACIÓN, MÓVILES, ESTABLES, CENTRO DE MASA, CENTRO DE GRAVEDAD, GEOMETRÍA, PROYECTO INTERDISCIPLINAR.

2. Descripción
<p>El desarrollo de este trabajo está dirigido a aportar elementos para establecer una posible relación entre la Ciencia y el Arte, como base se toman los conceptos de centro de gravedad y centro de masa presentes en el estudio del equilibrio estático y las confusiones que se presentan al estudiar estos conceptos como puntos de concentración de la masa y el peso respectivamente.</p> <p>Por otro lado, se toma el aporte valioso de la experiencia artística en la elaboración de móviles y estables expuesta por Alexander Calder (1898 - 1976) para aportar elementos en la enseñanza del equilibrio estático en la educación media. Así mismo, este trabajo puede abrir las puertas a diferentes estudios que vayan desde la interdisciplinariedad hasta las posibilidades que la experiencia artística pueda aportar en la comprensión de los conceptos en física.</p>

Como consecuencia de lo anterior se establece la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué situaciones de estudio hacen posible caracterizar el equilibrio estático, a través del centro de masa y el centro de gravedad, y establecer una relación entre ciencia y arte, mediante el análisis del diseño y la construcción de los móviles y estables, de Alexander Calder, que permitan hacer propuestas para la enseñanza de la estática en la educación media?

Como resultado de esta pregunta se tiene que la investigación no se orientó hacia el diseño e implementación de una estrategia de aula que permitiera al investigador profundizar en la comprensión del equilibrio, sino en aportar elementos a partir de un estudio en el campo de la estática, para la futura formulación de un proyecto interdisciplinar que involucre un trabajo colaborativo entre la ciencia y el arte.

3. Fuentes

Ayala, M. M., Malagón, F., Castillo, J. C., & Garzón, I. (2001). El equilibrio según Stevin La acción como poder del peso. *Revista colombiana de física vol 33, N°2*, 5.

Ayala, M. M., Rodríguez, L. D., & Romero, Á. (1998). Elementos para la enseñanza de la estática desde una perspectiva Constructivista. *Física y Cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias N°4*, 7.

Biox, V. (2000). De saberes escolares a comprensión disciplinaria: el desafío pedagógico de una educación de calidad. *Harvard Graduate School of Education*.

Calder, A. (1998). *La obra de calder en el siglo XX: El "cirque calder" como representación del mundo plástico*. (R. Ibero, Ed.) España: Polígrafa.

Castillo Ayala, J. C. (2008). La historia de las ciencias y la formación de maestros: La recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. *Nodos y Nudos*, 78-80.

- Faraday, M. (2006). Las Fuerzas de la materia . En B. Luis, *Investigaciones experimentales de electricidad* (pág. 273). Michigan: Universidad de Michigan.
- Ferreiros, F. &. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Critica. Hispanoamericana de filosofía*, 48-83.
- Galilei, G. (1981). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. (J. Sabada Garay, Trad.) Madrid: Editora Nacional.
- Hernández, R. (2012). Actitudes hacia la ciencia en estudiantes de grado undécimo de algunos colegios públicos y privados de Bogotá. *Revista de la Facultad de psicología universidad Cooperativa de Colombia vol 8*.
- Hewitt, P. (1992). Capitulo 10: centro de gravedad. En P. Hewitt, *física conceptual*. Delaware: E.U. ADISON-WESLEY IBEROAMERICANA, S.A.
- Kraicik, J., Blumenfeld, P., Marx, R., Bass, K., & Fedricks, J. (1998). *Inquiry in project-Based Science Classrooms: Initial Attempts by MiddleSchool Student*. THE JOURNAL OF THE LEARNING SCIENCES.
- Martinez, M. (2008). *Estudio de la Relación entre Ciencia y Arte a partir de Teorías Reduccionistas y Emergentistas*. Juárez México: Universidad Autonoma Juárez.
- Nieto Caravelo, L. (1991). *Una vision sobre la interdisciplinaredad y su construccion en los curriculos profesionales*. Mexico: UASLP.
- Peña Auerbach, L. (s.f.). *Simetría y leyes en la conservación de la física*. Mexico: Universidad de Mexico.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (1993). *Física Vol 1 tercera edición*. Mexico: Continental.
- Rincon, A. (2013). La simetría en la Física. *Revista de ACTA*, 6-12.
- Rodríguez , L. D., & Romero, Á. (1999). Desarrollos galileanos en el campo de la estática una posible contribucion a a enseñanza. *Física y cultura: Cuadernos sobre historia y Enseñanza de las ciencias N°5*, 20.
- Romero, A. (2005). *Alexander Calder*. Buenos Aires: Artes y pasiones.

Sanchez.M. (2012). La saga epistemológica de la relación arte-ciencia y su impacto en el estatus académico del arte en la universidad. *Arte y Movimiento N°6*, 17-27.

Stevin, S. (1975). The impossibility of perpetual motion and the problem of the inclined plane. En B. R. Lindsay, ed., & H. & Dowden (Ed.), *ENERGY historical development of the concept* (pág. 369). New York: Harvard University Press.

Uribe, C. (2000). *Una metodología de "análisis de objetivos procedimentales" para los guiones de laboratorio en la licenciatura de físicas*. Barcelona: Universidad autónoma de Barcelona.

4. Contenidos

Este documento está compuesto por cuatro capítulos; el primero desarrolla el contexto del problema y los objetivos propuestos. En el capítulo dos se presenta un análisis de los conceptos de centro de masa en su forma geométrica, las acciones involucradas en el equilibrio estático, el concepto de centro de gravedad que involucra una compensación de las acciones y finalmente el paralelo entre el trabajo de Stevin con planos inclinados y las palancas Galileanas. En el capítulo tres se establece un análisis de los móviles y estables de Alexander Calder a partir de los elementos establecidos para el estudio del equilibrio estático además, se buscan elementos en el arte que ayuden en la comprensión del equilibrio estático. El capítulo cuatro se hacen algunas consideraciones para una futura propuesta de proyecto interdisciplinar entre la ciencia y el arte para finalmente exponer las conclusiones derivadas del trabajo realizado.

5. Metodología

Las acciones realizadas para la elaboración del trabajo están contempladas en los siguientes términos:

1. Estudio del equilibrio estático a partir algunos trabajos de Galileo y Stevin, con el fin de establecer una ruta conceptual y de análisis para la enseñanza de la estática.

2. Reconocimiento de situaciones de estudio en relación con el equilibrio estático.
3. Análisis de algunas de las obras de Alexander Calder, haciendo uso de la descripción del equilibrio estático presente en algunos trabajos de Galileo y Stevin, en relación con la descripción que el artista Alexander Calder hace de sus obras.
4. Aproximación al planteamiento de aspectos para la construcción de propuestas de enseñanza de la estática, basada en proyectos que integren la ciencia y el arte a partir de la recontextualización de saberes. La cual es asumida como una actividad de dialogo que pone en discusión las argumentaciones, las estructuras conceptuales y teorías elaboradas por los científicos y artistas con las elaboraciones de quienes están en proceso de construcción del conocimiento.

6. Conclusiones

- El centro de masa se puede comprender como un punto a partir del cual se establecen algunas simetrías espaciales y ofrece las primeras nociones en torno al equilibrio estático, la masa de un sistema en equilibrio se distribuye de forma simétrica estableciendo un sentido de complementariedad en las formas que adopte la masa.
- El estudio del centro de gravedad pasa de ser comprendido como “un punto según el cual se puede concentrar el peso de los objetos” a una forma de simetría donde se compensan las acciones presentes en un objeto en equilibrio. En estos términos, el equilibrio estático puede ser estudiado desde la compensación espacial y de acciones en un sistema, presentando una facilidad de aplicación en objetos más próximos a la experiencia. La compensación de las acciones debidas al peso y las configuraciones espaciales son fundamentales en el estudio del equilibrio estático, este a su vez se convierte en un análisis de los centros de gravedad relativos en una distribución de pesos y a partir de estos se conserva el equilibrio y se establece una simetría de las acciones en un sistema.

- La experiencia del artista en la construcción de sus obras se convierte en un conjunto de sensibilidades ante los conocimientos que se puedan presentar en la física, aportando una mirada distinta hacia la construcción del conocimiento.
- Se destaca el hecho de que la ciencia y el arte no están en el objeto, más bien se encuentran en las construcciones e interpretaciones que se puedan hacer alrededor del mismo. En este sentido la física del equilibrio estático y las interpretaciones de los móviles y estables están a la base de un proyecto interdisciplinar, donde las experiencias mutuas en las dos áreas nos llevan a una interpretación del mundo con sentido.
- Lo físico y lo estético pueden ser elementos importantes al educar, dado que estos contribuyen de un modo positivo al desarrollo de la personalidad, la vida afectiva y el crecimiento intelectual de los estudiantes. El arte plástica permite un equilibrio armonioso entre lo intelectual y lo manual logrando así convertirse en una poderosa herramienta capaz de hacer que el estudiante se integre personalmente con todos sus conocimientos y socialmente con sus compañeros, para así poder expresar de una manera libre y correcta la comprensión que tiene de su entorno físico y además pueda construir nuevas formas de explicar fenómenos y entenderlos.

Elaborado por:	Felipe Alberto Paredes Correa
Revisado por:	Juan Carlos Castillo Ayala

Fecha de elaboración del Resumen:	28	11	2016
--	----	----	------

TABLA DE CONTENIDOS

Contenido	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
1.1 Contexto del problema	3
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo general	9
1.2.2 Acciones realizadas	9
CAPÍTULO 2	10
2 Sobre el equilibrio estático	10
2.1 Centro de masa	11
2.2 Centro de masa desde la simetría axial y puntual	18
2.3 El equilibrio estático como compensación de las acciones	20
2.3.1 Esquema de acciones opuestas	24
2.3.2 Esquema de transmisión de acciones	25
2.3.3 Esquema de acción-resistencia	26
2.4 Equilibrio y simetría	27
2.5 Centros de gravedad parciales	29
2.6 Stevin y los centros de gravedad parciales en el plano inclinado	31
CAPÍTULO 3	36
3 Sobre los móviles y estables de Alexander Calder	36
CAPÍTULO 4	45
5 Consideraciones finales	45
5.1 Conclusiones	47
Bibliografía	49

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo pretende aportar elementos para establecer una relación entre dos elementos: Ciencia y Arte, como base se toman los conceptos de centro de gravedad y centro de masa en el equilibrio estático y las confusiones que se presentan al estudiar los mismos, estas confusiones se hacen presentes en el cálculo de la posición media, ya que en algunos casos donde las ubicaciones coinciden se considerados como puntos iguales por lo tanto no se hace distinción conceptual ni se establecen los fenómenos a los que se refiere cada uno de estos centros.

Por otro lado, también se tomara el aporte valioso de la experiencia artística en la elaboración de móviles y estables cuyo principal exponente es Alexander Calder (1898 - 1976). Este trabajo puede abrir las puertas a diferentes estudios que vayan desde la interdisciplinariedad hasta las posibilidades que la experiencia artística pueda aportar en la comprensión de los conceptos en física.

Además, la propuesta de este trabajo investigativo surge por el interés personal de profundizar en el estudio del equilibrio estático para su aplicación en la escultura. La investigación no se orientó hacia el diseño e implementación de una estrategia de aula que permitiera al investigador profundizar en la comprensión del equilibrio, sino en aportar elementos a partir de un estudio en el campo de la estática, para la futura formulación de un proyecto interdisciplinar que involucre un trabajo colaborativo entre la ciencia y el arte.

Ahora bien, se espera ver la escuela no como una institución que posee distintas asignaturas de estudio sin posibilidad de asociación sino, como un conjunto dentro del cual cada área de estudio se asocia con las demás para aportar en la construcción de conocimiento.

Por otra parte, este documento está compuesto por cinco capítulos; el primero desarrolla el contexto del problema y los objetivos propuestos. En el capítulo dos se presenta un análisis de los conceptos de centro de masa en su forma geométrica, las acciones involucradas en el equilibrio estático, el concepto de centro de gravedad que involucra una compensación de las acciones y finalmente el paralelo entre el trabajo de Stevin con planos inclinados y las palancas Galileanas. En el capítulo tres se establece un análisis de los móviles y estables de Alexander Calder a partir de los elementos establecidos para el estudio del equilibrio estático además, se buscan elementos en el arte que ayuden en la comprensión del equilibrio estático. El capítulo cuatro se hacen algunas consideraciones para una futura propuesta de proyecto interdisciplinar entre la ciencia y el arte. Finalmente el capítulo cinco expone las conclusiones derivadas del trabajo realizado.

CAPÍTULO 1

1.1 Contexto del problema

Existen múltiples factores asociados a desligar la ciencia del arte, tales como la tendencia a considerar que la ciencia es un corpus de conocimiento real en torno a la naturaleza, mientras el arte por otro lado, se encuentra guiada hacia la representación y la estética humana, hechos que son reflejados en la educación media, solo se contemplan dos aspectos fundamentales como problemática, estos están limitados al estudio del equilibrio estático y su relación con los móviles y estables artísticos de Alexander Calder (1967) en estos términos se establece que:

1. Por un lado, está el hecho que en los cursos de educación media, se limitan a enseñar la mayoría de temáticas relacionadas con la física clásica haciendo uso de descripciones teóricas poco orientadas hacia la experiencia, que dejan de un lado las múltiples aplicaciones de conceptos como el centro de masa y el centro de gravedad al reducirlos a puntos de concentración de un sistema en equilibrio estático y limitando los mismos a la simple solución de ejercicios de final de capítulo de textos escolares. No obstante, el estudio geométrico y la aplicación del centro de gravedad en el equilibrio generan una confusión con el concepto de centro de masa, en este orden, entender la diferencia entre el centro de gravedad y el centro de masa requiere de abstracciones que van más allá de la geometría presente en los estudios de la estática enseñada en la educación media.

Ferreiros y Ordoñez sostiene que en las ciencias se tiende a “privilegiar los aspectos teóricos del conocimiento sobre cualquier otro de sus rasgos, de modo que toda la actividad científica es interpretada desde el punto de vista de la elaboración conceptual y la teorización” (Ferreiros & Ordoñez, 2002, pag 49). En este sentido, se establece en la

enseñanza de las ciencias una tendencia a resaltar los aspectos teóricos sobre las relaciones ligadas a la experiencia en la construcción de un fenómeno. Esta tendencia pone como papel fundamental en la educación en ciencias la presentación y abordaje de ecuaciones y modelaciones matemáticas, que en la mayoría de las ocasiones, se muestran descontextualizadas del fenómeno y alejado de la experiencia con el mundo físico.

Este hecho supone el alejamiento entre la ciencia y su experiencia sensible, se genera una percepción de la física como una disciplina del conocimiento que se encuentra en un mundo distinto al del estudiante y cuya interpretación requiere de un nivel muy avanzado de abstracción. Se hace necesario dejar a un lado la práctica tradicional de la enseñanza de las ciencias por una más próxima a la experiencia, en la que el conocimiento esté ligado a las múltiples posibilidades de asociación con otras áreas del conocimiento (Hernández, 2012).

2. Por otro lado, a nivel educativo, se presenta una desvinculación entre áreas del saber que se refleja en lo que los educadores llaman el "currículum por materias". En él, se presentan los saberes como una actividad de acumulación de datos y hechos, que se organizan en "Historia", "Artes" y "Ciencias" (Biox, 2000) . De este modo, se presenta un dominio de un conocimiento fragmentado en distintas asignaturas, que parece no ofrecer una posibilidad de establecer vínculos entre ellas. Como consecuencia, cada asignatura genera en el estudiante una concepción fragmentada del mundo, especialmente en lo referente a la relación entre la ciencia y el arte, aumentando así la inconformidad de los mismos frente a lo que el docente está enseñando.

Al entrar en la modernidad, se generó una tendencia de presentar la ciencia y el arte como áreas sin relación aparente, se puede decir que cada uno de ellas recorre caminos distintos. Por su parte, el arte pasa a ser expresión de la estética humana, mientras que la ciencia se le ha venido asociando el dominio del conocimiento totalizador del mundo (Hernández, 2012). De modo que, las actividades que el artista realiza se relacionan con la creación, la intuición, la subjetividad y el sentimiento mientras que por su lado el científico se vincula con la razón, el método, y la objetividad. De esta forma, se hace difícil establecer un vínculo entre las actividades de científicos y artistas.

Más aún, ocasionalmente algunas de las asignaturas establecidas para la educación media se ven involucradas en trabajos transversales, que dan paso a un modo de conocimiento capaz de evidenciar algunos vínculos para trabajar y aportar en un propósito común. Sin embargo, este trabajo se queda corto y terminan por realizar algunos “proyectos” entre asignaturas solo de orden científico como la biología, la química, la física y las matemáticas o bien, otro ejemplo de esto es los trabajos entre asignaturas de orden artístico como pintura, música y literatura. Que finalmente muestran caminos distintos en estas áreas.

En relación con lo expuesto, existen trabajos que permiten establecer una relación entre ciencia y arte, es de resaltar como en los móviles y estables de Alexander Calder se presenta un manejo de la experiencia en el equilibrio de los cuerpos. Ejemplo de esto es el Calderberry (1933) escultura que puede ser definida como una elaboración que juega con los contrapesos dispuestos en un entramado de alambres que guardan equilibrio, logrando representar la belleza del equilibrio y lo volátil que puede llegar a ser la naturaleza (Calder, 1998). En consecuencia se evidencia en la definición del artista como en estos dispositivos artísticos relacionados con el equilibrio, la ciencia

es aplicable y como la experiencia de un artista puede aportar elementos para la enseñanza. Se muestra una posibilidad de relación entre diferentes disciplinas.

Los móviles y los estables se convierten en obras artísticas que muestran como en algunas ocasiones la experiencia en la construcción del objeto puede aportar en el entendimiento de la ciencia y a su vez pueden abrirse infinidad de posibilidades temáticas o tendencias en el arte. Sin embargo, esta relación no significa que la ciencia se sirva siempre de las construcciones artísticas del arte o viceversa, ni que una área sea superior a otra (Martinez, 2008).

En cuanto al equilibrio estático que es fundamental en estos dispositivos, se resaltan dos conceptos fundamentales a saber, el centro de masa y el centro de gravedad. Es común que estos se aborden de forma matemática orientada desde la geometrización de los eventos físicos y aunque esta forma es válida, está sujeta a una interpretación de los dos conceptos como “puntos de concentración” de la masa total del sistema y del peso del mismo respectivamente.

El peso de los objetos puede ser visto como la acción que tiene el vector gravedad sobre la masa de un sistema. Es decir, si se consideran pequeñas porciones de masa de un sistema y las acciones de la gravedad sobre estas pequeñas partes, se tienen pesos que conforman un cuerpo. El centro de gravedad es un punto en el que se pueden concentrar estos pesos, es *“un punto en donde se considera que el peso total del sistema se encuentra concentrado”*¹.

Por otro lado, sin importar la forma y la distribución que tienen los objetos, el centro de masa de un sistema es definido en algunos libros como “un punto en donde se considera que la masa total del sistema se encuentra concentrada” (Resnick, Halliday, & Krane, 1993). A este concepto se le

¹ Definición que se puede encontrar en física conceptual de Paul Hewitt. Pág. 146

atribuye la sencillez de la aplicación de las ecuaciones de cinemática y dinámica de los cuerpos debido a la simplicidad que el manejo de una masa puntual implica.

Como consecuencia en la estática estos dos puntos coinciden en ubicación y se asume pueden ser usados sin distinción alguna (Resnick, Halliday, & Krane, 1993). Se deja de lado todas las posibles conservaciones que se pueden estudiar y establecer a partir de ellos debido a que están presentes en un sistema en equilibrio. Además se pasa por alto como el centro de masa y el centro de gravedad pueden ser asumidos como puntos de simetría según los cuales se establecen compensaciones para mantener un equilibrio.

Partiendo de los planteamientos anteriores, la pregunta que dinamizo el trabajo de investigación es:

¿Qué situaciones de estudio hacen posible caracterizar el equilibrio estático, a través del centro de masa y el centro de gravedad, y establecer una relación entre ciencia y arte, mediante el análisis del diseño y la construcción de los móviles y estables, de Alexander Calder, que permitan hacer propuestas para la enseñanza de la estática en la educación media?

Ante esta pregunta se realizó un trabajo de recontextualización de saberes² donde se pretende establecer un diálogo entre los conocimientos presentes en los fundamentos de la física en relación con el reconocimiento y la solución de problemas, que impliquen la construcción de saberes pertinentes. En este sentido no se pretende privilegio el conocimiento Científico, sino se buscó

² J. Castillo (2008) asume la recontextualización de saberes como una actividad dialógica que pone en discusión las argumentaciones, las estructuras conceptuales y teorías elaboradas por los científicos con las elaboraciones de quienes están en proceso de construcción del conocimiento. Postura que tomara este trabajo.

establecer un dialogo con los saberes, elaboraciones y conocimientos que se aportan a partir del Arte. Es así como la Recontextualización supone un proceso de construcción conjunta, altamente enriquecida por los dos saberes, esta se establece como ya se mencionó “mediante un dialogo y resignificación de los dos saberes” (Castillo, 2008, pág. 48).

En este orden de ideas, ante la Recontextualización de saberes se establece como primera tarea la recolección de experiencias, saberes y conocimientos en torno al equilibrio estático mediante la exploración de los trabajos elaborados por Galileo Galilei (1981) en su escrito consideraciones y demostraciones sobre dos nuevas ciencias, donde se retoman estudios en relación con las palancas de Arquimedes para hacer una descripción del equilibrio estático teniendo como base propiedades de la materia como la “gravita” y algunas relaciones geométricas. De igual forma Simon Stevin (1975) quien establece el plano inclinado como un caso particular del equilibrio estatico y la imposibilidad de un movimiento perpetuo³, antecedentes de corte histórico que se cree tienen un gran valor en la enseñanza de las ciencias debido a su carácter descriptivo en el campo de la estática. A partir de estos autores se pueda visualizar los elementos que pueden aportar en la construcción de los conceptos en relación con el arte.

Un segundo momento fue la exploración de los trabajos de Alexander Calder, artista plástico cuyos artefactos artísticos reflejan una posibilidad de relacionar la ciencia y el arte. Esta exploración se establece con el fin de encontrar elementos en el arte que puedan ser de ayuda en la enseñanza de las ciencias, específicamente la física relacionada con el equilibrio de los cuerpos. De esta manera que la mirada científica se enriquezca con los conocimientos del arte y éstos a su vez se complejicen, en el proceso de recontextualización.

³ The impossibility of perpetual motion and the problema of the inclined plane.

En este sentido se proponen actividades que posibilitan el dialogo entre ciencia y arte a partir de proyectos interdisciplinarios, idea que tiene que ver con la interacción entre las disciplinas y como la ciencia se ve afectada por los trabajos que en otras disciplinas se plantean. En consecuencia se establecen algunos elementos presentes en el arte que pueden ser de ayuda en la construcción de conocimiento en la física.

1.2Objetivos

1.2.1Objetivo general

Establecer situaciones de estudio que posibiliten la caracterización del equilibrio estático, haciendo uso del centro de masa y el centro de gravedad, que permitan relacionar ciencia y arte, mediante el análisis del diseño y la construcción de los móviles y estables, de Alexander Calder, y que provean elementos para elaborar propuestas de enseñanza de la estática en la educación media

1.2.2Acciones realizadas

- Estudio del equilibrio estático a partir algunos trabajos de Galileo y Stevin, con el fin de establecer una ruta conceptual y de análisis para la enseñanza de la estática.
- Reconocimiento de situaciones de estudio en relación con el equilibrio estático.
- Análisis de algunas de las obras de Alexander Calder, haciendo uso de la descripción del equilibrio estático presente en algunos trabajos de Galileo y Stevin, en relación con la descripción que el artista hace de su obra.
- Aproximación al planteamiento de aspectos para la construcción de propuestas de enseñanza de la estática, basada en proyectos que integren ciencia y arte.

CAPÍTULO 2

2 Sobre el equilibrio estático

La física tiene por objeto el conocimiento de los fenómenos físicos, es decir, el conocimiento de la naturaleza desde una perspectiva de la formalización conceptual, matemática y axiomática. En este sentido, la Geometría, como parte de la Matemática, se basa en el mundo de las ideas, describiendo los objetos que luego se van a estudiar (Peña Auerbach, S.f.). En conjunto, estos dos campos siempre han sostenido una relación a la hora de dar explicación a los eventos. El aporte que las matemáticas pueden dar a la física, se constituye en uno de los más ricos en la cuantificación de las propiedades y particularidades de los sistemas físicos.

La geometría es una parte de las matemáticas casi que intuitiva basada en la forma y la configuración de los objetos. Resulta especialmente significativo el criterio de orden que ofrece la geometría en el campo de acción de la física, que es la naturaleza y sus formas aleatorias. Geometría y física parecen relacionarse al observar la naturaleza, prestando la primera más atención a la "forma" de los objetos y la segunda a sus acciones, pero una y otra pueden aportarse ideas entre sí, de esta forma se relacionan y se establece una hermandad con una notoria influencia recíproca (Rincon, 2013). Ejemplo de ello es el equilibrio estático y la idea de simetrías espaciales.

En este sentido, la idea de centro de masa se convierte en un concepto de suma importancia para hablar de equilibrio estático de los cuerpos. Las primeras ideas relacionadas con el concepto de equilibrio están ligadas a la simetría espacial. Intuitivamente, al mencionar la palabra equilibrio se suele pensar en una balanza con igual cantidad de masas a cada lado, estableciendo así una complementariedad en la distribución de las masas a partir de un punto de apoyo (pivote), de esta forma una primera definición de equilibrio se puede pensar como “la ausencia del movimiento que

se da en una relación simétrica entre la masa y la configuración espacial de la misma” (Ayala, Rodríguez, & Romero, 1998).

Es común encontrar el concepto de centro de masa en apartados dedicados al estudio del equilibrio estático de los cuerpos. El centro de masa en conjunto con otros conceptos como el centro de gravedad, centroide, fuerzas y de más, son utilizados como conceptos básicos en el estudio de las condiciones de equilibrio. Por ende se establece el centro de masa como primera idea relacionada con el equilibrio, idea que se estudiará a continuación.

2.1 Centro de masa

Los cuerpos en la Física suelen ser tratados como partículas puntuales con masa, pero espacialmente no se dice mucho de ellos, esto no presenta mayor complicación, al explicar fenómenos tales como el movimiento de traslación, ya que se asume que si una de las partes del objeto experimenta movimiento de traslación las demás también se mueven en la misma dirección y con la misma velocidad, por lo cual, para la explicación, el objeto puede ser representado como un punto donde se concentra la masa, este punto es llamado centro de masa.

Sin embargo, para el análisis de condiciones de equilibrio y movimientos rotacionales el centro de masa es un concepto que depende de la configuración espacial de los cuerpos y los sistemas mecánicos, así el centro de masa es un concepto geométrico que proviene del estudio de la forma que adopte un sistema, además, en algunos casos coincide con el centro geométrico de un cuerpo si este cumple con la condición de poseer una densidad uniforme y propiedades de forma como la simetría.

Ahora bien, cuando la masa de un sistema es uniforme, encontrar el centro de masa no debería ser complicado si el sistema posee una distribución geométrica que guarda simetrías en la forma de

distribuir la masa. Tal y como se hace en algunos textos de física universitaria como física de Resnick, Halliday y Krane (1993) se puede caracterizar geoméricamente el centro de masa, se requiere de una matematización que resulta fácil a la hora de proceder con el cálculo y la localización del mismo y se establece en los siguientes términos.

Considérese el sistema de dos partículas unidas por una barra, de la cual se va a despreciar su masa (figura 1). Las dos partículas se van a llamar m_1 y m_2 que simbolizaran la masa 1 y la masa 2 respectivamente.

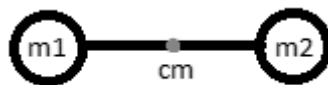


Figura 1: sistema de dos partículas unidas por una barra

Las partículas tienen densidad uniforme y se encuentran en una posición x_n con respecto al eje de las x . En consecuencia, la posición de cada partícula de masa estará dada como $m_n x_n$ si se ve la distancia horizontal (Resnick, Halliday, & Krane, 1993). Por lo tanto las partículas descritas con anterioridad estarán dadas como $m_1 x_1$ y $m_2 x_2$.

En general para un sistema de más de dos partículas de masa m_n , cada partícula estará descrita como $m_1 x_1; m_2 x_2; m_3 x_3 \dots m_n x_n$ visto como ya se hizo mención desde un eje coordenado x .

Siguiendo con un sistema de n partículas, la masa total del sistema se describe como M y está dada por la suma de cada una de las masas de las partículas que lo conforman, es decir que $M = (m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n)$. Esta masa total permite controlar el objeto, por ende debería localizarse como una posición donde el objeto logre anular todo posible movimiento. Este punto es llamado el centro de masa (CM) del objeto (Resnick, Halliday, & Krane, 1993).

Si se distribuyen las masas en partes iguales a partir de ese punto, este debería convertirse en un centro geométrico y la suma de las partículas individuales debería darse como.

$$(m_1 + m_2 + m_3 + \dots)x_{cm} = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots$$

En consecuencia si M es uniforme en todo el sistema, este término se puede simplificar y la posición del CM en la coordenada X está dada por la expresión.

$$x_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots}{(m_1 + m_2 + m_3 + \dots)} = \frac{\sum m_n x_n}{M} \quad (1)$$

Regresando al ejemplo inicial, si en el sistema de partículas que se tiene en la figura 1 se asume que $m_1 = m_2$ y que el origen de las coordenadas x se encuentra en la partícula m_1 y la partícula m_2 se encuentra a una unidad de distancia del origen, la posición del CM estará a $\frac{1}{2}$ de la distancia entre la partícula m_1 y la partícula m_2 . Distancia que coincide con el centro geométrico del sistema de las dos partículas.

En consecuencia si el sistema tiene múltiples partículas distribuidas de forma aleatoria. De forma análoga se determinan las coordenada Y & Z del CM a partir de las expresiones.

$$y_{cm} = \frac{\sum m_n y_n}{M} \quad (2)$$

$$z_{cm} = \frac{\sum m_n z_n}{M} \quad (3)$$

Al usar la notación vectorial la posición del centro de masa está dada por el vector de posición

\vec{r} y las ecuaciones 1, 2 y 3 se verán en forma sintética en la siguiente expresión.

$$\vec{r}_{cm} = \frac{\sum m_n \vec{r}_n}{M} \quad (4)$$

Así queda demostrado el carácter geométrico del centro de masa a partir de la posición de partículas de masa m_n en un plano cartesiano XYZ . Sin embargo, hasta el momento solo se ha calculado un punto en particular donde se encuentra ubicado el centro de masa de múltiples partículas, se deja de lado el carácter de complementariedad que tiene el sistema, esto es, todas las compensaciones espaciales que se dan entre las posiciones y las masas de las partículas, principio que puede establecer una primera idea de equilibrio.

Por otro lado al dejar de lado la forma uniforme se establece la posición del CM en los siguientes términos:

Debido a la complejidad que representa calcular la posición del centro de masa de un objeto sólido y de masa continua, como el que se representa en la figura 2. Se hace necesario dividir el objeto en pequeñas partes de masa δm_n .

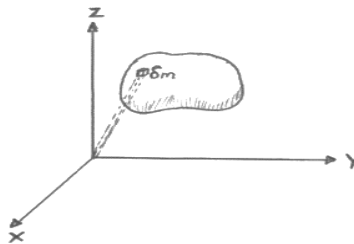


Figura 2: Diferencial de masa.

Cuando estas pequeñas partes se hacen tan pequeñas las ecuaciones anteriores se convierten en integrales, debido a que el objeto es la sumatoria de todas las pequeñas partes que lo conforman.

$$x_{cm} = \lim_{\delta m \rightarrow 0} \sum x_n \delta m_n = \frac{1}{M} \int x dm$$

$$y_{cm} = \lim_{\delta m \rightarrow 0} \sum y_n \delta m_n = \frac{1}{M} \int y dm$$

$$z_{cm} = \lim_{\delta m \rightarrow 0} \sum z_n \delta m_n = \frac{1}{M} \int z dm$$

En este sentido, para su forma vectorial la posición del centro de masa estará dado por la siguiente expresión.

$$\vec{r}_{cm} = \frac{1}{M} \int \vec{r} dm \quad (5)$$

A pesar que la ecuación 5 que calcula la posición del centro de masa en objetos sólidos con densidad uniforme y no uniforme, la geometría puede ser muy útil a la hora de calcular el centro de masa. Por ejemplo el centro de masa de un objeto esférico está directamente en el centro geométrico de la esfera, hecho que demuestra que a partir de este punto se hace una compensación en la forma de la masa.

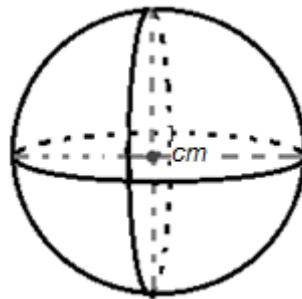
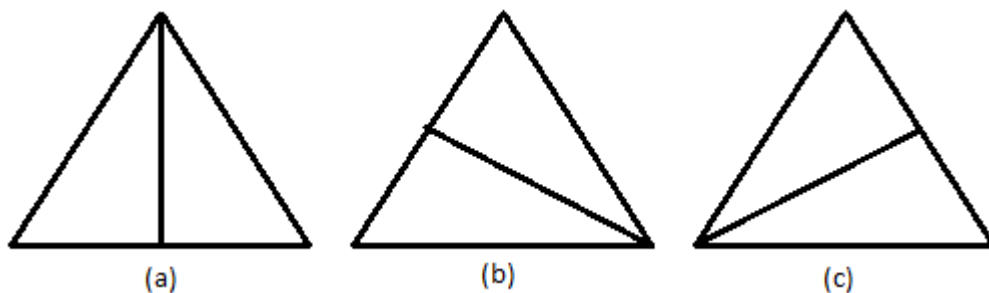


Figura 3: Centro de masa de una esfera

En cuanto al equilibrio, ubicar el centro de masa se convierte en algo fundamental, a partir de él se pueden establecer simetrías que serán útiles para el caso más simple de equilibrio, que consiste en pesos iguales y compensados simétricamente. En consecuencia, para lograr un equilibrio es necesario distribuir las masas en partes iguales alrededor del centro de masa, compensando así la forma del sistema. El centro de masa deja de ser un punto de concentración de la masa para convertirse en un punto de compensación de la forma del sistema en equilibrio estático.

En un triángulo equilátero se puede trazar una línea que lo divida en dos partes iguales, estas líneas en geometría son llamadas las *medianas*. Estas a su vez cumplen con ser un eje de simetría que divide la masa del triángulo en partes iguales.

Considerando que el triángulo tiene masa con densidad uniforme y que la masa estará dividida en dos partes iguales, el centro de masa estará en alguna posición dentro de la línea de simetría o mediana del mismo.



Figuran 4: Líneas de simetría o mediatrices de un triángulo equilátero.

En consecuencia, si se sigue el mismo proceso por cada uno de los lados del triángulo se tienen las líneas de simetría del triángulo o lo que es lo mismo, las *medianas*. Dado que por cada una de estas líneas pasa el centro de masa del triángulo, se pueden superponer las líneas para encontrar la posición del centro de masa, en el caso del triángulo de la figura 5 coincide con el *baricentro* del

triángulo. Este proceso es aplicable a cualquier triángulo debido a que el baricentro coincide con el centro de masa y a partir de él se distribuye la masa en partes iguales.

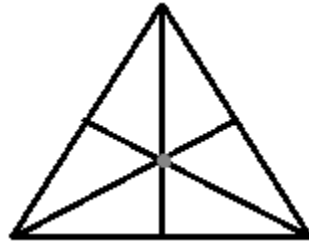


Figura 5 Centro de masa del triángulo equilátero.

Finalmente, es común encontrar objetos irregulares y de masa continua, como ya se ha mencionado hasta el momento, el centro de masa debe establecer una compensación en la distribución de la masa, es por esto que se puede dividir la figura en varias partes iguales y así se encontrarán los centros de masa de cada una de las partes manteniendo una distribución simetría entre estas partes. Para encontrar el centro de masa de todo el objeto basta con aplicar las ecuaciones descritas y hallar el centro de masa respecto a los centros de cada parte (Figura 6).

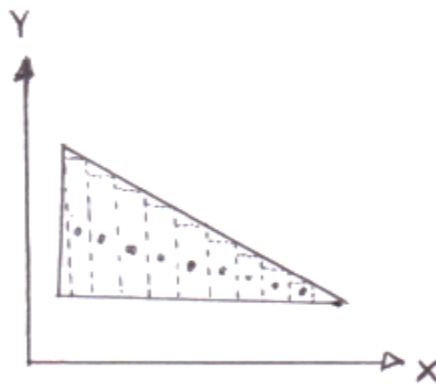


Figura 6: Los CM parciales forman la mediatriz del triángulo.

Finalmente otras formas de estudiar el centro de masa pueden ser vistas desde diferentes casos de simetría.

2.2 Centro de masa desde la simetría axial y puntual

Como se ha desarrollado hasta el momento, el centro de masa es un punto que establece simetrías en el sistema, dos de las simetrías más usadas en geometría, son las simetrías axial y puntual. En este sentido conocer estos principios de simetría establece un notable cambio en la caracterización del centro de masa. Como ya se hizo mención, pasa de ser un punto de concentración y se convierte en un punto de simetría de la distribución de la masa, dando así un carácter de compensación de la forma del sistema a partir de este punto.

Debido a la conservación de la forma de los objetos que se presenta en una simetría axial, el centro de masa de un par de figuras simétricas puede ser calculado al encontrar los ejes de simetría correctos. Si se consideran dos triángulos ABC y $A'B'C'$ distanciados uno respecto al otro, se pueden trazar algunos ejes de simetría como el que se representa con la letra f en la figura 7.

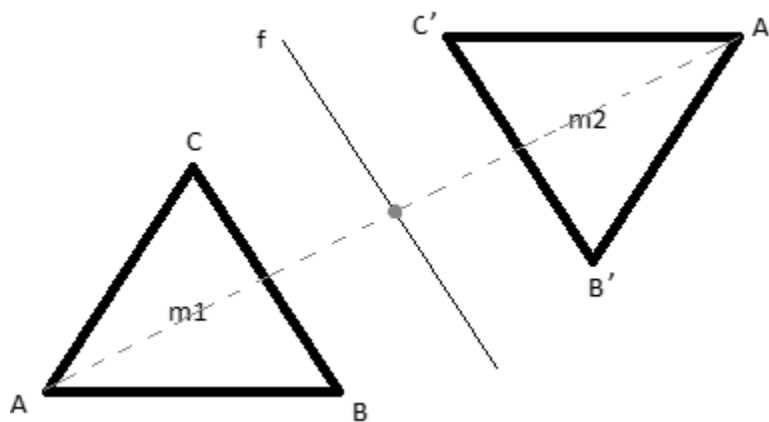


Figura 7: Simetría axial

El eje de simetría f separa los triángulos como si el triángulo ABC fuera la imagen en un espejo del triángulo $A'B'C'$. La masa de los triángulos es igual y cada punto tiene su imagen que se encuentra a la misma distancia del eje de simetría f .

Al trazar un segundo eje de simetría desde el punto A hasta el punto A' (figura 7). Se produce un corte entre los dos ejes, dicho punto se considera el centro de masa del sistema y se puede decir que a partir de él la masa total del sistema se distribuye en partes iguales. Hay que resaltar que los ejes de simetría que se tracen en el sistema deben distribuir la masa o la forma en partes iguales a cada lado del eje y así el centro de masa estará en el punto de corte de los diferentes ejes de simetría.

Por otro lado la simetría puntual establece una compensación entre dos puntos de un par de figuras semejantes, donde A es imagen de A'; B es imagen de B'; C es imagen de C'. Al unir cada punto del triángulo ABC con su imagen en A'B'C' se tiene la compensación del sistema a partir de un punto de simetría, este punto coincide con el centro de masa del sistema (figura 8).

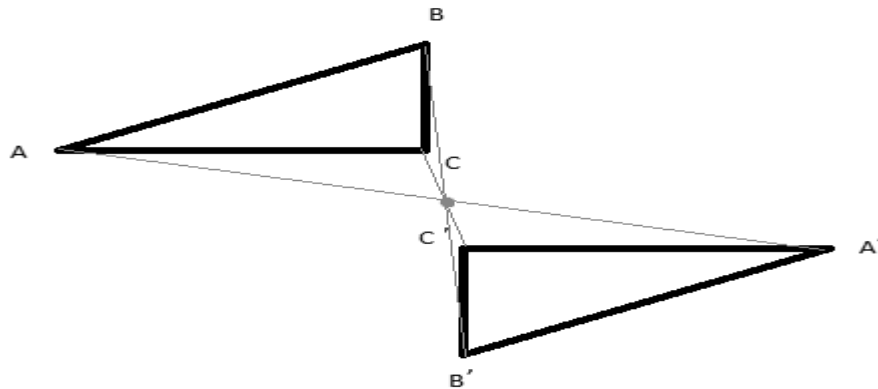


Figura 8: Simetría puntual.

A pesar de que la masa total del sistema puede ser concentrada en el centro de masa, el carácter geométrico del mismo visto desde la física muestra como este punto se considera más que un punto de concentración, se le pueden atribuir características como la conservación de la estática en los casos de balanzas simétricas. Al mantener una relación simétrica en la distribución de la masa a lo largo de los brazos de una balanza, se puede disponer la misma en estado de equilibrio.



Figura 9: Balanza en equilibrio

De esta forma, la simetría tiene un papel muy importante en el equilibrio, por lo tanto este posee un sentido de complementariedad entre dos partes. En el caso de una balanza como la que se dispone en la figura 9, la compensación entre cada brazo es evidente, las masas están distribuidas de forma equivalente a cada lado del arreglo y la distancia de cada una de las masas a un eje de simetría, es la misma. El eje de simetría se representa con una línea punteada sobre el punto en el cual se encuentra apoyada la palanca, de modo que el punto de apoyo puede ser llamado *punto de simetría* y a su vez se convierte en el centro de masa de la balanza.

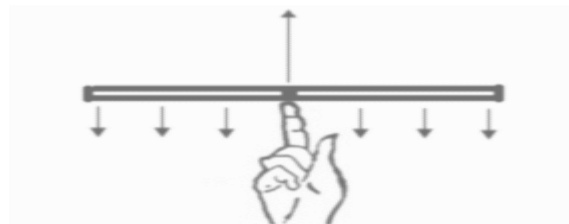
Finalmente el centro de masa pasa de ser un punto de concentración de la masa a un punto a partir del cual se establecen algunas simetrías espaciales y ofrece las primeras nociones en torno al equilibrio estático. Aun así, el estudio del equilibrio estático no está completo con la aplicación del concepto de centro de masa, es necesario estudiar más a fondo las *acciones* que producen movimiento o cambios en el sistema y como estas tienden a compensarse a partir del centro de gravedad.

2.3 El equilibrio estático como compensación de las acciones

El concepto de acción está ligada al peso y su posibilidad de ejercer cambios en el sistema. En esencia el “peso” es quizás uno de los conceptos más cotidianos en el sentido que todos han

mencionado o escuchado esta palabra, en mecánica el peso establece una relación entre la masa y la atracción que se experimenta hacia la tierra debido a la gravedad⁴. Sin embargo, en este trabajo se asume la postura de Simón Stevin (1935) donde el peso es una propiedad de los cuerpos, este a su vez es fuente de todas las posibles acciones.

Para entender el concepto de acción es necesario acudir a una experiencia cercana a la cotidianidad. Equilibrar una barra requiere desde luego encontrar su centro geométrico (centro de masa) de esta forma al apoyar la barra en un dedo de la mano se produce una sensación de presión en la punta del dedo (figura 10). En esencia el concepto de acción se asocia con la sensación de presión que se experimenta en el dedo y puede ser evidenciado en la deformación a la que es sometido para sostener la barra en completo equilibrio.



*Figura 10: Las líneas en la figura muestran el sentido de la “acción”
debida al peso de la barra.*

Por otro lado, pesos desiguales en una balanza hacen que la balanza se incline. Entender este cambio requiere revisar la distribución de los pesos en relación con las acciones que se dan en el

⁴Faraday en su conferencia sobre las fuerzas de la materia, “todos los objetos que se dejan caer son atraídos hacia la Tierra”. Sin embargo, es necesario aclarar que la Tierra no posee una fuerza de atracción especial, sino todos los cuerpos se atraen entre sí, esta atracción será llamada gravitación. A pesar de este hecho, el punto del cual observamos la fuerza de gravedad o gravitación entre dos objetos genera un efecto donde se ven los objetos atraídos hacia la Tierra.

sistema, es necesario analizar la pregunta ¿Cómo son las acciones al cambiar la distribución de la masa?



Figura 11: Desequilibrio

La acción puede cambiar al configurar las distribuciones de los pesos. Supóngase una serie de pesos dispuestos a lo largo de una superficie rígida, similar a la de una mesa de madera (figura 12a). A simple vista los pesos parecen no alterar la superficie hecho que se mantiene al variar sus posiciones (figura 12b). Pareciera que el cuerpo rígido no experimentara acciones de ningún tipo.

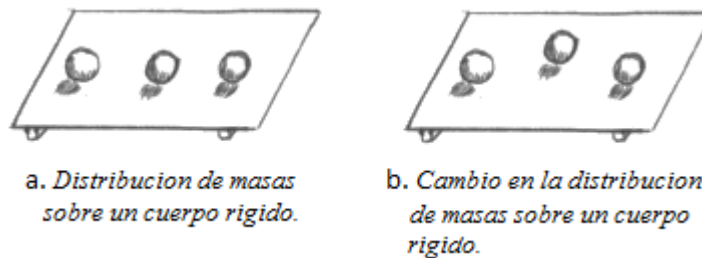


Figura 12: Acciones de masas sobre un cuerpo rígido.

Si el experimento se repite sobre una superficie deformable (espumas, almohadas, cojín, etc) el cambio es evidente. Las acciones se hacen visibles en la deformación debida a los pesos sobre la superficie, además las acciones cambian al variar la distribución de pesos.

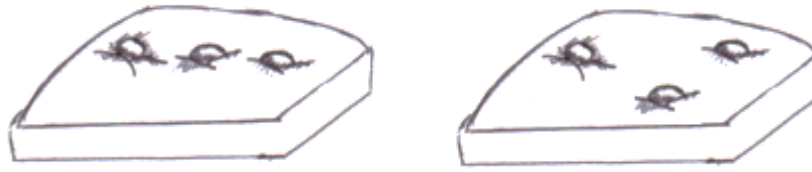


Figura 13: Distribución de masas sobre una superficie deformable

Al disponer pesos en una balanza, el cambio en las disposiciones de los pesos genera distintas situaciones en el estudio de las compensaciones que se dan a partir de las acciones. Como resultado se puede poner el equilibrio en términos de la cancelación de las acciones (Ayala, Rodriguez, & Romero, 1998), similar al esquema de fuerzas opuestas que se presenta comúnmente en la educación media, sin embargo es de resaltar que el concepto de fuerzas no se encuentra en la base de este análisis.

Como es mencionado por artículos de Ayala y otros (1998) cuando el equilibrio se convierte en un problema de cancelación de las acciones, el esquema de un equilibrio (ausencia de movimiento) y su contrario el desequilibrio (movimientos debido a las acciones) deja de lado la idea de fuerzas para centrarse en la compensación de la acción, siendo la acción causa y medida de estas situaciones (Ayala y otros, 1998, pág. 16). La elaboración de criterios que permitan y orienten la comparación de acciones es por excelencia la idea central entorno a la estática.

Como ya se señaló la acción cambia con la forma en la que se distribuya la masa, cotidianamente se evita colocar objetos en algunas superficies rígidas, pues de antemano la experiencia indica que dicha superficie no resistirá. Ejemplo de lo dicho anteriormente es el juego de la torre (Jenga), al armar la torre intuitivamente se retiran piezas de la parte inferior de la torre y para mantener el equilibrio se coloca en la parte superior, prediciendo las posibles acciones que logran hacer

colapsar la torre. Es de resaltar que se busca una compensación en la posición de los pesos para evitar movimientos en la torre.

Para ejemplificar lo dicho anteriormente es necesario revisar otra experiencia, el esquema de una repisa sobre la que se disponen algunos pesos. Aunque las acciones no son evidentes con poca masa, se sabe que sobre el punto **A** (figura 14) se puede sostener una gran cantidad de peso, diferente a ubicar el mismo peso sobre la parte **C** donde puede ser causa de quiebre en el punto de apoyo. Los efectos de la acción son evidentes en la tensión que experimenta el soporte de la repisa.

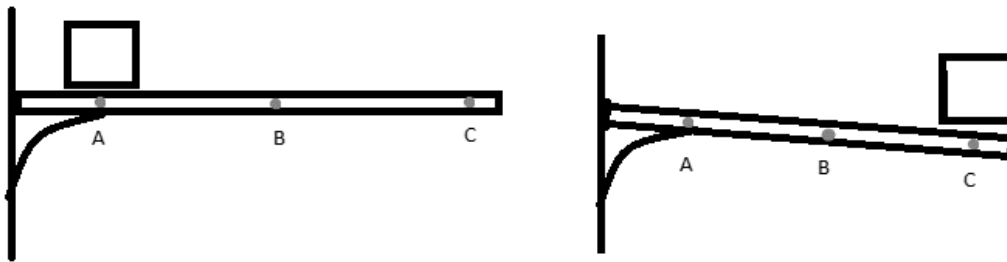


Figura 14: Esquema de una repisa

En este sentido, para las balanzas se pueden establecer tres esquemas de acción los cuales son esquema de acciones opuestas, esquema de transmisión de acciones y esquema de acción-resistencia.

2.3.1 Esquema de acciones opuestas

Supóngase un sistema que consiste en una barra que se sostiene por dos puntos, en dichos puntos se encuentran los pesos **A** y **B**, a partir de ellos se distribuye el peso del objeto de forma homogénea y la acción sobre el punto de la masa **A** es igual a la que se da en el punto de la masa **B**. En el centro de la barra se encuentra el punto según el cual se puede lograr un equilibrio, si el

apoyo se traslada a dicho punto **0** las acciones que se pueden presentar dependen de la distribución del peso.

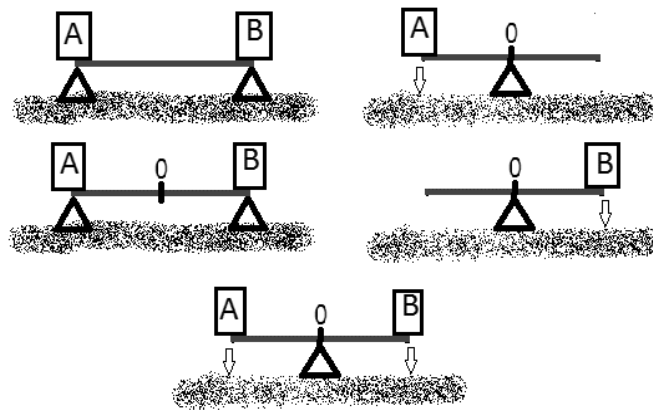


Figura 15: Esquema de acciones opuestas

Si solo se dispone del peso **A** la reacción del sistema a la acción de dicho peso es intuitiva, el peso **A** desequilibra el sistema y se tiene un movimiento. En el sentido contrario el peso **B** produce una acción que es contraria a la de **A**. Debido a la contrariedad que presentan las acciones se pueden complementar en un esquema de acciones opuestas y ya que las acciones se pueden contrarrestar se mantiene el equilibrio a partir del punto **0**.

2.3.2 Esquema de transmisión de acciones

Cuando un cuerpo ejerce una acción pareciera que adquiere el *poder* de actuar en un sistema, visto desde las palancas en equilibrio si se dispone de mayor peso a un lado del pivote este poder produce un movimiento que genera el desequilibrio. La acción se convierte en una capacidad de un cuerpo para actuar en el sistema, capacidad que por sí solo antes no tenía.

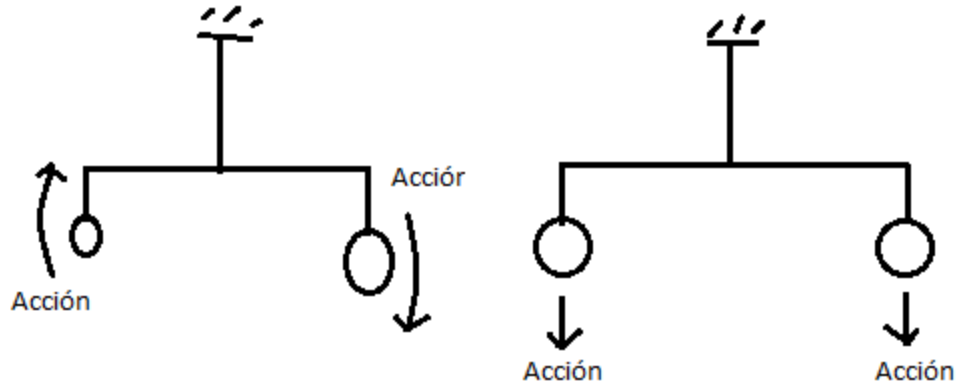


Figura 16: Transmisión de acciones.

Si en el sistema se dispone de una segunda masa, la capacidad que esta adquiere se da como respuesta a la acción de la primera. La acción se transmite de una a la otra. Similar a como las personas se pueden alegrar al ver a alguien que esta alegre. Es de señalar que la acción no se produce de la nada, esta es inherente al cuerpo y siempre está presente.

2.3.3 Esquema de acción-resistencia

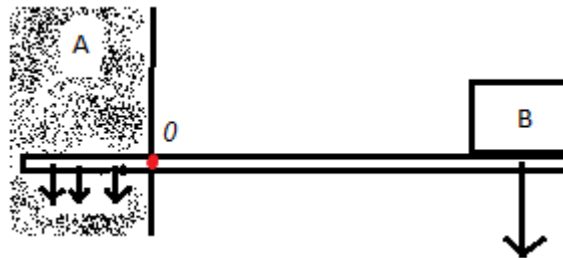


Figura 17: Acción-Resistencia

La acción se puede compensar con resistencia de un cuerpo rígido a ser accionado. El equilibrio se encuentra en la compensación que entre la acción y la resistencia se presenta. Considérese el esquema de la figura 17, el cuerpo **A** es un cuerpo que tiene una gran resistencia a la deformación y en él se encuentra un trampolín que tiene un cuerpo **B**. la acción que ejerce el cuerpo **B** se complementa con la resistencia del cuerpo **A** y se mantiene el equilibrio a partir del

punto **0**. Las acciones de **A** que son contrarias a las de **B** se encuentran dentro del cuerpo **A** y se dan por su resistencia a ser deformado.

2.4 Equilibrio y simetría

Mantener el equilibrio requiere que todo un sistema se mantenga compensando, en el caso de la balanza (figura 18a) los pesos a cada lado del arreglo se deben mantener a igual distancia del punto de equilibrio. Si se afecta la configuración de la masa a un lado del arreglo (figura 18b) es intuitivo que el otro lado debe ser afectado de igual forma manteniendo la simetría en el sistema (figura 18d).

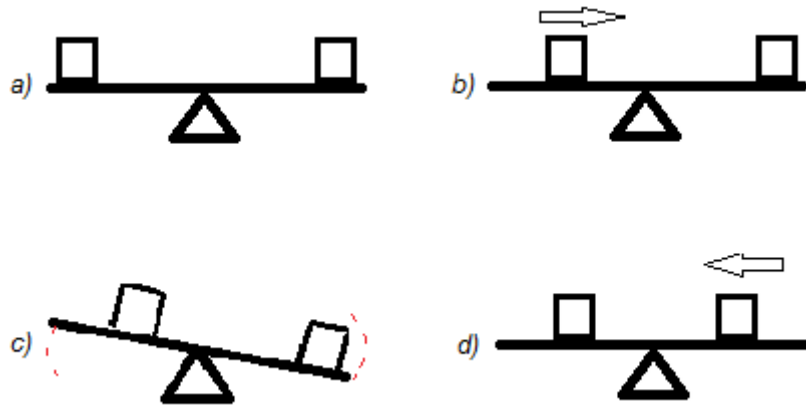


Figura 18: Compensación de las acciones.

Si el peso del lado izquierdo se acerca al pivote se genera desequilibrio y la acción del sistema debida a los pesos produce cambios, la balanza se inclina (figura 18c). Al variar la distancia del peso de la derecha hasta que quede a la misma distancia del pivote que su contrapeso, se reanudara al estado de equilibrio. Se establece una simetría que compensa la distribución de los pesos y las distancias que estos tienen respecto al pivote. Este proceso es razonable y fácilmente recreado, dos pesos iguales colocados a la misma distancia del punto de apoyo se equilibran (Rodríguez & Romero, 1999).

Ahora considérese una situación donde un pequeño peso se encuentra en equilibrio con un peso mayor como el de la figura 19.

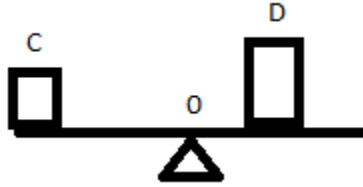


Figura 19: Situación de equilibrio

La balanza se encuentra en equilibrio a pesar de la diferencia en los pesos. El peso **C** es menor al peso **D** y sería de esperar que se presentara un desequilibrio, sin embargo, las distancias al punto de apoyo compensan la diferencia entre los pesos donde $C_0 > D_0$ y en consecuencia $C < D$. Galileo (1981) define esta situación de equilibrio en las consideraciones y demostraciones sobre las nuevas ciencias a partir del principio de la palanca expuesto inicialmente por Arquímedes en los siguientes términos:

“pesos desiguales permanecen en equilibrio si los brazos de la balanza tienen una longitud inversamente proporcional a los pesos” (Galilei, 1981, pág. 213)

$$\frac{D_0}{C_0} = \frac{C}{D} \quad (6)$$

Aun cuando los principios de simetría resuelven parcialmente el problema del equilibrio es de resaltar que el punto de apoyo tiene un papel principal en la estática. Si se varían las configuraciones de las masas y las distancias de estas al punto de apoyo esta no sufre ningún cambio. Los pesos pueden acercarse tanto al punto de apoyo hasta llegar a encontrarse todos sobre él, en consecuencia se puede inferir que en este punto se concentra toda la acción debida al peso de los cuerpos que conforman el sistema. Estas nociones llevan al “centro de gravedad” el punto

según el cual se puede equilibrar el sistema. Conservando dicho punto se pueden establecer los distintos esquemas de acciones que se pueden dar en el equilibrio. En estos términos, a diferencia del centro de masa que equilibra la distribución espacial de la masa del sistema, el centro de gravedad es el punto a partir del cual se puede establecer un equilibrio en las acciones debidas al peso y la compensación de las mismas.

El concepto de centro de gravedad se convierte en el problema principal del estudio del equilibrio estático. En estos términos, debido a la importancia que representa este punto, el equilibrio puede ser considerado como una teoría sobre el centro de gravedad (Ayala, Malagón, Castillo, & Garzón, 2001).

2.5 Centros de gravedad parciales

Galileo establece una forma de mantener el equilibrio a partir de los centros de gravedad parciales de distintas distribuciones de peso. Basado en el estudio de Arquímedes establece el principio de la palanca en los términos que ya se han mencionado con anterioridad. En consecuencia mantener el equilibrio en un punto determinado requiere establecer configuraciones en las cuales exista una compensación entre los pesos y las distancias de estos al punto de soporte. Este a su vez es el centro de gravedad y a partir de él se ven compensadas las acciones debidas al peso, se convierte en un punto de simetría entre las acciones.

Sin embargo, no es necesario que la configuración de los pesos sea igual en cada lado de una balanza, el principio de la palanca relaciona el problema del equilibrio con una geometría distinta, geometría que sale del esquema de las configuraciones espaciales y estudia las distintas variaciones de las acciones y como estas se compensan al mantener un equilibrio.

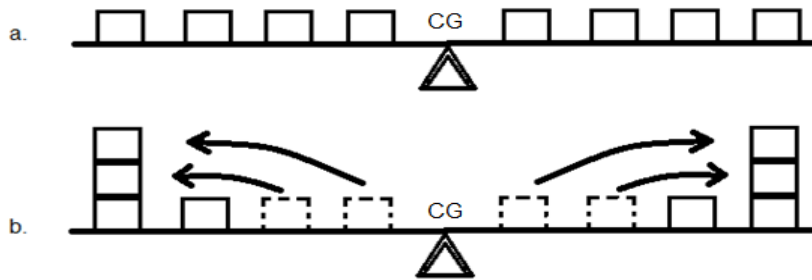


Figura 20: Centro de gravedad.

Supóngase un arreglo con una situación de equilibrio simétrico (figura 20a) como ya se ha hecho mención, si se modifica la distribución de los pesos en un brazo del arreglo, es necesario hacer lo mismo al otro lado del arreglo (figura 20b). Se puede llegar a tener todos los pesos sobre el punto de apoyo de ahí que la acción tiende a concentrarse en el punto de apoyo y se pueda considerar este como el centro de gravedad del sistema.

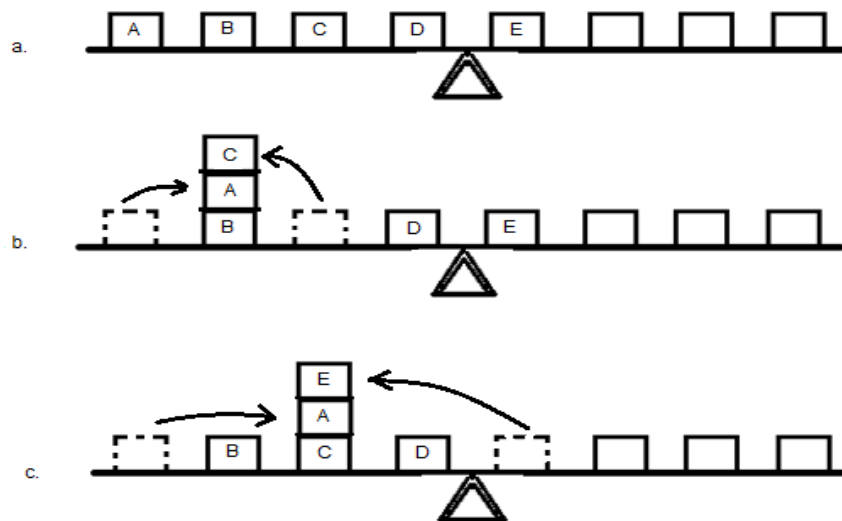


Figura 21: Esquema de pesos distintos.

Aplicando este principio a un solo lado de la balanza se puede tener que existen centros de gravedad parciales. Los pesos A, B y C pueden ser concentrados en la posición del peso B esta posición es el centro de gravedad parcial de los tres pesos (figura 21b.), la situación de equilibrio

se conserva. Por otro lado, el centro de gravedad parcial de los pesos A, B, C, D y E se encuentra en la posición del peso C, si se concentran los pesos en dicho punto y se mantiene el equilibrio aun cuando el peso es mayor en un lado del arreglo (figura 21c).

2.6 Stevin y los centros de gravedad parciales en el plano inclinado

Simon Stevin (1548-1620). Fue contemporáneo de Kepler y de Galileo; matemático, físico e ingeniero, hizo avanzar la Mecánica, especialmente en el campo de la estática de los cuerpos sólidos. Dedicó algunos estudios al plano inclinado y planteó una solución al problema de las compensaciones que se dan en el equilibrio a partir de masas estáticas en un plano inclinado. Sus estudios pueden ser enunciados en los siguientes términos.

Una cadena formada por un cierto número finito de pesos se coloca en un soporte prismático (plano inclinado), formado por dos planos lisos AB y BC, tal como se muestra en la figura 22. Ante este experimento cabe resaltar la siguiente pregunta ¿Qué sucederá cuando haya más pesos al lado de la cadena más largo BC del plano, que en el más corto AB?

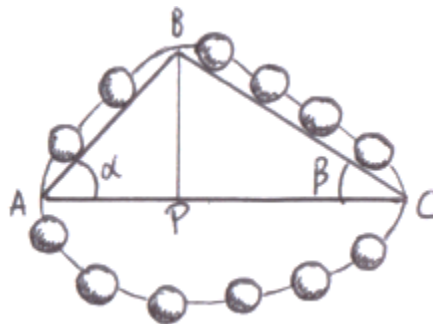


Figura 22: Cadena de Stevin en el plano inclinado.

Una primera impresión del problema puede llevar a pensar que, a causa de la diferencia de pesos, la cadena comenzaría a moverse de la siguiente manera: el tramo AB con dirección hacia arriba, el tramo BC hacia abajo y el tramo AC, de manera muy especial de C a A conservando su forma

geométrica. En resumen, toda la cadena giraría en el sentido horario; pero como la cadena es continua, este movimiento nunca se detendría y la cadena giraría de manera perpetua.

Sin embargo, se mantiene el equilibrio y no hay tal movimiento perpetuo. Esto se puede demostrar dice Stevin teniendo en cuenta que en un arreglo homogéneo de cuerpos iguales distribuidos como lo indica la figura sobre un plano inclinado, la razón entre sus pesos siempre se mantiene constante con relación a la razón de las longitudes sobre las cuales reposan. De esta forma, si se tiene en cuenta la simetría en la distribución del peso, las acciones de cada uno y la imposibilidad de un movimiento, se evidencia que los pesos deben estar en proporción a las longitudes. Las acciones de los pesos iguales ubicados en los lados del plano inclinado, están en proporción inversa a los lados que los sostienen (Ayala, Malagón, Castillo, & Garzón, 2001).

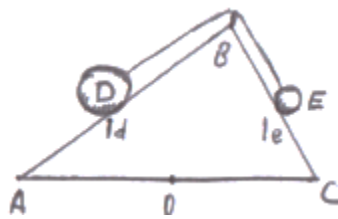


Figura 23: Condición de equilibrio: $D/E=l_d/l_e$

Si esta situación de equilibrio descrita en el párrafo anterior es correcta, es posible deformar el plano y mantener el equilibrio y más aún se puede llegar al punto de sostener las masas dispuestas en una palanca. A continuación se hará una relación de esta idea.

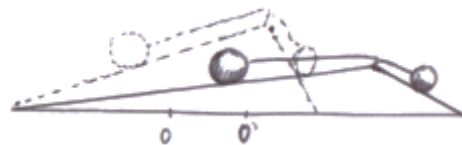


Figura 24: Deformación del plano inclinado

Si los cuerpos E y D se cuelgan, por medio de hilos, de los extremos de una barra de la cual se desprecia el peso de longitud $d_1 + d_2 = 1/2PC + 1/2AP = 1/2AC$ y esta barra a su vez se cuelga

del punto 0 se tiene un sistema en equilibrio. Este sistema es el resultado de hacer equilibrio en una barra que se supone paralela al apoyo del plano inclinado.

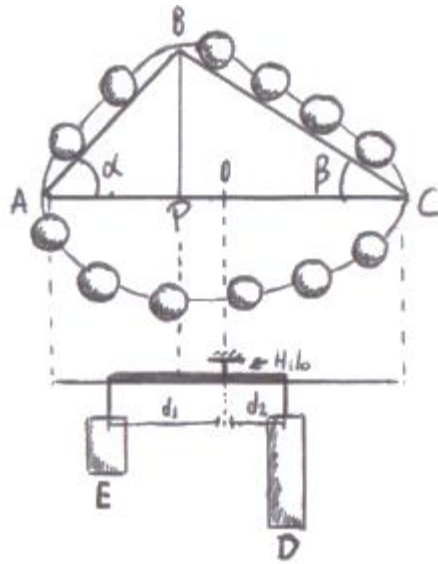


Figura 25: Relación del plano inclinado con la balanza.

A continuación se hace más evidente la relación si se tienen dos barras iguales (figura 26). La primera de longitud AC igual a la base de los dos planos inclinados AB y BC, en la misma barra se muestran el punto P y un punto medio Q que pertenecen a esta barra. La segunda barra suspendida de los extremos de la primera, por medio de dos hilos en los puntos A y C, y sobre ella un trozo de cadena de longitud AC con una distribución de peso que se tenía en el arreglo inicial. En estas condiciones si la barra superior AC se apoya en el punto Q la conservación del equilibrio del sistema es más que evidente.

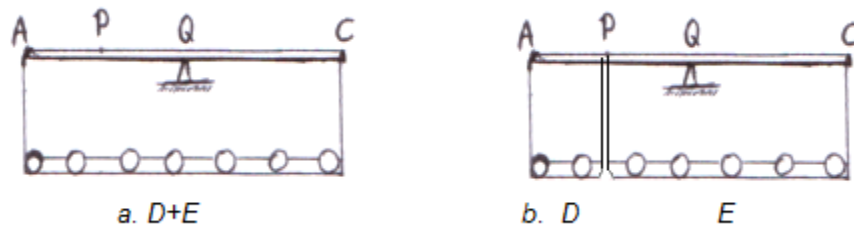


Figura 26.

Ahora con base en la figura 26b, se corta la barra inferior justo a una distancia AP del extremo izquierdo, para dividirla en dos partes. Luego estas dos partes de longitudes AP y PC se suspenden por medio de hilos de igual tamaño en los extremos izquierdo y derecho del corte, (figura 27). En estas condiciones se tienen tres barras en el sistema: una de peso despreciable en la parte superior; y las otras dos barras en la parte inferior: una de longitud AP y la otra de longitud PC. Es evidente que en este nuevo sistema, muy similar al de la figura 26, sigue conservando su equilibrio.

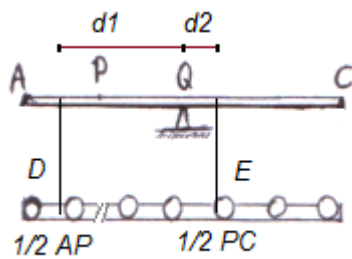


Figura 27

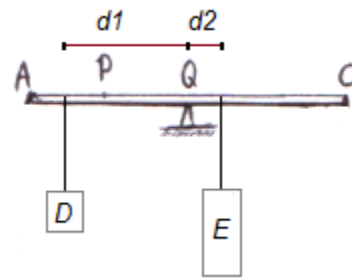


Figura 28

Ahora suponga que el tramo AP de peso D se sustituye por un bloque del mismo peso suspendido por un hilo a la mitad del segmento AP. De manera similar el tramo PC de peso E se sustituye por otro bloque del mismo peso y se cuelga por medio de un hilo a la mitad del segmento PC. En estas condiciones, dado que la fuerza resultante de los pesos de ambos cuerpos del sistema pasa por el punto de apoyo Q, es evidente que los sistemas mostrados en la figuras 27 y 28 también conservan el equilibrio.

En este último sistema se debe cumplir:

$$D * d1 = E * d2$$

Para así conservar el equilibrio, por lo que basta demostrar que, de la configuración geométrica del sistema mecánico de la figura 28 se debe verificar que

$$d1 = (1/2)PC \quad \text{y} \quad d2 = (1/2)AP$$

Finalmente, la compensación de las acciones debidas al peso y las configuraciones espaciales se reducen a un problema de encontrar los centros de gravedad relativos del sistema, puntos según los cuales se puede conservar el equilibrio y se establece una simetría. De este modo, el estudio del centro de gravedad pasa de ser un punto según el cual se puede concentrar el peso de los objetos. En su lugar se convierte en un punto de simetría donde se compensan las acciones presentes en un objeto en equilibrio. En estos términos, el equilibrio estático puede ser estudiado desde la compensación espacial y de acciones en un sistema, presentando una facilidad de aplicación en objetos más próximos a la experiencia.

CAPÍTULO 3

3 Sobre los móviles y estables de Alexander Calder

Las obras escultóricas siempre han sido el centro de atención de muchos, debido a la forma de representar lo estético en objetos tridimensionales hechos o moldeados a mano. Desde luego lo artístico no está representado en los objetos, más bien, el arte debe su esencia a las ideas que hay alrededor de los objetos. Las obras de arte o los artefactos que las representan adquieren significado al ser interpretados por un sin número de espectadores, dando de esta forma el valor que merece el objeto que representa la estética humana. Es así como artistas de la talla de Alexander Calder (1898-1977) exponen su comprensión en torno a la forma de ver el mundo a través de la escultura. Inicialmente expone Calder, fue la observación del espacio celeste la que lo lleva a desarrollar su técnica artística en los conocidos móviles artísticos. Su primer obra fue llamada “Calderberry” (1933) fue descrita por el mismo en los siguientes términos (Calder, 1998).

“Es una barra de dos metros con una pesada esfera suspendida en un extremo de un alambre. Esto genera un nítido efecto de voladizo. Cinco delgados discos de aluminio se proyectan en ángulo recto desde cinco alambres, que se mantiene en posición merced al contrapeso de una esfera de madera” (Calder, 1998, pág. 149)

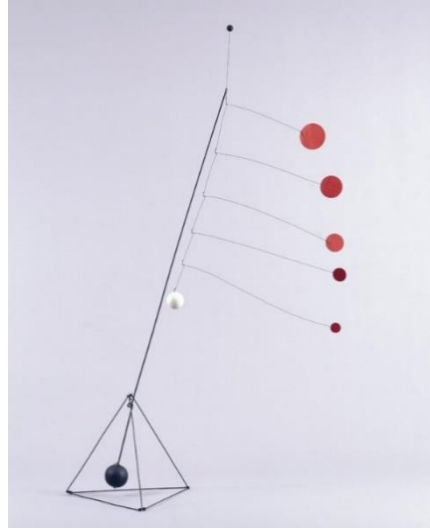


Imagen 1: Calderberry

De esta forma Calder creó la idea de Movil artístico, que fue un objeto que jugaba con la armoniosa interacción entre contrapesos.

Bajo esta misma tendencia de representar la naturaleza, Calder hace la introducción de los estables (1937). La idea de jugar con el tiempo y los pesos a través del espacio fascinó a este artista y con bases más sólidas y unidas armoniosamente con el suelo, a partir de sus móviles nacieron los estables.



Imagen 2: Estabil de Alexander Calder.

Aunque es fascinante la idea de contrapesos y estabilidad a lo largo del espacio y el tiempo, sus trabajos se caracterizan por llevar a cabo una excelente sensibilización del mundo. Pues bien algunos de sus móviles y estables más conocidos hacen alusión a animales y como estos guardan una armoniosa relación con el mundo, ejemplo de ello el “Steel fish” (1934) y la “Red spider” (1976).



Imagen 3: Steel fish y Red spider respectivamente.

Ahora bien, la posibilidad de relacionar el arte y la ciencia puede estar en la interpretación de obras como los móviles y los estables. Solo a través de la interpretación que se hace de los objetos artísticos se les da un significado trascendental en el arte y debido a la susceptibilidad de cambio en el significado de los objetos, la física puede enriquecerse de la experiencia del artista para lograr recontextualizar sus conceptos desde la mirada que el arte puede aportar.

En este sentido se hará un análisis de un artefacto artístico a partir de la cuantificación de las acciones y sus relaciones en el estudio del equilibrio estático. También se establece un análisis de

las definiciones dadas en el arte para los móviles y estables, en busca de elementos que puedan ayudar en el entendimiento del equilibrio estático y todos sus conceptos.

Estudiar alguna de las obras de Alexander Calder desde la estática requiere de un ejercicio que se aleja de la geometría especular⁵. Es de resaltar la falta de simetría espacial en algunas de las figuras que este artista elabora. Sin embargo, la complejidad que representa la construcción de estas obras es el punto a favor que justifica el uso de un esquema de acciones en la conservación del equilibrio que a simple vista se puede notar en ellas.

Para efectos de la aplicación de los conceptos expuestos en la estática se establece una cuantificación de las acciones en una balanza. Cuantificación que se aplicará bajo ciertas consideraciones en el análisis de una obra de Alexander Calder. Obra “sin título” que se va a reconstruir bajo consideraciones de la cuantificación de las acciones⁶.

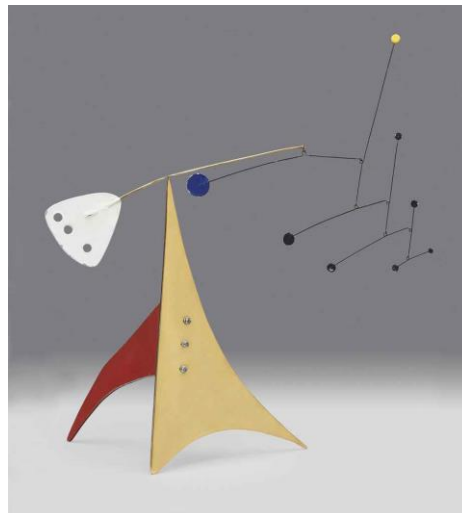


Imagen 4: Sin título por Alexander Calder.

⁵ La **geometría especular** se asume como una transformación respecto de un plano de **simetría**, en la que a cada punto de una figura se asocia otro punto llamado imagen, que cumple la condición de mantener misma distancia de un punto y su imagen en relación al plano de **simetría**. En este trabajo se aborda este concepto con el estudio del centro de masa para un cuerpo simétrico.

⁶ Se resalta que el proceso es una aproximación debido a que se establece en relación a una imagen de una obra de Alexander Calder.

Si se tiene en consideración la simetría desde el centro de gravedad de una balanza se pueden establecer cambios en la distribución de los pesos de cada brazo de la misma y mantener un equilibrio, aun cuando estos centros de simetría sean parciales respecto a algunas de las masas que conformen el sistema. En este sentido se establece que los movimientos realizados serán simétricos respecto al centro de gravedad.

Del capítulo anterior se ve como el aumento de la acción a un lado de la balanza exige una compensación, esta se puede dar en dos formas. Se puede aumentar la misma cantidad de acción en el otro lado de la balanza o se retira una unidad de acción haciendo el peso más próximo al punto de apoyo que coincide con el centro de gravedad.

Establecer una escala de la acción requiere tener en cuenta los esquemas establecidos para las acciones (capítulo 2) y un complemento desde el principio de la palanca.

Se disponen bloques homogéneos y distribuidos de forma simétrica sobre una balanza⁷, de estos se toma el peso de cada uno como una unidad. De igual manera, la distancia comprendida entre dos bloques consecutivos se tomará como unidad.

En consecuencia cada bloque dispuesto a un lado del arreglo se puede asumir en términos de 1 unidad, 2 unidades hasta N unidades ($1u, 2u, \dots Nu$), de igual forma se compensan los bloques en términos de las bloques del brazo contrario como $-1u, -2u$ hasta $-Nu$. Si un bloque se aleja 1, 2 o N unidades de distancia del punto de equilibrio, la acción se incrementara en 1, 2 o N unidades respectivamente; de aquí que los bloques a cada lado ejerzan la misma cantidad de acción a cada lado del punto de equilibrio. Un primer esquema del móvil sin título sería la relación entre los dos

⁷ Ejercicio estándar donde hay pesos iguales a cada lado de la balanza y se separan en distancias iguales.

lados considerando una igualdad en la distribución del peso y por lo tanto una compensación de las acciones.

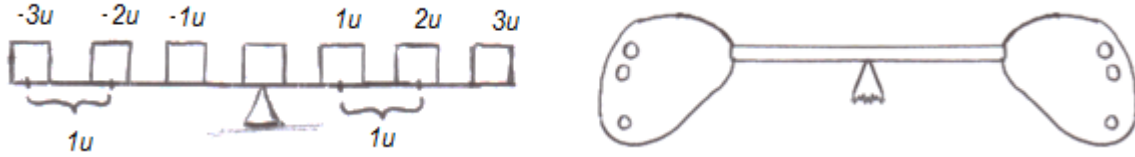


Figura 29: Cuantificación de las acciones.

Como ejemplo se toman siete pesos que están distribuidos a lo largo de una balanza (figura 29). Ahora se establecen algunos cambios en las configuraciones de los pesos, de modo que al lado izquierdo se mantienen $8u$ de acción representadas por 4 bloques y para mantener el equilibrio se compensan con una distribución con igual cantidad de acción pero para 3 bloques.

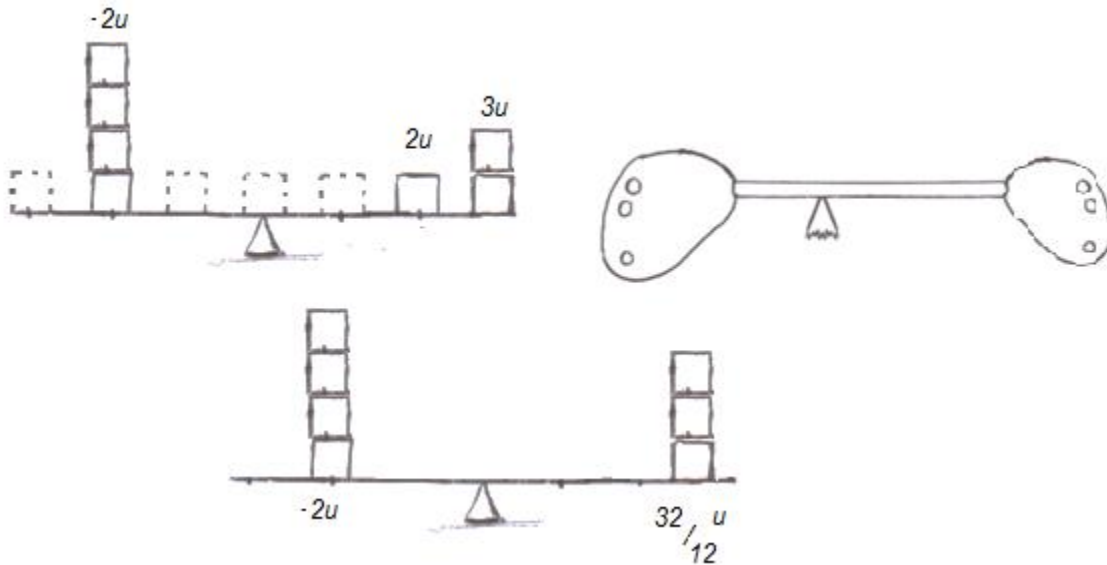


Figura 30: Compensación de acciones.

Si se tienen en cuenta los centros de gravedad relativos, los pesos se pueden concentrar en posiciones distintas en el caso de la figura en $-2u$ y $(32/12)u$. En este sentido se pueden establecer un sin número de configuraciones en relación con los pesos, las acciones debida al peso y las

distancias respecto al punto de equilibrio. Todo esto se puede cuantificar en términos de las acciones y las distancias de estas al centro de gravedad.

Siguiendo esta relación, se puede plantea

r una segunda balanza al lado derecho del arreglo inicial. Se puede distribuir los pesos en una balanza común (figura 31a.), suspendida (figura 31b.) e incluso una forma mixta entre las dos (figura 31c.), siempre y cuando se mantenga el equilibrio.

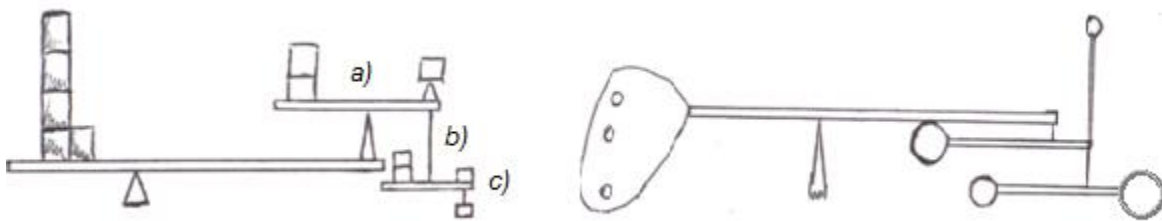


Figura 31: Configuraciones en equilibrio.

El proceso que se aplicó en la forma inicial, se puede aplicar parcialmente en uno de los brazos para el cual se ha establecido una nueva configuración de balanza. Así se puede hacer una descripción del móvil en términos de la cuantificación de las acciones a partir de centros de gravedad relativos y la construcción del mismo.

Ante el proceso descrito anteriormente se resalta de Calder su gran dedicación en la búsqueda de estabilidad en sus obras, ya que la elaboración armoniosa de cada una de ellas requería de mucho tiempo, algunas tomaron meses e incluso años gracias a la complejidad que representa la búsqueda del punto según el cual se pueden armonizar y equilibrar los contrapesos (Romero, 2005).

Como ya se ha mencionado, el equilibrio juega un papel fundamental en la tendencia de Calder y es de resaltar que a pesar de no tener como base en la construcción de sus obras los conceptos presentes en la física planteada para el estudio del equilibrio, las obras de Calder hacen un

inmejorable trabajo incorporando el valioso aporte de estas ideas y la acompaña con la intuición de un artista.

Sus obras son definidas en términos de *“masas, direcciones y espacios limitados en el gran espacio del universo”* (Calder, 1998) de las cuales se puede evidenciar una ardua labor en las posibilidades que ofrece la relación entre el peso y su configuración espacial. Calder hace en sus trabajos una ardua labor que representó buscar el equilibrio en sus móviles y estables, para lo cual se valió del juego entre “masas diferentes”, sostiene que este se logra al “combinar masas grandes, pesadas, medianas y de más” que a su vez jugaban con otras masas en un vaivén de aceleraciones, rapidez, velocidades, fuerzas, etc. Hecho que compensó con las “direcciones y vectores” que hacen armonía con el tamaño y el color, afirma además Calder que *“este resultado es armonico y significativo, se define una gran resultante o muchas”* en armonía con la naturaleza.

Otro punto según el cual se pueden identificar experiencias acordes con el entendimiento del equilibrio estático es la respuesta de Calder ante la pregunta ¿Qué representa un móvil y un estable?

“Es en esencia espacio, volúmenes, sugeridos por los menores medios opuestos a su masa, o incluso conteniéndolos, yuxtapuestos, adornados por vectores y atravesados por celeridades. Nada de todo esto fija, cada elemento puede moverse, menear, oscilar, ir y venir en sus relaciones con los otros elementos de su universo. Que esto sea, no solamente un instante "momentáneo", sino una ley natural de variación entre los acontecimientos de la vida. No extracciones y abstracciones que no recuerden nada de la vida, salvo por su manera de reaccionar.” (Romero, 2005, pág. 3)

De aquí que se puedan establecer los esquemas de acción descritos⁸, teniendo en cuenta sus menciones y juegos con los pesos dispuestos en diferentes balanzas, además en su búsqueda de la armonía se pueden establecer otros esquemas relacionado las acciones externas al sistema a partir de lo que él llama menear, oscilar, ir y venir de sus obras.

La experiencia del artista plástico en la construcción de sus obras se convierte en un conjunto de sensibilidades ante los conocimientos que se puedan presentar en la física. Se convierten en una mirada distinta hacia la construcción del conocimiento. Finalmente se destaca el hecho de que la ciencia y el arte no están en el objeto, más bien se encuentran en las construcciones e interpretaciones que se puedan hacer alrededor del objeto. En este sentido la física del equilibrio estático y las interpretaciones de los móviles y stables están a la base de una mezcla entre la ciencia y el arte, donde las experiencias mutuas en las dos áreas nos llevan a una interpretación del mundo coherente y rica a nuestros sentidos.

⁸ Acciones opuestas, transmisión de acción y acción-resistencia.

CAPÍTULO 4

5 Consideraciones finales

El ejercicio de pensar en actividades y estrategias para emplear en el aula de clases y lograr una meta en la enseñanza, no es una tarea sencilla, ya que esta labor implica el diseño de las actividades, además de involucrar algunas preguntas que se deben hacer en relación a los contenidos y objetivos que se plantean, así como también que elementos tomar de las metodologías, modelos pedagógicos y estrategias existentes, de tal forma que la propuesta que se diseñe guarde estrecha relación con los objetivos propuestos, para el caso particular de este trabajo de investigación, la enseñanza del equilibrio estático.

En este sentido y desde lo expuesto en capítulos anteriores con respecto a la relación entre el estudio del equilibrio estático con los móviles y estables de Alexander Calder, lograr un acercamiento por parte de los estudiantes a los conceptos de centro de gravedad y centro de masa que finalmente conducen a entender el equilibrio de los cuerpos, requiere de un trabajo interdisciplinar entre la ciencia y el arte. De este modo se muestra que lo físico y lo estético son elementos importantes, dado que estos proponen un buen punto de partida para generar ciencias, se evidencia así que la ciencia es aplicable en diferentes disciplinas y además que el arte ofrece experiencias para la enseñanza de las ciencias. Es de notar que en algunas ocasiones el arte conduce a la ciencia y en otras que la ciencia está a la base de explicaciones de fenómenos representados en el arte sin que esto no signifique que la ciencia se sirva del arte o viceversa (Martinez, 2008).

En cuanto a la forma de relacionar ciencia y arte, dentro de la educación se encuentra el concepto de interdisciplinariedad usado por docentes dentro de sus investigaciones en la creación de proyectos, según Nieto M. (1991) en Jantsch (1980) “*la interdisciplinariedad es entendida como*

la interacción entre dos disciplinas o más, con el objetivo de generar una intercomunicación y un enriquecimiento recíproco” (Nieto Caravelo, 1991). En consecuencia, la interdisciplinariedad posee una característica central la cual se desarrolla como el hecho de incorporar los resultados de varias disciplinas analizados desde esquemas estructurados, se concibe la interdisciplinariedad como una forma de cooperación y de intercambios recíprocos entre áreas del conocimiento.

Dentro de la interdisciplinariedad se pueden establecer algunos tipos de interdisciplinariedad dependiendo del tipo de relación que se establezca entre áreas. Una de ellas y base de este trabajo es la interdisciplinariedad Limítrofe⁹ en la cual se expone que cuando los métodos y contenidos de dos o más disciplinas tratan un mismo tipo de fenómenos, considerados desde puntos de vista propios de cada disciplina y presentando margen de coordinación, de posible transferencia de leyes, principios o estructuras de una a otra disciplina, se pueden aportar elementos entre una y otra para mejorar la comprensión del fenómeno.

En contraste al desarrollar esta propuesta se espera que el estudiante, por medio de la elaboración de obras como los móviles y estables desarrolle habilidades que le permitan expresar y entender los conceptos referentes al equilibrio de los cuerpos. La elaboración de artefactos es fundamental para acercar al estudiante al fenómeno que se quiere trabajar ya que en este proceso se construyen preguntas y a partir de las posibles respuestas que dé a las mismas explore y enera sentido a los conceptos que se encuentran en la base del fenómeno que está estudiando, así mismo la retroalimentación que los docentes hacen de los avances de los estudiantes, conducen a una

⁹ Otros tipos de interdisciplinariedad expuestos por el autor son la auxiliar, instrumental, estructural, conceptual, operativa, metodológica, teoría y compuesta.

reflexión crítica que permite una reevaluación de lo aprendido en relación con otras áreas (Kraicik, Blumenfeld, Marx, Bass, & Fedricks, 1998).

Ante la elaboración de proyectos interdisciplinarios de este tipo se propone llevar a cabo actividades relacionadas con la experiencia por indagación expuesta por Carlos Julio Uribe (2000) donde se sostiene que por medio de la “indagación” los estudiantes construirán nuevos artefactos a partir del material experimental que el docente les presenta, en cuyo caso se propone la construcción de móviles y estables. Finalmente, La construcción de dichos artefactos llevara a resultados inesperados que aportan en el entendimiento del equilibrio estático además, requerirá de un maestro reflexivo que sea capaz de dejar de lado las viejas metodologías de aplicación de conceptos y guías en ocasiones sin sentido, para en su lugar explorar, aplicar, interpretar, analizar y construir el fenómeno en conjunto con sus estudiantes, estableciendo así una relación entre las dos disciplinas que intervienen en el proceso.

5.1 Conclusiones

- El centro de masa se puede comprender como un punto a partir del cual se establecen algunas simetrías espaciales y ofrece las primeras nociones en torno al equilibrio estático, la masa de un sistema en equilibrio se distribuye de forma simétrica estableciendo un sentido de complementariedad en las formas que adopte la masa.
- El estudio del centro de gravedad pasa de ser comprendido como “un punto según el cual se puede concentrar el peso de los objetos” a una forma de simetría donde se compensan las acciones presentes en un objeto en equilibrio. En estos términos, el equilibrio estático puede ser estudiado desde la compensación espacial y de acciones en un sistema, presentando una facilidad de aplicación en objetos más próximos a la experiencia. La compensación de las acciones debidas al peso y las configuraciones espaciales son

fundamentales en el estudio del equilibrio estático, este a su vez se convierte en un análisis de los centros de gravedad relativos en una distribución de pesos y a partir de estos se conserva el equilibrio y se establece una simetría de las acciones en un sistema.

- La experiencia del artista en la construcción de sus obras se convierte en un conjunto de sensibilidades ante los conocimientos que se puedan presentar en la física, aportando una mirada distinta hacia la construcción del conocimiento.
- Se destaca el hecho de que la ciencia y el arte no están en el objeto, más bien se encuentran en las construcciones e interpretaciones que se puedan hacer alrededor del mismo. En este sentido la física del equilibrio estático y las interpretaciones de los móviles y estables están a la base de un proyecto interdisciplinar, donde las experiencias mutuas en las dos áreas nos llevan a una interpretación del mundo con sentido.
- Lo físico y lo estético pueden ser elementos importantes al educar, dado que estos contribuyen de un modo positivo al desarrollo de la personalidad, la vida afectiva y el crecimiento intelectual de los estudiantes. El arte plástica permite un equilibrio armonioso entre lo intelectual y lo manual logrando así convertirse en una poderosa herramienta capaz de hacer que el estudiante se integre personalmente con todos sus conocimientos y socialmente con sus compañeros, para así poder expresar de una manera libre y correcta la comprensión que tiene de su entorno físico y además pueda construir nuevas formas de explicar fenómenos y entenderlos.

Bibliografía

- Ayala, M. M., Malagón, F., Castillo, J. C., & Garzón, I. (2001). El equilibrio según Stevin La acción como poder del peso. *Revista colombiana de física vol 33, N°2*, 5.
- Ayala, M. M., Rodríguez, L. D., & Romero, Á. (1998). Elementos para la enseñanza de la estática desde una perspectiva Constructivista. *Física y Cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias N°4*, 7.
- Biox, V. (2000). De saberes escolares a comprensión disciplinaria: el desafío pedagógico de una educación de calidad. *Harvard Graduate School of Education*.
- Calder, A. (1998). *La obra de calder en el siglo XX: El "cirque calder" como representación del mundo plástico*. (R. Ibero, Ed.) España: Polígrafa.
- Castillo Ayala, J. C. (2008). La historia de las ciencias y la formación de maestros: La recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. *Nodos y Nudos*, 78-80.
- Faraday, M. (2006). Las Fuerzas de la materia. En B. Luis, *Investigaciones experimentales de electricidad* (pág. 273). Michigan: Universidad de Michigan.
- Ferreiros, F. &. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Critica. Hispanoamericana de filosofía*, 48-83.
- Galilei, G. (1981). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. (J. Sabada Garay, Trad.) Madrid: Editora Nacional.
- Hernández, R. (2012). Actitudes hacia la ciencia en estudiantes de grado undécimo de algunos colegios públicos y privados de Bogotá. *Revista de la Facultad de psicología universidad Cooperativa de Colombia vol 8*.
- Hewitt, P. (1992). Capítulo 10: centro de gravedad. En P. Hewitt, *física conceptual*. Delaware: E.U. ADISON-WESLEY IBEROAMERICANA, S.A.
- Kraicik, J., Blumenfeld, P., Marx, R., Bass, K., & Fedricks, J. (1998). *Inquiry in project-Based Science Classrooms: Initial Attempts by Middle School Student*. THE JOURNAL OF THE LEARNING SCIENCES.
- Martínez, M. (2008). *Estudio de la Relación entre Ciencia y Arte a partir de Teorías Reduccionistas y Emergentistas*. Juárez México: Universidad Autónoma Juárez.
- Nieto Caravelo, L. (1991). *Una visión sobre la interdisciplinariedad y su construcción en los currículos profesionales*. México: UASLP.
- Peña Auerbach, L. (s.f.). *Simetría y leyes en la conservación de la física*. México: Universidad de México.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (1993). *Física Vol 1 tercera edición*. México: Continental.
- Rincón, A. (2013). La simetría en la Física. *Revista de ACTA*, 6-12.

Rodríguez, L. D., & Romero, Á. (1999). Desarrollos galileanos en el campo de la estática una posible contribucion a a enseñanza. *Física y cultura: Cuadernos sobre historia y Enseñanza de las ciencias* N°5, 20.

Romero, A. (2005). *Alexander Calder*. Buenos Aires: Artes y pasiones.

Sanchez.M. (2012). La saga epistemológica de la relación arte-ciencia y su impacto en el estatus académico del arte en la universidad. *Arte y Movimiento* N°6, 17-27.

Stevin, S. (1975). The impossibility of perpetual motin and the problem of the inclined plane. En B. R. Lindsay, ed., & H. & Dowden (Ed.), *ENERGY historical development of the concept* (pág. 369). New york: Harvard University Press.

Uribe, C. (2000). *Una metodología de "análisis de objetivos procedimentales" para los guiones de laboratorio en la licenciatura de físicas*. Barcelona: Universidad autónoma de Barcelona.